



Financovaný
Európskou úniou



PROGRAM
SLOVENSKO



MINISTERSTVO
HOSPODÁRSTVA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Štúdia realizovateľnosti

**Štúdia realizovateľnosti pre využitie elektrickej energie
z výrobných zdrojov na území SR s ohľadom na
komplexný hodnotový reťazec výroby, prepravy,
zhodnocovania a ďalšieho využitia vodíka**

1 OBSAH

ZOZNAM TABULIEK.....	5
ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM SKRATIEK.....	10
2 ÚVOD.....	14
2.1 Manažérske zhrnutie.....	15
2.1.1 Zdôvodnenie a východiská štúdie.....	16
2.1.2 Hlavné zistenia a odporúčania.....	18
2.1.3 Vodíkové údolia.....	27
2.1.4 Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku	30
3 ANALÝZA POTENCIÁLNEHO TRHU	36
3.1 Úvod	36
3.2 Kategorizácia vodíka	36
3.3 Vyhodnotenie trhových trendov	39
3.3.1 Dôsledky klimatických zmien na energetický sektor	39
3.3.2 Výroba elektrickej energie.....	40
3.3.3 Dopyt po elektrickej energii	43
3.3.4 Vodík ako nosič energie	46
3.3.5 REPowerEU – zvyšovanie energetickej nezávislosti diverzifikáciou zdrojov.....	50
3.3.6 Vytváranie ucelených vodíkových reťazcov, ich rozširovanie a prepájanie	52
3.3.7 Metodika výpočtu emisií pri výrobe elektrickej energie	59
3.4 Stav technickej realizovateľnosti vodíkového hospodárstva v krajinách Európskej únie.....	60
3.4.1 Prikklady vodíkových projektov.....	62
3.4.2 Trendy v budovaní zdrojov vodíka.....	69
3.4.3 Výroba vodíka v elektrolyzéroch ako poskytovanie podporných služieb.....	70
3.5 Stav technickej realizovateľnosti vodíkového hospodárstva v podmienkach Slovenska.....	73
3.5.1 Obnoviteľné zdroje energie	73
3.5.2 Jadro ako zdroj energie.....	75
3.5.3 Výrobné metódy vodíka	76
3.5.4 Emisná stopa pri výrobe vodíka	78
3.5.5 Obmedzenia pri výrobe a spotrebe vodíka	79
3.6 Zmapovanie dostupných finančných nástrojov podpory investičných projektov	81
3.6.1 Inovačný fond.....	81
3.6.2 Mechanizmus spravodlivej transformácie	82
3.6.3 Úvery pre opatrenia na uľahčenia prechodu ku klimatickej neutralite.....	82
3.6.4 Plán obnovy a odolnosti.....	83
3.6.5 Európska vodíková banka.....	84
3.6.6 Program Slovensko.....	84
3.6.7 Modernizačný fond.....	85
3.6.8 Dôležité projekty spoločného európskeho záujmu (IPCEI)	86
3.6.9 Clean Hydrogen Partnership Joint Undertaking	86
3.6.10 Program Stredná Európa (Interreg).....	87
3.6.11 Finanční investori.....	87
3.7 Vyhodnotenie legislatívneho prostredia	88
3.7.1 Transpozícia smernice o obnoviteľných zdrojoch energie RED III	95
3.8 Čiastkový záver a odporúčania	100
3.8.1 Verejná politika a legislatívny rámec vplyvajúci na vodíkové hospodárstvo	100
3.8.2 Financovanie a podpora vodíkového hospodárstva.....	101
3.8.3 Trhové trendy a technická realizovateľnosť vodíkového hospodárstva do roku 2030.....	102
4 VODÍKOVÝ HODNOTOVÝ REĹAZEC NA SLOVENSKU	105
4.1 Úvod	105
4.2 Potenciálna kapacita ponuky energetických zdrojov.....	105
4.2.1 Súčasný stav ponuky energetického mixu.....	106
4.2.2 Výroba vodíka z fosílnych palív.....	111
4.2.3 Atómová energia.....	112
4.2.4 Obnoviteľné zdroje energie nebiologického pôvodu.....	114
4.2.5 Výroba vodíka z odpadu a biomasy.....	122
4.2.6 Import vodíka z okolitých krajín	126

4.3	Využitie elektrickej siete	130
4.3.1	Súčasný stav elektrickej siete	130
4.3.2	Emisie pri výrobe elektrickej energie na Slovensku s dôrazom na jadrovú energiu a obnoviteľné zdroje energie 143	
4.3.3	Investície a inovácie v prenosovej a distribučnej sústave	152
4.3.4	Podporné služby pre elektrickú sieť	166
4.3.5	Energetické obstarávanie	167
4.4	Výroba vodíka	171
4.4.1	Elektrolytická výroba vodíka.....	172
4.4.2	Výroba vodíka z fosílnych palív so zachytávaním a ukladaním uhlíka	182
4.4.3	Výroba vodíka z odpadu a biomasy s CCS	188
4.4.4	Potreba vodných zdrojov pre výrobu vodíka.....	193
4.4.5	Ostatné predpoklady pre zriadenie výroby vodíka	199
4.4.6	Potenciál ťažby prírodného vodíka.....	202
4.5	Skladovanie a distribúcia vodíka a jeho derivátov	204
4.5.1	Skladovanie vodíka.....	205
4.5.2	Preprava a distribúcia vodíka a derivátov vodíka.....	227
4.5.3	Vodíková čerpacia infraštruktúra	236
4.6	Využitie vodíka na Slovensku	253
4.6.1	Súčasný dopyt po vodíku.....	253
4.6.2	Vodík ako palivo v doprave.....	254
4.6.3	Využitie vodíka v priemysle.....	270
4.6.4	Vodík pri výrobe elektriny.....	274
4.6.5	Technológie na výrobu elektriny z vodíka (H2P).....	276
4.6.6	Využitie mimo elektrickej siete	278
4.7	Vodíkové vzdelávanie a podpora výskumu a vývoja	280
4.7.1	Podpora vzdelávania o vodíku.....	280
4.7.2	Podpora výskumu a vývoja vodíkových technológií.....	283
4.7.3	Subjekty pôsobiace v oblasti vodíka.....	284
4.8	Čiastkový záver a odporúčania	286
4.8.1	Zdroje energie na výrobu vodíka a využitie elektrickej prenosovej sústavy	286
4.8.2	Využitie vodíka.....	288
4.8.3	Výroba, skladovanie a distribúcia vodíka.....	288
4.8.4	Vzdelávanie, výskum a inovácie	289
5	POTENCIÁLNE VODÍKOVÉ ÚDOLIA NA ÚZEMÍ SLOVENSKA.....	291
5.1	Úvod	291
5.2	Výberové kritériá a predpoklady pre vodíkové údolie	291
5.3	Vodíkové údolie Podunajsko.....	293
5.4	Vodíkové údolie dolné Považie.....	304
5.5	Vodíkové údolie Trenčín a horná Nitra	317
5.6	Vodíkové údolie Košice	330
5.7	Analýza rizík implementácie vodíkových údolí	346
5.8	Čiastkový záver a hodnotenie vodíkových údolí.....	347
6	SCENÁRE BUDÚCEHO ROZVOJA VODÍKOVÉHO HOSPODÁRSTVA V SLOVENSKEJ REPUBLIKE	351
6.1	Úvod	351
6.2	Popis scenárov rozvoja	351
6.2.1	Konzervatívny scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska	351
6.2.2	Stredný scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska	355
6.2.3	Ambiciózny scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska	358
6.3	Vyhodnotenie scenárov vrátane finančného modelu a rizikovej analýzy	362
6.3.1	Potrebné investície na naplnenie scenárov	362
6.3.2	Zabránené emisie CO ₂	365
6.3.3	Predpoklady a riziká	365
6.3.4	Predpokladané zvýšené náklady a sankcie	367
6.4	Odporúčaný scenár rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku.....	368
6.4.1	Návrh harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára.....	368
6.5	Potrebné legislatívne úpravy.....	372
6.5.1	Výroba vodíka	372
6.5.2	Výroba zo zemného plynu a ropy s CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage).....	374

6.5.3	Výroba vodíka z odpadu a biomasy s CCU / CCS	375
6.5.4	Uskladňovanie vodíka	376
6.5.5	Preprava vodíka a obchodovanie s vodíkom	379
6.5.6	Využitie vodíka – vodíkové elektrárne	380
6.5.7	Bezpečnostné a konštrukčné požiadavky	380
6.5.8	Výber a hodnotenie materiálov	381
6.5.9	Ochrana proti výbuchu a elektrická bezpečnosť	381
6.5.10	Tlakové nádoby a potrubia	382
6.5.11	Testovanie, kontrola a certifikácia	382
6.5.12	Požiadavky na kvalitu vodíka	384
6.5.13	Aplikácia vodíka v doprave	385
6.5.14	Vodíkové čerpace stanice - bezpečnosť prevádzky	390
6.5.15	Platby za pripojenie do energetických sietí	391
6.5.16	Odporúčania k legislatívnym procesom:	395
6.6	Čiastkový záver a odporúčania	395
6.6.1	Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku	395
6.6.2	Legislatívne úpravy týkajúce sa vodíkového hospodárstva	397
7	PRÍLOHY	398
7.1	Dokumenty a regulácie EÚ	398
7.2	Vodík v najväčších svetových ekonomikách	398
7.2.1	USA	398
7.2.2	Čína	399
7.3	Finančné nástroje podpory investičných projektov	400
7.3.1	Inovačný fond	400
7.3.2	Mechanizmus spravodlivej transformácie	401
7.3.3	Plán obnovy a odolnosti	402
7.3.4	Európska vodíková banka	402
7.3.5	Program Slovensko	403
7.3.6	Modernizačný fond	404
7.3.7	Dôležité projekty spoločného európskeho záujmu (IPCEI)	405
7.3.8	Program Stredná Európa (Interreg)	405
7.4	Vývoj energetického mixu na Slovensku	406
7.5	Kategorizácia úrovni technologickej pripravenosti	407
7.6	Analýza rizík vodíkových údolí	409
7.7	Hodnotenie vodíkových údolí na Slovensku	413
7.8	Metodika výpočtu ušetrených emisií oxidu uhličitého pre vodíkové údolia a scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva	416
7.9	Popis finančného modelu finálneho scenára	417
7.10	Kategorizácia vodíka podľa farebného označenia	419
7.11	Informačné zdroje a pramene	421

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Ciele dekarbonizácie EÚ a SR	15
Tabuľka 2: Prínosy vodíka v SR	17
Tabuľka 3: Prínosy vodíka v SR	21
Tabuľka 4: SWOT pre využívanie vodíka v SR	23
Tabuľka 5: Odporúčania pre relevantné oblasti	27
Tabuľka 6: Hodnotenie VÚ Slovenska	30
Tabuľka 7: Charakteristika posudzovaných scenárov	32
Tabuľka 8: Harmonogram stredného scenára	33
Tabuľka 9: Harmonogram scenára pre dopravu	34
Tabuľka 10: Kategorizácia vodíka	39
Tabuľka 11: Zdroje energie na výrobu v EÚ	41
Tabuľka 12: Elektrická energia z bezemisných zdrojov	42
Tabuľka 13: Dopyt po elektrickej energii vybrané krajiny EÚ	44
Tabuľka 14: Vodíkové údolia okolité krajiny	59
Tabuľka 15: Metodiky pre emisnú stopu výroby a distribúcie elektriny	60
Tabuľka 16: Príklady projektov veľkokapacitnej výroby a prepravy vodíka	66
Tabuľka 17: Príklady projektov transformácie priemyselnej výroby	67
Tabuľka 18: Príklady projektov dekarbonizácie petrochemického priemyslu	69
Tabuľka 19: Technické požiadavky na obstarávané regulačné služby	73
Tabuľka 20: Prehľad atómových elektrární v SR	113
Tabuľka 21: Porovnanie základných charakteristík solárnych, veterných a vodných elektrární	115
Tabuľka 22: Vybrané údaje k fotovoltickému potenciálu Slovenska	116
Tabuľka 23: Hydroenergetický potenciál povodí Slovenska	118
Tabuľka 24: Hydroenergetický potenciál elektrární v SR	119
Tabuľka 25: Výroba vodíka z odpadu a biomasy	125
Tabuľka 26: Potenciálne oblasti importu vodíka na Slovensku	129
Tabuľka 27: Hlavní aktéri elektrickej siete v SR	132
Tabuľka 28: Ďalší aktéri ovplyvňujúci elektrickú sieť v SR	133
Tabuľka 29: Vybrané údaje o prenosovej sústave v SR 2019 – 2023	133
Tabuľka 30: Vybrané údaje o prenosovej sústave v SR 2023	133
Tabuľka 31: Skupiny odberateľov elektriny podľa ÚRSO	134
Tabuľka 32: Tarify za systémové služby 2019 – 2025	134
Tabuľka 33: Priemerné tarify za prenos elektriny v EÚ 2021	135
Tabuľka 34: Priemerné tarify za prenos elektriny v EÚ 2019 – 2023	136
Tabuľka 35: Potencionálne voľný transformačný výkon - lokality hornej Nitry	140
Tabuľka 36: Obmedzenia v prenosovej a distribučnej sieti pre výrobu vodíka v SR	143
Tabuľka 37: CO ₂ intenzita výroby elektrickej energie v SR a v EÚ	144
Tabuľka 38: Vybrané škodlivé látky pri výrobe elektriny	144
Tabuľka 39: Emisie CO ₂ z výroby elektrickej energie v SR 2011 – 2024	149
Tabuľka 40: Emisie z plynových kotlov EMO	150
Tabuľka 41: Emisie technológií OZE a atómovej energie	151
Tabuľka 42: Emisie z technológií OZE a atómovej energie	153
Tabuľka 43: Projekty v rámci prenosovej a distribučnej sústavy	155
Tabuľka 44: Plánované projekty v prenosovej a distribučnej sústave	157
Tabuľka 45: Odporúčania pre rozvoj prenosovej sústavy do roku 2030	161
Tabuľka 46: Možnosti zabezpečenia elektrickej energie pre elektrolyzéry	161
Tabuľka 47: Výhody pripojenia elektrolyzérův na elektrickú sústavu	162
Tabuľka 48: Nevýhody pripojenia elektrolyzérův na elektrickú sústavu	162
Tabuľka 49: Regulačný rámec EÚ pre obnoviteľný vodík	162
Tabuľka 50: Inštalovaný výkon z nových kapacít OZE	163
Tabuľka 51: Odporúčania pre medzinárodnú spoluprácu SR	166
Tabuľka 52: Výhody a nevýhody kontraktov energetického obstarávania	170
Tabuľka 53: Aspekty kontraktov energetického obstarávania	170
Tabuľka 54: Porovnanie základných parametrov hlavných technológií elektrolyzy	176
Tabuľka 55: Prognóza nákladov a parametrov technológií elektrolyzérův	181
Tabuľka 56: Skladovanie vodíka v plynnom skupenstve	206
Tabuľka 57: Vybrané fyzikálne vlastnosti palív a energetických nosičův	208
Tabuľka 58: Skladovanie vodíka v kvapalnom skupenstve, výhody	209

Tabuľka 59: Skladovanie vodíka v zlúčeninách a na nosičoch	217
Tabuľka 60: Skladovanie vodíka v podzemných geologických zásobníkoch	225
Tabuľka 61: Porovnanie vybraných foriem vodíka	229
Tabuľka 62: Počty vodíkových čerpacích staníc v Európskej únii	237
Tabuľka 63: Usmernenia Únie pre transeurópsku dopravnú sieť	239
Tabuľka 64: Vodíkové čerpacie stanice v ČR 2024	242
Tabuľka 65: Plánované vodíkové čerpacie stanice v ČR	242
Tabuľka 66: Vodíkové čerpacie stanice v Maďarsku	243
Tabuľka 67: Vodíkové čerpacie stanice v Rakúsku	244
Tabuľka 68: Vodíkové čerpacie stanice v Poľsku	244
Tabuľka 69: Parametre návrhu vodíkových čerpacích staníc	246
Tabuľka 70: Dotazníkový prieskum trhu o spotrebe a výrobe vodíka	254
Tabuľka 71: Evidované vozidlá v SR s najvyšším potenciálom pre využitie vodíka	256
Tabuľka 72: Spotreba PHM a energie v doprave SR	259
Tabuľka 73: Výhody a nevýhody vodíka v osobnej doprave	260
Tabuľka 74: Európske ciele znižovania emisií CO ₂	261
Tabuľka 75: Minimálne kvóty ekologických vozidiel vo verejnom záujme	261
Tabuľka 76: Výhody a nevýhody vodíka v nákladnej a ťažkej doprave	262
Tabuľka 77: Výhody a nevýhody vodíka v autobusovej doprave	263
Tabuľka 78: Výhody a nevýhody vodíka v železničnej doprave	265
Tabuľka 79: Emisie v priemysle Slovenska	271
Tabuľka 80: Vodíkové palivové články	277
Tabuľka 81: Prieskum informovanosti o vodíkových technológiách	282
Tabuľka 82: Subjekty v oblasti vodíkového hospodárstva, výskumu a vývoja v SR	286
Tabuľka 83: Spoločné predpoklady vodíkových údolí	293
Tabuľka 84: Energetické ukazovatele Bratislavského kraja 2019 – 2023	295
Tabuľka 85: Zdroje elektrickej energie pre výrobu vodíka VÚ Podunajsko	296
Tabuľka 86: Počty registrovaných vozidiel VÚ Podunajsko	298
Tabuľka 87: Počty bezemisných vozidiel v Bratislavskej MHD	298
Tabuľka 88: Počty vozidiel s vodíkovým pohonom vo VÚP	298
Tabuľka 89: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka	301
Tabuľka 90: Súhrn investičných nákladov na výrobu vodíka na vodíkové čerpacie stanice	302
Tabuľka 91: Súhrn investičných nákladov na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel	302
Tabuľka 92: Mesačná štatistika uchádzačov o zamestnanie k 11/2024	303
Tabuľka 93: Predpoklad spotreby obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO ₂ VÚ Podunajsko 2030	304
Tabuľka 94: Energetické ukazovatele Trnavského kraja 2019 – 2023	306
Tabuľka 95: Zdroje elektrickej energie pre výrobu vodíka vo VÚ Dolné Považie	307
Tabuľka 96: Počty registrovaných vozidiel vo VÚDP	309
Tabuľka 97: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo VÚDP	309
Tabuľka 98: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka	313
Tabuľka 99: Investičné náklady na výrobu vodíka na vodíkové čerpacie stanice VÚDP	314
Tabuľka 100: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel VÚDP	314
Tabuľka 101: Mesačná štatistika uchádzačov o zamestnanie 11/ 2024	316
Tabuľka 102: Predpoklad spotreby obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO ₂ VÚ Podunajsko 2030	317
Tabuľka 103: Energetické ukazovatele Trenčianskeho kraja 2019 – 2023	320
Tabuľka 104 : Potenciál obnoviteľných zdrojov elektrickej energie pre výrobu vodíka vo TVÚ	321
Tabuľka 105: Súčasný stav vodíkového hospodárstva v Trenčianskom kraji	322
Tabuľka 106: Počty registrovaných vozidiel vo VÚ Trenčín a Horná Nitra	324
Tabuľka 107: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo TVÚ	325
Tabuľka 108: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka	326
Tabuľka 109: Investičné náklady na výrobu vodíka na vodíkovú čerpaciu stanicu	327
Tabuľka 110: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel	327
Tabuľka 111: Prehľad projektov a iniciatív v rámci TVÚ	328
Tabuľka 112: Mesačná štatistika o počte a štruktúre uchádzačov o zamestnanie 11/2024	328
Tabuľka 113: Predpokladaná spotreba obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO ₂ vo TVÚ 2030	330
Tabuľka 114 : Energetické ukazovatele Košického kraja 2019 – 2023	332
Tabuľka 115: Súčasný stav vodíkového hospodárstva v KVÚ	334
Tabuľka 116: Prehľad zdrojov elektrickej energie pre výrobu vodíka v KVÚ	334
Tabuľka 117: Registrované cestné vozidlá v KVÚ	335
Tabuľka 118: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka v KVÚ	336

Tabuľka 119: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo KVÚ	337
Tabuľka 120: Investičné náklady na výrobu vodíka na jednu vodíkovú čerpaciu stanicu	339
Tabuľka 121: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel	339
Tabuľka 122: Prehľad projektov a iniciatív v rámci KVÚ	342
Tabuľka 123: Mesačná štatistika uchádzačov o zamestnanie 04/2025	344
Tabuľka 124: Priemerná trhová cena pozemkov vybrané okresy Košického kraja a SR 2018	345
Tabuľka 125: Predpokladaná spotreba obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO ₂ v KVÚ 2030	346
Tabuľka 126: Hodnotenie rizík implementácie vodíkových údolí	347
Tabuľka 127: Charakteristika spotreby vodíka v konzervatívnom scenári	353
Tabuľka 128: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel konzervatívnom scenári	354
Tabuľka 129: Technické parametre výroby vodíka v konzervatívnom scenári	354
Tabuľka 130: Bilancia spotreby a výroby vodíka v konzervatívnom scenári	355
Tabuľka 131: Charakteristika spotreby vodíka v strednom scenári	356
Tabuľka 132: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel strednom scenári	357
Tabuľka 133: Technické parametre výroby vodíka v strednom scenári	358
Tabuľka 134: Bilancia spotreby a výroby vodíka v strednom scenári	358
Tabuľka 135: Charakteristika spotreby vodíka v ambicióznom scenári	360
Tabuľka 136: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel ambicióznom scenári	360
Tabuľka 137: Technické parametre výroby vodíka v ambicióznom scenári	361
Tabuľka 138: Bilancia spotreby a výroby vodíka v ambicióznom scenári	362
Tabuľka 139: Zhrnutie základných výsledkov jednotlivých scenárov pre SR	363
Tabuľka 140: Zhrnutie potrebných investičných nákladov jednotlivých scenárov	364
Tabuľka 141: Zhrnutie redukcie emisií CO ₂ v jednotlivých scenároch	365
Tabuľka 142: Zhrnutie rizík v jednotlivých scenároch	367
Tabuľka 143: Harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára	370
Tabuľka 144: Harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára pre dopravu	371
Tabuľka 145: Energetický mix Slovenska 2019 – 2024 s výhľadom do 2026	407
Tabuľka 146: Definície jednotlivých úrovní technologickej pripravenosti (TRL)	408
Tabuľka 147: Analýza a hodnotenie rizík vybraných vodíkových údolí Slovenska	412
Tabuľka 148: Hodnotenie vybraných vodíkových údolí Slovenska	415
Tabuľka 149: Zhrnutie informačných zdrojov a prameňov	423

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Hodnotový reťazec vodíka v SR	16
Obrázok 2: Integrácia výroby energie.....	19
Obrázok 3: Vodíkové údolia	27
Obrázok 4: Európske vodíkové údolia.....	28
Obrázok 5: Navrhované lokality pre vodíkové údolia v SR	28
Obrázok 6: Podiel výroby elektrickej energie v EÚ	41
Obrázok 7: Podiel OZE na výrobe elektrickej energie v EÚ od roku 2011.....	42
Obrázok 8: Zmena dodávky elektriny v EÚ v cezhraničnom obchode po roku 2015	43
Obrázok 9: Elektrifikácia spotrebovanej energie v EÚ.....	45
Obrázok 10: Členovia EHB	47
Obrázok 11: Mapa European Hydrogen backbone na území EÚ	48
Obrázok 12: Juhovýchodný a Východný koridor EHB	49
Obrázok 13: Vodíkový ekosystém – prepájanie sektorov	52
Obrázok 14: Vodíkový reťazec	55
Obrázok 15: Koncept vodíkového údolia	56
Obrázok 16: Formovanie vodíkových údolí, regiónov	57
Obrázok 17: Náklady na výrobu vodíka z hybridnej solárnej a veternej energie do roku 2050, 2030.....	61
Obrázok 18: Veľkokapacitná výroba a preprava vodíka do strednej Európy	63
Obrázok 19: Rozsah intenzity emisií pre analyzované technológie (kg CO ₂ eq/kgH ₂).....	79
Obrázok 20: Hodnotenie spotreby energie elektrolyzérmi.	80
Obrázok 21: Hodnotový reťazec vodíka v SR	105
Obrázok 22: Štruktúra výroby elektriny v elektrizačnej sústave SR, 2023	106
Obrázok 23: Štruktúra inštalovaného výkonu elektrizačnej sústave SR 2023.....	107
Obrázok 24: Bilancia celkovej výroby a spotreby elektriny SR za roky 2010 – 2023	108
Obrázok 25: Pribeh elektrického zaťaženia sústavy a jeho pokrývania počas dňa.....	109
Obrázok 26: Mapa zdrojov elektrickej energie SR.....	110
Obrázok 27: Hodnoty LOLE (h/rok) pre stredný referenčný scenár ENTSO-E.....	111
Obrázok 28: Priemerný ročný slnečný svit 1961 – 2010 a fotovoltický potenciál Slovenska 2019.....	115
Obrázok 29: Priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške 10 m a 100 m nad povrchom.....	117
Obrázok 30: Geotermálna mapa SR - 3000 m pod povrchom	121
Obrázok 31: Hierarchia odpadového hospodárstva	123
Obrázok 32: Ilustrácia výroby vodíka z rôznych druhov odpadu.....	126
Obrázok 33: Import a export vodíka do SR	127
Obrázok 34: Hlavné toky vodíka a derivátov 2050 v mil. t ekvivalentu vodíka za rok.....	129
Obrázok 35: Potenciál využitia transportných potrubí zemného plynu pre dovoz vodíka	130
Obrázok 36: Diagram elektrickej siete.....	131
Obrázok 37: Prepojenie Slovenska s ENTSO-E	131
Obrázok 38: Výhľadová schéma PS SR do roku 2032 na účel sieťových výpočtov.....	137
Obrázok 39: Voľný inštalovaný výkon na zdroje a uskladnenia elektriny do elektrizačnej sústavy.....	138
Obrázok 40: Výroba vodíka z prebytkov z elektrickej siete.....	139
Obrázok 41: Energetický mix výroby elektrickej energie v SR 2024	145
Obrázok 42: Trend CO ₂ intenzity výroby elektrickej energie v SR 2000 – 2024.....	146
Obrázok 43: CO ₂ intenzita výroby elektrickej energie v EÚ 2023	148
Obrázok 44: Emisie CO ₂ z výroby elektrickej energie v SR 2022 – 2024	149
Obrázok 45: Vývoj emisného mixu výroby elektriny 2021-2023 a odhad na 2030	151
Obrázok 46: Podiel fosílnych a bezemisných zdrojov elektriny v SR v 2023 a odhad na 2030	152
Obrázok 47: Diagram vzťahu medzi vodíkom a sektormi energetiky a priemyslu	167
Obrázok 48: Rozklad vody pomocou elektrolyzy (alkalická elektrolyza).....	173
Obrázok 49: Proces výroby a spracovania vodíka elektrolyzou vody	174
Obrázok 50: Zjednodušený proces výroby vodíka zo zemného plynu s CCS	184
Obrázok 51: Porovnanie ceny vodíka vyrobeného metódou SMR s CCS a bez CCS v rokoch 2025 a 2050.....	185
Obrázok 52: Porovnanie emisií vodíka vyrobeného z SMR s CCS a bez CCS.....	187
Obrázok 53: Ilustrácia výroby vodíka z rôznych druhov odpadu.....	190
Obrázok 54: Odber a spotreba vody pre relevantné technológie výroby vodíka.....	194
Obrázok 55: Hydrogeologická mapa najvýdatnejších zdrojov podzemnej vody.....	196
Obrázok 56: Vodonosný potenciál z povrchových a podzemných vodných zdrojov.....	197
Obrázok 57: Priestorové hodnotenie dopadov sucha na podzemnú vodu SR 2011 - 2020	197
Obrázok 58: Monitoring sucha v pôde 2024.....	198

Obrázok 59: Veľkoplošné chránené územia prírody SR	199
Obrázok 60: Skladovanie a distribúcia vodíka	204
Obrázok 61: Náklady na prepravu vodíka	230
Obrázok 62: Investičné náklady na vodíkové potrubia.....	231
Obrázok 63: Náklady na prepravu vodíka	232
Obrázok 64: Mapa prepravného systému H2I-TR	233
Obrázok 65: Mapa plánu rozvoja vodíkovej distribučnej siete.....	236
Obrázok 66: Počty vodíkových čerpacích staníc v Európskej únii.....	238
Obrázok 67: Pan-európska dopravná sieť	240
Obrázok 68: Regionálna pan-Európska dopravná sieť	240
Obrázok 69: Trate vhodné pre vodíkovú železničnú dopravu	241
Obrázok 70: Prevádzkované a pripravované vodíkové čerpacie stanice v ČR.....	243
Obrázok 71: Vodíkové čerpacie stanice na Slovensku a v susediacich krajinách EÚ	247
Obrázok 72: Návrh siete vodíkových čerpacích staníc do roku 2030 a 2035.....	249
Obrázok 73: Schéma vodíkovej čerpacej stanice.....	251
Obrázok 74: Priemerné ročné teploty v SR	257
Obrázok 75: Georeliéf Slovenska	258
Obrázok 76: Železničná mapa Slovenskej republiky.....	264
Obrázok 77: Vnútrozemské vodné toky v Slovenskej republike	266
Obrázok 78: Letiská v SR	268
Obrázok 79: Podiel udržateľného leteckého paliva	269
Obrázok 80: Výroba vodíka - možnosti	275
Obrázok 81: Percento respondentov, ktorí sú informovaní o vodíku	281
Obrázok 82: Percento respondentov s voľbou prechodu vozidla na vodíkový pohon.....	281
Obrázok 83: Navrhované vodíkové údolia	292
Obrázok 84: Geografické ohraničenie vodíkového údolia Podunajsko.....	294
Obrázok 85: Vodíkové údolia Dolné Považie.....	305
Obrázok 86: Trenčianske vodíkové údolie	317
Obrázok 87: Rozvojové centrá Trenčianskeho vodíkového údolia	319
Obrázok 88: Košické vodíkové údolie.....	331
Obrázok 89: Hodnotenia vodíkových údolí Slovenska.....	349
Obrázok 90: Diagram hodnotenia vodíkových údolí	349
Obrázok 91: Produkcia vodíka kódovaná farebnou škálou.....	421

ZOZNAM SKRATIEK

Skratka	Vysvetlenie
~	Približne
AE	Atómová (jadrová) elektrárň
AEL	Alkalická elektrolyza (angl. alkaline electrolysis)
AFIR	
aFRR	automatic Frequency Restoration Reserve – helps to stabilize the frequency of the electricity grid automatically
ATR	autothermal reforming
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon capture and utilization
CCUS	Carbon capture, utilization and storage
CENELC	Európsky výbor pre normalizáciu v elektrotechnike
CfD	Contracts for Difference
CH₄	metán
CO	oxid uhoľnatý
CO₂	oxid uhličitý
CSP	Concentrated Solar Power Plant
čl.	článok
DRI	Priama redukcia železa (z angl. Direct reduction of iron)
EBO	Elektrárň Bohunice
EEA	Európska agentúra životného prostredia
EHB	Európska vodíková banka (European Hydrogen Bank)
EK	Európska komisia
EN	Elektrina
ENO	Elektrárň Nováky
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ENTOG	European Network of Transmission System Operators for Gas
EP	Európsky parlament
ETS	Systém obchodovania s emisiami EÚ(z angl. Emission Trading System)
EUR	Euro
EUROSTAT	Štatistický úrad Európskej únie
EÚ	Európska únia
EÚ-27	členské štáty EÚ
EV	Elektrické vozidlo (electric vehicle)
FC	Fuel cell
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FID	Final Investment Decision
FV	fotovoltický
FVE	Fotovoltická (solárna) elektrárň
gCO₂/kWh	Gramy CO ₂ na kilowatthodinu
G-komponent	Poplatok za prístup do sústavy

GHBD	Globálna databáza vodíkových projektov
GHG	Greenhouse gas
GJ	Gigajoul
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatthodina
H₂	vodík
cH₂	stlačený vodík (compressed hydrogen)
CH₄	metán (zemný plyn)
HEP	Hydroenergetický potenciál
IEA	International Energy Agency
IHA	Inštitút hospodárskych analýz
IPCEI	Dôležitý projekt spoločného európskeho záujmu (Important Projects of Common European Interest)
IRENA	International Renewable Energy Agency
IÚS	Integrovaná územná stratégia
JRC	Spoločné výskumné centrum Európskej komisie
KoHEP	Koncepcia využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR do roku 2030
kt	Kilotona, kiloton
KSK	Košický samosprávny kraj
kWh	Kilowatthodina
hWp	Kilowatt peak
LCOE	Levelized Cost of Electricity (Úroveň nákladov na vyrobenú elektrinu)
LCOH	Levelised Cost of Hydrogen
LOLE	Loss of Load Expectation
lH₂	skvapalnený vodík (liquid hydrogene)
LCA	Analýza životného cyklu (life Cycle Assessment)
LCOE	Levelised Cost of Energy
LNG	Skvapalnený zemný plyn (Liquefied Natural Gas)
LOHC	Kvapalné organické nosiče vodíka
M1	Osobné autá
M2	Vozidlá určené na prepravu osôb s viac ako 8 miestami na sedenie okrem miesta vodiča, a s najväčšou povolenou hmotnosťou do 5 ton.
M3	Vozidlá určené na prepravu osôb s viac ako 8 miestami na sedenie okrem miesta vodiča, a s najväčšou povolenou hmotnosťou nad 5 ton.
MD SR	Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky
MH SR	Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky
MHD	Mestská hromadná doprava
mFRR	manual Frequency Restoration Reserve – helps to stabilize the frequency of the electricity grid
MH SR	Ministerstvo hospodárstva SR
MJ	Megajoul
MŽP SR	Ministerstvo životného prostredia SR
mil.	Milón, miliónov
min.	Minúta, minút
mld.	Miliarda, miliárd
mt	milión ton

Mt	megatona
MVE	Malá vodná elektrárň
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrický výkon
MWh	Megawatt hodina
MWp	Megawatt peak
NAFTA	Slovenská plynárenská spoločnosť (alebo spoločnosť pre zásobníky)
napr.	napríklad
NEIS	Národný emečný informačný systém
NEKP	Národný energetický a klimatický plán
N1	Vozidlá navrhnuté a konštruované najmä na prepravu nákladu vyrábané na prevoz tovaru. Ich najvyššou prípustnou hmotnosťou je 3 500 kg
N2	Vozidlá navrhnuté a konštruované najmä na prepravu nákladu vyrábané na prevoz tovaru. Ich najvyššia prípustná hmotnosťou je vyššia ako 3 500 kg, ale neprevyšuje 12 000 kg
N3	Vozidlá tejto kategórie sú vyrábané na prevoz tovaru. Ich najvyššia prípustná hmotnosťou je viac ako 12 000kg
NH₃	amoniak (čpavok)
NVAS	Národná vodíková asociácia Slovenska
NVS	Národná vodíková stratégia
ods.	odsek
okr.	okres
OECD	Organizácia pre ekonomickú spoluprácu
OKTE	Organizátor krátkodobého trhu s elektrinou
OLO	Odvoz a likvidácia odpadu (Bratislava)
OZE/RES	Obnoviteľné zdroje energie (Renewable Energy Sources)
p.b.	Percentuálny bod
PDU	Podiel disponibilných uchádzačov o zamestnanie v produktívnom veku na obyvateľstve v produktívnom veku
PEM	PEM elektrolyzér (Proton exchange membrane)
PF	
Plán SET	Európsky strategický plán pre energetické technológie
PPA	Power Purchase Agreement
PSA	Pressure Swing Adsorption (Tlaková adsorpcia)
PVOUT	Fotovolitický výstupný potenciál
REPowerEU	Plán EÚ na posilnenie energetickej bezpečnosti
REDIII	Smernica o obnoviteľnej energii (z angl. Renewable Energy Directive)
RFNBO	Obnoviteľné palivá nebiologického pôvodu (Renewable Fuels of Non-Biological Origin)
SE	Slovenské elektrárne
SEOC	Solid Oxide Electrolyzer Cell
SEPS	Slovenská elektrizačná prenosová sústava
SET	Strategický energetický technologický ústav
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SMR	Parná reformácia metánu (z angl. Steam Methane Reforming)
SOE	Solid oxide electrolysis
SPP	Slovenský plynárenský priemysel
SR	Slovenská republika

ŠRH2	Štúdia realizovateľnosti vodíkového reťazca
t	tona, tony
TKO	tuhý komunálny odpad
TRL	Technology readiness level
TTSK	Trnavský samosprávny kraj
USSK	U.S. STEEL Košice, s.r.o.
ÚRSO	Úrad pre reguláciu sieťových odvetví
UN-Energy	Organizácia OSN pre energiu
VC/PE	Venture Capital / Private Equity
VE	Vodná elektrárň
VVE	Veľká vodná elektrárň
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
VÚ/H2V	Vodíkové údolie (Hydrogene valley)
VÚDP	Vodíkové údolie Dolné Považie
VÚP	Vodíkové údolie Podunajsko
WAM	scenár s ďalšími opatreniami („with additional measures”) predpokladá adoptovanie plánovaných politík a opatrení, ktoré zatiaľ neboli prijaté v základom roku pre projekcie, ale automaticky sa predpokladá ich implementácia a environmentálny efekt na emisie
WEM (BAU)	scenár s existujúcimi opatreniami („with existing measures”), scenár pokračovania nastúpeného postupu („business as usual”) – predpokladá, že opatrenia schválené a prijaté v základnom roku pre projekcie budú implementované do praxe
ZSE	Západoslovenská energetika

2 ÚVOD

Národný projekt „Štúdia realizovateľnosti pre využitie elektrickej energie z výrobných zdrojov na území SR s ohľadom na komplexný hodnotový reťazec výroby, prepravy, zhodnocovania a ďalšieho využitia vodíka“ (ďalej aj ako “Štúdia realizovateľnosti vodíkového reťazca” alebo “ŠRH2”) je zameraný na využitie zdrojov elektrickej energie v Slovenskej republike (SR) na výrobu vodíka a jeho ďalšie aplikácie v národnom hospodárstve.

Zadáateľom 2.1.2 štúdie je Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky (MH SR). Rezort má široké spektrum kompetencií. Jeho kľúčové úlohy zahŕňajú tvorbu a realizáciu hospodárskej politiky, podporu podnikateľského prostredia, podporu inovácií, koordináciu priemyselných stratégií, zahraničný obchod a podporu malých a stredných podnikov. MH SR je tiež zodpovedné za energetickú politiku štátu a reguláciu sieťových odvetví. Základná štruktúra dokumentu bola definovaná zadáateľom a aktualizovaná v spolupráci s konzultantskou spoločnosťou počas realizácie tejto aktivity národného projektu.

Tento dokument nie je strategickým dokumentom schvaľovaným vládou Slovenskej republiky v zmysle § 2 písm. a) zákona č. 24/2006 Z. z., ale má odporúčací a analytický charakter. Bol vypracovaný ako podklad pre podporu plnenia bodu F.4 uznesenia vlády SR č. 705/2023 a následne bodu C.9 uznesenia č. 275/2024 (v znení uznesenia č. 383/2024). Jeho účelom je poskytnúť vstupy pre ďalšiu prípravu strategických dokumentov, ako napríklad cestovnej mapy vodíkovej dekarbonizácie SR. Dokument má teda podporný a informatívny charakter bez právnej záväznosti a nevytvára rámec pre povoľovanie konkrétnych činností.

2.1 Manažérske zhrnutie

ŠRH2 vychádza zo súčasného stavu a možností Slovenska v oblasti výroby a využitia vodíka do roku 2030, aj keď niektoré predikcie, ktoré uvádza, nie je možné obmedziť týmto časovým rámcom. Želaným cieľom pre Slovensko je, aby rozvoj vodíkových technológií sledovalo a aby bolo v kontakte s aktuálnym dianím na európskej a globálnej úrovni a v neposlednom rade, aby vodík našiel svoje uplatnenie v ekonomike štátu.

Európska únia (Únia, EÚ) má ambíciu dosiahnuť nulovú čistú bilanciu emisií skleníkových plynov do roku 2050, v súlade s Parížskou dohodou. Tento cieľ sa stal záväzným prostredníctvom európskych právnych predpisov v oblasti klímy. Pravidlá stanovené v rámci Európskej zelenej dohody podporujú prechod na hospodárstvo a spoločnosť, ktoré sú klimaticky neutrálne.

Dôležitým míľnikom na tejto ceste bude rok 2030, pre ktorý sú stanovené nasledovné ciele dekarbonizácie.

CIELE do roku 2030		EÚ [%]	SR [%]
1	Emisie skleníkových plynov	-55,00	-22,7
2	Podiel obnoviteľných zdrojov energie celkom	32,00	25,00
3	Podiel obnoviteľných zdrojov energie v doprave	14,00	14,00
4	Energetická efektívnosť	32,50	30,30
5	Prepojenie energetických sústav	15,00	15,00

Tabuľka 1: Ciele dekarbonizácie EÚ a SR

Zdroj: Integrovaný národný energetický a klimatický plán (aktualizácia 04/2025)

Únia trvá na dosiahnutí týchto cieľov, a to aj napriek energetickej kríze, vážnej bezpečnostnej situácii a geopolitickej nestabilite vo svojom okolí, najmä v susediacich regiónoch východnej Európy. Táto bezpečnostná situácia a geopolitická nestabilita výrazne ovplyvnili rast cien energií, čo sa prejavuje vážnymi ekonomickými a spoločenskými dopadmi. To všetko vyúsťuje do potreby výraznej diverzifikácie importu energetických surovín, investovania do OZE, aby sa znížila závislosť na importe energetických zdrojov, zvyšovania energetickej efektívnosti, prehlbovania medzinárodnej spolupráce a prehodnocovania v oblasti verejnej politiky a regulácie.

V dôsledku tejto situácie sa zvyšuje význam obnoviteľného, resp. nízkoemisného vodíka (podrobnejšie v kapitole 3.2. Kategorizácia vodíka).

Vodík je horľavý bezfarebný plyn, bez chuti a zápachu. Je to najľahší, najjednoduchší a najrozšírenejší chemický prvok vo vesmíre a tvorí približne 75 % všetkej normálnej hmoty. Vyznačuje sa ďalšími špecifickými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Strategický

význam využitia obnoviteľného, resp. nízkoemisného vodíka je najmä v rámci dekarbonizácie a znižovania emisií, čo si ale vyžaduje vybudovanie kompletného hodnotového reťazca, ktorý zahŕňa jeho výrobu, distribúciu, uskladnenie, použitie, atď. Predstavuje jednak príležitosť pre rôzne aplikácie, ale aj veľkú výzvu pre hodnotový reťazec (vodíkové hospodárstvo).

Hodnotový reťazec vodíka znázorňuje nasledujúci obrázok.



Obrázok 1: Hodnotový reťazec vodíka v SR

Zdroj: NVAS

Cieľ úplnej dekarbonizácie Európy, ako aj posilnenia energetickej bezpečnosti krajín EÚ, nebude s veľkou pravdepodobnosťou bez využívania obnoviteľného alebo nízkoemisného vodíka možné dosiahnuť a jeho význam sa naďalej bude zvyšovať.

2.1.1 Zdôvodnenie a východiská štúdie

Dynamicky sa vyvíjajúca situácia v oblasti energetiky a priemyslu vytvára potrebu nadviazať na existujúce strategické dokumenty, aktualizovať ich a najmä definovať ekonomicky aj environmentálne udržateľný a realizovateľný scenár, ktorý bude podložený relevantnými analýzami výroby, prepravy, skladovania a využitia vodíka.

Závazky a ciele Slovenska v oblasti dekarbonizácie národného hospodárstva prostredníctvom využitia vodíka vyplývajú z medzinárodných a národných strategických a legislatívnych dokumentov.

Sú to najmä:

Globálna úroveň	Európska úroveň	Národná úroveň	Regionálna a miestna úroveň
- Agenda 2030 (Ciele udržateľného rozvoja) - Parížska globálna klimatická dohoda (Rámcový dohovor Organizácie Spojených národov o zmene klímy - Parížska dohoda)¹ - Hydrogen Economic Evaluation Program (HEEP) IAEA	- Európska zelená dohoda “Green Deal”/EÚ² (dosiahnutie dekarbonizačných cieľov) - Vodíková stratégia EÚ pre klimaticky neutrálnu Európu³ - Stratégia EÚ pre integráciu energetického systému⁴ - Plán REPowerEÚ⁵ - SET - Smernica o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (RED III)⁶ - Balík EÚ Fit for 55⁷ - Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá (AFIR)⁸ - nariadenia o trhu s vodíkom a plynom - Smernice o preprave nebezpečných látok	- Programové vyhlásenie vlády SR na roky 2023 – 2027⁹ - Národná vodíková stratégia (NVS); - Akčný plán opatrení úspešnej realizácie NVS do roku 2026¹ - Bilancia výroby, spotreby, importu a exportu vodíka v SR a možné scenáre do roku 2030 a 2050 - Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030¹⁰ - Slovenská nízkouhlíková stratégia do roku 2030 s výhľadom do roku 2050¹¹ - Stratégia SEPS a Slovenských elektrární - Vodíkové a energetické stratégie vybraných európskych krajín (Česko, Nemecko, Maďarsko, Rakúsko, Poľsko, Ukrajina)¹².	- IÚS jednotlivých krajov - Sektorové stratégie a koncepcie - Košická vodíková stratégia

Tabuľka 2: Prínosy vodíka v SR

Zdroj: stengl, a.s.

¹ <https://www.enviroportal.sk/dokument/parizska-globalna-klimaticka-dohoda>;

² Rada EÚ: Európska zelená dohoda. (<https://www.consilium.europa.eu/sk/policies/green-deal/>)

³ EÚ: Vodíková stratégia pre klimaticky neutrálnu Európu. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0301>)

⁴ EÚ: Stratégia EÚ pre integráciu energetického systému. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/ALL/?uri=CELEX:52020DC0299>)

⁵ EÚ: Plán REPowerEÚ. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/DOC/?uri=CELEX:52022DC0230>)

⁶ EÚ: Smernica o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20220607>)

⁷ Rada EÚ: Balík EÚ Fit for 55 <https://www.consilium.europa.eu/sk/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>)

⁸ EÚ: Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0559>)

⁹ Vláda SR: Programové vyhlásenie vlády SR na roky 2023 – 2027. <https://www.nrsr.sk/web/Dynamic/DocumentPreview.aspx?DocID=535376>

¹⁰ MH SR: Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030 – návrh aktualizácie v procese schvaľovania.

¹¹ MŽP SR: Slovenská nízkouhlíková stratégia do roku 2030 s výhľadom do roku 2050. (<https://www.minzp.sk/klima/nizkouhlikova-strategia/>)

¹² European Hydrogen Observatory: National strategies (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/policies-and-standards/national-strategies>)

Implementácia týchto rámcov spolu s ďalšími medzinárodnými dohodami a predpismi vyžaduje od SR väčšiu iniciatívu aj v oblasti výroby a využitia vodíka.

Údaje v ŠRH2 vychádzajú aj z publikácií týchto inštitúcií:

- Štatistický úrad SR, MH SR,
- Ministerstvo dopravy SR (MD SR),
- Ministerstvo vnútra SR - Prezídium Policajného zboru SR,
- Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ),
- SEPS, a.s. (OKTE),
- Úrad pre reguláciu sieťových odvetví SR (ÚRSO),
- Štatistický úrad Európskej únie (EUROSTAT),
- Európska agentúra životného prostredia (European Environmental Agency - EEA),
- Medzinárodná agentúra pre obnoviteľné zdroje (International Renewable Energy Agency - IRENA),
- Spoločné výskumné centrum Európskej komisie (Joint Research Centre – JRC),
- Organizácia pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj (OECD),
- UN-Energy / CENELC,
- EMBER

(ďalšie sú uvedené v prílohovej časti ŠRH2).

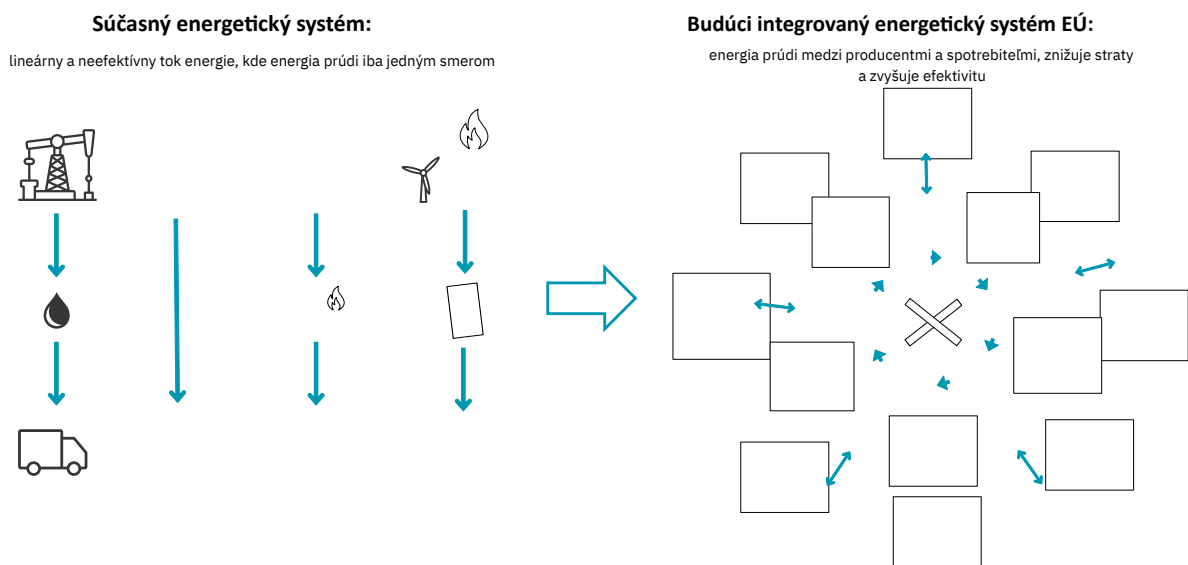
2.1.2 Hlavné zistenia a odporúčania

Tradične sa vodík používa ako surovina na výrobu užitočných chemických látok, ako sú amoniak a metanol, na zušľachtovanie a čistenie ropných produktov od síry, na hydrokrakovanie, na priamu redukciu železnej rudy a aj v iných odvetviach.

V rámci Slovenska sa sústreďuje väčšina výroby a využitia vodíka v rámci petrochemického a chemického priemyslu (Bratislava, Šaľa, Nováky). V hutníckom priemysle sa vodík aplikuje ako ochranná atmosféra pri rôznych tepelno-spracovateľských procesoch kovov a kovových komponentov (Košice, Vlkanová). V atómových elektrárnach sa vodík využíva ako ochranná atmosféra na chladenie turbogenerátorov.

Spotreba vodíka na Slovensku sa momentálne pohybuje na úrovni 170 – 180 tis. ton (2021 – 2023). Hlavnými spotrebiteľmi suroviny je šesť priemyselných podnikov, z pomedzi ktorých 99 % spotreby pripadá na Slovnaft Bratislava a Duslo Šaľa. V malom množstve sa vodík využíva aj v metalurgii. V doprave sa vodík zatiaľ využíva len na demonštračné a pilotné aktivity (napr. v mestskej verejnej doprave v Bratislave a perspektívne aj v ďalších krajských miestach, vývoj prototypov autobusov a kamiónov). Výroba vodíka pokrýva jeho spotrebu, avšak takmer výhradne vodíkom vyrobeným z fosílnych palív, najmä zo zemného plynu. Import alebo export nedosahuje ani 1000 t vodíka.

Uvažuje sa s využitím vodíka ako spojovacieho článku elektroenergetiky a plynárenstva a mohol by tak zastávať významnú úlohu pri dekarbonizácii globálneho energetického systému. Pri vyššom podiele obnoviteľných zdrojov energie (OZE) by sa vodík mohol stať energetickým médiom na sezónne skladovanie energie. Počíta sa s jeho využitím na ukladanie krátkodobých prebytkov elektrickej energie v sieti mimo odberových špičiek. Podľa týchto úvah by mohol vodík z časti nahradiť zemný plyn a prevziať úlohu batériových úložísk a prečerpávacích vodných elektrární. Jeho úloha v integrácii komponentov v oblasti energetiky, tak ako je presadzovaná v EÚ, je na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 2: Integrácia výroby energie
Zdroj: EU Energy System Integration Strategy

Pri hodnotení vodíka je dôležité zohľadniť jeho prínos pre celý kontext energetického systému. Vodík má potenciál prispieť k rastúcej elektrifikácii tým, že zlepši flexibilitu a odolnosť prenosovej a distribučnej elektrickej siete. Niektoré jeho výhody sú zrejmé až pri pohľade na systém ako celok.

Výskum vodíka ako nosiča energie je stále len v počiatočnom štádiu. Vylúčenie tejto možnosti by však bolo predčasné aj v kontexte dosiahnutia klimateckej neutrality do roku 2050. Preto je potrebný ďalší výskum a vývoj, ako aj demonštračné aktivity, na základe ktorých bude možné určiť, kde nájde vodík ako nosič energie svoje optimálne uplatnenie.

Odvetvia, v ktorých sa skúma potenciál uplatnenia vodíka a vodíkových technológií sú aj doprava a stavebníctvo, ktorý sa tiež význame podieľajú na emisii skleníkových vplyvov. Aplikácie vodíkových technológií sa hľadajú aj v pôdohospodárstve a potravinárskom priemysle (výroba tepla pre sušiarne a sklady produkcie, liehovary, pekárne, pohon ťažkých mechanizmov, výroba rastlinných tukov) a v elektrochemickom priemysle (výroba polovodičov a procesorov - vytvorenie redukčného prostredia potrebného pre niektoré fázy výrobného procesu).

Vodíkové hospodárstvo sa v rámci EÚ vyvíja pomalšie, ako bolo pôvodne naplánované. Na tomto stave sa podieľa zvýšená regulácia a obmedzený vplyv trhu. Konečný rozsah zavádzania vodíka do energetického systému je stále predmetom odborných diskusií a testovacích a pilotných projektov. Závisí to od komercializácie elektrifikácie a vodíkových technológií. Avšak výhody vodíka sa postupne stávajú jasnejšími a ekonomická príležitosť je významná.

Slovensko má pomerne vyrovnanú bilanciu výroby a spotreby elektriny. Väčšinu vyrába v atómových a vodných elektrárňach, a aj preto v roku 2024 dosiahlo veľmi nízku emisnú intenzitu 99,13 gCO₂/kWh s ďalším klesajúcim trendom. Aby elektrina odobraná zo siete na výrobu vodíka sa považovala za obnoviteľnú, teda vhodnú na výrobu nízkoemisného vodíka, musí dosiahnuť hranicu emisnej intenzity 64,8 gCO₂/kWh. Väčšina elektrickej energie na Slovensku sa vyrába v jadrových elektrárňach, pričom podiel jadrovej energie na celkovej výrobe energie bude narastať, keďže sa plánuje pridávanie ďalších kapacít jadrovej energie. Táto energia by sa mohla využiť na výrobu nízkoemisného, avšak zatiaľ pomerne drahého vodíka. Existuje tiež potenciál na výstavbu a pripojenie nových obnoviteľných zdrojov (na výrobu obnoviteľného vodíka).

Vďaka geografickej aj geopolitickej polohe je na Slovensku vybudovaná rozsiahla infraštruktúra plynovodov, po úprave použiteľná aj pre prepravu vodíka. Pre skladovanie vodíka a jeho derivátov existuje tiež dostatok vhodných alternatív. Reliéf SR sa javí ako vhodný aj pre vodíkom poháňanú nákladnú dopravu a slovenský priemysel môže tiež podstatne navýšiť používanie vodíka ako zdroja a úložiska energie ale aj vstupnej suroviny.

Je potrebné povzbudiť inovácie aj v oblasti vodíka, pretože treba vyvinúť potrebné vodíkové technológie, infraštruktúra vodíkových čerpacích staníc je prakticky nulová. To všetko vyžaduje podstatné investície, ktoré ale vo veľkej miere poskytujú finančné nástroje na podporu relevantných investičných projektov, primárne, ale nielen, zo zdrojov EÚ a pri dostatočnej atraktivite projektov aj zo súkromných, podnikateľských a investičných zdrojov.

Prínosy vodíka pre dekarbonizáciu vybraných oblastí		
Priemysel	Energetika	Doprava a ďalšie odvetvia
• surovina pri výrobe ocele (čiastočná alebo úplná náhrada za koks vyrábaný z čierneho uhlia). • Dekarbonizácia odvetví priemyslu, ktoré nie je možné alebo je ekonomicky neefektívne dekarbonizovať priamou elektrifikáciou (napr. chemický priemysel, ktorý je náročný na spotrebu vodíka).	• Diverzifikácia zdrojov a energetická bezpečnosť (alternatíva k fosílnym palivám) • Výroba vodíka môže poskytovať podporné služby pre elektrickú sústavu (stabilita, flexibilita), najmä pri integrácii nových kapacít OZE do energetického systému Slovenska (nevyrovnanosť výkonu sťažuje integráciu nových kapacít OZE). • Zvyšovanie energetickej účinnosti tvorbou	• Uplatnenie aj pri výrobe tzv. e-palív, ako palivo v energetike alebo v rôznych módoch dopravy. • Dekarbonizácia cestnej nákladnej dopravy (hlavne na dlhšie vzdialenosti). • uplatnenie aj ako zdroj tepla, • vstupná surovina do výrobných procesov (výroba cementu, potravinárstve), pri výrobe takzvaných e-palív, aj ako palivo v energetike alebo v rôznych druhoch dopravy. • Stimulácia akademického prostredia a zapájanie sa

komplexných energetických systémov založených na moderných vodíkových technológiach (cieľ EÚ).	slovenských vedecko-výskumných inštitúcií do medzinárodnej spolupráce a skvalitnenie výskumnej infraštruktúry
• Potenciálne vhodné médium na uchovávanie energie (nádoby, podzemné úložiská).	

Tabuľka 3: Prínosy vodíka v SR

Zdroj: stengl, a.s.

Nasledujúca SWOT analýza popisuje východisko pre využívanie vodíka v Slovenskej republike:

SILNÉ STRÁNKY	PRÍLEŽITOSTI
Slovensko má: • relatívne nízku CO₂ intenzitu výroby elektrickej energie v rámci členských štátov EÚ a aktuálne najnižšiu v rámci regiónu východnej strednej Európy; • vybudovanú rozsiahlu plynárenskú infraštruktúru a dlhoročné skúsenosti s tranzitom, distribúciou a skladovaním zemného plynu v podzemných zásobníkoch; • vedecko-výskumnú základňu, ktorá sa venuje základnému a aplikovanému výskumu využitia vodíka v priemysle, doprave, energetike, atď.; • prijatú národnú vodíkovú stratégiu a akčný plán jej realizácie do roku 2026. • chemický, petrochemický a hutnícky priemysel, ktorý má dlhoročné skúsenosti s produkciou a využívaním vodíka na výrobu minerálnych hnojív, odsírenie ropných derivátov, vytvorenie H_{Nx} ochrannej atmosféry, atď. • existujúcu podporu EÚ pre rozvoj projektov týkajúca sa priemyselných odvetví a služieb využívajúcich obnoviteľný vodík do a aj po roku 2030 (Vodíková stratégia EÚ, REPowerEU, smernica REDIII, Fit for 55)	Slovensko môže: • plniť rolu tranzitného uzla pre medzinárodný transport vodíka smerujúci do Nemecka a Rakúska, ak vybuduje potrebnú infraštruktúru a zabezpečí regulačnú kompatibilitu¹³. • využiť potenciál rastu dopytu po vodíku v priemysle a doprave • Sa zapojiť do európskych strategických projektov zameraných na dekarbonizáciu priemyslu a dopravy • dosiahnuť Vytváranie pracovných miest s vyššou pridanou hodnotou • umožniť Zavádzanie inovatívnych technológií • dosiahnuť nízke ceny obnoviteľných palív v strednom časovom horizonte • poskytovať podporné služby pre elektrizačnú prenosovú sústavu a integrácia premenlivých OZE do elektrizačnej sústavy Slovenska • využiť možnosť dlhodobého uskladnenia elektrickej energie vo forme vodíka s následnou výrobou elektrickej energie z neho. • previesť modifikáciu existujúcej tranzitnej plynovej infraštruktúry, ktorá by vyvárała príležitosti na generovanie príjmov plynúcich z tranzitu vodíka cez územie krajiny vo forme tranzitných a distribučných poplatkov. • umožniť Budovanie vodíkových údolí s produkciou a spotrebou vodíka v priemysle, doprave, atď.

¹³ TÜV SÜD vydal potvrdenie kompatibility vysokotlakovej plynárenskej siete a regulačných staníc s prevádzkou 5%-ého podielu H₂ v zmesi so zemným plynom. V distribučnej sieti plynovodov, bola kompatibilita preukázaná až do úrovne 10 % H₂ v tejto zmesi. Po určitých úpravách použiť by sa dala táto existujúca plynárenská sieť použiť aj na tranzit a distribúciu obnoviteľného, resp. nízkoemisného vodíka.

SLABÉ STRÁNKY	HROZBY
Na Slovensku: • sa obnoviteľný a nízkouhlíkový vodík aktuálne využíva veľmi zriedkavo a neexistuje priemyselná / komerčná výroba obnoviteľného alebo nízkouhlíkového vodíka • je nedostatočne pripravená legislatíva na vybudovanie komplexného vodíkového hodnotového reťazca • sú nedostatočné skúsenosti s využívaním vodíka a vodíkových technológií mimo chemického, petrochemického a metalurgického priemyslu • je nízka úroveň povedomia a absencia podpory verejnej mienky štátom pre inovatívne riešenia v energetike, vrátane vodíkových technológií. • existujú administratívne a legislatívne bariéry rozvoja nových kapacít OZE • je nedostatočná podpora pre budovanie nových kapacít niektorých druhov OZE využiteľných pre výrobu obnoviteľného vodíka (najmä veterná energia) • sú vysoké obstarávacie a prevádzkové náklady na realizáciu projektov v súčasných podmienkach, ktorých ekonomická udržateľnosť je ťažko dosiahnuteľná bez externej finančnej podpory • Je dosť vysoký investičný dlh v rámci rozvoja distribučných elektrických sietí, čo sa prejavuje tým, že vo viacerých regiónoch Slovenska je prenosový výkon limitovaný, tak isto ako ich kapacita, stabilita a flexibilita • Je ohrozené naplnenie cieľov do roku 2030 (RED III, Fit for 55) je ohrozené pre krátke časové rámce, nízku pripravenosť krajiny a technické obmedzenia niektorých odberateľov.	• elektrifikácia sa môže javiť lepším riešením v určitých aplikáciách • ťažko predvídateľný vývoj cien vodíkových technológií • nárast konkurencie v okolitých krajinách • pomalé budovanie nových kapacít OZE do roku 2030 • obmedzený potenciál nových OZE na území Slovenska • príliš veľká regulácia energetického trhu a diskriminujúce regulačné opatrenia • obmedzená kapacita pripájania nových OZE zdrojov do distribučnej elektrickej siete • chýbajúci import cenovo výhodného obnoviteľného a nízkoemisného vodíka, čím bude naplnenie cieľov v priemysle do roku 2030 ohrozené bez veľkej finančnej a politickej podpory

Tabuľka 4: SWOT pre využívanie vodíka v SR

Zdroj: stengl, a.s.

Nízkoemisný vodík môže významnou mierou prispieť k naplneniu Parížskej dohody a Európskej zelenej dohody, zásadným stratégiami, ktoré sa sústreďujú na boj proti zmene klímy a dosiahnutiu klimatickej neutrality. Nízkoemisný vodík má potenciál nahradiť fosilný vodík používaný v priemysle a môže slúžiť ako čiastočné, resp. doplnkové riešenie týchto výziev v rámci integrovaného energetického systému a/alebo ako alternatíva k iným riešeniam (napr. elektromobily a celá elektromobilita, zdroje a úložisko energie a pod.).

Nasledujúca časť zhrňa odporúčania pre jednotlivé relevantné oblasti:

Oblasť	Odporúčania
Verejná politika a legislatívny rámec vplyvajúci na vodíkové hospodárstvo	• Harmonizovať predpisy SR s právom EÚ v oblastiach infraštruktúry, bezpečnosti prepravy, výstavby vodíkovej infraštruktúry, ako aj prevádzky vozidiel na alternatívne palivá (smernica RED III 2024/1788 vrátane certifikačných systémov a technických noriem pre vodíkovú infraštruktúru; nariadenie 2024/1789 najmä v oblasti prevádzky sietí, trhu s vodíkom a práv spotrebiteľov). • Konat' vo veci ujasnenia si pozície a postoja k potenciálu využívania obnoviteľného vodíka alebo nízkoemisného vodíka. • Stanoviť si do roku 2030 realistický cieľ a po roku 2030/2035 ambiciózny cieľ do roku 2050 a zabezpečiť politickú aj fiškálnu podporu plnenia tohto cieľa podľa vzoru iných sociálno-ekonomicky a demograficky porovnateľných EÚ krajín • Prijat' úpravu legislatívy týkajúcu sa bezpečnosti vodíkových vozidiel v podzemných garážach a vypracovať štandardizované pravidlá predpisov, ktoré musia spĺňať detekčné a ventilačné systémy. • Spolupracovať s regulačnými orgánmi a ústrednými orgánmi štátnej správy SR a v rámci regiónu, aby sa zabezpečili jasné pravidlá regulácie v tejto oblasti. Osobitnú pozornosť venovať prípadným nedostatkom regulácie, ako aj potrebám novelizácie právnych predpisov s cieľom zabezpečiť rozvoj trhu s vodíkom, bezpečnosť a tým pádom aj splnenie klimatických cieľov.
Financovanie a podpora vodíkového hospodárstva	• Prijat' potrebné opatrenia na upevnenie ekonomickej hodnoty vodíkovej ekonomiky (napr. systémová integrácia obnoviteľného vodíka, alebo výroba a vývoj vodíkových technológií, resp. technologických komponentov, o ktoré bude záujem na svetovom trhu). • Vytvoriť transparentný a predvídateľný mechanizmus financovania na podporu cieľov vodíkovej politiky. Zlepšiť koordináciu na zabezpečenie hodnoty za peniaze z financovania inovačných projektov a prijat' opatrenia na zefektívnenie čerpania financií. • Strategicky sa zamerať na projekty s multiplikačným efektom, zjednodušenie administratívy a posilnenie partnerstiev medzi štátom, podnikmi a výskumnými inštitúciami. • Cielene podporiť pilotné projekty a demonštračné aktivity v priemysle a doprave s využitím prostriedkov Modernizačného fondu a Programu Slovensko na demonštračné projekty v priemysle a doprave. • Podporiť synergie vo využívaní verejných a súkromných zdrojov – podpora partnerstiev s investormi (VC/PE) pre projekty s vysokou pridanou hodnotou (napr. výroba elektrolyzérův). • Podporiť budovanie a zvyšovanie kapacít verejnej správy – školenia pre efektívne riadenie projektov financovaných z IPCEI a Inovačného fondu. • Podporovať medzinárodnú spoluprácu na výmenu skúseností a spoločné projekty (napr. program INTERREG Stredná Európa, výzvy Clean Hydrogen Partnership)
Trhové trendy a technická realizovateľnosť vodíkového	• Prijat' opatrenia na upevnenie ekonomickej hodnoty vodíkovej ekonomiky na Slovensku (napr. systémová integrácia alebo výroba). • Podporiť domácu ekonomicky efektívnu výrobu obnoviteľného a nízkoemisného vodíka.

**hospodárstva do
roku 2030**

- Podporiť cenovo výhodný import obnoviteľného a nízkoemisného vodíka cez upravenú plynárenskú infraštruktúru.
 - Využiť silné stránky Slovenska (nízka CO₂ intenzita výroby elektrickej energie; vybudovaná prepravná a distribučná plynárenská infraštruktúra, ktorá by sa dala po úpravách použiť pre tranzit a distribúciu obnoviteľného vodíka resp. do roku 2030 zníženie uhlíkovej stopy plynárenskej infraštruktúry atď.)
 - Využiť existujúce a vznikajúce príležitosti: zapojenie sa do európskeho a globálneho vodíkového ekosystému prostredníctvom celoeurópskych strategických projektov a v rámci medzinárodných sietí (napr. EHB, GHBD a ďalšie); cezhraničný obchod s obnoviteľným a nízkoemisným vodíkom; strategická geografická poloha na východnom koridore tranzitných a prenosových sietí (napr. budúci tranzit vodíka z Ukrajiny a juhovýchodnej Európy do západnej Európy); predpoklady vyrábať vodík z OZE, pomocou atómovej energie alebo aj z metánu a odpadu s využitím technológií zachytávania emisii CO₂ (CCS); budúca kapacita elektrolyzérův pre vyrovnávanie elektrizačnej sústavy najmä v obchodných hodinách s nízkou cenou elektrickej energie a prebytkom obnoviteľnej energie v sieti.
 - Podporiť infraštruktúrne projekty v rámci Slovenska
 - zabezpečiť dostatočnú kapacitu prenosovej a distribučnej elektrickej siete pre pripojenie nových kapacít OZE, elektrolyzérův a komunitnej energetiky; investície do rozvoja inteligentných sietí, automatizácie a flexibility.
 - výstavby výrobných kapacít - elektrolyzérův najmä v blízkosti výroby elektrickej energie z OZE a AE alebo spotrebiteľův (vysoký potenciál regionálnej optimalizácie výroby a spotreby bez záťaže tranzitnej alebo distribučnej sústavy).
 - sezónneho skladovania vodíka hlavne v podzemných úložiskách
 - rozvoj a modernizáciu tranzitnej a distribučnej plynárenskej infraštruktúry (modernizácia a adaptácia existujúcej plynárenskej siete na prepravu vodíka, prepojenie plynovodov na európsku tranzitnú vodíkovú sieť, budovanie nových skladovacích kapacít pre vodík – EUSTREAM, SPP)
 - Zlepšovať podporné prostredie pre vodíkový hodnotový reťazec a vytvorenie domáceho stabilného trhu
 - Zaviesť nástroje pre podporu výroby vodíka / podporné mechanizmy pre priemyselné podniky (poskytovanie daňových úľav, dotácií a garantovaných cien pre výrobcov nízko emisného vodíka pomocou investičných stimulův, rozdielových zmlúv, systému kreditův, ktoré by umožnili obchodovanie s vodíkom, systém štátnych záruk či aukcií).
 - Podporiť dopyt po ekologických výrobkoch a službách prostredníctvom zeleného verejného obstarávania
 - Podporovať rozvoj kapacít a ľudských zdrojův (vzdelávacie programy cez Európsku vodíkovú akadémiu, prírodovedné a technické odbory)
 - Uskutočniť včasnú a ambicióznu transpozíciu a realizáciu EÚ legislatívy
 - Zabezpečiť včasnú regulačnú kompatibilitu (REDIII, národná schéma plnenia cieľův RFNBO a certifikácia RFNBO) a znížiť regulačnú neistotu,
 - Urýchliť povoloňovací proces pre inovatívne vodíkové technológie
 - Vypracovať a zabezpečiť jasnú deľbu zodpovedností pre priemysel a dopravu.
 - Aktívne participovať na tvorbe a pripomienkovaní vodíkovej legislatívy a podporných programův na úrovni EÚ s dôrazom na špecifické podmienky Slovenska a dôsledne implementovať tieto nariadenia a normy
 - Podporiť pilotné projekty a zapájať sa do nových projektův
 - investičná podpora komplexných projektův výroby a spotreby obnoviteľného vodíka v regiónoch
 - Podporiť z národných zdrojův (ŠR, programy EÚ fondův) a prostredníctvom investičných stimulův strategické projekty
 - IPCEI -Hy2Infra, Hy2Tech, IPCEI Hy2Use, H2FUTURE);
 - EHB - Európsku tranzitnú vodíkovú sieť;
 - rozvoj vodíkových údolí (projekt EastGateH2EU s potenciálom transformovať oceliarsky priemysel na udržateľný s využitím vodíka; integrácia severozápadného Slovenska do širšieho
-

		hospodárskeho priestoru s Moravskosliezskym klastrom a skúmať možnosti ich možného prepojenia s vodíkovými údoliami v susedných štátoch (východné Rakúsko, severozápadné Maďarsko, Česko, atď.) • Urgentne pripravovať systematické a udržateľné riešenia na splnenie európskych cieľov v spotrebe obnoviteľného a potenciálne aj nízkouhlíkového vodíka na národnej úrovni v priemysle a doprave pre roky 2030 a 2035.
Zdroje energie na výrobu vodíka a využitie elektrickej prenosovej sústavy		• Zefektívniť energetické obstarávanie pre ekonomickú realizovateľnosť výroby vodíka na Slovensku (nástroje ako PPA, CfD) spolu s premyslenou stratégiou nákupu elektrickej energie, môže zabezpečiť stabilné a konkurencieschopné podmienky pre rozvoj vodíkových technológií • Zanalyzovať distribučné a iné poplatky a zvážiť prípadné úľavy z týchto poplatkov, ktoré by sprístupnili pripájanie elektrolyzérův do elektrizačnej ústavy. • Udržať a ďalej podporovať trend znižovania emisnej stopy v elektrickej sústave SR a energetickom mixe (<64,8 gCO₂/kWh), ktorý je možné využiť na výrobu obnoviteľného vodíka). • V krátkodobom horizonte podporiť využitie existujúcich OZE na výrobu vodíka (do r. 2027). • Podporiť: ○ budovanie nových kapacít OZE ○ ďalšie zavádzanie prvkův inteligentných sietí (smart grids), ktoré zvyšujú stabilitu a flexibilitu energetickej siete ○ zvýšenie kapacít siete v oblastiach s rastúcim podielom obnoviteľných zdrojův, ○ budovanie flexibilných napájacích bodův pre elektrolyzéry na výrobu vodíka, ○ digitálnu transformáciu prenosovej a distribučnej sústavy vrátane implementácie pokročilých systémův riadenia, • Rozšíriť hraničné prepojenia a zlepšiť interoperability s energetickými systémami susedných štátův.
Využitie vodíka		• Priamo aj nepriamo podporiť: ○ zavádzanie vodíkových technológií v priemysle ○ zavádzanie vodíkových technológií v doprave (obstarávanie vodíkových vozidiel, budovanie distribučnej infraštruktúry vodíka najmä v autobusovej a nákladnej doprave, verejné vodíkové čerpacie stanice na strategicky vytipovaných lokalitách). ○ budovanie malých ucelených vodíkových reťazcov zahrňujúcich - lokálnu výrobu, skladovanie a distribúciu a spotrebu vodíka ○ prípravu a budovanie vodíkových údolí ako nástroja implementácie vodíkových technológií v zmysle kritérií stanovených EÚ
Výroba, skladovanie a distribúcia vodíka		• Podporiť výrobu obnoviteľného vodíka elektrolýzou s využitím voľných kapacít a novovybudovaných kapacít OZE. • Podporiť demonštračné projekty výroby vodíka z plynu, biomasy alebo odpadu so zachytávaním CO₂ • Podporiť rozvoj distribučnej a skladovacej infraštruktúry (modernizácia existujúcej plynárenskej siete a jej prispôsobenie na prepravu vodíka a budovanie nových skladovacích kapacít pre vodík., vodíkové čerpacie stanice) • Podporiť geologický a geochemický prieskum pre účely vybudovania podzemných úložísk a hľadania ložísk prírodného vodíka.
Vzdelávanie, výskum a inovácie		• Podporovať účasť a zapájanie Slovenska do programův EÚ v oblasti výskumu, vzdelávania a inovácií pre obnoviteľný vodík (aktívne zapojenie výskumných inštitúcií a univerzít, súkromných subjektův). • Podporiť výskum a vývoj technológií, ktoré vychádzajú z potrieb a silných stránok slovenského hospodárstva (napr. ako IPCEI projekt H2-VTOL, podpora technológií na skladovanie a prepravu vodíka LOHC).

- Podporovať budovanie kapacít a rozvoj ľudských zdrojov (vzdelávacie programy cez Európsku vodíkovú akadémiu, prírodovedné a technické odbory - špecializované vzdelávanie)
- Podporiť prípravu kampaní na lepšiu akceptáciu OZE a vodíkoveho ekosystému, o bezpečnosti a prínosoch vodíka pre verejnosť
- Využiť záujem verejnosti a podnikateľov na posilnenie dopytu a investícií

Tabuľka 5: Odporúčania pre jednotlivé oblasti vodíkoveho hospodárstva

Zdroj: stengl, a.s.

2.1.3 Vodíkové údolia

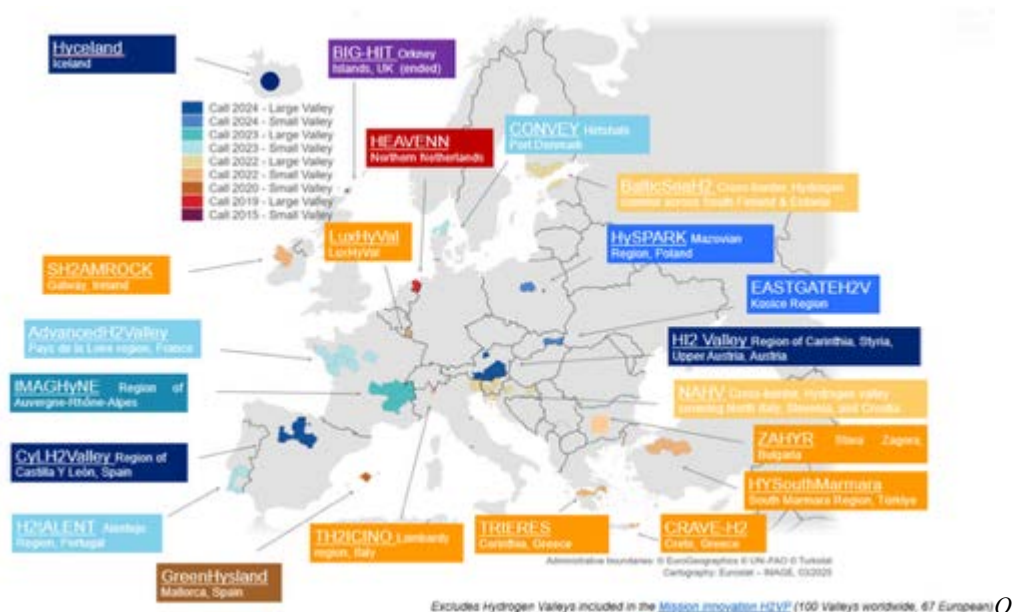
Ako najperspektívnejšie regióny s potenciálom pre rozvoj vodíkovej ekonomiky sa do roku 2030 a aj po roku 2030 javia vodíkové údolia, v ktorých sa už dnes nachádzajú miesta spotreby vodíka a majú vybudovanú vodíkovú infraštruktúru. Nachádza sa tam aj potenciál pre budovanie nových OZE (hlavne vietor a slnko) a/alebo pre zvýšenie kapacity existujúcich vodných zdrojov energie, čím sa otvára perspektíva vytvorenia ucelených vodíkových reťazcov.



Obrázok 3: Vodíkové údolia

Zdroj: stengl, a.s.

Európske vodíkové údolia prezentuje nasledovný obrázok.



Obrázok 4: Európske vodíkové údolia

Zdroj: Clean Hydrogen Partnership

Idete o vodíkové údolia podporené grantom z Clean Hydrogen Partnership¹⁴.

ŠRH2 identifikovala štyri perspektívne lokality na zriadenie vodíkových údolí, ako je uvedené na ďalšom obrázku.



Obrázok 5: Navrhované lokality pre vodíkové údolia v SR

Zdroj: stengl, a.s.

¹⁴ Clean Hydrogen Partnership: Hydrogen Valleys. (https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/hydrogen-valleys_en)

Vodíkové údolie Podunajsko (VÚP) leží na juhozápade Slovenska prevažne v Bratislavskom kraji a v južnej časti Trnavského a Nitrianskeho kraja, v blízkosti hraníc s Rakúskom a Maďarskom. Ide o komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje vyrábať, distribuovať ako aj prakticky používať vodík. Rieka Dunaj zároveň prepája túto oblasť so susediacimi krajinami, v ktorých sa tiež pripravujú vodíkové projekty.

Vodíkové údolie dolné Považie (VÚDP) sa nachádza na západnom Slovensku. Zahŕňa severnú a centrálnu časť Trnavského kraja a okres Šaľa z Nitrianskeho kraja. Perspektívne by mohlo byť prepojené aj s okresom Dunajská Streda (súčasťou VÚ Podunajsko), čo by rozšírilo potenciál využitia najmä solárnej a vodnej energie. Pôjde o komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje vyrábať, distribuovať a aj prakticky používať vodík v rôznych formách. Pre uvedené poskytuje VÚDP značný potenciál.

Vodíkové údolie Trenčín a horná Nitra (TVÚ) sa nachádza v severozápadnej časti Slovenska a pozostáva z dvoch centier v Trenčianskom a Nitrianskom kraji. Prvé centrum sa nachádza v oblasti stredného Považia a zahŕňa okresy Trenčín, Nové Mesto nad Váhom, Ilava, Púchov a Považská Bystrica, s presahom do okresu Myjava. Druhé rozvojové jadro je situované na hornej Nitre, zahŕňajúc okresy Prievidza a Partizánske, s presahom do okresu Bánovce nad Bebravou. Táto oblasť má výborné podmienky na výrobu cenovo dostupnej obnoviteľnej energie. V západnej časti sa vyznačuje vhodnými veternými podmienkami. Obnoviteľný vodík bude môcť vyrábať aj z elektriny vyrobenej kombináciou veternej a slnečnej energie (okolie Myjavy a Starej Turej, Kunešov pri Kremnici). Aj sústava vodných elektrární na strednom Považí disponuje potenciálom pre spoľahlivú a efektívnu výrobu obnoviteľného vodíka. Trenčiansky kraj disponuje výborným potenciálom pre projekty strednej veľkosti. Využitie vodíka by bolo perspektívne vo verejnej doprave a v dekarbonizácii energetiky (procesného tepla) chemického priemyslu, prípadne aj cementárni. **Vodíkové údolie Košice, resp. Košické vodíkové údolie (KVÚ)** je známe aj ako projekt *EastGateH2V*. Nachádza sa na juhovýchode Slovenska v Košickom kraji, v blízkosti hraníc s Maďarskom a Ukrajinou. Formuje sa v rámci krajského mesta (okr. Košice I–IV) a jeho okolia (okr. Košice - okolie) podľa zámerov spomínaného projektu. KVÚ má predstavovať komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje výroba, skladovanie, distribúcia, ako aj praktické využívanie vodíka. K projektu by sa mohol perspektívne pripojiť aj okres Spišská Nová Ves (výroba vodíkových autobusov) a okres Prešov (výroba leteckých dopravných prostriedkov poháňaných vodíkom).

Z hodnotenia VÚ vyplýva, že všetky analyzované územia (vodíkové údolia) majú potenciál na úspešnú realizáciu vodíkových projektov. Každé z nich by malo zamerať pozornosť na rozvoj vlastných silných stránok a minimalizáciu nedostatkov.

V rámci 6 oblastí hodnotiacich kritérií získali jednotlivé VÚ nasledovné skóre:

Faktor	VÚ Podunajsko	VÚ Dolné Považie	VÚ Trenčín a Horná Nitra	VÚ Košice
Energetika	39	39	35	35
OZE	32	27	18	27
Výroba	44	42	24	36

Faktor	VÚ Podunajsko	VÚ Dolné Považie	VÚ Trenčín a Horná Nitra	VÚ Košice
Distribúcia	30	30	21	30
Dopyt	31	31	20	26
Prierezový faktor	50	44	48	54
Celkom	226 / 276	213 / 276	166 / 276	208 / 276

Tabuľka 6: Hodnotenie VÚ Slovenska

Zdroj: stengl a.s.

2.1.4 Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku

Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva pokrývajú potreby a záväzky na odstupňovaných úrovniach.

Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva boli definované s dôrazom na ich realizovateľnosť, s preferenciou na menej subvencií a finančných potrieb, na väčšie prínosy komerčného využitia a na ekonomicky udržateľné návrhy a riešenia.

Prostriedky z Európskej únie poskytujú dostatočný priestor na financovanie navrhovaných opatrení, ale Slovenská republika pre to musí zabezpečiť potrebné podmienky.

Úprava existujúcej legislatívy je nevyhnutným predpokladom rozvoja vodíkového hospodárstva SR. Legislatívne zmeny sú kritickým rizikom z hľadiska termínov na urýchlenú implementáciu potrebných krokov, hlavne budovanie zdrojov energie a elektrolyzérrov.

Cenou za oneskorenie alebo nečinnosť v oblasti vodíka by boli nielen zvýšené náklady na emisné poplatky a pokuty za neplnenie dohodnutých cieľov, ale aj významné dopady na hospodárstvo krajiny. Riziko obchádzania záväzkov Slovenskej republiky by pre nás mohlo znamenať aj obchádzanie našich hraníc v oblasti logistiky, ale aj priemyselnej výroby s využívaním vodíkových komponentov a zdrojov.

Vodík s celým svojim hodnotovým reťazcom a s ním spojené inovácie a technológie sú pre Slovensko veľkou príležitosťou s vysokým rozvojovým potenciálom.

Rozvoj bol popísaný v troch alternatívnych scenároch:

- Konzervatívny scenár
- Stredný scenár
- Ambiciózny scenár

Prínosy vodíka pre dekarbonizáciu priemyslu, energetiky, dopravy a ďalších odvetví sú zhrnuté v nasledujúcom prehľade. Boli identifikované na základe ekonomických a technických výpočtov pre napĺňanie jednotlivých scenárov nasledovne.

Scenár		Charakteristika a parametre	
Konzervatívny scenár (WEM)		Scenár počíta s existujúcimi opatreniami, ktorých vplyv na nárast spotreby vodíka bude len obmedzený a bude plne pokrytý výrobou na Slovensku. Uvažuje s minimálnou potrebnou infraštruktúrou pre výrobu vodíka, čím znižuje investičné náklady na výrobu vodíka a OZE. Výhodou je nízke riziko a nezávislosť od dovozu vodíka, avšak za cenu vyššej ceny vodíka a obmedzenej kapacity, čo môže brániť širšiemu rozvoju vodíkoveho trhu na Slovensku. Tento prístup je síce finančne bezpečnejší, ale v dlhodobom horizonte by mohol viesť k oneskorenej adaptácii vodíkovej ekonomiky a strate konkurencieschopnosti voči iným krajinám. Nevýhoda je tiež nenaplnenie klimatických cieľov.	
		Počet lokalít výroby vodíka	7 (z toho 3 s priemyselným zameraním a 4 s dopravným zameraním)
		Priemerná veľkosť elektrolyzérov [MW]	7,3 (51 celkom)
		Spotreba energie [MW]	83 500 MWh (vodné elektrárne)
		Priemerná cena vodíka na mieste výroby [EUR / kg]	6,8 (5,5 – 9,5)
		Priemerná cena prepravy na čerpace stanice) [EUR / kg]	1,4 (1,0 – 2,2)
		Import vodíka [t / rok]	0
		Výroba vodíka na Slovensku [t / rok]	4 600
		Odhadované celkové investičné náklady [EUR]	489 410 000
		Odhadovaná výška podpory na výrobu vodíka elektrolýzou (50%)	57 300 000
		Zabránené emisie [t CO ₂ / rok]	51 550
	Stredný (WAM)	scenár	Stredný scenár počíta už aj s ďalšími dodatočnými opatreniami umožňujúcimi nárast spotreby vodíka, ktorú môže sčasti pokryť aj import vodíka. Predstavuje vyvážený prístup k dosiahnutiu klimatických cieľov a silnému využitiu potenciálu vodíka. Ponúka dostatočne veľké investície na rozvoj vodíkovej infraštruktúry a podporu trhu, pričom zachováva ekonomickú udržateľnosť a menej náročnú implementáciu oproti ambicióznemu scenáru. Vzhľadom na vyváženosť medzi investíciami, cenovou dostupnosťou vodíka a udržateľnosťou je stredný scenár najrozumnejšou voľbou pre Slovensko v súčasných podmienkach.
		Počet lokalít výroby vodíka	7 (z toho 3 s priemyselným zameraním a 4 s dopravným zameraním)
		Priemerná veľkosť elektrolyzérov [MW]	13,3 (93 celkom)
		Spotreba energie [MW]	148 300
		Priemerná cena vodíka na mieste výroby [EUR / kg]	6,6 (5,4 – 9,3)
		Priemerná cena prepravy na čerpace stanice) [EUR / kg]	0,9 (0,8 – 1,1)
		Import vodíka [t / rok]	39 100
		Výroba vodíka na Slovensku [t / rok]	8 900
		Odhadované celkové investičné náklady [EUR]	1 572 215 000
		Odhadovaná výška podpory na výrobu vodíka elektrolýzou (50%) [EUR]	91 600 000
		Zabránené emisie [t CO ₂ / rok]	542 004
Ambiciózný scenár		Scenár počíta s významnými opatreniami a s výrazným nárastom spotreby vodíka, ktorú môže sčasti pokryť aj import vodíka a podporou vývoja vodíkových technológií. Stavia na maximálnom využití potenciálu vodíka s vysokými	

Scenár	Charakteristika a parametre
	investíciami do infraštruktúry, obnoviteľných zdrojov a výrobných kapacít. Tento prístup umožňuje produkciu vodíka za najnižšiu cenu a podporuje jeho širšie využitie, vrátane exportu. Scenár však predstavuje malú zmenu oproti strednému scenáru a naplnenie všetkých míľnikov je veľmi náročné.
	Počet lokalít výroby vodíka 7 (z toho 3 s priemyselným zameraním a 4 s dopravným zameraním)
	Priemerná veľkosť elektrolyzérov [MW] 15,3 (107 celkom)
	Spotreba energie [MW] 227 300
	Priemerná cena vodíka na mieste výroby [EUR / kg] 6,5 (5,4 – 9,1)
	Priemerná cena prepravy na čerpace stanice) [EUR / kg] 0,9 (0,7 – 1,2)
	Import vodíka [t / rok] 39 100
	Výroba vodíka na Slovensku [t / rok] 11 200
	Odhadované celkové investičné náklady [EUR] 1 694 120 000
	Odhadovaná výška podpory na výrobu vodíka elektrolýzou (50%) [EUR] 102 700
	Zabránené emisie [t CO₂ / rok] 567 835

Tabuľka 7: Charakteristika posudzovaných scenárov

Zdroj: stengl a.s.

Vyhodnotenie scenárov vo finančnom modeli odporučilo ako najvhodnejší „Stredný scenár“. Návrh harmonogramu implementácie a financovania stredného scenára vrátane dopravy je v nasledujúcej tabuľke.

STREDNÝ SCENÁR	ročné zmeny / hodnoty	2025	2026	2027	2028	2029	2030	celkom
Zdroje energie - OZE	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	investície	2 191 000 €	22 882 700 €	33 431 700 €	41 789 600 €	50 147 500 €	50 147 500 €	200 590 000 €
	prevádzka	0 €	60 300 €	689 500 €	1 608 900 €	2 758 100 €	4 137 200 €	9 254 000 €
	výnosy	0 €	177 400 €	2 030 500 €	4 737 800 €	8 122 000 €	12 183 000 €	27 250 700 €
Výroba - elektrolyzéry	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet - MW	-	12	27	47	70	93	93
	investície	2 000 000 €	20 887 500 €	30 516 700 €	38 145 800 €	45 775 000 €	45 775 000 €	183 100 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	2 488 200 €	5 805 900 €	9 953 000 €	14 929 500 €	33 176 600 €
	výnosy	0 €	0 €	6 612 000 €	15 427 900 €	26 447 800 €	39 671 700 €	88 159 300 €
Distribúcia - čerpacie stanice	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	Kapacita (t/deň)	0	3	21	39	48	48	48
	investície	100 000 €	10 000 000 €	72 760 000 €	72 760 000 €	36 380 000 €	0 €	192 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	2 571 500 €	21 096 400 €	39 621 300 €	48 883 800 €	112 173 000 €
	výnosy	0 €	0 €	4 985 600 €	17 806 900 €	31 746 600 €	46 944 700 €	101 483 800 €
Investície celkom		4 291 000 €	53 770 200 €	136 708 300 €	152 695 400 €	132 302 500 €	95 922 500 €	575 690 000 €
Prevádzkové náklady celkom		0 €	60 300 €	5 749 300 €	28 511 200 €	52 332 400 €	67 950 500 €	154 603 600 €
Výnosy celkom		0 €	177 400 €	13 628 100 €	37 972 600 €	66 316 400 €	98 799 400 €	216 893 900 €

Tabuľka 8: Harmonogram stredného scenára

Zdroj: stengl a.s.

STREDNÝ SCENÁR	ročné zmeny / hodnoty	2025	2026	2027	2028	2029	2030	celkom
Autobusová doprava	stav	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	90	180	271	361	451	451
	investície	0 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	195 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	5 467 800 €	10 935 600 €	16 403 300 €	21 871 100 €	54 677 800 €
Cestná nákladná doprava	stav	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	10	105	210	315	420	420
	investície	0 €	5 000 000 €	47 500 000 €	52 500 000 €	52 500 000 €	52 500 000 €	210 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	1 101 800 €	11 569 300 €	23 138 600 €	34 708 000 €	70 517 800 €
Železničná doprava	stav	plánované	plánované	pripravované	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	-	-	1	6	12	12
	investície	0 €	0 €	0 €	10 000 000 €	74 000 000 €	84 000 000 €	168 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	0 €	0 €	596 600 €	5 011 600 €	5 608 300 €
Investície celkom		0 €	44 000 000 €	86 500 000 €	101 500 000 €	165 500 000 €	175 500 000 €	573 000 000 €
Prevádzkové náklady celkom		0 €	0 €	6 569 600 €	22 504 900 €	40 138 600 €	61 590 700 €	130 803 800 €

Tabuľka 9: Harmonogram scenára pre dopravu

Zdroj: stengl a.s.

Náklady na emisné poplatky môžu pre slovenský priemysel narásť každý rok až na 250 mil. EUR. Podobná situácia môže nastať aj pre sektor dopravy. Pokuty v prípade neplnenia cieľov výroby a použitia RFNBO môžu pre priemyselné a energetické podniky v Slovenskej republike dosiahnuť úroveň ďalších 250 až 300 mil. EUR ročne.¹⁵

Transpozíciu RED III v oblasti RFNBO mala EÚ-27 uskutočniť do mája 2025. Slovensko si povinnosť ešte nesplnilo. Súčasťou transpozície malo byť aj zavedenie sankcie vypočítanej ako súčin energetického obsahu udržateľnej pohonnej látky neuvedenej na trh v MJ a zatiaľ nestanovenej sumy v EUR, ak zodpovedná právnická osoba alebo fyzická osoba neuvedie na trh palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a to v minimálnej výške jedného percentuálneho bodu stanovenej referenčnej hodnoty. Sankcia by mala byť motivačná pre rozvoj vodíkovej mobility v SR. Pre príklad, Česko stanovilo hodnotu sankcie na 9,6 EUR za každý nedodaný kg vodíka na trh v sektore dopravy čo predstavuje 0,08 EUR za každý nedodaný MJ paliva.

Vodík nie je riešením pre kompletnú dekarbonizáciu, ale bez jeho príspevku nebudú potrebné opatrenia dostatočne rýchle a rozsiahle. Okrem negatívnych ekonomických dopadov z oneskorenia alebo neimplementácie nevyhnutných zmien by bolo potrebné počítat aj s vplyvom na fyzické a sociálne zdravie obyvateľstva SR.

¹⁵ Pripravenost České republiky na vodíkové hospodářství (2024) – PwC, Svaz průmyslu a dopravy České republiky, ORLEN Unipetrol

3 ANALÝZA POTENCIÁLNEHO TRHU

3.1 Úvod

Táto kapitola sa sústreďuje na potenciál trhu pre hodnotový reťazec vodíka. Zameriava sa na možnosti a príležitosti, ktoré boli dosiahnuté už inde vo svete a na Slovensku v rámci vodíkového hospodárstva.

3.2 Kategorizácia vodíka

Európska legislatíva klasifikuje vodík na základe pôvodu a miery emisie skleníkových plynov počas jeho výroby. Z chemického hľadiska ide o rovnakú molekulu vodíka (H_2). V závislosti od strategických priorít Európskej únie sú niektoré kategórie vodíka preferované, napr. ako obnoviteľný vodík a nízkouhlíkový vodík, zatiaľ čo iné, ako je vodík fosílného pôvodu, sú systematicky obmedzované.

Každá kategória vodíka má definované technické a environmentálne parametre, podľa ktorej je klasifikovaná do príslušnej legislatívnej skupiny. Legislatívny rámec v oblasti vodíka sa naďalej vyvíja, a preto sa pravidlá jeho klasifikácie môžu v čase vyvíjať alebo spresňovať.

Aktuálne sa v dokumentoch Európskej únie stretávame s týmito hlavnými kategóriami vodíka:

Obnoviteľný vodík, označovaný aj ako *zelený vodík*, sa v Smernici Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (RED III) definuje buď ako *obnoviteľné palivo nebiologického pôvodu* (RFNBO) alebo ako *bioplyn – palivo biologického pôvodu*.¹⁶ Vodík nebiologického pôvodu sa vyrába s využitím solárnej, veternej, geotermálnej alebo vodnej energie. Vodík je v tomto prípade vyrábaný elektrolýzou vody alebo soľanky. Obnoviteľný vodík biologického pôvodu je vyrábaný z energie biomasy termochemickým rozkladom biomasy alebo bioplynu (biometánu). Kritériá výroby sú detailne špecifikované v Delegovanom nariadení EK 2023/1184 a následných dodatkoch¹⁷.

Obnoviteľný vodík nebiologického pôvodu musí pri výrobe spĺňať viaceré regulačné požiadavky delegovaného nariadenia EK, najmä kritériá doplnkovosti, časovej a geografickej korelácie s OZE. To má zabezpečiť, že elektrolýza bude prebiehať výlučne v čase a na miestach, kde je k dispozícii dodatočná výroba obnoviteľnej energie.

Podmienka doplnkovosti s platnosťou od 1. januára 2028 stanovuje, že elektrická energia použitá na výrobu obnoviteľného vodíka musí pochádzať z novovybudovaných obnoviteľných

¹⁶ Smernica EP a Rady (EÚ) 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001>)

¹⁷ Delegované nariadenie Komisie (EÚ) ktorým sa mení nariadenie EÚ 23/1184nariadenie EÚ 23/1184(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1408&qid=1742799027565>)

zdrojov, ktoré boli spustené najneskôr 36 mesiacov pred začiatkom výrobnjej prevádzky vodíka, alebo z existujúcich zdrojov po modernizácii v objeme prevyšujúcom 30% súčasnej ceny porovnateľnej technológie. Tým sa predchádza využívaniu existujúcich kapacít obnoviteľných zdrojov a zároveň sa podporuje dodatočný prínos k zvyšovaniu podielu obnoviteľnej energie v energetickom mixe.

Od roku 2030 bude časová korelácia medzi výrobou elektriny a výrobou vodíka vyžadovaná na hodinovej báze; do tohto termínu postačuje preukázanie súladu v rámci jedného kalendárneho mesiaca. Časová korelácia sa pritom sleduje v prípadoch, keď sa elektrina dodáva prostredníctvom elektrizačnej sústavy. Geografická korelácia sa vzťahuje na regionálnu blízkosť medzi miestom výroby elektriny a miestom výroby vodíka. Obidve miesta musia byť v rovnakej ponukovej zóne, čo sú v prípade Slovenska sú hranice štátu.

Emisná intenzita obnoviteľného vodíka sa vyhodnocuje na základe analýzy životného cyklu (Life Cycle Assessment, LCA), ktorá zohľadňuje všetky emisie skleníkových plynov spojené s výrobou, skladovaním a distribúciou vodíka. Na to aby vodík spĺňal kritériá stanovené pre RFNBO, musí dosiahnuť úsporu emisií skleníkových plynov najmenej na úrovni 70 % v porovnaní s referenčnými hodnotami pre fosílnu palivá, čo predstavuje 28,2 g CO₂eq/MJ.

Nízkouhlíkový vodík, označovaný aj ako *modrý vodík*, je vodík, ktorého energetický obsah pochádza z neobnoviteľných zdrojov, a ktorý spĺňa prahovú hodnotu zníženia emisií skleníkových plynov vo výške 70 % v porovnaní s porovnateľným fosílnym palivom pre palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu stanoveným v metodike posudzovania úspor emisií skleníkových plynov z palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a z fosílnych palív vyrobených z odpadu prijatej podľa čl. 29a ods. 3 smernice (EÚ) 2018/2001¹⁸. Tento emisný cieľ sa dosahuje na základe hodnotenia celého životného cyklu vodíka, čo znamená, že do výpočtov sa započítavajú všetky emisie spojené s výrobou, prepravou a využívaním vodíka. Detailné podmienky výroby nízkouhlíkového vodíka bude definovať Delegované nariadenie o nízkouhlíkovom vodíku, ktorého zverejnenie sa očakáva v auguste 2025. Predpokladá sa, že nízkouhlíkový vodík spočiatku nebude môcť byť vyrábaný z jadrovej energie a v slovenských podmienkach ani reformáciou zemného plynu so zachytávaním uhlíka.

Fosílny vodík, vodík z fosílnych palív alebo *sivý vodík* sa vyrába z fosílnych palív parnou reformáciou (SMR) alebo autotermálnou reformáciou (ATR) zemného plynu. Zo zemného plynu sa síce získa vodík, ale zároveň vzniká značné množstvo oxidu uhličitého (CO₂), ktorý prispieva k znečisteniu ovzdušia a k zmene klímy. Emisie CO₂ spojené s týmto druhom výroby vodíka sú z dlhodobého hľadiska v rozpore s európskymi a slovenskými cieľmi uhlíkovej neutrality stanovenými v dokumentoch „Európska zelená dohoda“ a „Integrovaný národný energetický a klimatický plán Slovenskej republiky“. Tento typ vodíka je v súčasnosti najbežnejšie využívaný vo svete, predovšetkým v priemyselných odvetviach, ako sú rafinérie,

¹⁸ Smernica EP a Rady (EÚ) 2024/1788 o spoločných pravidlách pre vnútorné trhy s obnoviteľným plynom, so zemným plynom a s vodíkom (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401788&qid=1743147418751)

chemický priemysel a výroba čpavku (NH_3). Vzhľadom na to, že fosílny vodík sa vyrába z fosílnych palív, ako je zemný plyn alebo uhlie bez zachytávania CO_2 , tento proces má výrazne negatívny dopad na životné prostredie. Aj keď je technológia výroby fosílného vodíka zabehnutá a relatívne lacná v porovnaní s inými formami výroby vodíka, jej dlhodobá udržateľnosť je čoraz viac spochybňovaná s ohľadom na klimatické ciele. Časom by mal byť fosílny vodík postupne nahradený čistejšími alternatívami, ako sú nízkouhlíkový a obnoviteľný vodík, aby sa minimalizovali emisie skleníkových plynov a podporila udržateľná energetika.

Prírodný vodík

Vodík je možné získavať aj priamo, z hlbinných geologických ložísk. Z geologických prieskumov ložísk ropy a zemného plynu vykonaných v druhej polovici 20. storočia nie sú poznatky o výskyte prírodného vodíka na území Slovenska. Na tento zdroj vodíka sa do roku 2030 nemožno spoliehať. To však neznamená, že sa prírodný vodík na našom území nenachádza. V posledných rokoch boli publikované správy o potenciálne významných náleziskách tohto typu vodíka v Lotrinskej panve (Francúzsko) a v Bulquize (Albánsko). Viac o potenciáli ťažby prírodného vodíka sa píše v kapitole 4.4.6.

Prehľad taxonómie vodíka v podmienkach SR s prihliadnutím na oficiálnu kategorizáciu vychádzajúcu z legislatívy EÚ uvádza nasledovná tabuľka.

Kategória vodíka podľa legislatívy EÚ	Iné názvy / druh vodíka	Úspory skleníkových plynov	Podkategória	Spôsob výroby vodíka	Zdroj energie na výrobu vodíka	Primárny zdroj energie
OBNOVITEĽNÝ VODÍK	zelený	nad 90%	nebiologického pôvodu	elektrolýza vody	elektrická energia	slnečná, vodná, veterná, geotermálna energia
	tyrkysový		biologického pôvodu	elektrolýza vody termochemický rozklad	pevná biomasa, bioplyn a tepelná / elektrická energia	biomasa
NÍZKO UHLÍKOVÝ VODÍK	ružový	nad 70%	nefosílného pôvodu	elektrolýza vody	elektrická energia	jadrová energia
	modrý		fosílného pôvodu	SMR/ATR s CCS	fosílna palivá	zemný plyn, uhlie, ropa, koksárenský plyn...
VODÍK Z ODPADU	tyrkysový		fosílny pôvod	recyklácia	fosílny odpad	zemný plyn, uhlie, ropa, výroba cementu

Kategória vodíka podľa legislatívy EÚ	Iné názvy / druh vodíka	Úspory skleníkových plynov	Podkategória	Spôsob výroby vodíka	Zdroj energie na výrobu vodíka	Primárny zdroj energie
FOSÍLNY VODÍK	čierny / sivý / hnedý	pod 70%	fosílny pôvod	SMR/ATR bez CCS	fosílna palivá	zemný plyn, uhlie, ropa, koksárenský plyn...
PRÍRODNÝ VODÍK	biely	pravdepodobne nad 90%	nebiologického pôvodu	ťažba	geotermálna energia	geotermálna energia

Tabuľka 10: Kategorizácia vodíka

Zdroj: Európska komisia (2020), Kneebone (2024)

Farebné pomenovanie vodíka podľa spôsobu výroby sa široko udomácnilo v rámci širšej a laickej verejnosti, preto v prílohe v kapitole 7.10 uvádzame bližšie vysvetlenie farebnej škály kategorizácie vodíka.

3.3 Vyhodnotenie trhových trendov

V nasledujúcich podkapitolách budú analyzované faktory, ktoré výrazne ovplyvňujú rozvoj vodíkového hospodárstva.

3.3.1 Dôsledky klimatických zmien na energetický sektor

Na základe postupujúcich dôsledkov klimatických zmien sa 195 krajín v Parížskej dohode zaviazalo výrazne znížiť globálne emisie skleníkových plynov a obmedziť nárast globálnej teploty o 2 °C v tomto storočí a zároveň hľadať riešenia na ďalšie obmedzenie nárastu teploty na 1,5 °C. Na dosiahnutie tohto cieľa sa napríklad Čína zaviazala dosiahnuť maximum emisií skleníkových plynov do roku 2030 a uhlíkovú neutralitu dosiahnuť do roku 2060. Európska únia (EÚ) má cieľ dosiahnutia uhlíkovej neutrality stanovený na rok 2050 a aktuálne sa diskutuje o roku 2040 a 90 % znížení emisií. Dôsledky klimatickej zmeny významným spôsobom vplyvajú aj na energetický sektor, pričom niektoré z ich vplyvov sú uvedené nižšie:

- V severnej Európe sa očakáva zníženie dopytu po vykurovaní
- V južnej Európe prudko stúpne potreba chladenia, čo zintenzívni letné odberové špičky.
- Častejšie a intenzívnejšie vlny horúčav zmenia potrebu aj dodávku energie, často opačným smerom ako bolo zaužívané doposiaľ
- Zvyšovanie teploty a suchá môžu obmedziť dostupnosť chladiacej vody pre elektrárne v lete hlavne v krajinách južnej a strednej Európy, zatiaľ čo zvýšená zrážková činnosť na severe Európy spôsobí zníženie marginálnych nákladov na výrobu elektriny na v severných krajinách.
- Extrémne výkyvy počasia ohrozujú fyzickú infraštruktúru prenosovej a distribučnej siete (elektrické vedenia, rozvodne a transformátory).
- Na zastavenie vplyvov klimatickej zmeny je potrebné urýchlenie budovania nízko a bez emisných zdrojov energie (atómová energia, OZE), ktoré nahradia fosílna a vysoko emisné zdroje elektriny (uhlie, ropa, plyn)

Obnoviteľné zdroje energie (OZE), reprezentované veternou energiou a solárnou energiou, dopĺňajú a v mnohých krajinách aj nahrádzajú tradičné zdroje energie. Relatívne novú formu energie pre súčasný energeticko-dopravný systém predstavuje vodík, ktorý má vysoký trhový potenciál a očakáva sa, že prispeje k zníženiu emisií skleníkových plynov.

Vzhľadom na nestály charakter výroby elektriny z OZE reprezentovaných hlavne veternými a solárnymi zdrojmi je nevyhnutné, aby energetické systémy nového typu boli vybavené dostatočným množstvom zariadení na ukladanie a produkciu elektrickej energie (Power2X technológie), tak aby bola zabezpečená bezpečnosť zásobovania energie aj pri vysokom podiele OZE v energetickom mixe. Rýchly rozvoj vodíkových technológií poskytuje nové príležitosti na riešenie problémov, ktorým čelia súčasné energetické systémy, ako je nedostatočná prenosová kapacita siete, vyrovnávanie odchýlok medzi výrobou a spotrebou a nedostatok regulačnej flexibility. Vodík má šancu sa stať výhodnejšou alternatívou k fosílnym palivám, pretože pri jeho premene na energiu sa neuvolňuje žiadny CO₂ a ani iné skleníkové plyny. Preto by použitie vodíka na energetické účely potenciálne malo mať len zanedbateľné negatívne dopady na životné prostredie.

Aby bola vodíková energia šetrná k životnému prostrediu, je potrebné ju vyrábať „čistým“ spôsobom, pretože väčšina vodíka sa stále vyrába z fosílnych palív CO₂ a jeho výroba je takto spojená s vysokými emisiami fosílného CO₂. Okrem toho využitie energie obsiahnutej vo vodíku nie je dnes pre niektoré priemyselné odvetvia nákladovo efektívne, a preto by sa bez podporných mechanizmov vodík využíval len selektívne.

3.3.2 Výroba elektrickej energie

V nasledujúcej tabuľke uvedieme niekoľko vybraných štatistických údajov potrebných pre dokreslenie trendov ovplyvňujúcich rozvoj vodíkovej ekonomiky v posledných rokoch v EÚ.

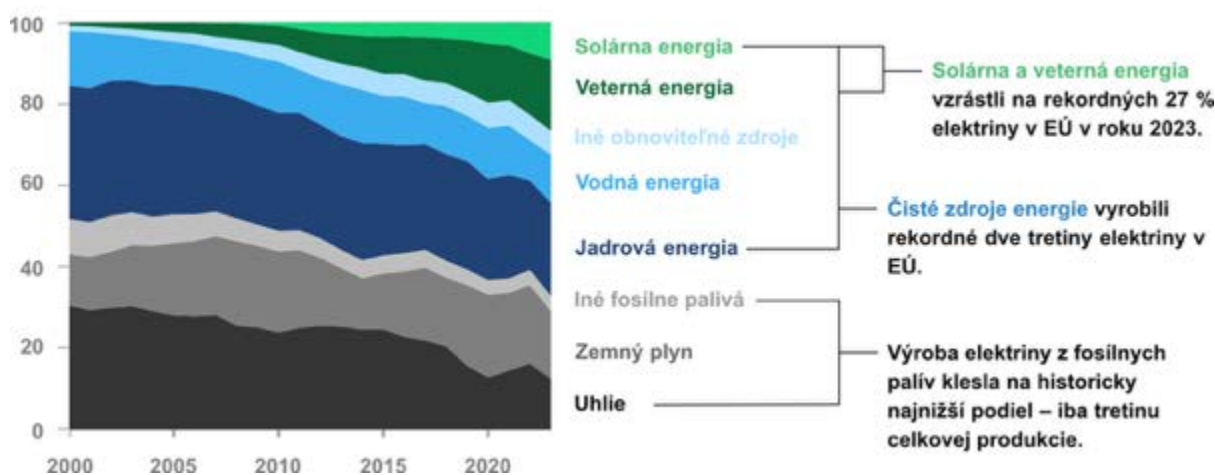
Zdroj elektriny	2021	2022	2023	2024
OZE spolu	37%	39%	42%	50%
Veterná energia	15%	16%	18%	20%
Vodná energia	13%	11%	10%	13%
Solárna energia	6%	8%	9%	11%
Biomasa	3%	4%	5%	6%
Atómová energia	25%	22%	23%	24%
Fosílna palivá	38%	39%	35%	27%
Zemný plyn	20%	24%	17%	16%
Uhlie	15%	12%	12%	9%

Ropa	3%	3%	2%	2%

Tabuľka 11: Zdroje energie na výrobu v EÚ

Zdroj: Ročné údaje o elektrine, EUROSTAT, EMBER Climate, EU statistical reports, štengl a.s.

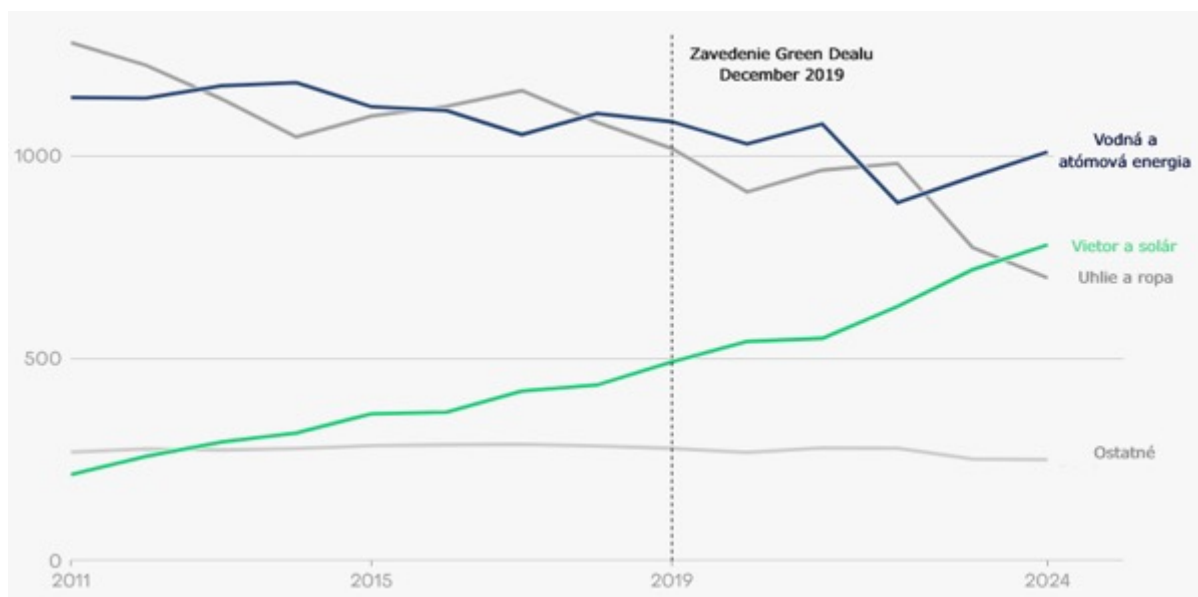
Čisté zdroje energie vyrobili v roku 2024 v EÚ rekordné 2/3 elektrickej energie. Výroba fosílnych palív klesla pod 1/3 celkovej výroby a dosahuje najnižší podiel v histórii v EÚ, čo je pokles o 10 percentuálnych bodov (p.b.) od roku 2022. Podiel veternej energie na celkovej výrobe prekonal zemný plyn. Ten zostal najväčším fosílnym zdrojom výroby so 17 % (452 TWh) v roku 2023, resp. 16 % v roku 2024. Trendy názornejšie predstavuje nasledujúci obrázok.



Obrázok 6: Podiel výroby elektrickej energie v EÚ

Zdroj: Ročné údaje o elektrine, EMBER

Ak sa pozrieme na trendy z väčšieho odstupu za posledných 15 rokov, tak môžeme konštatovať, že výroba elektrickej energie v EÚ z fosílnych palív (zemný plyn, uhlie, ropa a odpad) klesla z viac ako polovice (52 %) v roku 2000 pod tretinu podielu (29 %) v roku 2024 a závislosť od fosílnych palív pri výrobe elektriny sa výrazne znížila. Výroba elektriny z plynu klesá päť rokov po sebe. Výroba elektriny z uhlia klesla pod 10 %. Výroba veternej a solárnej energie vzrástla v období 2009 – 2024 päťnásobne. K rýchlemu rastu došlo hlavne po roku 2010, keď krajiny EÚ ako napríklad Nemecko, Španielsko, Francúzsko, zaviedli podporné schémy pre nové OZE, čo spôsobilo významný nárast budovania nových veterných a solárnych projektov. Výroba z iných obnoviteľných a čistých zdrojov za posledné dve desaťročia stagnovala, resp. mierne poklesla.



Obrázok 7: Podiel OZE na výrobe elektrickej energie v EÚ od roku 2011

Zdroj: Ročné údaje o výrobe elektriny, EMBER

Aj keď výroba v uplynulých rokoch kolísala v dôsledku vykonávanej údržby, vplyvov počasia a výskytom extrémnych období horúčav a sucha, možno skonštatovať, že významný nárast výroby elektrickej energie z OZE je zrejmý. V tabuľke nižšie uvádzame porovnanie ročnej výroby elektrickej energie z bezemisných zdrojov.

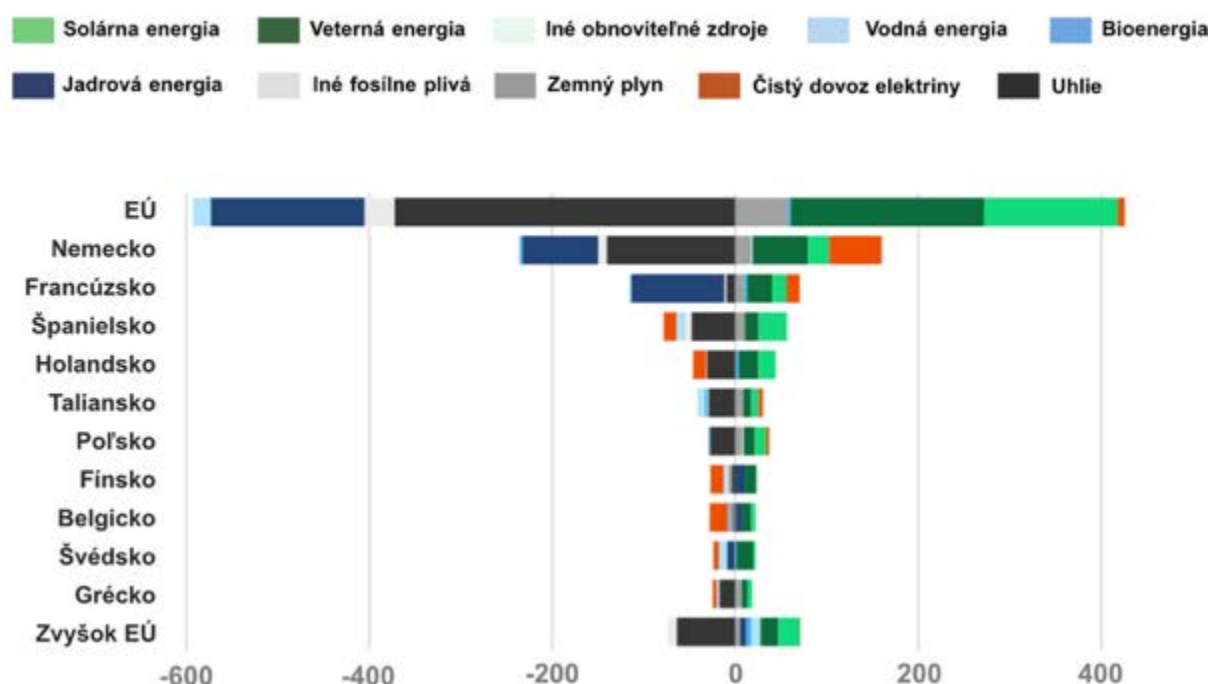
Energetický zdroj	Zmena vyrobenej elektrickej energie 2009/2023 [TWh/rok]
Veterná energia	+ 211
Solárna energia	+ 146
Vodná energia	- 33
Atómová energia	- 241

Tabuľka 12: Elektrická energia z bezemisných zdrojov

Zdroj: EUROSTAT

Dlhodobým trendom vo výrobe elektriny vo vyspelých štátoch sveta a aj v krajinách EÚ, je posun od výroby z fosílnych zdrojov k výrobe z obnoviteľných zdrojov, resp. zdrojov, ktoré neprodukurujú pri svojej prevádzke fosílné emisie CO₂.

Zmena dodávky elektriny v cezhraničnom obchode (TWh)



Obrázok 8: Zmena dodávky elektriny v EÚ v cezhraničnom obchode po roku 2015

Zdroj: Ročné údaje o elektrine, EMBER

3.3.3 Dopyt po elektrickej energii

V roku 2024 spotreba elektrickej energie v EÚ dosiahla 2 724 TWh, čo je nárast o 30 TWh (+ 1 %) v porovnaní s rokom 2023. Slovensko sa na spotrebe elektrickej energii podieľalo menej ako 1 %. Z dôvodov energetickej krízy a pandémie COVID-19 spotreba elektrickej energie v krajinách EÚ medzi rokmi 2021 až 2023 klesla, avšak v roku 2024 po oživení ekonomickej aktivity už mierne vzrástla.

	2021	2022	2023	2024
	[TWh/rok]	[TWh/rok]	[TWh/rok]	[TWh/rok]
EÚ	2915,0	2843,0	2696,0	2724,0
Slovensko	30,7	28,2	25,4	25,9
Nemecko	569,0	554,0	521,0	506,0
Česká republika	73,9	71,2	66,1	66,4
Maďarsko	48,7	47,9	45,8	48,1
Rakúsko	78,3	78,0	69,8	70,6
Poľsko	180,0	178,0	165,0	166,0

Tabuľka 13: Dopyt po elektrickej energii vybrané krajiny EÚ

Zdroj: Eurelectric (2025)

Rast spotreby elektrickej energie sa očakáva aj naďalej, pričom v roku 2030 by v rámci EÚ krajín by mohla spotreba elektrickej energie dosiahnuť až 3551 TWh.¹⁹

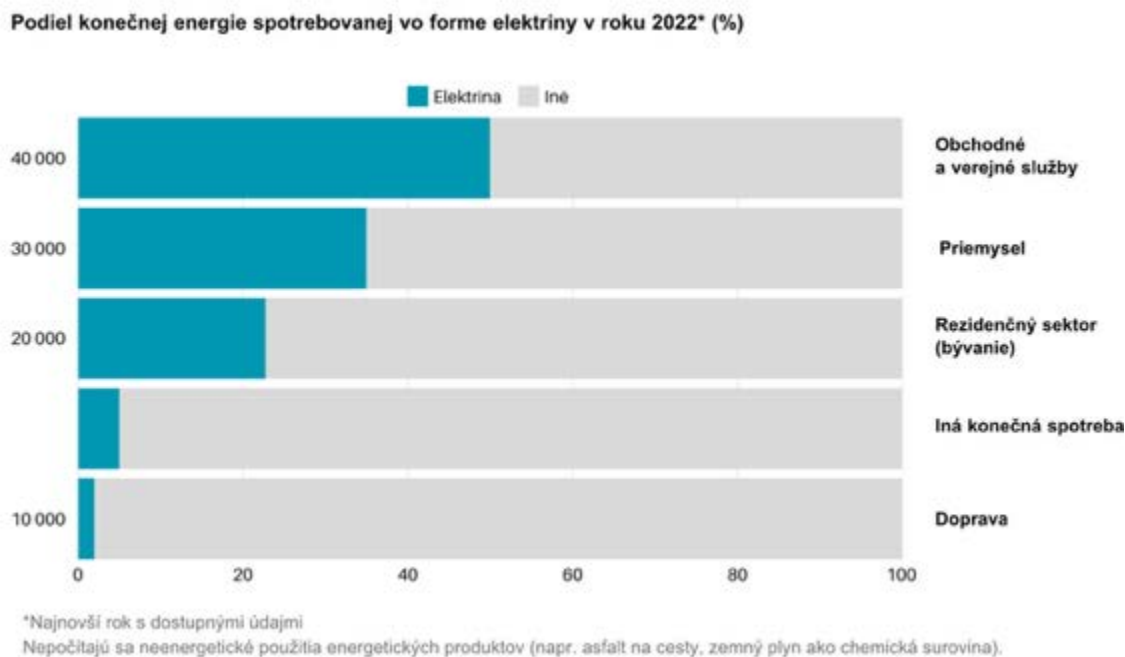
V EÚ dosahovala spotreba elektrickej energie 6,1 MWh na obyvateľa (2023). Najvyššiu spotrebu elektrickej energie, až dvojnásobok priemeru EÚ, dosahuje Fínsko (14,7 MWh) a Švédsko (13,2 MWh). Je to spôsobené vyššou spotrebou elektrickej energie v dôsledku chladnejšieho podnebia, ako aj vyššou mierou elektrifikácie, s väčším využívaním elektrických vozidiel a tepelných čerpadel ako v iných krajinách EÚ. Pod priemerom v spotrebe elektrickej energie sú Španielsko (5,4 MWh), Taliansko (5,3 MWh) a Poľsko (3,5 MWh), ale aj Slovensko (4,492 MWh) a v porovnaní s rokom 2022 ide o pokles o 9%. Pod znížením sa podpísalo obmedzenie výroby hliníka a ferozliatín.

Keď bude naďalej rásť podiel výroby elektrickej energie z OZE v energetickom mixe, elektrifikácia bude kľúčovým prvkom pri dekarbonizácii naprieč odvetvami. Od roku 2022 len 21 % konečnej spotreby energie v EÚ pochádzalo z elektriny. Tento podiel by sa mal podstatne zvýšiť, keďže sa významným tempom elektrifikujú viaceré sektory hospodárstva súčasne.

Medzi kľúčové sektory, v ktorých sa očakáva zvýšená elektrifikácia, patrí doprava, spotreba energie v domácnostiach (t. j. výroba tepla a teplej vody) a priemysel.

Podľa údajov Eurostatu (2022) sú elektrifikované len 2 % dopravného sektora EÚ. Pri využívaní energie v domácnostiach je tiež nastavený rozsiahly prechod na tepelné čerpadlá, ktorý ďalej zvýši potrebu elektriny. Štvrtina konečnej spotreby energie v sektore bývania je v súčasnosti vo forme elektriny.

¹⁹ <https://electricity-data.eurelectric.org/electricity-demand.html>



Obrázok 9: Elektrifikácia spotrebovanej energie v EÚ

Zdroj: Eurostat

Dlhodobý trend dopytu po elektrine

Dopyt po elektrine v EÚ bol v roku 2023 na úrovni 974 TWh, o 6 % nižší ako v čase jeho vrcholu v roku 2008. Po náraste v prvej dekáde tohto storočia dosiahol dopyt v EÚ v roku 2008 vrchol na úrovni 1036 TWh. Odvtedy zostal vo veľkej miere stabilný s iba malými poklesmi.

V priebehu posledných dvoch desaťročí prírastky nových veterných a solárnych elektrární prevýšili produkciu fosílnych palív a kompenzovali poklesy z ostatných zdrojov čistej, resp. bezemisnej výroby elektriny. V roku 2023 pokles dopytu o 94 TWh v kombinácii s rastom veternej a solárnej energie o 90 TWh a rastom iných čistých zdrojov o 37 TWh viedli k poklesu výroby fosílnych palív o 209 TWh.

Aby emisie naďalej klesali, rast výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov musí nahrádzať fosílna zdroje a prevyšovať aktuálny dopyt po elektrine. V EÚ došlo v štyroch z posledných piatich rokov k poklesu dopytu, čo prispelo k zníženiu potreby výroby fosílnych palív. Keďže elektrifikácia bude v nadchádzajúcich rokoch viesť k zvýšeniu dopytu po elektrine, pridanie čistej a bezemisnej výroby bude ešte dôležitejšie pre uspokojenie nového dopytu a zároveň dekarbonizáciu existujúcej výroby energie.

Rovnako na Slovensku, v zmysle uznesenia vlády ako aj schválených strategických dokumentov sa predpokladá zvýšenie spotreby elektrickej energie až na úroveň viac ako 45 TWh v roku 2050²⁰.

Emisie CO₂ v energetickom sektore

Emisie energetického sektora v EÚ klesli v roku 2023 o 19 %, čo je najväčší zaznamenaný pokles. V roku 2023 došlo k najväčšiemu ročnému zníženiu uhlíkovej náročnosti v EÚ minimálne od roku 2000. Emisie v energetickom sektore EÚ sa od maxima v roku 2007 znížili takmer o polovicu.

3.3.4 Vodík ako nosič energie

Vodík nabera svoj význam nielen ako surovina v priemyselnej výrobe, ale najmä ako bezemisný nosič energie, kde na rozdiel od fosílnych palív v sebe nenesie uhlík a jeho využitie preto neemituje skleníkové plyny. Vodík má pre hospodárstvo nepopierateľný prínos aj ako úložisko energie so sezónnym potenciálom uloženia prebytkov elektrickej energie z letného obdobia s využitím v zimných mesiacoch roka.

3.3.4.1 Vodík ako nosič energie v Európskej únii

Vybudovanie vodíkovej infraštruktúry vytvorí podmienky pre konkurencieschopnú európsku energetickú transformáciu na viacerých frontoch. Vybudovanie integrovanej celoeurópskej vodíkovej siete do roku 2030 znamená pre európske ciele v oblasti energetickej transformácie vrátane energetiky cenovú dostupnosť, bezpečnosť a nezávislosť. Transformácia uľahčí rozsiahle využívanie obnoviteľnej energie v krajinách s priaznivými podmienkami na cenovo dostupnú výrobu vodíka, ako aj jeho dovoz z tretích krajín.

Cezhraničná infraštruktúra bola a zostáva kľúčovou súčasťou energetického hodnotového reťazca – prepája ponuku s dopytom a vysiela dôležité signály na zníženie finančného rizika zo strany účastníkov trhu.

Sieť European Hydrogen Backbone (EHB) je v procese implementácie. Prevádzkovatelia prenosových sústav plynu (TSO) plánujú významné investície do svojich sietí a niektorí z nich už dnes môžu poukázať na hmatateľný pokrok v projektoch na jednotlivých koridoroch. Vo všetkých plánovaných koridoroch sú pripravované a implementované projekty, na ktorých v súčasnosti jednotliví TSO pracujú. Na konci roka 2023 bolo v príprave 40 konkrétnych projektov riadených jednotlivými TSO s celkovou dĺžkou 31500 kilometrov vodíkových potrubí a očakávaným uvedením do prevádzky pred rokom 2030. Mnohé z týchto projektov prešli už investičným rozhodnutím zo strany TSO.

²⁰ zdroj: MFSR, Analýza Útvaru hodnoty za peniaze

Súčasťou tejto siete je aj časť plynovej prepravnej siete na území Slovenska, ktorú prevádzkuje spoločnosť eustream, a.s., a ktorá v súčasnosti zabezpečuje prepravu zemného plynu cez územie Slovenska. Sieť môže byť po technických úpravách využitá aj na prepravu vodíka. Slovenský IPCEI projekt spoločnosti Eustream, a.s. sa však v prvom kvartáli roka 2025 nachádzal len vo fáze negociácie podpory zo strany štátu bez odsúhlasenej podpory, preto ciele na rok 2030 sú ohrozené.

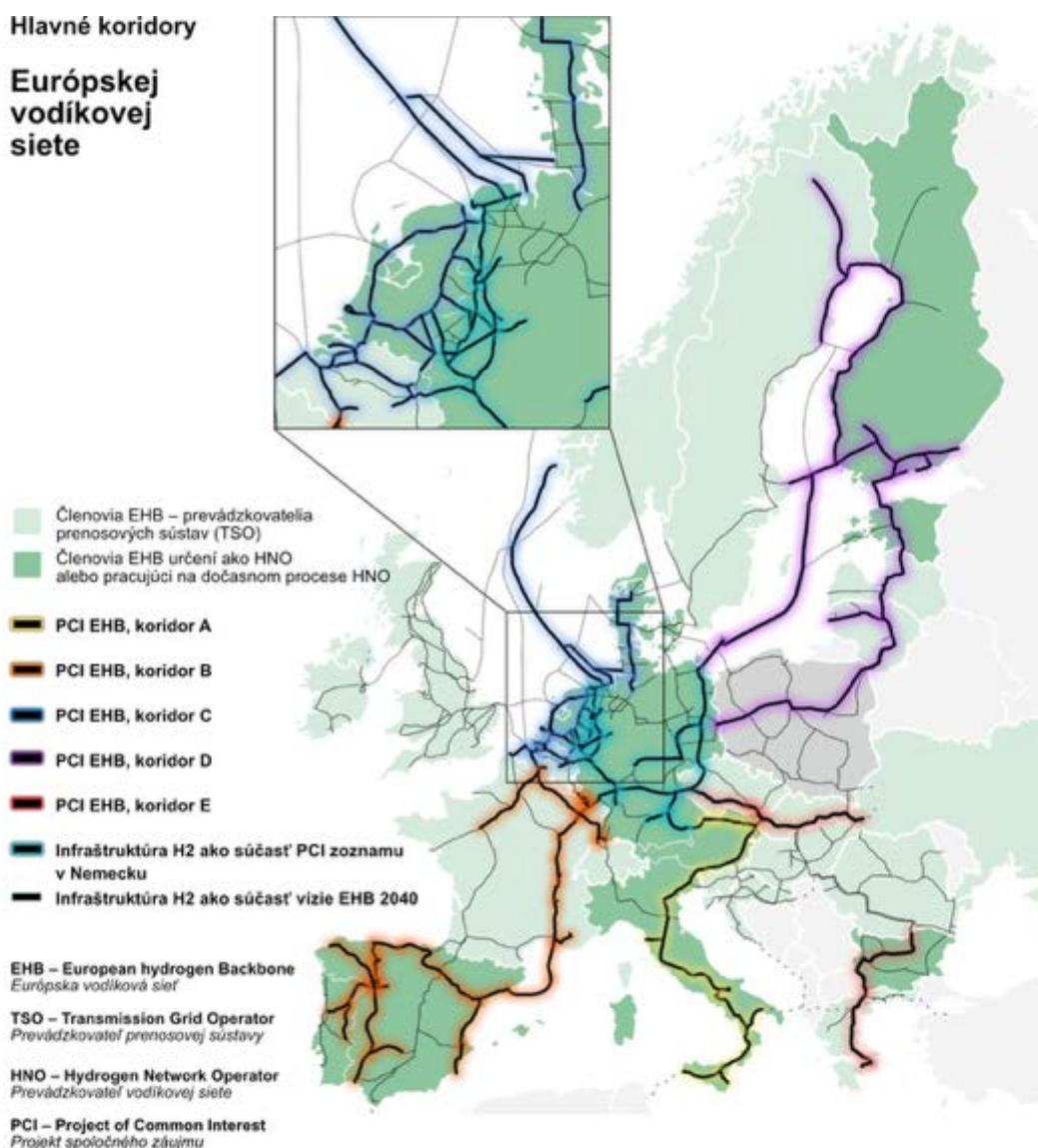


Obrázok 10: Členovia EHB

Zdroj: <https://ehb.eu>

V roku 2020 EÚ predstavila vodíkovú stratégiu pre vybudovanie celokontinentálneho vodíkového ekosystému v súlade s Európskou zelenou dohodou. V júli 2021, EK vo svojom legislatívnom balíku Fit For 55 stanovila cieľ využitia 5,6 mil. t obnoviteľného vodíka v Európe do roku 2030. Po ruskej invázii na Ukrajinu vo februári 2022 EK navýšila tento cieľ na 20 mil. t obnoviteľného vodíka, a to 10 mil. t z domácej výroby a 10 mil. t z dovozu.

Pred zverejnením plánu REPowerEU, EHB vykonala hodnotenie dopytu po vodíku podľa sektorov a krajiny. Identifikovala 14,7 mil. t potenciálnej spotreby vodíka na základe predpokladu odvodeného z národných cieľoch, vývoji trhu a oznámených projektoch (metóda “bottom-up”).



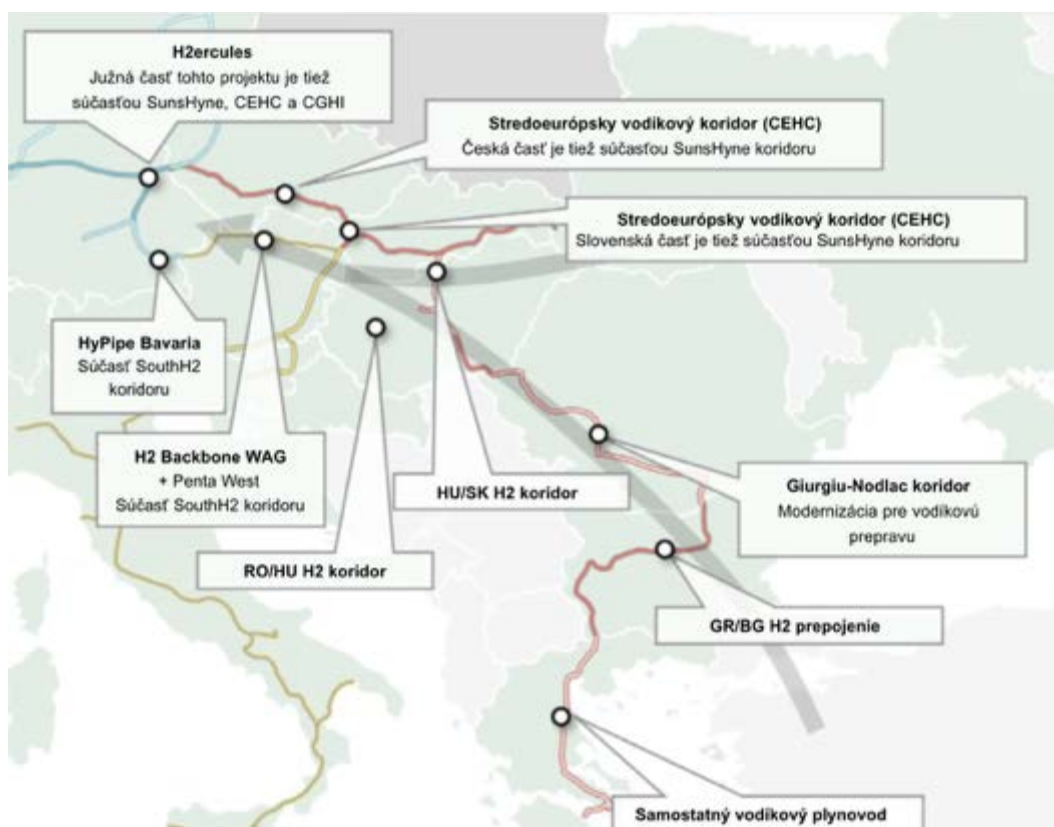
Obrázok 11: Mapa európskej vodíkovej siete na území EÚ (European Hydrogen backbone)

Zdroj: EHB²¹

Hlavným cieľom iniciatívy EHB je vytváranie vodíkových koridorov. Koncepcia koridoru poskytuje ekonomický prostriedok na premostenie podstatného nesúladu v dôsledku demografických, geografických, ekonomických a klimatických faktorov medzi centrami ponuky - výrobcami vodíka a centrami spotreby - konečnými užívateľmi v regiónoch Európy. Niektoré Európske regióny a to hlavne Severské štáty, Pobaltie, Severné more a južná Európa sa vyznačujú čistým prebytkom nízkonákladových zdrojov vodíka. Tieto budúce exportné regióny ťažia z obrovského potenciálu obnoviteľnej energie, vysokým percentom využitia OZE a dostupnosti využiteľnej pôdy. Iné regióny, ako napr. stredná Európa, budú potrebovať dovoz vodíka zo susedných európskych alebo iných krajín na uspokojenie svojho dopytu po vodíku.

²¹ https://ehb.eu/files/downloads/1732103116_EHB-Boosting-EU-Resilience-and-Competitiveness-20-11-VF.pdf

Koridor E, východný a juhovýchodný koridor, umožní prepravu vodík z Grécka alebo Ukrajiny cez Bulharsko, Rumunsko, Maďarsko, Slovensko Česko a Rakúsko ďalej do západnej Európy.



Obrázok 12 Juhovýchodný a Východný koridor EHB

Zdroj:EHB²²

3.3.4.2 Vodík v krajinách mimo Európskej únie

Aj mimo EÚ sa budovanie vodíkového ekosystému, ako prostriedku na dekarbonizáciu ekonomiky, stáva jednou z hlavných ciest a veľmi významnou časťou plánov pre rozvoj hospodárstva. V podstate každá hospodársky rozvinutá krajina má vypracovanú vodíkovú stratégiu a kladie dôraz na jej implementáciu a realizáciu v daných časových úsekoch. Na rozdiel od Európy, dôraz v strednodobom horizonte (do 2030) nie je kladený na využívanie striktnie obnoviteľného vodíka, ale hlavne na budovanie infraštruktúry na výrobu a prepravu vodíka, nasadzovanie vodíkových technológií do dopravy a do priemyslu bez ohľadu na druh vodíka, tak aby sa jednotlivé zložky vodíkového reťazca navzájom prepojili a zároveň, aby sa priemysel adaptoval na nový energonosič. Súbežne je kladený dôraz na budovanie OZE a nízkoemisných zdrojov elektriny v dostatočnom množstve pre výrobu

²² <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-2023-Implementation-Roadmap-Part-1.pdf>

obnoviteľného/nízkoemisného alebo nízkouhlíkového vodíka. (Pozri prílohu 7.2 Vodík v USA a Číne, kde nájdete prehľad stratégií a trendov dvoch najväčších ekonomík mimo EÚ.)

3.3.5 REPowerEU – zvyšovanie energetickej nezávislosti diverzifikáciou zdrojov

Krajiny EÚ zaradili do plánov obnovy a odolnosti v rámci nástroja NextGenerationEU kapitoly pre investície a reformy, ktoré pomôžu dosiahnuť ciele plánu REPowerEU. Medzi tieto ciele patria úspory energie, diverzifikácia dodávok energie a zrýchlené zavádzanie OZE.

Reformy a investície by sa mali zamerať najmä na:

- zlepšenie energetickej infraštruktúry a zariadení s cieľom uspokojiť okamžité potreby v oblasti bezpečnosti dodávok zemného plynu, vrátane dodávok skvapalneného zemného plynu (LNG), najmä s cieľom umožniť diverzifikáciu dodávok v záujme EÚ ako celku,
- zvýšenie energetickej hospodárnosti budov,
- dekarbonizáciu priemyslu,
- zvýšenie výroby a využívania udržateľného biometánu a vodíka z obnoviteľných zdrojov alebo bezfosílného vodíka,
- zvýšenie podielu energie z obnoviteľných zdrojov a urýchlenie jej využívania,
- boj proti energetickej chudobe,
- stimulovanie znižovania dopytu po energii,
- odstraňovanie prekážok pri vnútornom a cezhraničnom prenose a distribúcii energie a podporu dopravy s nulovými emisiami a jej infraštruktúry vrátane železníc,
- a v neposlednom rade aj podporu uskladňovania elektrickej energie.

Aj po nedávnom prehodnotení odhadu spotreby vodíka v EÚ do roku 2030 zostáva dovoz vodíka dôležitým prvkom na splnenie cieľov EÚ v oblasti dekarbonizácie a energetickej bezpečnosti. Podľa správy T&E²³ dopyt do roku 2030, okolo 4 mil. t, by mohla pokryť domáca európska produkcia, čím sa znižuje potreba dovozu. Tento výpočet vychádza z minimálnych záväzných cieľov ČŠ uvedených v právnych predpisoch EÚ týkajúcich sa priemyslu a dopravy.

Mnohé z ohlásených projektov výroby obnoviteľného vodíka odložili realizáciu až po roku 2030 z dôvodov neistoty na trhu s vodíkom a nejasného investičného a regulačného prostredia. Ku koncu 2024 bolo ohlásených 141 GW nových elektrolyzéro, avšak viac ako 65% z tejto kapacity je ohlásených vo veľkých projektoch (viac ako 1 GW inštalovaného výkonu), ktorých realizácia sa posúva až k obdobiu roka 2030 a neskôr²⁴. Pri zahrnutí všetkých príslušných sektorov; priemysel, námorná doprava, letectvo, cestná mobilita, poľnohospodárstvo a skladovanie, existuje potvrdená kapacita medzi 8 – 10 mil. t v projektoch vodíka a amoniaku do roku 2030.

Na základe cieľov EÚ na zníženie emisií skleníkových plynov do roku 2040 sa očakáva výroba 20 až 35 mil. t vodíka z obnoviteľných zdrojov v závislosti od zvoleného scenára. To by

²³ zdroj: <https://www.transportenvironment.org/articles/europes-hydrogen-plans-reliant-on-uncertain-imports-report>

²⁴ International Energy Agency (project database 2024)

predstavovalo podiel až 10 % konečnej spotreby energie s nárastom najmenej na 16 % do roku 2050. Pridaním e-palív vyrobených z obnoviteľného/nízkoemisného vodíka sa podiel zvýši na 12,4 %, resp. 24,1 %, čo dokazuje kľúčovú úlohu, ktorú bude vodík zohrávať pri prechode na čisté energie.

V tejto súvislosti bude EÚ, popri krajinách východnej Ázie ako je Japonsko, jedným z hlavných svetových centier dopytu po dovoze obnoviteľného/nízkoemisného vodíka. Regióny v Belgicku, Holandsku, Nemecku alebo Poľsku, môžu využiť svoje medzinárodné námorné alebo vnútrozemské prístavy na dovoz veľkých kapacít vodíka z iných častí sveta.

Zároveň existuje dlhý zoznam potenciálnych dodávateľov vodíka do EÚ²⁵. Správa T&E vo svojej analýze vyberá Čile, Egypt, Maroko, Namíbiu, Nórsko, Brazíliu a Omán ako najpravdepodobnejších vývozcov do Európy. Zistilo sa, že projekty oznámené v roku 2022 v týchto siedmich krajinách dosiahli do roku 2030 len 3,9 mil. t potenciálu obnoviteľného vodíka, pričom len 2,6 mil. t z toho bolo k dispozícii na export do EÚ. Je však nutné zobrať do úvahy, že zoznam potenciálnych krajín obchodujúcich s vodíkom je dlhší ako týchto sedem.

Spojené štáty americké, ktoré vďaka svojmu zákonu o znižovaní inflácie vo veľkom vsadili na vodík a s výraznými stimulmi pre výrobu sa pripravujú na to, aby sa stali globálnym vývozcom. Krajina sa zameriava na vybudovanie vlastnej výrobnnej kapacity 10 mil. t obnoviteľného vodíka do roku 2030, a vďaka neobmedzenému prístupu na trhy v Atlantiku a Tichomorí by mohli ťažiť z vývozu vodíka. Približne 3 mil. t obnoviteľného/nízkoemisného vodíka by mohli byť určené na export. Očakáva sa, že Kanada tiež zohrá veľkú úlohu v globálnom obchode s vodíkom. Medzitým Saudská Arábia, ktorá minulý rok zaznamenala uzavretie najväčšieho projektu financovania obnoviteľného vodíka, dopĺňa blízkovýchodný kontingent spolu s Ománom a Katarom. Severná, južná Amerika a regióny MENA by sa vo všeobecnosti mali tiež identifikovať ako kľúčoví vývozcovia v obchode s vodíkom.

EÚ pokročila smerom k tomu, aby do roku 2030 bolo vo výstavbe alebo prevádzke aspoň 50 vodíkových údolí – miestnych priemyselných alebo dopravných zoskupení s cieľom budovať miestny vodíkový ekosystém.

Komisia načrtla strategické priority a činnosti, ktoré podporia rast vodíkových údolí. V súčasnosti prebiehajú alebo sa plánujú nasledovné aktivity:

- Komisia podporí „Nástroj pre vodíkové údolia“ prostredníctvom Spoločného podniku pre obnoviteľný vodík, verejno-súkromného partnerstva v rámci Horizontu Európa, s cieľom pomôcť v počiatočnom štádiu vodíkových údolí do bodu, keď môžu začať s výstavbou.
- Nové centrum znalostí o obnoviteľnom vodíku, ktoré vychádza z nedávno obnoveného Európskeho observatória pre vodík, poskytne zúčastneným stranám informácie, ktoré požadujú, a umožní tak automatizovanú analýzu údajov a podávanie správ na podporu rozhodovania založeného na znalostiach.

²⁵ zdroj: <https://www.transportenvironment.org/articles/europes-hydrogen-plans-reliant-on-uncertain-imports-report>

- ### 3.3.6 Vytváranie ucelených vodíkových reťazcov, ich rozširovanie a prepájanie

*Zdroj: Arup*²⁶

52

Prechod na čistú energiu prostredníctvom zvýšeného úsilia o integráciu OZE do energetického a mixu závisí od riešenia kritických problémov súvisiacich s primeranou infraštruktúrou rozvodných sietí. Zatiaľ čo rast projektov v oblasti elektrifikácie a obnoviteľnej energie je veľkým príslubom, nedostatok flexibility distribučných a prenosových sietí predstavuje hrozbu v úsilí o dekarbonizáciu. Pokračujúca elektrifikácia dopravy, vykurovania zintenzívňuje potrebu odolných a flexibilných sieťových systémov. Aj na základe scenárov nízkeho dopytu po elektrine je potreba rozšírenia siete nevyhnutná, aby sa uspokojila zvýšená úroveň penetrácie OZE.

V celosvetovom meradle sa všeobecne uznáva potreba rozšírenia a modernizácie siete. Desaťročný plán rozvoja siete ENTSO-E načrtáva prognózu, že v priebehu nasledujúcich siedmich rokov sa očakáva zdvojnásobenie cezhraničnej prenosovej infraštruktúry. Táto prognóza zahŕňa dodatočnú kapacitu 23 GW na začlenenie do roku 2025, po ktorej bude nasledovať ďalších 64 GW do roku 2030. Táto strategická iniciatíva je v súlade s potrebou modernizovať viac ako 40 % európskej distribučnej elektrickej infraštruktúry, ktorá je staršia ako 40 rokov. Spojené štáty avizujú potrebu až 60 % rozšírenia svojich elektrických prenosových sústav do roku 2030, zatiaľ čo čínska State Grid Corporation zverejnila významnú investíciu v celkovej výške 1020 miliárd CNY (132 mld. EUR) do energetických sietí. Podľa hodnotenia IEA sa do roku 2040 predpokladá celosvetová potreba viac ako 80 mil. km sietí, čo sa rovná celkovej dĺžke existujúcej globálnej siete. V súčasnosti čaká na pripojenie do siete v Európe a USA viac ako 1,5 TW kapacity obnoviteľnej energie, čo poukazuje na to, že existujúca kapacita siete nie je dostatočná na uspokojenie požiadaviek. To vedie k nedostatočnému využívaniu potenciálu obnoviteľnej energie. V Európe sa čakacia doba na získanie povolenia na rozvodnú sieť pohybuje od 4 – 10 rokov a 8 – 10 rokov pre vysokonapäťové jednotky. Tento aspekt zdôrazňuje, že investície do sieťových infraštruktúr sú rovnako dôležité ako projekty na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov, aby sa nebránilo pokroku v prechode na elektrinu.

Budúca elektrizačná sústava, okrem prispôsobenia sa rastu variabilnej výroby z OZE, musí reagovať aj na zmeny v dopyte a umožniť aj toky elektriny do a zo siete malým užívateľom a energetickým komunitám. Začlenenie takýchto decentralizovaných subjektov si vyžaduje starostlivé zváženie miestnych a systémových vplyvov, zabezpečenie primeranosti systému a efektívneho manažmentu špičkového zaťaženia. Elektrické siete musia vykazovať flexibilitu a odolnosť, aby zvládli nepredvídané udalosti a udalosti s vysokým dopadom a nízkou pravdepodobnosťou. Súčasne je pre vývoj scenára rozhodujúce silné zapojenie zainteresovaných strán a zapojenie verejnosti, čím sa zabezpečí, že plány rozšírenia siete budú akceptované dotknutými komunitami. Investičné plány do siete musia byť v súlade aj s dlhodobými národnými a medzinárodnými stratégiami energetickej transformácie, pretože postupy udeľovania povolení, čas výstavby a problémy dodávateľského reťazca môžu predstavovať vážnu záťaž pre tento proces. Okrem toho sa prepracovanie veľkoobchodných trhov s elektrinou stáva rozhodujúcim pre prispôsobenie sa zvýšenému prieniku OZE, zatiaľ

čo sezónnosť, komplementárnosť, variabilita a predvídateľnosť v oblasti OZE si vyžadujú strategický prístup k plánovaniu siete, investíciám a dizajnu trhu.

Technológie inteligentných sietí, ktoré zahŕňajú pokročilú meráciu infraštruktúru a automatizáciu siete, by mohli zvýšiť flexibilitu siete. Mechanizmy reakcie na dopyt umožňujú spotrebiteľom prispôbiť svoju spotrebu elektrickej energie podmienkam siete a znížiť riziko preťaženia počas špičiek. Digitalizácia siete, ktorá zahŕňa senzory a analýzu údajov, zvyšuje efektivitu operácií siete, a tým uľahčuje prediktívnu údržbu a rýchlu reakciu na poruchy. Zároveň umožňuje vytvárať flexibilné tarifné štruktúry pre domácnosti a malých spotrebiteľov a tým efektívne reagovať na výkyvy v sieti.

Pokročilé riešenia skladovania energie zohrávajú kľúčovú úlohu pri uľahčovaní zvýšenej integrácie variabilných obnoviteľných zdrojov do siete. Najmä počas období vysokej výroby a nízkeho dopytu možno OZE obmedziť a skladovanie energie môže ponúknuť možnosť uskladnenia prebytočnej energie na neskoršie použitie. Napríklad batériové systémy vykazujú rýchlu odozvu na výkyvy vo výrobe obnoviteľnej energie, čo prispieva k zvýšenej stabilite siete. Veľkokapacitné prečerpávacie vodné elektrárne môžu skladovať prebytočnú energiu čerpaním vody do vyšších nadmorských výšok počas vytvárania prebytku a jej uvoľňovaním počas období vysokého dopytu. Vodík je tiež všestranným a flexibilným nosičom energie, ktorý patrí do tejto kategórie a dokáže premieňať elektrickú energiu na inú formu energie využiteľnú v iných oblastiach priemyslu (sector coupling).

Potenciál OZE môže byť dostupný regiónom bohatým na zdroje, ktoré nemusia byť blízko centier dopytu a budú potrebné dodatočné investície do prenosových sietí aby sa centrá prepojili. Naopak, umiestnenie elektrolyzérův nie je pevne dané; môže byť umiestnené spolu s jednotkami obnoviteľnej energie alebo v blízkosti miest koncových užívateľov. Rozhodnutie o umiestnení závisí od rôznych faktorov, ako je logistika, geografické charakteristiky a ekonomika každého prípadu použitia.

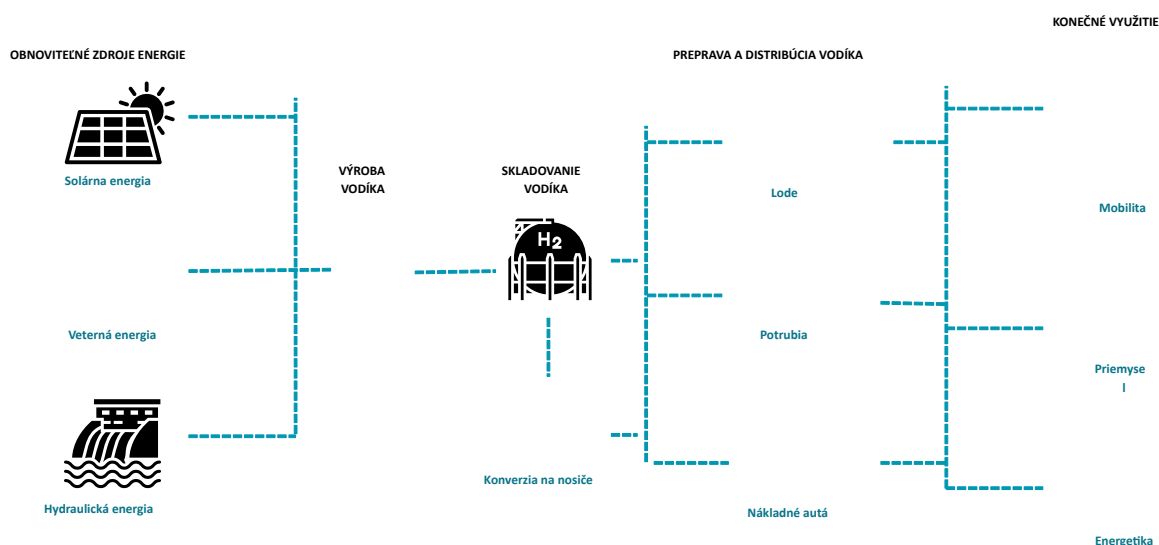
Spoločné umiestnenie elektrolyzérův pri zdrojoch obnoviteľnej energie ponúka strategickú výhodu využívaním lokálne vyrobenej obnoviteľnej energie na výrobu vodíka bez zaťaženia poplatkami. Tento prístup pomáha tiež odľahčiť preťažené prenosové vedenia a zmierniť potrebu ich rozsiahlej modernizácie. Navyše, elektrina ktorú nemožno dodať do siete (napr. kvôli sieťovým obmedzeniam) môže byť využitá v elektrolyzéroch na výrobu vodíka, ktorý možno skladovať a použiť neskôr. Technológie výroby obnoviteľného vodíka sa v tomto kontexte javia ako dôležité riešenie, ktoré eliminujú nepredvídateľnosť OZE, čím sa zvyšuje odolnosť energetických systémov.

V období nízkeho dopytu a cien možno elektrinu skladovať vo forme vodíka a následne opätovne využiť v období vysokého dopytu a cien. Ďalšou výhodou je, že vodík možno prepravovať do odberných miest koncových používateľov, ktoré sú náročné na elektrifikáciu, ako sú rafinérie, oceliarsky a chemický priemysel, a použiť ho priamo ako surovinu na výrobu chemikálií a produktov s pridanou hodnotou. Vodíkové deriváty (ako metanol a čpavok) je tiež

možné skladovať a prepravovať s nižšími energetickými stratami v porovnaní s elektrickými sieťami a prípadne použiť v sektoroch mobility, energetiky a priemyslu.

Vzhľadom na problémy spoločenskej akceptácie, zdĺhavé časy výstavby elektrických sietí a z toho vyplývajúce dlhé čakacie doby na povolenia na pripojenie k sieti by vodík mohol urýchliť a uľahčiť úsilie o dekarbonizáciu, zmierniť tlak na elektrické siete a umožniť cezhraničnú prepravu obnoviteľnej energie. EÚ má rozsiahlu sieť zemného plynu, ktorá čelí rôznym rizikám v dôsledku súčasného úsilia o klimatickú neutralitu a snahu o odpojenie od ruských zdrojov. Vzhľadom na obmedzenú existujúcu infraštruktúru na prepravu vodíka, alternatívny prístup zahŕňa využitie existujúcej siete zemného plynu ako skladovacej, prepravnej a distribučnej siete obnoviteľnej energie vo forme vodíka pre malých aj veľkých spotrebiteľov s minimálnymi stratami. EÚ preto pokračuje s významnými investíciami do modernizácie existujúcej siete plynovodov a jej potenciálne využitie na prepravu vodíka, ktorá dokáže absorbovať značné množstvá energie.

Vodík však v súčasnosti čelí niekoľkým výzvam súvisiacim s výrobnými, skladovacími a distribučnými nákladmi, existujúcimi obmedzeniami infraštruktúry a dostupnosťou odberateľov. Očakáva sa, že tieto výzvy sa budú postupne riešiť zriaďovaním, prevádzkou a rozširovaním vodíkových údolí.



Obrázok 14: Vodíkový reťazec

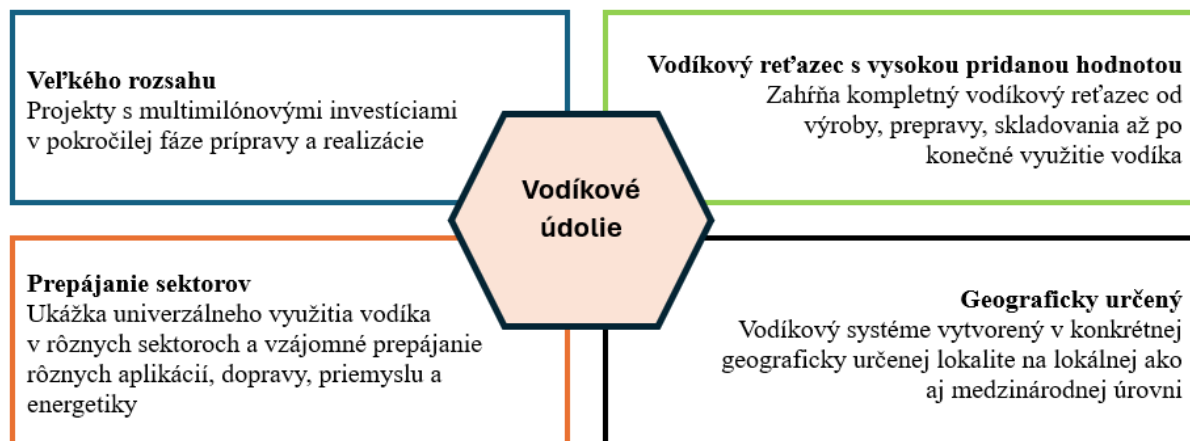
Zdroj: An overview of hydrogen valleys²⁷

Vodíkové údolia

²⁷ Current status, challenges and their role in increased renewable energy penetration, M. Bampaou, K.D. Panopoulos
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212400649X>

Vytváranie ucelených vodíkových reťazcov v rámci vodíkových údolí a ich vzájomné prepájanie je kľúčom pre úspešné budovanie globálnej vodíkovej ekonomiky. Vodíkové údolia, geografické oblasti, kde sa čistý vodík vyrába a lokálne využíva v domácnostiach, miestnej doprave a priemyselných závodoch, sa stanú základnými kameňmi životaschopného európskeho vodíkoveho hospodárstva. Hoci boli vodíkové údolia pôvodne európskym výskumným a inovačným konceptom, teraz sa šíria po celom svete.

Druhy vodíkových údolí



Obrázok 15: Koncept vodíkoveho údolia

Zdroj: Stengl, a.s.

Najpokročilejšie vodíkové údolia na svete sú súčasťou platformy Mission Innovation Hydrogen Valley Platform²⁸, ktorá bola spustená v roku 2021. Platforma eviduje na celom svete 98 údolí a z nich 67 sa nachádza v EÚ. 17 z európskych vodíkových údolí doteraz dostalo podporu z výskumných a inovačných programov EÚ v celkovej výške 262 mil. EUR. Európska iniciatíva Clean Hydrogen Partnership definuje vodíkové údolie nasledovne:

*„Vodíkové údolie je geografická oblasť - mesto, región, ostrov alebo priemyselné zoskupenie - kde sa niekoľko vodíkových aplikácií spája do integrovaného vodíkoveho ekosystému, ktorý spotrebuje značné množstvo vodíka, čím sa zlepšuje ekonomická stránka projektu. V ideálnom prípade by mal zahŕňať celý hodnotový reťazec vodíka: výrobu, skladovanie, distribúciu a konečné využitie.“*²⁹

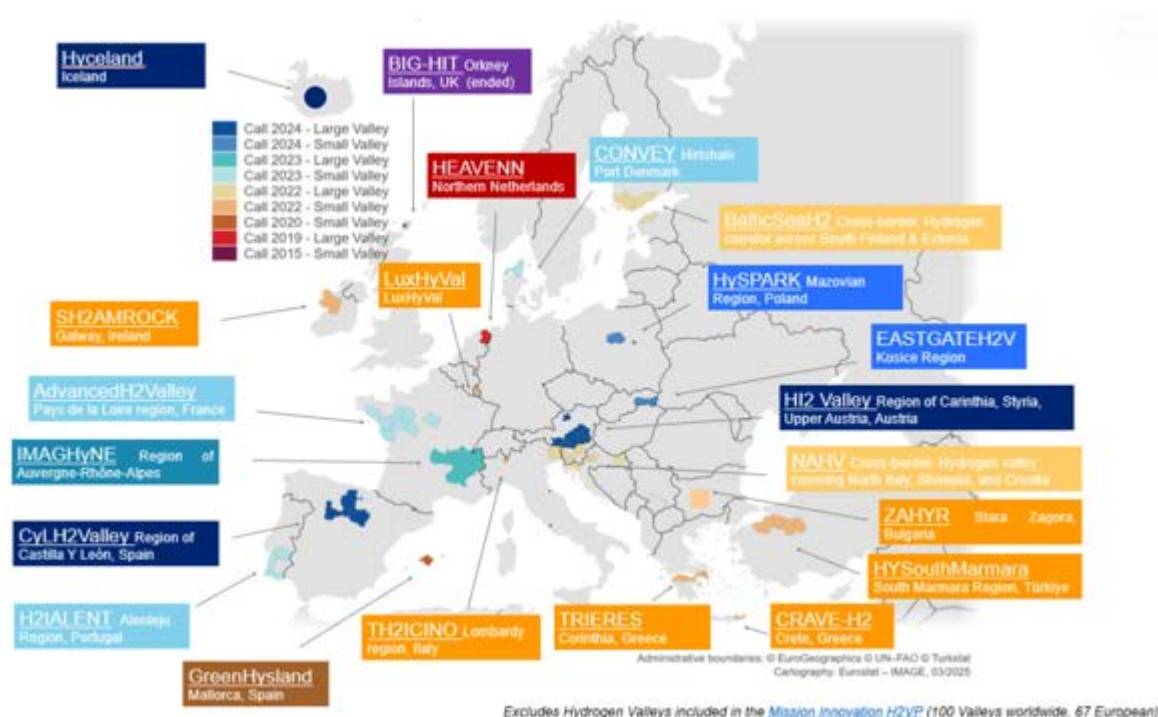
Tri štvrtiny vodíkových údolí je stále v počiatočnom štádiu plánovania a potrebujú podporu rôzneho charakteru, aby dozreli do bodu konečného investičného rozhodnutia a začali s výstavbou.

²⁸ <https://h2v.eu/>

²⁹ Clean Hydrogen Partnership: Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform. (https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/mission-innovation-hydrogen-valleys-platform_en#:~:text=A%20E2%80%9CHydrogen%20Valley%E2%80%9D%20is%20a,the%20economics%20behind%20the%20project)

Výhody vodíkového údolia sú viacnásobné a môžu viesť k vytvoreniu malých a veľkých vodíkových uzlov, ktoré by mohli pripraviť pôdu pre dlhodobé budovanie vodíkovej ekonomiky. Sú to:

- významné úspory investícií a kapitálových nákladov prostredníctvom zdieľania infraštruktúry medzi rôznymi zúčastnenými akcionármi,
- spoločné umiestnenie a synergie medzi rôznymi aktérmi v rámci hodnotového reťazca vodíka (priemyselné odvetvia, podniky, akademická obec, regionálne a vnútroštátne orgány, občania),
- nákladová konkurencieschopnosť výroby vodíka prostredníctvom úspor z rozsahu a zníženia nákladov prostredníctvom efektu krivky učenia,
- vytváranie pracovných príležitostí v sektore vodíka a praktické školenie zamestnancov,
- environmentálne a zdravotné prínosy vďaka širokému prijatiu bezuhlíkových obnoviteľných zdrojov;
- Vytvorenie nových regulačných rámcov a právnych predpisov pre vodík, pretože vodíkové údolia môžu fungovať ako testovacie miesta.



Obrázok 16: Formovanie vodíkových údolí, regiónov

Zdroj: Clean Hydrogen Partnership

Vyššie uvedený obrázok znázorňuje vytváranie vodíkových údolí, regiónov v kontexte EÚ, potenciálne aj s prepojením na bohaté zdroje Ukrajiny.

V regióne strednej EÚ je niekoľko geografických oblastí a iniciatív, ktoré determinujú vybrané územie ako vodíkové údolie. Nasledujúca tabuľka predstavuje vývoj týchto iniciatív v štátoch susediacich so Slovenskom.

Krajina	Vodíkové údolie	Charakteristika

Maďarsko	Vodíkový ekosystém Zadunajska (MVM Hydrogen)		Zameranie: chemický priemysel – výroba čpavku a rafinéria ropy (Pétfürdő, Százhalombatta) a nových používateľov ako oceliarne (Dunaújváros), cementárne (Beremend, Királyegyháza). Bezuhlíkovú elektrickú energiu na vytvorenie vodíkového hodnotového reťazca má dodávať JE v Paksi.
	Severovýchodné údolie	vodíkové	Predstavuje región s rozvinutým chemickým a petrochemickým priemyslom (Miskolc, Tiszaújváros, Kazincbarcika), s významným dopytom po vodíku v koncentrovanej oblasti.
Česko	Moravskoslezský klastr	Vodíkový	Cieľom je vybudovanie fungujúceho a udržateľného ekosystému využitím reálnych vodíkových technológií a ich aplikácie do praxe. Nástrojom bude transformácia priemyslu, dopravy a energetiky spojená s vytvorením vhodných podmienok pre investorov, zmenou výrobných programov a vytvorenia vlastného energetického systému v lokalite MSK. Blízkosť územia k hraniciam s Poľskom a Slovenskom vytvára predpoklady na cezhraničnú spoluprácu a budovania prepojeného vodíkového hospodárstva.
Rakúsko	Hydrogen Industry Valley Austria		VÚ sa zameriava na priemysel ako spotrebiteľ, lokalizované v centrálnej časti Rakúska (Horné Rakúsko, Štajersko a Korutánsko) Združenie WIVA P&G plánuje produkciu okolo 2 030 t/ročne. Aktuálne prebieha plánovanie, inžinierska činnosť, analýza rizík.
	WIVA P&G - Wasserstoffinitiative Vorzeigeregion Austria Power & Gas		Vodíkové údolie vzniklo ako združenie na financovanie výskumu a vývoja v oblasti využívania, distribúcie a skladovania vodíka a obnoviteľné plyny s hlavným zameraním na zelenú energiu, zelený priemysel a zelenú mobilitu. Investície vo výške 258 mil. EUR, ročná produkcia okolo 2027 t. Aktuálne vo výstavbe.
Poľsko	Jantárové vodíkové údolie (Amber Hydrogen Valley)		Cieľom VÚ je aktivácia dlhodobého vodíkového hospodárstva v regióne Pomoransko v Poľsku vytvorením celého vodíkového hodnotového reťazca, od výroby, skladovania a distribúcie H ₂ až po rôzne konečné využitia (mobilita, priemysel, energetika). Orlen S.A. N.A. Poland 4,000 T/year N.A. + Mazovian Hydrogen Valley (HySPARK project) ORLEN & Instytut Energetyki 151.00 mil. EUR 5 000 t/rok Stav: pred investičným rozhodnutím (plánovanie, projektovanie, znižovanie rizík a pod.)

		HYSPARK: Vodíkové riešenia pre európske letiská a regionálnu mobilitu je projekt realizovaný v rámci Mazovskej vodíkovej doliny, ktorá sa nachádza v Mazovsku v Poľsku.
Ukrajina	Zakarpatské vodíkové údolie	Výstavba závodu na výrobu vodíka z obnoviteľných zdrojov v Zakarpatskej oblasti sa plánuje na území miestnej obce Velykodobronska v Užhorodskom okrese Zakarpatskej oblasti. Lokalita projektu sa nachádza v blízkosti vysokonapäťových elektrických sietí, zdrojov vody pre elektrolýzu a potrubia existujúcej ukrajinskej prepravnej sústavy plynu. Počiatočná fáza projektu zahŕňa vytvorenie lokálneho hodnotového reťazca vodíka v malom rozsahu, zatiaľ čo následné fázy zahŕňajú výrobu vodíka vo veľkom rozsahu s kapacitou elektrolýzér od 100 MW do 1,5 GW a vytvorenie koridoru pre prepravu vodíka z Ukrajiny do US Steel Košice na Slovensku, po ktorom bude nasledovať rozšírenie tohto vodíkového koridoru do ďalších krajín strednej Európy. Tento projekt je súčasťou cezhraničného slovensko-ukrajinského vodíkového údolia EastGateH2EU Hydrogen Valley, ktoré slúži pre rozsiahlu výrobu vodíka a jeho prepravu z Ukrajiny do EÚ cez Stredoeurópsky vodíkový koridor.

Tabuľka 14: Vodíkové údolia okolité krajiny

Zdroj: Prieskum Clean Hydrogen Partnership, vlastný prieskum

3.3.7 Metodika výpočtu emisií pri výrobe elektrickej energie

Výpočet emisnej stopy elektrickej siete komplexne analyzuje celý energetický systém. Jeho cieľom je kvantifikovať množstvo skleníkových plynov, ktoré sú priamo aj nepriamo spojené s výrobou a dodávkou elektrickej energie. Do výpočtu vstupuje zber údajov o výrobe elektriny z jednotlivých energetických zdrojov, o energetických stratách pri prenose, pri distribúcii a spotrebe. Okrem priamej výroby elektriny sa zohľadňujú ďalšie faktory, ako napr. emisie spojené s ťažbou a spracovaním energonosičov alebo prevádzka elektrární.

Existujú viaceré medzinárodne uznávané metodiky, podľa ktorých je možné posúdiť environmentálne dopady celého životného cyklu produktov a služieb, vrátane emisnej stopy výroby a distribúcie elektriny. Sú zhrnuté v nasledovnej tabuľke.

Metodiky
Metodológia Medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC)
Hodnotenie životného cyklu LCA (Life Cycle Assessment)
Hodnotenie PCF (Product Carbon Footprint)
GHG protokol

Pre každý zdroj energie je stanovený emisný faktor - množstvo CO₂ emitovaného na jednotku vyrobenej energie. Emisné faktory jednotlivých zdrojov sa zväžia podľa ich podielu na celkovej výrobe a vypočíta sa priemerný emisný faktor pre celý systém. Následne sa priemerný emisný faktor vynásobí celkovou spotrebou elektriny, čím sa získa celková emisná stopa.

V Slovenskej republike je gestorom monitoringu emisií Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), konkrétne Odbor emisie a biopalivá (OEAB), ktorý monitoruje informácie o stave a prognózach emisií z energetiky v SR. Na stanovenie CO₂ intenzity energetického sektora využíva kombinovanú metodológiu založenú na referenčnom a sektorovom prístupe. Prevádzkuje Národný emisný informačný systém (NEIS)³⁴. Prognózu emisií skleníkových plynov a znečisťujúcich látok v sektore energetika vrátane dopravy a domácností bilancuje do roku 2050 a reportuje EÚ tiež analýzu emisnej stopy elektrickej siete za Slovensko. Súčasný stav emisií pri výrobe elektrickej energie a odhad do roku 2030 detailne opisuje kapitola 4.3.2.

3.4 Stav technickej realizovateľnosti vodíkového hospodárstva v krajinách Európskej únie

Najrozšírenejší spôsob výroby obnoviteľného vodíka v súčasnosti je výroba v elektrolyzéru lokalizovanom pri existujúcom zdroji obnoviteľnej energie. Využíva sa elektrická energia vyrobená v čase, keď jej predaj na trhu je nerentabilný (veľmi nízke resp. záporné ceny elektriny) prípadne výroba obnoviteľnej elektrickej energie nie je možná z dôvodov zachovania stability elektrickej siete.

Avšak s rastúcim dopytom po čistom resp. obnoviteľnom vodíku sa v strednodobom horizonte (do roku 2030) bude inštalovať a realizovať veľké množstvo výroby vodíka v mieste jeho spotreby s využitím OZE s priamym pripojením k elektrolyzérom. Po roku 2030 bude tento spôsob výroby prevládať hlavne v oblastiach, kde nie je dostatočná infraštruktúra vhodná pre prepravu veľkého množstva vodíka potrubím a kde nároky na dekarbonizáciu daného územia nie je možné pokryť výlučne elektrifikáciou.

Výroba obnoviteľného vodíka a náklady na jeho výrobu priamo súvisia s potenciálom územia pre výstavbu a prevádzku obnoviteľných zdrojov výroby elektriny. Hlavnými zdrojmi obnoviteľnej elektriny bude veterná, slnečná a vodná energia. Preto v oblastiach kde vyššie uvedené zdroje majú dobré podmienky pre svoju prevádzku aj náklady na výrobu jednotky obnoviteľného vodíka budú nižšie (viď obrázok nižšie).

³⁰ https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_MethodChoice.pdf; <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

³¹ ISO 14044:2006 (<https://www.iso.org/standard/37456.html#amendment>) ISO 14044:2006 (<https://www.iso.org/standard/37456.html#amendment>)

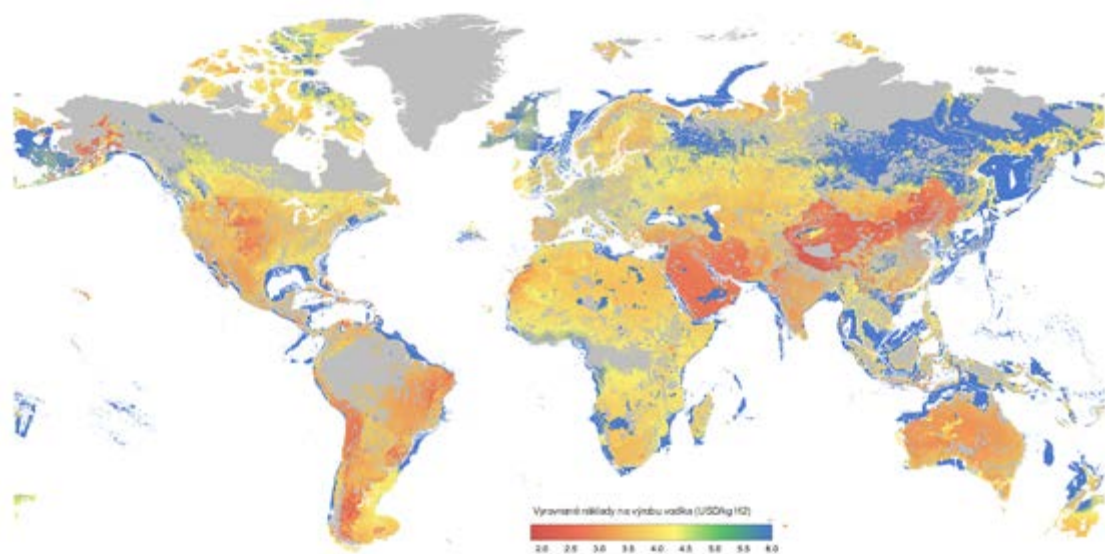
³² ISO 14067:2018 (<https://www.iso.org/standard/71206.html>)

³³ <https://ghgprotocol.org>

³⁴ Správa o emisiách EÚ ETS a EÚ ESR za roky 2022 (04/2024).

Potenciál OZE však nie je jediné kritérium, ktoré ovplyvňuje výrobné náklady vodíka. Veľmi dôležitým faktorom je aj stav a úroveň existujúcej infraštruktúry a vzdialenosť k miestu spotreby. Náklady na prepravu vodíka na veľké vzdialenosti významným spôsobom ovplyvňujú koncovú cenu vodíka a aj jeho schopnosť byť významným energonosičom pri dekarbonizácii ekonomiky.

Globálna preprava vodíka z oblastí s vynikajúcimi podmienkami na výrobu vodíka z OZE, sa bude rozvíjať až po vybudovaní morských terminálov vodíka a prístavnej infraštruktúry s napojením na EHB.



Obrázok 17: Náklady na výrobu vodíka z hybridnej solárnej a veternej energie do roku 2050, 2030

Zdroj: IEA, Global Hydrogen Review 2024, str. 84

Poznámky: Za predpokladu optimálneho predimenzovania zariadenia na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov v každej lokalite, aby sa minimalizovali zvýšené náklady na výrobu vodíka. Solárne FV CAPEX sú 380-1 300 USD/kW, CAPEX pre veternú energiu na pevnine sú 980-3 260/kW, CAPEX pre veternú energiu na mori sú 1 770-4 300 USD/kW. Náklady na kapitál sa predpokladajú na úrovni 9 % pre všetky miesta na tejto mape. Cena vody nie je zahrnutá v cene³⁵

Výroba nízkouhlíkového vodíka využitím jadrovej energie a zemného plynu so zachytávaním CO₂ nie je v súčasnosti v súlade s legislatívou EÚ, ktorá zatiaľ nepodporuje pre Slovensko tak potenciálne významný spôsob výroby cenovo dostupného vodíka. Navyše v súčasnosti atómové elektrárne produkujú elektrinu v základnom pásme dodávky elektriny do siete, tzv.

35 IEA, Global Hydrogen Review 2024, str. 84: Analýza Jülich Systems Analysis vo Forschungszentrum Jülich pomocou balíka modelov ETHOS. Zdroj: (<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>)

Base-load, ktorého využitie pre výrobu vodíka je pri súčasných podmienkach na trhu s elektrinou nákladovo neefektívne. Do roku 2030 bude teda výroba vodíka z atómovej energie otázná. S ďalším rozvojom jadrovej energie po roku 2030 je možné hľadať koncepty pre využitie jadrovej energie pre výrobu vodíka.

3.4.1 Príklady vodíkových projektov

Projekty využitia obnoviteľného vodíka sa začali realizovať najmä po roku 2018, keď bola prijatá prvá vodíková stratégia EÚ a vodík sa stal jedným z nástrojov pri dekarbonizácii priemyslu a dopravy v EÚ. Projekty vznikajú na miestnej, regionálnej ako aj národnej úrovni a viaceré z nich presahujú svojim rozsahom hranice jednotlivých štátov a stávajú sa medzinárodnými. Z projektov doposiaľ plánovaných resp. realizovaných je možné získať viacero poznatkov, a keďže technológie vo vodíku sa neustále vyvíjajú a zároveň sa aj menia podmienky, za ktorých sa realizujú, a to aj významným spôsobom (energetická kríza 2020 – 2022, snaha o energetickú sebestačnosť a samostatnosť, zmena logistických trás dopravy energetických nosičov a iné), je rozumné sa z nich poučiť a vyhnúť chybám pri plánovaní a realizácii nových projektov.

Ako prehľad o stave vodíkových projektov uvádzame niekoľko významných projektov v krajinách EÚ. Z nižšie uvedeného je zrejmé akú dôležitosť rozvoju vodíkoveho hodnotového reťazca prikladajú jednotlivé vlády v spolupráci so súkromným sektorom.

3.4.1.1 Veľkokapacitná výroba a preprava vodíka do strednej Európy

V oblasti veľkokapacitnej výroby a prepravy vodíka evidujeme viaceré významné nadnárodné iniciatívy a projekty so štatútom dôležitých projektov spoločného európskeho záujmu, ktoré schvaľuje EK (IPCEI). Projekty zahŕňajú značné finančné riziká, vyžadujú si verejnú podporu a poskytnutie stimulov na realizáciu príslušných investícií. Ak budú IPCEI projekty úspešné a vygenerujú dodatočné čisté príjmy, podniky časť pomoci príslušným členským štátom vrátia.

Významnú úlohu zohrajú projekty Hy2Infra a Green Hydrogen@Blue Danube (GHBD). Druhý z nich je určený najmä pre podunajské štáty. Projekty sú ambiciózne, majú cezhraničný charakter a majú zabezpečiť otvorený prístup. Uvažuje sa aj s využitím tekutých organických nosičov vodíka (angl. Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC). Technologický postup umožňuje bezpečne naviazať hydrogenáciou vodík na ťažko horľavý benzyltoluén ($C_{14}H_{14}$). Tento olej možno prepravovať pomocou konvenčnej infraštruktúry (nákladné autá, vlaky, člny a tankery) bez straty vodíka. Poskytuje veľmi bezpečný a jednoduchý spôsob prepravy veľkých množstiev vodíka do vnútrozemia, najmä v porovnaní s inými spôsobmi prepravy. Na mieste určenia sa vodík uvoľní z oleja chemickým dehydrogenačným procesom a je k dispozícii vo vysokej čistote pre priemysel, energetiku alebo sektor mobility. Nosič sa pri dehydrogenácii nespotrebuje a môže byť opätovne použitý pre skladovanie a prepravu vodíka.

Projekty prispejú k plneniu spoločného cieľa vďaka podpore zavádzania vodíkovej infraštruktúry, dôležitej na dosiahnutie cieľov politických iniciatív EÚ, ako sú Európska zelená

dohoda, plán REPowerEU a Vodíková stratégia EÚ. Očakáva sa, že v najbližšom období sa má zrealizovať niekoľko projektov. Do roku 2028 by mali byť v prevádzke viaceré veľkokapacitné elektrolyzéry, a do roku 2029 rôzne potrubia. Dokončenie projektov je naplánované na rok 2029, pričom harmonogram sa líši v závislosti od konkrétnych projektov a podnikov. Sú previazané s národnými klimatickými a energetickými stratégiami (napr. Rakúsko - *#misia 2030*, ktorej cieľom je 100% obnoviteľná elektrina do roku 2030 aj pomocou vodíka). Viaceré členské štáty (Francúzsko, Nemecko, Poľsko a Portugalsko) zahrnuli účasť na IPCEI Hy2Infra do národných plánov obnovy a odolnosti a môžu ich čiastočne financovať z Mechanizmu na POO.



Obrázok 18: Veľkokapacitná výroba a preprava vodíka do strednej Európy

Zdroj: Green Hydrogen@Blue Danube (Verbund), Hy2Infra

Projekty v tejto oblasti sumarizuje nasledujúca tabuľka.

Názov projektu	Opis projektu	Krajina
IPCEI Hy2Infra	Má pokrývať rozsiahlu časť hodnotového reťazca vodíka a nadväzuje na 2 veľké projekty spoločného európskeho záujmu týkajúce sa hodnotového reťazca vodíka - IPCEI Hy2Tech (2022) a IPCEI Hy2Use (2022). Projekt sa má zamerať na investície do infraštruktúry, ktoré nepokrývajú tieto IPCEI projekty. Projekt má programový charakter, ráta s viac ako 30 projektmi a účasťou 32 podnikov pôsobiacich v jednom alebo vo viacerých členských štátoch, a to vrátane MSP.	Francúzsko, Holandsko, Nemecko, Poľsko, Portugalsko, Slovensko a Taliansko

	1) Zavádzanie 3,2 GW veľkokapacitných elektrolyzérov na výrobu obnoviteľného vodíka; 2) zavádzanie nových a reprofelizovaných potrubí na prepravu a distribúciu vodíka s dĺžkou približne 2 700 km; 3) vývoj veľkokapacitných zásobníkov vodíka s kapacitou najmenej 370 GWh 4) výstavba obslužných terminálov a súvisiacej prístavnej infraštruktúry pre tekuté organické nosiče vodíka (LOHC) na prečerpanie 6 000 t vodíka ročne. 5) Účastníci budú spolupracovať aj na interoperabilite a spoločných normách s cieľom zamedziť vzniku prekážok a uľahčiť budúcu integráciu trhu. 6) Podporí postupný vznik vodíkovej infraštruktúry v celej EÚ vrátane rôznych regionálnych klastrov. Členské štáty poskytnú až 6,9 mld. eur vo forme verejného financovania, súkromné investície majú predstavovať 5,4 mld. eur.	
Green Hydrogen@Blue Danube	Projekt sa zameriava na rozsiahlu (veľkoobjemovú) výrobu obnoviteľného vodíka v juhovýchodnej Európe a jeho následnú prepravu prostredníctvom LOHC a lode priemyselným odberateľom pozdĺž Dunaja. Je prepojený s ďalšími IPCEI projektmi. Uvažuje tiež s budovaním potrebnej vodíkovej infraštruktúry v zapojených členských štátoch pozdĺž hlavných koridorov TEN-T. Vedúcim partnerom je Verbund AG, najväčší producent obnoviteľnej energie v Rakúsku. Do projektu GHBD sa zapojil s cieľom využívať potenciál obnoviteľného vodíka na agregáciu a stabilizáciu elektrizačnej siete. Hlavné umiestnenie projektu sa predpokladá v Rumunsku a zapojiť sa do neho má viac ako 30 spoločností v rámci 33 projektov, z ktorých sa 24 nachádza v Nemecku. Nemecko plánuje investovať približne 4,6 mld. EUR do projektov infraštruktúry vodíka IPCEI. Spoločnosti investujú približne 3,4 mld. EUR z vlastných prostriedkov.	Aktívne: Nemecko/ Bavorska, Rakúsko a Rumunsko. Počítalo sa zapojením Ukrajiny. Slovensko svoj potenciál a možnosti využitia synergických efektov zatiaľ plne nevyužíva.
Hydrogenious LOHC	Projekt sa zameriava na výstavbu LOHC uzla v južnom Bavorsku do roku 2028 s kapacitou 1 800 t obnoviteľného vodíka pre miestnych priemyselných odberateľov s alternatívnym zatláčaním do potrubia. V Bavorsku je pripravovaných viacero projektov osadenia elektrolyzérov napojených na zelené zdroje aj s ohľadom na stabilizáciu elektrizačnej sústavy. IPCEI projekt v hodnote 72,5 mil. EUR.	Nemecko, Bavorsko
LOHC ReleasePLANT	Projekt má od roku 2028 dodávať 2 000 t obnoviteľného vodíka pre odberateľov v bavorskej podunajskej priemyselnej oblasti. Vďaka prepojeniu na LOHC	Nemecko, Bavorsko

	technológiu firmy Hydrogenious, môže byť toto pre priemysel relevantné množstvo obnoviteľného vodíka dopravené do južného Nemecka využitím existujúcej infraštruktúry pre tekuté palivá. Okrem dostupnosti pre miestne priemyselné podniky, sa počíta aj s vtláčaním vodíka do potrubných sietí HyPipe Bavaria.	
HyPipe Bavaria	Nemecko schválilo v roku 2024 výstavbu vodíkovej základnej siete, ktorá by sa mala budovať do roku 2032 (Kernnetzplus). Základná sieť spája kľúčové priemyselné centrá, prístavy a závody na výrobu energie a umožňuje úzke prepojenia s európskymi susedmi. So základnou sieťou spoločnosť Bayernets s prevádzkovateľmi plynárenských sietí v Bavorsku majú naplňať víziu vodíkovej infraštruktúry v tejto oblasti. Okrem dostupnosti pre miestne priemyselné podniky, sa počíta aj s vtláčaním vodíka do potrubných sietí. Asi 60 % bude prestavba existujúcich plynovodov a 40 % bude novopostavených. Objem investícií 18,9 miliardy eur	Nemecko, Bavorsko
H2FUTURE: Inštalácia a prevádzka elektrolyzéra v oceliarni Voestalpine	6 MW PEM elektrolyzér v prevádzke od spustenia pilotnej prevádzky na výrobu vodíka bez CO₂ v roku 2019. Skúma sa priemyselná výroba obnoviteľného vodíka, ktorý má v dlhodobom horizonte nahradiť koksovateľné uhlie pri výrobe ocele. Elektrolyzér využíva elektrinu z vodnej elektrárni na Dunaji, pričom slúži hlavne na poskytovanie služieb elektrickej siete, produkuje vodík ktorý je dodávaný priamym vodíkovodom do miestnej oceliarne, kde sa využíva v procese výroby ocele. Partneri: Voestalpine, VERBUND, Siemens, Austrian Power Grid, K1-MET a TNO. Objem investície: 18 mil. EUR, ďalšie zdroje	Rakúsko, Horné Rakúsko, Linz
Železnica v údolí Zillertal (Zillertalbahn)	Projekt predstavoval pilotné a demonštračné využitie vodíka na úzkokoľajnej železnici namiesto naftových lokomotív a vedomé rozhodnutie krajinskej vlády pre inovácie. Výkony železnice predstavujú cca. 625 tis. osobokm a 300 tis. pasažierov. Dĺžka trate je 32 km z Jenbachu im Inntal do Mayrhofenu. Údolie sužujú dopravné zápchy najmä v zimnom období. Obnoviteľný vodík mali dodávať z energie z miestnych vodných elektrární. V procese posudzovania bolo rozšírenie na autobusovú a špecializovanú dopravu poháňanú obnoviteľným vodíkom (miestne lyžiarske stredisko). Projekt vzbudil viaceré kontroverzie, najmä čo sa týka personálneho obsadenia a vysokých dodatočných nákladov. Aktuálne sa projekt prehodnocuje a na trati sa uvažuje s využitím hnacej jednotky poháňanej elektrickými batériami, alebo hybridným variantom, kde	Rakúsko, Tirolsko

sa uvažuje aj s dočasným nabíjaním sa cez nadzemné vedenie postavené na častiach trate.

Tabuľka 16: Príklady projektov veľkokapacitnej výroby a prepravy vodíka

Zdroj: stengl, a.s.

Relevantnosť pre Slovensko:

Aktívna participácia a zapojenie do projektu GHBD môže Slovensku priniesť prístup k potenciálne významnej logistickej ceste veľkokapacitnej prepravy vodíka po Dunaji. Vybudovanie logistického centra v niektorom z našich prístavov na Dunaji (Bratislava, Komárno) vytvára predpoklad pre potenciálne využitie veľkého množstva vodíka v priemyselných procesoch na Slovensku (napr. v chemickom a petrochemickom, oceliarskom priemysle), zároveň umožní prepojenie lodnej dopravy a potrubnej dopravy a využitie plynovej sústavy na ďalšiu distribúciu vodíka nie len v rámci SR ale aj v okolitých krajinách. Využitie Dunaja ako dopravnej trasy, významne skráti dopravnú trasu vodíka z krajín blízkeho východu do krajín strednej EÚ a Nemecka. Zároveň umožní aj rozvoj produkcie vodíka z energetických zdrojov na území SR a jeho potenciálny export a distribúciu.

3.4.1.2 Transformácia priemyselnej výroby založenej na uhoľnom hospodárstve, prepájanie sektorov, zdieľaný, obehový a bezodpadový priemysel a vytváranie ucelených vodíkových reťazcov

Transformácia priemyselnej výroby založenej na uhoľnom hospodárstve na nové, čisté technológie, prepájanie sektorov a vytváranie ucelených vodíkových reťazcov predstavuje tiež oblasť príležitostí pre rozvoj vodíkoveho hospodárstva. Spadá sem aj zdieľaný, obehový a bezodpadový priemysel.

Projekty v tejto oblasti sumarizuje nasledujúca tabuľka.

Názov projektu	Opis projektu	Krajina
Hydrogen Ostrava : zelená H₂ elektrárň	Projekt zahŕňa FV elektrárň (výkon 30 MW) a elektrolyzér na výrobu obnoviteľného vodíka. Lokalita blízko teplárne, železnice, autobusovej stanice, trolejbusovej trate a distribučnej elektrickej siete. Projekt bude realizovaný metódou EPC (Energy Performance Contracting). Počíta sa s využitím H ₂ na pohon regionálnych autobusov, vlakov a dodávkou do priemyselných podnikov. Zákazník platí náklady z vytvorených úspor. Kraj plánuje nákup elektrických batériových vlakov, vodíkových vlakov a prechod regionálnej autobusovej dopravy na vodíkový pohon. Objem investície: cca 85 mil. EUR (70 % nákladov pokryjú európske dotácie). Úspory na distribučných poplatkoch majú dosiahnuť 3 mil. EUR.	Česko, Ostrava-Trebovice
H2Silesia/Polenergia: továreň na obnoviteľný vodík	Región Sliezska prechádza reštrukturalizáciou z uhoľného na nízkoemisný typ hospodárstva. Vodíkový projekt pripravuje spoločnosť Polenergia. Polenergia je jedinou poľskou spoločnosťou, na ktorú sa vzťahuje program Hy2Infra. Zahŕňa	Poľsko, horné Sliezsko

	výstavbu veľkého zariadenia s kapacitou približne 105 MW, s produkciou asi 13 000 t vodíka. Cieľom projektu je zabezpečiť obnoviteľný vodík pre ťažký priemysel a dopravu. Môže podporiť energetickú transformáciu regiónu súvisiacu s ťažbou a využívaním fosílnych palív. Prvá fáza projektu má začať v roku 2025. Projekt výrazne podporí aj vedecko-výskumné aktivity. Objem investície: 142,77 mil. EUR (štátna pomoc, Európska vodíková banka), 1,5 až 2 mld. EUR celkom.	
GreenLab Skive	Ide o ekologický a cirkulárny priemyselný park. Je to integrovaný energetický systém, kde sa produkuje obnoviteľná energia, transformuje, skladuje a využíva ako základný zdroj energie v priemyselných procesoch. Zdrojom energie je 84 MW hybridný - veterný a solárny park. V priemyselnom parku môžu spoločnosti navzájom zdieľať svoju prebytočnú energiu a zdroje prostredníctvom SymbiosisNet™ - inteligentnej siete pre výmenu a zdieľanie energie a údajov. GreenLab aktívne pracuje so sektorovou integráciou – obmedzenia energetického odpadu zvýšením využitia energie a kombináciou viacerých zdrojov energie v rôznych energetických sektoroch. Systém umožňuje firmám so sídlom v GreenLab zdieľať a speňažiť svoje prebytočné zdroje – či už ide o teplo, syntézny plyn, biomasu alebo niečo iné – medzi sebou. To umožňuje zabezpečiť efektívne využitie obnoviteľnej energie aj pri energeticky náročnej výrobe a umožňuje nulové energetické straty. Power-to-X je súčasťou integrovaného energetického systému GreenLab ktorý je zameraný na produkciu a využitie obnoviteľného vodíka – 6 MW elektrolyzér ktorý produkuje obnoviteľný vodík pre firmu produkujúcu potravinové doplnky, pripravovaný 12 MW elektrolyzér pre výrobu zeleného metanolu (náhrada fosílného paliva do spaľovacích motorov) využívajúceho CO₂ z biostanice umiestnenej v GreenLab. GreenLab okrem výroby produktov slúži aj ako výskumno-vývojové centrum pre nové zelené technológie, vytváranie, testovanie a uvádzanie do praxe nových business modelov a spoluprácu v rôznych sektoroch podnikania a zároveň ako vzdelávacie centrum zelených technológií, Power to X (vodík) a cirkulárnej ekonomiky.	Dánsko, Skive

Tabuľka 17: Prieklady projektov transformácie priemyselnej výroby

Zdroj: stengl, a.s.

Relevantnosť pre Slovensko:

Transformácia baníckeho regiónu zameraného na ťažký priemysel (oceliarne) na región využívajúci OZE zdroje, bezemisnú dopravu, spoluprácu regionálnej a miestnej samosprávy s priemyslom a univerzitami. Na Slovensku je podobným regiónom Košický kraj. Zameranie sa na nové technológie, ich testovanie a nasadzovanie do praxe podnecuje budovanie potenciálu rozvoja regiónu, vodík prepája rôzne sektory v rámci regiónu a tým znižuje riziko hospodárskych výkyvov v národnom hospodárstve.

Budovanie nových priemyselných parkov a zón, kde vodík prepája rôzne sektory je plne v súlade s ESG. Vodík tu vystupuje ako univerzálny nosič energie alebo vstupná surovina pre výrobu rôznych produktov s väčšou pridanou hodnotou s minimálnou uhlíkovou stopou. Zároveň znižuje produkciu odpadov, vytvára nové pracovné miesta s vyššou kvalifikáciou pracovnej sily, zvyšuje konkurencieschopnosť a znižujú energetickú náročnosť výroby čím prispieva k energetickej samostatnosti Slovenska. Využívanie OZE zdrojov priamo v priemyselnom parku znižuje nároky na budovanie novej energetickej infraštruktúry a zároveň prispieva k odolnosti a stability miestnej energetickej siete.

3.4.1.3 Dekarbonizácia petrochemického priemyslu

Vodík sa používa v petrochemickom priemysle na znižovanie obsahu síry vo fosílnych palivách. Preto má mnoho rafinérií integrované zariadenia na výrobu vodíka, ktoré využívajú reformovanie metánu (CH_4) vodnou parou na produkciu fosílného vodíka z fosílného plynu bez kompenzácie emisií. V energeticky náročných odvetviach ekonomiky, kam radíme aj chemický priemysel, môže obnoviteľný vodík predstavovať zdroj nízko emisnej tepelnej energie. Vysoká spotreba energie, dnes najmä výroba tepla zo zemného plynu, vyplýva z potreby veľmi vysokých teplôt, viac ako $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, pri spracovávaní surovín, pretože Splyňovacie reaktory sa prevádzkujú pri vysokých teplotách a tlaku.

Projekty v tejto oblasti z okolitých krajín sumarizuje nasledujúca tabuľka.

Názov projektu	Opis projektu	Krajina
10 MW elektrolyzér MOL	Elektrolyzér s kapacitou 10 MW a ročnou produkciou 1600 t obnoviteľného vodíka bol spustený do prevádzky v apríli 2024 spoločnosťou MOL. Zníži emisie CO_2 z rafinérie o 25000 t/ rok. Technológia nahradí výrobný proces na báze zemného plynu. Zariadenie využíva elektrinu z OZE na rozklad vody na H_2 a O_2 . Znečisťujúce vedľajšie produkty nevznikajú a závod vyprodukuje 8-9 t čistého O_2 na tonu vodíka. Ten predstavuje 1/6 celkových emisií CO_2 skupiny MOL. Obnoviteľný vodík sa využije na výrobu palív, plánuje sa rozšírenie dodávok vodíka aj pre priemysel a dopravu.	Maďarsko, Százhalombatt
	Náklady investície cca. 22 mil.EUR.	
Bezemisná vodíková výroba MOL	Spoločnosť MOL plánuje bezemisné vodíkové elektrolyzéry v chorvátskej Rijeke a v Bratislave. Technológia nahradí výrobný proces na báze zemného plynu. Ten predstavuje 1/6 celkových emisií CO_2 skupiny MOL. Obnoviteľný vodík sa využije na výrobu palív. Zariadenie využíva elektrinu z OZE na rozklad vody na H_2 a O_2 . Znečisťujúce vedľajšie produkty nevznikajú a závod vyprodukuje 8 – 9 t čistého O_2 na tonu vodíka. Dodávateľom má byť Plug Power Inc. (USA)	Slovensko, Bratislava a Chorvátsko, Rijeka

	Technológia zabezpečí zníženie emisií (ekvivalent odstavenia 5 500 áut).	
	Náklady investície:	
LOTOS Green H2 sp. z o.o 100MW elektrolyzér	SPV rafinérie PKN Orlen získalo v roku 2023 štátnu pomoc súvisiacu s výrobou obnoviteľného vodíka na inštaláciu 100 MW elektrolyzéra, 50 MW solárnej fotovoltiky a 20 MWh batériového úložiska v areáli závodu na vyrovnávanie odchýlok z veterných turbín v Baltickom mori a PV). Cieľom projektu je čiastočná náhrada šedého H ₂ na báze fosílného plynu. Uvedenie elektrolyzéra do prevádzky je naplánované na rok 2027, a preto by mohol čerpať časť energie ešte zo siete prostredníctvom dohody o nákupe elektriny so staršou obnoviteľnou energetickou inštaláciou.	Poľsko, Gdaňsk
	Náklady investície cca. 158 mil. EUR (štátna pomoc) a ďalšie náklady.	

Tabuľka 18: Príklady projektov dekarbonizácie petrochemického priemyslu

Zdroj: stengl, a.s.

Relevantnosť pre Slovensko:

Slovnaft ako súčasť MOL Group je jednou z najvýznamnejších spoločností na Slovensku. Využívanie obnoviteľného vodíka v procese výroby prispieva k dlhodobej udržateľnosti výroby a prevádzky a významnou mierou prispieva k plneniu dekarbonizačných záväzkov SR. Projekty výstavby výroby vodíka priamo v priemyselných areáloch, špecificky dedikované pre daný výrobný proces, významne znižuje nároky na budovanie dodatočnej infraštruktúry, znižuje nákladovosť výroby vodíka a zrýchľuje proces výstavby a uvedenie do prevádzky takýchto projektov.

3.4.2 Trendy v budovaní zdrojov vodíka

Z pohľadu technologického riešenia výroby vodíka s ohľadom na zdroje elektriny môžeme identifikovať tieto základné trendy:

Veľkokapacitná centralizovaná výroba vodíka.

Zvyčajne sa realizuje v lokalitách strategicky umiestnených pri významných zdrojoch obnoviteľnej alebo nízkouhlíkovej elektrickej energie. Následne je vodík transportovaný na vzdialené miesta spotreby prostredníctvom upravených plynovodných sietí, námornými alebo riečnymi tankermi, alebo ako vodík vo forme chemických zlúčenín, napríklad amoniaku alebo metanolu. Tento prístup umožňuje maximálne využitie potenciálu zdrojov elektrickej energie, pretože tieto zdroje možno situovať do regiónov s optimálnymi podmienkami, ako sú pobrežné či vnútrozemské veterné parky, vodné elektrárne situované vo fjordoch alebo veľkých riekach,

solárne elektrárne v suchom subtropickom a tropickom pásme oblastiach, či jadrové elektrárne. Priaznivé podmienky výroby s vysokým kapacitným faktorom využitia elektrolyzéra a ekonomické výhody z rozsahu umožňujú výrazné zníženie špecifických nákladov na elektrinu. Navyše, vďaka minimalizácii vzdialenosti medzi výrobou elektriny a jej konverziou na vodík nie sú celkové náklady výroby vodíka zaťažené distribúciou elektriny. Charakteristickou črtou takýchto projektov je ich vysoká kapitálová náročnosť, keďže cieľom je sústrediť a maximalizovať produkčnú kapacitu. Hlavnou nevýhodou tohto modelu výroby vodíka je značná vzdialenosť medzi lokalitou produkcie a miestami konečnej spotreby, čo si vyžaduje komplexné logistické zabezpečenie prepravy na veľké vzdialenosti(námorné terminály a špeciálne tankery v prípade prepravy obnoviteľného/nízkoemisného vodíka. Príprava veľkokapacitných projektov, ktoré zahŕňajú riešenie dopravných trás, je preto finančne aj časovo náročné. Rozhodovanie o realizácii a investovaní do týchto projektov je spravidla podmienené uzavretím dlhodobých odberateľských kontraktov a vyjasnením legislatívnych a regulačných rámcov na globálnu výrobu, distribúciu a využívanie vodíka.

Výroba vodíka v mieste spotreby

Pre daný spôsob je typická výstavba nového zdroja elektriny (vietor, fotovoltika, kombinované zdroje) alebo využitie voľnej kapacity existujúcich zdrojov (OZE, jadro) v blízkosti spotreby vodíka, tak aby sa prepravné trasy vyrobeného vodíka skrátili na minimum. Príprava a realizácia projektov je relatívne krátka a finančne menej náročná. Takéto projekty často okrem výroby vodíka slúžia aj ako prvok flexibility v elektrizačnej sústave v danej lokalite. Náklady na výrobu vodíka sú vyššie ako pri veľkokapacitnej výrobe, ale dopravná trasa vodíka k miestu spotreby je krátka, preto celkové náklady na výrobu a dodávku vodíka sú za súčasných podmienok môžu byť aj nižšie. Potenciál takéhoto spôsobu výroby je obmedzený dostupnosťou voľných pozemkov pre zdroje elektriny a limitovaný prírodným potenciálom pre využitie OZE, preto z dlhodobého hľadiska bude vytláčaný veľkokapacitnou výrobou lacného vodíka s diaľkovou prepravou do miesta spotreby

Výroba vodíka ako doplnková činnosť pri výrobe elektriny

Nové alebo existujúce zdroje elektriny sú prioritne určené na výrobu a dodávku elektriny do elektrizačnej sústavy, pričom v časoch keď výroba elektriny prevyšuje požiadavky na spotrebu elektriny, prebytková elektrina je použitá na výrobu vodíka. Uvedený spôsob je v podstate forma ukladania elektriny. Keďže preprava veľkého objemu vodíka je v súčasnej dobe nákladovo veľmi náročná, tento spôsob sa využíva iba v prípade projektov lokálnej výroby a spotreby na mieste.

3.4.3 Výroba vodíka v elektrolyzéroch ako poskytovanie podporných služieb

Elektrolyzér ako zariadenie, ktoré spotrebováva elektrinu zo siete a premieňa elektrinu na inú formu energie (vodík), môže slúžiť ako stabilizátor siete ovládaním jeho príkonu podľa

aktuálneho stavu siete. Technologický vývoj a konštrukčné riešenia elektrolyzéroov však majú svoje obmedzenia vzhľadom na reakciu zmeny výkonu.

Regulácia výkonu elektrolyzéra je možná, avšak je potrebné brať do úvahy chemickú rovnováhu v elektrolyzéri s ohľadom na vlastnosti prebiehajúcich termochemických procesov:

- Keď sa vyskytne problém na strane dodávky elektriny, priamo ovplyvňuje chemické procesy vo vnútri zásobníka a jednotke elektrolyzéra.
- Chemická reakcia je veľmi citlivá a vzniká riziko vytvorenia výbušnej atmosféry
- Bezpečnosť je udržiavaná prostredníctvom ovládania postupu vypnutia, kde je zásobník prečistený dusíkom.
- Pri dlhšom výpadku je potrebné reštartovať chemický proces bezpečným spôsobom – aby sa vyhlo potrebe vyčistiť zásobník (stack).
- Špičkové PEM elektrolyzéry dokážu pracovať od 5% zaťaženia. Čínske od 30 – 40% .

Vyššie uvedené technické náležitosti prevádzky elektrolyzéra vykresľujú možnosť prevádzky v rozsahu od cca. 20% výkonu do 100% avšak pre účely poskytovanie služieb elektrickej sieti nie sú v súčasnosti kompatibilné s požiadavkami na FRT (Fast reacting times) na návrat činného výkonu do 3 sekúnd, t.j. služby primárnej regulácie FCR (primárna regulácia činného výkonu), resp. prevádzka elektrolyzéra v režime poskytovania primárnej regulácie je v súčasnej dobe technicky náročná a nákladovo neefektívna.

Naopak, elektrolyzér má výborné predpoklady poskytovať automatickú rezervu na obnovenie frekvencie (aFRR) tým, že flexibilne upravuje svoju spotrebu elektrickej energie v reakcii na signály z dispečingu prenosovej sústavy. Pri prebytku energie v sieti môže zvýšiť svoju spotrebu (poskytnutie aFRR-), čím absorbuje nadbytočnú energiu, a naopak, pri nedostatku energie môže znížiť svoju spotrebu (poskytnutie aFRR+), čím uvoľní energiu pre iné potreby. Pri tejto stratégii je potrebné počítať že bazický bod regulácie je nastavený na 50 % až 60 % nominálneho výkonu elektrolyzéra a znižuje sa tak celoročný faktor využiteľnosti.

Podľa dokumentu "Stratégia zabezpečenia dostatočného objemu podporných služieb pre rok 2025" je pre poskytovanie aFRR nevyhnutné, aby zariadenie spĺňalo technické požiadavky stanovené prevádzkovateľom prenosovej sústavy (PPS) a získalo príslušný certifikát.³⁶ Poskytovateľom podporných služieb (PpS) môže byť každý účastník trhu s elektrinou využívajúci zariadenia na poskytovanie PpS s platným certifikátom podľa Technických podmienok SEPS. Elektrolyzér by teda musel prejsť certifikačným procesom, ktorý overí jeho schopnosť rýchlo a spoľahlivo meniť svoje výkonnostné parametre v súlade s požiadavkami PPS.

Relevantnosť pre Slovensko:

³⁶ SEPS: Stratégia zabezpečenia dostatočného objemu podporných služieb pre rok 2025. (https://www.sepsas.sk/engine/wp-content/uploads/2024/06/20240612_Strategia_zabezpecenia_PpS_na_2025_na_web_final.pdf)

Na Slovensku by implementácia elektrolyzéroov ako poskytovateľov aFRR mohla významne prispieť k zvýšeniu flexibility a stability elektrizačnej sústavy, najmä s rastúcim podielom OZE. Elektrolyzéry môžu dynamicky upravovať svoju spotrebu podľa potreby siete, čím absorbujú prebytočnú elektrinu alebo naopak znižujú svoj odber zo siete v prípade jej nedostatku. Okrem pozitívneho vplyvu na sústavu by zapojenie elektrolyzéroov do poskytovania podporných služieb mohlo zlepšiť aj ekonomiku prevádzky výroby vodíka. Príjmy z poskytovania aFRR by pomohli kompenzovať vysoké prevádzkové náklady elektrolyzéroov a tým znížiť koncovú cenu vodíka. Lacnejší vodík by sa tak mohol stať konkurencieschopnejším a akceptovateľnejším pre odberateľov v priemysle, doprave či energetike, čím by sa podporil jeho širší rozvoj na Slovensku.

V súčasnosti Technické požiadavky SEPS na obstarávané regulačné služby a nefrekvenčné podporné služby nedovoľuje elektrolyzéroom poskytovať podporné služby. Preto je potrebné s regulátorom realizovať pilotný projekt, kde sa v reálnych podmienkach pri skúšobnej prevádzke preukáže alebo nepreukáže schopnosti elektrolyzéra pre splnenie technických podmienok na poskytovanie podporných služieb ako ukazuje nasledovná tabuľka.

	Typ zariadenia	JEDNOTKA NA POSKYTOVANIE PpS (fiktívne zariadenie, fiktívny blok)										
	Spôsob poskytovania PpS	samostatne				kombinácie						
		Technológia zariadenia	VYR	ODB	LER	VYR-VYR	VYR-ODB	VYR-LER	ODB-ODB	ODB-LER	LER-LER	VYR-ODB-LER
PODPORNÉ SLUŽBY	regulačné služby	FCR	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	aFRR+	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	aFRR-	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	mFRR+	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	mFRR-	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	mFRR3+	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	mFRR3-	✓	✓	len PVE	✓	✓	len PVE	✓	len PVE	len PVE	len PVE	
	nefrekvenčné služby*	Black Start (Štart z tmy)	✓	N/A	len PVE	✓	✓	len PVE	N/A	N/A	len PVE	len PVE
		AVC (SRN)	✓	N/A	len PVE	✓	✓	len PVE	N/A	N/A	len PVE	len PVE

* - služby zabezpečované podľa potrieb PPS pre jednotlivé pilotné uzly PS a platného plánu obnovy ES SR

kde VYR zariadenie na výrobu elektriny, ODB - odberné zariadenie, LER - zariadenie s obmedzenou zásobou elektrickej energie

Zdroj: SEPS³⁷

³⁷ https://www.sepsas.sk/engine/wp-content/uploads/2024/12/Rozhodnutie-URSO-c.-0012_2024_E-TP.pdf

3.5 Stav technickej realizovateľnosti vodíkového hospodárstva v podmienkach Slovenska

Technický potenciál elektrickej siete a zdrojov elektriny na Slovensku pre výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka závisí na niekoľkých kľúčových faktoroch, vrátane kapacity a dostupnosti obnoviteľných a nových zdrojov energie, flexibility elektrickej siete, emisnej intenzity skleníkových plynov energetického mixu Slovenska pri výrobe elektriny, dostupných prebytkov elektriny a regulačných podmienok. Na základe súčasného stavu infraštruktúry a energetickej politiky Slovenska môžeme zhodnotiť nasledovné aspekty:

3.5.1 Obnoviteľné zdroje energie

Slovensko postupne zvyšuje podiel OZE na výrobe elektrickej energie. Dlhodobú tradíciu tu majú vodné elektrárne. V posledných desaťročiach pribudli najmä fotovoltické elektrárne a jeden menší veterný park. Tieto zdroje sú kľúčové pre produkciu zelenej elektriny, ktorá môže byť následne využitá na výrobu vodíka pomocou elektrolyzéro. Momentálne však OZE pokrývajú len časť spotreby elektrickej energie, pričom elektrina vyrobená z vodných zdrojov je dominantným prispievateľom do elektrického mixu Slovenska. Fotovoltické elektrárne a najmä veterné parky majú ešte relatívne nízky podiel, no vysoký záujem investorov zvyšuje ich potenciál do budúcnosti.

Do roku 2030 má Slovensko nasledujúce ciele v oblasti obnoviteľných zdrojov energie:

- Podiel OZE na hrubej konečnej energetickej spotrebe: Slovensko si stanovilo cieľ dosiahnuť podiel OZE vo výške 25 % do roku 2030. Tento cieľ je v súlade s cieľmi Európskej únie, ktoré stanovujú zvýšenie podielu OZE na 42,5 % v EÚ.
- Podpora využívania OZE v rôznych sektoroch: Ciele zahŕňajú investičnú a prevádzkovú podporu výroby elektriny z OZE vrátane kombinovanej výroby tepla a elektriny, podporu tepla z OZE a rozvoj komunitných a domácich riešení pre využívanie obnoviteľných zdrojov.³⁸

Tieto ciele sú súčasťou širšej stratégie Slovenska zameranej na dekarbonizáciu, zvyšovanie energetickej efektívnosti, diverzifikáciu energetických zdrojov a zabezpečenie energetickej bezpečnosti

³⁸ MH SR: Aktualizácia integrovaného národného energetického klimatického plánu slovenská nároky integrovaného národného energetického klimatického plánu slovenská nároky 2021 až 2030.
(<https://www.mhsr.sk/uploads/files/A65vdZlY.pdf?csrc=1755802807748592831>)

3.5.1.1 Potenciál rozvoja obnoviteľných zdrojov energie

Potenciál rozvoja obnoviteľných zdrojov energie ako zásadný predpoklad pre výrobu obnoviteľného vodíka závisí na technickom a reálnom potenciáli územia pre výstavbu nových OZE.

Technický potenciál lokality na umiestnenie zariadenia na výrobu obnoviteľnej energie predstavuje maximálne množstvo energie, ktoré je možné vyprodukovať na danom území pomocou obnoviteľných zdrojov, za predpokladu, že sa uplatnia súčasné technologické riešenia a rešpektujú fyzikálne a priestorové obmedzenia. Potenciál rozvoja zahŕňa faktory, ako sú:

- dostupnosť obnoviteľných zdrojov - napr. slnečné žiarenie, vietor, biomasa, alebo vodné toky.
- technologická efektívnosť - schopnosť dostupných technológií transformovať energiu z prírodných zdrojov na použiteľnú formu (napr. fotovoltaické panely, veterné turbíny, vodné elektrárne).
- priestorové a environmentálne obmedzenia - napr. ochrana prírody, obmedzenia vyplývajúce z využitia pôdy alebo obmedzenia spojené s hustotou osídlenia.

Technický potenciál neberie do úvahy ekonomické faktory alebo politické a sociálne obmedzenia; hodnotí len fyzické možnosti a technologické kapacity, ktoré umožňujú produkciu obnoviteľnej energie v konkrétnych podmienkach.

Realizovateľný potenciál lokality na výrobu obnoviteľnej energie predstavuje množstvo obnoviteľnej energie, ktoré je možné skutočne vyprodukovať na danom území po zohľadnení technologických, ekonomických, sociálnych a politických faktorov. Zahŕňa teda nielen fyzické a technologické aspekty, ale aj ďalšie kritériá, ktoré ovplyvňujú praktickú realizáciu projektov obnoviteľnej energie. Ide o podmnožinu technického potenciálu.

Pri hodnotení realizovateľného potenciálu sa berú do úvahy:

- ekonomické faktory – náklady na investície, prevádzku a údržbu zariadení, ekonomická návratnosť projektu, a prístup k financovaniu,
- právne a regulačné obmedzenia - legislatíva, povolenia, normy a predpisy týkajúce sa výstavby a prevádzky zariadení na obnoviteľnú energiu,
- sociálne faktory – postoj verejnosti a miestnych komún, akceptácia projektov, dopady na zamestnanosť, a ďalšie sociálne aspekty,
- environmentálne obmedzenia – ochrana životného prostredia a rešpektovanie ekologických obmedzení, ktoré môžu znížiť možnosť využívania niektorých lokalít na výrobu energie,
- infraštruktúra – dostupnosť elektrických sietí na pripojenie novej výroby a možnosti distribúcie energie,

Realizovateľný potenciál teda reprezentuje množstvo energie, ktoré sa dá prakticky a efektívne využiť, zohľadňujúc všetky uvedené faktory, ktoré môžu obmedziť alebo podporiť rozvoj OZE.

Podľa dokumentu „Štúdia rozvoja veternej energetiky na Slovensku“³⁹ je na Slovensku potenciálne možné využívať až 20 % územia na výrobu elektrickej energie z vetra. Potenciálne vhodné lokality boli identifikované na základe meteorologických a geografických údajov a po zohľadnení rôznych environmentálnych kritérií a dodržiavania minimálnych odstupových vzdialeností od obydľí. Tieto oblasti sa nachádzajú naprieč všetkými regiónmi Slovenska a je možné nájsť potenciálne vhodné lokality v každom z nich. Mnohé oblasti s najväčším veterným potenciálom sa nachádzajú v horských pásmach a v lokalitách s vyššou nadmorskou výškou, kde sú vhodné podmienky pre stabilný a dostatočne silný vietor. Výber konkrétnych lokalít však musí zohľadniť viaceré kritériá, vrátane charakteru terénu, ochrany prírody, veternosti, ako aj ďalších obmedzení, ktoré môžu byť právne alebo technické povahy.

Bližší opis OZE a ich technického potenciálu na Slovensku je v kapitole 4.2.4 Obnoviteľné zdroje energie.

3.5.2 Jadro ako zdroj energie

Počet krajín využívajúcich atómovú energiu v energetike v rámci EÚ-27 sa v posledných desaťročiach znížil, resp. stagnoval. Aktuálne 12 krajín EÚ prevádzkuje atómové elektrárne. Všetky sú združené v rámci Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu OSN. V rámci týchto krajín jadro tento zdroj energie zaujíma významný až dominantný podiel v energetických mixoch výroby elektriny. Aktuálne sledujeme, že niektoré ďalšie členské štáty EÚ a EHP začali diskutovať o návrate, resp. o využívaní jadrových zdrojov.

3.5.2.1 Súčasný stav sektora

V energetickej stratégii sa Slovensko dlhodobo spolieha na atómovú energiu. Patrí medzi krajiny s vysokým podielom jadrovej energie v národnom energetickom mixe a tunajšie atómové elektrárne zabezpečujú významnú časť spotreby elektriny a prispievajú k stabilite elektrizačnej a prenosovej sústavy. Aktuálne sa radí Slovensko k etablovaným a aktuálne aj najväčším producentom elektrickej energie z jadra v prepočte na obyvateľa v Európe. Slovensku patrí druhá priečka za podiel vyrobenej elektrickej energie z jadrovej energie (po Francúzsku) a deviata v množstve vyrobených GWh v rámci EÚ⁴⁰.

Do budúcnosti sa uvažuje sa o vývoji spoločného jadrového paliva v spolupráci so susednými krajinami. Zásoby uránu na Slovensku (Jahodná pri Košiciach) majú tiež potenciál a s ťažbou jeho rúd má Slovensko skúsenosti z niekoľkých lokalít na Spiši a Gemeri.

Predpokladaná výroba elektrickej energie v jadrových elektrárnach v roku 2030

Jadrová energia môže byť súčasťou výrobného mixu vodíka so stabilnými dodávkami obnoviteľného vodíka ako doplnku k obnoviteľnému vodíku. Efektívna výroba vodíka

³⁹ Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu a OZE, Štúdia rozvoja veternej energetiky na Slovensku bariéry a odporúčania. (<https://www.sapi.sk/files/studia-rozvoja-veternej-energetiky-na-slovensku.pdf>)

⁴⁰ World Nuclear Association. (<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union>)

s účinnosťou do 84% využívajúca aj odpadové teplo z AE zabezpečí vyšší podiel domácej výroby vodíka pre uspokojenie dopytu v doprave a najmä v priemysle. Zároveň má potenciál znížiť energetickú závislosť Slovenska na importe vodíka zo zahraničia a zvýšiť tak energetickú bezpečnosť štátu.

Slovensko patrí medzi krajiny s vysokým podielom jadrovej energie v národnom energetickom mixe. Jadrové elektrárne zabezpečujú významnú časť spotreby elektriny a prispievajú k stabilite sústavy. V súčasnosti je v prevádzke päť blokov v dvoch jadrových elektrárnach, pričom posledný blok č. 4 v Jadrovej elektrárni Mochovce (EMO) je vo finálnej fáze výstavby. Slovensko plánuje výstavbu nového jadrového bloku v lokalite Jaslovské Bohunice s cieľom zabezpečiť dlhodobú stabilitu výroby elektriny z nízkouhlíkových zdrojov.

Bližší opis jadrových zdrojov a ich technického potenciálu na Slovensku je v kapitole 4.2.3 Atómová energia.

3.5.2.2 Nasadenie malých modulárnych reaktorov

Slovenské elektrárne v rámci projektu Phoenix⁴¹ analyzujú možnosti nasadenia malých modulárnych reaktorov ako doplnkového nízkoemisného zdroja. Výhodou technológie by mala byť vyššia flexibilita, modularnosť výstavby a nižšie investičné náklady v porovnaní s veľkými reaktormi. Malé modulárne reaktory (SMR) môžu v budúcnosti nahradiť fosílné zdroje, podporiť decentralizáciu výroby elektriny a posilniť energetickú bezpečnosť SR. Realizácia SMR je šancou pre vysoko efektívnu výrobu vodíka vo vysokoteplotných elektrolyzérok. Tie ponúkajú výrazne vyššiu účinnosť až 84 %⁴² v porovnaní s bežnými elektrolyzermi (55 – 67 %), pretože časť potrebnej energie je dodávaná vo forme tepla, ktoré môže byť dostupné priamo zo SMR. Hlavnou výzvou pri vysokoteplotných elektrolyzérok zostáva dlhodobá stabilita a životnosť komponentov, ktoré sú vystavené vysokým teplotám a zložitému chemickému prostrediu.

3.5.3 Výrobné metódy vodíka

Vodík v čistej forme sa v prírode okrem geologických ložísk takmer vôbec nenachádza. Je potrebné ho vyrábať z látok napr. zo zemného plynu, biomasy, plastového odpadu, vody, čpavku či metanolu. V súčasnosti sa vodík vyrába buď vo vyhradených zariadeniach (~60 %), alebo ako vedľajší produkt iných energeticky náročných procesov chemickej výroby, napr. chlóru.

Existujú viaceré spôsoby výroby vodíka vhodné aj pre Slovensko.

Z hľadiska zníženia emisií CO₂ preferuje EÚ výrobu vodíka elektrolyzou vody s využitím OZE a výhľadovo aj s využitím atómovej energie s výrazným pozitívnym vplyvom na vyvažovanie

⁴¹ SEAS: <https://www.seas.sk/novinky/start-projekt-phoenix-reaktory-smr-slovensko/>

⁴² SUNFIRE (<https://sunfire.de/en/news/worlds-largest-high-temperature-electrolyzer-achieves-record-efficiency/>)

elektrizačnej sústavy. Výsledkom synergie začlenenia elektrolyzérovo do sústavy ako významných odberných miest je odľahčenie siete v čase prebytku elektriny najmä kvôli variabilnej výrobe OZE, čím môžu elektrolyzéry výrazne prispieť k flexibilita a odolnosti siete na Slovensku a umožniť ďalšie pripájanie nových kapacít OZE pre plnenie cieľov NEKP.

Termodynamicky účinnejším spôsobom výroby vodíka v porovnaní s elektrolýzou vody je termochemický rozklad uhl'ovodíkov, najmä odpadovej biomasy, plastu či metánu v pyrolýznych alebo plazmolýznych reaktoroch. **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

- Vodík vyrobený s využitím elektrickej energie v nízkoteplotných alkalických a PEM elektrolyzéroch a vo vysokoteplotných elektrolyzéroch SOEC

Výroba vodíka elektrolýzou vody patrí medzi perspektívne bezemisné technológie, ktoré premieňajú elektrickú energiu – ideálne z obnoviteľných zdrojov – na chemickú energiu viazanú vo vodíku. V závislosti od typu elektrolyzera sa proces delí na nízkoteplotnú a vysokoteplotnú elektrolýzu.

Pri nízkoteplotnej elektrolýze sa najčastejšie využívajú alkalické elektrolyzéry a elektrolyzéry s polymérnou elektrolytickou membránou. Alkalické elektrolyzéry používajú vodný roztok hydroxidu draselného alebo sodného ako elektrolyt a pracujú pri teplotách okolo 60 – 90 °C. Ide o technológiu s dlhodobou prevádzkovou históriou, vhodnú pre stacionárne a menej dynamické aplikácie.

PEM elektrolyzéry využívajú tuhú polymérnu membránu, ktorá vedie protóny (H^+) z anódy na katódu. Pracujú pri podobných teplotách ako alkalické, avšak s vyššou účinnosťou, rýchlejšou reakčnou dynamikou a lepšou schopnosťou regulácie výkonu. Sú vhodné pre kombináciu s obnoviteľnými zdrojmi energie. Ich nevýhodou sú vyššie investičné náklady a potreba drahých materiálov, ako je irídium a platina pre elektródy.

Vysokoteplotná elektrolýza, realizovaná pomocou tuhých oxidových elektrolyzérovo (SOEC – Solid Oxide Electrolyzer Cells), prebieha pri teplotách 600 – 850 °C. Pri týchto podmienkach je časť energie potrebnej na rozklad vody dodaná vo forme tepla, čím sa zvyšuje účinnosť výroby vodíka. Technológia SOEC je stále vo fáze vývoja, no má vysoký potenciál pre budúce aplikácie vo veľkých priemyselných systémoch.

Celkovo výroba vodíka pomocou elektrolýzy predstavuje flexibilnú technológiu, ktorá môže slúžiť ako prepojovací článok medzi elektrizačnou sústavou a rôznymi odvetviami hospodárstva v procese ich dekarbonizácie. Viac o jednotlivých typoch elektrolyzérovo, ich technických parametroch a využití vysvetľuje kapitola 4.4.1.

3.5.3.1 Vodík vyrobený reformáciou alebo termochemickým rozkladom fosílnych palív

Ide najmä o vodík vyrobený zo zemného plynu, kde požadovaná intenzita emisií pre dosiahnutie udržateľnosti a teda pre nízkouhlíkový vodík sa dosahuje prídavnými zariadeniami na zachytávanie emisií skleníkových plynov. Skleníkové plyny potom musia byť

preukázateľne trvalo uskladnené, bez rizika ich uvoľnenia do atmosféry. Pri pyrolytickom rozklade zemného plynu sa okrem plynnej zložky vytvára aj kvapalná – olejová a pevná uhlíková zložka, čím sa automaticky zachytáva a ďalej využíva CO₂. Výroba vodíka parnou reformáciou zemného plynu bez zachytávania uhlíka sa nepovažuje za udržateľnú nízkouhlíkovú metódu. Viac o termochemickej ceste výroby vodíka vysvetľuje kapitola Výroba vodíka z fosílnych palív.

3.5.3.2 Vodík vyrobený reformáciou alebo termochemickým rozkladom biomasy

Výroba vodíka z biomasy musí spĺňať prísne požiadavky revidovanej smernice o obnoviteľných zdrojoch 2018/2001⁴³. Článok 26 stanovuje osobitné pravidlá pre biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy vyrábané z potravinárskych a krmovinárskych plodín s cieľom obmedziť ich vplyv na nepriame zmeny využívania pôdy.

Vodík vyrobený z biomasy môže dosahovať zápornú bilanciu emisií skleníkových plynov, pretože zamedzuje tvorbe metánu, 25 krát intenzívnejšiemu skleníkovému plynu než je CO₂. Ak sa použije metóda rozkladu (pyrolýza alebo plazmolýza), kde je výstupom uhlík, potom záporná bilancia by mohla dosiahnuť ešte výraznejšie hodnoty. Pevný uhlík však zatiaľ nie je uznaný v európskej legislatíve ako trvalý spôsob uloženia CO₂.

Termochemická metóda výroby vodíka je relatívne efektívna avšak zaťažená vyššími nárokmi na vstupné suroviny, zatiaľ čo elektrolýza si vyžaduje len dostupnú vodu, Termochemické procesy využívajú uhl'ovodíky, napr. zemný plyn, biometán alebo odpady z biomasy a plastov, ktoré sú často menej dostupné, nákladnejšie na zber a triedenie alebo majú nehomogénne zloženie (napr. plastové odpadové materiály).

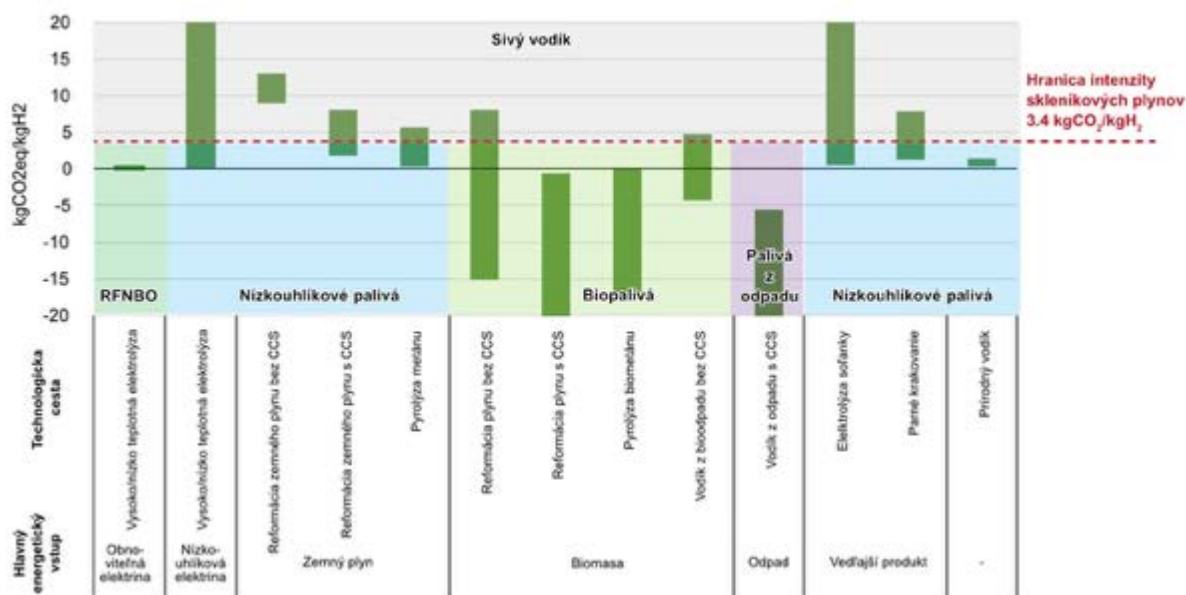
3.5.3.3 Iné spôsoby výroby a získavania vodíka

Výroba vodíka ako vedľajšieho produktu sa v súčasnosti na Slovensku realizuje pri výrobe chlóru elektrolýzou soľanky v Novákoch. Vodík však nespĺňa kritériá obnoviteľného ani nízkoemisného, nakoľko sa vyrába v elektrolýzéroch z elektrickej energie zo siete. Vodík sa tiež získava pri spracovaní ropy v Slovnafte a využíva sa na odsírenie ropných produktov.

3.5.4 Emisná stopa pri výrobe vodíka

Vodík vyrobený z pevného či plyného odpadu s využitím CCS má potenciál výrazne prispieť k rozvoju energetického zhodnocovania odpadov, v niektorých prípadoch aj pri negatívnej bilancii emisií skleníkových plynov ako uvádza nasledovná tabuľka:

⁴³ Smernica 2018/2001, Článok 26: Osobitné pravidlá pre biopalivá, biokvapaliny a palivá z biomasy vyrobené z potravinárskych a krmovinárskych plodín



Obrázok 19: Rozsah intenzity emisií pre analyzované technológie (kg CO2eq/kgH2)

Zdroj: Hydrogen Europe, upravené NVAS

Všetky uvedené spôsoby výroby vodíka dokážu vyrábať vodík s uhlíkovou intenzitou nižšou ako 3,4 kg CO₂/kgH₂ – v súlade s taxonómiou EÚ v oblasti udržateľného financovania a definíciami nízkouhlíkových palív balíka Fit for 55.

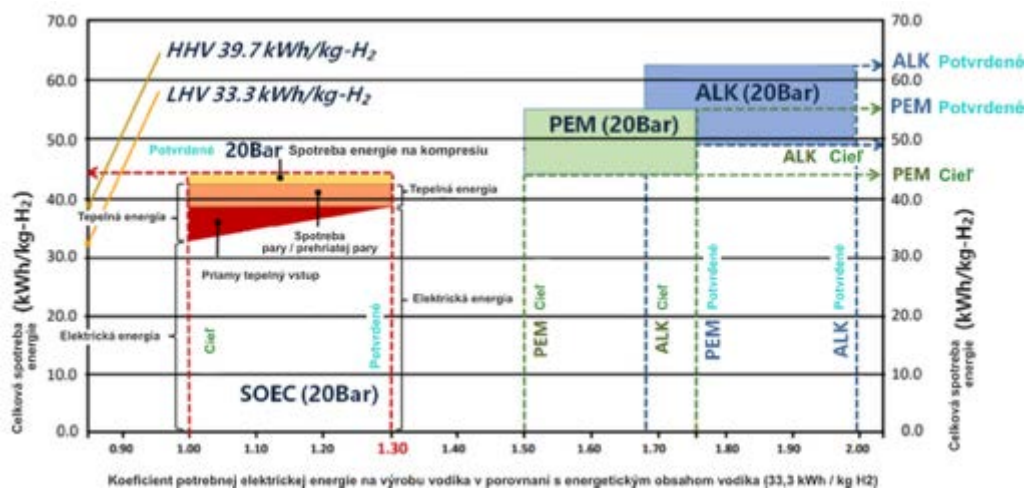
V prípadoch, keď je surovinou buď odpad alebo biomasa, môže byť uhlíková stopa dokonca záporná, čo vedie k čistému odstraňovaniu uhlíka. Na druhej strane však v prípade niektorých spôsobov môže byť intenzita emisií značná a dokonca prekračuje emisie z reformovania zemného plynu bez zníženia emisií (fosílny vodík). Príkladom je elektrolyza vody s použitím elektriny z fosílnych palív alebo reformovanie zemného plynu bez dosiahnutia dostatočne vysokej miery zachytávania uhlíka (CCS) alebo pri použití zemného plynu s vysokými emisiami v dodávateľskom reťazci (napr. dovážaný LNG). Preto je mimoriadne dôležité navrhnúť silný regulačný rámec, ktorý by podporoval udržateľné riešenia a zároveň nevytváral zbytočné prekážky investícií – ako sa to stalo v prípade elektrolytického vodíka z obnoviteľných zdrojov.

3.5.5 Obmedzenia pri výrobe a spotrebe vodíka

Pri výrobe a spotrebe vodíka na Slovensku existuje viacero obmedzení. Medzi hlavné obmedzenia patria:

Výroba vodíka, predovšetkým obnoviteľného nebiologického pôvodu si vyžaduje značné množstvo elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie, Na 1 kg vyrobeného vodíka je potrebných 50 – 63 kWh elektrickej energie pri PEM alebo alkalických elektrolyzéroch a 42

až 44 kWh pri vysokoteplotných SOEC elektrolyzérok⁴⁴. Obrázok nižšie zobrazuje hodnotenie spotreby energie elektrolyzéroov Ministerstvom energetiky USA v roku 2021 s výhľadom do roku 2030. Overená spotreba energie a cieľová spotreba energie sú vyznačené modrým a zeleným písmom.



Obrázok 20: Hodnotenie spotreby energie elektrolyzérmi.

Zdroj: IHFCA 2022

Kvôli fluktuácii dostupnosti energie z obnoviteľných zdrojov je potrebné zabezpečiť dodatočný a prísun cenovo dostupnej elektrickej energie do elektrolyzéroov, čo môže byť náročné, najmä v zime, keď je produkcia solárnej energie nižšia. Slovensko bude pravdepodobne potrebovať pokryť časť spotreby vodíka dovozom (kapitola 4.2.6 Import vodíka z okolitých krajín a 4.5.2.2 Preprava vodíka potrubím), keďže domáca produkcia nemusí byť dostatočná na pokrytie všetkých potrieb najmä priemyselnej spotreby. To môže viesť k závislosti na zahraničných dodávkach, čo znižuje energetickú bezpečnosť. Naopak, vhodne nastavený import vodíka môže vykryť kritické časové obdobia a znížiť tak riziko nedostatku vodíka.

Pre úspešné rozšírenie výroby a spotreby vodíka je potrebná rozsiahla modernizácia infraštruktúry na prepravu a uskladnenie vodíka. Aktuálna plynárenská infraštruktúra musí byť upravená alebo rozšírená, aby zvládla prepravu vodíka, čo zahŕňa aj prispôbenie existujúcich plynovodov na prepravu vodíka alebo jeho zmesi so zemným plynom.

Legislatívne a povoloňacie procesy pre vodíkové technológie sú zložité a časovo náročné. Tieto obmedzenia sú významnou výzvou pre rozvoj vodíkoveho hospodárstva na Slovensku.

⁴⁴ IHFCA: Technology Trends | Hydrogen Production and Energy Storage Based on Solid Oxide Water Electrolysis in Europe and the United States (2022). (<http://www.ihfca.net/web/NewDetail.aspx?ID=1122>)

3.6 Zmapovanie dostupných finančných nástrojov podpory investičných projektov

Financovanie vodíkových projektov má zásadný význam pre transformáciu Slovenska na nízkouhlíkovú ekonomiku a dosiahnutie klimatických cieľov. Rôznorodosť finančných nástrojov a mechanizmov umožňuje podporu všetkých častí hodnotového reťazca vodíka od výskumu a vývoja cez výrobu, skladovanie, distribúciu až po jeho využitie v priemysle, doprave a energetike a s tým spojenú potrebu vzdelávania a osvetu.

Slovensko má k dispozícii viacero zdrojov financovania, medzi ktoré patria:

- Inovačný fond
- Mechanizmus spravodlivej transformácie
- Plán obnovy a odolnosti
- Európska vodíková banka
- Program Slovensko
- Modernizačný fond
- Dôležité projekty spoločného európskeho záujmu (IPCEI)
- Clean Hydrogen Partnership Joint Undertaking
- Program Stredná Európa (Interreg)
- ďalšie grantové a podporné schémy

Tieto nástroje poskytujú možnosti pre realizáciu inovatívnych technológií a projektov, ktoré sú zamerané na znižovanie emisií skleníkových plynov, rozvoj infraštruktúry a posilnenie konkurencieschopnosti Slovenska v rámci vodíkovej ekonomiky.

3.6.1 Inovačný fond

Jeden z najväčších programov EÚ zameraný na financovanie inovatívnych technológií pre zníženie emisií skleníkových plynov. Podporuje aj projekty, ktoré využívajú vodíkové technológie, najmä v oblastiach výroby vodíka a jeho využitia v priemysle. Program poskytuje granty na podporu dekarbonizácie hlavne v oblasti vývoja inovatívnych technológií a projektov s vysokým potenciálom na zníženie emisií⁴⁵.

3.6.1.1 Zameranie a pokrytie

- Projekty na prípravu produkcie obnoviteľného vodíka (napr. elektrolyzéry využívajúce obnoviteľnú energiu).
- Využitie vodíka:
 - Projekty na využitie vodíka v oceliarskom, chemickom alebo inom priemysle, kde môže nahradiť fosílnu palivú.
 - Projekty na využitie vodíka ako vstupnej suroviny na výrobu NH₃ alebo metanolu.

⁴⁵EK: Innovation Fund (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund_en?prefLang=sk)

- Projekty na podporu rozvoja vodíkových vozidiel a infraštruktúry.
- Podpora projektov na vývoj technológií na bezpečné skladovanie a prepravu vodíka.

3.6.1.2 Obdobie

Program sa realizuje v období 2020 – 2030 s viacerými výzvami na podávanie projektov, pričom aktuálne výzvy sú často zamerané na inovatívne technológie v ranných fázach vývoja.

3.6.1.3 Obmedzenia

- Projekty musia byť zamerané na inovatívne technológie, ktoré majú významný dopad na znižovanie emisií.
- Žiadatelia musia preukázať technologickú pripravenosť (TRL 6-9) a schopnosť implementovať technológiu v priemyselnom meradle.
- Podpora je určená len pre projekty, ktoré majú potenciál na dlhodobý prínos v oblasti znižovania emisií skleníkových plynov.

3.6.2 Mechanizmus spravodlivej transformácie

Mechanizmus spravodlivej transformácie⁴⁶ (Just Transition Mechanism) sa zameriava na regióny a odvetvia, ktoré sú cieľmi EÚ na zníženie emisií skleníkových plynov najviac postihnuté a to vzhľadom na ich závislosť od fosílnych palív alebo od priemyselných postupov spojených s vysokými emisiami skleníkových plynov. Mechanizmus je tvorený tromi iniciatívami, z čoho najdôležitejšia je osobitná schéma v rámci Programu InvestEU a úverový nástroj pre verejný sektor v spolupráci so skupinou EIB.

3.6.2.1 Zameranie a pokrytie

- Projekty energetickej vrátane plynovej infraštruktúry a diaľkového vykurovania
- Projekty dopravnej infraštruktúry
- Programy na dekarbonizáciu

3.6.3 Úvery pre opatrenia na uľahčenia prechodu ku klimatickej neutralite

- Úvery pre projekty zamerané na energetickú a dopravnú infraštruktúru, diaľkové vykurovanie, energetickú efektívnosť a renováciu budov

3.6.3.1 Obdobie

Programové obdobie 2021 – 2027. Program funguje v rámci viacročného finančného rámca EÚ.

⁴⁶ MIRRI SR: Podporný dokument k určeniu rozsahu podpory z Fondu na spravodlivú transformáciu. (https://mirri.gov.sk/wp-content/uploads/2021/02/Podporny-dokument-k-FST-v1_09022021.pdf)

3.6.3.2 Obmedzenia

- Projekty musia preukázať, že prispievajú k spravodlivej transformácii a vytvárajú pozitívny sociálny a environmentálny vplyv v regiónoch postihnutých prechodom na uhlíkovo neutrálnu ekonomiku.
- Zdroje sa nemôžu využívať na vyradenie alebo výstavbu jadrových elektrární, výrobu, spracovanie alebo uvádzanie tabakových výrobkov na trh a na investície súvisiace s výrobou, spracovaním, prepravou, distribúciou, skladovaním alebo spaľovaním fosílnych palív.

3.6.4 Plán obnovy a odolnosti

Plán obnovy a odolnosti je európsky fond zameraný na podporu ekonomického oživenia po pandémie a transformáciu ekonomiky.

3.6.4.1 Zameranie a pokrytie

- Podpora projektov na výrobu obnoviteľného vodíka prostredníctvom OZE, vrátane výstavby elektrolyzér.
- Investície do výstavby a modernizácie infraštruktúry pre distribúciu a skladovanie vodíka.
- Využitie vodíka:
 - Podpora vodíkových dopravných prostriedkov a budovanie súvisiacej infraštruktúry, vrátane tankovacích staníc.
 - Financovanie projektov zameraných na dekarbonizáciu priemyslu pomocou vodíka.
- Investície do technológií na efektívne skladovanie vodíka a jeho derivátov.

3.6.4.2 Obdobie

Plán obnovy je realizovaný v období 2021 – 2026. Financovanie je podmienené predkladaním projektov do jednotlivých výziev v rámci národných plánov obnovy.

3.6.4.3 Obmedzenia

- Projekty musia byť v súlade s cieľmi zeleného prechodu a musia preukázať významné prínosy v oblasti znižovania emisií a podpory udržateľného rozvoja.
- Podmienkou je súlad s národnými plánmi obnovy, ktoré stanovujú priority pre využitie finančných prostriedkov.

3.6.5 Európska vodíková banka

Európska vodíková banka⁴⁷ (EHB) je iniciatíva Európskej komisie, spustená v roku 2023, s cieľom podporiť rozvoj vodíkového priemyslu v EÚ. Banka slúži ako finančný mechanizmus, ktorý má znížiť investičné bariéry, prepojiť producentov vodíka s odberateľmi a posilniť konkurencieschopnosť vodíka na globálnom trhu. Financovanie je prioritne zamerané na výrobu, skladovanie, distribúciu a využitie obnoviteľného vodíka, pričom pokrýva sektory ako energetika, doprava a priemysel. Hlavným cieľom EHB je zlepšiť investičné prostredie, podporiť domáce projekty a uľahčiť medzinárodný dovoz obnoviteľného vodíka.

3.6.5.1 Zameranie a pokrytie

- Financovanie môže podporiť výstavbu čerpacích staníc a výrobných zariadení na Slovensku.
- Vodík má potenciál významne znížiť emisie v energeticky náročných odvetviach, ako sú chemický priemysel a výroba ocele.
- Vodíkové technológie môžu podporiť rozvoj ekologickej mobility a znížiť závislosť na fosílnych palivách.

3.6.5.2 Obdobie

Financovanie projektov začalo v roku 2024 s plánom pokračovať minimálne do roku 2030. Pravidelne sa budú vyhlasovať výzvy na rôzne typy projektov.

3.6.5.3 Obmedzenia

- Projekty musia byť zamerané na obnoviteľné vodíkové technológie, pričom vodík musí byť vyrobený výlučne z OZE.
- Financovanie je dostupné len pre projekty realizované v členských štátoch EÚ alebo s priamym dopadom na európsky trh.
- Obmedzený rozpočet je prioritne pridelovaný projektom s najväčším trhovým potenciálom.

3.6.6 Program Slovensko

Program Slovensko⁴⁸ je zameraný na zvyšovanie životnej úrovne obyvateľov a konkurencieschopnosti krajiny. Program Slovensko je hlavný programový dokument fondov EÚ pre obdobie 2021 – 2027. Zameriava sa na zvyšovanie životnej úrovne obyvateľov a konkurencieschopnosti krajiny. Pokrýva oblasti ako inovácie, digitalizácia, udržateľnej dopravy, energetickej efektívnosti, obnoviteľných zdrojov energie a sociálna inklúzia.

⁴⁷ EK: European Hydrogen Bank. (https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/european-hydrogen-bank-pilot-auction-132-bids-received-17-european-countries-2024-02-19_en
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en
https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/second-renewable-hydrogen-auction-european-commission-publishes-terms-and-conditions-2024-09-27_en
https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/winners-first-eu-wide-renewable-hydrogen-auction-sign-grant-agreements-paving-way-new-european-production-2024-04-24_en)

⁴⁸ MIRRI SR: Eurofondy - Program Slovensko. (<https://eurofondy.gov.sk/program-slovensko/>)

3.6.6.1 Zameranie a pokrytie

Program Slovensko explicitne neuvádza vodíkové projekty ako samostatnú kategóriu, ale tieto môžu čerpať podporu v rámci viacerých prioritných oblastí:

- Projekty zamerané na výrobu a využitie vodíka ako obnoviteľného zdroja energie, znižovanie emisií a podporu udržateľnej energetiky.
- Inovatívne riešenia v oblasti vodíkových technológií, výskum a vývoj nových aplikácií vodíka v priemysle a doprave.
- Rozvoj infraštruktúry pre distribúciu a skladovanie vodíka, integrácia vodíkových technológií do dopravných systémov.

3.6.6.2 Obdobie

Programové obdobie trvá od roku 2021 do roku 2027, pričom implementácia projektov môže pokračovať až do konca roku 2030.

3.6.6.3 Obmedzenia

Projekty musia spĺňať ciele programu, oprávnenosť výdavkov a harmonogram. Každý projekt musí byť v súlade s pravidlami politiky súdržnosti EÚ.

3.6.7 Modernizačný fond

Modernizačný fond predstavuje dôležitý finančný nástroj Európskej únie určený na podporu členských štátov s nižšou úrovňou HDP na obyvateľa, ako je napríklad Slovensko. Jeho hlavným zámerom je urýchliť transformáciu energetiky smerom k nízkouhlíkovému hospodárstvu prostredníctvom investícií do modernizácie energetických systémov, zvyšovania energetickej efektívnosti a rozvoja obnoviteľných zdrojov energie. Fond zároveň prispieva k znižovaniu emisií skleníkových plynov a k posilňovaniu energetickej bezpečnosti v EÚ.⁴⁹

3.6.7.1 Zameranie a pokrytie

- Modernizácia teplárenstva
- Podpora OZE
- Dekarbonizácia priemyslu
- Zlepšenie energetickej efektívnosti a rozvoj technológií pre nízkouhlíkové hospodárstvo

3.6.7.2 Obdobie

Fond je určený na obdobie 2021 – 2030, pričom projekty musia byť ukončené do konca roku 2030.

⁴⁹ MŽP SR: Modernizačný fond. (<https://minzp.sk/klima/modernizacny-fond/>)

3.6.7.3 Obmedzenia

Projekty musia byť zamerané na oblasti schválené fondom a byť v súlade s pravidlami EÚ pre štátnu pomoc.

3.6.8 Dôležité projekty spoločného európskeho záujmu (IPCEI)

EK v roku 2022 schválila program IPCEI Hydrogen⁵⁰, ktorý umožňuje financovanie vodíkových projektov, ktoré majú významný cezhraničný dopad a prispievajú k environmentálnym cieľom EÚ. Tieto projekty musia byť v súlade s kritériami Taxonómie EÚ, čo znamená, že prioritne podporujú obnoviteľný vodík a technológie s nízkymi emisiami.

3.6.8.1 Ciele

- Podporiť inovatívne vodíkové technológie a infraštruktúru
- Posilniť cezhraničnú spoluprácu medzi členskými štátmi EÚ
- Dekarbonizovať priemyselné odvetvia

3.6.8.2 Aktivity

- Financovanie výskumných a vývojových projektov, ako aj infraštruktúrnych projektov
- Podpora pilotných projektov na implementáciu technológií obnoviteľného vodíka

3.6.9 Clean Hydrogen Partnership Joint Undertaking

Jedná sa o verejno-súkromné partnerstvo podporujúce výskum a inovácie v oblasti vodíkových technológií v Európe. Jeho hlavným cieľom je prispieť k Európskej zelenej dohode a vodíkovej stratégii prostredníctvom optimalizovaného financovania výskumných a inovačných aktivít. Členmi sú EK, Hydrogen Europe (zastupujúca priemysel) a Hydrogen Europe Research (zastupujúca výskumnú komunitu)⁵¹.

3.6.9.1 Ciele

- Posilnenie a integrácia európskych vedeckých kapacít na urýchlenie vývoja a zlepšenia pokročilých čistých vodíkových aplikácií
- Zvýšenie konkurencieschopnosti európskeho hodnotového reťazca pre bezpečné a udržateľné čisté vodíkové technológie
- Podpora rýchleho uvedenia inovatívnych čistých riešení na trh pre dekarbonizáciu rôznych sektorov hospodárstva

⁵⁰ EK: Štátna pomoc: Komisia schválila podporu vo výške 5,2 mld. eur z verejných zdrojov 13 členských štátov na druhý dôležitý projekt spoločného európskeho záujmu vo vodíkovom hodnotovom reťazci. (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/sk/ip_22_5676/IP_22_5676_SK.pdf)

⁵¹ Clean Hydrogen Partnership: European Partnership for Hydrogen Technologies. (https://www.clean-hydrogen.europa.eu/index_en)

3.6.9.2 Financovanie

EÚ poskytne prostredníctvom programu Horizont Európa finančné prostriedky vo výške 1 miliardy eur na obdobie 2021 – 2027.

Súkromní členovia partnerstva prispievajú minimálne rovnakou sumou, čím sa celkový rozpočet zvýši na viac ako 2 miliardy eur.

3.6.10 Program Stredná Európa (Interreg)

Program Interreg⁵² podporuje nadnárodnú spoluprácu v strednej Európe na riešenie spoločných výziev, ktoré presahujú hranice jednotlivých krajín. Prioritami sú dekarbonizácia, udržateľná mobilita, ochrana životného prostredia a adaptácia na klimatické zmeny, pričom vodíkové technológie môžu byť zahrnuté ako súčasť širšieho rámca projektov zameraných na prechod na nízkouhlíkové hospodárstvo.

3.6.10.1 Obdobie realizácie

Program Stredná Európa pokrýva obdobie 2021 – 2027.

3.6.10.2 Obmedzenia

Projekty musia byť realizované v spolupráci s partnermi z viacerých krajín strednej Európy.

3.6.11 Finanční investori

Investície do vodíkových technológií zo strany venture capital (VC) a private equity (PE) fondov zažili v posledných rokoch dynamický rast, a to najmä vďaka záujmu o dekarbonizáciu priemyslu a energetiky. V roku 2023 investície prekonal hranicu 9,4 miliardy USD, čo je výrazný nárast oproti 5,7 miliarde USD v roku 2022. Táto vlna investícií je podporovaná vládnyimi programami, ako aj rastúcim záujmom súkromných spoločností o vodíkové technológie, ktoré môžu hrať kľúčovú úlohu v tzv. „ťažko dekarbonizovateľných“ sektoroch ako ťažký priemysel, letectvo a námorná doprava.

Dôležitým trendom je, že venture capital investície sa často sústreďujú na neskoršie fázy investičných cyklov, čo znamená, že kapitál prúdi do už zavedených podnikov, ktoré majú potenciál na ďalšiu expanziu. Podľa správy Deloitte⁵³ sa v období rokov 2014 – 2019 investovalo do vodíka takmer 591 mil. EUR. V roku 2021 sa táto hodnota takmer strojnásobila, čo ukazuje na zrýchľujúci sa záujem investorov o tento sektor.

⁵² Interreg Central Europe (Co-Funded by The European Union): Our programme. (<https://www.interreg-central.eu/>)

⁵³ Deloitte (2022): Venture capital is betting on hydrogen to be the surprise of the decade. (<https://www.deloitte.com/nl/en/Industries/energy/blogs/venture-capital-betting-on-hydrogen.html>)

3.6.11.1 Príklady kapitálových vstupov zo súkromného sektora

Jedným z príkladov kapitálového vstupu je investícia vo výške 315 mil. EUR, ktorú v marci 2024 získala spoločnosť Sunfire na rozšírenie výroby elektrolyzéroov na výrobu obnoviteľného vodíka⁵⁴.

Ďalším kľúčovým hráčom je Hy24, najväčší svetový private equity fond zameraný na vodík, ktorý v roku 2023 spustil rastový fond s cieľom investovať 500 mil. EUR do technológií podporujúcich rozvoj vodíkovej infraštruktúry⁵⁵.

Spoločnosť Electric Hydrogen, ktorá sa zameriava na vývoj bezemisných vodíkových systémov, v júli 2023 získala investíciu 380 mil. USD, čím zvýšila svoju hodnotu na viac ako 1 miliardu USD⁵⁶.

Podľa Deloitte môžeme očakávať, že vodíkové technológie budú v nadchádzajúcich rokoch nasledovať podobný komercializačný model, aký sme videli pri solárnej a veternej energii, čo prinesie ďalšie zníženie nákladov a väčšiu škálovateľnosť⁵⁷.

3.7 Vyhodnotenie legislatívneho prostredia

V súvislosti s budovaním komplexného hodnotového reťazca výroby, prepravy, zhodnocovania a ďalšieho využitia vodíka je nutné definovať a vyhodnotiť legislatívne prostredie potrebné pre rozvoj vodíkového ekosystému v záväznej legislatíve Európskej únie a cez legislatívny rámec obsiahnutý v právnych normách Slovenskej republiky (zákony, vyhlášky, smernice, metodické pokyny a odporúčania ústredných orgánov štátnej správy).

Európsky strategický plán pre energetické technológie (ďalej len „plán SET“), ktorý podporuje rozvoj čistých, účinných a nákladovo konkurencieschopných energetických technológií, a to koordináciou a spoluprácou vo výskume a inováciách v oblasti čistej energie, pričom spája európsky priemysel, akademickú obec a vlády krajín zapojených do plánu SET. Plán SET zohral ústrednú úlohu pri realizácii rozmeru výskumu, inovácií a konkurencieschopnosti energetickej únie. Má štrukturálny účinok na spoločné iniciatívy v oblasti výskumu a inovácií a pomáha im rýchlejšie a účinnejšie plniť spoločné ciele výskumu energie. Strategické ciele prechodu na čistú energiu vrátane dekarbonizácie energeticky náročných priemyselných odvetví a zníženia znečistenia sú stanovené v Európskej Zelenej dohode a v pláne REPowerEU. Priemyselným plánom Zelenej dohody sa udáva ďalšie smerovanie s tým, že

⁵⁴ ESG today (2024): Sunfire Raises \$340 Million for Clean Hydrogen Production Tech. (<https://www.esgtoday.com/sunfire-raises-340-million-for-clean-hydrogen-production-tech/>)

⁵⁵ New Private Markets (2023): Ardian-backed hydrogen manager Hy24 launches growth PE fund. (<https://www.newprivatemarkets.com/ardian-backed-hydrogen-manager-hy24-launches-growth-pe-fund/>)

⁵⁶ PitchBook (2023): Hydrogen had a breakout year. Why are some VCs still skeptical? (<https://pitchbook.com/news/articles/hydrogen-vc-investors-climate-tech-startups>)

⁵⁷ Deloitte (2022): Venture capital is betting on hydrogen to be the surprise of the decade. (<https://www.deloitte.com/nl/en/Industries/energy/blogs/venture-capital-betting-on-hydrogen.html>)

vyzýva na autonómnejší a odolnejší priemysel EÚ, ktorého základnými prvkami sú Akt o emisne neutrálnom priemysle a Akt o kritických surovinách.

V Akte o kritických surovinách sa stanovuje cieľ zabezpečiť bezpečné dodávky kritických surovín prostredníctvom rozvoja hodnotového reťazca EÚ a zároveň zlepšiť obehovosť a udržateľnosť výroby kritických surovín.

Cieľom Aktu o emisne neutrálnom priemysle je zvýšiť výrobnú kapacitu EÚ v oblasti strategických „emisne neutrálnych technológií“ tak, aby do roku 2030 dosiahla aspoň 40 % ročnej potreby EÚ v prípade príslušných technológií, alebo sa k tejto hodnote priblížila, a stanovuje sa v ňom cieľ 50 mil. t ročnej kapacity na ukladanie CO₂, ktorý sa má dosiahnuť do roku 2030.

Okrem toho sa v revidovanej Smernici o energii z obnoviteľných zdrojov od členských štátov žiada, aby stanovili orientačný cieľ pre inovatívne technológie v oblasti z obnoviteľných zdrojov energie vo výške aspoň 5 % novej inštalovanej kapacity energie z obnoviteľných zdrojov do roku 2030. Oznámenie o novom európskom výskumnom a inovačnom priestore a politický program európskeho výskumného priestoru vyzývajú na lepšie zosúladenie investícií do výskumu a inovácií alebo reforiem na vnútroštátnej úrovni a na úrovni EÚ s cieľom urýchliť zelenú a digitálnu transformáciu. V tomto novom politickom kontexte sa zdôrazňuje potreba zvýšiť odolnosť, autonómiu a konkurencieschopnosť európskeho energetického systému a jeho dodávateľských reťazcov s využitím obehových riešení a riešení zameraných na človeka v rámci možností našej planéty.

Medzi priority uvedeného dokumentu EÚ patrí aj budovanie európskeho výskumného priestoru pre čistý vodík – úloha investícií EÚ do výskumu a inovácií pri plnení vodíkovej stratégie obsiahnutý v dokumente: „Building a European Research Area for clean hydrogen – the role of EU research and innovation investments to deliver on the EU’s Hydrogen Strategy“.

V súvislosti s investíciami EÚ do výskumu a inovácii pri plnení vodíkovej stratégie sa významný dôraz kladie aj na vzdelávania a odbornej prípravy, ako aj infraštruktúry (1,8 miliardy EUR). V rámci programu Horizont Európa sa poskytuje cielená podpora Európskej vodíkovej akadémii, ktorá združuje širokú skupinu univerzít a inštitúcií. V rámci Programu pre jednotný trh sa poskytuje podpora Akadémii pre slnečnú energiu. Okrem toho Európsky inovačný a technologický inštitút (EIT) a jeho znalostné a inovačné spoločenstvá, ktoré pôsobia v rôznych oblastiach, ako je energetika, suroviny a klíma, ponúkajú širokú škálu programov vzdelávania a odbornej prípravy so silným podnikateľským a inovačným prvkom. Väčšina týchto programov je už k dispozícii v rámci platformy EIT Campus a prispieva k rozvoju talentov v oblasti špičkových technológií.

Plán SET sa zaoberá aj prioritou financovania a zdôrazňuje sa tým potreba využiť celú škálu verejných finančných nástrojov EÚ (ako sú granty, pôžičky a kvázi vlastný kapitál) vrátane novej platformy Strategické technológie pre Európu na získanie súkromného kapitálu (napr. z investičných fondov, bánk a dôchodkových fondov) pre priority plánu SET s cieľom

maximalizovať objem, kvalitu a vplyv investícií do výskumu a inovácií a urýchliť ich zavádzanie. Je potrebné čo najlepšie využiť nástroje, ktoré preklenú medzeru medzi investíciami verejného a súkromného sektora, ako napr. produkt zelenej transformácie a spoločný kapitálový produkt v rámci Programu InvestEU a Breakthrough Energy Catalyst. Európske platformy pre technológie a inovácie v rámci plánu SET majú dobré predpoklady na identifikáciu potenciálnych prekážok a odporúčanie možných riešení, ako takéto súkromné a verejné investície využiť. Rozsah pôsobnosti a činnosti plánu SET sa do veľkej miery zhodujú s Inovačným fondom, ktorý je kľúčovým nástrojom EÚ na financovanie zavádzania nízkouhlíkových technológií v oblasti výroby energie z obnoviteľných zdrojov, skladovania energie, zachytávania, využívania a ukladania oxidu uhličitého, energeticky náročných priemyselných odvetví, emisne neutrálnej mobility a budov. Medzi činnosťami plánu SET a Inovačného fondu by sa mali hľadať synergie a komplementárnosť. V tejto súvislosti sa začiatkom roka 2024 spustia koordinačné opatrenia financované z klastrov 4 a 5 programu Horizont Európa v hlavných oblastiach Inovačného fondu.

Problematikou financovania „zelených projektov“ sa zaoberalo aj Nariadenie Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2024/795 z 29. februára 2024, ktorým sa zriaďuje platforma strategických technológií pre Európu („platforma step“) a mení sa Smernica 2003/87/ES a nariadenia (EÚ) 2021/1058, (EÚ) 2021/1056, &(EÚ) 2021/1057, (EÚ) č. 1303/2013, (EÚ) č. 223/2014, (EÚ) 2021/1060, (EÚ) 2021/523, (EÚ) 2021/695, (EÚ) 2021/697 a (EÚ) 2021/241.

Uvedené nariadenia sú zamerané na zvyšovanie konkurencieschopnosti a odolnosti európskeho hospodárstva prostredníctvom zelenej a digitálnej transformácie, čo bolo v posledných rokoch pre Úniu smerodajné. Zelená a digitálna transformácia zakotvená v Európskej zelenej dohode, stanovenej v oznámení Komisie z 11. decembra 2019 s názvom „Európska zelená dohoda“, a v politickom programe Digitálne desaťročie do roku 2030 zriadeného Rozhodnutím Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2022/2481 povzbudzuje rast a modernizáciu hospodárstva Únie, prináša nové podnikateľské príležitosti a pomáha Únii získať konkurenčnú výhodu na globálnych trhoch. V Európskej zelenej dohode sa stanovuje plán na zabezpečenie klimaticky neutrálneho a udržateľného hospodárstva Únie spravodlivým a inkluzívnym spôsobom a na riešenie výziev súvisiacich s klímou a životným prostredím. V politickom programe Digitálne desaťročie do roku 2030 sa stanovuje jasné nasmerovanie na digitálnu transformáciu Únie a na plnenie digitálnych cieľov na úrovni Únie do roku 2030, najmä pokiaľ ide o digitálne zručnosti, digitálne infraštruktúry a digitálnu transformáciu podnikov a verejných služieb.

Najvýznamnejší podiel finančných prostriedkov EÚ na vodík sa poskytuje z Mechanizmu, zriadeného Nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2021/241 Z 12. februára 2021, ktorým sa zriaďuje Mechanizmus na podporu obnovy a odolnosti, no nie všetky členské štáty plánujú využiť mechanizmus na tento účel. Hoci Mechanizmus na podporu obnovy a odolnosti bol impulzom pre projekty súvisiace s obnoviteľnou energiou, jednou z hlavných nevýhod je, že míľniky a ciele musia byť v súlade s príslušným nariadením splnené do roku 2026 (dátum ukončenia Mechanizmu).

Dôležitým dokumentom EÚ pre stratégiu EÚ vo vzťahu k výrobe a spotrebe obnoviteľného vodíka je aj Oznámenie komisie Európskemu parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a výboru regiónov o európskej vodíkovej banke, zo dňa 16.03.2023.

V predmetnom Oznámení Komisie sa okrem iného uvádza: „Komisia v snahe zaručiť postupnú diverzifikáciu zdrojov obnoviteľného vodíka skúma možnosť vytvoriť nástroj inšpirovaný ustanoveniami o transparentnosti platformy EÚ na nákup energie podľa nariadenia Rady (EÚ) 2022/2576. Takýto nástroj by mal byť prínosom pre vznikajúci trh s obnoviteľným vodíkom, ak by poskytoval poznatky a prípadne Komisii poskytol možnosť vydávať odporúčania ku koordinácii investícií do oblasti vodíka.

V súvislosti so zámerom EÚ vo vzťahu k znižovaniu emisií v jednotlivých členských štátoch EÚ je potrebné uviesť aj ďalší dôležitý právny akt EÚ a to Smernicu Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ z 24. novembra 2010 o priemyselných emisiách(integrovaná prevencia a kontrola znečisťovania životného prostredia) a Vykonávacie rozhodnutie Komisie (EÚ) 2022/2427 zo 6. decembra 2022, ktorým sa podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách stanovujú závery o najlepších dostupných technikách (BAT) pre spoločné systémy nakladania s odpadovými plynmi a ich čistenia v chemickom odvetví [oznámené pod číslom C(2022) 8788]

Ďalšími právnymi aktami v rámci legislatívy EÚ v súvislosti s obnoviteľnými zdrojmi energie v nadväznosti na vodík sú:

- Delegované nariadenie EK (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky Únie, ktorou sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu
- Delegované nariadenie EK (EÚ) 2023/1185 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 stanovením minimálnej prahovej hodnoty pre úspory emisií skleníkových plynov z fosílnych palív vyrobených z odpadu a spresnením metodiky posudzovania úspor emisií skleníkových plynov z kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a z fosílnych palív vyrobených z odpadu
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2022/869 z 30. mája 2022 o usmerneniach pre transeurópsku energetickú infraštruktúru, ktorým sa menia nariadenia (ES) č. 715/2009, (EÚ) 2019/942 a (EÚ) 2019/943 a smernice 2009/73/ES a (EÚ) 2019/944 a ktorým sa ruší nariadenie (EÚ) č. 347/2013
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/1804 z 13. septembra 2023 o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá a o zrušení smernice 2014/94/EÚ
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2405 z 18. októbra 2023 o zaistení rovnakých podmienok pre udržateľnú leteckú dopravu
- REDIII – Tretia revízia Smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413 z 18. októbra 2023, ktorou sa mení Smernica (EÚ) 2018/2001, Nariadenie (EÚ) 2018/1999 a Smernica 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa ruší Smernica Rady (EÚ) 2015/652
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1789 z 13. júna 2024 o vnútornom trhu s obnoviteľným plynom, zemným plynom a vodíkom, ktorým sa menia nariadenia (EÚ) č.

1227/2011, (EÚ) 2017/1938, (EÚ) 2019/942 a (EÚ) 2022/869 a rozhodnutie (EÚ) 2017/684 a ktorým sa ruší nariadenie (ES) č. 715/2009

Uvedené Nariadenie EÚ je priamo vykonateľné vo všetkých členských štátoch, a preto nie je potrebné ho osobitne preberať ani transponovať do vnútroštátneho právneho poriadku.

Na rozdiel od smerníc, ktoré vyžadujú implementáciu prostredníctvom vnútroštátnych právnych aktov, nariadenia sa uplatňujú priamo a ich nekompatibilita s vnútroštátnymi predpismi sa rieši odstránením rozporu. Na účely tejto legislatívnej úpravy bude potrebné zohľadniť a eventuálne zosúladiť vnútroštátnu právnu úpravu s Nariadením 2024/1789, ktoré má prednosť.

Nariadenie rady (EÚ) 2022/2576 z 19. decembra 2022 o posilnení solidarity prostredníctvom lepšej koordinácie nákupu plynu, spoľahlivých referenčných cien a cezhraničnej výmeny plynu

Oznámenie Komisie vo svojom texte odkazuje aj na rámec Global Gateway, prostredníctvom ktorého EÚ podporuje investície do obnoviteľného vodíka v partnerských krajinách ako súčasť ich zelenej transformácie. Granty a záruky Európskeho fondu pre udržateľný rozvoj plus (EFSD+) v rámci Nástroja susedstva a rozvojovej a medzinárodnej spolupráce – Globálna Európa („NDICI-GE“) zohrávajú kľúčovú úlohu pri podpore investícií, a to predovšetkým projektov spolufinancovaných zo zdrojov EIB a rozvojových finančných inštitúcií členských štátov EÚ ako Tím Európa.

Nástroj susedstva a rozvojovej a medzinárodnej spolupráce je upravený v Nariadení Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2021/947 z 9. júna 2021, ktorým sa zriaďuje nástroj susedstva a rozvojovej a medzinárodnej spolupráce – globálna európa, mení a ruší rozhodnutie č. 466/2014/EÚ a ruší Nariadenie (EÚ) 2017/1601 a Nariadenie rady (ES, euratom) č. 480/2009.

V neposlednom rade Komisia podporuje členské štáty prostredníctvom Nástroja technickej podpory – sprostredkúva individualizovanú expertízu pri koncipovaní a realizovaní reforiem vrátane reforiem podporujúcich investície do urýchlenia ekologickej energetickej transformácie pomocou vodíka. Technická podpora zahŕňa napr. posilnenie administratívnej kapacity, harmonizovanie legislatívnych rámcov a výmenu osvedčených postupov, o čom svedčí aj prijaté Nariadenie Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2021/240 z 10. februára 2021, ktorým sa zriaďuje nástroj technickej podpory.

Ďalším dôležitým dokumentom na úrovni legislatívy EÚ je Smernica Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2023/1791 Z 13. septembra 2023 o energetickej efektívnosti a o zmene Nariadenia (EÚ) 2023/955, ktorá pojednáva o potrebe členských štátov zahrnúť do svojich národných energetických a klimatických plánov národné ciele vyplývajúce z plánu SET, ako aj činnosti v oblasti výskumu a inovácií, vrátane preskúmania synergií medzi inými príslušnými vnútroštátnymi fondmi a činnosťami. V národných energetických a klimatických plánoch by sa mala posúdiť aj primeranosť vnútroštátneho financovania činností v oblasti výskumu a inovácií. Komisia posúdi túto časť národných energetických a klimatických plánov vrátane

správ o pokroku a ich aktualizácií, čo sa premietne do jej celkového hodnotenia dosiahnutých výsledkov plánu SET.

Stanovisko Európskeho hospodárskeho a sociálneho výboru – Oznámenie Komisie Európskemu Parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru regiónov – Vodíková stratégia pre klimaticky neutrálnu Európu [COM(2020) 301 FINAL] (2021/C 123/06), ktorého právny základ sa opiera o ustanovenie článku 304 Zmluvy o fungovaní EÚ taktiež okrem iného odkazuje na podporu stratégie Európskej komisie zameranú na vytvorenie priaznivého prostredia na rozšírenie ponuky vodíka a dopytu po ňom v prospech klimaticky neutrálného hospodárstva. Zdôrazňuje, že čistý vodík musí byť prioritou, a to aj v rámci Európskej aliancie pre čistý vodík, ako jediná možnosť, ktorá je zlučiteľná s cieľmi klimatickej neutrality.

Vo vzťahu k jednotlivým členským štátom EÚ a príprave alebo aktualizácii národných energetických klimatických plánov je dôležité aj Oznámenie komisie o usmerneniach pre členské štáty k aktualizácii národných energetických a klimatických plánov na roky 2021 – 2030 (2022/C 495/02).

Oznámenie odkazuje aj na Nariadenie o riadení energetickej únie a opatrení v oblasti klímy (ďalej len „Nariadenie o riadení“), ktorým sa stanovuje flexibilný a zároveň spoľahlivý riadiaci systém v záujme transparentnej a vzájomne sa posilňujúcej spolupráce medzi členskými štátmi Únie a Európskou komisiou.

Z Nariadenia Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2021/1119 z 30. júna 2021, ktorým sa stanovuje rámec na dosiahnutie klimatickej neutrality a menia Nariadenia (ES) Č. 401/2009 a (EÚ) 2018/1999 (európsky právny predpis v oblasti klímy) a z

Oznámenia komisie Európskemu Parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a výboru regiónov – „FIT FOR 55“: plnenie cieľa EÚ v oblasti klímy do roku 2030 na ceste ku klimatickej neutralite, COM(2021) 550 FINAL; Súbor opatrení v oblasti vodíka a dekarbonizovaného plynu, COM(2021) 803 A COM(2021) 804

vyplýva, že „Národné energetické a klimatické plány („NEKP“) sú ústredným nástrojom strategického plánovania v zmysle nariadenia o riadení. NEKP poskytujú predvídateľnosť krátkodobých, strednodobých a dlhodobých investícií, najmä v neistých časoch, pričom sú rozhodujúce v záujme mobilizácie rozsiahlych investícií potrebných na dosiahnutie kolektívnej ambície klimatickej neutrality, ako aj v záujme spravodlivej a primeranej transformácie, pri súbežnom zachovaní energetickej bezpečnosti a cenovej dostupnosti. Členským štátom pomáhajú pri spoločnom dosahovaní energetických a klimatických cieľov v zmysle Európskej zelenej dohody, európskeho právneho predpisu v oblasti klímy a balíka návrhov Fit for 55, a to vrátane vyššej ambície v oblasti energetickej efektívnosti a energie z obnoviteľných zdrojov, ako aj medzinárodných záväzkov EÚ podľa Parížskej dohody.

Nami posudzovanou témou sa zaoberal aj Európsky dvor audítorov, ktorý vo svojej Osobitnej správe k Priemyselnej politike EÚ v oblasti obnoviteľného vodíka č. 11/2024, odkázal aj na už prijatý legislatívny rámec v rámci právnych aktov EÚ a to popri legislatívnom rámci uvedenom Pracovnou skupinou H2 na strane MH SR, aj na právne akty EÚ v balíku pre plyn – „FuelEU MARITIME“ a to Nariadenie Európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2023/1805 z 13. septembra 2023 o využívaní palív a obnoviteľných zdrojov a nízkouhlíkových palív v námornej doprave a o zmene Smernice 2009/16/ES.

Cieľom uvedeného Nariadenia EÚ je, že intenzita skleníkových plynov z energie spotrebovanej na palubách lodí by sa mala postupne znižovať (o 2 % v roku 2025 až na 80 % do roku 2050). To by sa dosiahlo najmä prostredníctvom využívania obnoviteľných palív nebiologického pôvodu s vysokým dekarbonizačným potenciálom (vrátane vodíka).

Zároveň sa Osobitná správa Európskeho dvora audítorov zaoberá aj právnymi aktami o emisne neutrálnom priemysle, čo je obsiahnuté v Nariadení Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1735 Z 13. júna 2024 o zriadení rámca opatrení na posilnenie európskeho ekosystému výroby emisne neutrálnych technológií a o zmene Nariadenia (EÚ) 2018/1724.

Cieľom uvedeného nariadenia je podporiť priemyselné zavádzanie emisne neutrálnych technológií potrebných na dosiahnutie cieľov EÚ v oblasti klímy. Okrem iným opatrení uľahčuje podmienky investovania do zelených technológií vďaka zjednodušeniu postupov udeľovania povolení a podpore strategických projektov.

Európska zelená dohoda stanovila plán na zníženie emisií skleníkových plynov a zároveň podporila moderné hospodárstvo efektívne využívajúce zdroje. V nej sú počiatky integrácie energetického systému v EÚ a vodíková stratégia. Ako nosič energie, ktorý možno ľahko skladovať, plyné palivá ponúkajú flexibilitu energetickému systému EÚ. Zatiaľ čo výroba energie z obnoviteľných zdrojov neustále rastie, zemný (fosilný) plyn stále tvorí približne 95 % plyných palív spotrebovaných v EÚ. Dekarbonizácia jeho výroby a spotreby a vytvorenie trhu s vodíkom v Európe je preto nevyhnutné na splnenie Európskej zelenej dohody.

Balík EÚ na dekarbonizáciu vodíka a plynu bol prijatý v máji 2024 a je upravený v Smernici Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1788 z 13. júna 2024 o spoločných pravidlách pre vnútorné trhy s obnoviteľným plynom, so zemným plynom a s vodíkom, ktorou sa mení Smernica (EÚ) 2023/1791 a ruší Smernica 2009/73/ES, ako aj v Nariadení Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1789 z 13. júna 2024 o vnútornom trhu s obnoviteľným plynom, zemným plynom a vodíkom, ktorým sa menia Nariadenia (EÚ) Č. 1227/2011, (EÚ) 2017/1938, (EÚ) 2019/942 a (EÚ) 2022/869 a Rozhodnutie (EÚ) 2017/684 a ktorým sa ruší Nariadenie (ES) č. 715/2009.

Lehota na transpozíciu smernice je do 5. augusta 2026, pričom na piaty a najmä siedmy míľnik Plánu obnovy a odolnosti potrebná aspoň čiastočná novelizácia v nevyhnutnom rozsahu (august 2025).

Dôležité kroky pre transpozíciu Smernice 2024/1788:

- Prispôbiť definície vodíkových infraštruktúr a pojmov (článok 2)
- Zaviesť certifikačný systém pre nízkouhlíkový a obnoviteľný vodík (články 9-10)
- Stanoviť pravidlá pre povolenia a fungovanie vodíkových sietí a terminálov (články 8, 15, 46–48)
- Posilniť práva spotrebiteľov a zabezpečiť transparentný prístup k sieťam (články 12, 35–37)
- Integrovať opatrenia na podporu dekarbonizácie a obnoviteľných technológií do národnej energetickej politiky

EÚ aktualizuje pravidlá na trhu EÚ so zemným plynom stanovené v Smernici o plyne 2009/73/ES a Nariadení o plyne 715/2009. Únia tiež zavádza nový regulačný rámec pre vyhradenú vodíkovú infraštruktúru.

Krajiny EÚ musia do polovice roku 2026 transponovať nové pravidlá do vnútroštátneho práva. Po ich transpozícii uľahčia príjem obnoviteľných a nízkouhlíkových plynov vrátane vodíka a zároveň zabezpečia bezpečnosť dodávok a cenovú dostupnosť energie pre všetkých občanov EÚ.

Preprava vodíka je upravená v Smernici Európskeho Parlamentu a Rady 2008/68/ES, z 24. septembra 2008 o vnútrozemskej preprave nebezpečného tovaru.

V smernici sa stanovujú spoločné pravidlá bezpečnej a zaistenej prepravy nebezpečného tovaru v rámci krajín EÚ a medzi nimi cestnou, železničnou alebo vnútrozemskou vodnou dopravou. Smernica sa týka aj takých aspektov, ako sú nakladanie a vykladanie, prechod z jedného druhu dopravy na iný či zastávky v procese dopravy. Rozširuje sa ňou uplatňovanie medzinárodných pravidiel na vnútroštátnu prepravu nebezpečného tovaru.

Medzinárodná preprava nebezpečného tovaru je upravená Európskou dohodou o medzinárodnej cestnej preprave nebezpečných vecí (ADR), a Európskou dohodou o medzinárodnej preprave nebezpečného tovaru po vnútrozemských cestách (ADN) ako aj Poriadkom pre medzinárodnú železničnú prepravu nebezpečného tovaru (RID). Tieto medzinárodné pravidlá sa musia rozšíriť na vnútroštátnu prepravu, aby sa v rámci EÚ harmonizovali podmienky, za ktorých sa prepravuje nebezpečný tovar, a aby sa zabezpečilo riadne fungovanie spoločného dopravného trhu EÚ.

3.7.1 Transpozícia smernice o obnoviteľných zdrojoch energie RED III

Tretia revízia Smernice o obnoviteľnej energii (RED III) sa zameriava na podporu energie z obnoviteľných zdrojov vytvorením regulačného a investičného rámca, ktorý má pomôcť urýchliť znižovanie emisií a zmiernenie závislosti od fosílnych palív. Konkrétne nariaďuje používanie obnoviteľných palív nebiologického pôvodu (RFNBO) v doprave a priemysle. Pre priemyselné využitie stanovuje ambiciózne ciele, ktoré vyžadujú minimálne 42 % využitie RFNBO do roku 2030 a 60 % do roku 2035.

Vzhľadom na to, aké náročné bude pre členské štáty (a tým aj priemysel) splniť takéto ambiciózne ciele v rekordne krátkom čase, RED III poskytuje členským štátom flexibilné mechanizmy na zníženie úrovne priemyselného cieľa na základe:

- pokroku v oblasti budovania a využívanie OZE,
- vodíka a jeho výroby z nefosílnych palív a
- plánov na dodatočnú inštaláciu existujúcich zariadení CCS a CCU.

Za určitých podmienok je povolené zníženie až o 20 % cieľa z 42 % na 33,6 % RFNBO v priemysle. Smernica sa tiež zaoberá otázkami týkajúcimi sa dovozu, ktorý môže mať vplyv na dosiahnutie cieľov.

Členské štáty musia do 21. mája 2025 transponovať smernicu do vnútroštátneho práva a rozhodnúť, ako by sa mal dosiahnuť cieľ RFNBO v priemysle. Členské štáty sa môžu rozhodnúť uložiť určité povinnosti samotným používateľom vodíka, a to proporcionálnym spôsobom alebo diferencovane medzi odvetviami. Mohli by sa tiež rozhodnúť ponechať povinnosť na vnútroštátnej úrovni a zaviesť mechanizmy na stimulovanie investícií vo všetkých odvetviach využívajúcich vodík. Každá možnosť predstavuje výhody a nevýhody, ako je investičná atraktivita, konkurencieschopnosť odvetvia, rozvoj trhu a zložitosť regulácie.

Bez ohľadu na stratégiu, ktorú členské štáty prijímajú, existujú určité podporné mechanizmy, ktoré sú nevyhnutné pre úspešné prijatie RFNBO, vrátane predvídateľného regulačného rámca, rozsiahleho rozvoja infraštruktúry, primeranej finančnej podpory, transparentného a kompatibilného certifikačného rámca a iniciatív pre označovanie obnoviteľných produktov. Ak sú povinnosti stanovené na úrovni spoločnosti, vyžadujú sa aj jasné sankcie za nedodržiavanie spolu s funkčným systémom likvidných kreditov spolu s opatreniami na ochranu priemyslu pred únikom uhlíka.

Bez ohľadu na metódu, ktorú si členský štát zvolí na transpozíciu cieľa do svojho národného rámca, platia určité podmienky pre všetky členské štáty, bez ktorých bude dosiahnutie národných cieľov mimoriadne náročné.

Vzhľadom na množstvo RFNBO potrebné pre rôzne priemyselné procesy je rozhodujúce zabezpečiť rozvoj dostatočnej infraštruktúry na prepravu a skladovanie vodíka. Je nevyhnutné, aby štáty uprednostňovali rozvoj infraštruktúry s cieľom umožniť prepojenie medzi spotrebou a výrobou vodíka. Dosiahnutie cieľov v odvetví si bude vyžadovať posun smerom k likvidnému trhu s vodíkom, čo sa môže uskutočniť len pri zavádzaní pokročilej vodíkovej infraštruktúry. Členské štáty by mali vytvoriť regulačný rámec pre infraštruktúru, čo najskôr určiť prevádzkovateľa vodíkovej siete a uľahčiť financovanie a zabezpečiť včasný rozvoj siete a skladovania vodíka.

Pre rozvoj spotreby RFNBO v priemysle a stimuláciu výroby finálnych produktov s nižšími emisiami skleníkových plynov je rozhodujúca priama podpora financovania projektov na národnej úrovni. Táto podpora má financovať rozdiel v nákladoch pri spotrebe RFNBO a

fosílnym vodíkom a inými alternatívami založenými na fosílnych palivách v rôznych priemyselných odvetviach. Na úrovni EÚ znamená spustenie Vodíkovej banky pre domácu produkciu a jej dve realizované aukcie významný počiatočný krok smerom k posilneniu celkového trhu EÚ s vodíkom. Je však dôležité, aby sa tento nástroj vyvíjal a umožňoval pomoc aj pre účastníkov aukcií s regiónov s nižším potenciálom OZE napr. Slovensko a krajiny strednej Európy bez priameho prístupu k moru.

Vodíková banka a členské štáty by mali poskytnúť štátne záruky na zmiernenie dlhodobých rizík spojených s tým, že sa odberatelia zaviazujú k uzatvoreniu dlhodobých zmlúv na odber vodíka, čím sa znížia finančné požiadavky. Túto podporu by mal sprevádzať presne stanovený rozpočet výdavkov a vopred stanovený harmonogram aukcií, aby sa zvýšila predvídateľnosť. Na to aby sa zabezpečila spravodlivá hospodárska súťaž, mali by sa členské štáty podieľať na mechanizme aukcií, ako služby zriadenej v rámci vodíkovej banky. Okrem toho, rozdielové zmluvy (Contracts for Difference – CfD) môžu zohrať významnú rolu na preklopenie rozdielu medzi produkciou vodíka na báze fosílnych palív a výrobou RFNBO.

Náročná certifikácia je ďalšou prekážkou, ktorá bráni prijatiu rýchlejšiemu RFNBO. Dobre vytvorený certifikačný systém je nevyhnutný na to, aby projekty napredovali. Certifikácia zabezpečí dôveryhodnosť, transparentnosť, súlad s predpismi a prístup na trh pre RFNBO. Okrem toho zvýši dôveryhodnosť produktov RFNBO a ponúkne spotrebiteľom, investorom a regulačným orgánom istotu o ich udržateľnosti a environmentálnych prínosoch. Včasná implementácia cieľov do značnej miery závisí od rýchleho schválenia certifikačných schém Komisiou. Členské štáty by sa zase mali zaviazovať, že prijímajú alebo uznávajú certifikačné schémy schválené EK. Okrem toho je naliehavo potrebné objasniť zaobchádzanie s RFNBO v rámci databázy EK, aby sa zabezpečilo, že ich bude možné dovážať a riadne zaúčtovať, pokiaľ ide o kvóty na konečné použitie a záväzky členských štátov.

Využitím certifikácie RFNBO by spoločnosti mali mať možnosť získať kredity, ktoré môžu byť následne prevedené na iné spoločnosti usilujúce o preukázanie ich využívania RFNBO. Kreditné systémy predstavujú nákladovo efektívny mechanizmus, ktorý uľahčí vstup na trh pre projekty v celej Európe.

EÚ by mala zaviesť štandardizovaný a povinný systém označovania priemyselného tovaru, ktorého cieľom je zverejňovať podiel obnoviteľnej energie a surovín používaných vo výrobnom procese. Takýto systém by uľahčil vznik vyspelých trhov s výrobkami šetrnými k životnému prostrediu, ktoré by si mohli vyžadovať istú formu prémie vďaka svojim ekologickým vlastnostiam. Na zabezpečenie konzistentnosti a spoľahlivosti by sa úsilie o označovanie výrobkov malo zjednotiť do jednotného, transparentného systému, v ktorom by členské štáty zohrávali kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní súladu a pri presadzovaní jeho vykonávania. Prioritou by malo byť zverejňovanie kľúčových prvkov, akými sú uhlíková intenzita a využívanie obnoviteľnej energie pri ich výrobe a distribúcii.

Ďalším kľúčovým faktorom pre vytvorenie vodíkoveho ekosystému v EÚ je zvýšenie dopytu po ekologickejších výrobkoch. Na dosiahnutie tohto cieľa musia vlády a verejné orgány na

všetkých úrovniach podniknúť proaktívne kroky na stimuláciu dopytu po produktoch šetrných k životnému prostrediu. Verejné orgány by mali stáť na čele iniciatív na integráciu ambiciózných požiadaviek na výroby alebo noriem environmentálneho správania do vnútroštátnych schém verejného obstarávania. Tieto systémy by mali uprednostňovať obstarávanie produktov, ako je zelená oceľ, cement, hliník alebo sklo pre verejnú infraštruktúru. Okrem toho by sa poskytovanie informácií o intenzite uhlíka na obstarávanom tovare malo stať štandardizovanou praxou.

Výzvy dekarbonizácie, ktorým čelia priemyselné odvetvia a následné riziká úniku uhlíka prinášajú zvýšené podnikateľské riziko. Je nevyhnutné chrániť európske pracovné miesta a inovačný potenciál v rámci Európy, preto je nevyhnutné, aby členské štáty úzko spolupracovali s EÚ na formulovaní a vykonávaní koordinovaných politík, ktoré posilnia európsky dekarbonizovaný priemysel a zvýši jeho konkurencieschopnosť na celom svete.

Legislatíva Slovenska:

S výrobou vodíka je spojená aj jeho preprava, ktorá je riešená aj v legislatívnom prostredí SR upravená týmito právnymi predpismi:

- Zákon č. 513/2009 Z.z. o dráhach,
- Zákon č. 514/2009 Z.z. o doprave na dráhach (§23),
- Transponovaná Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2008/68/ES, z 24. septembra 2008 o vnútrozemskej preprave nebezpečného tovaru,
- Zákon č. 56/2012 Z.z. o cestnej doprave (§34),
- Zákon č. 254/2010 Z.z. o prepravovaných tlakových zariadeniach,
- Nariadenie vlády SR č. 392/2006 Z.z. o minimálnych bezpečnostných a zdravotných požiadavkách pri používaní pracovných prostriedkov,
- Vyhláška č. 508/2009 Z.z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci s technickými zariadeniami tlakovými, zdvíhacími, elektrickými a plynovými a ktorou sa ustanovujú technické zariadenia, ktoré sa považujú za vyhradené technické zariadenia,
- Vyhláška č. 8/1985 Zb. o Dohovore o medzinárodnej železničnej preprave (COTIF) - pristúpenie k dohode RID (preprava nebezpečného tovaru po železnici),
- Vyhláška č. 64/1987 Zb. o Európskej dohode o medzinárodnej cestnej preprave nebezpečných vecí (ADR).

S vodíkovou stratégiou je spätá aj činnosť Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky (ÚNMS SR)⁵⁸ ako ústredného orgánu štátnej správy s prierezovou pôsobnosťou pri tvorbe a rozvoji nástrojov infraštruktúry kvality.

Primárnym cieľom je vytvorenie konkurencieschopného a efektívneho prostredia a realizácia úloh v oblasti normalizácie, metrológie, kvality, posudzovania zhody a akreditácie.

⁵⁸ Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky (ÚNMS SR): Metrologická legislatíva. (<https://www.normoff.gov.sk/stranka/164/metrologickalegislativa/?csrt=627101242594712687>)

V európskom ponímaní pozostáva infraštruktúra kvality z normalizácie, metrologie, posudzovania zhody, akreditácie a dohľadu nad trhom, pričom činnosti sa zameriavajú na uplatňovanie práva EÚ, najmä predpisov Nového prístupu.

Slovensko sa musí v rámci vlastnej legislatívnej úpravy vysporiadať aj právnymi predpismi, ktoré sú obmedzujúce pre vozidlá s pohonom na alternatívne palivá, konkrétne na LPG alebo CNG. Vo vzťahu k autám na vodíkový pohon, vzhľadom na malý počet týchto áut na slovenskom trhu, neexistujú poznatky so zákazom používania podzemných garáží.

Mnohé podzemné parkoviská/garáže používajú pri obmedzení parkovania áut s pohonom LPG/CNG zakazujúce dopravné značenia, ktoré ale nie sú v súlade vyhláškou č. 30/2020 Z.z. o dopravnom značení.

Problematiku parkovania v podzemných garážach vozidiel na plynový pohon v súčasnosti na Slovensku stále upravuje Vyhláška Slovenského úradu bezpečnosti práce a Slovenského banského úradu č. 208/1991 Zb. o bezpečnosti práce a technických zariadení pri prevádzke, údržbe a opravách vozidiel. Podľa § 12 ods. 5 Vyhlášky „...priestory na garážovanie vozidiel s plynovým zariadením sa musia vybaviť indikátormi s optickou a akustickou signalizáciou výskytu plynu pri dosiahnutí 25 % dolnej medze výbušnosti. Po prekročení tejto hodnoty sa musí zakázať vstup do tohto priestoru, zabezpečiť, aby ho všetky osoby opustili, a vykonať opatrenia podľa havarijného plánu“. V zmysle STN 73 6058 – pri povolení vjazdu automobilov s alternatívnymi pohonmi do podzemnej garáže, musí byť prítomný aj príslušný detekčný a vetrací systém.

Rovnako bezpečnosť upravuje aj Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky č. 94/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb, napr. v § 88 ods. 4, v zmysle ktorého „...zariadením elektrickej požiarnej signalizácie musí byť vybavený požiarne úsek, v ktorom je hromadná garáž pre viac ako 50 motorových vozidiel“.

Pri realizácii stavieb, ako podzemné garáže, či čerpacie stanice je dôležitý aj Zákon č. 314/2001 Z.z. o ochrane pred požiarom, kde vo svojom ustanovení § 4 písm. k), určuje povinnosť pre právnické a fyzické osoby – podnikateľ za účelom predchádzania vzniku požiarov je povinný „...zabezpečiť, aby sa pri vypracúvaní projektovej dokumentácie stavieb, pri uskutočňovaní stavieb a pri ich užívaní, ako aj pri zmene užívania stavieb riešili a dodržiavali požiadavky protipožiarnej bezpečnosti stavieb; požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť stavieb pri projektovaní stavieb, uskutočňovaní stavieb, užívaní stavieb a zmene v užívaní stavieb ustanoví všeobecne záväzný právny predpis, ktorý vydá ministerstvo (MV SR)-gestor“.

Zároveň je potrebné zaoberať sa skutočnosťou, kto bude povinný v bytovom dome zabezpečiť, aby sa priestoroch garáže nevyskytovali žiadne osoby a postupovať podľa havarijného plánu. Havarijný plán povinný vypracovať prevádzkovateľ. Prevádzkovateľom, resp. osobou dohliadajúcou nad splnením týchto povinností v prípade havárie v garáži v bytovom dome je,

podľa § 6 ods. 2 e) zákona č. 182/1993 Z. z. o vlastníctve bytov a nebytových priestorov, osoba zabezpečujúca správu bytového domu.

3.8 Čiastkový záver a odporúčania

Kapitola 2 analyzovala kľúčové trendy v dekarbonizácii európskej energetiky a výzvy súvisiace s rozvojom vodíkového hospodárstva.

3.8.1 Verejná politika a legislatívny rámec vplývajúci na vodíkové hospodárstvo

Strategický rámec EÚ, čo sa týka vodíkového hospodárstva tvoria: *Stratégia EÚ pre integráciu energetického systému - Zelená dohoda* (2020), ktorá je odpoveďou EÚ na prebiehajúcu klimatickú krízu, *Vodíková stratégia EÚ* (2020), *REPowerEU* (2022) a SET. Legislatívny rámec tvoria najmä: *Smernica REDIII*, nariadenia o trhu s vodíkom a plynom a smernice o preprave nebezpečných látok. Tento rámec slúži na podporu výskumu, inovácií, investícií a infraštruktúry s dôrazom na prechod k čistým formám energie a technologickej autonómii EÚ.

MH SR je gestorom problematiky vodíka a orgánom zodpovedným za implementáciu Národnej vodíkovej stratégie (NVS), Akčného plánu opatrení úspešnej realizácie NVS a súvisiacich zámerov národných projektov do roku 2026. Je aj spolugestorom národného *Integrovaného ekonomického a klimatického plánu*.

Zainteresované subjekty sa zatiaľ jednoznačne nezhodli, či pre potreby budovania vodíkovej ekonomiky SR bude využívaný obnoviteľný vodík alebo iná jeho nízkoemisná forma. Jasne stanovené a komunikované ciele týkajúce sa výroby obnoviteľného alebo nízko emisného vodíka poskytnú výrobcam a investorom jasné a prehľadné podmienky pre ich činnosť.

Vo viacerých článkoch vodíkového hodnotového reťazca existuje zložitá regulácia, rámce a nejasnosť úloh.

Je potrebné:

- Prijat' úpravu legislatívy týkajúcu sa bezpečnosti vodíkových vozidiel v podzemných garážach a vypracovať štandardizované pravidlá predpisov, ktoré musia spĺňať detekčné a ventilačné systémy.
- Spolupracovať s regulačnými orgánmi a ústrednými orgánmi štátnej správy Slovenska, ako aj orgánmi v rámci regiónu aby sa zabezpečili jasné pravidlá regulácie v tejto oblasti (V4, Slavkovský formát, INTERREG Stredná Európa a pod.). Osobitnú pozornosť treba venovať prípadným nedostatkom regulácie, ako aj potrebám novelizácie právnych predpisov s cieľom zabezpečiť rozvoj trhu s vodíkom, bezpečnosť a tým pádom aj splnenie klimatických cieľov.
- Harmonizovať predpisy SR s právom EÚ v oblastiach infraštruktúry, bezpečnosti prepravy, výstavby vodíkovej infraštruktúry, ako aj prevádzky vozidiel na alternatívne palivá (smernica RED III 2024/1788 vrátane certifikačných systémov a technických noriem pre vodíkovú infraštruktúru; nariadenie 2024/1789 najmä v oblasti prevádzky sietí, trhu s vodíkom a práv spotrebiteľov).
- Konat' vo veci ujasnenia si pozície a postoja k potenciálu využívania obnoviteľného vodíka alebo nízkoemisného vodíka.

- Stanoviť si do roku 2030 realistický cieľ a po roku 2030/2035 ambiciózny cieľ do roku 2050 a zabezpečiť politickú aj fiškálnu podporu plnenia tohto cieľa podľa vzoru iných sociálno-ekonomicky a demograficky porovnateľných EÚ krajín
- Prijatť úpravu legislatívy týkajúcu sa bezpečnosti vodíkových vozidiel v podzemných garážach a vypracovať štandardizované pravidlá predpisov, ktoré musia spĺňať detekčné a ventilačné systémy.
- Spolupracovať s regulačnými orgánmi a ústrednými orgánmi štátnej správy SR a v rámci regiónu, aby sa zabezpečili jasné pravidlá regulácie v tejto oblasti. Osobitnú pozornosť venovať prípadným nedostatkom regulácie, ako aj potrebám novelizácie právnych predpisov s cieľom zabezpečiť rozvoj trhu s vodíkom, bezpečnosť a tým pádom aj splnenie klimatických cieľov.

3.8.2 Financovanie a podpora vodíkového hospodárstva

Cielená podpora znižuje investičné riziká projektov a urýchľuje komercializáciu inovatívnych vodíkových technológií. Slovensko má k dispozícii robustný kombinovaný systém finančnej podpory z fondov *EFRD*, *ESF*, *ERARDF*, štátneho rozpočtu a rozpočtu samospráv na národnej a regionálnej úrovni, ako aj mechanizmus priamo riadených programov EÚ, využitie ktorých môže transformáciu smerom k vodíkovej ekonomike významne urýchliť. Kľúčové zdroje financovania sú *Inovačný fond*, *Mechanizmus spravodlivej transformácie*, *Plán obnovy a odolnosti* a *Program Slovensko*. Európska vodíková banka a projekty IPCEI dopĺňajú tento systém o podporu medzinárodnej spolupráce a veľkokapacitných infraštruktúrnych projektov. Výzvou ostáva komplexita žiadostí o finančné príspevky, kapacita inštitúcií administrujúcich projekt a nedostatočná miera koordinácia medzi verejným a súkromným sektorom. Od roku 2007 bolo na Slovensku podporených z nenávratnej pomoci 26 projektov zameraných na výskum, vývoj a inovácie v spojitosti s vodíkom a vodíkovými technológiami v celkovej hodnote takmer 40 mil. EUR. Väčšina a väčšie projekty boli podporené až po roku 2021 prostredníctvom 5 grantových agentúr a ich výsledky a dopady sú aktuálne monitorované.

V roku 2024 boli zverejnené dve schémy štátnej pomoci v gescii MŽP SR a SIEA z prostriedkov Modernizačného fondu na podporu investícií na výrobu energie z OZE, na výrobu obnoviteľného vodíka a na podporu vysokoúčinnnej kogenerácie v celkovej hodnote 488 mil. EUR.

Aktuálne dostupné finančné nástroje a podporné mechanizmy pokrývajú celý vodíkový hodnotový reťazec, od výskumu a výroby po distribúciu a spotrebu. Súkromné investície zaznamenávajú výrazný rast (napr. fond Hy24 s alokáciou 500 mil. EUR na vodíkové technológie). Včasné a cieľavedomé využitie týchto nástrojov môže zabezpečiť Slovensku významnú konkurenčnú pozíciu v rámci európskeho vodíkového ekosystému.

Je potrebné:

- Prijatť potrebné opatrenia na upevnenie ekonomickej hodnoty vodíkovej ekonomiky (napr. systémová integrácia obnoviteľného vodíka, alebo výroba a vývoj vodíkových technológií, resp. technologických komponentov, o ktoré bude záujem na svetovom trhu).
- Vytvoritť transparentný a predvídateľný mechanizmus financovania na podporu cieľov vodíkovej politiky. Zlepšiť koordináciu na zabezpečenie hodnoty za peniaze z financovania inovačných projektov a prijať opatrenia na zefektívnenie čerpania financií.
- Strategicky sa zamerať na projekty s multiplikačným efektom, zjednodušenie administratívy a posilnenie partnerstiev medzi štátom, podnikmi a výskumnými inštitúciami.

- Cielene podporiť pilotné projekty a demonštračné aktivity v priemysle a doprave s využitím prostriedkov Modernizačného fondu a Programu Slovensko na demonštračné projekty v priemysle a doprave.
- Podporiť synergie vo využívaní verejných a súkromných zdrojov – podpora partnerstiev s investormi (VC/PE) pre projekty s vysokou pridanou hodnotou (napr. výroba elektrolyzér).
- Podporiť budovanie a zvyšovanie kapacít verejnej správy – školenia pre efektívne riadenie projektov financovaných z IPCEI a Inovačného fondu.
- Podporovať medzinárodnú spoluprácu na výmenu skúseností a spoločné projekty (napr. program INTERREG Stredná Európa, výzvy Clean Hydrogen Partnership)

3.8.3 Trhové trendy a technická realizovateľnosť vodíkového hospodárstva do roku 2030

Zmena klímy, vplyv ľudskej činnosti na životné prostredie a obmedzené prírodné zdroje si vyžadujú nové prístupy a technické riešenia. Zníženie emisií CO₂ je pre zastavenie globálneho otepľovania kľúčové. Cieľom *Európskej zelenej dohody* je dosiahnutie klimateckej neutrality do roku 2050. Závazok je možné splniť len v prípade, ak sa budú znižovať emisie v energetike, doprave, priemysle, poľnohospodárstve a v ďalších odvetviach. Projekty sú často postavené na medzinárodnej spolupráci (medzinárodné siete).

Obnoviteľný, resp. nízkoemisný vodík má veľký potenciál pre jeho využitie v priemysle Slovenska a pravdepodobne do určitej miery ho bude možné využiť aj v energetike. Jeho úloha bude pravdepodobne v dlhodobom horizonte rásť.

Slovensko by sa mohlo stať výrobcom nízkoemisného a obnoviteľného vodíka primárne pre vlastné potreby a v dlhodobom horizonte aj spotrebiteľom časti vodíka určeného na export do Európy. Výroba vodíka je možná zo všetkých zdrojov ktoré sú v súlade s taxonómiou udržateľnej energetiky, s úsporou skleníkových plynov o viac ako 70 % s porovnateľnými fosílnymi palivami, ale európske ciele kladú dôraz najmä na využitie OZE nebiologického pôvodu.

Spotreba elektrickej energie v EÚ v rokoch 2021 – 2023 klesla, **v roku 2024 dopyt** v EÚ vzrástol o 1,6 % a úroveň spotreby dopytu z roku 2021 sa dosiahne v roku 2027. Globálny dopyt po elektrine má vzrásť o takmer 4 % do roku 2027 (elektrifikácia dopravy, nasadenie tepelných čerpadel, expanzia dátových centier, energeticky náročná výroba li-ion batérii, solárnych článkov atď.). Pokrytie nárastu spotreby elektriny by v nasledujúcich rokoch malo byť realizované najmä z nízkoemisných zdrojov energie (OZE, jadro).

Výroba elektriny z FVE by mala pokryť polovicu rastu dopytu a v roku 2027 by FVE mali byť druhým najväčším nízkoemisným zdrojom hneď po elektrine vyrobenej v hydroelektrárnach. Podiel elektriny z OZE by mal byť už v roku 2025 vyšší ako podiel elektriny vyrobenej z uhlia, ktorej podiel na celkovej výrobe elektriny má klesnúť pod 33% prvýkrát po 100 rokoch. Rast podielu výroby elektriny z OZE bude pokračovať aj v spojitosti s pokrokom vo vývoji bezemisných technológií.

Obnoviteľný a nízkoemisný vodík spolu s elektrinou môže z dlhodobého hľadiska nahradiť fosílnu palivá v doprave.

Nárast bezpečnostnej a ekonomickej nestability v regióne (vojna Ruska s Ukrajinou, tarifná politika USA, ekonomické záujmy BRICS).

Na globálnej úrovni prebieha súťaž budúcich exportérov obnoviteľného vodíka o európskeho zákazníka (krajiny s nízkymi nákladmi na výrobu obnoviteľného vodíka vďaka výhodným podmienkam pre OZE).

Chemický priemysel je najväčší odberateľ vodíka (v súčasnosti neobnoviteľný / fosílny vodík). Európske ciele záväzné pre SR plánujú 42 % náhradu fosílného vodíka do roku 2030 a 60% do roku 2035.

Slovensko v roku 2023 zaznamenalo spotrebu 4,49 MWh/os., čo je pod priemerom EÚ, ale vzhľadom na stanovené dekarbonizačné ciele sa predpokladá nárast spotreby z 25 TWh na viac ako 40 TWh do roku 2050.

Závazok cieľa 42 % podielu RFNBO v priemysle a 1 % v doprave do roku 2030 (povinnosť implementácie do národnej legislatívy Slovenska a určenie zodpovednosti za plnenia cieľov medzi štát, verejný, súkromný sektor alebo koncového užívateľa)

Podpora vyššej energetickej nezávislosti SR a energetickej bezpečnosti vzhľadom na zhoršovanie sa medzinárodnej bezpečnostnej situácie

Udržanie konkurencieschopnosti národného hospodárstva EÚ a SR a uplatniť komplexný prístup zahrňujúci rozvoj infraštruktúry, stabilné investičné prostredie a aktívnu medzinárodnú spoluprácu (najmä v prípade importu zeleného vodíka napr. z Ukrajiny) a rozvoj potenciálu lokálnych vodíkových údolí.

Je potrebné:

- Prijat' opatrenia na upevnenie ekonomickej hodnoty vodíkovej ekonomiky na Slovensku (napr. systémová integrácia alebo výroba).
- Podporiť domácu ekonomicky efektívnu výrobu obnoviteľného a nízkoemisného vodíka.
- Podporiť cenovo výhodný import obnoviteľného a nízkoemisného vodíka cez upravenú plynárenskú infraštruktúru.
- Využiť silné stránky Slovenska (nízka CO₂ intenzita výroby elektrickej energie; vybudovaná prepravná a distribučná plynárenská infraštruktúra, ktorá by sa dala po úpravách použiť pre tranzit a distribúciu obnoviteľného vodíka resp. do roku 2030 zníženie uhlíkovej stopy plynárenskej infraštruktúry atď.)
 - Využiť existujúce a vznikajúce príležitosti: zapojenie sa do európskeho a globálneho vodíkoveho ekosystému prostredníctvom celoeurópskych strategických projektov a v rámci medzinárodných sietí (napr. EHB, GHBD a ďalšie); cezhraničný obchod s obnoviteľným a nízkoemisným vodíkom; strategická geografická poloha na východnom koridore tranzitných a prenosových sietí (napr. budúci tranzit vodíka z Ukrajiny a juhovýchodnej Európy do západnej Európy); predpoklady vyrábať vodík z OZE, pomocou atómovej energie alebo aj z metánu a odpadu s využitím technológií zachytávania emisií

CO₂ (CCS); budúca kapacita elektrolyzérův pre vyrovnávanie elektrizačnej sústavy najmä v obchodných hodinách s nízkou cenou elektrickej energie a prebytkom obnoviteľnej energie v sieti.

- Podporiť infraštruktúrne projekty v rámci Slovenska
 - zabezpečiť dostatočnú kapacitu prenosovej a distribučnej elektrickej siete pre pripojenie nových kapacít OZE, elektrolyzérův a komunitnej energetiky; investície do rozvoja inteligentných sietí, automatizácie a flexibility.
 - výstavby výrobných kapacít - elektrolyzérův najmä v blízkosti výroby elektrickej energie z OZE a AE alebo spotrebiteľův (vysoký potenciál regionálnej optimalizácie výroby a spotreby bez záťaže tranzitnej alebo distribučnej sústavy).
 - sezónneho skladovania vodíka hlavne v podzemných úložiskách
 - rozvoj a modernizáciu tranzitnej a distribučnej plynárenskej infraštruktúry (modernizácia a adaptácia existujúcej plynárenskej siete na prepravu vodíka, prepojenie plynovodov na európsku tranzitnú vodíkovú sieť, budovanie nových skladovacích kapacít pre vodík – EUSTREAM, SPP)
- Zlepšovať podporné prostredie pre vodíkový hodnotový reťazec a vytvorenie domáceho stabilného trhu
 - Zaviesť nástroje pre podporu výroby vodíka / podporné mechanizmy pre priemyselné podniky (poskytovanie daňových úľav, dotácií a garantovaných cien pre výrobcov nízko emisného vodíka pomocou investičných stimulov, rozdielových zmlúv, systému kreditov, ktoré by umožnili obchodovanie s vodíkom, systém štátnych záruk či aukcií).
 - Podporiť dopyt po ekologických výrobkoch a službách prostredníctvom zeleného verejného obstarávania
 - Podporovať rozvoj kapacít a ľudských zdrojov (vzdelávacie programy cez Európsku vodíkovú akadémiu, prírodovedné a technické odbory)
 - Uskutočniť včasnú a ambicióznú transpozíciu a realizáciu EÚ legislatívy
 - Zabezpečiť včasnú regulačnú kompatibilitu (REDIII, národná schéma plnenia cieľov RFNBO a certifikácia RFNBO) a znížiť regulačnú neistotu,
 - Urýchliť povoloňovací proces pre inovatívne vodíkové technológie
 - Vypracovať a zabezpečiť jasnú deľbu zodpovedností pre priemysel a dopravu.
 - Aktívne participovať na tvorbe a pripomienkovaní vodíkovej legislatívy a podporných programov na úrovni EÚ s dôrazom na špecifické podmienky Slovenska a dôsledne implementovať tieto nariadenia a normy
- Podporiť pilotné projekty a zapájať sa do nových projektov
 - investičná podpora komplexných projektov výroby a spotreby obnoviteľného vodíka v regiónoch
 - Podporiť z národných zdrojov (ŠR, programy EÚ fondov) a prostredníctvom investičných stimulov strategické projekty
 - IPCEI -Hy2Infra, Hy2Tech, IPCEI Hy2Use, H2FUTURE);
 - EHB - Európsku tranzitnú vodíkovú sieť;
 - rozvoj vodíkových údolí (projekt EastGateH2EU s potenciálom transformovať oceliarsky priemysel na udržateľný s využitím vodíka; integrácia severozápadného Slovenska do širšieho hospodárskeho priestoru s Moravskosliezskym klastrom a skúmať možnosti ich možného prepojenia s vodíkovými údoliami v susedných štátoch (východné Rakúsko, severozápadné Maďarsko, Česko, atď.)
- Urgentne pripravovať systematické a udržateľné riešenia na splnenie európskych cieľov v spotrebe obnoviteľného a potenciálne aj nízkouhlíkového vodíka na národnej úrovni v priemysle a doprave pre roky 2030 a 2035.

4 VODÍKOVÝ HODNOTOVÝ REŤAZEC NA SLOVENSKU

4.1 Úvod

Kapitola 4 analyzuje a hodnotí kľúčové aspekty vodíkoveho hodnotoveho reťazca v podmienkach Slovenska. Nadväzuje na zhodnotenie súčasného stavu obsiahnuté v kapitole 2 - Analýza potenciálneho trhu. Venuje sa energetickým aspektom výroby vodíka z dostupných a z účelovo vybudovaných energetických zdrojov v SR v najbližšom čase (potenciálna ponuka energetických zdrojov) na výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka podľa kritérií RED III a v plynovom balíčku EÚ. Kapitola ďalej pojednáva o využití elektrickej prenosovej sústavy, výrobe vodíka, skladovaní, preprave a využití vodíka, ako aj vzdelávaní a podpore výskumu a vývoja. Tiež hodnotí existujúci dopyt po vodíku a sektory, kde sa predpokladá nárast spotreby do roku 2030.

Vodíkový hodnotový reťazec v SR je znázornený na nasledujúcom obrázku, ktorý popisuje jednotlivé časti reťazca. Počnúc výrobou - zdrojmi energie a končiac dopytom a využitím vodíka v rôznych sektoroch.



Obrázok 21: Hodnotový reťazec vodíka v SR

Zdroj: NVAS

4.2 Potenciálna kapacita ponuky energetických zdrojov

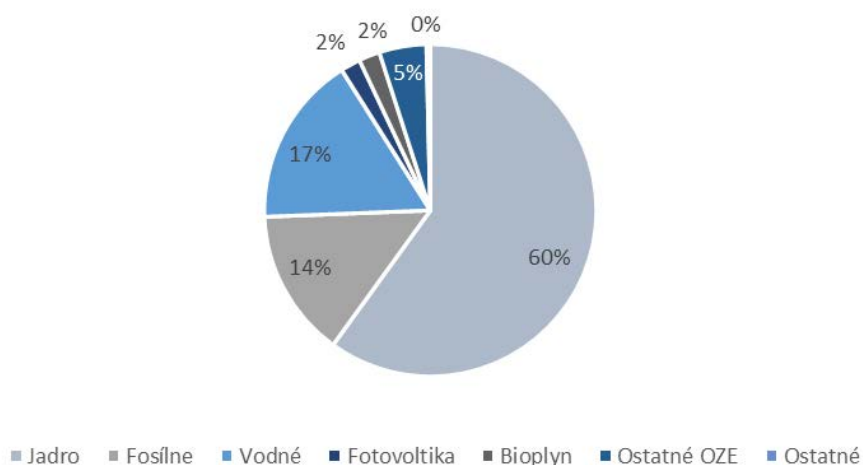
Vodík sa v prírode bežne nevyskytuje v čistej forme, preto ho treba získavať zo zlúčenín, v ktorých sa nachádza. Táto výroba vyžaduje energiu na rozklad zlúčenín a získanie obnoviteľného/nízkoemisného vodíka. Nielen výroba, ale aj aj skladovanie a distribúcia vodíka budú predstavovať pre Slovensko komplexnú energetickú výzvu. Z uvedeného je potrebné

zhodnotiť potenciálnu kapacitu ponuky domácich energetických zdrojov, ako sú: fosílna palivá, atómová energia, vodná energia, solárna energia, veterná energia, geotermálna energia, energia z biomasy a energia vyrobená ako vedľajší produkt zo spracovania tuhého komunálneho odpadu.

V nasledujúcej časti je zhodnotené množstvo dostupnej energie z jednotlivých zdrojov, ako aj ich možné využitie na výrobu nízkouhlíkového a obnoviteľného vodíka podľa regulácií EÚ. Hodnotia sa jednotlivé energetické zdroje SR a ich možnosť ich využitia na výrobu vodíka s ohľadom na dekarbonizačné ciele EÚ a SR.

4.2.1 Súčasný stav ponuky energetického mixu

Celková výroba elektrickej energie na Slovensku sa v posledných rokoch pohybuje medzi 25 až 30 TWh ročne. Energetický mix podstúpil v posledných rokoch významné zmeny v súlade s dekarbonizačnými cieľmi EÚ a pod vplyvom zvyšovania podielu OZE na výrobe elektrickej energie. Jeho aktuálnu podobu predstavuje nasledujúci obrázok.

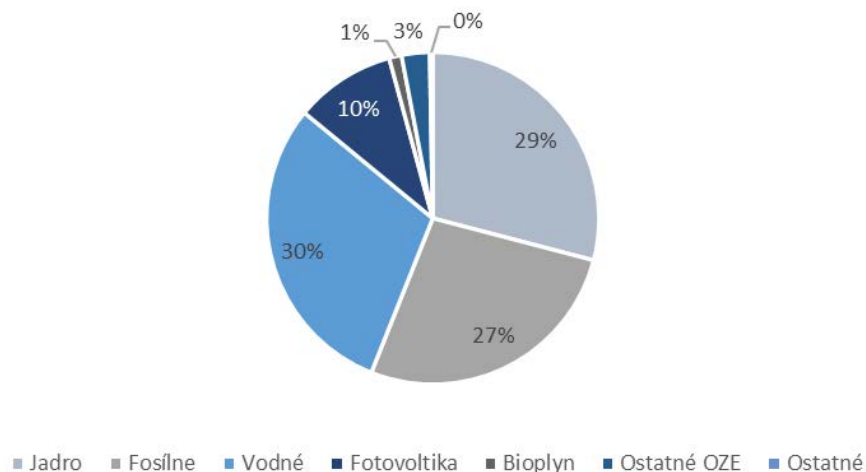


Obrázok 22: Štruktúra výroby elektriny v elektrizačnej sústave SR, 2023

Zdroj: Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023

Slovensko sa dlhodobo spolieha na jadrovú energiu. Pokrýva 60 % celkovej produkcie elektriny na Slovensku (aktuálne asi 17 TWh) a 29 % inštalovaného výkonu. Z OZE sa vyrába takmer 25 % elektriny. Najväčší podiel tvoria vodné elektrárne (17 %) s 30 % inštalovaného výkonu. Menšia časť pochádza zo solárnych elektrární a zanedbateľný príspevok prinášajú veterné elektrárne. Podiel elektriny z OZE a nízkouhlíkových zdrojov dosiahol 85 %. Zvyšok výroby elektriny (15 %) pochádzal z fosílnych zdrojov, medzi ktoré patrili paroplynové elektrárne, tepelné uhoľné elektrárne a aj kogeneračné zariadenia využívajúce fosílna palivá. Podiel fosílnych zdrojov sa od roku 2024 znížil vzhľadom na ukončenie výroby v uhoľných elektrárnach EVO a ENO⁵⁹.

⁵⁹ Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023



Obrázok 23: Štruktúra inštalovaného výkonu elektrizačnej sústavy SR 2023

Zdroj: Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023.

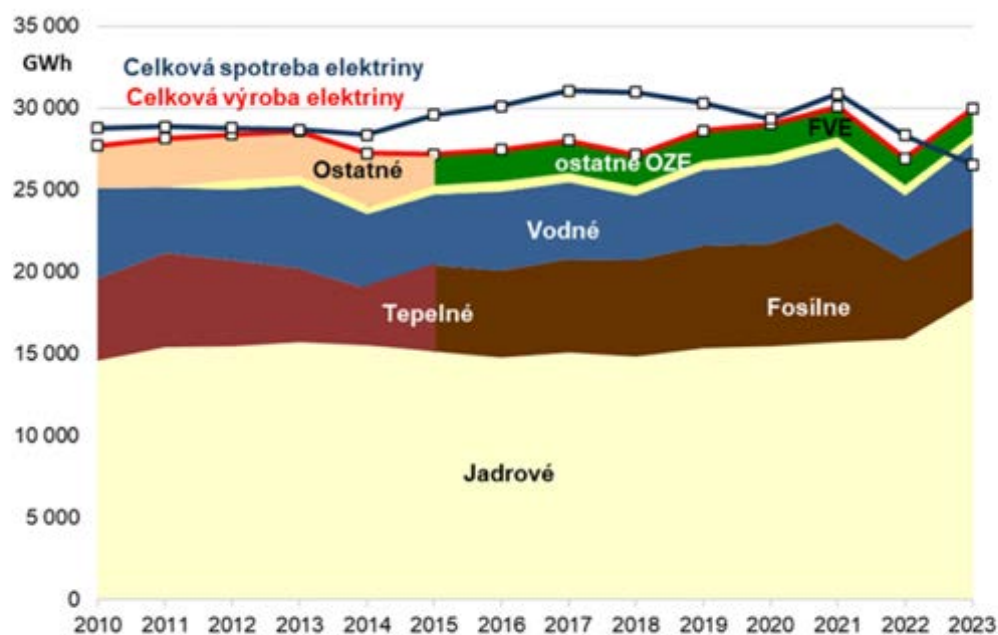
Čoraz významnejšiu úlohu zohrávajú v energetickom mixe OZE. Najväčšie očakávania sú od fotovoltických elektrární (FVE), ktorých kapacita v súčasnosti rýchlo rastie. V roku 2023 zaznamenalo Slovensko približne 267 MW nových kapacít FVE (štvornásobný nárast oproti roku 2022). Nárast vyvolali najmä inštalácie v domácnostiach (až 92 % nových kapacít). Celkovo dosiahla inštalovaná kapacita fotovoltických elektrární na Slovensku približne 870 MW. V roku 2023 sa na Slovensku inštalovalo približne 220 MW nových fotovoltických elektrární. Najväčší podiel mali inštalácie v segmentoch domácností a malých a stredných podnikov. Tento dynamický rozvoj naznačuje pozitívny trend v oblasti OZE na Slovensku, pričom fotovoltika zohráva kľúčovú úlohu v zvyšovaní podielu zelenej energie v energetickom mixe krajiny.

Príspevok výroby elektrickej energie z veterných elektrární je stále veľmi malý (inštalovaný výkon 3,14 MW).

Do roku 2030 by sa mal inštalovaný výkon solárnych elektrární zdvojnásobiť a dosiahnuť približne 1 200 MW. Do roku 2030 sa plánuje zvýšenie kapacity inštalovaného výkonu veterných elektrární až na 500 MW. Uvedené pozitívne ovplyvní dekarbonizáciu sektora výroby elektriny a produkciu obnoviteľnej energie.

V kombinácii s vodíkovými technológiami sa Slovensko bude môcť rýchlejšie priblížiť svojim cieľom v oblasti klimatekej neutrality a znižovania emisií skleníkových plynov.

Celková spotreba elektriny v roku 2023 dosiahla 26,539 TWh. Maximálne zaťaženie prenosovej sústavy bolo 4 083 MW, zaznamenané 5. decembra 2023 o 9:00 hod. V najbližších rokoch sa očakáva postupný nárast spotreby elektriny, najmä v dôsledku elektrifikácie dopravy a vykurovania, s predpokladom nárastu o 5,8 TWh do roku 2030, čo predstavuje priemerný medziročný nárast o 1,45 %.



Poznámka: V roku 2015 došlo k zmene v spôsobe vykazovania výroby elektriny

Obrázok 24: Bilancia celkovej výroby a spotreby elektriny SR za roky 2010 – 2023

Zdroj: Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023

Budúci vývoj a trendy

Čoraz významnejšiu úlohu zohrávajú aj OZE ako veterné, solárne ale aj vodné elektrárne. Podiel obnoviteľných zdrojov energie (OZE) na celkovej spotrebe by sa mal zvýšiť na 25 %. Pôvodný predpoklad z roku 2019 hovoril o zvýšení o 19 %⁶⁰.

Vyššie využitie OZE vyžaduje vyššiu mieru nasadenia špičkových elektrární a prostriedkov na stabilizáciu elektrickej siete. V tejto oblasti môžu vodíkové technológie hrať významnú úlohu pri optimalizácii využitia prebytočnej energie z obnoviteľných zdrojov. Tieto technológie umožňujú efektívne zachytávanie a skladovanie prebytočnej elektrickej energie v sieti v dôsledku kolísavého charakteru výroby elektriny z OZE, čím prispievajú k stabilite elektrizačnej sústavy.

Pre lepšie pochopenie vzťahu medzi výrobou elektrickej energie a výrobou vodíka je potrebné vymedziť typy elektrární podľa ich prevádzkových režimov. Elektrárne sa všeobecne delia na základné, pološpičkové a špičkové.

Na Slovensku sú základnými zdrojmi najmä jadrové elektrárne a veľké vodné elektrárne, napríklad VE Gabčíkovo. Jadrové elektrárne majú obmedzenú schopnosť rýchlo meniť výkon,

⁶⁰ Aktualizácia Integrovaného národného energetického a klimatického plánu (NEKP) na roky 2021 – 2030 (materiál schválený vládou SR 2. apríla 2025).

čo limituje ich flexibilitu pri prispôsobovaní sa zmenám dopytu. Charakteristické sú nízkymi nákladmi na palivo a prevádzku.



Obrázok 25: Priebeh elektrického zaťaženia sústavy a jeho pokrývania počas dňa

Zdroj: Obrázok založený na origináli z Energy KnowledgeBase: Intermediate Load

Pološpičkové a špičkové elektrárne majú lepšiu schopnosť sledovať dopyt elektrickej energie a majú kratšiu reakčnú dobu. Medzi špičkové a pološpičkové elektrárne na Slovensku patria najmä plynové turbínové elektrárne, ako aj vodné elektrárne s možnosťou rýchlej regulácie výkonu. Tieto zariadenia dokážu efektívne reagovať na kolísanie dopytu, čo prispieva k stabilite a flexibilitě celého energetického systému. Taktiež sú schopné rýchlo zvyšovať alebo znižovať svoju výrobu v závislosti od aktuálnych potrieb trhu, čím podporujú integráciu OZE a znižujú riziko výpadkov elektrickej siete.

V rámci OZE sa Slovensko spolieha na bioplynové stanice, ako aj na rozvoj solárnych a veterných elektrární⁶¹. Bioplynové stanice prispievajú nielen k výrobe elektriny, ale aj k znižovaniu odpadov prostredníctvom spracovania biologického odpadu. Solárna energia má zatiaľ menší podiel, ale s rastúcimi kapacitami v rámci projektov ako Solartec-Lučenec sa očakáva, že jej význam v budúcnosti narastie. Slovenský energetický mix tak zahŕňa širokú škálu zdrojov, čo prispieva k jeho spoľahlivosti a udržateľnosti.

Intermitentné OZE (s prerušovanou výrobou), ako solárne a veterné elektrárne, sú charakteristické premenlivou dodávkou elektrickej energie do siete. Pre ich efektívnu integráciu do elektrizačnej sústavy je preto potrebná dostatočná kapacita špičkových a pološpičkových elektrární, ktoré zabezpečia vyrovnanie výroby v obdobiach nízkej produkcie OZE. Okrem toho je možné využiť aj uskladnenie elektrickej energie ako efektívny

⁶¹ Úrad vlády Slovenskej republiky. (2021). Komponent 1: Obnoviteľné zdroje energie a energetická infraštruktúra. Plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky. <https://www.mhsr.sk/podpora-investicii/plan-obnovy/harmonogram-vyziev/archiv/komponent-1>

spôsob na vyrovnanie týchto výkyvov. Prečerpávacie elektrárne sú dôležitým nástrojom na stabilizáciu elektrizačnej sústavy. Ich princíp spočíva v ukladaní prebytočnej elektrickej energie do potenciálnej energie vody jej prečerpaním do vyššie položeného zásobníka. V čase špičkovej spotreby sa táto energia spätne premieňa na elektrickú energiu, čím prispievajú k vyrovňovaniu výkyvov medzi ponukou a dopytom v sieti.

Vodíkové technológie ponúkajú inovatívne a alternatívne riešenia, kde prebytočná energia z obnoviteľných zdrojov môže byť použitá na elektrolýzu vody, čím vzniká vodík, ktorý sa následne môže skladovať a používať ako palivo alebo na výrobu elektriny v palivových článkoch alebo vodíkových turbogenerátoroch. Tieto technológie nielenže podporujú integráciu intermitentných zdrojov do energetického mixu, ale aj prispievajú k zvýšeniu energetickej bezpečnosti a redukcii emisií skleníkových plynov.



Obrázok 26: Mapa zdrojov elektrickej energie SR

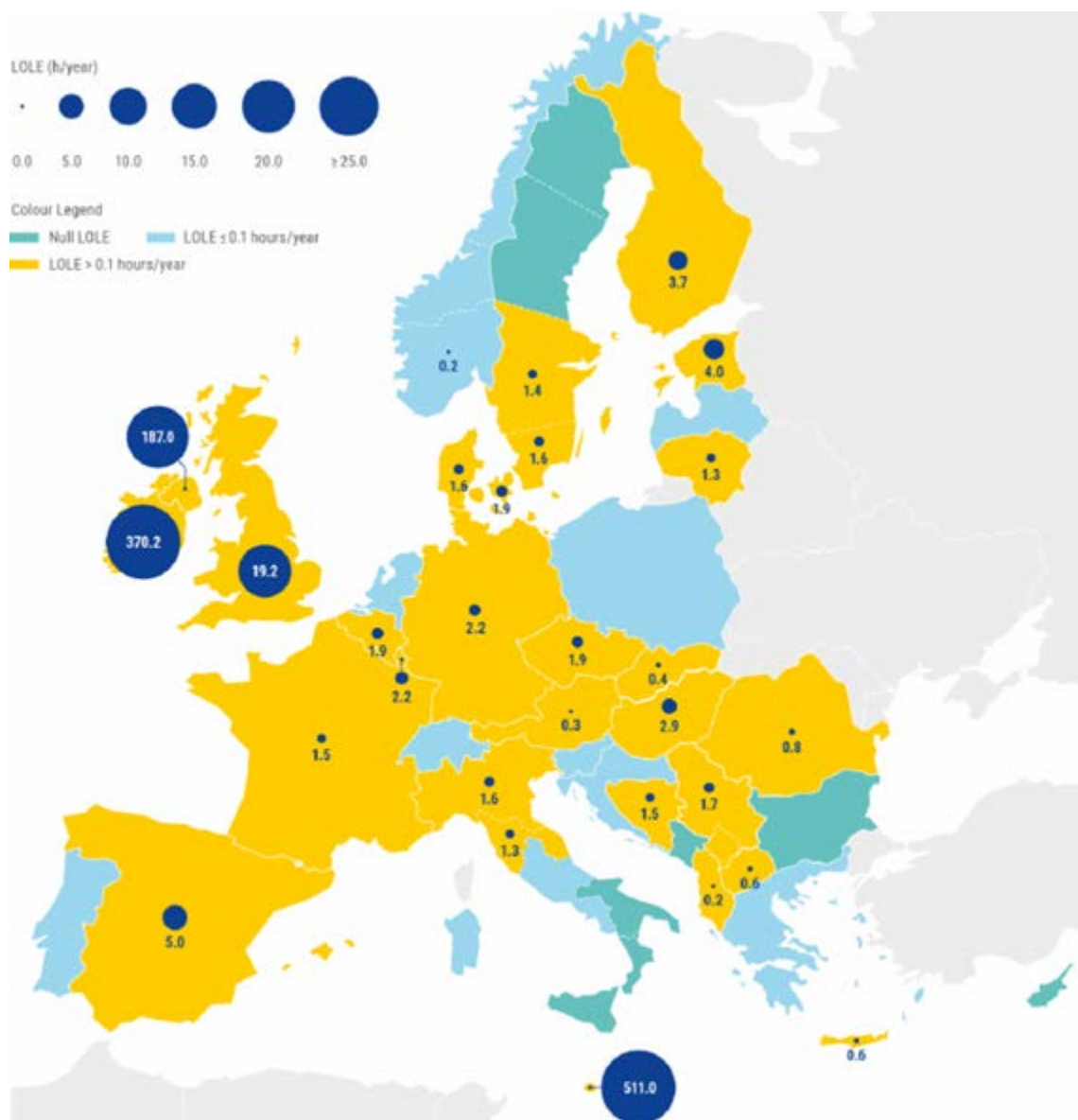
Zdroj: stengl a.s.

Energetický mix Slovenska predstavuje prevažne stabilnú kombináciu jadrovej a vodnej energie, pričom sú doplnené plynovými a obnoviteľnými zdrojmi energie. Využitie fosílnych palív na Slovensku sa utlmuje, čo je v súlade s dlhodobými plánmi dekarbonizácie.

Jedným z kľúčových ukazovateľov spoľahlivosti energetického systému je LOLE (Loss of Load Expectation), ktorý vyjadruje očakávanú stratu zaťaženia v elektrickej sieti. Na Slovensku je hodnota LOLE nižšia ako v mnohých iných krajinách EÚ, čo je výsledkom spoľahlivého jadrového základu a diverzifikovanej vodnej energie. Naopak, v štátoch s vyšším podielom solárnej a veternej energie, ako sú Nemecko alebo Španielsko, sú hodnoty LOLE vyššie, čo si vyžaduje častejšie využívanie záložných energetických systémov⁶².

⁶² Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023

Pre udržanie nízkej hodnoty LOLE v budúcnosti bude nevyhnutné investovať do vyváženého mixu technológií na riadenie odberu a uskladnenie energie, ktoré poskytnú flexibilitu pri vyvažovaní sústavy, najmä v prípade nárastu podielu obnoviteľných zdrojov. Batériové úložiská a moderné riadiace systémy budú kľúčové pre zabezpečenie spoľahlivosti elektrizačnej sústavy na Slovensku. Týmto spôsobom si krajina môže udržať nízku hodnotu LOLE a súčasne sa orientovať na udržateľnejšiu a nízkouhlíkovú budúcnosť.



Obrázok 27: Hodnoty LOLE (h/rok) pre stredný referenčný scenár ENTSO-E

Zdroj: Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023

4.2.2 Výroba vodíka z fosílnych palív

Aktuálne väčšina vyrobeného vodíka v SR pre priemyselné využitie pochádza z fosílnych palív. Jeho najväčší producent Slovnaft, a.s. využíva zemný plyn a ropu, Duslo, a.s. celý objem vodíka získava zo zemného plynu prostredníctvom parnej reformácie. Obaja hlavní aktéri

vyrobený vodík používajú primárne na vlastnú spotrebu (výroba NH₃ a hnojív, chemické procesy v rafinérii ako napr. hydrogenácia uhl'ovodíkov, hydrokrakovanie alebo odstraňovanie nečistôt).

Výroba vodíka zo zemného plynu je najrozšírenejšia a predstavuje okolo 61 % súčasnej globálnej výroby vodíka⁶³.

Existujú aj ďalšie metódy iné metódy výroby vodíka z fosílnych palív, napr. čiastočná oxidácia uhl'ovodíkov, autotermálna reformácia a pyrolýza metánu a splyňovanie uhlia.

Výroba vodíka z fosílnych palív bez zachytávania CO₂ nespĺňa požiadavky EÚ pre nízkouhlíkový vodík. Detailné podmienky úspor skleníkových plynov pri výrobe nízkouhlíkového vodíka zo zemného bude definovať pripravované Delegované nariadenie ktorým sa doplní smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1788 o určenie metodiky posudzovania úspor emisií skleníkových plynov z nízkouhlíkových palív. Výroba vodíka s technológiami zachytávania CO₂ sprostredkujú prechod na ekonomiu založenú na obnoviteľnom vodíku.

Bližšie technické informácie ohľadom výroby vodíka z fosílnych palív sú v kapitole 4.4.2 - Výroba vodíka z fosílnych palív so zachytávaním a ukladaním uhlíka.

4.2.3 Atómová energia

Slovensko sa v energetickej stratégii dlhodobo spolieha na atómovú energiu. Päť blokov AE Mochovce a Jaslovské Bohunice budovaných postupne od roku 1958 dodali v roku 2024 do prenosovej sústavy 60,75 % elektrickej energie zo všetkých domácich zdrojov. Ďalší blok sa má spustiť v roku 2025. Najstaršie bloky v Jaslovských Bohuniciach sú vo vyrad'ovacej fáze (EBO A1 a EBO V1).

V rokoch 2023 – 2024 ročne vyprodukovali okolo 18 300 GWh⁶⁴. V roku 2026 by malo mať Slovensko inštalovaný výkon aktívnych blokov okolo 3 GW a ich produkcia vzrastie.

Prehľad aktívnych a plánovaných blokov jadrových elektrární v SR je v nasledujúcej tabuľke. Kurzívou sú vyznačené plánované a ešte do prevádzky neuvedené kapacity.

Elektrárň	Stav	Hrubý výkon
		[MW]
Jaslovské Bohunice V2 3. blok	Reaktor VVER-440/213, v prevádzke od 1984, modernizovaný. Postupné vyrad'ovanie v rokoch 2044 – 2045.	500

⁶³ International Energy Agency: Global Hydrogen Review 2024

⁶⁴ MH SR, Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023; Ročná správa o prevádzke a bezpečnosti AE Mochovce a Bohunice za rok 2024 (Slovenské elektrárne, 2025)

Jaslovské Bohunice V2 4. blok	Reaktor VVER-440/213, v prevádzke od 1985, modernizovaný. Očakáva sa postupné vyradovanie v rokoch 2044 – 2045.	500
Jaslovské Bohunice V3	Plánované.	1 200
<i>Nová generácie tlakovodných reaktorov. Projekt je v štádiu príprav a posudzovania. Vyhlásenie medzinárodného tendra na výstavbu v roku 2027. Predpokladaný začiatok výstavby v roku 2032 a. očakávané spustenie prvého bloku do skúšobnej prevádzky po roku 2039.⁶⁵</i>		
Mochovce 1	Reaktor VVER-440/213, v prevádzke od 1998.	500
Mochovce 2	Reaktor VVER-440/213, v prevádzke od 1999	500
Mochovce 3	Reaktor VVER-440/213, v prevádzke od 2023.	471
Mochovce 4	Reaktor VVER-440/213, plánované spustenie 2026.	471
Spolu		2 942

Tabuľka 20: Prehľad atómových elektrární v SR

Zdroj: Posúdenie primeranosti zdrojov ES SR za rok 2023, vlastný prieskum

Za predpokladu, že na výrobu vodíka by sa spotrebovalo 5% vyrobenej elektriny v atómových elektrárnach, čo predstavuje okolo 1 080 GWh ročne a pri účinnosti elektrolyzéra 58 kWh/kg, bolo by možné vyrobiť 18 600 t vodíka ročne.

EK začína pripravovať zhodnotenie, či jadrová energia v EÚ pre výrobu vodíka sa bude považovať aspoň za oprávnený zdroj pri výrobe nízkoemisného vodíka. Keďže nespĺňa podmienku pre výrobu RFNBO.

Pri výrobe nízkouhlíkového vodíka je potrebné dodržiavať pravidlá o nízkej uhlíkovej intenzite vyprodukovaného vodíka, ktorý musí zabezpečovať zníženie uhlíkového zaťaženia o 70 % oproti porovnateľným fosílnym palivám⁶⁶.

Spotreba jadrového paliva na Slovensku sa odvíja od počtu a typu prevádzkovaných reaktorov. Jeden reaktor typu VVER-440 v EMO spotrebuje 7 – 9 t jadrového paliva ročne.⁶⁷

4.2.3.1 Zdroj jadrového paliva

Jadrové palivo na báze uránu dovážalo Slovensko, ako aj ďalšie krajiny EÚ najmä z Ruska⁶⁸. V posledných rokoch boli navrhnuté opatrenia diverzifikácie dodávateľského reťazca v oblasti jadrovej energetiky. Ich cieľom je zabezpečiť flexibilitu a dlhodobé dodávky jadrových materiálov, paliva, náhradných dielov a služieb pre bloky VVER-440, ako aj pre nové jadrové bloky, ktoré sú vo výstavbe, a pre plánované a dlhodobé nakladanie s jadrovým odpadom. Ich výsledkom má byť zníženie závislosti na Rusku a na importoch jadrového paliva spolupracuje

⁶⁵ JESS. (<https://www.jess.sk/projekt-novy-jadrový-zdroj/studia-realizovateľnosti/casový-plan>)

⁶⁶ SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2023/2413

⁶⁷ <https://www.seas.sk/o-nas/bezpečnosť/jadrova-bezpečnosť/jadrový-palivový-cyklus/>

⁶⁸ Ruská spoločnosť TVEL/AEP má viaceré závody, jeden napr. v Petrohrade.

SR už s americko-kanadským partnerom a francúzskym partnerom (Westlinghouse a Framatome).

Jadrové palivo sa podľa potreby na Slovensko prepravuje letecky alebo cestnou dopravou. Aktuálne prebiehajú úvahy o vývoji spoločného jadrového paliva v spolupráci so susednými krajinami. Potenciál majú aj domáce zásoby uránu, napríklad v lokalite Jahodná pri Košiciach. So samotnou ťažbou uránových rúd existujú historické skúsenosti z viacerých lokalít v oblastiach Spiša a Gemera.

4.2.4 Obnoviteľné zdroje energie nebiologického pôvodu

Táto časť sa venuje nebiologickým OZE, najmä veternej, solárnej a vodnej elektrickej energii.

Energia z obnoviteľných zdrojov (OZE) predstavuje významnú súčasť súčasného aj budúceho energetického mixu EÚ a je zároveň nevyhnutná pre výrobu obnoviteľného vodíka.

Pôvodným cieľom Slovenska bolo, aby OZE pokrývali do roku 2030 celkovo 19,2 % spotreby energie v sektoroch elektroenergetiky, vykurovania a dopravy. Tento cieľ bol neskôr navrhnutý na zvýšenie na 23 %, pričom Európska komisia vo svojom hodnotení odporučila až 35 %. V schválenej aktualizácii Národného energetického a klimatického plánu (NEKP) Slovensko napokon prijalo cieľ vo výške 25 %.

Vo februári 2023 EK predstavila kritériá, kedy by sa mal vodík v EÚ považovať za ekologický. Nová definícia ovplyvní celý právny rámec EÚ pre vodík, ktorý zahŕňa pravidlá o investíciách do energetickej infraštruktúry a štátnej pomoci. Cieľom Komisie je vytvoriť právnu istotu pre investorov s jasnými kritériami a certifikačným systémom, aby sa splnili ambiciózne ciele Európskej zelenej dohody a plánu REPowerEU.

Veterná energia, fotovoltická energia a vodná energia sú závislé na počasí od ktorého sa odvíja ich priebežný výkon a sezónne výkyvy vo výrobe elektrickej energie. Všetky zdroje sú obnoviteľné bez uhlíkových emisií počas ich prevádzky.

Uvedené druhy OZE dosahujú odlišné kapacitné faktory, ktoré sú definované ako pomer skutočne vyrobenej elektrickej energie k maximálnemu teoretickému množstvu energie, ktoré by elektrárne vyprodukovala, ak by nepretržite pracovala na plný výkon počas celého roka.

V nižšie uvedenej tabuľke sú základné charakteristiky typických solárnych, veterných a vodných elektrární, pričom ich skutočný prínos a efektívnosť vždy závisia aj od konkrétnych miestnych podmienok, dostupnosti zdrojov či regulačného prostredia.

	Solárne elektrárne	Veterné elektrárne	Vodné elektrárne
Typická cena (CAPEX eur/kW)	400 – 1 000	900 – 1 600	1 500 – 4 000
Kapacitný faktor (%)	10 – 15 % (na území SR)	25 – 40 %	30 – 60 %

Životnosť (roky)	25 – 30	20 – 25	30 – 50 (životnosť môže byť predĺžená modernizáciou)
Prevádzkové náklady (OPEX)	približne 1–2 % CAPEX ročne	2–3 % CAPEX ročne	Okolo 1 % CAPEX ročne
Výhody	Jednoduchá inštalácia, vhodné pre decentralizované lokality	Stabilnejšie výnosy v oblastiach s dobrými veternými podmienkami	Stabilná a dlhodobá výroba energie, ideálne pre veľké objemy, dlhá životnosť (50+ rokov)
Nevýhody	Závislosť na slnečnom svite, nižší kapacitný faktor	Vyžaduje dobré veterné podmienky, vizuálny efekt	Vyššie investičné náklady, závislosť na prietokových pomeroch a vodnatosti územia

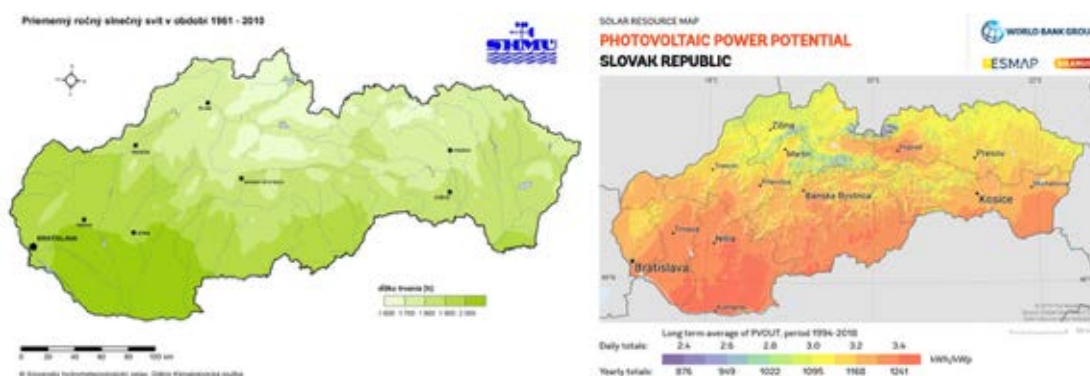
Tabuľka 21: Porovnanie základných charakteristík solárnych, veterných a vodných elektrární

Zdroj: stengl a.s.⁶⁹

4.2.4.1 Solárna energia

Podiel solárnej energie na výrobe elektriny na Slovensku dosiahol v roku 2023 približne 2,21 %, pričom do roku 2030 by sa podiel mohol zvýšiť na 5 – 10 %.

Najlepšie podmienky pre využívanie solárnej energie majú južné oblasti územia SR, ktoré zaznamenávajú 1900 a viac hodín slnečného svitu ročne. Dlhé trvanie slnečného svitu zaznamenávajú aj vrcholové polohy vysokých horských masívov (východná časť Vysokých Tatier). Názorne to prezentujú nasledujúce obrázky - mapa trvania priemerného slnečného svitu a mapa fotovoltického potenciálu Slovenska.



Obrázok 28: Priemerný ročný slnečný svit 1961 – 2010 a fotovoltický potenciál Slovenska 2019

Zdroj: SHMÚ (2015), Klimatické pomery Slovenskej republiky, World Bank (2019)

Z južných regiónov majú najlepšie podmienky na výrobu solárnej energie v Podunajskej nížine a dolnom Považí s viac ako 2 000 hodín slnečného svitu v roku. Nížiny a kotliny južného

⁶⁹ Zdroj: IRENA. (2024). Renewable Power Generation Costs 2023; International Energy Agency. (2024). World Energy Outlook 2023; European Environment Agency (2020). Renewable Energy in Europe 2020

Slovenska s juhom Východoslovenskej nížiny dosahujú viac ako 1900 h/rok. Súčasný pomery umožňujú budovať solárne elektrárne aj na severe krajiny.

Parameter	Rozsah	Jednotka
Fotovoltaický energetický potenciál (PVOU)	956 – 1 248	kWh/kWp ročne
Globálna naklonená insolácia (GTI)	1 120 – 1 500	kWh/m ² ročne
Optimálny sklon FV (OPTA)	36 – 40	°
Priemerná ročná teplota	2,0 – 11,7	°C
Prevýšenie terénu	94 – 2655	m

Tabuľka 22: Vybrané údaje k fotovoltaickému potenciálu Slovenska

Zdroj: Worldbank, Global Solar Atlas (2019)

Fotovoltaický energetický potenciál vyšší ako 1240 kWh/kWp má 7,5 % územia, viac ako polovica územia ho má v rozmedzí 1150 - 1240 kWh/kWp a takmer tretina územia v rozmedzí 1095 - 1150 kWh/kWp.⁷⁰

Výhodou solárnej energetiky v podmienkach Slovenska je rýchlosť jej výstavby, klesajúce investičné náklady, efektívnosť investícií v závislosti od vývoja cien elektrickej energie, miery spotreby energie na mieste, vývoja cien emisných povoleniek a legislatívnych zmien.

Nevýhodou solárnej energie v podmienkach Slovenska je nízky kapacitný faktor a výkyvy výkonu kvôli zmenám počasia (napr. oblačnosť, zrážková činnosť), zmeny v trvaní dňa a noci naprieč ročnými obdobiami. Efektívne využitie solárnej energie bude závisieť od rozšírenia a modernizácie distribučných sietí umožňujúcich pripojenie väčšieho množstva solárnych elektrární. Ak sa nebudujú v rámci brownfieldov, striech, alebo už zastavaných a spevnených plôch, predstavuje každá nová výstavba solárnych elektrární výrazný záber pôdy, preto by mala byť prioritou budovania fotovoltaických elektrární na nevyužívaných alebo hospodársky a priemyselne narušených plochách alebo na pôdach s nízkou a veľmi nízkou bonitou. Riešením sa javí aj agrifotovoltaika, kde sa územie súčasne využíva na výrobu energie aj na poľnohospodársku činnosť.

Veľkokapacitná solárna elektráreň predstavuje jeden z najlacnejších zdrojov energie (LCOE na úrovni okolo 25 – 90 EUR/MWh⁷¹). V slovenských podmienkach by sa pri menších projektoch (1 – 5 MWp) dala očakávať cena LCOE nad 60 – 80 EUR/MWh, zatiaľ čo veľké projekty (okolo 100 MW) by mohli dosiahnuť LCOE okolo 30 – 40 EUR/MWh.

Na Slovensku bolo ku koncu roka 2024 inštalovaných 1114 MW fotovoltaických elektrární z čoho 53% (t.j. 590 MW) tvoria utility scale projekty (projekty s inštalovaným výkonom viac ako 1 MW) a 47% tvoria projekty určené na pokrytie vlastnej spotreby (tzv. Lokálny zdroj) a inštalácie v domácnostiach⁷². Na druhej strane klesajúce investičné náklady solárnej energie,

⁷⁰ <https://globalsolaratlas.info/detail?c=48.683708,19.714966,7&r=SVK>

⁷¹ LAZARD (2024), Levelized Cost of Energy+

⁷² Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu a OZE

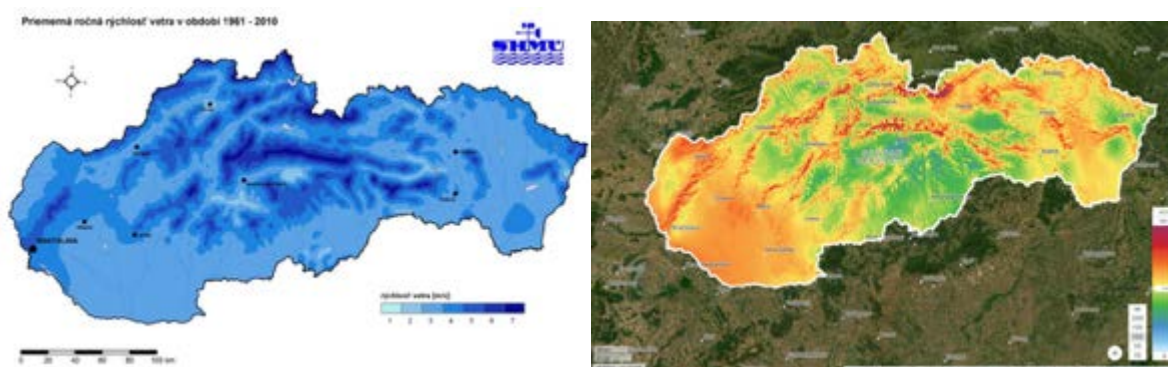
znižovanie investičných nákladov zariadení na uskladňovanie energie (BSS) a zavádzanie nových technológií a prístupov pri budovaní a prevádzke FVE projektov (natáčacie systémy, prediktívne riadenie výroby) vytvárajú ideálne prostredie pre rozvoj nových projektov, pričom zmierňujú hlavnú nevýhodu fotovoltaickej technológie a to nestabilná výroba elektrickej energie

Výroba vodíka zo solárnej energie by predstavovala príležitosť na vyrovnanie dodávky a uskladnenia nepravidelne vyrábanej energie.

4.2.4.2 Veterná energia

Podiel veternej energie na výrobe elektriny na Slovensku je v roku 2023 zanedbateľný, pričom do roku 2030 by sa výkon veterných elektrární na Slovensku mohol zvýšiť na 750 MW s výrobou 1 500 GWh energie ročne⁷³. Veterné elektrárne sú v súčasnosti na Slovensku raritné (Veterný park Cerová a Ostrý vrch, spolu v prevádzke menej ako 3 MW) aj napriek tomu, že bolo ohlásených viacero projektov veterných elektrární vo rôznych regiónoch.

Najlepšie podmienky pre využívanie veternej energie sú na horských hrebeňoch, v podhorí a v nížinných oblastiach západného Slovenska⁷⁴. Teoretický technický potenciál veternej energie na Slovensku je približne na úrovni 168 000 MW výkonu (420 TWh/rok)⁷⁵ avšak ten nereprezentuje uskutočniteľnosť projektov vzhľadom k obmedzeniam a zákonným limitom, ktoré musia byť pri príprave, výstavbe a prevádzke veterných elektrární dodržané (odstup od obývaných oblastí, chránené územia, atď).



Obrázok 29: Priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške 10 m a 100 m nad povrchom

Zdroj: SHMÚ (2015), Klimatické pomery Slovenskej republiky, World Bank - Global Wind Atlas (výška 10 m vľavo)

Výhodou veternej energie v podmienkach Slovenska je vyšší kapacitný faktor v ideálnych polohách, menšie výkyvy, kombinovateľnosť s inými obnoviteľnými zdrojmi elektrickej

⁷³ Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky (MH SR): Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030, marec 2025, (<https://www.mhsr.sk/energetika/integrovaný-národný-energetický-a-klimatický-plán-na-roky-2021-2030/navrh-aktualizacie-integrovaného-národného-energetického-a-klimatického-plánu-na-roky-2021-2030>)

⁷⁴ Údaje za 10 % najveternejšieho oblastí: 387 W/m²; 6.45 m/s; výška 100 m ; 6,0 m/s; výška 60 m

⁷⁵ Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu a OZE - Štúdia rozvoja veternej energetiky na Slovensku bariéry a odporúčania

energie a výrobou vodíka na zachytávanie a uskladňovanie energie, možnosť inštalácie v blízkosti spotreby a menší záber poľnohospodárskej pôdy.

Nevýhodou veternej energie v podmienkach Slovenska je, že budovanie veterných parkov sa zatiaľ stretáva s chýbajúcou politickou podporou a akceptovaním verejnosťou. Sú tu aj vyššie investičné náklady, nevyriešené legislatívne prekážky, dlhé povoľovacie procesy a nastavenie regulačného prostredia (poplatok za prístup do sústavy tzv. G-komponentu), a aj negatívne vplyvy na vizuálny ráz krajiny.

Pri zohľadnení celého životného cyklu energetických zdrojov, sú veterné elektrárne jedným z najlacnejších spôsobov výroby elektrickej energie. V kombinácii s viacerými zdrojmi OZE ako napr. solárnou energiou, sa môžu využiť na zmiernenie nerovnomernej výroby, ako aj sezónnych rozdielov vo výrobe elektrickej energie a zvýšenie stability výroby elektrickej energie. LCOE veternej energie sa pohybuje na úrovni 25 – 70 eur/MWh⁷⁶.

4.2.4.3 Vodná energia

Podiel vodnej energie na výrobe elektriny na Slovensku dosiahol v roku 2023 17,1 % a vodné elektrárne tvoria významnú súčasť energetického mixu. Najlepšie podmienky pre využívanie vodnej energie sú na väčších a veľkých vodných tokoch. Veľké vodné elektrárne sú lokalizované pri veľkých akumuláčnych nádržiach, ktoré okrem energetickej funkcie slúžia aj pre vodohospodárske účely hlavne ako protipovodňová ochrana alebo prehradzujú tok rieky a tým využívajú hydroenergetický potenciál vodného toku. Výroba elektriny je jednou z funkcií takýchto stavieb, pričom výroba a dodávka elektriny je regulovateľná. Stále však závisí od množstva vody v nádrži resp. v rieke. Osobitnou kategóriou vodných elektrární sú prečerpávacie vodné elektrárne, ktoré na princípe akumulácie vody v hornej a spodnej nádrži vytvárajú zásobu vody, ktorá prioritne slúži buď na výrobu elektriny v čase jej nedostatku v sieti a riešenie nerovnomernosti spotreby a dodávok elektrickej energie počas dňa.

Nasledujúca tabuľka predstavuje prehľad využitia hydroenergetického potenciálu podľa hlavných povodí Slovenska.

Povodie	Technicky využiteľný HEP [GWh]	Využitý HEP [GWh]	Miera využitia [%]
Dunaj	2 511 - 2 540	1 520	59,8
Váh a Malý Dunaj	2985 - 3 156	2 042	64,7
Hron	427 - 558	111	19,9
Bodrog a Hornád	354 - 400	126	35,6
Spolu	6 608	3 799	57,5

Tabuľka 23: Hydroenergetický potenciál povodí Slovenska

Zdroj: Konceptie využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR (VÚVH/MŽP SR, aktualizácia 2015)

⁷⁶ LAZARD (2024), Levelized Cost of Energy+

Slovensko má 24 veľkých vodných elektrární (VVE), z nich najväčšia je VE Gabčíkovo (720 MW). Jej ročná produkcia zabezpečuje asi polovicu výroby elektriny vodnými elektrárnami na Slovensku (2 200 GWh). Okrem nich je na slovenských vodných tokoch takmer 230 malých vodných elektrární.

Typ vodných elektrární	Inštalovaný výkon [MWe]	Výroba [GWh/rok]
Veľké vodné elektrárne (nad 10 MW)	1 531	4 195
Prečerpávacie elektrárne	916	450
Malé vodné elektrárne (do 10 MW)		
<i>využívané</i>	70,16	284,31
<i>nevyužívané</i>	3,47	11,88
Celkom	2 542	

Tabuľka 24: Hydroenergetický potenciál elektrární v SR

Zdroj: Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky (MH SR): Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030 (aktualizácia), Koncepcie využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR (VÚVH/MŽP SR, aktualizácia 2015), Atlas OZE, vlastný prieskum

Výhodou vodnej energie v podmienkach Slovenska je, že predstavujú stabilný zdroj elektrickej energie s vyšším kapacitným faktorom ako má solárna alebo veterná energia (MVE dosahujú kapacitný faktor 45 – 65 %, veľké vodné elektrárne dosahujú kapacitný faktor 40 – 65 %.), dlhá životnosť (50+ rokov) s malými investičnými nákladmi potrebnými pre predĺženie životnosti a výroba elektriny s nulovými emisiami.

Nevýhodou vodnej energie v podmienkach Slovenska je finančne a časovo náročná výstavba s nutnosťou úpravy väčšieho územia, závislosť na prietoku vody a vodnatosti územia, vplyvy na riečny ekosystém, obmedzený potenciál budovania nových zdrojov a dlhá návratnosť v štandardných podmienkach.

Existujúce vodné elektrárne ako napr. vodná elektráreň Gabčíkovo alebo vodné elektrárne na Váhu môžu byť využívané na výrobu obnoviteľného vodíka v súlade s európskou legislatívou, ale len za podmienky, že bude výroba vodíka spustená pred 01.01.2028⁷⁷. V takomto prípade môžu byť elektrolyzéry napájané vodnými elektrárnami využívané na výrobu obnoviteľného vodíka do roku 2038.

Nové alebo modernizované elektrárne (so zvýšeným výkonom) môžu byť využívané na výrobu vodíka aj po 01.01.2028 za predpokladu že spĺňajú všetky podmienky vrátane podmienky doplnkovosti stanovenej v delegovanom nariadení EÚ 2023/1184.

⁷⁷ DELEGOVANÉ NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky Únie, ktorou sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu (článok 11)

4.2.4.4 Geotermálna energia

Geotermálna energia je považovaná za obnoviteľný a nízkouhlíkový zdroj energie vhodný na výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka alebo RFNBO palív. Na Slovensku ide o perspektívny, avšak zatiaľ nedostatočne využívaný zdroj obnoviteľnej energie.

Potenciál geotermálnej energie na Slovensku

Slovensko má vzhľadom na svoju geologickú stavbu stredný geotermálny potenciál, pričom väčšina zdrojov geotermálnej energie v hĺbke do 4 000 metrov dosahuje teplotu 150°C⁷⁸. Táto energia sa primárne využíva na vykurovanie a v termálnych kúpeľoch, pričom najväčšie sústredenie týchto aktivít je v južnej časti krajiny. Geotermálne vrty môžu byť zdrojom termálnej alebo elektrickej energie. Existujú rôzne technológie na premenu termálnej energie na elektrickú. V kontexte geotermálnej energie na území SR sú technológie na výrobu elektrickej energie ako organický Rankinov cyklus vhodné pri zdrojoch geotermálnej energie so strednou a nižšou teplotou. Pri vyšších teplotách je možné použiť tzv. fázovú premenu alebo kombinované systémy. Na dosiahnutie vyšších teplôt je však potrebné prieskum potenciálnych polôh s vyššou teplotou v hĺbkach do 5 000 metrov alebo je nutné vytvoriť vrty s väčšou hĺbkou ktoré môžu byť technologicky a finančne náročnejšie avšak stále realizovateľné⁷⁹. Podobné projekty už existujú aj v rámci EÚ a ďalšie sú v realizačnej fáze.

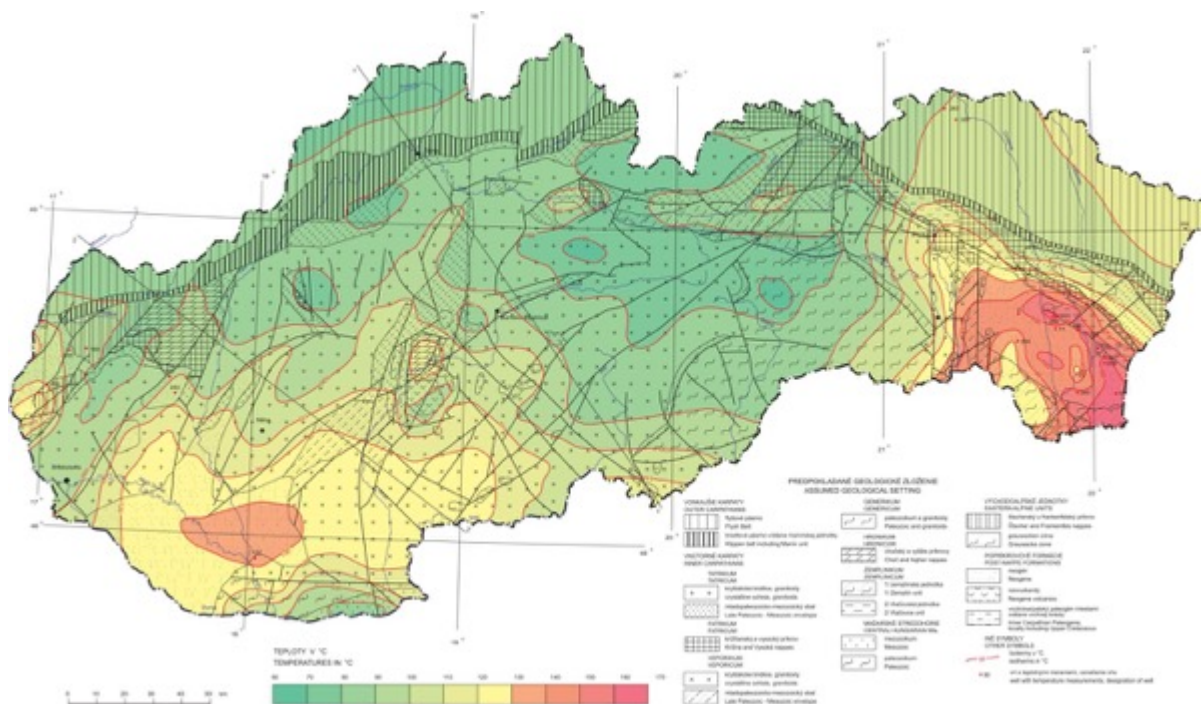
Napriek tomu, že Slovensko má značné geotermálne zdroje, geotermálna energia prispieva iba približne 2 % k výrobe tepla v rámci krajiny⁸⁰. Aktuálne funguje len niekoľko geotermálnych vrtov pre systémy diaľkového vykurovania, ako napr. v Seredi, Šali, Galante a Veľkom Mederi. V týchto lokalitách sa využíva geotermálna voda s teplotou okolo 93 °C, ktorá je použitá na vykurovanie bytov a verejných budov⁸¹.

⁷⁸ Fričovský, B., Černák, R., Marcin, D., Blanárová, V., Benková, K., Pelech, O., & Fendek, M. (2019). *Geothermal Energy Use – Country Update for Slovakia*. In Proceedings of the European Geothermal Congress 2019 (EGC 2019). Geologický ústav Dionýza Štúra.

⁷⁹ Ciucci, M. (2023). Innovative Technologies in the Development of Geothermal Energy in Europe (Briefing PE 754.200). Generálne riaditeľstvo pre vnútornú politiku, Európska komisia.

⁸⁰ Slovenská inovačná a energetická agentúra. (2021). *Geotermálna energia*, https://www.siea.sk/wp-content/uploads/odborne_o_energii/Dokumenty/Geotermalna-energia.pdf

⁸¹ Slovenská inovačná a energetická agentúra. (2021). *Geotermálna energia*, https://www.siea.sk/wp-content/uploads/odborne_o_energii/Dokumenty/Geotermalna-energia.pdf



Obrázok 30: Geotermálna mapa SR - 3000 m pod povrchom

Zdroj: Geologický ústav Dionýza Štúra, <https://app.geology.sk/atlasge/>

Výroba vodíka z geotermálnej energie

Výhodou geotermálnej energie je jej stabilný prísun geotermálnej energie, čím je možné dosiahnuť veľmi vysoký kapacitný faktor na úrovni 85 – 95 %, čo by umožňovalo vysoké využitie elektrolyzérů na výrobu vodíka. Geotermálna energia je vhodná ako zdroj základnej energie pre elektrickú sieť, ktorý má ale zároveň mierne dobrú reakčnú dobu na úrovni niekoľkých minút⁸². Nevýhodou geotermálnych elektrární sú vysoké investičné náklady a vyššie ceny energie (LCOE) v porovnaní s inými obnoviteľnými zdrojmi ako napr. solárne alebo veterné elektrárne alebo vodné elektrárne. LCOE geotermálnej energie sa pohybuje medzi 60 – 100 EUR/MWh⁸³ v ideálnych polohách ale v podmienkach SR sa dajú očakávať ceny nad 100 EUR/MWh so súčasnými technológiami. Geotermálna energia na Slovensku je hlavne vhodná na výrobu tepla pre vykurovanie, kde výroba elektriny môže byť len doplnok v špecifických prípadoch. Celkový potenciál výroby elektriny v geotermálnych elektrárnach na Slovensku je odhadovaný približne 30 MW (0,230 TWh).

Geotermálne elektrárne by tiež boli ideálne v kombinácii s elektrolyzérmi SOEC (na báze tuhých oxidov) ktoré môžu využívať aj tepelnú energiu a tým zvyšovať svoju účinnosť. Elektrolyzéry SEOC sú najefektívnejšie druhy elektrolyzérů (v porovnaní s PEM a ALK), ktoré operujú pri vysokých teplotách väčšinou nad 500 °C.

Budúci technologický vývoj a realizácia projektov vo väčšej škále desiatok MW môže prispieť k významnému zníženiu cien geotermálnej energie a zníženiu prevádzkovej teploty SOEC

⁸² National Renewable Energy Laboratory (2022), Geothermal Energy and Resilience in Arctic Countries

⁸³ LAZARD (2024), Levelized Cost of Energy+

pod 400 °C a v takom prípade by geotermálna energia mohla zohrávať významnú úlohu pri výrobe vodíka. S ohľadom na čas potrebný na realizáciu geotermálnych projektov a súčasný vývoj projektov na Slovensku však takýto vývoj nie je pravdepodobný pred rokom 2027.

4.2.5 Výroba vodíka z odpadu a biomasy

Popri výrobe vodíka parným reformingom (s alebo bez CCS) a výrobe vodíka z obnoviteľných zdrojov pomocou elektrolýzy, predstavuje výroba vodíka z komunálneho odpadu a biomasy ďalšie riešenie, ktoré môže byť v správnych podmienkach ekologické a ekonomické. Neočakáva sa, že využitie odpadu na výrobu vodíka sa stane hlavným spôsobom jeho produkcie do roku 2030, ale môže slúžiť ako vhodný doplnok, predovšetkým na lokálnej alebo regionálnej úrovni.

Odpad je jedným z kľúčových ekologických problémov, ale využíva sa už aj ako dôležitá surovina. Spracovaním odpadu je možné vyrobiť na lokálnej úrovni nezanedbateľné množstvo elektriny a tepla. Takto vyrobenú energiu je možné použiť ako zdroj pre elektrolýzu, s cieľom vyrobiť vodík. Alternatívny a priamy spôsob výroby vodíka z odpadu ponúkajú uzavreté termochemické alebo biochemické technológie bez prístupu vzduchu.

Výhody výroby vodíka z odpadu a biomasy

Produkcia vodíka z nerecyklovateľného odpadu prináša popri samotnom spracovaní tuhého komunálneho odpadu (TKO) aj jeho využitie s viacerými výhodami:

- Lokálna výroba vodíka a jeho využitie na pohon väčších vozidiel používaných municipalitami/samosprávami ako napr. autobusy a/alebo smetiarske vozy.
- Odstránenie alebo aspoň redukcia nákladov na prepravu vodíka, ktorý je spotrebovaný na mieste alebo blízko miesta jeho produkcie.
- Príjmy z predaja vedľajších produktov procesu (kovy, chemikálie a pod.) a tepla použiteľného na vykurovanie alebo ohrev vody.
- Podpora rastu zamestnanosti a podnikania na lokálnej úrovni.
- Náklady na výrobu vodíka z odpadu sú 1.5 - 4.0 EUR/kg⁸⁴ (v závislosti od nákladov na suroviny), čo je nižšie ako pri porovnateľne čistej výrobe s použitím obnoviteľných energií nebiologického pôvodu – minimálne 2.0 - 7.0 EUR/kg⁸⁵ (výrobná cena pri výstupe z elektrolýzy, na Slovensku sa minimálne náklady pohybujú pri hornej hranici).
- Uskladnený vodík znižuje lokálne náklady na dopravu a/alebo energie a zároveň prispieva k stabilite energetického systému.

Všetky tieto prínosy na lokálnej úrovni umožňujú vytváranie súkromných a verejných partnerstiev a ekosystémov. Môžu sa tak kombinovať spoločnosti podnikajúce v oblasti

⁸⁴ Unlocking New Possibilities, Waste-to-hydrogen as an energy source for fuel cell vehicles (str. 20) – Quantron AG & Partners

⁸⁵ Unlocking New Possibilities, Waste-to-hydrogen as an energy source for fuel cell vehicles (str. 20) – Quantron AG & Partners

spracovania odpadov, výroby energie, dopravy, ale aj v ďalších relevantných sektoroch. Tieto lokálne ekosystémy môžu vhodne doplniť rozsiahlejšie vodíkové údolia.

Hierarchia odpadového hospodárstva

Hierarchia odpadového hospodárstva stanovuje priority pre odpad od jeho predchádzania až po skládkovanie. Akékoľvek zhodnocovanie odpadu je odsunuté až za jeho recykláciu. Na Slovensku sa stále skládkuje takmer polovica komunálneho odpadu aj keď požiadavka EÚ je aby do roku 2035 končilo na skládkach najviac 10 % odpadu.

Daná hierarchia je obecným rámcom pre všetky odpady, ale pre konkrétne látky, lokality a podmienky je potrebné vždy zvážiť špecifické podmienky. Napríklad recyklácia niektorých látok nemusí byť efektívnejším riešením ako ich zhodnotenie na výrobu vodíka – ekonomicky, energeticky a ani ekologicky.



Obrázok 31: Hierarchia odpadového hospodárstva

Zdroj: <https://www.enviroportal.sk/odpady/problematika-odpadoveho-hospodarstva>

Skládkovaním odpadu vzniká CH_4 s 25-krát silnejším skleníkovým efektom ako CO_2 . Najväčším producentom CH_4 na Slovensku sú práve rozsiahle skládky odpadu. Na Slovensku pracujú zariadenia na energetické zhodnocovanie odpadov v Bratislave (OLO) a v Košiciach (KOSIT). Využitie odpadu na výrobu energie je výhodné kombinovať s jeho zhodnotením pri produkcii vodíka.

Potenciál výroby vodíka z odpadu a biomasy na Slovensku

Potenciál výroby vodíka z nerecyklovateľného komunálneho odpadu, hlavne z plastov⁸⁶ a z biologicky rozložiteľného odpadu⁸⁷, ktorého v roku 2023 bolo celkom 500 tis. t⁸⁸), môže byť až vyše 20 tis. t ročne. Odpad využitý na výrobu vodíka zákonite zníži potrebu skládkovania, spaľovania alebo upravovania odpadu iným spôsobom. Výroba vodíka z odpadu tak prispieva k dekarbonizácii a zároveň aplikuje cirkulárnu ekonomiku na lokálnej aj regionálnej úrovni.

Na vyššiu vstupnú investíciu je možné využívať rôzne druhy štátnej a/alebo EÚ podpory, ale prevádzkové náklady sú už minimalizované nízkou, alebo až nulovou cenou vstupnej suroviny, t. j. odpadu. Takáto výroba môže byť vybudovaná prakticky kdekoľvek, bez závislosti na dostupnosti OZE alebo vody.

Projekty v oblasti výroba vodíka z odpadu a biomasy

Žiadny z projektov predložených v tejto oblasti na financovanie nebol na Slovensku zatiaľ úspešný. Typickým príkladom je zámer, ktorý plánoval v Žiari nad Hronom výstavbu dvoch liniek na energetické zhodnotenie komunálneho odpadu s nákladmi vyše 150 miliónov EUR. Linky by mali vyrábať syntézny plyn s cieľom produkovať elektrickú energiu aj teplo. Plyn, ktorý by sa nepoužil v spaľovacej turbíne, by bol spracovaný na čistý biometán v objeme 140 000 megawatthodín ročne a na vodík v objeme približne 5 250 t, z čoho 4 700 t bol obnoviteľný vodík.⁸⁹

Košický samosprávny kraj v spolupráci so spoločnosťou Kosit a.s. úspešne rozbieha projekt, ktorý nebude vyrábať vodík priamo z odpadu, ale použije elektrickú energiu a teplo vyprodukované zhodnotením odpadu ako vstup pri výrobe zeleného vodíka. Výroba bezemisného, alebo nízkoemisného vodíka z odpadu a biomasy vyžaduje zachytávanie CO₂ a jeho ukladanie, alebo ideálne aj jeho ďalšie použitie – proces CCS („Carbon Capture and Storage“) a/alebo CCUS („Carbon Capture and Utilization and Storage“). Zhodnotenie a súčasný stav týchto technológií je pokrytý v časti 4.4.2 - Výroba vodíka z fosílnych palív so zachytávaním a ukladáním uhlíka.

Výroba vodíka z odpadu a biomasy môže prebiehať nepriamo, alebo priamo viacerými spôsobmi.

⁸⁶ U.S. National Science Foundation (2023): Making hydrogen from waste plastic could pay for itself (<https://new.nsf.gov/news/making-hydrogen-waste-plastic-could-pay-itself>)

⁸⁷ National Renewable Energy Laboratory (NREL): Hydrogen from Biomass (<https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/36262.pdf>)

⁸⁸ Štatistický úrad Slovenskej republiky: DATAcube - Dátové kocky (https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/vbd_sk_win2/zp3801rr/v_zp3801rr_00_00_00_sk)

⁸⁹ <https://www.trend.sk/spravy/energie-komunalneho-odpadu-mohlo-slovensko-vyrobit-70-000-ton-vodik-a-ročne>

Nepriama výroba	Priama výroba
Výroba elektrickej energie spaľovaním a následné využitie elektrickej energie v elektrolyzéoch na výrobu vodíka	Priama výroba vodíka z odpadu a biomasy využitím chemického rozkladu
	Priama výroba vodíka môže prebiehať termochemicky, biochemicky alebo elektrochemicky:

Tabuľka 25: Výroba vodíka z odpadu a biomasy

Zdroj: stengl a.s.

Priama výroba vodíka z odpadu a biomasy

Priama výroba vodíka môže prebiehať termochemicky, biochemicky alebo elektrochemicky:

- Termochemická konverzia zahŕňa viaceré technológie ako napr. Parnú reformáciu bioplynu, splyňovanie, pyrolýzu a plazmolýzu kde bez prístupu vzduchu rozkladajú pôsobením vysokej teploty organický odpad, CH₄ alebo plasty. Medziproduktom je tzv. syngas (syntézny plyn), ktorý obsahuje najmä oxid uhoľnatý a vodík. Ďalším procesom sa potom zvyšuje obsah vodíka na úkor CO. Tento postup, podobne ako pri výrobe vodíka zo zemného plynu, produkuje emisie, ktoré je možné zachytávať.
- Biochemická konverzia je technologicky náročná operácia a prebieha v dvoch krokoch. Organický odpad sa najprv rozloží pomocou mikroorganizmov a enzýmov a vytvorí bioplyn, ktorého hlavné zložky sú CH₄ a CO₂. Bioplyn sa následne spracuje parnou alebo suchou reformáciou, tak aby sa CH₄ premenil na syngas bohatý na vodík.
- Elektrochemická konverzia je čistejším, ale nie priamym spôsobom výroby vodíka, pretože na elektrolytický proces sa používa elektrická energia, ktorá vzniká pri spracovaní odpadu aj s príslušnými emisiami.

Nezávisle od technológie použitej na konverziu je potrebný náročnejší proces čistenia plynu bohatého na vodík. Vodík nedosahuje takú čistotu než je to u elektrolyzy. Tento proces môže byť založený na rôznych metódach ako je absorpcia zmenou tlaku (PSA - pressure swing adsorption), chemická absorpcia pomocou amínového roztoku, membránová separácia, alebo katalytické reakcie na odstránenie nežiadanych komponentov (síra, CO a pod.).

Výroba vodíka z odpadu a biomasy používa viaceré alternatívne metódy, ale najčastejšia a najrozvinutejšia je termochemická konverzia pomocou pyrolýzy. Energetická efektívnosť priamej výroby vodíka z odpadu a biomasy sa pohybuje na úrovni 40 – 67 % (na základe nižšej výhrevnej hodnoty vodíka) a výrobná cena v rozmedzí 4 – 6,5 eur/kg⁹⁰.

⁹⁰ IEA Global Hydrogen Review 2024



Obrázok 32: Ilustrácia výroby vodíka z rôznych druhov odpadu

Zdroj: *Unlocking New Possibilities (2024) – Waste-to-hydrogen as an energy source for fuel cell vehicle – Empower the Future (Quantron AG)*

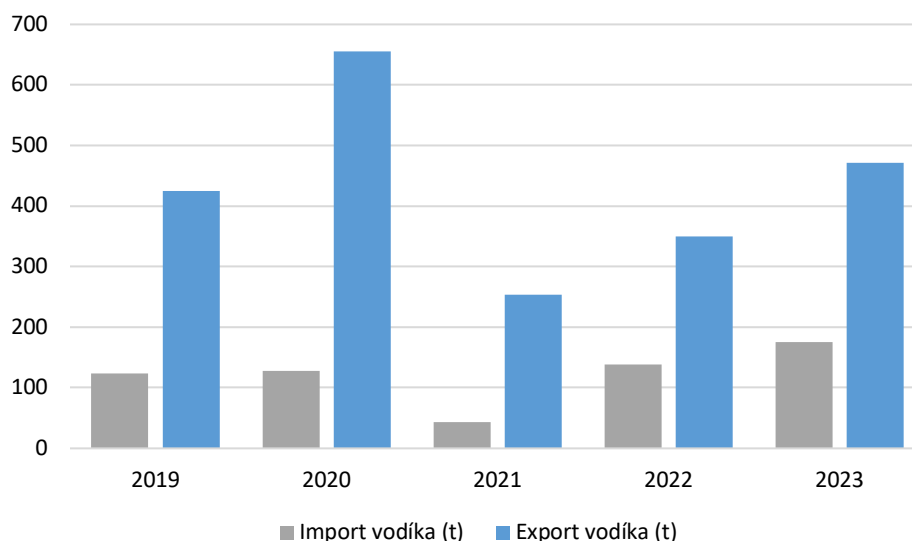
Zhodnotenie odpadu a biomasy výrobou vodíka je pre Slovensko veľkou príležitosťou, ktorá sa zatiaľ vôbec nevyužíva. Na našich skládkach stále končí polovica komunálneho odpadu, čo prekračuje cieľovú hodnotu EÚ do roku 2035 päťnásobne.

Aktuálne projekty majú problém s ekonomickou návratnosťou, ale tá sa môže výrazne zmeniť so zdražením skládkovania a s očakávaným zefektívňovaním používaných technológií.

4.2.6 Import vodíka z okolitých krajín

Slovensko je dnes vodíkovo sebestačné. Výroba v rokoch 2019 až 2023 len mierne prevyšovala spotrebu. Súčasný import vodíka Slovenska je na minimálnej úrovni 175 t za rok 2023 (podľa dotazníkového prieskumu IHA⁹¹), pričom aktuálny export ho viac ako dvakrát prevyšuje (472 t). Tieto hodnoty sa vykazujú výlučne fosílny vodík.

⁹¹ Inštitút hospodárskych analýz MH SR (IHA): Bilancia výroby, spotreby, importu a exportu vodíka SR - dotazníkový prieskum.



Obrázok 33: Import a export vodíka do SR

Zdroj: Inštitút hospodárskych analýz MH SR

Nové ciele a záväzky EÚ sa týkajú najmä obnoviteľného vodíka nebiologického pôvodu. Pre naplnenie cieľov EÚ (Fit for 55) a OSN (Parížska dohoda) v oblasti využitia obnoviteľného vodíka sú potrebné nové OZE v rádoch GW, ktoré by pre Slovensko boli investične aj prevádzkovo nákladné a kriticky náročné na implementáciu. Import obnoviteľného vodíka do SR bude preto v budúcnosti nevyhnutný, podobne ako u väčšiny Európskych krajín.

EÚ vidí veľký potenciál pre dovoz obnoviteľného/nízkoemisného vodíka z krajín Severnej Afriky, Južnej Ameriky, a tiež z Ukrajiny, ako bolo prezentované v rámci iniciatívy 2x 40 GW, ktorá bola súčasťou Európskej vodíkovej stratégie už v roku 2020. Počítalo sa s inštaláciou 40 GW vlastných elektrolyzérův v EÚ a rovnako s 40 GW elektrolyzérův v spomínaných exportných lokalitách do roku 2030.

S ohľadom na doterajší minimálny progres v importnej časti tejto iniciatívy a na aktuálnu geopolitickú situáciu na východe Európy sa ale s týmito potenciálne veľmi sľubnými zdrojmi vodíka nedá do roku 2030 počítať.

Ukrajina má výhodnú polohu, ktorá vďaka minimálnej vzdialenosti šetrí prepravné náklady. Je tam tiež vybudovaná robustná infraštruktúra pre zemný plyn a rozsiahle plány na úpravu potrubia na prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka sú vo fáze príprav (podliehajúce vývoju bezpečnostnej situácie). Na Ukrajine majú aj prírodný potenciál pre budovanie nových OZE a potenciálne aj pre nárast jadrovej energie. Aj keď existujúce elektrárne bude nevyhnutné po skončení prebiehajúceho konfliktu kompletne zrekonštruovať a rozšíriť, súčasná kríza ponúka príležitosť na súčasné vybudovanie samotných kapacít na výrobu obnoviteľného vodíka.

Severná Afrika má tiež potenciál na využitie infraštruktúry pre zemný plyn a významné zdroje obnoviteľných energií. Hlavne celoročná dostupnosť solárnej energie vytvára predpoklad pre priaznivú cenu vyrobeného vodíka. Spoločným rizikovým faktorom je ale investičná a časová náročnosť, riziková prirážka investičného kapitálu a nestabilnejšie politické prostredie s ohľadom na potrebu dobudovania energetických aj výrobných kapacít.

Južná Amerika, najmä Brazília, disponuje vynikajúcimi podmienkami na výrobu cenovo dostupnej elektrickej energie z veternej, slnecnej a vodnej energie. Vo viacerých štátoch Brazílie s podporou regionálnych vlád vznikajú projekty výroby obnoviteľného vodíka v rádoch GW s cieľom globálneho exportu v podobe čpavku (NH₃) aj do Európy. Námorný terminál na dovoz NH₃ vzniká hneď vedľa LNG terminálu na chorvátskom ostrove Krk. Spustenie pilotných prevádzky sa uvažuje už v roku 2028⁹².

Vodík je možné dovážať aj zo Severnej Európy, ale nevýhodou je predpokladaná vyššia cena. Uskutočniteľnosť danej trasy závisí od cenovej úrovne vodíka importovaného zo Severnej Afriky a Južnej Ameriky.

Nasledujúca tabuľka sumarizuje kanály relevantné pre import obnoviteľného vodíka:

	Hlavné pozitíva	Hlavné negatíva
Ukrajina	• lokalita – vzdialenosť, bez potreby prekonávať more • existujúca infraštruktúra pre zemný plyn • energetické zdroje	• celkový stav infraštruktúry • predpokladaná vyššia cena vodíka • potreba obnoviť a dobudovať kapacity na výrobu elektriny aj vodíka
Severná Afrika	• predpokladaná nižšia cena vodíka • obnoviteľné zdroje energie	• potreba dobudovať kapacity na výrobu vodíka • potreba vybudovať infraštruktúru na prepravu vodíka • nedostatok sladkej vody
Severná Európa	• obnoviteľné zdroje vyrábajúce energiu z energie vetra a vody	• predpokladaná vyššia cena vodíka • potreba vybudovať infraštruktúru na prepravu vodíka
Južná Amerika	• výborné podmienky pre výrobu elektriny z veternej, slnecnej a vodnej energie • dostatok sladkej vody pre výrobu vodíka. • nízka cena elektriny zo siete (Brazília)	• potreba vybudovať infraštruktúru na prepravu vodíka • väčšia prepravná vzdialenosť

⁹² Green Energy Park (2025): Projekty. (<https://gep-global.com/our-projects>)

Tabuľka 26: Potenciálne oblasti importu vodíka na Slovensku

Zdroj: stengl a.s.

S týmito zdrojmi na import vodíka je možné počítať až po roku 2030, s veľkým stupňom neistoty a pre africkú vetvu aj vyššou cenou za prepravu vodíka, ktorú ovplyvnia hlavne investície do infraštruktúry. Rozvoj vlastných kapacít na pokrytie predpokladaného nárastu spotreby vodíka je v dohľadnej dobe minimálne piatich rokov hlavným relevantným riešením, ktoré aj do budúcnosti poskytne priestor pre diverzifikáciu a tým bude aj nástrojom pre našu energetickú bezpečnosť. Odhad hlavných globálnych tokov vodíka v dlhodobom horizonte podľa renomovanej konzultačnej agentúry McKinsey & Company uvádza nasledovný obrázok. Potvrďuje, že import bude smerovať hlavne do Južnej a Juhovýchodnej Ázie a Európy.



Obrázok 34: Hlavné toky vodíka a derivátov 2050 v mil. t ekvivalentu vodíka za rok

Zdroj: McKinsey & Company



Obrázok 35: Potenciál využitia transportných potrubí zemného plynu pre dovoz vodíka

Zdroj: NVAS

4.3 Využitie elektrickej siete

Táto časť ŠRH2 sa venuje problematike prenosu a distribúcie elektrickej energie prostredníctvom elektrizačnej prenosovej sústavy distribučnej siete k miestam výroby vodíka. Pre rozvoj vodíkoveho hospodárstva je potrebné poznať potenciál prepojenia zdrojov elektrickej energie s budúcou vodíkovou infraštruktúrou, nakoľko pre jeho výrobu by sa mali využiť aj prebytočné kapacity výroby energie a zvýšiť tak flexibilitu siete. Štúdie H2R posudzuje tiež budovanie novej dedikovanej energetickej kapacity pre produkciu vodíka. Využitie existujúcej elektrickej siete môže uľahčiť prepojenie výroby a spotreby vodíka, avšak pri nevhodnom použití môže viesť k jej nadmernému zaťaženiu.

4.3.1 Súčasný stav elektrickej siete

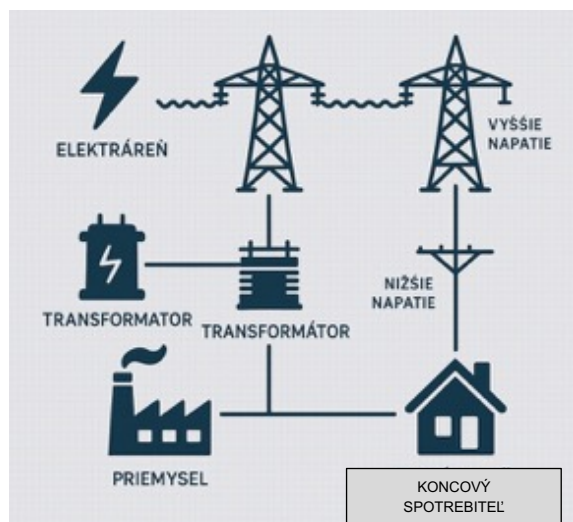
Elektrická sieť, elektrizačná sústava vzájomne prepojených elektrických vedení predstavuje komplexný systém, ktorý slúži na efektívny prenos elektrickej energie z miest jej výroby (elektrárne) do miest jej spotreby.

Elektrizačná sústava pozostáva z troch základných prvkov: výroby elektrickej energie, prenosu a distribúcie elektrickej energie. Siete jednotlivých napäťových a prúdových systémov sú oddelené transformátormi a meničmi - teda elektrickými stanicami. Vysokonapäťová prenosová sústava (zvyčajne 220 kV a viac) predstavuje spojenie uzlov, do ktorých je elektrická energia dodávaná z elektrární, a uzlov, z ktorých je distribuovaná do rozvodných systémov, pričom sa zabezpečuje optimálne rozloženie výkonu v celej oblasti z hľadiska nákladov na výrobu a prenos. Distribučná sústava (zvyčajne s napätím 110 kV a menej)

zabezpečuje distribúciu elektrickej energie priamo k užívateľom. K nej môžu byť pripojené menšie výrobné zdroje, prevažne miestneho pôvodu v rádoch jednotiek MW (malé vodné elektrárne, solárne, veterné, kogeneračné elektrárne, atď.).

Prenos energie prostredníctvom elektrickej prenosovej sústavy

Hlavným zdrojom elektrickej energie pre distribučnú sústavu je nadradená prenosová sústava.



Obrázok 36: Diagram elektrickej siete

Zdroj: stengl a.s.

Elektrizačná sústava Slovenska s viac ako 3000 km vedení je súčasťou širšej európskej prepojenej elektrizačnej sústavy (ENTSO-E), ktorej časť znázorňuje nasledujúci obrázok.



Obrázok 37 Prepojenie Slovenska s ENTSO-E

Zdroj: ENTSO-E (<https://www.entsoe.eu/data/map/downloads/>)

V nasledujúcej tabuľke je popis hlavných aktérov v rámci elektrizačnej sústavy Slovenska.

Úroveň	Úlohy a hlavní aktéri
I Výroba elektriny	Zabezpečovaná elektrárnami rôzneho typu. Najväčší výrobca elektriny sú Slovenské elektrárne, a.s.. Ďalší výrobcovia: veľké priemyselné podniky, MH Teplárenský holding, a.s., prevádzkovatelia OZE (MVE, FVE, okrajovo VE), Jadrová energetická spoločnosť (JESS)
II Prenosová sústav	Predstavuje vysokonapäťovú infraštruktúra (400/220/110 kV), ktorou sa zabezpečuje prenos elektriny medzi výrobcami a distribútormi, vrátane medzinárodných prepojení a stabilita siete. SEPS, a.s. (Slovenská elektrizačná prenosová sústava) a dcérska spoločnosť OKTE
III Distribučná sústava	Rozvádza elektrinu ku konečným odberateľom v nízkom a strednom napätí v regiónoch. Západoslovenská distribučná, a.s. (ZSD) a Východoslovenská distribučná, a.s. (VSD) – tvoria spoločný podnik, Stredoslovenská distribučná, a.s. (SSD)

Tabuľka 27: Hlavní aktéri elektrickej siete v SR

Zdroj: stengl a.s.

Významnú úlohu pri správnom nastavovaní energetického ekosystému plní regulátor, zástupcovia podnikateľských subjektov a sektora inovácií.

Úroveň	Úlohy a hlavní aktéri
Regulačné prostredie	Regulácia a legislatíva Úrad pre reguláciu sieťových odvetví (ÚRSO) Ministerstvo hospodárstva SR – domáca legislatíva a transpozícia energetickej legislatívy EÚ Medzinárodné normy - ISO, CEN-CENELEC
Zastupovanie záujmov	Zastupovanie záujmov aktérov súkromného sektora Asociácia energetických podnikov Slovenska, Asociácia dodávateľov elektriny, Slovenská asociácia fotovoltického priemyslu a OZE (SAPI), Slovenský plynárenský a naftový zväz (SPNZ), Asociácia priemyselných zväzov a dopravy (APZD) Spotrebiteľské združenia a energetické komunity, Jadrová energetická spoločnosť (JESS) Think tanky a iniciatívy: Slovenská inovačná a energetická agentúra (SIEA), V4 Energy Think Tank Platform,

	zahraničné entity - International Energy Agency, Advanced Fuel Cells TCP, Hydrogen Council, Hydrogen TCP, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) a ďalšie.
Vzdelávanie a inovácie	Vzdelávanie, výskum, vývoj a inovácie, pilotné a demonštračné aktivity Akademický sektor, výskumno-vývojové organizácie (STU, TU KE, UNIZA, SAV) Špecializované periodiká a inžiny Think tanky a iniciatívy: V4 Energy Think Tank Platform, International Energy Agency, Advanced Fuel Cells TCP, Hydrogen Council, Hydrogen TCP, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE).

Tabuľka 28: Ďalší aktéri ovplyvňujúci elektrickú sieť v SR

Zdroj: stengl a.s.

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté základné údaje o prenosovej sústave Slovenska.

Ukazovateľ / rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Prenesená elektrina [GWh]	31 394,92	31 524,33	32 807,14	33 523,27	30 552,1	35 233,9
Straty pri prenose [GWh]	325,47	385,64	324,65	330,25	324,70	448,19
[v %]	1,04	1,22	0,99	0,99	1,06	1,27
Vlastná spotreba [GWh]	8,93	8,90	9,12	9,18	9,38	9,34
Energetická účinnosť [v %]	98,93	98,75	98,98	98,99	98,91	98,70

Tabuľka 29: Vybrané údaje o prenosovej sústave v SR 2019 – 2023

Zdroj: SEPS

Ďalšie vybrané prevádzkové náklady, ako sú prevádzkové náklady vedenia a staníc predstavuje nasledujúca tabuľka.

Priemerné prevádzkové náklady / rok	2023
na 1 km 400 kV vedenia celkom [EUR]	14 906,35
na 1 km 220 kV vedenia celkom [EUR]	3 485,70
na 1 km 110 kV vedenia celkom [EUR]	6 156,22
na 1 pole stanice [EUR]	248 982,37

Tabuľka 30: Vybrané údaje o prenosovej sústave v SR 2023

Zdroj: SEPS.

Skupiny odberateľov elektriny, na ktoré sa vzťahujú rôzne tarify za systémové služby (TSS) na Slovensku, sú definované podľa očakávanej ročnej spotreby elektriny a ďalších špecifických kritérií. Tieto skupiny sú stanovené vyhláškou Úradu pre reguláciu sieťových

odvetví (ÚRSO) č. 154/2024 Z. z. . Nasledujúca tabuľka obsahuje prehľad s rozdelením skupín odberateľov elektriny podľa definícií ÚRSO:

Skupina	Ročná spotreba elektriny	Charakteristika odberateľa	Technické podmienky / poznámky
1	Do 1 GWh (vrátane)	Domácnosti, malé firmy	Nízka spotreba
2	Nad 1 GWh do 100 GWh (vrátane)	Stredne veľké podniky	Vyššia spotreba
3	Nad 100 GWh	Veľké priemyselné podniky	Veľmi vysoká spotreba
4	Nešpecifikovaná spotreba	Odberatelia s veľmi stabilným a rovnomerným odberom	Priame pripojenie do prenosovej sústavy, Využitie kapacity ≥ 6 800 h/rok, Odchýlka $\leq 0,025$

Tabuľka 31: Skupiny odberateľov elektriny podľa ÚRSO

Zdroj: Vlastné spracovanie na základe údajov z ÚRSO

Ďalšia tabuľka obsahuje porovnania taríf za systémové služby (TSS) v elektroenergetike na Slovensku v rokoch 2019 až 2025. Tarifu stanovuje Úrad pre reguláciu sieťových odvetví (ÚRSO) a sú aplikované podľa skupín odberateľov elektriny

Tarifa [EUR/MWh] / rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Skupina 1	5,9434	6,2121	6,3081	6,2976	10,132	6,2976	12,4207
Skupina 2	5,9434	6,2121	6,3081	11,9	10,132	6,2976	11,1786
Skupina 3	5,9434	6,2121	6,3081	1,187	10,132	0,6297	1,8631
Skupina 4	5,9434	6,2121	6,3081	1,187	10,132	0,6297	1,2421

Tabuľka 32: Tarify za systémové služby 2019 – 2025

Zdroj: ÚRSO

Priemerné tarify za prenos elektrickej energie v Európe (2021)

Na základe údajov z pravidelnej správy ENTSO-E o prenosových tarifikách v Európe za rok 2021 možno konštatovať, že priemerná jednotková prenosová tarifa (tzv. Unit Transmission Tariff – UTT) pre vybrané európske krajiny dosiahla úroveň 12,30 EUR/MWh. Táto hodnota predstavuje mierny medziročný pokles oproti roku 2020, a to o približne 1,41 %.

Z celkovej tarify tvorili najväčšiu časť náklady spojené priamo s činnosťami prevádzkovateľov prenosových sústav (TSO), ako sú náklady na údržbu a prevádzku infraštruktúry, kompenzácie

strát a systémové služby. Tieto položky spolu predstavovali priemernú hodnotu 9,79 EUR/MWh. Zvyšnú časť tarify, teda 2,51 EUR/MWh, tvorili tzv. netransmisné náklady (NTSO), ktoré zahŕňajú rôzne regulačné poplatky alebo príspevky na podporu obnoviteľných zdrojov energie.

Rozdelenie tarifného zaťaženia medzi jednotlivé kategórie užívateľov siete ukazuje, že koncoví odberatelia elektriny (tzv. load) platili v priemere 9,22 EUR/MWh, zatiaľ čo príspevok výrobcov (generátorov) predstavoval len 0,57 EUR/MWh. Táto disproporcia zodpovedá dlhodobému trendu, v ktorom je hlavná finančná záťaž za využívanie prenosovej infraštruktúry prenášaná najmä na stranu spotreby.

Správa pokrýva viac než 30 krajín združených v ENTSO-E vrátane členských štátov EÚ, ako aj niektorých ďalších európskych štátov. Výsledné hodnoty sú počítané ako vážené priemery na základe modelového používateľa pripojeného na vysokonapäťovú sústavu s typickým využitím približne 5 000 hodín ročne.

Komponent	Priemerná tarifa [EUR/MWh]
Celková UTT	12,30
Z toho: TSO náklady	9,79
Z toho: NTSO náklady	2,51
TSO pre odber (load)	9,22
TSO pre výrobcov (generátory)	0,57

Tabuľka 33: Priemerné tarify za prenos elektriny v EÚ 2021

Zdroj: https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/strapi-test-assets/strapi-assets/221025_TTO-Report_2021_Final.pdf

Priemerné tarify za prenos elektriny v EÚ v rokoch 2019 až 2023 možno zhrnúť nasledovne:

Rok	Priemerná tarifa za prenos elektriny (EUR/MWh)
2019	11,18
2020	11,93
2021	12,30
2022	Údaje nie sú verejne dostupné
2023	Údaje nie sú verejne dostupné

Priemerné hodnoty sú založené na údajoch od ENTSO-E (Európska sieť prevádzkovateľov prenosových sústav pre elektrinu). Tieto údaje predstavujú aritmetický priemer jednotkových taríf za prenos elektriny (Unit Transmission Tariff – UTT) v Európe. Pre roky 2022 a 2023 nie sú verejne dostupné konkrétne údaje o priemerných tarifikách za prenos elektriny v EÚ. Podľa správy ACER (Agentúra pre spoluprácu energetických regulátorov) z januára 2023 existujú v Európe rôzne metodiky výpočtu taríf za prenos a distribúciu elektriny. Tieto metodiky sa líšia podľa krajiny a zahŕňajú rôzne prístupy k rozdeleniu nákladov medzi výrobcov a odberateľov.

Elektrizačná sieť a flexibilita

Technický potenciál elektrickej siete Slovenska závisí od rozvoja navyšovania kapacít OZE určených pre výrobu vodíka a ich pripojenia do celoštátnej siete, tiež od flexibility distribučnej infraštruktúry a od podpory a stimulov (napr. cez regulačné opatrenia).

Ak by sa na Slovensku naplno realizovali projekty fotovoltických, veterných a jadrových elektrární a zároveň modernizovala energetická infraštruktúra, krajina by získala predpoklady na dostatočnú výrobu vodíka z obnoviteľných a nízkouhlíkových zdrojov na splnenie cieľov EÚ v oblasti dekarbonizácie priemyslu a dopravy prostredníctvom vodíka kategórií RFNBO a LCH. Domáci vodík by mal potenciál cenovo konkurovať importovanému vodíku zo zahraničia.

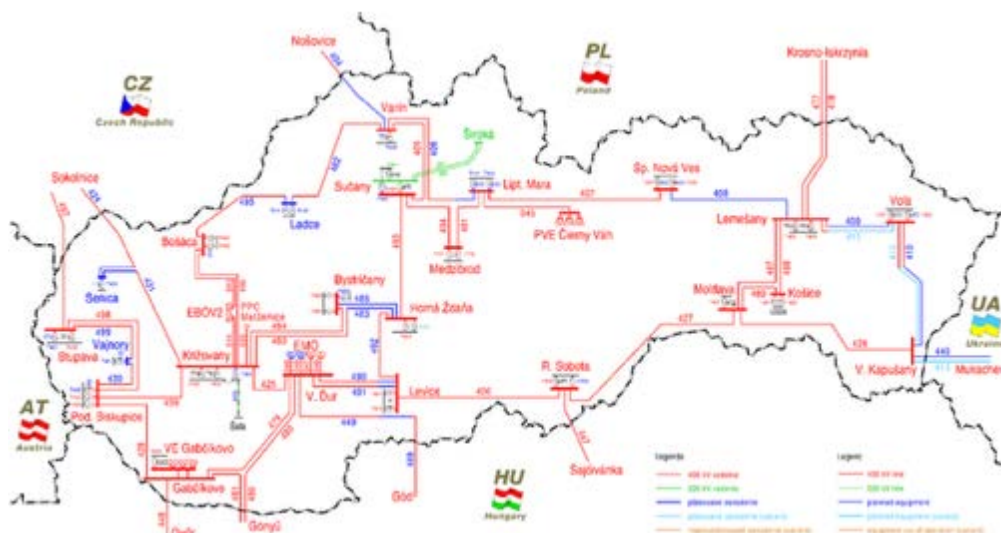
Rozvojová stratégia SEPS sa zameriava na zabezpečenie spoľahlivej a bezpečnej prevádzky PS, pričom kľúčovým opatrením je postupné ukončenie prevádzky 220 kV prenosovej sústavy a jej nahradenie 400 kV prenosovou sústavou, ak to bude nevyhnutné pre bezpečnosť a spoľahlivosť dodávok elektriny.

Obnoviteľné zdroje elektriny a elektrolyzéry sa budú pripájať do distribučnej alebo vysokonapäťovej prenosovej sústavy. Slovensko má pomerne dobre prepojenú svoju elektrizačnú sieť s elektrizačnými sieťami susedných krajín, okrem Rakúska. Pre absorpciu ešte väčšieho objemu vyrobenej elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov sú potrebné rozšírenia 400 kV prepojení do Maďarska (PCI projekty), kde prebieha obstarávanie na projektové a inžinierske činnosti. Investičné projekty sú v súlade s európskym plánom rozvoja sústavy⁹³ a boli potvrdené sieťovými výpočtami v rámci aktualizovaného národného plánu rozvoja prenosovej sústavy⁹⁴.

⁹³ TYNDP 2018

⁹⁴ Plán rozvoja SEPS 2024 – 2033

Výhládová schéma PS SR pre časový horizont 2032 na účel sieťových výpočtov je zobrazená v nasledovnej mape⁹⁵.



Obrázok 38: Výhládová schéma PS SR do roku 2032 na účel sieťových výpočtov

Zdroj: SEPS⁹⁶

Zvýšenie flexibility je kľúčovým prínosom elektrolyzérov pre elektrizačnú sústavu. Elektrolyzéry môžu fungovať ako flexibilné zaťaženie siete, ktoré pomáha stabilizovať sieť v obdobiach nadprodukcie elektriny z OZE, v čase nízkych cien elektriny na trhu a v situáciách, keď by inak mohla byť elektrina marená. Vzhľadom na kolísavosť výroby elektriny z OZE by vodíkové technológie mohli pôsobiť ako vyrovnávací prvok a zabezpečiť efektívnejšie využitie elektriny v sieti.

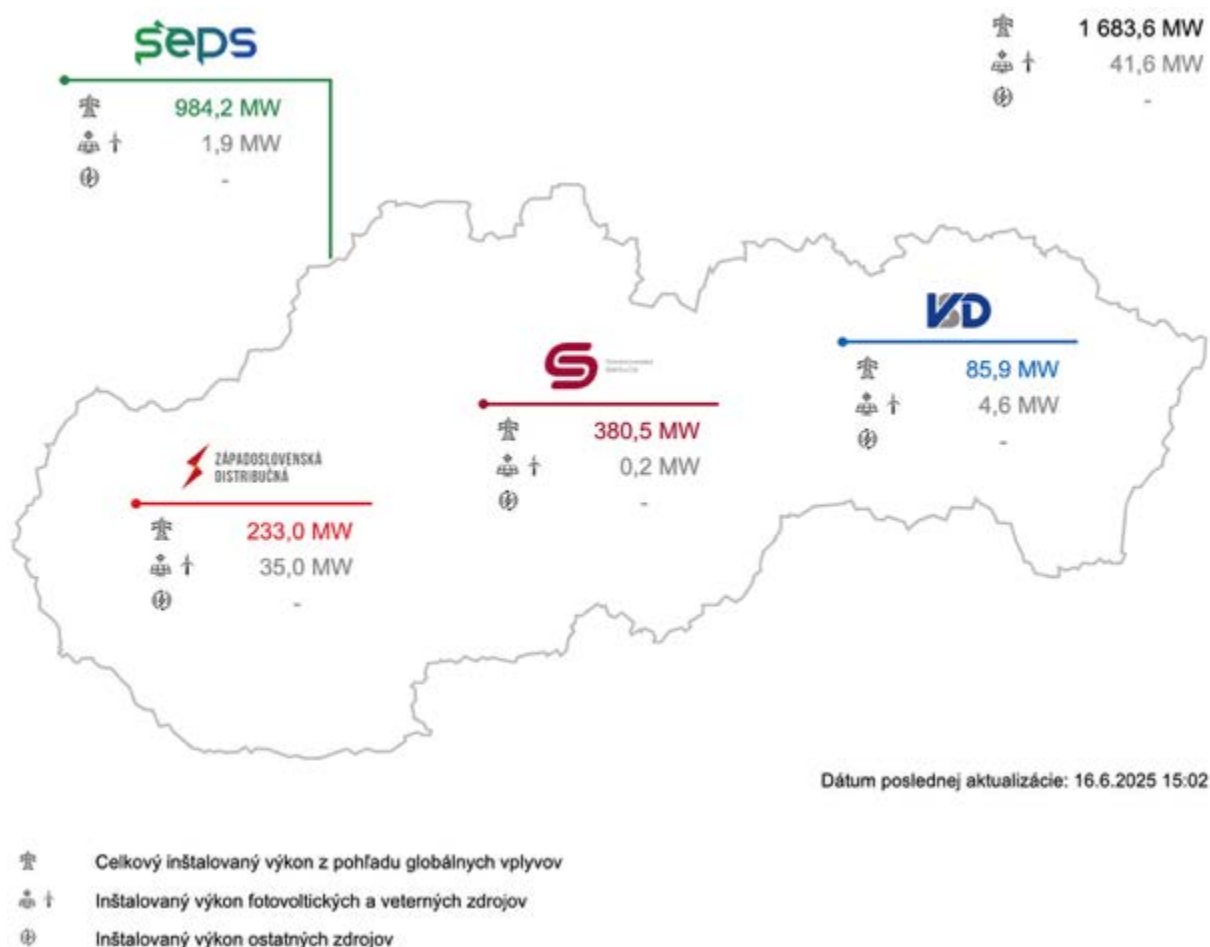
Prevádzkovateľ prenosovej sústavy (SEPS) pravidelne určuje a zverejňuje na svojom webovom sídle inštalovaný výkon zariadení na výrobu elektriny a zariadení na uskladňovanie elektriny ako ukazuje nasledovná mapa.^{97, 98}

⁹⁵ SEPS, Desaťročný ročný plán rozvoja prenosovej sústavy na roky 2020 – 2029. (<https://www.sepsas.sk/media/3730/dpr-ps-2020-2029.pdf>)

⁹⁶ SEPS, Desaťročný plán rozvoja prenosovej sústavy na roky 2024 – 2033. (https://www.urso.gov.sk/data/files/575_dprps.pdf)

⁹⁷ SEPS, Inštalovaný výkon. (<https://installedpower.sepsas.sk/>)

⁹⁸ Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov



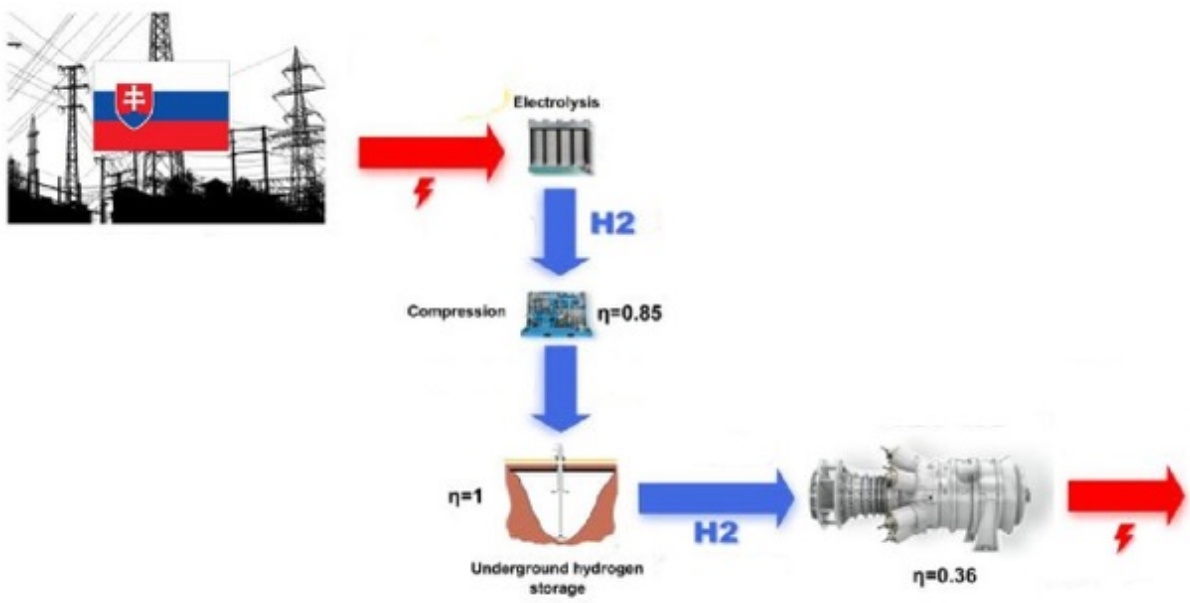
Obrázok 39: Voľný inštalovaný výkon na zdroje a uskladnenia elektriny do elektrizačnej sústavy

Zdroj: SEPS, stav k 16.6.202599

Ako sa uvádza vyššie, elektrolyzéry, zariadenia na výrobu vodíka za pomoci elektrickej energie sú odberné zariadenia - spotrebiče. To znamená, že pre ich pripojenie k sieti sú dôležité kapacity na odber elektrickej energie predovšetkým z distribučnej siete. To však neznamená, že by neboli dôležité voľné kapacity pre výrobné zdroje elektriny. Predpokladá sa, že elektrolyzéry budú využívať hlavne priame pripojenie k najbližšiemu zdroju obnoviteľnej energie aby znížili náklady za sieťové tarify a v čase nízkych cien na dennom trhu budú podľa možností využívať aj elektrinu zo siete. Preto je dôležitá súhra voľnej disponibilnej kapacity siete v prípojnom bode tak na odber ako aj dodávku elektriny z OZE do siete.

V strednodobom horizonte po roku 2030 sa uvažuje aj so sezónnou akumuláciou prebytkov elektriny v sieti v podobe vodíka a výrobou elektriny a tepla v zimnom období ako ilustruje nasledujúci obrázok.

⁹⁹ SEPS, Inštalovaný výkon. (<https://installedpower.sepsas.sk/>)



Obrázok 40: Výroba vodíka z prebytkov z elektrickej siete

Zdroj: stengl, a.s.

Distribučná sieť

Pilotné projekty výroby vodíka s inštalovaným výkonom elektrolyzérů v rozsahu jednotiek MW môžu byť, za predpokladu splnenia technických podmienok distribučných spoločností a pri dostatočnej voľnej kapacite v prípojnom bode, pripojené do distribučnej elektrizačnej sústavy. Schopnosť splniť podmienky pre pripojenie bude predstavovať kľúčový limitujúci faktor pri umiestňovaní elektrolyzérů, najmä ak budú okrem elektriny z lokálneho obnoviteľného zdroja využívať aj elektrinu z distribučnej siete, poskytovať podporné služby pre prevádzkovateľa prenosovej sústavy, alebo sa podieľať na vyrovnaní bilančnej skupiny obchodníka s elektrinou.

Z hľadiska priepustnosti a flexibility distribučnej sústavy je možné pripájať zariadenia na výrobu a akumuláciu elektriny do regionálnych distribučných sietí na úrovni transformátorových staníc 110/22 kV, v súlade s aktuálnymi údajmi zverejnenými regionálnymi distribučnými spoločnosťami.^{100 101 102}

Na webových sídlach distribučných spoločností sú pravidelne zverejňované údaje o potenciálne dostupných transformačných výkonoch na strane odberu, vzhľadom na to, že elektrolyzér predstavuje odberné zariadenie. Tieto disponibilné kapacity sú dynamické a môžu sa v čase meniť v závislosti od vývoja zaťaženia sústavy a nových pripojení. Príklad aktuálne

¹⁰⁰ Západoslovenská distribučná, Voľná kapacita. (<https://www.zsdis.sk/Uvod/Vyrobcovia/Pred-pripojenim/Volna-kapacita>)

¹⁰¹ Stredoslovenská distribučná, Prehľad čerpania pridelených výkonov. (https://www.ssd.sk/vyrobcovia-elektřiny/prehľad-čerpania-pridelených-výkonov?page_id=6335)

¹⁰² Východoslovenská distribučná, Voľná kapacita elektrických staníc pre pripájanie zdrojov. (<https://www.vsd.sk/edso/domov/vyrobcovia-elektřiny/pripojenie-zdroja/volna-kapacita-el-stanic>)

dostupnej kapacity na strane odberu v rámci jednotlivých elektrických staníc 110/22 kV v oblasti hornej Nitry je uvedený v nasledujúcej tabuľke.

Názov elektrickej stanice 110/22 kV	Potencionálne voľný transformačný výkon pre odber [MW]
Dolné Vestenice - Gumárne	7,0
Handlová	7,1
Nováky	5,6
Prievidza	6,0
Pravenec	0,0

Tabuľka 35: Potencionálne voľný transformačný výkon - lokality hornej Nitry

Zdroj: SSD, stav k 31.7.2024 ¹⁰³

Na zabezpečenie ekonomicky efektívnej prevádzky elektrolyzéra v kombinácii s lokálnym obnoviteľným zdrojom elektrickej energie je vo väčšine prípadov nevyhnutné jeho pripojenie k elektrizačnej sústave. Pripojné miesto by malo disponovať dostatočnou kapacitou jednak na strane odberu – pre prípad nedostatku elektrickej energie pre elektrolyzér z priamo pripojeného obnoviteľného zdroja (napr. fotovoltickej elektrárne), ako aj na strane dodávky – v situáciách, keď elektrolyzér nespotrebuje celý objem vyrobenej energie z OZE a je potrebné ju odvieť do siete. Identifikácia lokalít, ktoré súčasne spĺňajú požiadavky na dostatočné pripojovacie kapacity na strane odberu aj dodávky v jednom bode pripojenia, predstavuje značnú výzvu.

Identifikácia obmedzení elektrickej siete na Slovensku

Využívanie existujúcej elektrickej siete na prenos energie do lokalít výroby vodíka na Slovensku bude spojené s viacerými technickými a prevádzkovými výzvami. Vyplývajú z aktuálneho stavu prenosovej a distribučnej sústavy.

Tieto obmedzenia ovplyvňujú efektívnosť a kapacitu, s akou môže byť elektrická energia z miest výroby prenášaná do miest, kde sa vodík vyrába (napr. elektrolyzéry využívajúce elektrickú energiu na výrobu vodíka). Prehľad sieťových obmedzení, ktoré sa týkajú prenosu energie pre výrobu vodíka je zhrnutý v nasledujúcej tabuľke.

Obmedzenie	Charakteristika	Opatrenie
Preťaženie vrátane cezhraničných vedení	Niektoré úseky slovenskej prenosovej sústavy sú vystavené preťaženiu najmä v obdobiach vysokého dopytu po elektrickej energii. To môže obmedzovať	Modernizácia vedenia, napr. V440 schopné prenášať až 1 000 MW elektriny

¹⁰³ Stredoslovenská distribučná, Nezáväzná informácia o približnej voľnej kapacite regionálnej distribučnej sústavy pre pripojenie zariadení na odber elektriny na úrovni jednotlivých elektrických staníc 110/22 kV pre rok 2024.
(https://www.ssd.sk/buxus/docs/dokumenty/firmy_a_organizacie/2.pdf)

		schopnosť prenosovej siete poskytnúť dostatočné množstvo energie pre elektrolyzéry, ktoré vyrábajú vodík.	
Kapacitné obmedzenia prenosovej sústavy a nedostatočná kapacita pre pripojenie nových OZE		Nedostatok kapacity na pripojenie FVE a veterných elektrární. Miesta výroby H ₂ , ktoré by mohli byť umiestnené buď v blízkosti priemyselných centier, alebo priamo v oblastiach s vysokou dostupnosťou obnoviteľných zdrojov energie (OZE), potrebujú stabilné a dostatočné napájanie.	Stanovenie limitu pre pripájanie OZE a jeho aktualizácia podľa potrieb (577 MW v r. 2023)
Regionálna variabilita		Kapacita prenosovej sústavy nie je rovnomerne rozložená po celej krajine. V niektorých regiónoch, najmä vo východnej časti Slovenska, môže byť dostupná prenosová kapacita obmedzená, čo môže komplikovať umiestnenie elektrolyzérov v týchto oblastiach.	Doplnenie kapacít
Stabilita siete		FVE a veterné elektrárne, ktoré budú hlavnými novými OZE pre ekologickú výrobu vodíka, sú charakteristické veľkou variabilitou vo výrobe. Táto variabilita zvyšuje nároky na flexibilitu prenosovej siete, ktorá musí byť schopná spracovať nárazové prietoky a výkyvy vo výrobe energie (nastávajú nestabilné výrobné špičky). Nedostatočná flexibilita prenosovej sústavy môže spôsobiť problémy pri dodávkach energie do miest výroby vodíka, kde sa vyžaduje stabilný zdroj energie.	Zlepšovanie a zvyšovanie flexibility prenosovej siete (spracovanie nárazových prietokov a výkyvov)
Regulačné služby		V prípade zvýšeného dopytu po elektrickej energii v dôsledku výroby vodíka môže dôjsť k destabilizácii napätia, ak nebudú k dispozícii dostatočné regulačné kapacity na vyrovnanie nárazových zmien v produkcii a spotrebe energie, ktoré môžu rýchlo reagovať na výkyvy v dopyte.	Zvýšiť kapacitu regulačných zdrojov (batériové úložiská, prečerpávacie vodné elektrárne)
Vzdialenosť od hlavných energetických zdrojov		Obmedzenia prenosovej siete môžu mať priamy vplyv na geografické rozmiestnenie lokalít vhodných pre výrobu vodíka, nakoľko výroba vodíka je energeticky náročná. Je výhodné umiestniť elektrolyzéry v blízkosti zdrojov energie, aby sa minimalizovali straty pri prenose energie. Ak je elektrolyzér umiestnený ďaleko od veľkých zdrojov energie (napr. veľkých elektrární alebo OZE), môže dôjsť k zvýšeným stratám pri prenose energie. To vedie k zníženiu efektívnosti výroby	Lokalizácia elektrolyzérov v blízkosti zdrojov energie (geografická blízkosť miest výroby vodíka k zdrojom energie)

		vodíka a zvyšuje náklady na jeho výrobu. Slovenská prenosová sústava môže mať problém dodávať energiu na dlhé vzdialenosti v požadovanej kapacite.	
Obmedzenia v distribučnej sústave		Pre menšie výrobné jednotky vodíka, ktoré by mohli byť napojené na distribučnú sústavu, môže byť problémom kapacita tejto sústavy v určitých oblastiach. Distribučná sústava nie je navrhnutá na veľké energetické toky, ktoré sú potrebné pre výrobu vodíka vo väčšom meradle.	Modernizácia infraštruktúry distribučnej sústavy
Technické obmedzenia a modernizácia infraštruktúry, zastarávanie infraštruktúry		Súčasná prenosová a distribučná infraštruktúra čelí výzvam v súvislosti s technickými obmedzeniami, ktoré súvisia so zastaranosťou a opotrebovaním infraštruktúry, neukončenou digitálnou transformáciou a automatizáciou prevádzky, monitoringu a riadenia. Staré vedenia a transformátory môžu znižovať spoľahlivosť dodávok energie a zvyšovať riziko porúch. Slovenská prenosová sústava má stále priestor na zlepšenie v oblasti automatizácie	Modernizácia infraštruktúry prenosovej a distribučnej sústavy Pokračovanie v projektoch digitalizácie, smart meteringu a automatizácie Inteligentné siete (smart grids)
Cezhraničný prenos cezhraničné toky energie	a	Slovensko je prepojené s elektrickými sieťami okolitých krajín, čo vplýva na regionálnu stabilitu, ale predstavuje aj riziká v prípade preťaženia cezhraničných vedení. Slovensko je súčasťou širšej európskej elektrickej siete a významným tranzitným územím pre toky energie medzi krajinami strednej Európy. Vysoké toky energie medzi susednými krajinami môžu za určitých okolností obmedziť kapacitu prenosovej sústavy SR na dodávku energie do miest výroby vodíka, ak by tieto toky preťažili vnútroštátne vedenia.	Aktívne zapájanie sa do spoločných projektov a spoluprác v rámci V4 a Slavkovského formátu – cezhraničná spolupráca pr modernizačných projektoch Výmena informácií v rámci dispečingov
Administratívne obmedzenia a zdĺhavé povoľovacie procesy vyplývajúce z regulácie		Realizácia vodíkových projektov môže byť spomalená aj administratívnymi a regulačnými prekážkami, ktoré ovplyvňujú využívanie prenosovej sústavy na tieto účely. Výstavba nových prenosových vedení alebo rozširovanie kapacít existujúcej infraštruktúry často podlieha zdĺhavým administratívnym procesom. To môže spomaliť realizáciu projektov na výrobu vodíka, ktoré si vyžadujú stabilné a kapacitné napojenie na prenosovú sieť.	Aktualizácia regulačných nastavení, zníženie byrokratických obmedzení
Odolnosť a bezpečnosť sústavy		Rastie riziko extrémnych poveternostných javov (tornáda,	Modernizácia infraštruktúry

výchrice) a kybernetických útokov, čo si vyžaduje investície do odolnosti a bezpečnosti prenosovej infraštruktúry.	Zvýšenie a posilnenie odolnosti a bezpečnosti
	Vývoj a implementácia systémov na detekciu a prevenciu útokov a hrozieb.
	Investície do kybernetickej bezpečnosti a ochrany kritickej infraštruktúry.
	Posilnenie odolnosti fyzickej infraštruktúry voči extrémnym poveternostným javom.

Tabuľka 36: Obmedzenia v prenosovej a distribučnej sieti pre výrobu vodíka v SR

Zdroj: stengl, a.s.

4.3.2 Emisie pri výrobe elektrickej energie na Slovensku s dôrazom na jadrovú energiu a obnoviteľné zdroje energie

Táto časť sa venuje odhadu emisií vznikajúcich na Slovensku s dôrazom na atómovú energiu a OZE a celkovo emisnej intenzite elektrickej siete.

Energetický sektor sa podieľa na tvorbe antropogénnych emisií v atmosfére, ktoré prispievajú ku globálnemu otepľovaniu Zeme približne 70 %. Ide o nadmerné emisie predovšetkým CO₂ a metánu (CH₄). Veterná, solárna alebo geotermálna energia produkuje v porovnaní s fosílnymi palivami výrazne menej emisií skleníkových plynov. Jadrová a vodná energia predstavujú významne lepšiu alternatívu v porovnaní s fosílnymi palivami počas celého životného cyklu.

Výroba vodíka prostredníctvom elektrolýzy s využitím elektriny z OZE je bezemisná. Obnoviteľný vodík sa môže využívať v doprave, priemysle alebo dokonca na výrobu elektriny spätnou premenou v palivových článkoch, čo priamo prispieva k znižovaniu emisií skleníkových plynov.

V rámci Európskej zelenej dohody sa očakáva zníženie emisií o 55 % do roku 2030, pričom vodík zohráva kľúčovú úlohu v procese dekarbonizácie. Slovensko má takisto ambíciu znižovať svoje emisie a prispievať k dosiahnutiu cieľov klimatickej neutrality do roku 2050.

Emisná stopa elektrickej siete Slovenskej republiky

CO₂ intenzitu výroby elektrickej energie Slovenska a EÚ sumarizuje nasledujúca tabuľka.

Emisie CO ₂ pri výrobe elektrickej energie [g /kWh]

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025...2030
Slovensko	177	159	167	142	117	96	85 ..
EÚ	287	261	273	292	237	213	

Tabuľka 37: CO₂ intenzita výroby elektrickej energie v SR a v EÚ

Zdroj: ISA, EMBER, (2024)

Podľa údajov OKTE emisie mixu energetických zdrojov dosiahol 99,13 gCO₂/kWh) a rádioaktívny odpad Rádioaktívny odpad 2,13 mg/kWh ako ilustruje nasledovná tabuľka.¹⁰⁴

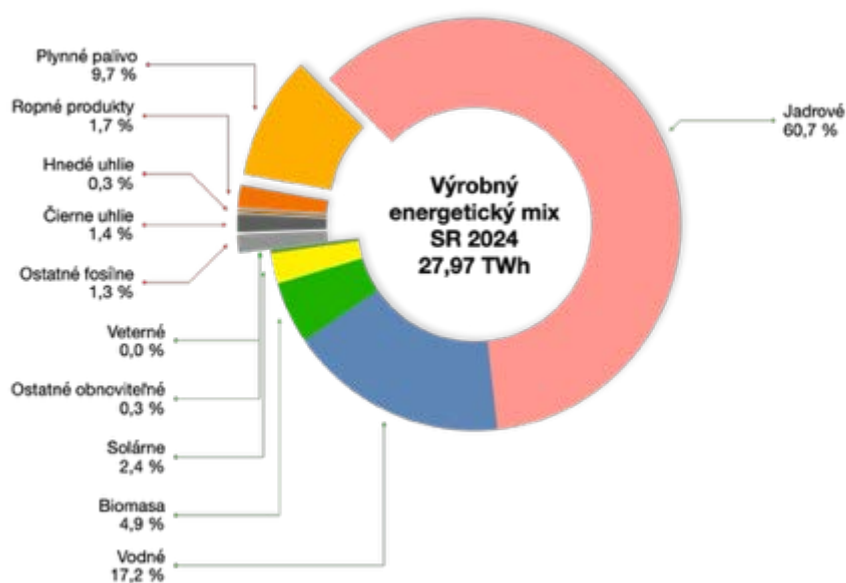
2024	Zvyškový mix dodávateľov	Energetický mix dodávateľov	Energetický mix zdrojov
CO₂ (gCO₂/kWh)	334,33	274,11	99,13
Rádioaktívny odpad (mg/kWh)	2	1,66	2,13

Tabuľka 38: Vybrané škodlivé látky pri výrobe elektriny

Zdroj: OKTE

Atomové elektrárne v Jaslovských Bohuniciach a Mochovciach dodali v roku 2024 do sústavy 60,75% z celkových 27,97 TWh elektrickej energie. Z obnoviteľných zdrojov pochádzalo približne 24,86 % elektriny, pričom najväčší podiel tvorili vodné elektrárne (17,23 %). Podiel elektriny z OZE a nízkouhlíkových zdrojov dosiahol 85,61 %. Zvyšok výroby, 14,51 % elektriny pochádzal z fosílnych zdrojov, medzi ktoré patrili plynové a uhoľné elektrárne, ako aj kogeneračné zariadenia využívajúce fosílnu palivá. Elektrická energia vyrábaná v uhoľných elektrárňach vykazovala najvyššiu CO₂ intenzitu (751 – 1095 g CO₂/kWh). Emisná intenzita elektriny vyrábanej v plynových elektrárňach s kombinovaným cyklom na zemný plyn sa pohybuje v intervale 403 – 513 g CO₂/kWh.

¹⁰⁴ OKTE: Národný energetický mix 2024, (<https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2024/>)

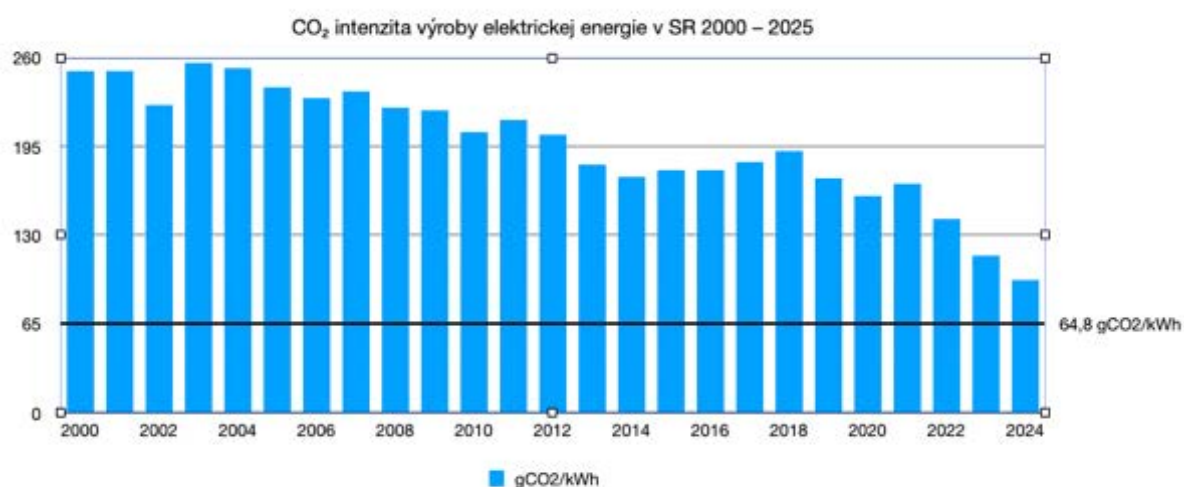


Obrázok 41: Energetický mix výroby elektrickej energie v SR 2024

Zdroj: OKTE105

Emisná intenzita produkcie elektrickej energie dodávanej do prenosovej siete dosahuje na Slovensku úroveň podľa EMBER 117, resp. 96 g CO₂/kWh v rokoch 2023 a 2024 (podľa OKTE 123, resp. 99 g CO₂/kWh), čo potvrdzuje pokračujúci pokles zaznamenaný už v predošlom monitorovanom období.

Ako ilustruje nasledujúci obrázok, trend CO₂ intenzity výroby elektrickej energie na Slovensku má klesajúci charakter a od začiatku milénia klesol o viac ako polovicu.



¹⁰⁵ OKTE: Národný energetický mix (2024), (<https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2023/>)

Kritériá výroby obnoviteľného vodíka nebiologického pôvodu s využitím elektrickej energie zo siete

Intenzita emisií elektriny v národnom výrobnom mixe je dôležitá, pretože jednou z možností výroby RFNBO, ako uvádza delegované nariadenie Komisie (EÚ) 2023/1184, je výroba vodíka z využitím elektriny zo siete, ak intenzita emisií elektriny výrobného mixu krajiny je nižšia ako 18 g CO₂eq/MJ (64,8 g CO₂eq/kWh), za predpokladu, že výrobcovia vodíka priamo alebo cez sprostredkovateľov uzavreli jednu alebo viacero zmlúv o nákupe elektriny z obnoviteľných zdrojov (PPA) s výrobcom obnoviteľnej elektriny a súčasne je splnená časová aj geografická korelácia. Ak je intenzita vyššia, výrobca vodíka môže vyrobiť len časť vodíka v kategórii RFNBO aj keď plne odoberá zazmluvnenú obnoviteľnú elektrickú energiu.

Druhou možnosťou výroby RFNBO za využitia elektriny priamo zo siete je, ak sa zariadenie vyrábajúce palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu nachádza v ponukovej oblasti, v ktorej priemerný podiel elektriny z obnoviteľných zdrojov presiahol v predchádzajúcom kalendárnom roku 90 % a výroba palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu nepresiahne maximálny počet hodín stanovený vo vzťahu k podielu elektriny z obnoviteľných zdrojov v ponukovej oblasti.¹⁰⁶

Tento maximálny počet hodín sa vypočíta vynásobením celkového počtu hodín v každom kalendárnom roku podielom elektriny z obnoviteľných zdrojov nahlásenej pre ponukovú oblasť, v ktorej sa vyrába palivo z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu.

$$RFNBO\ prod = 8760 \times RES\ share$$

RFNBO prod je maximálny počet hodín výroby palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu

RES share je podiel elektriny z obnoviteľných zdrojov v ponukovej oblasti

Priemerný podiel elektriny z obnoviteľných zdrojov sa určí vydelením hrubej konečnej spotreby elektriny z obnoviteľných zdrojov v ponukovej oblasti vypočítanej analogicky k pravidlám stanoveným v článku 7 ods. 2 smernice (EÚ) 2018/2001 hrubou výrobou elektriny zo všetkých zdrojov energie v zmysle prílohy B k nariadeniu Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1099/2008, okrem vody, ktorá bola predtým prečerpaná do hornej nádrže, plus dovoz mínus vývoz elektriny z a do ponukovej oblasti.

¹⁰⁶ Delegované nariadenie EK 2024/1408; <https://www.slov-lex.sk/pravo-eu/8ee8a2f4-2078-428b-8262-77f6c122166c>

$$RES\ share = \frac{E_{Rcon}}{E_{prod}}$$

E_{Rcon} je hrubá konečná spotreba elektriny z obnoviteľných zdrojov ponukovej oblasti

E_{Rprod} je hrubá výroba elektriny zo všetkých zdrojov energie okrem vody, ktorá bola predtým prečerpávaná do hornej nádrže, plus dovoz mínus vývoz elektriny z a do ponukovej oblasti

Slovensko tieto podmienky v súčasnosti ani v dlhodobom horizonte nedokáže splniť ani navýšením inštalovanej kapacity OZE z dôvodu vysokého podielu jadrovej elektriny, ktorá sa nepovažuje za obnoviteľnú.

CO₂ intenzita výroby elektrickej energie na Slovensku má klesajúci charakter. Vďaka jadrovým a vodným elektrárnam a odstavovaniu fosílnych zdrojov energie v Elektrárni Nováky (ENO) a Elektrárni Vojany (EVO)¹⁰⁷.

Na ďalšom znižovaní emisií CO₂ z výroby elektrickej energie bude mať podiel spustenie štvrtého bloku EMO (plán v roku 2026). EK tiež odporučila Slovensku (2023) zosúladiť národný energetický a klimatický plán s klimatickými a energetickými cieľmi pre rok 2030¹⁰⁸ a zvýšiť podiel OZE na výrobe elektrickej energie a prehodnotiť udržateľnosť plánov na energetické využívanie lesnej biomasy. Ak Slovensko v najbližších rokoch splní záväzok, že v rámci energetického plánu do roku 2030 zvýši podiel OZE na úroveň 25 %, tak sa to tiež prejaví na znižovaní CO₂ intenzity výroby elektrickej energie.

Ak si výroba elektrickej energie udrží aktuálnu úroveň, tak odstavením uhoľných tepelných elektrární by mali emisie CO₂ z výroby elektrickej energie klesnúť na úroveň 2,1 mil. t CO₂ a do roku 2030 možno očakávať, že sa CO₂ intenzita výroby elektrickej energie priblíži k 70 g CO₂/kWh, čo už konverguje k stanovenému limitu 64,8 g CO₂/kWh (18 g CO₂eq/kWh)¹⁰⁹, kedy by sa elektrina z elektrickej siete mohla plne použiť na výrobu obnoviteľného vodíka.

Z EÚ-27 spĺňajú limit 64,8g CO₂/kWh len Francúzsko a Švédsko. Očakáva sa, že v najbližších rokoch toto kritérium splnia Fínsko (72 g CO₂/kWh), Slovensko a prípadne ďalšie štáty EÚ.

Do roku 2030 sa očakáva, že emisná intenzita klesne pod 65g CO₂/kWh, čo bude umožnené ďalšími investíciami do modernizácie siete a rozširovania OZE. Slovensko tiež plánuje implementovať rôzne projekty na zvýšenie energetickej účinnosti prenosovej sústavy, vrátane

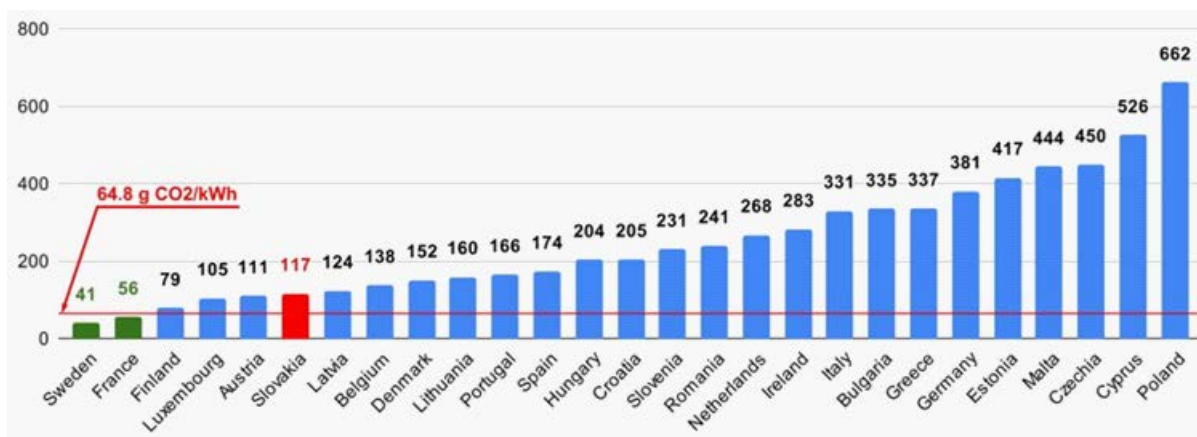
¹⁰⁷ V rokoch 2023 a 2024 Slovenské elektrárne, a.s. odstavili prevádzku dvoch uhoľných tepelných elektrární vo Vojanoch (220 MWe) a Zemianskych Kostolnoch (266 MWe), ktoré spaľovali čierne uhlie (z Ukrajiny), biomasu (drevnú štiepku) a hnedé uhlie z banských revírov Slovenska.

¹⁰⁸ <https://www.mhsr.sk/energetika/integrovaný-narodný-energetický-a-klimatický-plan-na-roky-2021-2030>

¹⁰⁹ Ak sa elektrolyzér nachádza v ponukovej zóne, v ktorej sú emisie elektriny nižšie ako 18 gCO₂eq/MJ (64,8gCO₂eq/kWh), tak sa elektrina z elektrickej siete v tejto ponukovej zóne dá použiť na výrobu obnoviteľného vodíka

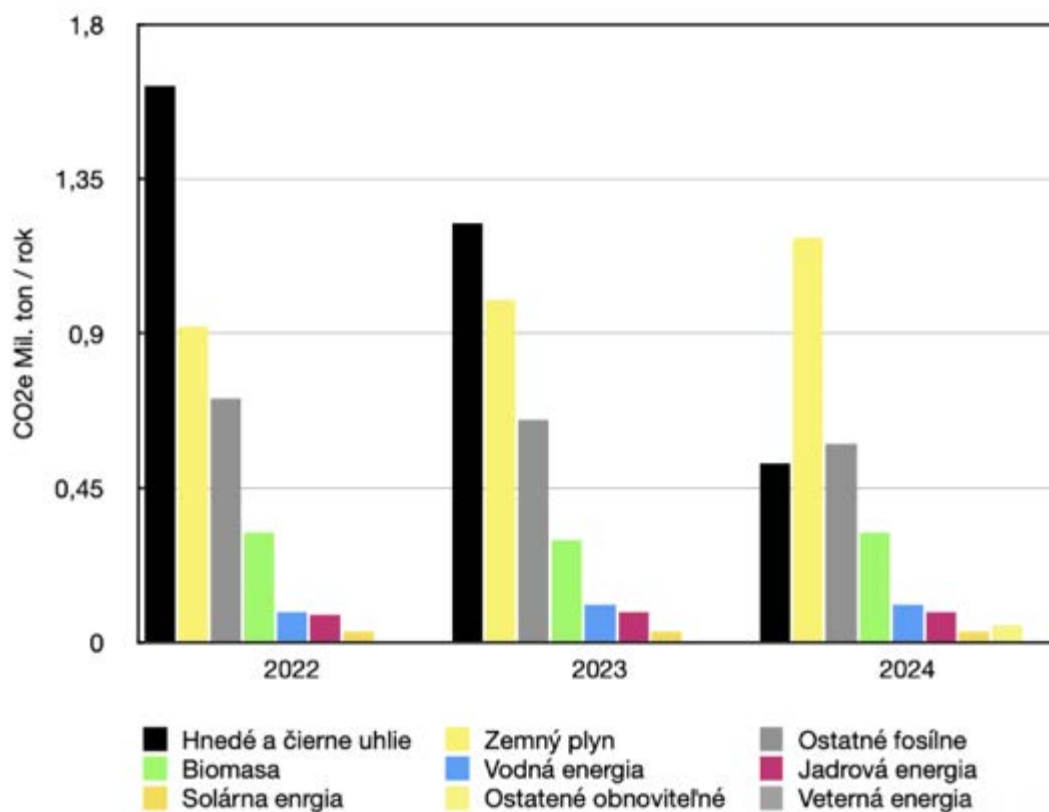
výmény starých 220 kV vedení za moderné 400 kV vedenia, čím sa zlepši kapacita a znížia energetické straty.

Aj v porovnaní s krajinami EÚ, ale aj krajinami regiónu sa radí Slovensko z hľadiska výroby elektrickej energie medzi šesť najmenších emitentov CO₂.



Obrázok 43: CO₂ intenzita výroby elektrickej energie v EÚ 2023

Zdroj: EMBER



Obrázok 44: Emisie CO₂ z výroby elektrickej energie v SR 2022 – 2024

Zdroj: EMBER (emisie v mil. t/rok)

Veterná, solárna alebo geotermálna energia produkujú výrazne menej emisií skleníkových plynov v porovnaní s fosílnymi palivami. Rovnako jadrová a vodná energia predstavujú lepšiu alternatívu v porovnaní s fosílnymi palivami počas celého životného cyklu.

V roku 2023 celkové emisie CO₂ z výroby elektrickej energie dosiahli úroveň 3,46 mil. t CO₂ a podiel emisií CO₂ z výroby elektriny na celkových emisiách dosiahol len 8,8 %. V SR násobne viac prispievajú k tvorbe emisií CO₂ výrobné odvetvia (priemysel), ako je výroba a spracovanie kovov, výroba cementu a iných materiálov alebo chemický priemysel. V sektore dopravy v SR emisie sa pravidelne zvyšujú a dlhodobo zodpovedá toto odvetvie za 18 % všetkých emisií skleníkových plynov, z čoho až 97 % predstavuje cestná doprava. Celkové antropogénne emisie skleníkových plynov Slovenskej republiky za rok 2023 dosiahli 39,26 mil. t CO₂.

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté emisie CO₂ z výroby z jadrovej energie a z OZE (slnčná energia, vodná energia a energia z biomasy) na Slovensku. Množstvo emisií za poslednú dekádu vzrástol na 0,55 mil. t CO₂ ročne, čo zodpovedá asi 15,9 % z celkových emisií výroby elektrickej energie a približne 38,9 mil. EUR v emisných povolenkách v systéme EÚ-ETS.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Emisie z jadrovej energie	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09
Emisie zo slnečnej energie	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Emisie z vodnej energie	0,09	0,1	0,12	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,11	0,1	0,09	0,11	0,11
Emisie z biomasy	0,18	0,2	0,2	0,31	0,36	0,37	0,37	0,35	0,37	0,36	0,4	0,32	0,3	0,32
Spolu	0,18	0,19	0,23	0,20	0,18	0,20	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,20	0,23	0,23
	0,36	0,39	0,43	0,51	0,54	0,57	0,56	0,54	0,57	0,57	0,61	0,52	0,53	0,55

Tabuľka 39: Emisie CO₂ z výroby elektrickej energie v SR 2011 – 2024

Zdroj: EMBER

Atómové elektrárne, obnoviteľné zdroje energie a emisie skleníkových plynov

Emisie skleníkových plynov v životnom cykle atómovej energie

Atómové elektrárne skleníkové plyny počas prevádzky priamo neprodukujú a elektrárne Jaslovské Bohunice (EBO) a Mochovce (EMO) nepredstavujú výrazný zdroj znečistenia ovzdušia. EBO nedisponuje veľkým zdrojom znečisťovania ovzdušia, a preto detailné údaje ich prevádzkovateľ nezverejňuje. Pre prvé dva bloky EMO sa tiež nepredpokladá prekročenie emisných limitov vypúšťaného znečistenia zo zdrojov, stanovených v rozhodnutí orgánu štátnej správy ochrany ovzdušia. Pri vplyve EMO na životné prostredie prichádzajú do úvahy emisie z plynových kotolní blokov 3 a 4, pri množstve spotrebovaného plynu okolo 4 082 m³.

Emisie z plynových kotlov EMO	[kg]
Tuhé znečisťujúce látky	0,310 kg
SO₂	0,037 kg
NO_x	6,050 kg
CO	2,443 kg
Celkový organický uhlík	0,407 kg

Tabuľka 40: Emisie z plynových kotlov EMO

Zdroj: Slovenské elektrárne, a.s. (2024)

Jadrová energetika Slovenska je však nepriamo spojená s emisiami vznikajúcimi v procese ťažby, spracovania a obohacovanie uránu (lisovanie, spekanie pri vysokých teplotách), prepravy jadrového paliva, ako aj s likvidáciou rádioaktívneho odpadu a samotnej výstavby nových kapacít (dokončenie 4. bloku EMO, plán nového bloku EBO s výkonom 1 200 MW, príp. modulárne reaktory). Spotreba uránu na Slovensku sa odvíja od počtu prevádzkovaných reaktorov. Jeden reaktor typu VVER-440 ročne spotrebuje 7 – 9 t uránového paliva¹¹⁰.

Dopady na tvorbu emisií v prípade Slovenska neboli doteraz podrobnejšie skúmané. Emisie jadrovej energie počas celého životného cyklu sa na celosvetovej úrovni odhadujú na 5,5 g CO₂/kWh. Väčšina týchto emisií sa vyskytuje v počiatočných fázach životného cyklu, ako sú ťažba uránovej rudy, jej spracovanie, obohacovanie uránu a výroba paliva. Elektrina z jadrových elektrární má najnižšiu CO₂ intenzitu výroby elektrickej energie spomedzi všetkých spomínaných zdrojov výroby elektriny.

Emisie skleníkových plynov v životnom cykle obnoviteľných zdrojov energie a emisie skleníkových plynov

Obnoviteľné zdroje energie (OZE), ako sú vodná energia, veterná energia, solárna energia a biomasa, neprodukurujú priame emisie skleníkových plynov počas prevádzky. V európskych podmienkach vykazujú jednotlivé technológie počas životného cyklu nasledovné hodnoty emisií skleníkových plynov, ako dokladá nasledujúca tabuľka.

Typ technológie	[g CO ₂ /kWh]
Fotovoltaické technológie / solárne panely	~ 37
Veterné turbíny na pevnine	7,8 – 16
Veterné turbíny na pobreží	12 – 23
Vodné elektrárne	6,1 – 11
Atómové elektrárne	5,5

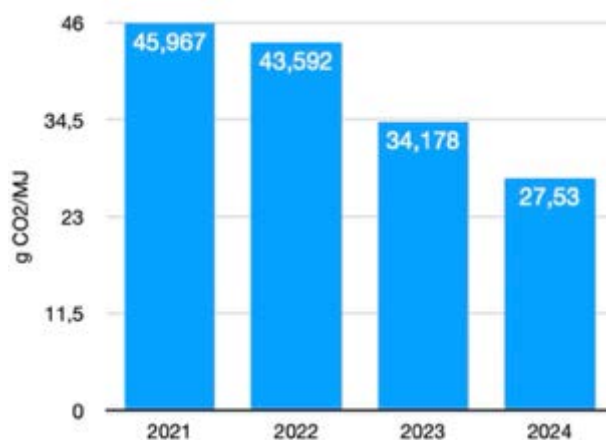
¹¹⁰ <https://www.seas.sk/o-nas/bezpecnost/jadrova-bezpecnost/jadrov-palivovy-cyklus/>

Počas životného cyklu dosahuje najnižšie emisie skleníkových plynov energia z atómových elektrární a vodných elektrární. Emisie z veternej energie sa líšia podľa umiestnenia veterných turbín na pevnine, alebo na pobreží.

Výroba obnoviteľného vodíka nebiologického pôvodu s využitím elektrickej energie zo siete

Ak sa elektrolyzér nachádza v ponukovej zóne, v ktorej sú emisie elektriny nižšie ako 64,8 g CO₂eq/kWh (18 g CO₂eq/MJ) tak sa elektrina z elektrickej siete v tejto ponukovej zóne dá použiť na výrobu obnoviteľného vodíka. Z EÚ-27 spĺňajú uvedené aktuálne len Francúzsko a Švédsko. Očakáva sa, že v najbližších rokoch toto kritérium splnia Fínsko, Slovensko, Belgicko, Lotyšsko, prípadne aj ďalšie štáty EÚ.

Pre rýchlejší rozvoj výroby vodíka na Slovensku je preto dôležité vyvíjať úsilie na zníženie intenzity emisií elektriny v ponukovej oblasti Slovenska pod 18 g CO₂eq/MJ. S dostatočným podielom OZE a jadra vo výrobný mixom elektriny v SR a pri súčasnom znížení podielu fosílnych palív na výrobe a dovoze elektriny bude možné splniť tento cieľ, ako ukazuje nasledovný obrázok.

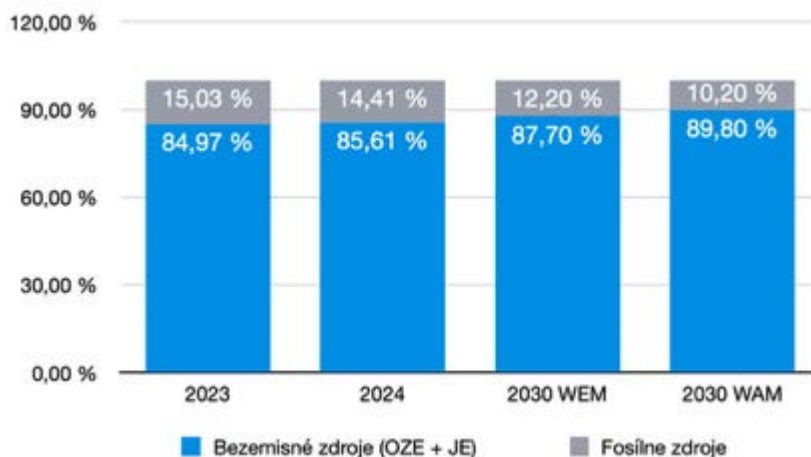


Obrázok 45: Vývoj emisného mixu výroby elektriny 2021-2023 a odhad na 2030

Zdroj: OKTE

Podľa aktualizácie Integrovaného národného energetického a klimatického plánu na roky 2021 – 2030¹¹¹ spolu so spustením 4. bloku jadrovej elektrárne v Mochovciach by emisie skleníkových plynov vo výrobnom mixe elektrickej energie mohli klesnúť pod 18 g CO₂/MJ, ako naznačuje nasledovný graf.

¹¹¹ Aktualizácia integrovaného národného energetického a klimatického plánu na roky 2021 – 2030. <https://www.slov-lex.sk/elegislativa/legislativne-procesy/SK/LP/2024/560>



Obrázok 46: Podiel fosílnych a bezemisných zdrojov elektriny v SR v 2023 a odhad na 2030

Zdroj: NVAS podľa návrhu Aktualizácie NEKP 2021 – 2030

4.3.3 Investície a inovácie v prenosovej a distribučnej sústave

Efektívne fungujúca prenosová a distribučná sústava je základným predpokladom pre prechod na modernú, nízkouhlíkovú a flexibilnú energetiku. V súčasnosti, keď Slovenská republika smeruje k posilneniu svojej energetickej nezávislosti a k zavedeniu nových technológií, vrátane využitia vodíka, nadobúdajú investície do elektrizačnej sústavy zásadný význam. Táto časť mapuje investičné plány a potrebu zavádzania inovácií v prenosovej a distribučnej sústave v spojitosti s rozvojom vodíkového hospodárstva na Slovensku.

Investičné priority a technologické smerovanie v prenosovej a distribučnej sústave sú v podmienkach Slovenska a EÚ predmetom strednodobých až dlhodobých plánov.

Prehľad základných investičných plánovacích dokumentov je v nasledujúcej tabuľke.

Aktér	Názov plánovacieho dokumentu
Ministerstvo hospodárstva SR / Ministerstvo životného prostredia	Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030
	Investičný plán do roku 2028 projektov investičného charakteru a koncesii (2023/1) ¹¹²
	Investičný plán do roku 2029 projektov investičného charakteru a koncesii ¹¹³
	Plán pripravenosti Slovenskej republiky na riziká v sektore elektrickej energie (2021, 2023)

¹¹² <https://www.economy.gov.sk/ministerstvo/centrum-pre-hospodarske-otazky/publikacie/investicne-plany/investicny-plan-do-roku-2028?csrt=13950877221538425492>

¹¹³ <https://www.economy.gov.sk/ministerstvo/centrum-pre-hospodarske-otazky/publikacie/investicne-plany/20241-investicny-plan-do-roku-2029?csrt=13950877221538425492>

	Určenie inštalovaného výkonu zariadení z OZE a KVET (2019 – 2024)
	Energetická politika Slovenskej republiky (2014)
Ministerstvo financií SR / Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s. (SEPS)	Desaťročný plán rozvoja prenosovej sústavy (DPRPS 2024 – 2034)
Slovenské elektrárne, a.s.	Investičný plán
Západoslovenská distribučná, a.s.	Plán rozvoja distribučnej sústavy 2024 – 2028 (2023) ¹¹⁴
Stredoslovenská distribučná, a.s.	Plán rozvoja distribučnej sústavy spoločnosti Stredoslovenská distribučná, a.s. na obdobie 2024 – 2028 ¹¹⁵
Východoslovenská distribučná, a.s.	Plán rozvoja sústavy na obdobie rokov 2024 – 2028
	Východoslovenská distribučná, a.s. ¹¹⁶

Tabuľka 42: Emisie z technológií OZE a atómovej energie

Zdroj: stengl, a.s., vlastný prieskum

Medzi hlavné priority patria investície do posilnenia infraštruktúry, z ktorých mnohé majú priamy dopad na rozvoj vodíkového hodnotového reťazca:

- zvýšenie kapacít siete v oblastiach s rastúcim podielom obnoviteľných zdrojov,
- budovanie flexibilných napájacích bodov pre elektrolyzéry na výrobu vodíka,
- digitálna transformácia sústavy vrátane implementácie pokročilých systémov riadenia,
- rozšírenie hraničných prepojení a zlepšenie interoperability s energetickými systémami susedných štátov.

Do roku 2034 je naplánované investovať takmer 900 mil. EUR, z čoho približne 90 % bude alokovaných na výstavbu, modernizáciu a rekonštrukciu vedení a transformačných staníc.

4.3.3.1 Investičné priority a technologické smerovanie

Nasledujúca tabuľka obsahuje prehľad väčšiny hlavných realizovaných projektov v oblasti prenosovej a distribučnej sústavy na Slovensku za roky 2019 – 2023, ktoré sú relevantné pre vodíkový hodnotový reťazec.

Názov projektu	Popis a cieľ	Odhadované náklady	Plánované obdobie realizácie	Význam pre H ₂ reťazec

¹¹⁴ https://www.urso.gov.sk/data/files/824_plan-rozvoja_zsd_na-web.pdf

¹¹⁵ https://www.urso.gov.sk/data/files/1078_826_plan-rozvoja_ssd_na-web.pdf

¹¹⁶ https://www.urso.gov.sk/data/files/1080_828_plan-rozvoja_vsd_na-web.pdf

Projekt Danube InGrid	Inteligentné siete pre lepšiu integráciu OZE v spolupráci s Maďarskom, vrátane smart manažmentu.	Neuvedené	2020 – 2030	Príprava sústavy na variabilné zaťaženie vrátane spotreby z elektrolyzéro
Projekt ACON	Zlepšenie cezhraničnej spolupráce a modernizácia distribučnej infraštruktúry (kabelizácia, trafostanice).	182 mil. EUR (50 % financované z EÚ)	2020 – 2025	Zlepšenie stability distribučnej sústavy umožňujúcej pripojenie nových technológií vrátane H ₂
Inštalácia batériových úložísk v pilotných lokalitách	Testovanie a nasadenie batériových úložísk na stabilizáciu distribučnej sústavy v kombinácii s OZE	Neuvedené	2021 – 2023	Podpora stability siete pre kolísavé zaťaženie pri využívaní vodíkových systémov

Slovenská elektrizačná prenosová sústava (SEPS)

Výmena transformátorov TR404 a TR405 v SE Stupava	Výmena starých transformátorov v rámci SEPS za účelom zvýšenia spoľahlivosti a kapacity prenosovej sústavy.	Neuvedené	2022	Zlepšenie prevádzkovej stability siete potrebnej pre inštaláciu elektrolyzéro.
Inštalácia kompenzačných tlmiviek 400 kV v SE Bystričany	Zlepšenie napäťovej stability a zníženie strát v	Neuvedené	2021	Podpora efektívnejšej prevádzky sústavy, čo zvyšuje odolnosť voči zaťaženi

	prenosovej sústave			vrátane vodíkových technológií.
Modernizácia radiaceho systému SEPS v dispečerskom centre	Zavedenie nového SCADA systému pre riadenie prenosovej sústavy	Neuvedené	2020 – 2023	Zlepšenie flexibility riadenia sústavy umožňuje dynamické reakcie na spotrebu a výrobu vrátane H ₂ .
Slovenské elektrárne				
Zvýšenie výkonu v jadrovej elektrárni Mochovce 3	Dokončenie a sprevádzkovanie tretieho bloku elektrárne	6 mld. EUR (celkový projekt)	2022	Posilnenie bezemisného zdroja elektriny vhodného pre napájanie H ₂ elektrolyzérův.

Tabuľka 43: Projekty v rámci prenosovej a distribučnej sústavy

Zdroj: MH SR, ÚRSO, SEPS

Nasledujúca tabuľka obsahuje prehľad vybraných plánovaných projektov v oblasti prenosovej a distribučnej sústavy, ktoré sú relevantné pre vodíkový hodnotový reťazec. Tieto projekty sú zamerané na modernizáciu a rozvoj infraštruktúry s cieľom podporiť integráciu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) a zabezpečiť flexibilitu a spoľahlivosť energetickej siete, čo je kľúčové pre rozvoj vodíkovej ekonomiky.

Názov projektu	Popis a cieľ	Odhadované náklady	Plánované obdobie realizácie	Význam pre H ₂ reťazec
Slovenská elektrizačná prenosová sústava (SEPS)				
Modernizácia a digitalizácia prenosovej a distribučnej sústavy	Investícia z Plánu obnovy a odolnosti SR zameraná na modernizáciu 250 km prenosových vedení a zvýšenie kapacity distribučnej sústavy pre integráciu OZE.	125 mil. EUR	do roku 2026	Zvýšenie kapacity a flexibility sústavy pre integráciu vodíkových technológií a decentralizovaných zdrojov energie

Výmena transformátorov a kompenzačné opatrenia	Zvýšenie efektívnosti, kapacity a stability prostredníctvom výmeny transformátorov a kompenzačných tlmiviek.	Neuvedené	2023 – 2030	Podpora stability siete potrebnej pre variabilnú záťaž a decentralizovanú výrobu
Opatrenia na zvýšenie kybernetickej bezpečnosti prenosovej sústavy	Komplexný súbor opatrení vrátane revízie riadiacich systémov, bezpečnostného monitoringu OT a obmedzenia vzdialených prístupov ako reakcia na identifikované riziká kybernetických útokov.	Neuvedené	2023 – 2030	Zvýšenie spoľahlivosti a odolnosti prenosovej sústavy voči výpadkom, čo je kľúčové pre bezpečnú prevádzku zariadení na výrobu a využitie H ₂
Západoslovenská distribučná, a.s.				
Projekt Danube InGrid	Inteligentné siete pre lepšiu integráciu OZE v spolupráci s Maďarskom, vrátane smart manažmentu.	Neuvedené	2020 – 2030	Príprava sústavy na variabilné zaťaženie vrátane spotreby z elektrolyzérův
Projekt ACON	Zlepšenie cezhraničnej spolupráce a modernizácia distribučnej infraštruktúry (kabelizácia, trafostanice).	182 mil. EUR (50 % financované z EÚ)	2020 – 2025	Zlepšenie stability distribučnej sústavy umožňujúcej pripojenie nových technológií vrátane H ₂
Modernizácia a rozvoj distribučnej sústavy ZSD	Projekt zameraný na modernizáciu a rozvoj distribučnej sústavy v oblasti Západoslovenského regiónu, vrátane výmeny zastaraných zariadení, zvyšovania kapacity a spoľahlivosti siete.	Neuvedené	2024 – 2028	Zlepšenie infraštruktúry distribučnej siete podporuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie a tým aj rozvoj vodíkového reťazca.
Stredoslovenská distribučná, a.s.				
Modernizácia regionálnej distribučnej sústavy SSD	Projekt zameraný na zvýšenie prenosovej kapacity distribučnej sústavy, podporu integrácie obnoviteľných zdrojov energie, rozvoj zariadení na uskladňovanie elektriny a elektrifikáciu dopravy.	Neuvedené	2024 – 2028	Zlepšenie infraštruktúry distribučnej siete podporuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie a tým aj rozvoj vodíkového reťazca.

Modernizácia a rozvoj distribučnej sústavy VSD	Projekt zameraný na modernizáciu a rozvoj distribučnej sústavy v oblasti Východoslovenského regiónu, vrátane výmeny zastaraných zariadení, zvyšovania kapacity a spoľahlivosti siete.	Neuvedené	2024 – 2028	Zlepšenie infraštruktúry distribučnej siete podporuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie a tým aj rozvoj vodíkového reťazca.

Distribučné spoločnosti (ZSD, SSD, VSD) a SEPS

Zvýšenie kapacity pripojenia zariadení na výrobu elektriny z OZE a KVET	Umožnenie pripojenia nových výrobných zariadení OZE a KVET na distribučnú a prenosovú sústavu zvýšením dostupnej kapacity a flexibilnej prevádzky sústav.	Neuvedené	2024 – 2026	Rozšírenie kapacity sústavy je kľúčové pre integráciu elektrolyzérův ako nových odberateľov elektriny z OZE

Tabuľka 44: Plánované projekty v prenosovej a distribučnej sústave

Zdroj: MH SR, ÚRSO, SEPS

SEPS plánuje v nasledujúcej dekáde preinvestovať približne 866 miliónov eur do rozvoja a modernizácie prenosovej sústavy. Tieto investície sú zamerané na zvýšenie prenosovej kapacity, integráciu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) a zabezpečenie spoľahlivosti dodávok elektrickej energie. Financovanie týchto projektov je zabezpečené kombináciou vlastných zdrojov SEPS, úverových prostriedkov a príspevkov z európskych fondov.

Tieto investície sú kľúčové pre zabezpečenie spoľahlivého a efektívneho prenosu elektrickej energie, integráciu obnoviteľných zdrojov energie a podporu cezhraničnej spolupráce v oblasti energetiky.

Súvislosť s vodíkovým hodnotovým reťazcom

Rozšírenie a modernizácia prenosovej sústavy priamo ovplyvňuje možnosti výroby, distribúcie a využitia vodíka. Medzi hlavné prínosy patria:

- Zabezpečenie dostupnosti elektriny pre elektrolyzéry vyrábajúce vodík zo siete.
- Zvýšenie flexibility systému, čo je nevyhnutné pre prepájanie elektrizačnej a vodíkovej infraštruktúry.
- Zlepšenie regionálneho napojenia pre nových odberateľov vodíka, ako sú priemyselné podniky a čerpacie stanice na vodík.

Inteligentné siete (smart grids) a flexibilita systému

Súčasťou modernizácie elektrizačnej sústavy je aj postupné zavádzanie prvkov inteligentných sietí (smart grids). Tieto technológie spájajú digitálne riadenie, automatizáciu a dátové prepojenie medzi jednotlivými článkami energetického reťazca, čím zvyšujú jeho odolnosť a flexibilitu.

Z pohľadu rozvoja vodíkového hodnotového reťazca zohrávajú smart grid riešenia kľúčovú úlohu najmä pri:

- efektívnom prepájaní prenosovej a distribučnej sústavy (TSO–DSO spolupráca),
- podpore optimalizovanej prevádzky elektrolyzérův na výrobu vodíka,
- využívaní dát pre predikciu spotreby a výroby elektriny z OZE,
- zvyšovaní systémovej flexibility a vyrovnávania výkyvův v reálnom čase.

Na Slovensku sa prvé implementácie smart grid technológií realizovali v rámci distribučných sústav, avšak v súlade s európskymi energetickými politikami sa postupne pripravuje ich prepojenie s prenosovou infraštruktúrou. Tento vývoj je nevyhnutný pre zabezpečenie stabilného napájania elektrolyzérův a pre podporu sektorového prepojenia v rámci transformácie energetiky.

Slovenskí prevádzkovatelia prenosovej a distribučných sústav realizujú viaceré strategické projekty zamerané na modernizáciu infraštruktúry, implementáciu digitálnych technológií a zvýšenie flexibility sústavy.

Investície Západoslovenskej distribučnej (ZSD)

ZSD realizuje významné investície do modernizácie distribučnej infraštruktúry. V roku 2024 investovala do výstavby novej Elektrickej stanice Vajnory a súvisiacich elektrických vedení viac než 30 mil. eur, s mierou spolufinancovania EÚ vo výške 35 %. Nová elektrická stanica výrazne prispeje k zabezpečeniu budúcich potrieb napájania severnej časti Bratislavy a umožní pripájanie nových zákazníkov v tejto oblasti. Zároveň zvýši kvalitu pripojenia existujúcich zákazníkov a kapacitu pre pripájanie obnoviteľných zdrojův, ako aj pre rozvoj elektromobility a nabíjacej infraštruktúry.

Iniciatívy Východoslovenskej distribučnej (VSD)

VSD sa zameriava na modernizáciu distribučnej sústavy s dôrazom na integráciu obnoviteľných zdrojův energie a zvyšovanie kvality dodávok elektriny. V rámci projektu Danube InGrid plánuje VSD implementovať inteligentné prvky zamerané na bezpečnosť prevádzky, modernizáciu siete, e-mobilitu, inteligentné meranie a komunikačné zariadenia. VSD tiež realizuje výstavbu nových transformačných staníc a modernizáciu

existujúcich zariadení, čo prispeje k zvýšeniu spoľahlivosti a efektivity distribučnej sústavy na východnom Slovensku.

Aktivity Stredoslovenskej distribučnej (SSD)

SSD implementuje inteligentné meracie systémy (IMS) v súlade s legislatívnymi požiadavkami EÚ. Inštalácia IMS umožňuje koncovým odberateľom elektriny sledovať svoju spotrebu v priebehu dňa a podľa toho meniť a regulovať spotrebiteľské návyky, čo môže prispieť k úspore elektriny. SSD tiež upozorňuje na potrebu stabilného regulačného rámca a podporných finančných mechanizmov, ktoré umožnia rozšíriť a modernizovať distribučnú sústavu nízkeho napätia v potrebnej miere bez zásadného tlaku na tarifný systém.

Zapojenie ďalších kľúčových aktérov

Slovenská elektrizačná prenosová sústava (SEPS)

SEPS ako správca národnej prenosovej sústavy zohráva kľúčovú úlohu pri integrácii obnoviteľných zdrojov a veľkých elektrolyzéroch do siete. Prostredníctvom digitálneho dispečingu, riadenia záťaže a spolupráce s ENTSO-E podporuje vznik inteligentnej, flexibilnej a bezpečnej energetickej infraštruktúry. SEPS zároveň umožňuje efektívne prepojenie výroby a spotreby vodíka v priemyselnom meradle.

Slovenské elektrárne (SE, a.s.)

Ako najväčší výrobca elektriny na Slovensku prevádzkujú nízkouhlíkové zdroje, vhodné na využitie na výrobu obnoviteľného vodíka. V rámci svojich energetických centier zvažujú integráciu elektrolyzéroch, ktoré môžu slúžiť ako významný stabilizačný prvok v sieti.

Priemyselní partneri: U. S. Steel, Duslo, Slovnaft

Veľkí priemyselní odberatelia môžu byť významnými producentmi aj spotrebiteľmi vodíka. Ich elektrolyzéry môžu byť napájané priamo z distribučnej alebo prenosovej sústavy, s možnosťou poskytovania flexibility späť do siete. Majú významný význam z hľadiska pilotného testovania sektorovej integrácie.

Železnice Slovenskej republiky (ŽSR)

ŽSR zavádzajú digitálne systémy riadenia dopravy a pripravujú podmienky pre vodíkové vlaky na neelektrifikovaných tratiach. Pre tieto účely budú potrebovať nové napájacie miesta a stabilné prepojenie na elektrickú sústavu. Smart grid technológie umožnia optimalizovať spotrebu a zabezpečiť vysokú kvalitu dodávky energie pre elektrolyzéry alebo nabíjacie stanice.

Slovenský plynárenský priemysel (SPP)

SPP rozvíja projekty integrácie vodíka do plynárenskej infraštruktúry (napr. H2-blending). Zároveň plánuje využitie elektriny z OZE pre výrobu obnoviteľného vodíka v decentralizovaných lokalitách. Na realizáciu projektov je potrebné flexibilné a spoľahlivé napojenie na inteligentnú elektrickú sústavu.

Agregátori a technologickí inovátori

Startupy a softvérové firmy na Slovensku sa špecializujú na riadenie flexibility, optimalizáciu spotreby, zber energetických dát a prevádzku úložísk. Môžu významne prispieť k decentralizovanému riadeniu výroby vodíka a jeho integrácii do distribučnej siete (napr. FUERGY, ENERMAN).

Akademické a výskumné inštitúcie

Tieto inštitúcie zabezpečujú výskum a vývoj v oblasti smart grid riešení, IMS, riadenia OZE a integrácie vodíkových technológií do siete. Súčasne slúžia ako expertné a inovačné centrá pri navrhovaní systémových riešení sektorovej integrácie a digitálnej transformácie energetiky.

Význam inteligentných sietí pre vodíkovú infraštruktúru

Implementácia inteligentných sietí predstavuje neoddeliteľnú súčasť pre efektívne využitie elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov na výrobu obnoviteľného vodíka prostredníctvom elektrolýzy. Flexibilita a digitalizácia prenosovej a distribučnej sústavy umožní optimalizáciu spotreby elektriny, integráciu decentralizovaných výrobných zdrojov a zabezpečenie spoľahlivosti dodávok pre elektrolýzery.

Tým sa vytvára základ pre rozvoj komplexného hodnotového reťazca výroby, prepravy, zhodnocovania a ďalšieho využitia vodíka na Slovensku.

Slovenská prenosová sústava stojí pred najväčšou modernizačnou vlnou za posledné desaťročia. Naplánované investície a inovácie nielen zvyšujú spoľahlivosť a efektivitu elektrizačného systému, ale zároveň pripravujú infraštruktúru na integráciu nízkouhlíkových technológií vrátane vodíka. Vďaka kombinácii národných opatrení a európskych zdrojov má Slovensko príležitosť vybudovať energetickú infraštruktúru, ktorá bude schopná reagovať na výzvy 21. storočia.

Oblasť	Odporúčania
Investície do infraštruktúry	• Posilniť prenosovú kapacitu v regiónoch s vysokým podielom OZE • Zabezpečiť flexibilné napájacie body pre elektrolýzery
Modernizácia transformačných staníc	• Realizovať plánované projekty (Senica, Ladce) • Zlepšiť spoľahlivosť a znížiť straty v sústave
Digitalizácia a diaľkové riadenie	• Zaviesť inteligentné systémy riadenia a monitoringu • Podporiť TSO–DSO integráciu pre efektívnejšiu prevádzku

Smart grids a flexibilita	• Podporiť rozvoj inteligentných sietí na prepojenie elektrickej a vodíkovej infraštruktúry • Využívať prediktívne riadenie spotreby a výroby elektriny
Financovanie a EÚ podpora	• Využiť Plán obnovy SR, CEF a Modernizačný fond • Identifikovať projekty vhodné pre PCI status
Prepojenie s vodíkovým reťazcom	• Zabezpečiť stabilné napájanie pre výrobu vodíka • Posilniť prepojenia pre nové H₂ odberné miesta

Tabuľka 45: Odporúčania pre rozvoj prenosovej sústavy do roku 2030

Zdroj: SEPS

4.3.3.2 Prenos zelenej energie cez prenosovú a distribučnú sústavu

Zavádzanie vodíkových technológií v Slovenskej republike si vyžaduje efektívne a stabilné zabezpečenie dodávok elektrickej energie pre elektrolyzéry, ktoré predstavujú kľúčové technologické zariadenia pri výrobe vodíka prostredníctvom elektrolýzy vody. Vzhľadom na vysokú energetickú náročnosť tohto procesu a požiadavku na minimálnu uhlíkovú stopu dodávanej energie, zohráva elektrická prenosová a distribučná sústava zásadnú úlohu pri umožnení rozvoja udržateľného vodíkoveho hospodárstva.

Možnosti zabezpečenia elektrickej energie pre elektrolyzéry je cez priame napojenie, alebo pripojenie cez sieť. Ich stručná charakteristika je v nasledujúcej tabuľke.

Spôsob pripojenia	Charakteristika	Výhody	Nevýhody
Priame napojenie (off-grid)	Pripojenie priamo na OZE mimo siete (kolokácia)	Nízka uhlíková stopa, energetická nezávislosť	Nestabilita výroby, vysoké investičné náklady, potreba lokálnej infraštruktúry
Pripojenie cez sieť (on-grid)	Napojenie elektrolyzéra na distribučnú/prenosovú sieť	Flexibilita, dostupnosť, možnosť PPA kontraktov, stabilita prevádzky	Vyššie náklady, závislosť od mixu zdrojov, regulačné obmedzenia

Tabuľka 46: Možnosti zabezpečenia elektrickej energie pre elektrolyzéry

Zdroj: stengl, a.s

Výhody, nevýhody a riziká pripojenia elektrolyzéro v na elektrickú sústavu:

Výhoda	Popis
Flexibilita prístupu k zdrojom	Možnosť čerpať elektrinu z rôznych zdrojov
Vyšší kapacitný faktor	Lepšie využitie elektrolyzéro v znižuje jednotkové náklady
Cenová optimalizácia	Nákup elektriny v čase nízkej trhovej ceny
Vyššia spoľahlivosť	Ochrana pred výpadkami a výkyvmi výroby z OZE

Jednoduchšie splnenie kritérií EÚ	Vyhovuje požiadavkám na doplnkovosť a časovú/geografickú koreláciu
Záložný zdroj	Sieť ako podpora pri výpadku lokálneho zdroja

Tabuľka 47: Výhody pripojenia elektrolyzérův na elektrickú sústavu

Zdroj: stengl, a.s

Nevýhoda	Popis
Vyššie náklady na elektrinu	Vrátane distribučných a systémových poplatkov
Vyššia uhlíková intenzita	Mix zdrojov môže zahŕňať významný podiel fosílnych palív
Kapacitné/technické obmedzenia siete	Nedostatok kapacity v niektorých regiónoch
Energetické straty	Technické straty pri prenose elektriny
Komplexnejšia regulácia	Vyššie požiadavky na monitoring, komunikáciu a koordináciu s TSO/DSO

Tabuľka 48: Nevýhody pripojenia elektrolyzérův na elektrickú sústavu

Zdroj: stengl, a.s

Regulačný rámec EÚ pre obnoviteľný vodík:

Kritérium	Požiadavka podľa EÚ delegovaných aktov	Platnosť
Dodatkovosť	Elektrina pre vodík musí pochádzať z nového obnoviteľného zdroja	Výnimka: existujúce OZE môžu byť pripojené k elektrolyzéru pred 1. januárom 2028 až do 1. januára 2038, potom ich nahradiť novým OZE alebo modernizovať v miere viac ako 30%
Časová korelácia	Súlad výroby a spotreby elektriny v rovnakom časovom rámci	Mesačne do 31. decembra 2029, hodinovo od 2030
Geografická korelácia	OZE a elektrolyzér musia byť v rovnakom alebo prepojenom regióne	Trvalo

Tabuľka 49: Regulačný rámec EÚ pre obnoviteľný vodík

Zdroj: stengl, a.s

Prenosová a distribučná sústava predstavuje nevyhnutnú súčasť rozvoja vodíkových technológií na Slovensku. Pripojenie elektrolyzérův na elektrickú sieť umožňuje lepšiu integráciu do energetického systému, zvyšuje ich efektivitu a flexibilitu, no zároveň si vyžaduje

dôsledné plánovanie s ohľadom na technické limity siete, ekonomické náklady a environmentálne ciele. Voľba medzi pripojením na sieť a priamou kolokáciou s OZE bude závisieť od lokálnych podmienok, dostupnosti infraštruktúry a požiadaviek na dekarbonizáciu výrobného procesu.

4.3.3.3 Integrácia existujúcich a nových kapacít obnoviteľných zdrojov energie

Ministerstvo hospodárstva SR podľa platnej legislatívy určuje a zverejňuje na svojom webovom sídle inštalovaný výkon nových zariadení na výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov energie, na ktoré sa vzťahuje podpora¹¹⁷. Pre roky 2019 – 2024 bolo stanovené, že sieť má pripojiť tieto nové kapacity z OZE (nových kapacít z fotovoltických a veterných elektrární).

Inštalovaný výkon [MW] /rok	2019	2020	2021	2022	2023	2024
OZE	12	15	12	25	24	40

Tabuľka 50: Inštalovaný výkon z nových kapacít OZE

Zdroj: MH SR - Určenie inštalovaného výkonu zariadení z OZE a KVE

Transformácia energetického sektora SR na nízkouhlíkové hospodárstvo si vyžaduje rozsiahle zmeny v štruktúre výrobných kapacít, najmä so zreteľom na zvyšovanie podielu OZE) S rastúcim významom zeleného vodíka ako flexibilného energetického nosiča je kľúčové analyzovať schopnosť elektrickej prenosovej sústavy efektívne integrovať nové aj existujúce OZE kapacity s cieľom zabezpečiť stabilitu systému a umožniť ich maximálne využitie pre elektrolýzu vody.

Slovenská prenosová sústava, prevádzkovaná spoločnosťou Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s. (SEPS), je historicky dimenzovaná na centrálny model výroby s dominantným zastúpením jadrových, tepelných a vodných elektrární. Z tohto dôvodu čelí sieť výzvam spojeným s rastúcim počtom decentralizovaných obnoviteľných zdrojov, najmä fotovoltických a veterných elektrární, ktoré majú variabilnú a ťažko predikovateľnú dodávku elektriny do sústavy. Zvládnutie týchto výziev si vyžaduje nielen technické posilnenie prenosovej a distribučnej infraštruktúry, ale aj pokročilú prevádzkovú koordináciu a flexibilitu systémových služieb.

Základným predpokladom úspešnej integrácie nových kapacít OZE je ich lokalizácia s ohľadom na prenosové možnosti a dostupnú infraštruktúru. Pri plánovaní elektrolýz na výrobu vodíka zo zelenej elektriny je žiaduce zohľadniť synergické efekty: umiestnenie elektrolýtických jednotiek v blízkosti zdrojov OZE znižuje záťaž siete a minimalizuje straty. Zároveň elektrolýzery môžu pôsobiť ako flexibilné zaťaženie, ktoré napomáha vyrovnávať krátkodobé výkyvy vo výrobe elektriny z obnoviteľných zdrojov.

¹¹⁷ § 14 ods. 1 písm. e) (Zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov)

Z analýz SEPS vyplýva potreba modernizácie a rozšírenia prenosových kapacít, vrátane rozvoja uzlových bodov a transformátorových staníc, najmä v regiónoch s vysokým potenciálom OZE. Významná je aj úloha inteligentného riadenia záťaže a zavádzania digitálnych technológií na úrovni distribučných sústav (smart grid riešenia), ktoré umožnia obojsmernú komunikáciu medzi výrobcami a spotrebiteľmi a podporia decentralizované modely výroby a spotreby (napr. TYNDP 2022 a Národný investičný plán rozvoja prenosovej sústavy).

Ďalším aspektom integrácie je regulačná a trhová podpora. Pre úspešné zapojenie nových kapacít je potrebné zosúladiť investičné a prevádzkové stimuly s cieľmi dekarbonizácie a energetickej bezpečnosti. Vhodné nastavenie regulačného rámca (napr. zjednodušenie povolovacích procesov, systém garantovaných výkupných cien alebo aukcií) zohráva zásadnú úlohu pri mobilizácii investícií do OZE a súvisiacich vodíkových technológií.

V kontexte vývoja vodíkového hospodárstva má Slovensko potenciál vytvoriť lokálne hodnotové reťazce, v ktorých OZE kapacity slúžia ako primárny zdroj energie pre výrobu vodíka, pričom elektrická prenosová sústava plní funkciu integrátora medzi decentralizovanými výrobcami, skladovacími kapacitami a koncovými odberateľmi. Zároveň je potrebné dbať na koordináciu s okolitými štátmi a nadnárodnými iniciatívami, keďže elektrizačné sústavy a trhy s energiou sú úzko prepojené a vývoj v jednej krajine má priamy dopad na regionálnu stabilitu.

4.3.3.4 Medzinárodná spolupráca a partneri Slovenska

Rozvoj vodíkového hospodárstva na Slovensku bude v najbližších rokoch neoddeliteľne spätý s európskym a globálnym energetickým prostredím. Slovensko participuje ako členský štát Európskej únie na spoločnej energetickej politike, ktorá sa odráža v konkrétnych strategických cieľoch a projektoch v oblasti dekarbonizácie, diverzifikácie zdrojov a energetickej bezpečnosti. Efektívne zapojenie Slovenska do medzinárodných iniciatív je kľúčové pre budovanie udržateľného, konkurencieschopného a prepojeného vodíkového hodnotového reťazca, s využitím elektrickej prenosovej a plynárenskej infraštruktúry.

Európska energetická únia a jej význam pre Slovensko

Energetická únia bola predstavená pred desiatimi rokmi Európskou komisiou. Únia ňou reagovala na potreby prehĺbiť integráciu energetických trhov a znížiť závislosť od dovozu fosílnych palív. Opiera sa o päť základných pilieroch: energetická bezpečnosť, integrácia trhu, energetická efektívnosť, dekarbonizácia a výskum a inovácie.

Slovensko plne participuje na týchto cieľoch prostredníctvom Národného energetického a klimatického plánu (NEKP), kde je rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, nízkouhlíkových technológií a inteligentnej infraštruktúry explicitne vymedzený ako priorita. Vodík vyrobený prostredníctvom elektrolýzy z obnoviteľných zdrojov je považovaný za nosný prvok transformácie energetiky, priemyslu a dopravy.

Prostredníctvom nástrojov ako CEF (Connecting Europe Facility), Modernizačný fond a Inovačný fond získava Slovensko prístup k investičným zdrojom na rozvoj infraštruktúry pre elektrolyzéry, prepojenia medzi elektrickými sieťami, vodíkové zásobníky a konverziu existujúcich plynovodov na prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka.

Strategické cezhraničné partnerstvá

Slovensko aktívne buduje partnerstvá so susednými a ďalšími európskymi krajinami za účelom integrácie do vznikajúcej paneurópskej vodíkovej infraštruktúry. Kľúčové iniciatívy, na ktorých sa Slovensko podieľa, sú:

- H₂EU+Store – medzinárodné partnerstvo zamerané na výrobu obnoviteľného vodíka na Ukrajine a jeho sezónne skladovanie a prepravu cez Slovensko do Rakúska a Nemecka. Projekt zahŕňa konverziu existujúcich plynovodov a budovanie nových kapacít pre elektrolytickú výrobu vodíka.
- Stredoeurópsky vodíkový koridor – spoločný projekt prevádzkovateľov prepravných sústav z Nemecka, Rakúska, Česka, Slovenska a Ukrajiny, ktorý má do roku 2030 zabezpečiť vysokokapacitnú prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka cez strednú Európu.
- European Hydrogen Backbone (EHB) – paneurópska iniciatíva s cieľom vybudovať do roku 2040 cezhraničnú sieť pre distribúciu vodíka, do ktorej je Slovensko integrované ako tranzitná krajina.

Spolupráca s priemyslom a výskumným sektorom

Slovensko sa podieľa aj na projektoch súkromno-verejného partnerstva. Významným príkladom je spolupráca spoločností RWE, EP Infrastructure, EUSTREAM a NAFTA, ktoré podpísali memorandum o porozumení na vývoj infraštruktúry pre výrobu tzv. modrého vodíka východne od Slovenska.

Na úrovni výskumu sa Slovensko angažuje v rozvoji Centra pre výskum vodíkových technológií (CRHV) v Košiciach. Centrum sa zameriava na testovanie nových palivových článkov, optimalizáciu elektrolýznych technológií a integráciu vodíkových systémov do existujúcej energetickej sústavy.

Bilaterálne a transatlantické partnerstvá

V roku 2023 Slovensko podpísalo so Spojenými štátmi americkými Spoločné vyhlásenie o energetickej spolupráci, ktoré zahŕňa aj oblasti čistej energie, vývoja vodíkových technológií a výmeny know-how.

Slovensko sa tiež zapája do regionálnych fór ako CESEC a Pentalaterálne energetické fórum, kde sa preberajú otázky spoločného plánovania elektrickej a plynárenskej infraštruktúry, harmonizácie regulačných rámcov a štandardizácie pre vodíkovú technológiu.

Význam spolupráce pre vodíkový hodnotový reťazec

Medzinárodná spolupráca umožňuje Slovensku:

- zabezpečiť diverzifikáciu dodávok energie a znížiť závislosť od fosílnych palív;
- využiť tranzitný potenciál krajiny pre export/import vodíka;
- financovať vývoj domácich kapacít (elektrolyzéry, úložiská, siete);
- harmonizovať právne a technické normy s ostatnými štátmi;
- získať prístup k najmodernejším technológiám a poznatkom.

Oblasť	Konkrétne odporúčania
Strategické ukotvenie v európskej infraštruktúre	• Zapojenie sa do projektov PCI (napr. H₂EU+Store, EHB) • Adaptácia plynovodov na H₂-ready režim
Cezhraničná energetická spolupráca	• Spolupráca so susedmi (AT, CZ, UA) • Aktívna účasť v CESEC a Pentalaterálnom fóre
Verejno-súkromné partnerstvá (PPP)	• Podpora pilotných projektov v spolupráci s priemyslom • Zavedenie stimulov pre H₂ investície
Prístup k financovaniu EÚ	• Maximalizácia čerpania z fondov (CEF, Modernizačný fond, Innovation Fund, Horizon Europe) • Zriadenie národného H₂ koordinačného bodu
Výskum a inovácie	• Posilnenie CRHV a zapojenie do európskych klastrov • Prepojenie výskumu, univerzít a priemyslu
Regulačná a technická pripravenosť	• Vytvorenie regulačného rámca pre H₂ • Harmonizácia so štandardmi EÚ a zavedenie certifikácie

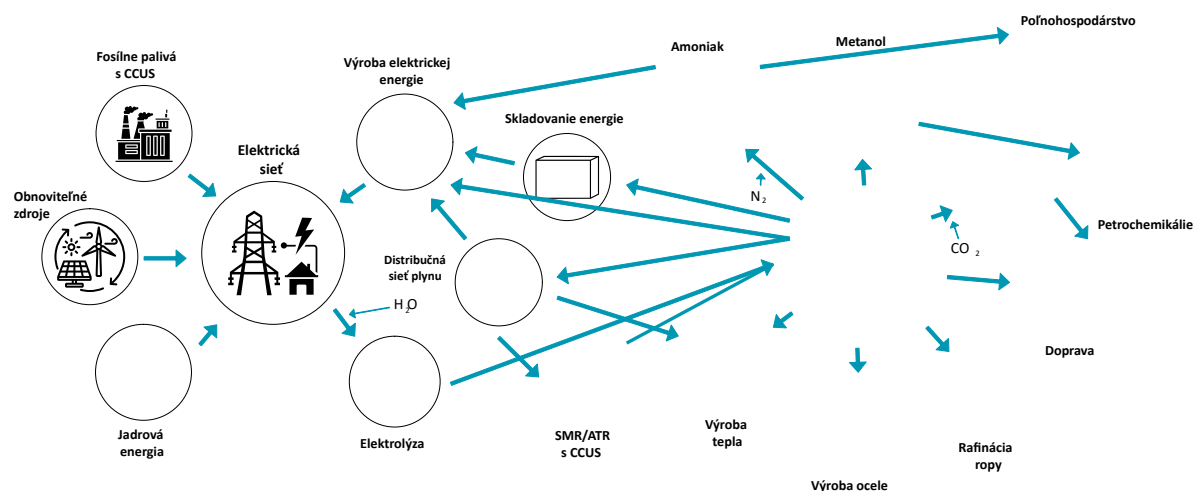
Tabuľka 51: Odporúčania pre medzinárodnú spoluprácu SR

Zdroj: stengl, a.s

4.3.4 Podporné služby pre elektrickú sieť

Podporné služby pre elektrickú sieť zahŕňajú plynové špičkové elektrárne ktoré spaľujú vodík na výrobu elektrickej energie s vysokou flexibilitou a krátkou reakciou na zmenu situácie v elektrickej sieti.

V kontexte Slovenskej elektrizačnej prenosovej sústavy (SEPS) by vodík mohol poskytovať regulačné služby ako aFRR+, aFRR-, mFRR+, a mFRR-, ktoré sú potrebné na vyrovňovanie a stabilizáciu siete. Vodík má tiež potenciál fungovať ako "priemyselná batéria", čo znamená, že by mohol efektívne uskladňovať prebytočnú energiu a uvoľňovať ju, keď je potrebná, čím by prispel k väčšej flexibilitě a stabilite energetického systému.



Obrázok 47: Diagram vzťahu medzi vodíkom a sektormi energetiky a priemyslu

Zdroj: stengl a.s. (na základe ilustrácie U.S. Department of Energy)

4.3.5 Energetické obstarávanie

V tejto časti sa analyzujú možnosti energetického obstarávania v súvislosti s efektívnou a udržateľnou výrobou vodíka.

Efektívne energetické obstarávanie je kľúčové pre ekonomickú realizovateľnosť výroby vodíka na Slovensku. Využitie nástrojov ako PPA a CfD, spolu s premyslenou stratégiou nákupu elektrickej energie, môže zabezpečiť stabilné a konkurencieschopné podmienky pre rozvoj vodíkových technológií.

Možnosti energetického obstarávania

Efektívne a spoľahlivé energetické obstarávanie je kľúčovým predpokladom pre zabezpečenie stabilnej a ekonomicky udržateľnej prevádzky vodíkových technológií, najmä elektrolyzéro, ktorých prevádzka je priamo závislá od dostupnosti a cien elektrickej energie. V kontexte Slovenskej republiky, ako aj širšieho európskeho energetického trhu, existuje viacero mechanizmov a prístupov k obstarávaniu elektriny, ktoré sú relevantné pre budovanie a prevádzku vodíkovej infraštruktúry.

Priame nákupy na trhu s elektrinou (*market-based procurement*)

Jedným z najbežnejších spôsobov obstarávania elektriny je priama účasť subjektu na veľkoobchodnom trhu s elektrinou, či už prostredníctvom denných (day-ahead) alebo vnútrodených (intraday) trhov organizovaných spoločnosťou OKTE, a. s. Táto forma obstarávania umožňuje flexibilné prispôbenie objemu elektriny aktuálnym potrebám výroby vodíka, avšak súčasne vystavuje producenta volatilitě cien.

Z pohľadu elektrolytickej výroby vodíka je výhodné zvažovať synergické prevádzkové modely, ktoré umožňujú nákup elektriny v obdobiach nízkej spotreby (napr. nočné hodiny alebo víkendy) či v časoch prebytku výroby z OZE, kedy môže byť cena elektriny na trhu dokonca záporná.

Zmluvy o kúpe elektriny (*Power Purchase Agreements – PPAs*)

Dlhodobé zmluvy o kúpe elektriny medzi výrobcom (napr. prevádzkovateľom fotovoltickej elektrárne) a odberateľom (napr. prevádzkovateľom elektrolyzéra) predstavujú nástroj na zaistenie cenovej stability a predvídateľnosti nákladov. V prostredí vodíkoveho hospodárstva môžu PPAs prispieť k zníženiu investičného rizika, najmä pri projektoch, ktoré majú dlhodobý návratný horizont.

Slovenský regulačný rámec zatiaľ neobsahuje špecifické stimuly pre uzatváranie PPAs mimo schémy podpory OZE, avšak v súlade s trendmi v EÚ možno očakávať, že sa tento mechanizmus stane dôležitou súčasťou dekarbonizačných stratégií vrátane vodíkových projektov.

Príklad PPAs v praxi

V Nemecku alebo Holandsku sú už bežné tzv. sleeved PPAs, kde tretia strana - sprostredkovateľ (zvyčajne dodávateľ elektriny) zabezpečuje prenesenie energie z výrobcu OZE k spotrebiteľovi, vrátane záruky pôvodu. Tento model umožňuje menším subjektom využiť výhody dlhodobého obstarávania bez nutnosti priamej účasti na veľkoobchodnom trhu.

Priame pripojenie k výrobnému zdroju (*behind-the-meter model*)

Model priameho pripojenia elektrolyzéra k obnoviteľnému zdroju elektriny bez využitia distribučnej alebo prenosovej siete (tzv. behind-the-meter) umožňuje maximalizáciu lokálne vyrobenej energie. Tento model znižuje náklady na sieťové poplatky a straty na prenosoch, zároveň však prináša výzvy v oblasti synchronizácie výroby a spotreby.

Z legislatívneho hľadiska je však nevyhnutné zohľadniť obmedzenia spojené s licenčnými povinnosťami, evidenciou výroby a spotreby, ako aj dopadom na uplatňovanie podpory z európskych fondov alebo národných schém.

Flexibilita a účasti na podporných službách

Prevádzkovatelia elektrolyzérov môžu využiť potenciál flexibility spotreby aj pre účel účasti na poskytovaní podporných služieb pre prenosovú sústavu, ako napríklad regulačná energia (mFRR, aFRR). Táto možnosť predstavuje dodatočný príjem a zároveň prispieva k stabilite elektrickej sústavy.

Slovenský trh s podpornými službami je v procese liberalizácie a zapájanie nových typov flexibilných zdrojov, vrátane elektrolyzérov, sa postupne stáva reálne realizovateľné. Významnú rolu tu zohrávajú pravidlá prevádzkovateľa prenosovej sústavy (SEPS, a. s.), ktoré definujú technické a prevádzkové požiadavky na zapojenie subjektov do trhu s flexibilitou.

Príklad flexibility – využitie elektrolyzérov

V pilotných projektoch v Dánsku a Nórsku boli elektrolyzéry nasadené ako tzv. load-following devices, ktoré sa zapínajú v časoch nadbytku veterných prebytkov. Tým sa nielen stabilizovala sieť, ale zároveň sa vyrábal nízkonákladový zelený vodík.

Obstarávanie zo zdrojov s nulovými emisiami

V kontexte požiadaviek na výrobu tzv. „obnoviteľného vodíka“ je nevyhnutné zabezpečiť pôvod elektrickej energie zo zdrojov s nulovými emisiami skleníkových plynov. Na tento účel možno využiť systémy záruk pôvodu (GoO – Guarantees of Origin), ktoré slúžia na preukázanie pôvodu spotrebovanej elektriny. Tieto záruky môžu byť obchodovateľné samostatne a ich použitie je dôležité najmä pri získavaní certifikácií (napr. podľa RFNBO kritérií v rámci RED II/III).

Záruky pôvodu a regulácia

V zmysle čl. 19 Smernice (EÚ) 2018/2001 (RED II) sú členské štáty povinné zabezpečiť systémy na vydávanie záruk pôvodu. Slovenský systém spravuje OKTE, pričom záruky môžu byť použité aj na preukázanie výroby RFNBO vodíka, ak sa dodržia podmienky časovej a geografickej korelácie so zdrojom OZE.

Prehľad výhod a nevýhod modelov energetického obstarávania

Nasledujúca tabuľka sumarizuje hlavné výhody a nevýhody jednotlivých prístupov k obstarávaniu elektrickej energie

Spôsob obstarávania	Výhody	Nevýhody
Denný trh (Day-Ahead)	Flexibilita, prístup k trhovým cenám, možnosť optimalizácie nákladov v čase nízkej ceny	Vysoká volatilita cien, potreba aktívneho obchodovania
Intraday trh	Vysoká adaptabilita na zmeny, možnosť využitia prebytkov OZE	Vyššia rizikovosť, komplexná operatíva v reálnom čase
PPA (dlhodobé zmluvy)	Cenová stabilita, dlhodobá predvídateľnosť, zníženie trhového rizika	Nutnosť dlhodobých záväzkov, administratívna a právna náročnosť
Behind-the-meter model	Minimalizácia sieťových poplatkov, nezávislosť od externých dodávok	Obmedzená flexibilita, závislosť od lokálneho počasia a podmienok

Záruky pôvodu (GoO)	Preukazateľný pôvod elektriny, nevyhnutné pre certifikáciu obnoviteľného vodíka	Neovplyvňuje samotnú cenu elektriny, ide len o administratívny nástroj
Podporné služby (flexibilita)	Dodatočné výnosy, podpora siete, možnosť zapojenia do regulačného trhu	Technické a regulačné požiadavky, nevyhnutná flexibilita zariadenia

Tabuľka 52: Výhody a nevýhody kontraktov energetického obstarávania

Zdroj: stengl a.s.

Vplyv mechanizmu IGCC na náklady a efektívnosť obstarávania

Súčasťou komplexného posudzovania možností energetického obstarávania je aj zohľadnenie nákladov súvisiacich s odchýlkami medzi plánovanou a skutočnou spotrebou elektriny. Tieto náklady sa zúčtovávajú na základe zúčtovacej ceny odchýlky, ktorá sa v prostredí Slovenskej republiky vypočítava v súlade s pravidlami prevádzkovateľa prenosovej sústavy SEPS, a. s., a zároveň v kontexte nadnárodných mechanizmov, ako je IGCC (International Grid Control Cooperation).

IGCC je európska platforma koordinovanej výmeny regulačnej energie medzi jednotlivými prevádzkovateľmi prenosových sústav (TSO), ktorá umožňuje optimalizáciu nákladov na sekundárnu reguláciu (aFRR) prostredníctvom medzinárodného zosúladovania prebytkov a nedostatkov regulačnej kapacity. Slovenská republika je aktívnym členom tejto iniciatívy, čo má priamy dopad na výpočet zúčtovacej ceny, ktorú znášajú účastníci trhu v prípade, že ich reálna spotreba alebo výroba sa odchýli od plánovaného diagramu.

Pre účely vodíkových technológií, predovšetkým elektrolyzéro, ktoré predstavujú významný a potenciálne flexibilný odberný bod, je dôležité zohľadniť aspekty zhrnuté v nasledovnej tabuľke.

Aspekt	Popis
Priama účasť na trhu s elektrinou	Napr. pri nákupe elektriny z denných alebo vnútrodenných trhov znamená vystavenie sa riziku odchýlky. V prípade nesúladu s obchodným diagramom subjekt uhrádza náklady podľa zúčtovacej ceny, ktorá je ovplyvnená práve IGCC mechanizmom.
Zapojenie elektrolyzéra do flexibilného riadenia spotreby	môže znížiť náklady na odchýlku alebo dokonca umožniť zisk prostredníctvom poskytovania podporných služieb.
Presné plánovanie spotreby elektrolyzéra	s ohľadom na denné profily cien a kapacít siete znižuje pravdepodobnosť penalizácie v zúčtovaní.

Tabuľka 53: Aspekty kontraktov energetického obstarávania

Zdroj: stengl a.s.

Vzhľadom na dynamický vývoj trhu s flexibilitou a integráciu systémov ako IGCC, je odporúčané, aby projekty vodíkových technológií v SR zohľadnili nielen obstarávaciu cenu elektriny, ale aj potenciálne náklady na nevyváženú, ktoré môžu pri dlhodobej prevádzke predstavovať významnú zložku celkových prevádzkových nákladov.

Tento prehľad možností energetického obstarávania podčiarkuje význam cielenej stratégie výberu vhodného modelu dodávky elektriny pre každý konkrétny projekt výroby vodíka. Kombinácia trhových mechanizmov, technických riešení a legislatívneho zázemia bude rozhodujúcim faktorom pre efektívnu integráciu vodíka do národného energetického mixu a pre plnenie cieľov dekarbonizácie v zmysle európskych a slovenských stratégií.

Výber optimálneho spôsobu obstarávania elektriny pre potreby vodíkových technológií závisí od viacerých faktorov – veľkosti a flexibility zariadenia, profilu spotreby, požiadaviek na environmentálnu certifikáciu, ako aj pripravenosti na integráciu do flexibilných trhov. Kombinácia viacerých modelov obstarávania (napr. PPA + spotový trh + podporné služby) môže predstavovať najefektívnejšiu cestu k stabilnému a nákladovo optimalizovanému riešeniu.

4.4 Výroba vodíka

V tejto časti sa analyzuje potenciál výroby vodíka na Slovensku rôznymi technologickými metódami. Venuje sa výrobe vodíka elektrolytickým rozkladom vody, reformáciou fosílnych palív v kombinácii s technológiou zachytávania uhlíka, ako aj výroba z biomasy či odpadov prostredníctvom pyrolýzy.

Cieľom tejto kapitoly je poskytnúť komplexný prehľad o možnostiach a výzvach spojených s rozvojom produkcie vodíka na Slovensku, a tým prispieť k efektívnej integrácii vodíka ako súčasti udržateľného energetického systému. Do úvahy bude potrebné zobrať aj potenciál pre expanziu výroby energie v daných lokalitách a budúce navýšenie dopytu.

Vodík sa priemyselne vyrába viacerými postupmi zo zemného plynu, biomasy, uhl'ovodíkov, alebo vody. Výroba obnoviteľného vodíka v roku 2024 na Slovensku neexistuje, ale zdroje obnoviteľnej a nízkouhlíkovej energie, ktorú je možné využiť, na Slovensku sú.

Najrozšírenejšia a etablovaná metóda v súčasnosti je výroba vodíka metódou SMR, ktorá je však z dlhodobého hľadiska v rozpore s európskymi a národnými cieľmi uhlíkovej neutrality¹¹⁸. Na druhej strane tento technologický postup bude hrať kľúčovú úlohu pri prechode na čistejšie alternatívy s nižšou uhlíkovou intenzitou¹¹⁹. Na Slovensku evidujeme aj iniciatívy novej ekologickej výroby vodíka pomocou elektrolýzy vody.

Pre výrobu vodíka je kľúčová definícia energetického obsahu vodíka. Smernica RED III využíva energetický obsah 120 MJ/kg (alebo 33,3 kWh/kg). Táto hodnota je známa ako nižšia výhrevná hodnota. V iných dokumentoch a oblastiach vodíkoveho priemyslu sa možno stretnúť aj s vyššou výhrevnou hodnotou ktorá je 142 MJ/kg¹²⁰ (alebo 39,4 kWh/kg). Pri

¹¹⁸ Európska zelená dohoda; Integrovaný národný energetický a klimatický plán SR

¹¹⁹ SMR je možné kombinovať s technológiami CCUS, kde prebieha zachytávanie CO₂ a jeho nasledovným využitím alebo dlhodobým uskladnením, čo by značne znížilo jeho uhlíkovú stopu.

¹²⁰ <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels>

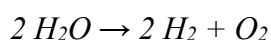
porovnávaní rôznych technológií je nutné rozoznávať medzi týmito hodnotami, najmä pri porovnávaní a výpočte účinnosti zariadení.

4.4.1 Elektrolytická výroba vodíka

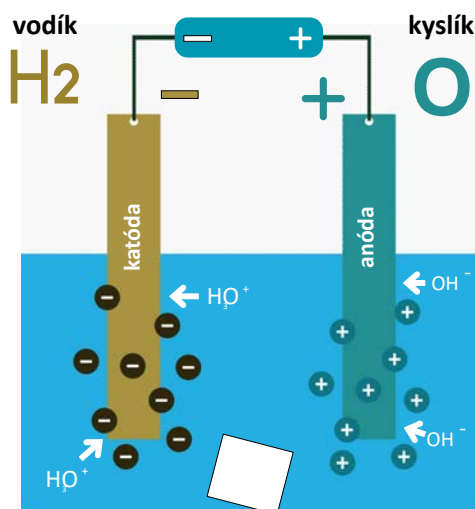
Kapitola sa zameria na elektrolýzu, kde sa využíva elektrina na rozklad vody na vodík a kyslík. Bude hodnotená technická realizovateľnosť rôznych metód (PEM, alkalická, vysokoteplotná SOEC elektrolýza), ich nákladovosť a efektívnosť pri využití nízkoemisnej alebo obnoviteľnej elektriny. Analyzuje potenciál (do r. 2030) aj súčasný stav technológií a ich nasadenie v rámci Slovenska.

Vývoj elektrolýzy na výrobu vodíka siaha až do 19. a 18. storočia¹²¹ ale táto technológia začala byť viac rozšírená až v poslednom desaťročí najmä kvôli pozitívnemu technologickému vývoju a potreby dekarbonizácie. Elektrolýza vodíka sa dnes používa na viacerých miestach Európy v kombinácii s lokálnymi obnoviteľnými zdrojmi alebo využitím elektrickej energie z prenosovej sústavy. Na Slovensku elektrolýza nie je veľmi rozšírená ale existujú projekty ktoré by túto technológiu na Slovensku rozšírili.

Vodík je možné vyrábať z vody a elektrickej energie za pomoci elektrolýzérů ktoré rozkladajú molekuly H₂O na molekuly vodíka (H₂) a molekuly kyslíka (O₂). Chemická rovnica rozkladu vody udáva že je potrebné minimálne 9 kg vody na výrobu 1 kg vodíka a 8 kg kyslíka.



Existujú rôzne technológie elektrolýzérů ale centrálna časť elektrolýzérů sa skladá s anódy a katódou ktoré zabezpečujú prenos elektrickej energie na vodu, čím ju rozkladajú. Elektrolýzéry tiež často obsahujú membránu ktorá napomáha tomuto procesu.



¹²¹ <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819424-9.00010-0>

Obrázok 48: Rozklad vody pomocou elektrolýzy (alkalická elektrolýza)

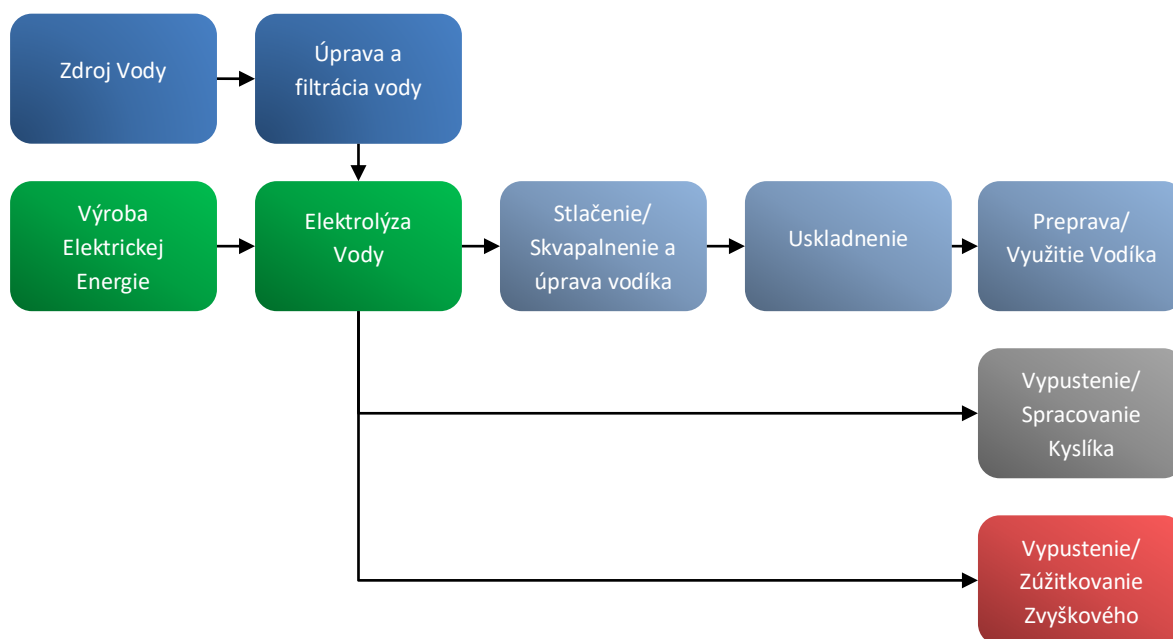
Zdroj: stengl a.s.

Elektrolytická výroba vodíka však nepotrebuje len elektrolýzový modul ale sú potrebné aj ďalšie kroky vo výrobnom procese. Predpríprava a dodávanie vody je často zabezpečená filtračnými systémami ktoré môžu mať vodné pumpy a zásobníky vody. Elektrolýzer potrebuje chladenie a programovateľné riadenie a monitorovanie procesu.

Samotné produkty, kyslík a vodík sú tiež ďalej spracovávané. Kyslík je buď vypustený do ovzdušia alebo môže byť očistený od nežiaducich nečistôt, kompresorom stlačený, uskladnený a prepravený na požadované miesto. Vodík prejde podobným procesom kde je očistený a stlačený do nádrží alebo uskladnený iným spôsobom.

Dôležité je tiež spomenúť možné využitie odpadového tepla ktoré vzniká pri elektrolýze. Zvyškové teplo má vo väčšine prípadov relatívne nízku teplotu a je ho predovšetkým možné využívať na ohrev vody alebo vykurovanie budov.

Výhodou elektrolýzy je to že môže využívať obnoviteľné a nízkoemisné zdroje elektrickej energie a dodávať „čistý“ vodík s minimálnym dopadom na životné prostredie pri jeho výrobe.



4.4.1.1 Opis hlavných technológií

Najčastejšie využívané technológie elektrolyzéroov sú PEM, alkalické, SOEC a AEM elektrolyzéry. Líšia sa najmä energetickou účinnosťou, prevádzkovými podmienkami, nákladmi, technickou zložitou a stupňom technologickej pripravenosti.

Technológie na výrobu vodíka zaznamenali značný progres, pričom komerčné elektrolyzéry ako napr. PEM a alkalické elektrolyzéry sú dnes bežne využívané. Tieto technológie disponujú vysokou účinnosťou a sú vhodné pre rôzne aplikácie.

Dostupné technológie a ich úroveň technologickej pripravenosti (TRL)

Systém “úrovne technologickej pripravenosti” (TRL – Technology Readiness Levels) slúži na kategorizovanie aktuálneho stavu vývoja technológie. Každá technológia je vyhodnotená podľa presne definovaných kritérií, ktorým zodpovedajú jednotlivé stupne TRL. Stupeň TRL 1 označuje počiatočnú fázu vývoja (overenie základných princípov technológie) a TRL 9 predstavuje technológiu pripravenú na komerčné alebo praktické nasadenie.

Vysvetlivky k úrovniam technologickej pripravenosti je možné nájsť v prílohe dokumentu 7.5 - Kategorizácia úrovni technologickej pripravenosti.

Úrovne TRL pre rôzne technológie elektrolyzéroov ukazujú ich vyspelosť a pripravenosť na komerčné aplikácie:

- Alkalická elektrolýza - TRL 9. Alkalické elektrolyzéry sú vysoko vyvinuté, stabilné a účinné, často používané v zavedených výrobných zariadeniach na vodík.
- PEM elektrolýza - TRL 9. Vďaka vysokej flexibilita a rýchlej odozve sú PEM elektrolyzéry ideálne na pripojenie k obnoviteľným zdrojom energie.
- SOE elektrolýza - TRL 7 – 8. Elektrolyzéry s pevným oxidom ponúkajú vysokú účinnosť s prídavkom tepla, no čelia problémom s trvanlivosťou materiálov pri vysokých teplotách, čo obmedzuje ich využitie v komerčných využitíach.
- AEM elektrolýza - TRL 5 – 6. Elektrolyzéry s aniónovo výmennou membránou sú vo fáze vývoja a implementácie technológie v pilotných a demonštračných prevádzkach. Technológia sľubuje nižšie náklady a prevádzkovú flexibilitu.

Očakáva sa, že s postupujúcimi inováciami dosiahnu elektrolyzéry SOE a AEM úroveň TRL 8 – 9 v nasledujúcich 5 – 10 rokoch, čím sa pripraví na komerčné nasadenie v špeciálnych aplikáciách.

4.4.1.2 Súčasný stav a budúci vývoj cien elektrolyzéroov

Ekonomická životaschopnosť každej technológie elektrolyzéra závisí od nákladov na inštaláciu, prevádzkových nákladov a požiadaviek na energiu:

- **Alkalické elektrolyzéry** - najekonomickejšie pre veľké operácie, s nákladmi medzi 500-700 USD za kW¹²² Majú nižšie prevádzkové náklady a dlhšiu životnosť, no sú menej flexibilné pri zvládání kolísajúceho vstupného výkonu.
- **PEM elektrolyzéry** - sú drahšie, s aktuálnymi nákladmi okolo 800-1 200 USD za kW, najmä kvôli drahým kovovým katalyzátorom. Očakáva sa však, že pokroky v katalyzátoroch znížia náklady, čím sa PEM stanú nákladovo efektívnou voľbou v spojení s prerušovanou dodávkou elektriny z OZE.
- **SOE elektrolyzéry** - SOE systémy sú v skorých fázach komerčného využitia a vyžadujú vysoké kapitálové investície. S očakávaným rozvojom v účinnosti sa môžu stať ekonomicky životaschopnými pre aplikácie s využitím tepla ako vstupnej energie spolu s elektrickou.
- **AEM elektrolyzéry** - Hoci sú ešte v začiatkoch, očakáva sa, že AEM elektrolyzéry budú lacnejšou alternatívou k PEM systémom, keďže nevyžadujú drahé katalyzátory. AEM systémy by tak mohli byť atraktívne pre produkciu vodíka, ak sa podarí prekonať technické výzvy.

Pri dnešných cenách elektrolyzérov a iných vodíkových technológií je náročné dosiahnuť výrobnú cenu vodíka ktorá by umožňovala konkurencieschopnosť s tradičnými fosílnymi palivami. Táto skutočnosť sa však veľmi rýchlo mení a očakáva sa že znižovanie cien elektrolyzérov bude pokračovať a do roku 2030 by mohlo predstavovať redukciu až 50 % oproti cenám z roku 2024 vďaka hromadnej výrobe a úsporám z rozsahu.¹²³ Avšak pokiaľ nebudú realizované všetky ohlásené vodíkové projekty tak sa môže očakávať pomalší pokles cien. Takýmto spôsobom môže vývoj vodíkových projektov na európskej a globálnej úrovni ovplyvniť ceny vodíkových technológií a výrobnú cenu vodíka na Slovensku.

Parameter	Alkalický elektrolyzér	PEM elektrolyzér	SOEC elektrolyzér
Elektrická účinnosť (kWh/kg)	Dnes: 50-60	Dnes: 52-60	Dnes: 38-50
	Dlhodobá: 40-50	Dlhodobá: 40-50	Dlhodobá: 35-40
Prevádzkový tlak (bar)	<30	<70	<10
Prevádzková teplota (°C)	60–80	50–80	500–1 000
Životnosť modulu (electrolyser stack) (prevádzkové hodiny)	Dnes:	Dnes:	Dnes:
	60 000–90 000	50 000–80 000	10 000 – 30 000
	Dlhodobá:	Dlhodobá:	Dlhodobá:
	90 000 – 100 000	60 000 – 90 000	40 000 – 60 000
Investičné náklady - elektrolyzér (EUR/kW)	Dnes: 500 – 1 000	Dnes: 700 – 1 400	Dnes: >2 000
	Dlhodobá: ~200	Dlhodobá: ~200	Dlhodobá: ~300

- ¹²² Cenové porovnania sa vzťahujú len na samotný elektrolyzér a neobsahujú podporné zariadenia ako kompresory, chladenie, čistenie vody, vodíka..., ktoré tvoria systém elektrolyzéra).

¹²³ IEA: Global Hydrogen Review 2024

Zdroje: IEA, NREL: Updated Manufactured Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers, IRENA: Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1.5C climate goal, Hydrogen UK – Electrolytic Hydrogen Production 2023

Alkalické elektrolyzéry

Alkalické elektrolyzéry sú najvyspelejšou technológiou na elektrolytickú výrobu vodíka na trhu, so spotrebou energie 50-60 kWh/kg. Tieto systémy sú najspoľahlivejšie a lacné v porovnaní s ostatnými druhmi elektrolyzéro. Ich nevýhodou je dlhšia reakčná doba, najmä pri studenom štarte. Novšie generácie alkalických elektrolyzéro, ktoré operujú pri zvýšenom tlaku disponujú lepšou reakčnou dobou a tak sa dôsledky tejto nevýhody znižujú postupným vývojom.

Nevýhody tejto technológie sú najviac citelné, keď je pri ich využití nutné často vypínať a zapínať elektrolyzer alebo sa veľmi rýchlo mení elektrické zaťaženie ako napr. pri priamom prepojení s OZE ako solárne alebo veterné elektrárne. Problém je možné riešiť využitím batériového úložiska energie na zmiernenie kolísania výkonu zdroja energie alebo využitím stabilnejšieho zdroja elektrickej energie.

S postupným vývojom technológie alkalických elektrolyzéro sa však očakáva odstránenie alebo aspoň redukcia vyššie spomínaných obmedzení do roku 2030. Tento typ elektrolyzerov je vhodný prevažne pre stabilnú prevádzku.

PEM elektrolyzéry

Popularita PEM elektrolyzerov stúpa najmä pri výrobe obnoviteľného vodíka vďaka ich flexibilita a lepšej schopnosti využiť menej stabilné zdroje energie ako napr. OZE. Ich účinnosť je dnes porovnateľná s alkalickými elektrolyzermi ich spotreba energie je medzi 52-60 kWh/kg. PEM elektrolyzéry sú všeobecne drahšie ako alkalické elektrolyzéry ale ich jednotková cena sa môže výrazne líšiť medzi jednotlivými dodávateľmi a inštalovaným výkonom.

PEM elektrolyzéry vyrábajú vodík pri zvýšenom tlaku viac ako 30 barov čo zjednodušuje ich stlačenie pre prípadné skladovanie a prepravu. Vodík vyrobený PEM elektrolyzermi má čistotu viac ako 99,99 % čo znamená, že nepotrebuje dodatočné čistenie a môže byť priamo využívaný vo väčšine prípadov a to aj v doprave.

SOEC elektrolyzéry s pevným oxidom

SOEC elektrolyzéry si získavajú čoraz väčšiu popularitu hlavne v priemyselných odvetviach, kde sa oceňuje ich vysoká účinnosť pri výrobe vodíka za pomoci vysokoteplotných zdrojov energie. Vďaka tomuto prístupu dosahujú vysokú účinnosť a spotrebujú do 50 kWh/kg kWh/kg, čo je podstatne vyššie v porovnaní s PEM alebo alkalickými elektrolyzermi.

Tieto elektrolyzéry využívajú dostupné teplo z priemyselných procesov, čím výrazne znižujú spotrebu elektriny potrebnú na samotný proces elektrolýzy. SOEC elektrolyzéri je možné efektívne párovať napr. s jadrovými elektrárnami kde môžu využívať odpadové teplo na zvýšenie ich elektrickej účinnosti.

Pri výrobe generujú SOEC elektrolyzéry vodík pri vysokých teplotách nad 500 °C a dokážu produkovať aj syntézny plyn, čo ich predurčuje na integráciu v chemických závodoch a rafinériách. Pri výrobe syntézneho plynu je potrebný dodatočný zdroj CO₂.

Vodík, ktorý takto vzniká, má veľmi vysokú čistotu (nad 99,99 %), a vo väčšine aplikácií ho teda nie je nutné ďalej čistiť, čím je pripravený na okamžité využitie. Vysoké teploty prevádzky však kladú vysoké nároky na použité materiály, a preto sú SOEC elektrolyzéry spravidla drahšie než PEM alebo alkalické elektrolyzéry.

V súčasnosti sú stále využívané iba zriedka keďže majú nižšiu technologickú pripravenosť, čo predstavuje aj nižšiu spoľahlivosť a kratšiu životnosť elektrolyzérovo v porovnaní s PEM a alkalickými elektrolyzermi.

4.4.1.3 Zhodnotenie energetických strát

Energetické straty sú významným aspektom pri výrobe, transporte a skladovaní vodíka. Na rôznych stupňoch vodíkového dodávateľského reťazca dochádza k stratám energie kvôli neefektívnostiam v procesoch konverzie, transporte a skladovacích metódach. Hlavné zdroje energetických strát pri výrobe a manipulácii s vodíkom zahŕňajú efektívnosť elektrolýzy, kompresiu alebo skvapalnenie, skladovanie a rekonverziu. Tu je podrobný prehľad:

Energetické straty pri elektrolýze

Účinnosť bežne používaných komerčných elektrolyzérovo, ako sú alkalické a PEM elektrolyzéry, sa pohybuje medzi 65 – 75 %¹²⁴, čo znamená, že 25 – 35 % vstupnej energie sa stratí ako teplo. Je nutné podotknúť že odpadové teplo je možné využiť čím by sa zvýšila celková účinnosť procesu. Alkalické elektrolyzéry dnes dosahujú účinnosť podobnú PEM elektrolyzérovi a sú známe svojou spoľahlivosťou a nižšími nákladmi. PEM elektrolyzéry sú flexibilné, a preto vhodné na využitie s obnoviteľnými zdrojmi energie (OZE). SOEC elektrolyzéry (elektrolyzéry s pevným oxidom) majú potenciálne najvyššiu účinnosť, 80-90 %, s využitím externého tepla z priemyselných procesov. Ich praktická účinnosť však môže byť nižšia z dôvodu vysokých nárokov na materiály a vyšších nákladov.

Kompresia a skvapalnenie

Po výrobe je potrebné vodík často stlačiť alebo skvapalniť na účely prepravy a skladovania, čo vedie k ďalším stratám energie. Stlačenie vodíka na štandardné tlakové hodnoty (350-700 bar)

¹²⁴ Straty na základe vyššej výhrevnej hodnoty vodíka

spotrebuje približne 6-15 % energetického obsahu vodíka. Skvapaľňovanie je energeticky náročnejšie, vyžaduje 25-35 % energetického obsahu, čo predstavuje nevýhodu najmä pri diaľkovej preprave¹²⁵.

Straty pri preprave

Preprava potrubím je energeticky efektívna, pričom straty sa pohybujú od 0,02 % do 5 %¹²⁶. Pri diaľkovej preprave, napr. kryogénnymi tankermi na skvapaľnený vodík, môžu straty vyparovaním dosiahnuť okolo 1 % denne ale nové technológie sľubujú znížiť tieto straty. Preprava s využitím tekutých organických nosičov vodíka (LOHC) alebo NH₃ vyžaduje rekonverziu späť na vodík, čo zvyšuje straty o ďalších 20 – 40 % podľa použitej technológie¹²⁷.

Straty pri skladovaní

Pri skladovaní vodíka, či už v tlakových nádržiach alebo ako skvapaľnený vodík, dochádza k stratám energie. Tlakové nádrže sú energeticky efektívne, avšak vyžadujú vysokú kompresiu, zatiaľ čo skvapaľnený vodík trpí stratami kvôli odparovaniu (boil-off) vodíka. LOHC a amoniak umožňujú skladovanie s minimálnymi stratami, no rekonverzia je energeticky náročná, čo znižuje čistú účinnosť.

Celková energetická efektívnosť od výroby po využitie

Kombináciou procesov elektrolyzy, kompresie, transportu a skladovania sa celková účinnosť vodíkového reťazca od výroby po konečné použitie pohybuje medzi 25-50 %. Napríklad typická vodíková cesta môže zahŕňať:

- Elektrolyzu so spotrebou cca 55 kWh/kg (PEM alebo alkalické elektrolyzéry)
- Kompresiu na 700 bar so spotrebou 3,5 kWh/kg
- Skladovanie pri 700 bar s minimálnymi stratami
- Premena na elektrickú energiu v palivovom článku s energetickou účinnosťou 60 %

Celkovo môže byť výsledná efektívnosť okolo 30 – 40 % pre celý vodíkový reťazec od výroby po konečné použitie. Minimalizácia strát v každom štádiu je preto kľúčová pre zlepšenie celkovej životaschopnosti vodíka ako udržateľného energetického nosiča.

4.4.1.4 Dosahované parametre existujúcich zariadení na výrobu vodíka s ohľadom na splnenie kritérií pre výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka

Elektrolytická výroba vodíka poháňaná obnoviteľnou elektrinou je prakticky bezemisná. Súčasné inštalácie dosahujú priame emisie CO₂ na úrovni 0 – 0,1 kg CO₂-ekvivalent na kg H₂ v závislosti od zdroja energie. Táto minimálna uhlíková intenzita umožňuje, aby sa

¹²⁵ International Energy Agency (2019), The future of hydrogen

¹²⁶ Esquivel-Elizondo, S. et al. (2023), Wide range in estimates of hydrogen emissions from infrastructure.

¹²⁷ International Energy Agency (2019), The future of hydrogen

elektrolytický vodík kvalifikoval ako obnoviteľný (RFNBO) vodík podľa rôznych medzinárodných štandardov, vrátane Smernice EÚ o obnoviteľnej energii (RED III).

4.4.1.5 Predpokladaný vývoj technológie

Technológie na elektrolytickú výrobu vodíka sa rýchlo vyvíjajú, pričom sa očakávajú zásadné pokroky v zvyšovaní účinnosti, znižovaní nákladov a predlžovaní životnosti elektrolyzéro. Kľúčové oblasti vývoja zahŕňajú:

Škálovanie výroby

S rastúcou škálou výroby vodíkových technológií náklady na elektrolyzéry výrazne klesnú. Očakáva sa tiež zvýšenie energetickej účinnosti elektrolyzéro. Tieto zlepšenia úspory by mohli znížiť náklady na výrobu obnoviteľného vodíka, čím sa stane konkurencieschopným fosílnemu vodíku. Vývoj však závisí aj od cien zemného plynu.

Inovácie v oblasti materiálov

Pokroky v oblasti katalytických materiálov, najmä alternatívy k drahým kovom v PEM elektrolyzéroch, by mohli znížiť náklady a závislosť na dodávateľskom reťazci. Vývoj katalyzátorov na báze niklu, na ktorom pracuje aj výskumné centrum SAV v Košiciach a pokročilých membránových technológií sľubuje udržať vysokú účinnosť pri znižovaní celkových systémových nákladov.

Predĺženie životnosti

Budúce návrhy elektrolyzéro sa zameriavajú na zlepšenie trvanlivosti, s cieľom predĺžiť životnosť prevádzky z aktuálnych 60 000 hodín na viac ako 90 000 hodín. To by znížilo frekvenciu údržby a náklady na výmenu, čím by sa elektrolytická výroba vodíka stala ekonomicky udržateľnejšou.

Nové generácie elektrolyzéro

Výskum v oblasti elektrolyzéro s aniónovo výmennou membránou (AEM) ponúka potenciál pre nízkonákladové, flexibilné systémy, ktoré by mohli kombinovať trvanlivosť alkalických elektrolyzéro s prevádzkovou flexibilitou PEM. Okrem toho sú pokroky v oblasti elektrolyzéro s pevným oxidom (SOE) zamerané na dosiahnutie vysokej účinnosti prostredníctvom tepelnej integrácie, hoci trvanlivosť materiálov pri vysokých teplotách naďalej predstavuje problém.

Budúci potenciál

Kombináciou týchto technologických pokrokov by elektrolytická výroba vodíka mohla hrať transformujúcu úlohu pri dekarbonizácii sektorov, ako sú priemysel, doprava a výroba elektriny. Ak sa očakávané zníženie nákladov a zlepšenie účinnosti naplnia, elektrolytický

vodík bude konkurencieschopnou a udržateľnou voľbou na dosiahnutie globálnych cieľov v oblasti čistej energie, najmä v regiónoch s bohatými obnoviteľnými zdrojmi.

Technológia	Cena [EUR/kg _{H2}]		Spotreba energie [kWh _e /kg _{H2}]		Výhody	Nevýhody
Alkalická elektrolyza vody (ALK)	2025	5,0	2025	50	Najnižší CAPEX, zrelá technológia. Nevyžaduje katalyzátory na báze platínových kovov (PGM). Avšak PGM katalyzátory sa niekedy používajú na zvýšenie výkonu.	Nízka hustota prúdu. Korozívny elektrolyt. Menej flexibilné ako PEM elektrolyzéry.
	2035	3,8	2035	49		
	2050	3,5	2050	48		
Protónová výmenná membrána (PEM)	2025	5,2	2025	52	Jednoduchý dizajn článku a malá stopa. Vysoká hustota prúdu. Prevádzka pri rozdielnych tlakoch. Vysoká dynamická odozva, vhodná pre obnoviteľné zdroje.	Škálovanie môže byť obmedzené dodávkami PGM. Menej preukázaná dlhodobá životnosť v porovnaní s ALK.
	2035	3,6	2035	49		
	2050	3,3	2050	48		
Elektrolyza na báze pevného oxidu (SOEC)	2025	5,3	2025	38	Nízka spotreba elektriny pri výrobe H ₂ pary (vysoká účinnosť). Nie vždy vyžaduje PGM katalyzátory. Môže používať aj iné typy katalyzátorov.	Vyžaduje zdroj tepla/pary. Obmedzená dynamická odozva. Výzvy s trvanlivosťou pri vysokoteplotnej prevádzke.
	2035	3,7	2035	36		
	2050	3,2	2050	35		

Poznámka: predpokladaná cena elektrickej energie 49 EUR/MWh z veterných parkov s výkonom >1GW, predpokladaná cena elektrolyzéroov je 700-900 EUR/kW_{HHV} v roku 2025 a 500 – 800 EUR/kW_{HHV} v roku 2035 pre PEM a ALK technológie, konverzný kurz 1.17 EUR:GBP

Tabuľka 55: Prognóza nákladov a parametrov technológií elektrolyzéroov

Zdroj: Hydrogen UK – Electrolytic Hydrogen Production 2023 - <https://hydrogen-uk.org/wp-content/uploads/2023/09/HUK-Electrolytic-Hydrogen-Production-Report.pdf>

4.4.1.6 Výpočet priemernej doby ich odstávok počas roka z dôvodu plánovanej údržby a odstraňovania porúch

Výroba vodíka si vyžaduje pravidelnú údržbu na zaistenie bezpečnej a efektívnej prevádzky. Táto údržba zahŕňa plánované odstávky pre pravidelné opravy aj neplánované odstávky kvôli technickým poruchám. Miera dostupnosti, teda meranie času počas ktorého je zariadenie v prevádzke v porovnaní s celkovým časom je kľúčovým ukazovateľom výkonnosti.

Väčšina dodávateľov požaduje menej ako dva týždne odstávok ročne kvôli údržbe. Štúdia zaoberajúca sa prevádzkou výroby vodíka z veternej elektrárne odhadla odstávky na 15 % celkového času z čoho vodíkový systém tvoril 5 %¹²⁸. Pri zrelosti technológií elektrolyzéroov, ako sú PEM a alkalické elektrolyzéry, sa miera dostupnosti pohybuje na úrovni 95 %, čo znamená 5 % odstávok ročne z čoho 1 – 4 % sú plánované odstávky.

Naproti tomu nové technológie, ako sú elektrolyzéry s pevným oxidom (SOE), ktoré majú kratšiu životnosť kvôli vysokým prevádzkovým teplotám, môžu zažívať častejšie a dlhšie odstávky. Tieto čísla sa však nedajú plošne aplikovať na všetky elektrolyzéry keďže technológie sa líšia medzi dodávateľmi a požiadavky na údržbu tiež závisia od spôsobu prevádzkovania. Navyše inžinierske pokroky v materiáloch a zlepšovanie prevádzkovej účinnosti majú za cieľ tieto odstávky znížiť.

Prediktívna údržba a technologické inovácie

Prediktívna údržba, podporená senzormi a dátovou analýzou, je čoraz častejšie integrovaná do vodíkových výrobných systémov. Tento prístup umožňuje operátorom predvídať problémy predtým, než vedú k významným odstávkam, čím optimalizujú plány údržby a znižujú neočakávané poruchy. Napríklad, monitorovaním rýchlosti degradácie elektrolyzéroov a opotrebovania membrán môžu operátori vopred naplánovať údržbu, čo môže zlepšiť mieru dostupnosti.

Budúce projekcie

¹²⁸ System-Level Offshore Wind Energy and Hydrogen Generation Availability and Operations and Maintenance Costs, <https://doi.org/10.3390/wind4020007>

Ako technológia vodíka napreduje, predovšetkým s vývojom trvanlivejších membrán a nákladovo efektívnejších materiálov, očakáva sa pokles odstávok. Je možné očakávať že do roku 2030 nové vodíkové systémy dosiahnu mieru dostupnosti 97 – 99 %.

4.4.1.7 Použitelnosť technológií v rôznych scenároch a praktické príklady

Jednotlivé elektrolytické technológie sú použiteľné v rôznych scenároch podľa svojich jedinečných vlastností:

Priemyselné klastre

V oblastiach s existujúcou priemyselnou infraštruktúrou môžu alkalické a PEM elektrolyzéry podporovať veľkokapacitnú výrobu vodíka. Klastre môžu využiť CCS na hybridný model, kde nízkouhlíkový a obnoviteľný vodík pokrýjú dopyt.

Elektrolyzéry napájané obnoviteľnými zdrojmi

V regiónoch s vysokou dostupnosťou obnoviteľnej energie, ako sú lokality s vysokým solárnym alebo veterným potenciálom, môžu byť PEM elektrolyzéry spárované so solárnymi a veternými farmami na ekonomickú produkciu obnoviteľného vodíka.

Priemyselné aplikácie s vysokou teplotou

SOE elektrolyzéry sú najvhodnejšie pre priemysly, ktoré môžu využiť odpadové teplo, ako napr. oceliarsstvo alebo výroba cementu. Napríklad v integrovanom oceliarskom závode by SOE mohli využiť teplo generované z výroby ocele na výrobu vodíka s vysokou účinnosťou.

Distribúované energetické systémy

PEM alebo alkalické elektrolyzéry, môžu slúžiť ako flexibilné a nízkonákladové riešenie pre distribuovanú výrobu vodíka, najmä v malých aplikáciách, ako sú čerpacie stanice v odľahlých oblastiach alebo výroba vodíka v mikrogridoch.

4.4.2 Výroba vodíka z fosílnych palív so zachytávaním a ukladaním uhlíka

Produkcia nízkouhlíkového vodíka z fosílnych palív je možná prostredníctvom reformingu fosílnych palív, najmä zemného plynu. Využívajú sa postupy ako parná metánová reformácia (SMR) alebo autotermálna reformácia (ATR). Pri nich sa produkuje vodík a CO₂. Na zníženie emisií CO₂ sa aplikuje technologický postup zachytávania a ukladania uhlíka (CCS). Postup umožňuje separáciu CO₂ priamo na mieste výroby a jeho následné využitie alebo uloženie v geologických formáciách¹²⁹. Na území SR sa využíva najmä SMR, ktorej sa bude venovať nasledujúci text.

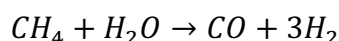
¹²⁹ IEA GHG Technical Report - Low-Carbon Hydrogen from Natural Gas: Global Roadmap

4.4.2.1 Opis parnej metánovej reformácie (SMR)

Proces SMR pozostáva z nasledovných základných krokov:

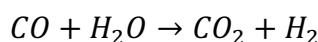
1. Primárna reformácia

Metán (CH_4) reaguje s vodnou parou pri vysokých teplotách ($700 - 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$) a stredných tlakoch za prítomnosti katalyzátora na báze niklu. Tento proces vedie k produkcii syntézneho plynu, zloženého z vodíka (H_2), oxidu uhoľnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO_2):



2. Reakcia premeny vodného plynu

Oxid uhoľnatý zo syntézneho plynu ďalej reaguje s vodnou parou, pričom sa vytvára ďalší vodík a oxid uhličitý:

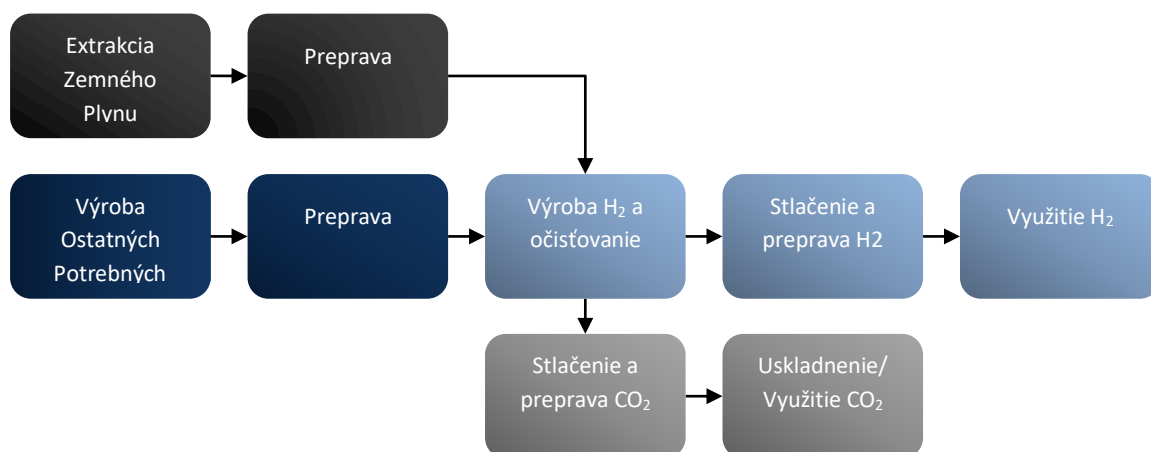


3. Oddelenie a čistenie

Vyprodukovaný vodík sa separuje od zmesi plynov pomocou metód, ako je adsorpcia tlakovým výkyvom (PSA). Zvyšné CO_2 a nečistoty sa následne spracúvajú.

4. Úloha CCS pri výrobe modrého vodíka

Technológia zachytávania a ukladania uhlíka (CCS) zohráva kľúčovú úlohu pri znižovaní emisií skleníkových plynov počas procesu SMR. CCS zahŕňa zachytávanie CO_2 , vďaka ktorému sa CO_2 separuje z výfukových plynov priamo pri zdroji.



V procese nasleduje ukladanie alebo využitie CO₂. Zachytený CO₂ sa stláča a transportuje na dlhodobé geologické uloženie alebo sa využíva v priemysle, napr. pri výrobe chemikálií.^{130,131}

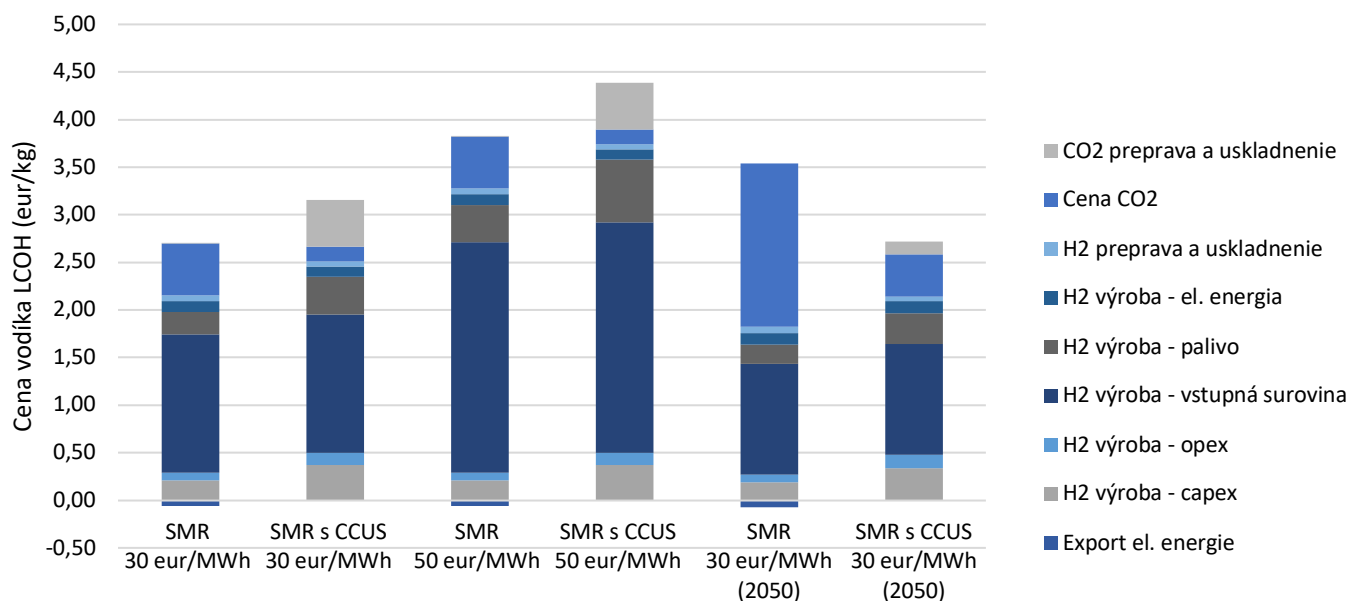
4.4.2.2 Súčasný stav a budúci vývoj cien technológie

V súčasnosti vodík vyrobený z fosílnych palív predstavuje najlacnejší zdroj vodíka v podmienkach SR a dosahuje odhadovanú výrobnú cenu 2-4 eur/kg v závislosti od vstupnej ceny zemného plynu. Fosílny vodík nemôže byť považovaný za nízkouhlíkový a z dlhodobého hľadiska sa dá očakávať zvýšenie nákladov spojených s emisiami skleníkových plynov. Odhad zvýšenia cien spojených s emisiami je prezentovaný v nižšie uvedenom grafe.

Využitím technológie CCS je možné znížiť emisie dostatočne na to aby výsledný vodík bol považovaný za nízkouhlíkový. Technológia CCS by ale navýšila výrobnú cenu vodíka zhruba o 1 – 1,5 EUR/kg najmä kvôli vyšším investičným nákladom, vyššej spotrebe zemného plynu a vyššej spotrebe elektrickej energie. Konkrétne náklady v podmienkach SR budú závisieť od technických parametrov jednotlivých projektov a musia byť posudzované individuálne.

¹³⁰ IEA GHG Technical Report - Low-Carbon Hydrogen from Natural Gas: Global Roadmap

¹³¹ Kind of Blue - The real climate impact of Blue Hydrogen and Gas-CCS



Obrázok 51: Porovnanie ceny vodíka vyrobeného metódou SMR s CCS a bez CCS v rokoch 2025 a 2050

Zdroj: International Energy Agency GHG Technical Report Low-Carbon Hydrogen from Natural Gas: Global Roadmap (pri cenovej úrovni zemného plynu 30 eur/MWh a 50 eur/MWh)

4.4.2.3 Zhodnotenie energetických strát

Energetická spotreba procesu SMR je v rozmedzí 46 – 56 kWh na kg vyrobeného vodíka^{132,133} a je energeticky efektívnejšia ako väčšina elektrolyzátorov v súčasnosti aj keď len mierne. Rozdiel v energetickej účinnosti elektrolyzátorov a SMR môže byť odstránený príchodom novej generácie elektrolyzátorov.

Spotreba energie 46 – 56 kWh / kg predstavuje efektívnosť 72 – 60 % na základe nižšej výhrevnej hodnoty vodíka. Straty vo forme tepla tak predstavujú 28 – 40 %. Zvyškové teplo je však možné ďalej použiť a tak reálne straty závisia od konfigurácie konkrétnej technológie.

4.4.2.4 Zachytávanie uhlíkových emisií

Metán sa pri výrobe vodíka technológiou SMR používa dvomi spôsobmi:

- Ako palivo dodávajúce teplo procesu
- Ako vstupná surovina ktorá sa premieňa na vodík v reforméri

Výroba vodíka pomocou SMR spôsobuje 60 % emisií CO₂ počas produkcie vodíka v samotnom reforméri a zvyšných 40 % pochádza zo spaľovania zemného plynu vo vyhrievacej peci¹³⁴. Aktuálne sa CO₂ zachytáva z koncentrovaného syntézneho plynu z reforméra, a zachytávanie zvyšných 40 % z riedkych spalín pecí je stále nákladné. Výroba vodíka zo

¹³² Kind of Blue - The real climate impact of Blue Hydrogen and Gas-CCS

¹³³ A Thermodynamics Model for the Assessment and Optimisation of Onboard Natural Gas Reforming and Carbon Capture, <https://doi.org/10.1007/s40825-023-00234-z>

¹³⁴ IEA – Global Hydrogen Review 2024

zemného plynu s CCS (zachytávanie a ukladanie uhlíka) si vyžaduje, aby účinnosť zachytávania CO₂ výrazne presahovala súčasnú úroveň 60 %, ktorá je dosahovaná v komerčne prevádzkovaných zariadeniach, aby mohol byť vodík klasifikovaný ako nízkouhlíkový.

CCS môže pomôcť znížiť priame emisie, pričom miera zachytávania a náklady na redukcii emisií sa líšia v závislosti od zvolenej technológie a miesta zachytávania. Pri parnej reformácii CH₄ (SMR) sú miery zachytávania nižšie ak sa zachytávanie obmedzí na koncentrovaný procesný prúd, pričom náklady na redukcii emisií sú najnižšie, a to 58 – 82 EUR za t CO₂¹³⁵. Ak sa zachytávanie rozšíri aj na spaliny, ktoré sú viac zriedené a majú nižší tlak, miera zachytávania môže presiahnuť 90 %. To vedie k vyšším nákladom, pohybujúcim sa v rozmedzí 82 – 106 EUR za t CO₂¹³⁶.

Náklady na transport a uskladnenie CO₂ sú kľúčový nákladový faktor pri výrobe modrého vodíka. Preto integrácia výroby modrého vodíka do stratégií CCS klastrov, ktoré využívajú výhody z rozsiahleho nasadenia, môže pomôcť znížiť náklady na nízkouhlíkový vodík.

Výroba nízkouhlíkového vodíka zo zemného plynu s minimálnou účinnosťou zachytávania CO₂ na úrovni 90 % zatiaľ nebola preukázaná vo veľkom rozsahu. Je potrebné riešenie viacerých technických výziev aby sa dosiahla dlhodobá komerčne životaschopná produkcia nízkouhlíkového vodíka z fosílnych palív.

Vplyv metódy prepravy zemného plynu na emisie

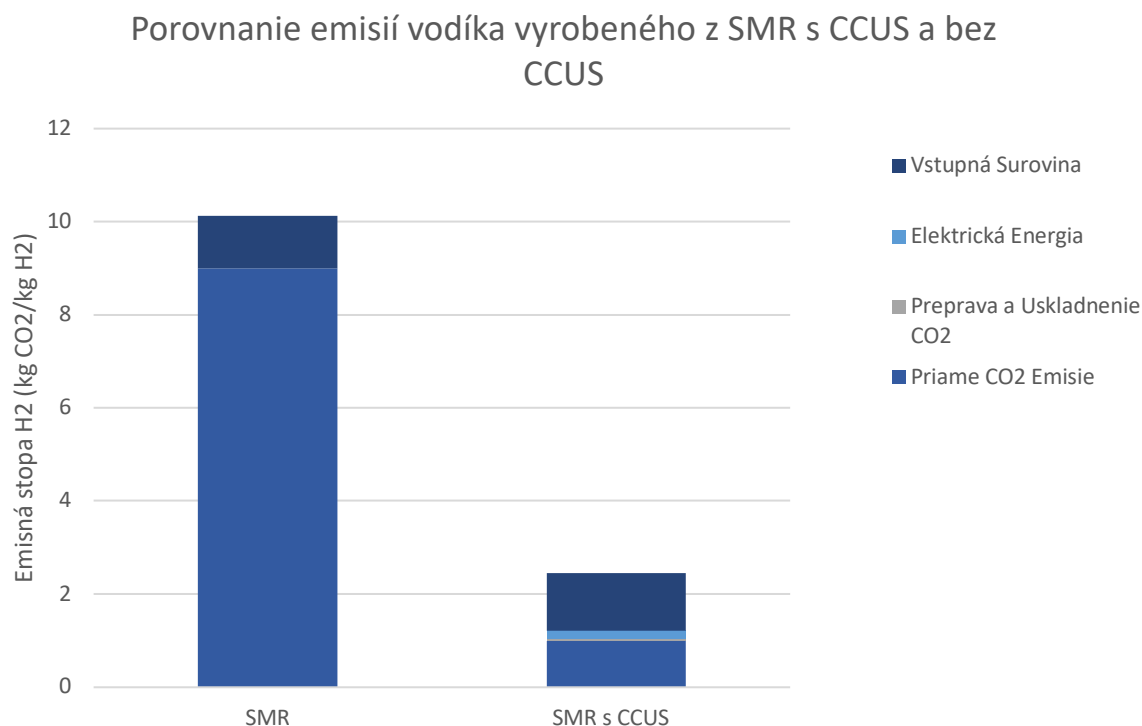
Pri výpočte emisnej stopy vodíka zo zemného plynu je nutné diferencovať medzi zdrojmi. Najčastejšie zdroje zemného plynu v SR sú zemný plyn dovezený potrubnou dopravou a skvapalnený zemný plyn dovezený námornou, resp. kombinovanou dopravou.

Emisie vodíka vyrobeného z dovezeného skvapalneného zemného plynu (LNG) alebo plynu zo vzdialených ložísk (aj pôvodom z Ruska) vo väčšine prípadov prekračujú limit stanovený pre nízkouhlíkový vodík. Je to spôsobené zvýšenou uhlíkovou stopou kvôli únikom pri ťažbe, spracovaní a preprave. Zemný plyn dovezený z Blízkeho východu ako je Nórsko alebo domáci (vo veľmi obmedzenom objeme) nemá rovnaký problém a tak pokiaľ sa pri výrobe vodíka používajú technológie CCS, vyrobený vodík môže naplniť potrebné požiadavky pre nízkouhlíkový vodík.¹³⁷

¹³⁵ IEA – Global Hydrogen Review 2024

¹³⁶ IEA – Global Hydrogen Review 2024

¹³⁷ Kind of Blue - The real climate impact of Blue Hydrogen and Gas-CCS



Obrázok 52: Porovnanie emisií vodíka vyrobeného z SMR s CCS a bez CCS

Zdroj: IEA GHG Technical Report Low-Carbon Hydrogen from Natural Gas: Global Roadmap

4.4.2.5 Skladovanie a využitie CO₂

CO₂ nachádza využitie v rôznych odvetviach priemyslu. V chemickom priemysle slúži ako surovina na výrobu syntetických palív, plastov či chemikálií. V potravinárstve sa využíva na sýtenie nápojov, zatiaľ čo v poľnohospodárstve pomáha zvyšovať výnosy v skleníkoch tým, že stimuluje fotosyntézu. Okrem toho sa CO₂ používa pri technológiách zvýšenej ťažby ropy (EOR), kde sa vstrekuje do ložísk na uvoľnenie zvyškových zásob ropy. Novšie prístupy zahŕňajú mineralizáciu, pri ktorej CO₂ reaguje s určitými minerálmi za vzniku stabilných uhľíkových zlúčenín, a tak prispieva k trvalému zachyteniu uhlíka.

Možné úložiska CO₂¹³⁸

- Vytŕažené ložiská ropy a plynu
- Soľné kaverny
- Hlboké podzemné vodonosné vrstvy
- Geologické úložiská s dlhodobou stabilitou

Niektoré z príležitostí na ukladanie CO₂ do podzemných geologických formácií majú tiež vhodné podmienky na podzemné skladovanie vodíka. V takejto situácii je nutné vyhodnotiť ktoré z využití je výhodnejšie. V prípade ukladania CO₂ je proces jednosmerný a podzemné

¹³⁸ IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage – Kapitola 5

úložisko sa využije len raz, ale v prípade skladovania vodíka sa zásobník pravidelne naplňa a vyprázdňuje.

Príklady využitia CO₂

- Výroba syntetických palív a chemikálií (Metanol, Nafta, Benzín)
- Sýtenie nápojov v potravinárskom priemysle
- Zvýšenie úrody v skleníkoch a vertikálnych farmách (poľnohospodárstvo)
- Chladenie

Týmto spôsobom možno CO₂ nielen bezpečne ukladať, ale zároveň ho aj efektívne využiť na hospodárske účely. Tieto technológie ponúkajú riešenia, ktoré kombinujú environmentálne výhody s ekonomickými príležitosťami, a tak prispievajú k udržateľnému rozvoju.

Zachytávanie oxidu uhličitého v SR

V súčasnosti v SR existuje prevádzka na zachytávanie oxidu uhličitého v Leopoldove, kde je odpadový CO₂ z výroby bioetanolu zachytávaný, skvapalnený a prepravovaný k rôznym odberateľom v SR a zahraničí¹³⁹. Zachytávanie a využívanie uhlíka (CCU) je spoločným projektom skupiny SIAD a skupiny Envien. Ročne sa týmto projektom zachytí zhruba 40 000 t CO₂.

V EÚ máme riešenia využívajúce CCU, napr. v Chorvátsku (MOL Group), Taliansku alebo Holandsku.

4.4.3 Výroba vodíka z odpadu a biomasy s CCS

Kapitola sa zameria na alternatívne metódy výroby vodíka (napr. pomocou pyrolýzy biomasy alebo odpadu). Zhodnotí sa technická realizovateľnosť, environmentálne prínosy a ekonomická životaschopnosť týchto technológií. Analyzuje potenciál (do r. 2030) aj súčasný stav technológií a ich nasadenie v rámci Slovenska.

Výroba vodíka z odpadu a biomasy môže prebiehať dvoma spôsobmi:

- Nepriama výroba - výroba elektrickej energie spaľovaním a následné využitie elektrickej energie v elektrolyzéoch na výrobu vodíka
- Priama výroba - priama výroba vodíka z odpadu a biomasy využitím chemického rozkladu – v tejto časti sa Štúdia kapitola sa zaoberá iba takouto priamou výrobou vodíka

Priama výroba vodíka môže prebiehať termochemicky, biochemicky alebo elektrochemicky:

Termochemická konverzia.

¹³⁹ <https://www.enviengroup.eu/sk/aktuality/jedinecna-technologie-na-zachytavanie-a-skvapalnovanie-co2-bude-najvaecsou-na-slovensku>

Parný reforming bioplynu, splyňovanie, pyrolýza a plazmolýza rozkladajú pôsobením vysokej teploty organický odpad, CH₄ alebo plasty. Medziproduktom je tzv. syngas (syntézny plyn), ktorý obsahuje najmä oxid uhoľnatý a vodík. Ďalším procesom sa potom zvyšuje obsah vodíka na úkor CO. Tento postup, podobne ako pri výrobe vodíka zo zemného plynu, produkuje emisie, ktoré je možné zachytávať, čím ale narastú celkové náklady.

Biochemická konverzia

Biochemická konverzia je náročná a prebieha v dvoch krokoch. Organický odpad sa najprv rozloží pomocou mikroorganizmov a enzýmov a vytvorí bioplyn, ktorého hlavné zložky sú CH₄ a CO₂. Bioplyn sa následne spracuje parným alebo suchým reformingom, tak aby sa CH₄ premenil na syngas bohatý na vodík.

Elektrochemická konverzia

Elektrochemická konverzia je čistejším, ale nie priamym spôsobom výroby vodíka, pretože na elektrolytický proces sa používa elektrická energia, ktorá vzniká pri spracovaní odpadu aj s príslušnými emisiami.

Nezávisle od technológie použitej na konverziu je potrebný proces čistenia plynu bohatého na vodík. Tento proces môže byť založený na rôznych metódach ako je absorpcia zmenou tlaku (PSA - pressure swing adsorption), chemická absorpcia pomocou amínového roztoku, membránová separácia, alebo katalytické reakcie na odstránenie nežiadanych komponentov (síra, CO a pod.).

Výroba vodíka z odpadu a biomasy používa viaceré alternatívne metódy, ale najčastejšia a najrozvinutejšia termochemická konverzia pomocou pyrolýzy. Energetická efektivita priamej výroby vodíka z odpadu a biomasy sa pohybuje na úrovni 40 – 67 % (na základe nižšej výhrevnej hodnoty vodíka) a výrobná cena v rozmedzí 4 – 6,5 eur/kg¹⁴⁰.

¹⁴⁰ IEA Global Hydrogen Review 2024



Obrázok 53: Ilustrácia výroby vodíka z rôznych druhov odpadu

Zdroj: *Unlocking New Possibilities (2024) – Waste-to-hydrogen as an energy source for fuel cell vehicle – Empower the Future (Quantron AG)*

4.4.3.1 Pyrolýza vodíka

Pyrolýza je termický rozklad materiálu bez prítomnosti kyslíka. Je základom procesov splyňovania a skvapalňovania tuhých látok. Dokonca pyrolytické procesy predchádzajú i samotnému horeniu, keď sa v dôsledku tepla začnú z materiálov uvoľňovať zmesi horľavých plynov, ktoré po úniku a následnom kontakte s kyslíkom za vysokej teploty absolvujú horenie, čiže rýchle exotermické reakcie. Priebeh pyrolýzy možno rozdeliť na dva základné deje:

- termickú depolymeráciu bituménu
- termolýzu vzniknutých produktov primárneho rozkladu

Delenie pyrolýz podľa teploty

- Strednoteplotná pyrolýza: dosahované teploty sú od 600 do 1 000 °C.
- Vysokoteplotné pyrolýzy: sú to termolýzne deje, v ktorých je dosahovaná teplota cez 1 000 °C.
- Krakovanie: Termolýzne deje pod 600 °C.

Strednoteplotné pyrolýzy

Patria k najvýznamnejším v petrochémii. Možno im podrobovať všetky uhl'ovodíky – etán, ľahké, stredné i ťažšie frakcie z primárneho i hlbokého spracovania ropy, samotnú ropu a uhl'ovodíkové produkty z náhradných zdrojov. Hlavným produktom je etylén.

Vyššie alkány sa všeobecne rozštiepia na nižšie alkány a nižšie alkény alebo na alkény a vodík. Radikály sa štiepia v mieste oslabenej väzby $-C-C-$ alebo $-CH$ v polohe β k radikálovému uhlíku.

Pevný produkt pyrolýzy predstavuje koks, ktorý sa pravidelne ukladá na povrchu reaktora. Názory na mechanizmus tvorby koksu nie sú ustálené. Pravdepodobne jestvujú dva mechanizmy. Podľa prvého sa koksotvorné látky adsorbujú priamo z plynnej fázy na aktívnych centrách povrchu a tu postupnými reakciami s radikálmi z plynnej fázy a nasledujúcimi polymerizáciami a kondenzáciami prechádzajú až na koks. Podľa druhého prebiehajú tieto interakcie, polymerizácie a kondenzácie v plynnej fáze až po vznik aerosolu. Vytvorené kvapky sa usadzujú na povrchu a ďalšími reakciami prechádzajú na koks. V prvom prípade vzniká vláknitý koks obsahujúci kov. V druhom prípade závisí forma koksu od toho, či kvapky povrch zmáčajú alebo nie. Ak áno, vzniká na ňom plocha amorfného koksu. Ak nie, vzniká globulárny (sferoidný) koks.

Vysokoteplotné pyrolýzy

Hlavnou splodinou vysokoteplotných pyrolýz je acetylén, hlavnou surovinou je CH_4 a benzín, samozrejme možné je využiť i ťažšie suroviny, ropu a uhlie. Pri teplotách nad tisíc stupňov je acetylén najstabilnejším uhlíkovodíkom. Ak má byť potlačený spätný rozklad acetylénu na uhlík (sadze) a vodík, musí sa pracovať pri veľmi krátkych reakčných časoch a vzniknutý acetylén sa musí kineticky zmraziť, t.j. prudko schlaadiť pod $200\text{ }^\circ\text{C}$ (quench rýchlosťou $1010\text{ }^\circ\text{C.s}^{-1}$). Riešenie rýchlej dodávky tepla na teploty $1200\text{ }^\circ\text{C}$ a viac, veľmi krátkych reakčných časov, nízkych tlakov a prudkého ochladenia má rôzne podoby. V oblúkových elektrických plazmatrónoch sa vháňa CH_4 alebo vyššie uhlíkovodíky do oblúka vytvoreného medzi elektródami (napr. katódou z thóριοvaného wolfrámu a medenou vodou chladenou anódou, ktorá tvorí výpustnú dýzu reaktora). Pri napätí až $7,2\text{ kV}$, príkone až 8 MW , teplote min. $18000\text{ }^\circ\text{C}$ v strede oblúka, $5400\text{ }^\circ\text{C}$ v reakčnom priestore, $3200\text{ }^\circ\text{C}$ pri výstupe a zdržanej dobe $0,3\text{ ms}$, sú dobre splnené podmienky pre vznik acetylénu. Jeho udržanie vyžaduje quench rýchlosť $1010\text{ }^\circ\text{C.s}^{-1}$, čo sa nedá dosiahnuť ani kombináciou Lavalova dýza a priameho sprchovania exhalátov vodou s využitím výparného tepla. Ako jediná účinná možnosť prichádza do úvahy chladenie chemickou reakciou. Preto sa v systémoch realizuje tzv. druhý vstrek po čase 2.10^{-3} s vstupnou surovinou (napr. benzín). Prebehne rýchla chemická reakcia, ktorej hlavným produktom po čase 2.10^{-5} s je etylén. Po jeho dosiahnutí okamžite nastupuje Lavalova dýza spôsobujúca adiabatickú expanziu plynu s ochladením a následné sprchovanie vodou.

Typy pyrolýz podľa hlavných produktov

Konečné produkty, ktoré všeobecne získavame procesom pyrolýzy, zahŕňajú všetky tri skupenstvá. Všeobecne možno jednotlivé skupenstvá charakterizovať:

Pevné

- prevažne tmavej, sýto-čiernej farby, menej už sivej, či hnedej
- tvoria ho väčšinou látky, ktoré obsahujú dlhé uhlíkové fragmenty
- zuhoľnatený zvyšok, škvara, popol

Kvapalné

- ich farba sa pohybuje od čiernej, tmavohnedej, až po bledohnedú
- fragmenty týchto látok majú dĺžku do 20 atómov uhlíka
- dechty (obsahujú mnohé hodnotné chemikálie), bio-olej

Plynné

- pozostávajúce zo spaľovacích plynov, ktorých molekuly obsahujú menej ako 4 atómy uhlíka
- CO, CO₂, H₂, CH₄, C_nH_m
- ich horenie dodáva časť tepla potrebného pri procese

Zastúpenie jednotlivých skupenstiev závisí v prvom rade od typu pyrolýzy, a od druhu vstupného materiálu. Ním môžu byť všetky druhy uhlia, rašelina, drevo, organická biomasa, prípadne odpady s obsahom uhlíkovodíkov (plasty, gumeny, asfalt atď.). Podľa hlavného výsledného produktu pyrolýzy rozlišujeme na: karbonizáciu, skvapaľňovanie a splynovanie.

4.4.3.2 Karbonizácia

Karbonizačné procesy sa uprednostňujú pri získavaní produktu s vysokým obsahom uhlíka. Pre ich priebeh sú potrebné vyššie teploty (až do 1 000 °C).

Počas procesu sa karbonizovaný materiál rozkladá na množstvo substancií, z ktorých hlavná je čierny pórovitý materiál, zachovávajúci si svoju pôvodnú štruktúru, tvorený hlavne elementárnym uhlíkom - drevené uhlie. Transformácia dreva na drevené uhlie je prakticky ukončená už pri teplote 400 °C. Pri tejto teplote ešte stále drevené uhlie obsahuje množstvo dechtu (asi 30 hm. %), a preto je potrebné ďalšie zvýšenie teploty až do 700 – 1 000 °C.

Ideálny karbonizačný proces je taký, ktorý pre svoj priebeh nevyžaduje dodávanie tepla. Teplo potrebné pre vývoj procesu môže byť udržané teplom produkovaným pri horení plynov a kvapalín vznikajúcich pri procese. V praxi vzhľadom na straty tepla cez steny je tento cieľ problematické dosiahnuť a preto sú potrebné pomocné zdroje tepla.

4.4.3.3 Skvapaľňovanie

Pre výrobu kvapalných produktov je najvhodnejší interval teplôt 350 – 550 °C. Chemický charakter vzniknutých kvapalných produktov do značnej miery ovplyvňuje rýchlosť odvodu produktov z vlastného reakčného pásma.

Kvapalné produkty pyrolýzy majú potenciál podobný ropе avšak obsahujú niektoré kyseliny (napr. kyselinu octovú), a musia byť preto pred použitím upravené. Je v nich obsiahnutých okolo 14 organických zlúčenín. Energetika z nich využíva olejovité produkty (napr. metanol CH₃OH, ktorý možno s inými olejmi miešať pre automobilové motory, alebo ich spaľovať v tryskových horákových kotloch). Veľmi dôležité sú aj rôzne rozvetvené uhlíkovodíky s piatimi a šiestimi uhlíkmi v hlavnom reťazci. Najznámejší z nich je levoglukozán.

4.4.3.4 Splyňovanie

Splyňovaním rozumieme, čo najúplnejšiu premenu uhlíkatého materiálu na horľavé plyny pôsobením vysokých teplôt a splyňovacích médií. Ako splyňovacie médium sa používa voľný alebo viazaný kyslík (CO_2 , vodná para) a vodík. Splyňovací proces vlastne predstavuje rýchlu pyrolýzu. Pri teplote 800 – 900 °C vedie k produkcii len 10 % dreveného uhlia. Až 60 % materiálu sa mení na energeticky hodnotné palivo - plyn bohatý na vodík, oxid uhoľnatý, dusík a doprevádzajúce zložky predstavujú CH_4 (pri klasickom splyňovaní patrí medzi dominantné zložky), CO_2 , voda, karbonizačné produkty, sírne zlúčeniny a stopové prvky.

4.4.3.5 Pyrolýza biomasy

Pyrolýza je termický rozklad materiálu za neprítomnosti kyslíka.

Termický rozklad vzhľadom na prevažne polymérnu stavbu pozostáva z:

- depolymerizácie reťazca
- dehydratácie
- vzniku sekundárnych produktov

4.4.3.6 Získavanie vodíka z generátorových plynov

Plyny získané v procesoch pyrolýzy a splyňovania obsahujú určité percento vodíka (10 – 30 %). Pre potreby spaľovania už nie sú potrebné žiadne úpravy, okrem odstránenia sadzí, karcinogénnych a toxických látok. Vodíkové hospodárstvo uvažuje s využitím vodíka pre pohon dopravných prostriedkov so spaľovaním v palivových článkoch. Tieto horľavé zmesi by teda bolo nutné dočistiť alebo minimálne obohatiť vodíkom.

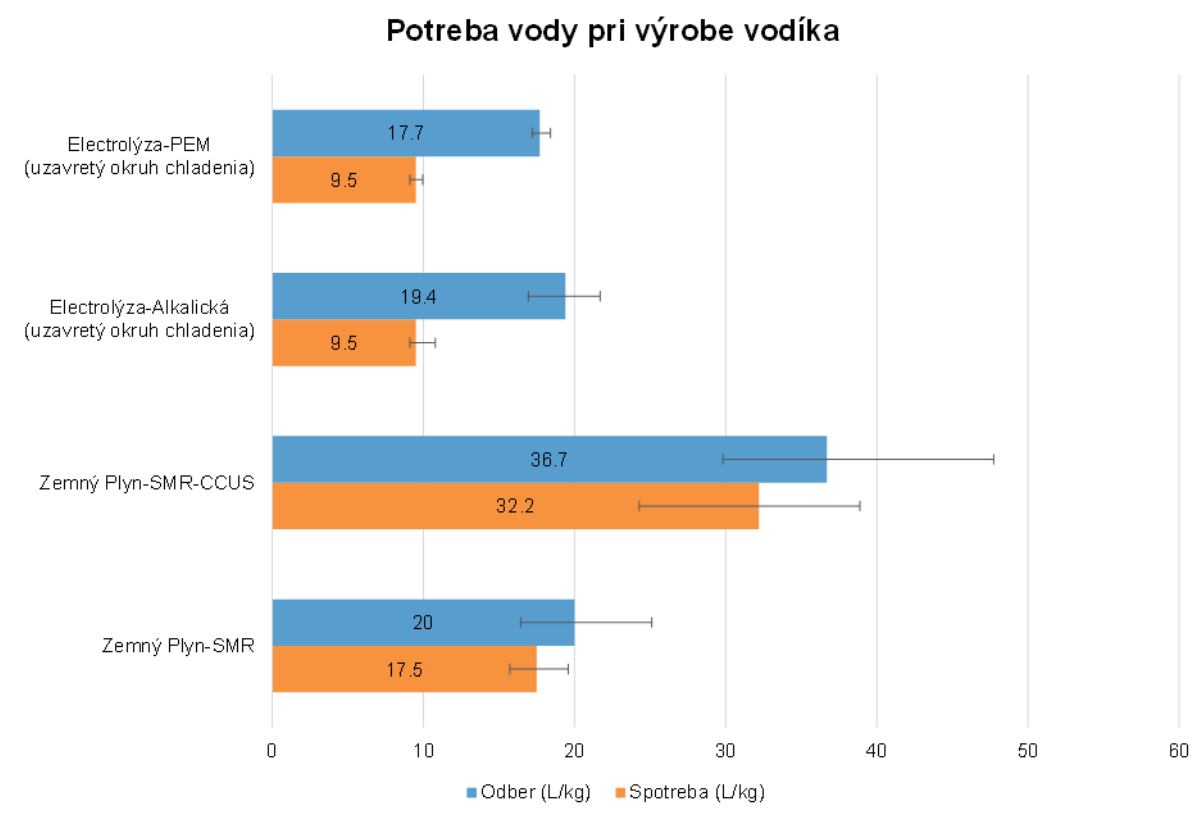
4.4.4 Potreba vodných zdrojov pre výrobu vodíka

Na výrobu 1 kg vodíka je potrebné 10 – 80 l vody, čo je pomerne veľké množstvo. Voda sa používa nielen ako zdrojová surovina, ale aj na výrobu elektrickej energie a v podstatnej miere aj na chladenie vo výrobnom procese.

Slovensko ako celok má zatiaľ dostatočné zásoby vody, avšak regionálne rozdiely sú výrazné. Pri veľkokapacitnej výrobe vodíka je potrebné brať do úvahy aj zdroj vody, keďže jeho výroba by mohla výrazne ovplyvniť miestnu dostupnosť vody, hlavne v suchších mesiacoch a v rizikových oblastiach Slovenska.

Môže to znamenať riziko že v niektorých regiónoch nebudú dostatočné zásoby vody a to najmä na východnom Slovensku. S napredujúcimi klimatickými zmenami sa zvyšuje hrozba výskytu období sucha, čo môže mať významný dopad na stabilitu vodných zdrojov v dotknutých oblastiach.

Spotreba vody pri výrobe vodíka závisí od použitej technológie, ako znázorňuje obrázok nižšie. Vo všeobecnosti platí, že ekologická výroba vyžaduje menej vody, s ohľadom na celkovú energetickú efektívnosť a menšie množstvo odpadového tepla.



Obrázok 54: Odber a spotreba vody pre relevantné technológie výroby vodíka

Zdroj: IRENA 2023

Minimálne množstvo vody potrebnej na výrobu vodíka elektrolýzou je okolo 9 l/kg ktoré je definované chemickým zložením vody (H_2O)¹⁴¹. V praxi je však odber vody elektrolýzermi vyšší a to najmä kvôli potrebnej filtrácii a čisteniu vody pred samotnou elektrolýzou, ale aj kvôli stratám spojeným s chladením procesu. Väčšina elektrolýzéroov dnes používa chladenie s uzavretým okruhom čo znamená, že spotreba vody na chladenie je zanedbateľná v porovnaní s celkovou spotrebou. Chladenie s uzavretým okruhom používa vzduch na chladenie chladiacej kvapaliny ktorá cirkuluje v uzavretom systéme a mína sa najmä kvôli jej odparovaniu. V prípade, že je dostupné dostatočné množstvo vody, je možné používať chladenie pomocou vody a nie vzduchom. V tomto prípade sa značne zníži spotreba energie na chladenie elektrolýzera, avšak je potrebný podstatne väčší prísun vody.

Elektrolýza s využitím PEM (membrána na výmenu protónov) odoberie 25,7 l vody na 1 kg obnoviteľného vodíka, ale elektrolýza alkalickéj vody už má odber 32,2 l/kg za predpokladu

¹⁴¹ Energy UK: A Review of Water Use for Hydrogen Production, https://www.energy-uk.org.uk/wp-content/uploads/2023/03/2022_PSP_EC_2957.pdf

že elektrolyzéry používajú chladenie s otvoreným okruhom. Použitím chladenia vzduchom je možné znížiť potrebu vody v elektrolyzéroch na úroveň okolo 9,5 l/kg. Takáto úprava je výhodná najmä v podmienkach s nedostatkom vody¹⁴². Parný reforming so zachytávaním CO₂ a s jeho uskladnením alebo použitím (CCS/CCU), má spotrebu vody na úrovni 32,2 l/kg práve z dôvodu náročnosti procesu CCS/CCU pri prenose tepla.

Energetika dnes spotrebuje rádovo viac vody ako jej bude potrebovať v dohľadnej dobe predpokladaný nárast implementácie vodíka. Za predpokladu, že výroba (a spotreba) vodíka by stúpala až na 200 000 t, ročná spotreba vody pri elektrolýze 20 l/kg H₂ by bola 4 mil. m³ vody, čo zodpovedá nepretržitému prietoku 126 l/s, čo tvorí približne 3 % celkovej spotreby vody priemyslom Slovenska. Pri použití najmenej efektívnej technológie s pohľadom spotreby vody by to bolo maximálne 10 mil. m³ vody, 7,7% spotreby priemyslu.

Pri plánovaní budúcich kapacít pre vodík je nevyhnutné zvažovať dostupnosť vodných zdrojov aj ich očakávaný trend. Aktuálna aj budúca dostupnosť vodných zdrojov je preto jedným z významných faktorov analyzovaných pri návrhu realistických a perspektívnych vodíkových údolí na Slovensku.

Zdrojov vody pre elektrolýzu existuje viacero, líšia sa ich dostupnosťou a čistotou. Každý zdroj vody musí byť upravený tak, aby spĺňal požiadavky minimálnej čistoty čím sa zabráni poškodeniu zariadenia na výrobu vodíka. Hlavné zdroje vody pre elektrolytickú výrobu vodíka sú v SR nasledovné:

- Voda z vodovodnej siete
 - Ľahko dostupná vo väčšine oblastí, ale môže vyžadovať čistenie na odstránenie nečistôt, ktoré môžu ovplyvniť proces elektrolýzy. Na niektorých miestach môžu existovať obmedzenia z dôvodu nedostatočnej infraštruktúry, alebo lokálnych zdrojov vody.
- Podzemná voda
 - Možno čerpať na niektorých miestach, ale môže vyžadovať úpravu na odstránenie minerálov a kontaminantov.
- Odpadová voda (recyklovaná voda)
 - Upravená odpadová voda alebo voda z priemyselných, poľnohospodárskych alebo mestských zdrojov, môže byť udržateľnou možnosťou, ak je dostatočne prečistená.
- Dažďová voda
 - Zhromaždená a uskladnená dažďová voda môže slúžiť ako obnoviteľný zdroj, ale vyžaduje filtráciu a čistenie.
- Povrchová voda (rieky, jazerá)
 - Dostupná v mnohých oblastiach, ale vyžaduje filtráciu a čistenie kvôli obsahu organických látok a minerálov.
- Priemyselná procesná voda

¹⁴² Energy UK: A Review of Water Use for Hydrogen Production. (https://www.energy-uk.org.uk/wp-content/uploads/2023/03/2022_PSP_EC_2957.pdf)

- Voda použitá v iných priemyselných procesoch môže byť opätovne použitá pre elektrolýzu po náležitej filtrácii.

S ohľadom na to, že 85 % celkovej spotreby vody na Slovensku je pokryté podzemnou vodou, je potrebné prioritne preveriť využiteľnosť týchto zdrojov na regionálnej úrovni. Hydrogeologická mapa Geologického ústavu Dionýza Štúra ukazuje najlepšiu dostupnosť zdrojov podzemnej vody v nasledovných oblastiach:

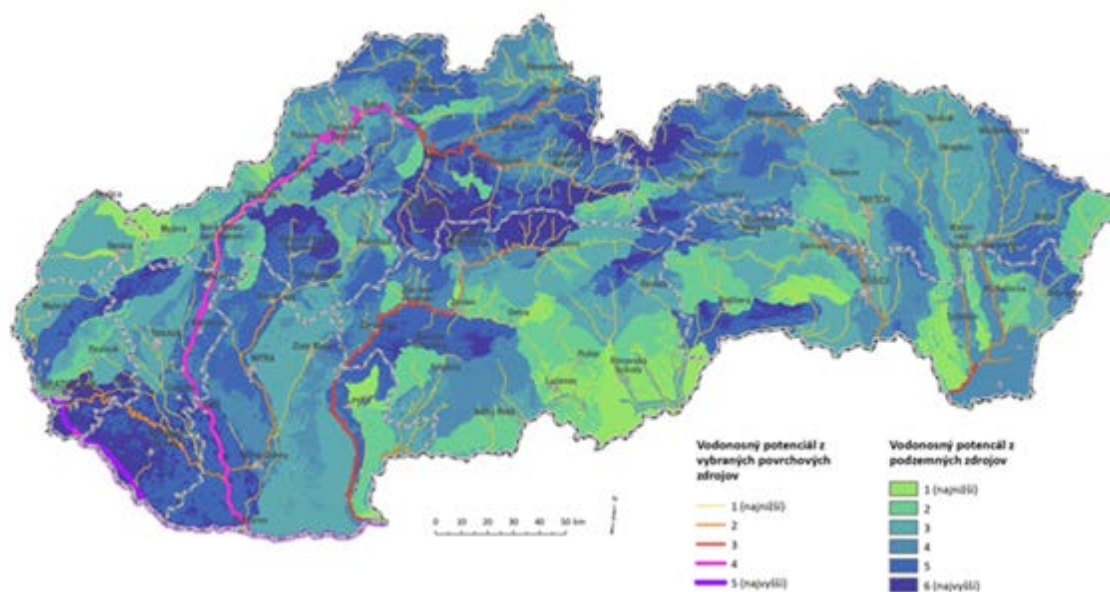
- Žitný ostrov k dispozícii aj pre Slovnaft Bratislavu a s dosahom na severo-východe až po Šaľu s Duslom
- Stredné Slovensko – Banská Bystrica a Zvolen
- Slovenský kras – až po Moldava nad Bodvou – 30 km od Košíc



Obrázok 55: Hydrogeologická mapa najvýdatnejších zdrojov podzemnej vody

Zdroj: Geologický ústav Dionýza Štúra

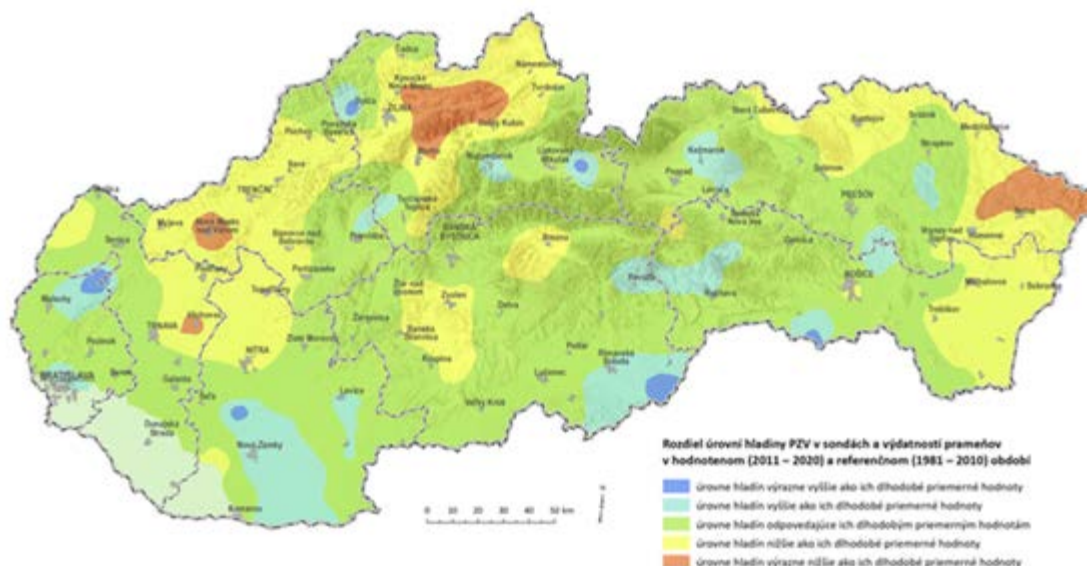
Prítomnosť vodných zdrojov je aj v iných regiónoch Slovenska, ako ukazuje mapa nižšie.



Obrázok 56: Vodonosný potenciál z povrchových a podzemných vodných zdrojov

Zdroj: SHMÚ

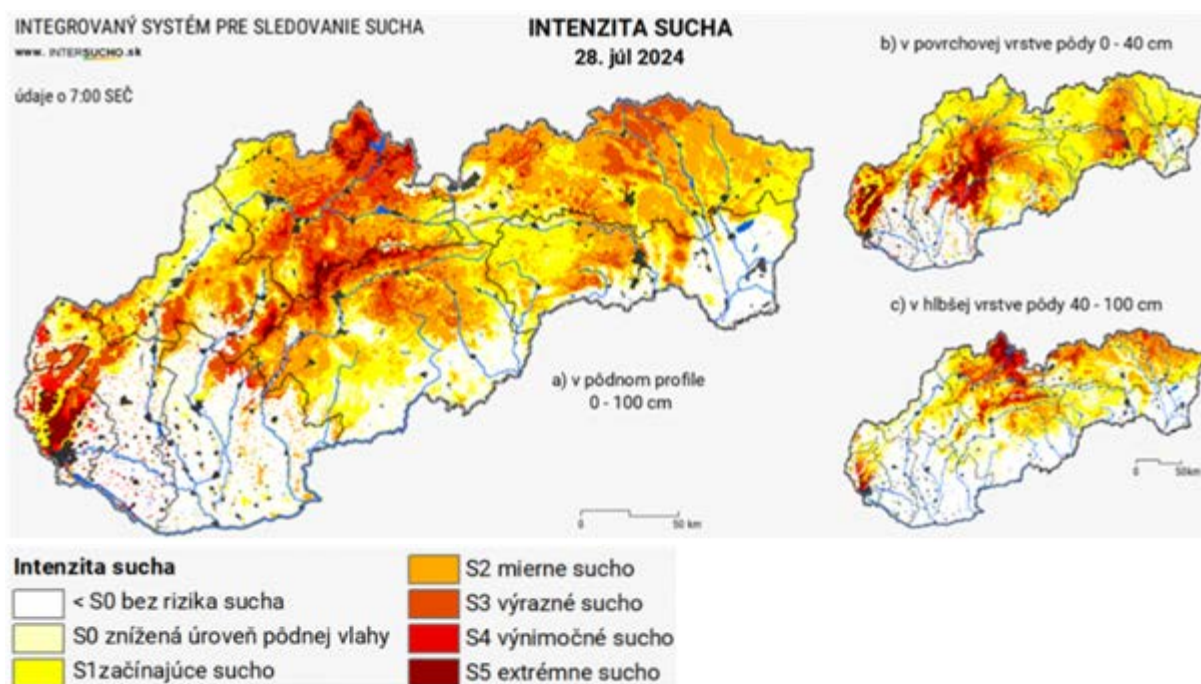
Podstatným faktorom pre alokovanie výroby vodíka v jednotlivých vodíkových údoliach musí vziať do úvahy nielen aktuálny stav vodných zdrojov, ale aj predpokladané negatívne trendy. Zavádzanie vodíka nemôže ohroziť iné potreby vody – napr. poľnohospodárstvo, alebo aj domácnosti. Rozvoj výroby vodíka nemožno zvažovať v okresoch, ktorým už dnes hrozí nedostatok vody. Slovenský hydrometeorologický ústav predikoval dopady sucha na podzemné vody, čo ukazuje negatívny trend podľa mapy nižšie.



Obrázok 57: Priestorové hodnotenie dopadov sucha na podzemnú vodu SR 2011 - 2020

Zdroj: SHMÚ

Klimatické zmeny prinášajú suchá aj na územie Slovenska a pre výrobu vodíka by to mohlo znamenať dočasné alebo aj dlhodobejšie prerušenie dodávky vody. S ohľadom na potrebu kontinuálnej výroby vodíka pre priemysel by takéto riziko bolo kritické. Čiastočné zníženie tohto rizikového faktora pomôže implementácia čo najefektívnejších technológií na výrobu obnoviteľného vodíka. Monitoring sucha SHMÚ ukazuje najväčšie riziká pre pôdne sucho na západe SR, v severných častiach nášho územia a tiež na severe Východného Slovenska.



Obrázok 58: Monitoring sucha v pôde 2024

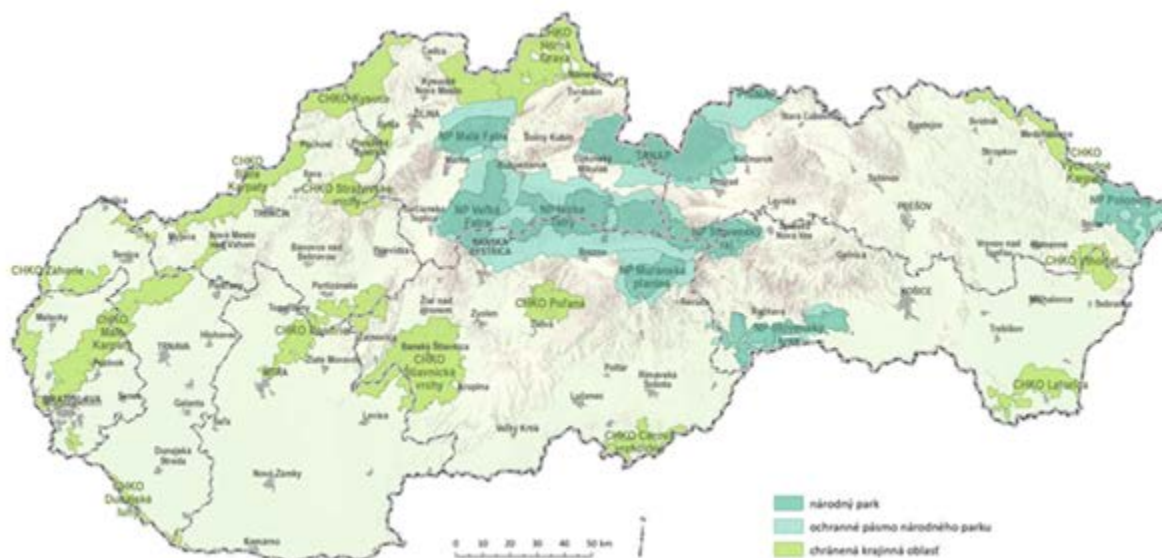
Zdroj: SHMÚ

Dostupnosť vodných zdrojov je daná aj infraštruktúrou v mieste plánovanej výroby vodíka. Odber potrebného množstva vody bude vyžadovať nielen dostatok vody akceptovateľnej kvality, ale aj napojenie na potrubia s dostatočnou voľnou kapacitou.

Využívanie vodných zdrojov a akákoľvek priemyselná činnosť nie je dovolená v chránených územiach.¹⁴³

Pri návrhu vodíkových údolí boli analyzované chránené územia väčšieho rozsahu. Menšie lokálne rezervácie bude potrebné zvážiť pri presnejšej špecifikácii umiestnenia technológií s príslušnou infraštruktúrou a v posudzovaní vplyvu na životné prostredie.

¹⁴³ Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky - Prehľad chránených území (<https://www.sopsr.sk/web/?cl=114>).



Obrázok 59: Veľkoplošné chránené územia prírody SR

Zdroj: Štátna ochrana prírody slovenskej republiky

Časť vody, ktorá bude pri výrobe odobratá a nebude nespotrebovaná, bude vykazovať znečistenie neprípustné pre jej vypustenie. Bez adekvátneho filtrovania a čistenia by jej kvalita nebola vhodná na ďalšie použitie. S ohľadom na spracovanie vody pri výrobe vodíka, bude mať takto vypúšťaná voda vyšší obsah nečistôt (čistá voda bez minerálov a iných nečistôt bude spotrebovaná).

4.4.5 Ostatné predpoklady pre zriadenie výroby vodíka

Pri výbere lokality je potrebné prihliadať na viacero faktorov ktoré rozhodnú či je lokalita vhodná na prevádzkovanie výroby vodíka. V záležitosti od projektu môžu byť aplikovateľné všetky alebo iba niektoré z uvedených faktorov:

1. Vzdialenosť od obytných oblastí a iných citlivých oblastí
2. Situácia v územnom plánovaní
3. Chránené územia
4. Vlastníctvo a cena pozemkov
5. Dostupnosť vodných zdrojov
6. Dostupnosť prostredníctvom cestných komunikácií
7. Dostatočná rozloha pozemkov na akomodáciu OZE (v prípade priameho prepojenia s výrobou)

4.4.5.1 Riadenie rizík a bezpečnostné opatrenia

Vodík prináša mnoho výhod, ale manipulácia s ním je spojená s určitými rizikami.

Vodík je vysoko horľavý plyn s koncentraciami 4 – 75 % vo vzduchu, pri ktorých môže dôjsť k horeniu. V uzavretých priestoroch jeho akumulácia pri koncentráciách 18–59 % predstavuje vysoké riziko explozívnych situácií. Je preto potrebné adekvátne monitorovanie únikov vodíka

a včasná implementácia bezpečnostných opatrení v súlade so zákonom č. 128/2015 Z. z. o prevencii závažných priemyselných havárií a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Vodík má schopnosť prenikať do kovových materiálov, čo vedie k oslabeniu ich štruktúry a zvyšuje riziko mechanických porúch. Tento jav, známy ako vodíkové krehnutie, je mimoriadne významný pri skladovaní a preprave vodíka pod vysokým tlakom, kde môže dôjsť k nepredvídaným poruchám alebo zlyhaniu konštrukcií. Dané riziko je možné efektívne minimalizovať používaním správnych materiálov v súlade s európskymi a národnými normami a pravidelnou údržbou a kontrolou vodíkových systémov.

Ďalším rizikom spojeným s vodíkom je jeho veľmi malá molekulárna veľkosť, ktorá umožňuje ľahký únik, ak nie sú systémy dostatočne utesnené alebo ak nie sú použité vhodné materiály. Táto vlastnosť kladie vysoké nároky na kvalitu tesnení a technických riešení používaných pri skladovaní a preprave vodíka.

Bezpečné vzdialenosti

Vzhľadom na vlastnosti vodíka je dôležité dodržiavať bezpečné vzdialenosti pri jeho skladovaní a manipulácii. Európska norma EIGA¹⁴⁴ a ďalšie smernice stanovujú minimálne vzdialenosti medzi skladovacími nádobami, budovami a verejnými priestormi. Tieto vzdialenosti sú odvodené z analýzy rizík a modelovania šírenia explozívnych tlakov.

Regulácia SEVESO v slovenskom zákone

Regulácia SEVESO ktorá je transponovaná v slovenskom zákone č. 128/2015 Z. z. „o prevencii závažných priemyselných havárií a o zmene a doplnení niektorých zákonov“ je kľúčovým nástrojom na prevenciu závažných priemyselných havárií spojených s nebezpečnými látkami, vrátane vodíka. Skladovanie vodíka do 5 t a nad 5 t podlieha inej kategorizácii a sú vyžadované iné úrovne bezpečnostných opatrení.

Menej ako 5 t (podnik kategórie A) - Prevádzkovatelia sú povinní vypracovať program prevencie havárií, identifikovať riziká a prijať opatrenia na ich minimalizáciu.

Viac ako 5 t (podnik kategórie B) - Pri skladovaní vodíka nad 5 t sú požiadavky na bezpečnosť výrazne náročnejšie. Vyžaduje sa vypracovanie detailnej bezpečnostnej správy, vnútorného havarijného plánu a spolupráca so štátnymi orgánmi na vypracovaní plánov ochrany obyvateľstva.

4.4.5.2 Geografické a územné predpoklady

Na základe správy publikovanej Spoločným výskumným centrom rozloha výroby vodíka založenej na PEM technológií bola v priemere 120 m²/MW v roku 2017 a bude dosahovať

¹⁴⁴ EIGA Doc 75: "Methodology for Determination of Safety and Separation Distances"

predpokladaných 45 m²/MW v roku 2030.¹⁴⁵ Veľkokapacitná výroba vodíka tým pádom môže zaberat' značný priestor.

Požiadavky na priestor môžu byť násobne väčšie keď sa spolu s výrobou vodíka budú stavať dedikované OZE ako napr. solárne elektrárne. V takom prípade je nutné zabezpečiť pozemky s dostatočnou rozlohou. Pre efektívne fungovanie projektov je často potrebné zaistiť rozsiahle pozemky v rozlohe niekoľkých hektárov.

Publikácia CVaV o vodíku v SR¹⁴⁶ zdôrazňuje, že efektívne využitie obnoviteľných zdrojov energie pri výrobe vodíka závisí od dostupnosti pozemkov dostatočnej rozlohy na inštaláciu solárnych alebo veterných parkov. Takéto projekty často vyžadujú rozsiahle plochy, ktoré musia byť starostlivo vybrané na základe dostupnosti slnečného žiarenia, veterných podmienok a blízkosti k infraštruktúre na výrobu vodíka. Rozloha potrebná pre kombináciu OZE a elektrolýzy vodíka sa môže pohybovať v stovkách až tisícoch hektárov, v závislosti od kapacity projektu.

V prípade, že adekvátne pozemky na výstavbu OZE nie sú dostupné v blízkosti elektrolýzér, je možné využívať vzdialené OZE a elektrinu prenášať pomocou elektrizačnej sústavy. V takomto prípade sa cena energie na výrobu vodíka značne predražuje a vyrobený vodík nemusí byť konkurencieschopný pri vysokej predajnej cene.

Z týchto informácií vyplýva, že priestorové požiadavky na výrobu vodíka s pridruženými OZE sú významným faktorom, ktorý treba zohľadniť pri plánovaní v oblastiach, kde môže byť dostupnosť rozsiahlych pozemkov obmedzená.

Územný plán

Zriadenie výroby vodíka musí byť v súlade s platným územným plánom danej obce alebo regiónu. Územné plánovanie určuje vhodnosť lokality pre priemyselné činnosti, pričom zohľadňuje dostupnosť infraštruktúry, ochranu prírodných zdrojov a minimalizáciu negatívnych dopadov na okolie. Pre zriadenie výroby vodíka je potrebné, aby lokalita disponovala vhodným napojením na elektrickú a vodnú infraštruktúru, ako aj dostatočnou vzdialenosťou od obytných zón. Súlad s územným plánom je základným predpokladom na schválenie projektu.

Hodnotenie hlukovej záťaže a emisií

Výrobné zariadenia musia spĺňať limity hluku stanovené pre danú lokalitu v súlade so zákonom č. 355/2007 Z. z. o ochrane verejného zdravia. Toto zahŕňa:

- Vyjadrenie Regionálneho úradu verejného zdravotníctva (RÚVZ).
- Schválenie projektovej dokumentácie z pohľadu ochrany verejného zdravia.

¹⁴⁵ JRC Technical Report - Historical Analysis of FCH 2 JU Electrolyser Projects

¹⁴⁶ Centrum výskumu a vývoja - Vodík

- Posúdenie rizík pre zamestnancov a obyvateľstvo.

Územné rozhodnutie

Výroba vodíka si vyžaduje vydanie územného rozhodnutia, ktoré zabezpečuje súlad s územným plánom a ochranu prírodných hodnôt. V rámci procesu musí byť vypracovaný projekt, ktorý zahŕňa umiestnenie stavby, jej technické riešenia a napojenie na verejné siete. Toto rozhodnutie vydáva príslušný stavebný úrad, ktorý posudzuje aj možné dopady na infraštruktúru a životné prostredie.

Súhlas príslušných orgánov

Pri územnom konaní je nevyhnutné získať stanoviská od príslušných orgánov:

- Orgán ochrany životného prostredia: Posúdi environmentálne dopady projektu.
- Úrad verejného zdravotníctva: Overí vplyvy na zdravie zamestnancov a obyvateľov.
- Hasičský a záchranný zbor: Posúdi požiaru bezpečnosť, najmä v prevádzkach so zvýšeným rizikom požiarov a výbuchov.
- Inšpektorát práce: Zabezpečí kontrolu dodržiavania bezpečnostných opatrení v práci.
- Vodoprávne povolenie a odpadové hospodárstvo

4.4.6 Potenciál ťažby prírodného vodíka

Jednou z možností zabezpečenia vodíka, ktorá je zatiaľ len v štádiu vývoja, je prírodný vodík, (označovaný aj ako biely, alebo geologický), ktorý vzniká geologickými procesmi. Výrony vodíka z podzemia boli pozorované na mnohých miestach vo svete, ale pokiaľ ide o ložiská, väčšinou ide zatiaľ len o náhodné objavy.

Vodík môže byť v zemskej kôre (prípadne aj hlbšie) generovaný rôznymi procesmi, pričom z miesta svojho vzniku uniká smerom k povrchu, kde sa môže zachytiť v tzv. pasci a vytvoriť tam ložisko. Tieto ložiská, alebo akumulácie v podzemných pasciach, majú podobné vlastnosti ako bežné ložiská zemného plynu alebo ropy a predstavujú vyčerpatel'ný zdroj plynu v ktorom je vodík zastúpený v určitej koncentrácii.

Viaceré procesy v zemskej kôre vedú k nepretržitej tvorbe vodíka, čím vzniká nový typ ložiska, kde dopĺňanie vodíka z podzemných geologických procesov prebieha neustále. Prítok vodíka môže byť v priebehu kratšieho či dlhšieho časového obdobia pomerne variabilný. V takom prípade je na zhodnotenie ekonomicky výhodnej produkcie vodíka nutné poznať aj objemové prietoky, nielen koncentráciu. Takýto zdroj prírodného vodíka si vyžaduje úplne nový prístup nielen k prieskumu, ale aj k využitiu a vývoju nových senzorových systémov a analytických techník. Zároveň je potrebné preskúmať potenciál zdroja, mechanizmus a rýchlosť tvorby

vodíka, režim a fungovanie geologickej štruktúry, a vyvinúť tiež stimulačné techniky na zvýšenie produkcie a výťažnosti ložiska.¹⁴⁷

Vytváranie geologického vodíka je možné stimulovať aj umelo¹⁴⁸, s použitím adekvátnych katalyzátorov a s nastavením primeranej kombinácie geológie bohatej na železo, teploty a tlaku. Tento proces je aktuálne v procese výskumu a overovania, reálne prínosy nemožno do roku 2030 očakávať.

Pri ťažbe prírodného vodíka (a podobne aj pri geotermálnych vrtoch) je na hĺbkové vŕtanie možné použiť aj nové technológie relevantné pre oblasť vodíka:

- eFusion – termické hĺbenia s využitím vodíka¹⁴⁹
- plazmové vŕtanie GA Drillig – s potenciálom pre riešenie produkcie vodíka vo vhodných geologických podmienkach¹⁵⁰

Výskyt vodíka na Slovensku dosiaľ nebol zmapovaný. Niekoľko sľubných dát, ktoré boli získané z plynov odobratých z hlbokých vrtoch realizovaných v 60-tych až 70-tych rokoch minulého storočia v juhozápadnej časti Slovenska potvrdzujú prítomnosť až vyše 60 % vodíka v celkovom objeme analyzovaného plynu. Podobné, ale zvyčajne nižšie koncentrácie boli potvrdené aj na iných miestach nášho územia.

Potenciál týchto, ako aj ďalších nálezov musí byť potvrdený podrobným komplexným výskumom a prieskumom, ktorý pripravuje Ústav vied o Zemi SAV. Na získanie relevantných poznatkov o výskyte a potenciálnom využití zdrojov prírodného vodíka je potrebné financovať strategický geologický výskum a prieskum na území Slovenska z verejných zdrojov.

Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, v.v.i. sa zaoberá touto problematikou a vyvíja nové metódy na prieskum prírodného vodíka a disponuje odborníkmi v oblasti prírodných energetických zdrojov, ktorí majú dlhodobé vedecké a praktické skúsenosti získané v zahraničí ako aj v podmienkach slovenskej geológie.

Aktuálne neexistujú pravidlá usmerňujúce prieskum ale v mnohom pomáhajú vedecko-výskumné postupy vyvíjané vo svete a skúsenosti Ústavu vied o Zemi SAV s výskumom vodíka v prírodných podmienkach. Na Slovenskej akadémii vied v súčasnosti prebieha vedecký výskum procesov tvorby vodíka. Prieskum zdrojov prírodného vodíka na Slovensku vzbudzuje tiež živý záujem zo strany okolitých štátov s rizikom, že by výsledky týchto prieskumov mohli viesť k strate flexibility a kontroly štátu nad časťou strategických energetických zdrojov.

¹⁴⁷ Energy UK: A Review of Water Use for Hydrogen Production, https://www.energy-uk.org.uk/wp-content/uploads/2023/03/2022_PSP_EC_2957.pdf

¹⁴⁸ U.S. Department of Energy ARPA-E: Geologic Hydrogen, <https://arpa-e.energy.gov/technologies/exploratory-topics/geologic-hydrogen>

¹⁴⁹ eFusion, (<https://www.efusion.sk/>)

¹⁵⁰ GA Drilling, (<https://www.gadrilling.com/>)

4.5 Skladovanie a distribúcia vodíka a jeho derivátov

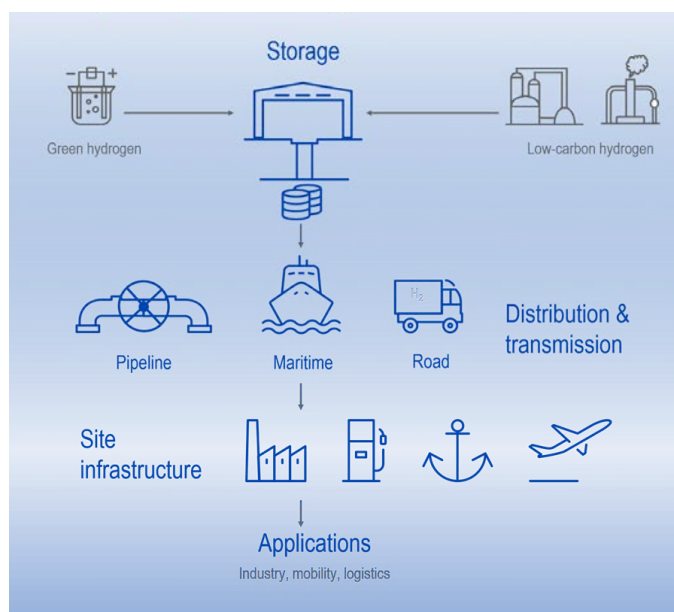
Táto časť Štúdie H2R sa venuje skladovaniu a distribúcii vodíka a jeho derivátov. Táto oblasť predstavuje komplexnú tému. Zahŕňa viaceré metódy a technológie s cieľom zvládnuť špecifické fyzikálne a chemické vlastnosti pre bezpečné a cenovo dostupné skladovanie a prepravu vodíka.

Skladovanie a distribúcia vodíka je možná:

- v plynnej forme
- v kvapalnej forme
- naviazaný na nosný materiál
- v zlúčeninách bohatých na vodík (NH₃, CH₄, metanol a pod.)¹⁵¹.

Skladovanie vodíka v plynnej alebo kvapalnej forme je dôležité pri jeho priemyselnej výrobe a využití. Pre využitie vodíka u malospotrebiteľa je potrebné nájsť taký spôsob skladovania, ktorý je výhodný z hľadiska bezpečnosti pri manipulácii s médium vykonávanej osobami bez osobitného technického a odborného vzdelania a školenia.

Využitie vodíka v sektore dopravy a energetike závisí od vybudovania skladovacej a distribučnej vodíkovej siete. Nasledujúci obrázok znázorňuje schému týchto procesov.



Obrázok 60: Skladovanie a distribúcia vodíka

Zdroj: TÜV SÜD

¹⁵¹ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.3c04181>

4.5.1 Skladovanie vodíka

Skladovanie vodíka je možné v plynnej forme, v kvapalnej forme, ako vodík naviazaný na nosný materiál a v zlúčeninách bohatých na vodík.

Vodík ako plyn

Najjednoduchšia a najrozšírenejšia forma skladovania vodíka je v plynnej forme stlačený pod vysokým tlakom. Využíva sa najmä v priemyselných a dopravných aplikáciách. Stláčanie vodíka sa realizuje pomocou vysokotlakových kompresorov. Alternatívou k vysoko tlakovému skladovaniu vodíka v plynnom skupenstve, sú podzemné zásobníky vhodné z geologického a geochemického hľadiska na uskladnenie vodíka.

Skladovanie vodíka v plynnom skupenstve, jeho hlavné výhody, nevýhody a technické požiadavky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Forma	Výhody	Nevýhody	Technické požiadavky
Vodík v plynnej forma pod vysokým tlakom	- jednoduchá manipulácia - overená technológia - možnosť dlhodobo skladovať bez strát - využitie veľkej časti existujúcej plynárenskej infraštruktúry	- nízka objemová energetická hustota a nízka merná hustota vodíka v plynnom stave, - vysokotlaková kompresia vyžaduje dodatočnú energiu - energetické straty pri kompresii (15 – 40 % z energetického obsahu vodíka), - zaberá relatívne veľký objem v pomere k množstvu uchováanej energie aj pri vysokom tlaku - tlakové nádoby s dostatočným množstvom vodíka zaberajú veľký objem a majú vysokú hmotnosť - špecifická hustota stlačeného H₂ je výrazne nižšia ako pri zemnom plyne a rope - v prípade úniku, nebezpečenstvo tvorby výbušných zmesí	- Vysokotlakové a vysoko účinné kompresory (p = 70 MPa, V = 42 kg / m³) - Onboard skladovacie systémy - tlakové nádoby (p_{min} = 14 – 17 MPa a viac) - Modernizácia plynovodov. - Výskum a vývoj materiálov umožňujúcich skladovať vodík pod vyšším tlakom v ľahších nádobách (80 – 90 MPa)
Podzemné skladovanie vodíka	- Opakované využitie vytŕažených ložísk nerastných surovín - Množstvo vyčerpaného plynu vzrastá s rýchlosťou čerpania a klesá s hrúbkou pórovitej vrstvy použitej na skladovanie; - Určité množstvo plynu sa môže získať, a to predovšetkým tá časť, ktorá sa nenachádza v mikropóroch zeminy.	- Vznik väčších a menších strát: 33 % objemu nevyčerpatelná - rozpusťnosť vodíka vo vode viazanej v horninách - z reakcie s uhl'ovodíkmi - penikanie vodíka mikropórm do nadložiskových vrstiev. - v prípade úniku, nebezpečenstvo tvorby výbušných zmesí	- Vytŕažené ložiská plynu, soľné alebo skalné kaverny s pórovitými vrstvami - Geologický výskum - Udržiavanie stáleho tlaku

Tabuľka 56: Skladovanie vodíka v plynnom skupenstve

Zdroj: stengl a.s.

Vysokotlakové kompresory stláčajú plynný vodík na tlak až do 70 MPa (približne 700-násobok atmosférického tlaku), kedy jeho špecifická hustota dosiahne približne 42 kg/m³. To je stále výrazne menej ako je hustota kvapalných fosílnych palív. Prezentuje to nasledujúca tabuľka.

Typ paliva	Hustota pri 15 °C [kg/m ³]	Gravimetrická energetická hustota [kWh/kg]	Objemová energetická hustota [kWh/m ³]	Skladovac í tlak [MPa]	Skladovacia teplota [°C]
Lodný vykurovací olej	855	11,9	10170	0,1	20
Nafta	846	11,83	10000	0,1	20
Kerozín	821	11,94	9800	0,1	20
Etanol	790	7,42	5860	0,1	20
Benzín	737	12,06	8890	0,1	20
Propán	510	12,9	6580	0,836	20
n-Bután	564	12,71	7170	0,208	20
izobután	557	12,67	7060	0,302	20
Metanol	790	5,54	4380	0,1	20
Dimetyléter (DME)	665	8	5320	0,51	20
Skvapalnený zemný plyn (LNG)	428	13,9	5950	0,1	-162
CNG 20 MPa	180	13,9	2500	20	20
CNG 50 MPa	295	13,9	4100	50	20
Skvapalnený amoniak (NH₃)	717	5,2	3730	0,857	20
Skvapalnený vodík (H₂)	70,8	33,3	2360	0,1	-253
H₂ pri 0.1 MPa	0,09	33,3	3	0,1	20
H₂ pri 20 MPa	15	33,3	493	20	20
H₂ pri 35 MPa	24	33,3	799	35	20
H₂ pri 70 MPa	42	33,3	1400	70	20
Tesla 4680 NMC811	2670	0,244	651	0,1	20

Množstvo energie, ktoré je potrebné vynaložiť na kompresiu, môže dosahovať v závislosti od účinnosti kompresora 15 až 40 % z energetického obsahu vodíka. Tieto energetické straty predstavujú nevýhodu, najmä pre aplikácie, kde je potrebná celková vysoká účinnosť vodíkového reťazca. Pri kompresii vodíka na tlak 20 MPa sa vynaloží práca odpovedajúca 7,2 % využiteľnej energie stlačeného vodíka. Pri kompresii na 80 MPa by to bolo cca 13 %.

V súčasnosti sa vodík vo vodíkových vozidlách a rovnako pre priemyselné využitie skladuje v prevažnej miere v stlačenej forme alebo v kvapalnom stave za veľmi nízkych teplôt (-253°C). Bežne používané skladovacie systémy sú aktuálne tlakové nádoby, v ktorých je vodík skladovaný pod tlakom 14 – 17 MPa. Nádoby s dostatočným množstvom vodíka zabierajú príliš veľký objem a sú príliš ťažké. Nové materiály na báze uhlíkových vlákien umožňujú skladovať vodík až pod tlakom 80 – 90 MPa v nádobách s výrazne nižšou hmotnosťou. Výskum v oblasti týchto materiálov umožňuje využitie vodíka ako bezemisného paliva pre dopravné prostriedky.

Pre priemyselné potreby boli v minulosti uskutočnené štúdie o využití podzemných zásobníkov na uskladnenie vodíka. Pri skladovaní zemného plynu sa tento spôsob dlhodobo využíva i v Slovenskej republike. V princípe sú dva spôsoby skladovania vodíka v podzemných nádržiach - vo vyčerpaných ložiskách plynu a v solných alebo skalných kavernách. V prípade vyčerpaných ložísk plynu sa maximum kapacity dosiahne až po niekoľkých rokoch, pričom sa v skutočnosti využíva 50 – 66 % skutočnej kapacity podzemného zásobníka.

Vodík ako kvapalina

Skladovanie vodíka v kvapalnom alebo kryokvapalnom stave je možné, ale len pri udržiavaní média pri veľmi nízkych teplotách. Skladovanie vodíka v kvapalnej forme, jeho výhody a problémy, ako aj požiadavky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Forma	Výhody	Nevýhody	Technické požiadavky
Vodík v kvapalnej forme (-253 °C)	- vysoká energetická hustota - možnosť prepravy na veľké vzdialenosti	- TB/tv -252,9 °C - v kvapalnom stave¹⁵² - vysoká prenikavosť niektorými materiálmi, - energetická náročnosť skvapalňovania - straty odparovaním - v prípade úniku, nebezpečenstvo explózie	- vyžaduje ultra nízke chladenie - tepelne izolované kryogénne nádoby minimalizujúce teplotné straty - čistota plynu
Kryo-stlačený vodík (-233 °C)	- kombinácia vyššieho tlaku a nižšej teploty zvyšuje skladovaciu kapacitu - možnosť prepravy na veľké vzdialenosti	- vysoké energetické požiadavky na chladenie (-233 °C) - vyžaduje špeciálne nádoby	- vyžaduje nízke chladenie - kryogénne technológie skladovania - tepelne izolované nádoby vyžadujúce špeciálnu manipuláciu

Tabuľka 58: Skladovanie vodíka v kvapalnom skupenstve, výhody

Zdroj: stengl, a.s.

¹⁵² <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>

Teplota varu vodíka nastáva pri veľmi nízkych teplotách ($-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Kvapalný vodík má 845-krát väčšiu hustotu ako vodík v plynnom skupenstve. Skvapalnením sa zvyšuje aj energetický obsah na jednotku objemu. Na skvapalnenie vodíka je potrebné značné množstvo energie. Teoretický na ochladenie z $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ je potrebných $3,6\text{ MJ/kg}$ a na kondenzáciu $0,46\text{ MJ/kg}$ za atmosférického tlaku. Pri Carnotovom ochladzovaní je v skutočnosti potrebných až 57 MJ/kg . Minimálne 30 % využiteľnej energie vodíka sa spotrebuje na jeho skvapalnenie. Kvapalný vodík musí byť skladovaný v izolovaných kryogénnych nádobách a 1 – 5 % objemu kvapalného vodíka zmení svoj stav z kvapalného na plynný, kvôli parazitickému teplu, ktoré preniká z vonkajšieho prostredia do vnútra kryogenickej nádoby s vodíkom a to aj napriek použitiu veľmi kvalitnej tepelnej izolácii, plynný vodík sa musí vypustiť z kryogenickej nádoby von, aby sa zabránilo explózii nádoby s kvapalným vodíkom.

Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim energetickú náročnosť skvapalňovacieho procesu je konverzia ortoformy vodíka na paraformu. Ortoforma vodíka predstavuje molekulu, v ktorej sa oba atómy vodíka otáčajú rovnakým spôsobom (majú rovnaký spin), zatiaľ čo v paraforme sa otáčajú opačne. Paravodík je stabilnejší pri nižšej teplote a má nižší entalpický obsah. Preto pri ochladzovaní a prechode ortoformy na paraformu sa uvoľňuje teplo (asi $0,7\text{ kJ/kg H}_2$), čo zvyšuje energetickú náročnosť procesu skvapalňovania. Pri skvapalňovaní sa zvyšuje obsah paraformy vodíka z 25 % až na 99 %. Okrem zvýšenia energetickej náročnosti pri skvapalňovaní sa táto fázová premena prejavuje vyparovaním vodíka pri jeho skladovaní v kvapalnej forme.

Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim skvapalňovací proces je čistota plynov. Všetky plyny okrem hélia sa musia zo zmesi odstrániť, nakoľko sa skvapalňujú alebo tuhnú ešte pred teplotou skvapalňovania vodíka. Ide predovšetkým o CO_2 , CO , CH_4 atď. Osobitne nebezpečný je obsah kyslíka, ktorý v kvapalnom vodíku nesmie prevýšiť koncentráciu 1 mg/kg , kedy hrozí nebezpečenstvo explózie.

Pre pohon dopravných prostriedkov by bolo možné využiť konvenčné nízkotlakové kryogénne nádoby s mnohvrstvovou vákuovou izoláciou, ktoré pracujú pri tlaku $0,5\text{ MPa}$. Sú ľahké a významne sa zlepšila bezpečnosť pri manipulácii. Z analýz vyplýva, že nie je možné zabrániť stratám pri tankovaní a v dôsledku tepelného prenosu sa vodík postupne vyparuje.

Alternatívou sú izolované vysokotlakové nádoby, pracujúce pri tlaku $24,8\text{ MPa}$, ktoré môžu byť naplnené kvapalným alebo plynným vodíkom.

Kryogénne nádoby:

Vodík sa v kvapalnej forme skladuje v špeciálnych kryogénnych nádobách, ktoré sú tepelne izolované tak, aby minimalizovali tepelné straty a proces odparovania vodíka (tzv. boil-off

hydrogen)¹⁵³. Tieto nádoby musia byť schopné odolať veľmi nízkym teplotám a udržať stabilitu systému.

Výhody:

Vysoká energetická hustota na objem: Skvapalnený vodík má oveľa vyššiu hustotu ako plynný, čo umožňuje skladovať väčšie množstvo energie v menšom objeme.

Možnosť prepravy na veľké vzdialenosti: Skvapalnený vodík sa ľahšie prepravuje, čo ho robí vhodným pre globálne dodávky.

Nevýhody:

Energetická náročnosť: Proces skvapalnenia je veľmi náročný na energiu, čo znižuje celkovú účinnosť systému.

Odparovanie (boil-off): Aj pri najlepších technológiách s dostatočnou izolačnou vrstvou dochádza k odparovaniu vodíka, čo vedie k postupným stratám vodíka, najmä pri dlhodobom skladovaní.

Komplexná infraštruktúra: Skladovanie a preprava skvapalneného vodíka vyžaduje kryogénne technológie, ktoré sú technicky náročné a drahé.

Vodík skladovaný v zlúčeninách, materiáloch a na nosičoch

V prípade využitia vodíka u malospotrebiteľov je nevyhnutné nájsť takú formu skladovania, ktorá by bola výhodná z hľadiska bezpečnosti pri jeho manipulácii vykonávanej osobami bez osobitného technického odborného vzdelania a školenia. Preto sa uvažuje s takým spôsobom skladovania, pri ktorom sa vodík viaže na vhodný nosič. Tým môžu byť tuhé alebo kvapalné látky, ktoré umožňuje bezpečné a relatívne kompaktné skladovanie.

Skladovanie vodíka v zlúčeninách a na nosičoch, jeho výhody, nevýhody a technické požiadavky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

¹⁵³ https://www.enviengroup.eu/images/blog/Vodk_CVV_2021_prv_vydanie.pdf

Forma	Výhody	Nevýhody	Technické požiadavky
Vodík v pevných materiáloch (hydridy)	• Bezpečnosť (eliminované riziko únikov a výbuchov) • Relatívne vysoká energetická hustota • nízke teplotné a tlakové nároky	• Vysoká hmotnosť • Pomalý proces uvoľňovania vodíka nevhodný pre aplikácie, ktoré potrebujú relatívne vysokú dodávku vodíka. • Vysoké obstarávacie náklady	• nízka rozkladná teplota, aby sa na uvoľňovanie mohlo použiť napr. nízkopotenciálne odpadové teplo, • prijateľný rozkladný tlak pri teplote rozkladu, aby bola pomerne malá spotreba energie pri uvoľňovaní vodíka, • veľké množstvo viazaného a uvoľňovania schopného vodíka na hmotnostnú alebo objemovú jednotku kovu/zliatiny, • nízka obstarávacia cena základného materiálu (kovu alebo zliatiny) a jeho ľahká dostupnosť, • malé prevádzkové náklady pri jeho použití
Vodík v chemických zlúčeninách (NH ₃ , CH ₄ , metanol a pod.) ¹⁵⁴ .	• Jednoduchšie skladovanie chemických derivátov ako skladovanie obnoviteľného/nízkoemisného vodíka. • vyššia hustota energie ako plynný/kvapalný H₂.	• Na uvoľnenie vodíka sú potrebné dodatočné procesy, ktoré sú energeticky náročné. • Niektoré chemické nosiče, ako napr. amoniak, sú toxické a	• Zlúčenina bohatá na vodík • Vhodná chemická väzba vodíka: Zlúčenina musí efektívne viazať vodík v dostatočnom množstve (ideálne >5 wt % H₂). Viazanie nesmie byť ani príliš silné (nízka

vyžadujú prísne bezpečnostné opatrenia.	účinnosť desorpcie), ani príliš slabé (riziko úniku). • t/p - desorpcia (uvoľnenie H₂) si často vyžaduje zvýšenú teplotu (napr. 100–350 °C). Niektoré materiály potrebujú katalyzátor alebo nízky tlak, aby uvoľnili vodík efektívne. • Reverzibilita systému: Kovové hydridy a niektoré LOHC systémy umožňujú opakované cykly (nabitie/vybitie). • Kapacita ukladania vodíka: Vyžaduje sa vysoký hmotnostný podiel vodíka (typicky cieľ >5–6 wt %). • Rýchlosť uvoľňovania vodíka (kinetika): Materiál musí byť schopný uvoľniť dostatočné množstvo vodíka v reálnom čase podľa potreby systému • Bezpečnosť a stabilita zlúčeniny: Látka musí byť chemicky stabilná pri skladovaní a preprave. Nesmie byť toxická, výbušná alebo agresívna • Materiálová kompatibilita: Skladovacie a distribučné systémy musia byť z materiálov odolných

			voči korózii alebo reakcii so zlúčeninou. - Nároky na recykláciu a regeneráciu: Po uvoľnení H₂ je často potrebné zlúčeninu recyklovať. Tento krok si vyžaduje dodatočné zariadenie a energiu, čím sa znižuje celková účinnosť cyklu. - Ekonomika a dostupnosť: Chemikálie by mali byť cenovo dostupné, ľahko dostupné, a recyklovateľné. .
Adsorpcia na uhlíkových materiáloch	- Bezpečné ukladanie pri nízkom tlaku. - Nízka hmotnosť materiálu: ideálne pre mobilné aplikácie (napr. vodíkové autá), výhodné pre letectvo, dopravu, drony. - Vysoký špecifický povrch: možnosť viazať veľa vodíka na malý objem. Zvyšuje to kapacitu adsorpcie. - Možnosť funkčnej úpravy: možnosť chemicky upraviť povrch zlepšuje schopnosť viazať vodík. - Reverzibilita – možnosť uvoľniť vodík: Adsorpcia vodíka je zvyčajne reverzibilná. To je dôležité pre cyklické použitie. - Dostupnosť a cena: Uhlíkové materiály sú relatívne lacné a dostupné v porovnaní s kovmi alebo zliatinami.	- Skladovacie kapacity týchto materiálov sú limitované kvôli nízkej objemovej a hmotnostnej hustote. - Praktické uplatnenie je obmedzované kvôli náročným podmienkam a vysokej cene samotného procesu.	- Vysoký špecifický povrch (BET plocha): Uhlíkový materiál by mal mať povrchovú plochu > 1000 m²/g. Vyššia plocha = viac miest pre adsorpciu H₂ molekúl. - Optimálna veľkosť pórov (mikro- a mezopóry): Efektívna adsorpcia vodíka nastáva najmä v mikropóroch (veľkosť < 2 nm). Mezopóry (2–50 nm) zlepšujú transport plynu do mikropórov. - Teplota a tlak adsorpcie: Vodík sa adsorbuje najlepšie pri: Nízkej teplote (~77 K) – kvapalný dusík;

Strednom až vysokom tlaku (5–100 bar) – podľa typu materiálu. .

- Reverzibilita (cyklická stabilita): Materiál musí umožniť opakované cykly adsorpcie a desorpcie bez degradácie výkonu. Stabilita počas stoviek cyklov je ideálna pre praktické využitie.
- Rýchla kinetika adsorpcie/desorpcie: Adsorpcia a uvoľňovanie vodíka musí byť rýchle a spoľahlivé. Vyžaduje sa nízky difúzny odpor.
- Tepelná a chemická stabilita materiálu: Materiály musia odolať vysokým tlakom, teplotným cyklom, prípadným chemickým reakciám.
- Ekologickosť a cena: Výroba a regenerácia materiálu by mali byť lacné, energeticky efektívne a šetrné k životnému prostrediu.
- Kompatibilita s nádržami a systémami: Materiál musí byť mechanicky stabilný, neabrazívny a kompatibilný s konštrukciou zásobníkov vodíka.

Uskladňovanie vodíka v sklených materiáloch	• Bezpečnosť: vodík je viazaný v pevnej fáze - nízke riziko výbuchu alebo úniku. • Dobrá cyklovateľnosť (pri niektorých typoch): možnosť reverzibilného ukladania – opakovane absorbovať a desorbovať. • Možnosť úpravy vlastností: dopovanie kovmi alebo inými prvkami → nastaviteľná kapacita a teplota desorpcie. • Tepelná a chemická stabilita: vysoká tepelná odolnosť a odolnosť voči korózii a chemickému rozkladu.	• Nízka kapacita ukladania: množstvo uloženého vodíka pomerne malé. • Zložité uvoľňovanie vodíka: často potrebné zvýšenie teploty, čo znižuje energetickú efektivitu. • Hmotnosť materiálu: Sklo je ťažšie → nevhodné pre mobilné aplikácie (napr. automobily). • Nízka kinetika: Pomalé nabíjanie/vybíjanie vodíka. • Zatiaľ málo komerčne využívané: Technológia je väčšinou vo výskumnej alebo experimentálnej fáze, nie je ešte bežnou praxou.	• Štruktúrne vlastnosti materiálu: Amorfná (sklená) štruktúra s veľkým množstvom neusporiadaných miest → umožňuje zachytiť vodík vo vnútri. Medzery a dutiny medzi atómami slúžia ako úložný priestor pre vodíkové atómy/molekuly. • Zloženie materiálu: Sklo musí obsahovať zložky, ktoré budú adsorbujú alebo chemicky viažu vodík • t/p potrebné pre adsorpciu: pri zvýšenom tlaku (10–100 bar), nízkej až strednej teplote • t/p potrebné pre desorpciu: vyžaduje často zvýšenie teploty, 200 – 500 °C, v prípade chemickej väzby. • Reverzibilita a cyklovateľnosť: Materiál by mal zvládnuť viacero cyklov napúšťania a vyprázdňovania bez degradácie štruktúry. Požiadavka: minimálne 100–500 cyklov s malým poklesom kapacity. • Mechanická a tepelná stabilita: Sklo musí: odolávať tlaku počas napúšťania vodíka, byť tepelne stabilné počas

	zahrievania/desorpčných cyklov, nepraskat' ani sa nedeformovať počas cyklov. • Kompatibilita s vodíkom: Sklo nesmie reagovať s vodíkom za vzniku plynných alebo pevných vedľajších produktov . Nízka priepustnosť pre únik vodíka . • Hydrogénna kapacita: Ideálne by mal materiál dosiahnuť aspoň 1–2 wt% H₂ (hmotnostný podiel vodíka). Zatiaľ sa v laboratórnych podmienkach dosahuje < 1 wt% → výzva pre výskum. • Výrobná technológia a tvarovanie: Materiál musí byť ľahko tvarovateľný (napr. na granule, bloky, vrstvy), musí byť lacno vyrobiteľný v rozsahu desiatok až stoviek kilogramov pre reálne nasadenie.

Tabuľka 59: Skladovanie vodíka v zlúčeninách a na nosičoch

Zdroj: stengl, a.s.

4.5.1.1 Skladovanie vodíka vo forme chemických zlúčenín vodíka

Na skladovanie vodíka sa využíva jeho vlastnosť chemickej väzby s najelektropozitívnejšími kovmi (alkalické kovy a kovy alkalických zemí), s ktorými vytvára jednoduché alebo komplexné zlúčeniny - hydridy (h.). Využiť možno h. lítny (LiH), h. sodný (NaH), h. draselný (KH), h. vápenatý (CaH₂), ale tiež komplexné binárne hydridy (napr. LiBH₄, NaKH₄, LiAlH₄).

Tieto zlúčeniny sa nevyskytujú v prírode, sú umelo vytvorené. Hydridy sa vo vodíkovej atmosfére schladia na izbovú teplotu a používajú sa vo forme granúl. Pri reakcii s vodou uvoľňujú dvojnásobné množstvo vodíka ako je obsiahnuté v hydridoch. Prebieha oxidácia hydridu na hydroxid a vznikajúce teplo sa väčšinou stráca. Reakcia alkalických prvkov s vodou umožňuje nepriamo skladovať vodu namiesto vodíka ako surovinu, z ktorej by sa v prípade potreby uvoľňoval pomocou alkalihydridov. Voda je, na rozdiel od vodíka, ľahko skladovateľná a úplne bezpečná. Nebezpečná je manipulácia s alkalickými kovmi. Reakcia alkalických kovov s vodou je veľmi exotermická. Nebezpečenstvo manipulácie s alkalickými kovmi a zároveň zachovanie výhod tejto skladovacej techniky umožňuje technológia energetických guľčiek (Powerball technologies)¹⁵⁵. Energetické guľčky sú vlastne malé množstvá sodíka zaliateho do plastického obalu. Sú to malé guľčky alebo paletky NaH o priemere asi 3 cm, potiahnuté pre vodu nepriepustným obalom. Skladované sú priamo vo vode. Ak sa obal poškodí vo vode, prebehne reakcia a uvoľní sa vodík. Jedná guľčka vyvolá reakciu trvajúcu asi 10 sekúnd.

Samotná technológia je bezpečná. Pokiaľ nedôjde k porušeniu obalu, chemická reakcia nemôže prebehnúť. Voda dostatočne rýchlo odvádza teplo a preto nedôjde ani k porušeniu obalu ďalších guľčiek. Využitie powerballs u motorových vozidiel je omnoho bezpečnejšie ako využitie benzínu alebo ropy. V prípade nehody a prerazenia nádrže vytečie iba nehorľavá voda a i v prípade požiaru by nemalo prísť k poškodeniu obalu guľčiek, pretože by boli chránene vodou. Na výrobu powerballs je možné využiť: Na, Li, NaH, LiH, Ca, CaH₂, LiAlH₄, NaAlH₄.

Skladovanie vodíka v plynnej alebo kvapalnej forme je dôležité pri jeho priemyselnej výrobe a využití. Predovšetkým pri použití vodíka v mobilných zariadeniach sa uvažuje i s takým spôsobom skladovania, pri ktorom sa vodík viaže na vhodný nosič. Skladovanie vodíka v pevných látkach prostredníctvom hydridov je jednou z najslubnejších metód, ktorá umožňuje bezpečné a relatívne kompaktné skladovanie. Niektoré kovy a zliatiny majú schopnosť reverzibilne absorbovať a uvoľňovať vodík za tvorby hydridov. Niektoré kovy alebo ich zliatiny majú schopnosť viazať pri vhodných teplotách a tlakoch vodík a tento potom pri znížení tlaku alebo zvýšení teploty opäť uvoľňovať.

¹⁵⁵ PowerBall Technologies Inc. – U.S. Patent No. US6,689,268B2

Hlavná výhoda metalhydridov je ich bezpečnosť a schopnosť dodávať čistý plyn rovnakého tlaku. Kovy majú veľkú hustotu a preto sú tieto zariadenia veľmi ťažké. Nízke je i hmotnostné percento skladovaného vodíka vzhľadom na celkovú hmotnosť zásobníka. Viazanie vodíka je exotermická reakcia a pri plnení zásobníka sa teplo uvoľňuje a náplň sa musí chladiť. Naopak, pri vyprázdňovaní zásobníka treba náplň zahriať alebo uvoľniť tlak v nádrži. Pri konštantnej teplote je hydrid v rovnováhe s určitým parciálnym tlakom vodíka, ktorý je naopak určený teplotou a obsahom vodíka v tuhej fáze hydridu.

Preto pre charakteristiku určitého systému hydridu kovu je dôležité poznať závislosť rovnovážneho tlaku od obsahu vodíka.

Pre dobrú funkciu hydridu ako systému na uskladnenie vodíka sú dôležité nasledujúce vlastnosti:

- nízka rozkladná teplota, aby sa na uvoľňovanie mohlo použiť napr. nízкотеплотné odpadové teplo,
- prijateľný rozkladný tlak pri teplote rozkladu, aby bola pomerne malá spotreba energie pri uvoľňovaní vodíka,
- veľké množstvo viazaného a uvoľňovania schopného vodíka na hmotnostnú alebo objemovú jednotku kovu, alebo jeho zliatiny,
- nízka obstarávacía cena základného materiálu (kovu alebo zliatiny) a jeho ľahká dostupnosť,
- malé prevádzkové náklady pri jeho použití (životnosť, návratnosť a stálosť adsorpčnej schopnosti s časom a pod).

V minulosti prebiehal vývoj kovových hydridov vodíka troch základných typov zliatin:

- ferotitanové zliatiny,
- zliatiny na báze horčíka a kovov alkalických zemín,
- zliatiny kovov vzácnych zemín (lantánu a pod.).

Zliatiny železa a titánu boli najviac preštudované a majú najnižšiu entalpiu tvorby, ktorá tvorí asi 10 % skladovaného množstva energie. Tým, že sa pracuje pri nižších teplotách (do 100°C), možno na ich rozklad využiť nízkopotenciálne teplo, čo ďalej znižuje energetickú náročnosť tohto systému skladovania. Ďalšou ich výhodou je, že sú relatívne lacné a dostupné. Nevýhodou je ich veľká merná hmotnosť, čo ich znevýhodňuje na použitie v mobilných zariadeniach.

Zliatina TiFe má kapacitu vodíka asi 1,15 hmotnostného percenta. Pridaním mangánu môžeme vytvoriť zliatinu $\text{TiFe}_{0,7}\text{Mn}_{0,2}\text{H}_{1,9}$, ktorá je schopná pohltiť 1,6 %¹⁵⁶.

Ďalšiu skupinu tvoria zliatiny horčíka, ktoré majú vyšší obsah viazaného vodíka vzťahnutý na hmotnostnú jednotku. Vyžadujú vyššie teploty pri uvoľňovaní (asi 300 °C) a majú vyššiu entalpiu tvorby (74,52 kJ/mol H₂). To znamená, že asi 30-40 % skladovanej energie je potrebné

¹⁵⁶ Xu, J., et al. (2018). TiFe-based Hydrides for Hydrogen Storage: Structure and Properties. International Journal of Hydrogen Energy, 43(7), 3581-3589

na uvoľnenie vodíka z hydridu. Vzhľadom na to, že teplota rozkladu je vyššia, nemožno na uvoľňovanie použiť nízkopotenciálne teplo, čo energetický znevýhodňuje tento systém. Na druhej strane nižšia hmotnosť zvyhodňuje tento systém pre mobilné aplikácie a nevýhody vyššej spotreby energie pri uvoľňovaní vodíka by sa dali znížiť využitím odpadového tepla odchádzajúceho v spalinách. Dobré absorpčné vlastností preukázali zliatiny Mg_2Ni a Mg_2Cu . Okrem horčíka sa ráta aj s uplatnením zliatin na podklade ľahkých kovov, ako sú napr. sodík, draslík, vápnik, lítium. Zliatina horčíka, hliníka a zinku odstraňuje nedostatky horčíkových metalhydridov. Zliatina $Mg_{50}Al_{45}Zn_5$ uvoľňuje vodík pri tlaku väčšom ako 1 atmosféra pri teplote pod 150 °C a je schopná uskladniť viac ako 2 hmotnostné percentá vodíka.

Treťou skupinou sú hydridy kovov vzácnych zemín, ktoré sú ľahšie ako hydridy na báze ferotitanových zliatin a pracujú pri rovnako nízkej teplote. Ich nevýhodou je, že sú drahé a ťažko dostupné. Typickým príkladom sú zlúčeniny lantánu: $LaNi$, $LaNi_{5-x}Al_x$.

Vysoké hmotnostné obsahy sa dosiahli pri zliatinách céru a lantánu s horčíkom.

Výhody:

- Bezpečnostný aspekt: Uloženie vodíka vo forme viazanej v pevnej látke výrazne minimalizuje riziko jeho nekontrolovaného úniku a s tým súvisiacich explózií. Z hľadiska bezpečnosti predstavuje tento spôsob skladovania jednu z najstabilnejších a najspoľahlivejších dostupných technológií.
- Relatívne vysoká hustota: Hydridy môžu dosiahnuť relatívne vysokú hustotu energie skladovaného vodíka na objem.
- Teplotné a tlakové parametre: Vybrané typy hydridov umožňujú skladovanie vodíka za podmienok výrazne nižších tlakov a teplôt v porovnaní s kryogénnymi alebo vysokotlakovými technológiami. Tento prístup tak predstavuje energeticky menej náročné a technicky jednoduchšie riešenie z hľadiska infraštruktúry a prevádzky.

Nevýhody:

- Hmotnostné obmedzenia: Systémy založené na hydridovom skladovaní vodíka si často vyžadujú použitie materiálov s vyššou hmotnosťou, čo predstavuje významné obmedzenie pri ich nasadení v mobilných aplikáciách, kde je nízka hmotnosť zásadným technickým parametrom.¹⁵⁷
- Pomalé uvoľňovanie vodíka: Proces uvoľňovania vodíka môže byť pomalší než pri iných metódach skladovania, čo môže predstavovať problém pre aplikácie, ktoré potrebujú relatívne vysokú dodávku vodíka.
- Nákladovosť materiálov: Vybrané typy kovových hydridov sa vyznačujú vysokými obstarávacími nákladmi alebo zložitými výrobnými procesmi, čo môže negatívne ovplyvniť ich ekonomickú efektívnosť pri širšom komerčnom nasadení.

Vodík môže byť skladovaný aj nepriamo prostredníctvom chemických zlúčenín, ktoré obsahujú vodík a z ktorých ho možno uvoľniť. Najbežnejšie používané zlúčeniny na

¹⁵⁷ https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440%2824%2917053-3?utm_source=chatgpt.com

skladovanie vodíka sú amoniak (NH_3), metanol (CH_3OH) a kvapalné organické nosiče vodíka (LOHC).

Amoniak:

Amoniak má vysokú hustotu vodíka na objem a je pomerne stabilnou zlúčeninou, ktorá je bežne skladovaná a prepravovaná pomocou už osvedčenej infraštruktúry.

Amoniak sa môže dekomponovať späť na vodík a dusík (N_2) katalytickými procesmi, pričom vodík môže byť využitý ako palivo. Nevýhodou skladovania vodíka vo forme amoniaku je fakt, že amoniak je vysoko toxická látka¹⁵⁸.

Metanol:

Metanol je kvapalný za normálnych podmienok a jeho skladovanie je jednoduchšie než skladovanie obnoviteľného/nízkoemisného vodíka. Vodík môže byť získaný z metanolu parnou reformáciou. Metanol je takisto toxický, ale jeho toxicita je ľahko manažovateľná.

LOHC:

Kvapalné organické nosiče vodíka sú chemické zlúčeniny schopné reverzibilne viazať a uvoľňovať vodík pri bežných teplotách a tlakoch. Ide o organické kvapaliny, ktoré sú ľahko prepravovateľné a skladovateľné bez nutnosti vysokotlakových alebo kryogénnych systémov¹⁵⁹.

Výhody chemických nosičov:

Logistická nenáročnosť: Chemické deriváty vodíka, ako napríklad metanol alebo amoniak, umožňujú výrazne jednoduchšie a bezpečnejšie skladovanie a prepravu v porovnaní s elementárnym vodíkom.

Energetická hustota: Chemické nosiče vodíka dosahujú vyššiu objemovú energetickú hustotu než vodík vo svojej plynnej alebo kvapalnej forme, čo zvyšuje ich atraktivitu pre rôzne energetické aplikácie.

Nevýhody chemických nosičov: Energetická náročnosť spracovania: Uvoľnenie vodíka z chemických zlúčenín si vyžaduje dodatočné technologické kroky, ktoré sú spojené s vyššou energetickou spotrebou a môžu negatívne ovplyvniť celkovú efektivitu systému.

¹⁵⁸ Reiter, G., & Kong, S.C. (2008). Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel. *Fuel*, 87(12), 2943–2950.

¹⁵⁹ Teichmann, D. et al. (2012). A future energy supply based on Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC). *Energy & Environmental Science*, 5, 9044–9054

Bezpečnostné riziká: Niektoré chemické nosiče, ako napríklad amoniak, vykazujú toxické vlastnosti a ich manipulácia si preto vyžaduje dodržiavanie prísnych bezpečnostných a technologických štandardov.

4.5.1.2 Adsorpcia na uhlíkových materiáloch

Schopnosť chemicky aktivovaného uhlíka viazať vodík na aktívnej ploche je dobre známa¹⁶⁰. Tento proces sa nazýva adsorpcia a v týchto materiáloch prebieha pri relatívne vysokých tlakoch a extrémne nízkych teplotách. Vodík je potom uvoľňovaný z uhlíka pri atmosférickom tlaku a okolitej teplote. Mikrokryštalický aktivovaný uhlík môže takto viazať asi 4,8 hmotnostného percenta vodíka pri teplote 87 K a tlaku 6 MPa. Skladovacie kapacity týchto materiálov sú limitované kvôli nízkej objemovej a hmotnostnej hustote a praktické uplatnenie je obmedzované kvôli náročným podmienkam a vysokej cene samotného procesu. „Carbon nanotubes“ a „carbon aerogels“ sú dve technológie, ktoré zvyšujú potenciál tejto techniky skladovania vodíka ako praktickej a dlhodobo fungujúcej metódy. Uskladňovanie vodíka v sklenených materiáloch

Sférické sklenené štruktúry s dutinami o priemere 25 - 500 mikrometrov a hrúbke steny asi 1 mikrometra sa nazývajú glass microspheres. V rozmedzí teplôt 200 – 400 °C zvýšená priepustnosť skla umožňuje guľôčkam naplňovanie vodíkom pri zvýšenom tlaku. Pri ochladení na okolitú teplotu sklo už nie je priepustné a plyn je uzavretý v guľôčkovitých útvaroch. Uvoľnenie je možné ďalším zvýšením teploty. Sférické útvary syntetizované v National Renewable Energy Laboratory sú bez porúch, odolné až do tlaku 1000 MPa. Výskum preukázal, že pri tlaku 62 MPa bolo dosiahnuté 10 % hmotnostné naplnenie vodíkom.

4.5.1.3 Podzemné geologické zásobníky vodíka

Vodík možno skladovať vo veľkých množstvách a na dlhé obdobia (až niekoľko mesiacov) v podzemných geologických zásobníkoch.

Princíp využitia vodíka v energetike spočíva v tom, že počas období nadmernej produkcie energie sa prebytočná obnoviteľná elektrina elektrolyzou premení na vodík, ktorý sa potom skladuje (napr. vo vyťažených ložiskách plynu, v hlboko uložených zvodnených vrstvách, v ložiskách soli, v ložiskách uhlia, v umelo vyhlbených priestoroch v skalných masívoch, a pod.) a podľa potreby sa pomocou palivových článkov alebo turbogenerátorov spaľujúcich vodík premieňa späť na elektrinu. Uskladnený vodík sa môže použiť na vyrovnávanie denných, ako aj sezónnych výkyvov. Takýto podzemný veľkokapacitný geologický zásobník energie slúži ako obrovská batéria, kde možno podľa druhu a kapacity zásobníka uložiť energiu vo veľkých množstvách na obdobie až niekoľko mesiacov.

Z hľadiska objemu energie a časovej retencie uskladneného vodíka je podzemný zásobník lepším spôsobom uskladňovania vodíka, lebo dochádza k menším stratám energie v porovnaní

¹⁶⁰ Wang, X., et al. (2011). Hydrogen storage in activated carbon. Journal of Physical Chemistry C, 115(33), 16692–16701

so skladovaním vodíka v kvapalnom alebo stlačenom stave, kde je potrebné počítať s vysokými nákladmi a menšou kapacitou a vyšším rizikom bezpečnosti skladovania.

Vhodnosť miest pre podzemné skladovanie vodíka závisí od geologických podmienok danej krajiny a geografického rozmiestnenia vhodných podzemných štruktúr. Nie všetky krajiny, ktoré plánujú vytvoriť vlastné dodávateľské reťazce vodíka, majú možnosť využiť geologické skladovanie. Slovensko má priaznivé podmienky na využitie geologického ukladania vodíka.

Z dnešného pohľadu sú najvhodnejšie a najlepšie preskúmané podzemné štruktúry umiestnené na juhozápade a juhovýchode Slovenska, konkrétne v oblastiach vyčerpaných ložísk zemného plynu, ložísk soli a hlboko uložených zvodnených sedimentárnych vrstiev. Tieto regióny sa vyznačujú dobre rozvinutým priemyslom a vysokým záujmom o investície do inovácií. Zvyčajne je tu aj dobre vybudovaná plynárenská a prenosová a distribučná energetická infraštruktúra, s pripojením na medzinárodné trasy.

V iných častiach krajiny je tiež možné nájsť vhodné štruktúry, ale vyžadovalo by to dodatočný prieskum, náročný na čas a financie. Preto je potrebné starostlivé plánovanie, aby sa zabezpečilo, že distribučné siete zásobovania vodíkom (vrátane geologického skladovania) sa rozvíjajú v ekonomicky najživotoschopnejších regiónoch krajiny. V geologických zásobníkoch je možné ukladať vodík vyrobený z rôznych zdrojov, ako napr. obnoviteľný vodík (z biomasy, slnečnej a veternej energie, vodných elektrární), ale aj emisný (z uhlia, zemného plynu), nízkoemisný (z nukleárnych zdrojov) a dokonca aj prírodný. V prípade výroby nízkoemisného vodíka (t. j. vodíka vyrobeného zo zemného plynu alebo uhlia so zachytávaním a skladovaním CO₂, t.j. CCS, alebo CCUS) sú geologické riešenia podzemnými zásobníkmi/úložiskami integrujúcim riešením pre lokálnu a regionálnu ekonomiku s dodávateľským reťazcom vodíka.

Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v.v.i. má najlepšie predpoklady komplexne riešiť problematiku podzemných zásobníkov vodíka. Vyplýva to hlavne z dlhodobého výskumu tejto problematiky, nakoľko:

- od roku 2005 jej pracovníci spolupracovali na medzinárodných projektoch týkajúcich sa zachytávania a trvalého ukladania CO₂ v geologických štruktúrach (Projekty CASTOR, CO₂NETto East; CCS4CEE)
- vypracovali a podali 2 projekty v rámci 1. a 2. výzvy programu HORIZONT („Veľkokapacitné úložisko energie na báze vodíka“ a „EnStorH2 - Výskum veľkokapacitného skladovania energie vo forme H₂ v geologických štruktúrach“. Výzvy boli zrušené.
- podieľali sa na pripomienkovaní Národnej Vodíkovej Stratégie a Akčného plánu pre NVS
- od roku 2023 sú partnerom a spoluriešiteľom IPCEI projektu HENRI (Hydrogen ENergy Reservoir) – ktorý rieši geologické skladovanie vodíka na Slovensku
- od roku 1993 riešia projekty týkajúce sa prieskumu ložísk plynu a ropy (na území Slovenska a v zahraničí, financované SR a priemyselnými partnermi)
- vytvorili digitálny Trojrozmerný model Hornonitrianskej kotliny, čím navrhli inovatívny prístup interpretácie geologickej stavby využiteľný pre integrovaný systém sledovania a využívania prírodných zdrojov (vrátane geotermálnych zdrojov)

- v spolupráci s Hornonitrianskymi baňami Prievidza a.s. v r. 2013 vyriešili výskyt a zdroj zemného plynu v Hornonitrianskej kotline a navrhli prebudovanie podzemných diel v bani Handlová na zásobník plynu (prip. skvapalneného plynu)

Ústav vied o Zemi SAV v.v.i. má predpoklady riešiť problematiku podzemného skladovania vodíka, výberu vhodných geologických štruktúr a ich napojenie na lokálnu a regionálnu ekonomiku s dodávateľským reťazcom vodíka, vrátane problematiky trvalého ukladania CO₂ v geologických štruktúrach.

Pre priemyselné potreby boli v minulosti uskutočnené štúdie o využití podzemných zásobníkov na uskladnenie vodíka. Existujú dva spôsoby skladovania vodíka v podzemných nádržiach - vo vyčerpaných ložiskách plynu a v solných alebo skalných kavernách. V prípade vyčerpaných ložísk plynu sa maximum kapacity dosiahne až po niekoľkých rokoch, pričom sa v skutočnosti využíva 50 – 66 % skutočnej kapacity podzemného zásobníka.

Pri podzemnom skladovaní vodíka vznikajú tieto straty:

- časť plynu, ktorá je v zásobníku uskladnená, sa nedá vyčerpať (asi 1/3 objemu). Určité množstvo plynu sa môže získať, a to predovšetkým tá časť, ktorá sa nenachádza v mikropóroch zeminy. Množstvo vyčerpaného plynu vzrastá s rýchlosťou čerpania a klesá s hrúbkou pórovitej vrstvy použitej na skladovanie;
- ďalšie straty predstavuje rozpustnosť vodíka vo vode viazanej v zemine. V prípade vodíka sú tieto straty nižšie ako pri iných plynach. Voda viazaná v zemine zapĺňa asi 20 % pórov a asi 0,2 % pôvodného objemu plynu sa v nej zachytí. Stupeň nasýtenia tejto vody je po 11 cykloch (plnenie, vyprázdňovanie) asi 90 %, úplne nasýtenie nastane až po 20 cykloch;
- pomerne malé straty vodíka predstavuje reakcia s uhlíkovodíkmi, ktorá prebieha pomaly, a straty tohto druhu nemajú technický význam;
- ďalšie straty predstavuje únik vodíka cez mikropóry do nadložných priestorov, kde sú mikropóry zaplnené vodou. Keď tlak plynu v zásobníku prevýši kapilárne sily udržiavajúce vodu v mikropóroch, vytláča sa a uvoľňuje cestu pre únik vodíka.

Forma	Výhody	Nevýhody	Technické požiadavky
Podzemné geologické zásobníky vodíka	• Lepší spôsob uskladňovania vodíka: menšie straty energie , nižšie náklady, vyššia kapacita a nižšie riziko bezpečnosti skladovania. • Slovensko má priaznivé podmienky na využitie geologického ukladania vodíka. • Možnosť ukladať vodík vyrobený z rôznych zdrojov. • V prípade výroby modrého vodíka sú geologické riešenia podzemnými zásobníkmi/úložiskami integrujúcim riešením pre lokálnu a regionálnu ekonomiku s dodávateľským reťazcom vodíka.	• Pri podzemnom skladovaní vodíka vznikajú tieto straty: • časť plynu, ktorá je v zásobníku uskladnená, sa nedá vyčerpať (asi 1/3 objemu). • rozpustnosť vodíka vo vode viazanej v zemine. reakcia s uhl'ovodíkmi; • únik vodíka cez mikropóry do nadložných priestorov, kde sú mikropóry zaplnené vodou.	• Dva spôsoby skladovania vodíka v podzemných nádržiach - vo vyčerpaných ložiskách plynu a v solných alebo skalných kavernách. V prípade vyčerpaných ložísk plynu sa maximum kapacity dosiahne až po niekoľkých rokoch, pričom sa v skutočnosti využíva 50 – 66 % skutočnej kapacity podzemného zásobníka.

Tabuľka 60: Skladovanie vodíka v podzemných geologických zásobníkoch

Zdroj: stengl, a.s.

4.5.1.3.1 Výhody vodíka ako dlhodobého úložiska energie

Stabilizácia elektrickej siete

Vodík zastáva dôležitú úlohu pri zvyšovaní flexibility a udržiavaní stability elektrickej siete, najmä pri vysokom zastúpení obnoviteľných zdrojov energie. V čase nadprodukcie zelenej energie môže byť táto energia využitá na výrobu vodíka, čím sa odľahčí elektrická sieť. Naopak, počas nedostatku elektriny je možné vodík opätovne premeniť na elektrickú energiu a tým pokryť zvýšený dopyt.

Energetická nezávislosť a bezpečnosť

Ukladanie energie vo forme vodíka počas rôznych ročných období pomáha znižovať závislosť od dovozu fosílnych palív a zvyšuje stabilitu energetických dodávok počas krízových situácií. Pre krajiny ako Slovensko to predstavuje možnosť, ako sa menej spoliehať na dovoz zemného plynu a posilniť energetickú bezpečnosť.

Dekarbonizácia energetiky a priemyslu

Obnoviteľný vodík, vyrábaný elektrolytickým rozkladom vody za využitia energie z obnoviteľných zdrojov, predstavuje významný nástroj pri znižovaní emisií skleníkových plynov v energetike a priemyselnej výrobe. Jeho uplatnenie umožňuje nahradiť fosílna palivá nielen pri výrobe elektrickej energie, ale aj v oblastiach ťažkého priemyslu, kde priame využitie elektriny nie je z technického alebo ekonomického hľadiska realizovateľné. Ide najmä o procesy s vysokou energetickou náročnosťou, ako sú hutníctvo, výroba cementu či chemický priemysel.

4.5.1.3.2 Výzvy a riziká spojené s uskladňovaním vodíka

Technologické výzvy

Dlhodobé skladovanie vodíka je spojené s viacerými technickými a ekonomickými výzvami, pričom kľúčovým problémom zostávajú energetické straty pri jeho uchovávaní vo forme kvapalného (kryogénneho) alebo stlačeného plynu. Tieto technológie si vyžadujú náročné podmienky na tlak alebo teplotu, čo zvyšuje energetickú a investičnú náročnosť celého systému.

V prípade skladovania väčších objemov prichádzajú do úvahy špecializované podzemné riešenia, ako sú soľné kaverny alebo geologické štruktúry, ktorých využitie si vyžaduje komplexný geologický prieskum a vysoké počiatkové investície.

Efektivita spätného premeny vodíka na elektrickú energiu (tzv. Power-to-Power) prostredníctvom palivových článkov alebo spaľovacích technológií je v porovnaní s priamym

využitím elektriny alebo jej skladovaním v batériových systémoch výrazne nižšia, čo vedie k kumulatívnym energetickým stratám v celom cykle premeny a uskladnenia.

Ekonomické riziká

Hospodárska výhoda vodíka ako sezónneho úložiska závisí od viacerých faktorov – najmä od cien elektrickej energie, nákladov na technológiu elektrolýzy a cien za skladovacie riešenia. Kolísanie dopytu po vodíku a nestabilita cien elektriny môžu negatívne ovplyvniť návratnosť investícií a celkovú finančnú životaschopnosť projektov.

Bezpečnostné a environmentálne riziká

Vzhľadom na vysokú horľavosť vodíka a jeho schopnosť rýchlo difundovať cez rôzne materiály je nevyhnutné, aby boli pri jeho skladovaní a manipulácii uplatňované prísne bezpečnostné štandardy. Riziko nekontrolovaného úniku, najmä pri väčších objemoch, predstavuje potenciálne ohrozenie nielen z hľadiska požiarnej bezpečnosti, ale aj z environmentálneho hľadiska – napríklad v súvislosti s vplyvom na atmosférickú chémiu.

Pri podzemnom skladovaní vodíka, ako je tomu v prípade solných kavern alebo iných geologických formácií, je kľúčové zabezpečiť kontinuálny monitoring, integritu úložného priestoru a funkčné kontrolné mechanizmy. Tieto opatrenia sú zásadné pre minimalizáciu rizika netesností, nekontrolovaných výronov plynu alebo výbušných udalostí, ktoré by mohli mať závažné technické aj spoločenské dôsledky.

4.5.2 Preprava a distribúcia vodíka a derivátov vodíka

Spôsoby prepravy vodíka zohľadňujú jeho fyzikálne a chemické vlastnosti (skupenstvo, zlúčeniny). Spôsoby prepravy sa môžu vo viacerých prípadoch dopĺňať, alebo si vzájomne konkurovať a tým aj komplikovať ich využívanie a aj zvyšovať prepravné náklady. Preto je nutné mať celkové pochopenie distribúcie vodíka aj v súvislosti s inými časťami hodnotového reťazca ako výroba, skladovanie a využitie vodíka. Formy a skupenstvá vodíka

Predpokladáme, že vodík vo forme stlačeného plynu zostane primárnou formou na jeho uskladnenie a distribúciu do roku 2030 na území Slovenska. Vybudovanie infraštruktúry pre iné formy vodíka je finančne náročnejšie avšak to neznamená, že neexistujú situácie v ktorých by bolo ich využitie atraktívne.

Nevýhodou stlačeného plynu je jeho relatívne nízka energetická hustota, bezpečnostné riziká spojené s vysokým tlakom a fyzikálnymi vlastnosťami vodíka, náročné skladovanie a manipulácia s plynmi. Tieto problémy sú výrazné najmä skorších fázach budovania vodíkových ekosystémov kedy ešte neexistujú vodíkové potrubia a je potrebná preprava vodíka na väčšie vzdialenosti.

Skvapalnený vodík čiastočne rieši problémy s energetickou hustotou, umožňuje skladovanie vodíka v menšom objeme a efektívnejšiu prepravu na veľké vzdialenosti. Vyžaduje to

infraštruktúru na skvapalňovanie, kryogenické skladovanie a opätovnú vaporizáciu (premenu na plyn) vodíka.

Prenos vodíka vo forme LOHC vyžaduje tiež investície do infraštruktúry pomocou ktorej by bol vodík chemicky viazaný na tekutý nosič LOHC a neskôr od nosiča LOHC oddelený. Samotný proces je energeticky náročný a v súčasnosti vyžaduje prepravu väčšieho množstva vodíka, aby bol ekonomicky výhodný. Tento proces ale rieši problémy s energetickou hustotou a bezpečnosťou vďaka tomu že sú vodíkové nosiče LOHC chemicky veľmi stabilné v porovnaní s inými formami vodíka ale aj klasickými palivami (nafta, benzín).

Je tiež možné adsorbovať na pevné látky ako napr. aktívne uhlie alebo zeolity. Nevýhoda tejto formy vodíka je jej vysoká hmotnosť a energetická hustota na podobnej úrovni ako LOHC alebo kvapalný vodík. Výhodou je nízka spotreba energie pri tejto forme vodíka. Adsorpcia vodíka na pevné látky je z technického hľadiska výhodnejšia pre stacionárne skladovanie kvôli vysokej váhe.

Forma vodíka	Výhody	Nevýhody
Plyný vodík	Jednoduchá manipulácia, zrelá technológia	Nízka objemová energetická hustota
	Čiastočne existujúca infraštruktúra (potrubia, nádrže)	Nutnosť vysokotlakového skladovania
		Energetické náklady na stláčanie
Kvapalný vodík (LH ₂)	Vysoká energetická hustota v objeme	Veľmi nízka teplota potrebná
	Vhodný na diaľkovú prepravu	Energeticky náročné skvapalňovanie
		Straty odparovaním počas skladovania
Kryo-stlačený H ₂	Kombinácia vyššieho tlaku a nižšej teploty zvyšuje skladovaciu kapacitu	Vyžaduje špeciálne nádrže Vysoké energetické požiadavky
Amoniak (NH ₃)	Vysoká objemová energetická hustota	Vyžaduje energiu na premenu späť na H ₂
	Ľahšie skvapalniteľný a prepravovateľný ako H ₂	Toxická látka
	Existujúca infraštruktúra	Energetické straty pri premene
LOHC (Tekuté organické nosiče vodíka)	Kvapalný pri okolitých podmienkach	Vyžaduje energeticky náročnú dehydrogenáciu
	Možno použiť existujúcu infraštruktúru na tekuté palivá (potrubia, nádrže)	Nižšia energetická hustota v porovnaní s kvapalným vodíkom

Adsorbovaný vodík	Vysoký potenciál skladovania pri nízkom tlaku a okolitých teplotách	Rané štádium vývoja
	Pokročilé materiály zvyšujú kapacitu	Zložité materiálové návrhy
		Často vyžaduje nízke teploty

Tabuľka 61: Porovnanie vybraných foriem vodíka

Zdroj: stengl a.s.

Z krátko a strednodobého hľadiska sa očakáva využívanie hlavne stlačeného vodíka na distribúciu, hlavne na krátke vzdialenosti do 100 km a pri menších objemoch. Na väčšie vzdialenosti je okrem prepravy stlačeného vodíka potrubím možné používať skvapalnený vodík, LOHC alebo NH₃. Tento druh formy by sa mohol využívať hlavne na import/export do alebo zo Slovenska a výber konkrétnej formy vodíka výrazne závisí od podmienok v krajine pôvodu a trasy prepravy.

4.5.2.1 Preprava vodíka jednotlivými módmi dopravy

Preprava vodíka môže byť realizovaná rôznymi prostriedkami v závislosti od vzdialenosti, objemu a formy vodíka:

- cestná doprava – preprava na korbe a návesoch, kde sa vodík prepravuje vo fľašiach alebo pomocou špeciálne upravených návesov s vysokotlakovými zásobníkmi
- železničná doprava – pre veľkoobjemovú prepravu vodíka a jeho derivátov (NH₃, metanol), na stredné a dlhé vzdialenosti môže byť vhodné využitie špecializovaných železničných vagónov
- lodná doprava – lode sa používajú pre medzinárodnú prepravu vodíka, najmä na veľké vzdialenosti
- potrubná doprava

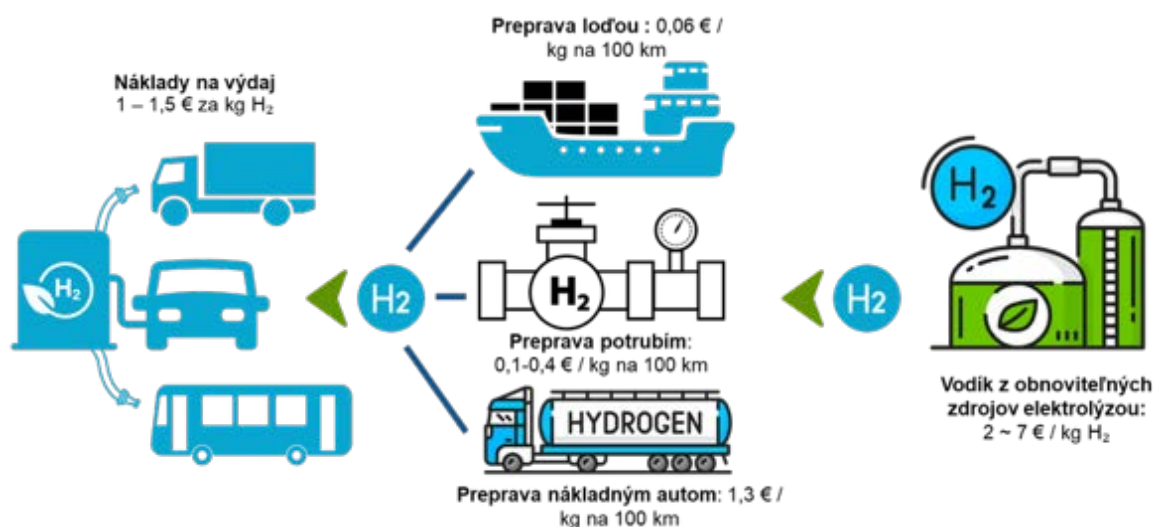
Ideálna by bola v budúcnosti preprava dopravným prostriedkom s vodíkovým pohonom alebo iným ekologickým pohonom.

Lodná doprava je najlacnejšie, ale pre slovenské územie prakticky nie je použiteľná. Najefektívnejším suchozemským riešením je preprava potrubím, ale to nemusí byť dostupné na všetkých miestach jeho spotreby.

4.5.2.1.1 Ekonomické zhodnotenie

Náklady na jednotlivé druhy prepravy (preprava vodíka potrubím je predmetom nasledujúcej kapitoly 3.6.3):

- cestná doprava 1,3 EUR/kg na 50 km (stlačený vodík)
- preprava potrubím 0,1 – 0,4 EUR/kg na 100 km
- lodná doprava 0,06 EUR/kg na 100 km (na dlhé trasy okolo 10 000 km)



Obrázok 61: Náklady na prepravu vodíka

Zdroj: The ANZ Hydrogen Handbook volume II

Slovenské územie s hustou železničnou sieťou je vhodné pre železničnú dopravu v kombinácii s cestnou dopravou na miesto mimo železničných tratí.

Optimalizácia dopravy je možná efektívnym rozložením lokálnej výroby a spotreby vodíka, čo je potrebné uvážiť pri návrhu a realizácii vodíkových údolí.

4.5.2.2 Preprava vodíka potrubím

Potrubná doprava predstavuje jeden z najefektívnejších spôsobov distribúcie plynov a tekutín, teda aj vodíka na veľké vzdialenosti, ktorá môže významne prispieť k rozvoju vodíkovej ekonomiky. Tento prístup je ekonomicky výhodnejší ako budovanie úplne novej infraštruktúry, keďže umožňuje efektívne využitie súčasných prepravných trás.

Existujúce plynovody je možné po úpravách využiť dvoma spôsobmi:

- Preprava obnoviteľného/nízkoemisného vodíka
- Primiešavanie vodíka do zemného plynu

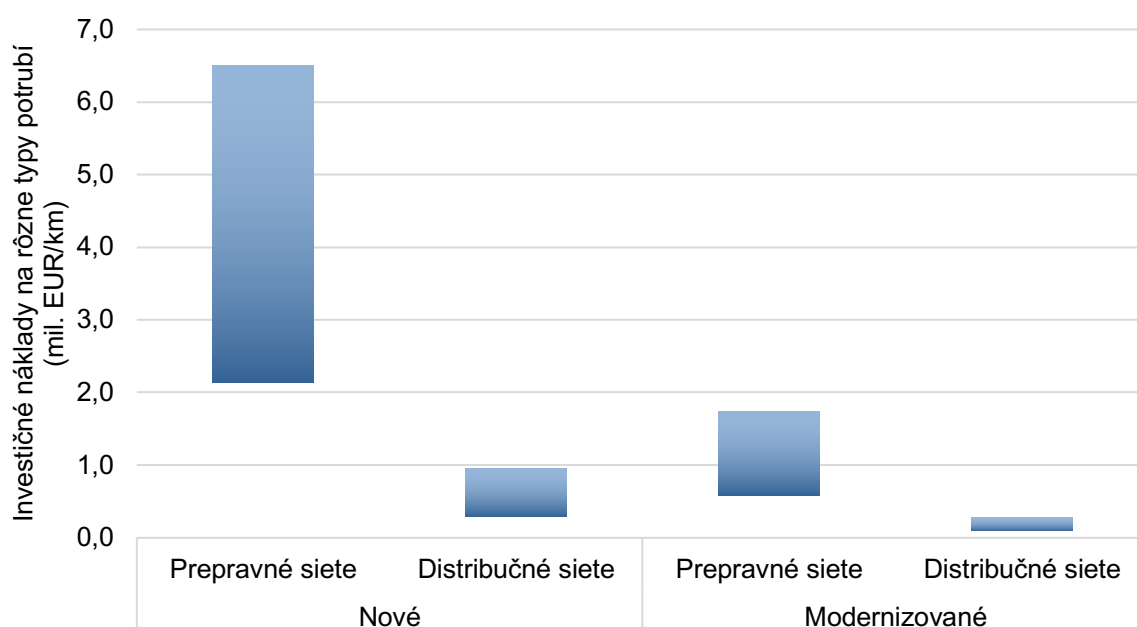
Hlavnými výzvami pri preprave vodíka sú materiálové a technické úpravy potrubí, ktoré musia odolať vysokému prenikaniu vodíka, jeho nízkej hustote a rozdielnym spaľovacím vlastnostiam oproti zemnému plynu. Úspešná implementácia týchto riešení môže výrazne podporiť rozvoj vodíkoveho hospodárstva a pomôcť pri prechode na nízkouhlíkovú energetiku.

V Európe sa už rozbiehajú iniciatívy ako European Hydrogen Backbone, ktorá plánuje vytvoriť rozsiahlu vodíkovú sieť prepojenú naprieč viacerými krajinami. Slovensko sa vďaka svojej polohe môže stať dôležitým tranzitným uzlom pre vodíkové dodávky medzi východnou a západnou Európou. Vodíková preprava potrubím pritom môže zabezpečiť stabilné a dostupné dodávky vodíka pre priemyselné sektory, ktoré vyžadujú veľké objemy tejto suroviny, ako

napr. hutníctvo či chemický priemysel. Vďaka preprave vodíka cez existujúcu infraštruktúru je možné urýchliť dekarbonizáciu energetiky a vytvoriť podmienky pre širšie využitie vodíka ako udržateľného paliva budúcnosti.

4.5.2.2.1 Ekonomické zhodnotenie prepravy vodíka potrubím

Potrubná preprava plynov a teda aj vodíka je efektívna. Jej rentabilita závisí od viacerých faktorov. Napríklad, či sa bude modernizovať existujúca plynovodná infraštruktúra, alebo sa vybuduje nový systém vodíkového potrubia. Podľa dostupných analýz investícií je modernizácia existujúcej siete približne trikrát lacnejšia ako nové potrubie. Pri pozemných potrubíach sa investície pohybujú v rozmedzí 0,6 – 1,2 mil. EUR/km pre modernizáciu a 2,2 – 4,5 mil. EUR/km pre nové potrubie. Distribučné potrubia majú najnižšie náklady, iba približne 15 % oproti pozemným potrubiam, pričom modernizácia stojí 0,1 – 0,2 mil. EUR/km a nové potrubie 0,3 – 0,7 mil. EUR/km¹⁶¹.



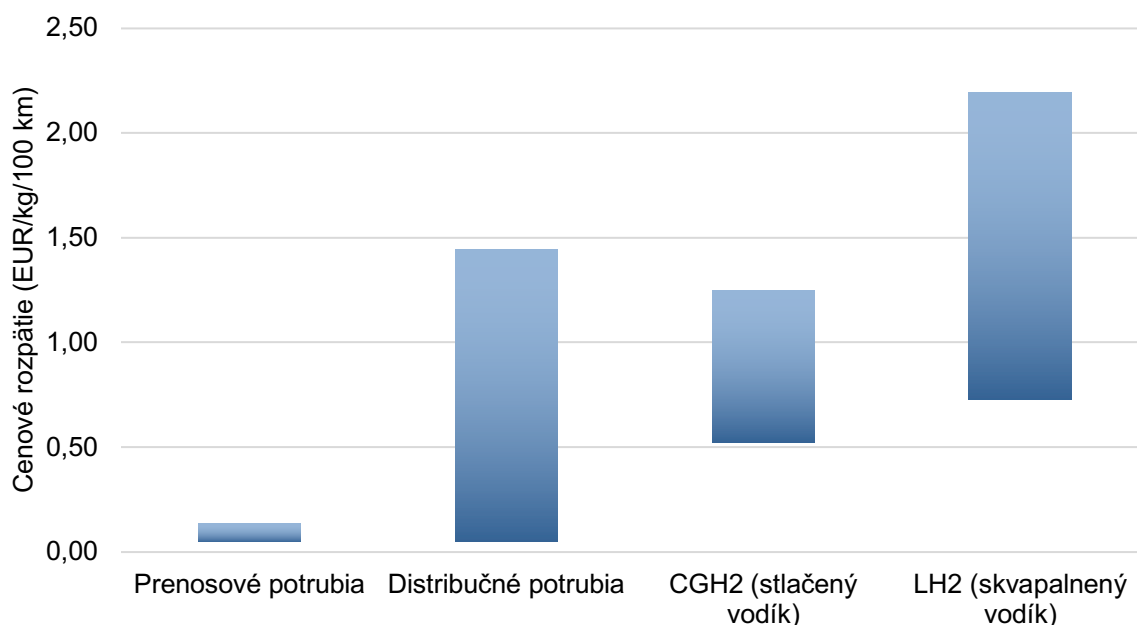
Obrázok 62: Investičné náklady na vodíkové potrubia

Zdroj: DIVIGAS

Ekonomická efektívnosť potrubnej prepravy vodíka závisí od objemu a vzdialenosti. Distribučné potrubia sú efektívne pri prietoku nad 10 t vodíka denne, zatiaľ čo hlavné prenosové potrubia sú rentabilné pre objemy nad 100 t denne a vzdialenosti presahujúce 100 km. Pre krátkodobé a flexibilné riešenia na vzdialenosť 1 – 100 km s malým objemom (1 - 10 t / deň) sú cestné riešenia, ako CGH₂ a LH₂, vhodnejšie.

¹⁶¹ DIVIGAS - An In-Depth Comparison Between The Different Methods of Hydrogen Transportation

Náklady na prepravu sa odlišujú podľa zvoleného transportného riešenia. Prenosové potrubia dosahujú cenu 0,05 – 0,09 EUR/kg/100 km, zatiaľ čo distribučné potrubia sa pohybujú v rozmedzí 0,05 – 1,44 EUR /kg/100 km v závislosti od vzdialenosti. Cestná doprava pri stlačenom vodíku stojí 0,54 – 0,75 EUR/kg/100 km¹⁶² a pri skvapalnenom vodíku 0,75 – 1,51 EUR/kg/100 km¹⁶³.



Obrázok 63: Náklady na prepravu vodíka

Zdroj: DIVIGAS

Modernizácia existujúcej infraštruktúry je najekonomickejšie riešenie, zatiaľ čo nové potrubia si vyžadujú vysoké kapitálové náklady a významne viac času na prípravu projektov. Prenosové potrubia sú rentabilné pri veľkých objemoch a dlhších vzdialenostiach, zatiaľ čo flexibilné dodávky lepšie pokrýva kamiónová preprava. Konečná voľba prepravného riešenia má vychádzať z konkrétnych potrieb a lokálnych podmienok.

Nemecko zadalo vypracovanie štúdie s možnosťou prepravy vodíka na väčšie vzdialenosti potrubím a to medzi Severnou Afrikou a Európou. V prípade novej výstavby a prestavby potrubí je prvým krokom použitie potrubí s priemerom 48 palcov a predpokladaným ročným objemom prepravy vodíka okolo 1,95 mil. t (65 TWh). Pre porovnanie: Nemecko očakáva do roku 2030 potrebu vodíka vo výške 90 – 110 TWh/rok. Vypočítané náklady na prepravu potrubím pre prípad zmeny zónovania a výstavby nových 48-palcových potrubí (1 219,2 mm) je preto potrebné interpretovať v kontexte veľkého dovozu vodíka. Ak sa dovoz vodíka uskutoční v takom veľkom rozsahu, náklady na dopravu na trase Severná Afrika - Nemecko predstavujú 0,33 – 0,79 EUR/kg v prípade prestavby existujúcich plynovodov alebo 0,58 –

¹⁶³ DIVIGAS - An In-Depth Comparison Between the Different Methods of Hydrogen Transportation

1,14 EUR/kg v prípade novostavby. Je teda zrejmé, že premena existujúcich plynovodov na prepravu vodíka je výrazne lacnejšia ako výstavba nových.

Špecifické náklady na výstavbu nových potrubí s menším priemerom sú vyššie ako pri väčších, pretože prepravné objemy klesajú viac ako náklady so zmenšujúcim sa priemerom. Na trase Severná Afrika – Nemecko sú náklady na dopravu nového 24-palcového potrubia 1,46 – 2,89 EUR/kg alebo 2,26 – 4,46 EUR/kg v prípade 12-palcového potrubia (304,8 mm).²⁸⁶

4.5.2.2.2 Projekt EUSTREAM H2I-TR (SK04)

Projekt H2I-TR (H2 Infrastructure – Transmission Repurpose) spoločnosti EUSTREAM, je zameraný na prestavbu jednej z existujúcich plynárenských vetiev tak, aby umožnila prepravu 100 % vodíka. Táto prepravná trasa spája Ukrajinu na východe so západnými plynovodnými sieťami v Rakúsku a Česku, čím sa vytvorí efektívne a ekonomicky výhodné spojenie medzi hlavnými centrami výroby vodíka a jeho spotrebiteľmi v Európe. Vodík bude prúdiť zo Severnej Afriky, Balkánu a Ukrajiny, kde sú ideálne podmienky na produkciu a skladovanie obnoviteľného vodíka, a smerovať najmä do Nemecka, kde je vysoký dopyt po tejto ekologickej energii. Cieľom projektu H2I-TR je zvýšiť dodávku obnoviteľného vodíka, znížiť závislosť od zemného plynu a tým prispieť k dosiahnutiu cieľov Európskeho zeleného dohovoru a plánu REPowerEU.

Súčasťou projektu je výstavba dvoch nových kompresorových staníc a úprava približne 500 km dlhého existujúceho plynovodu tak, aby bol schopný bezpečne a efektívne transportovať vodík. Po dokončení bude mať infraštruktúra kapacitu až 9,1 GW, čo zodpovedá 2,02 mil. t vodíka ročne. V prípade ekonomickej efektívnosti projektu sa spustenie prevádzky plánuje na rok 2030, pričom tento projekt zohrá kľúčovú úlohu v rozvoji európskej vodíkovej siete a v dekarbonizácii energetiky.



Obrázok 64: Mapa prepravného systému H2I-TR

Zdroj: EUSTREAM, Projekty energetickej transformácie

Projekt je zameraný na rozvoj vodíkovej infraštruktúry na Slovensku a vytvorí základ pre ďalšie rozširovanie vodíkovej siete, čím sa Slovensko môže stať hlavným tranzitným uzlom

pre vodík v strednej Európe. Tento strategický krok je predpokladom k vytvoreniu silného hodnotového reťazca pre vodík, ktorý podporí domáci priemysel a priláka nové investície. Súčasne sa tým posilní rozvoj vodíkových údolí v blízkosti potrubia, ktoré budú slúžiť ako inovačné centrá pre vývoj a implementáciu vodíkových technológií. Významným príkladom môže byť Košické vodíkové údolie ale aj ďalšie plánované vodíkové údolia na území Slovenska.

Dostupnosť vodíka za priaznivejšie ceny urýchli rozvoj trhu a podporí jeho širšie využitie, čo povedie k zníženiu emisií skleníkových plynov a k zlepšeniu kvality ovzdušia. Efektívne využitie existujúcich plynovodov na transport vodíka namiesto výstavby nových trás navyše zabráni zbytočným investíciám do infraštruktúry. Projekt zároveň podporí dekarbonizáciu priemyslu, keďže umožní veľkým priemyselným podnikom (napr. chemický a hutnícky priemysel) prechod na obnoviteľný vodík namiesto zemného plynu alebo fosílného vodíka. Okrem toho prispeje k energetickej bezpečnosti tým, že diverzifikuje zdroje dodávok a umožní prístup k novým obnoviteľným zdrojom energie z Európy aj mimo nej. Dovoz vodíka z krajín EÚ ale aj krajín mimo EÚ je opísaný v kapitole 3.2.6 Import vodíka z okolitých krajín do roku 2030.

Projekt H2I-TR je súčasťou viacerých ďalších projektov a iniciatív:

- European Hydrogen Backbone;
- European Clean Hydrogen Alliance;
- H2EU+Store;
- Central European Hydrogen Corridor;
- SunsHyne Corridor;
- EASTGATE – H2V (iniciatíva Košického samosprávneho kraja na prepravu, uskladnenie a využitie vodíka v regióne);
- South-East European Corridor (SEEHyC).

4.5.2.2.3 Primiešavanie vodíka do zemného plynu

Regulácie EÚ zatiaľ nestanovuje najvyšší prípustný podiel primiešaného vodíka do zemného plynu na úrovni transportných sietí zemného plynu v členských štátoch EÚ. Preto členské krajiny pristupujú k tejto otázke samostatne. Slovenský prevádzkovateľ plynovej infraštruktúry uvažuje s limitom najviac 5 % pre rok 2025.

Priemerná ročná spotreba zemného plynu v SR sa pohybuje okolo 5 mld. m³ čo predstavuje pri objemovej hustote zemného plynu 0,728 kg na 1 m³ približne 3,7 mil. t. V prípade, ak by sa k zemnému plynu primiešaval vodík v podiele 5 %, potom by prepravca ročne prepravil a dodal približne 20 tis. t vodíka¹⁶⁴ na slovenský trh.

¹⁶⁴ Údaj validovaný spoločnosťou eustream a.s..

Spätne oddelenie vodíka primiešaného do zemného plynu je technicky náročné a energeticky nákladné. Používajú sa najmä tieto technológie separácie:

Membránová separácia

- Využíva selektívne membrány, ktoré prepúšťajú vodík, ale zadržiavajú CH₄.
- Výhody: kompaktné, modulárne riešenie.
- Nevýhody: účinnosť závisí od koncentrácie H₂ a tlaku, obvykle vhodné pre vyššie podiely H₂ (>10 %).

PSA, Pressure Swing Adsorption

- Plynná zmes sa vedie cez adsorbent, ktorý zachytáva CH₄ a iné zložky, vodík prechádza.
- Používa sa bežne pri výrobe H₂ zo zemného plynu.
- Vyžaduje vysoký tlak a nie je ekonomicky efektívna pri nízkych koncentráciách H₂ v plyne (<10 %).

Kryogénická separácia

- Zmes sa skvapalňuje pri veľmi nízkych teplotách, vodík sa oddelí ako prvý v plynnej fáze (vďaka nízkemu bodu varu).
- Vysoká čistota, vhodné pre veľké objemy.
- Veľmi energeticky náročné a nákladné.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že primiešaný vodík do 5 % je vhodné využiť len v koncových aplikáciách, kde sa priamo zemný plyn s vodíkom spaľuje a nie v priemyselných prevádzkach, kde sa vyžaduje buď len zemný plyn pre parnú reformáciu zemného plynu alebo vodík ako vstupná surovina pre ďalšie stupne priemyselnej výroby minerálnych hnojív alebo palív.

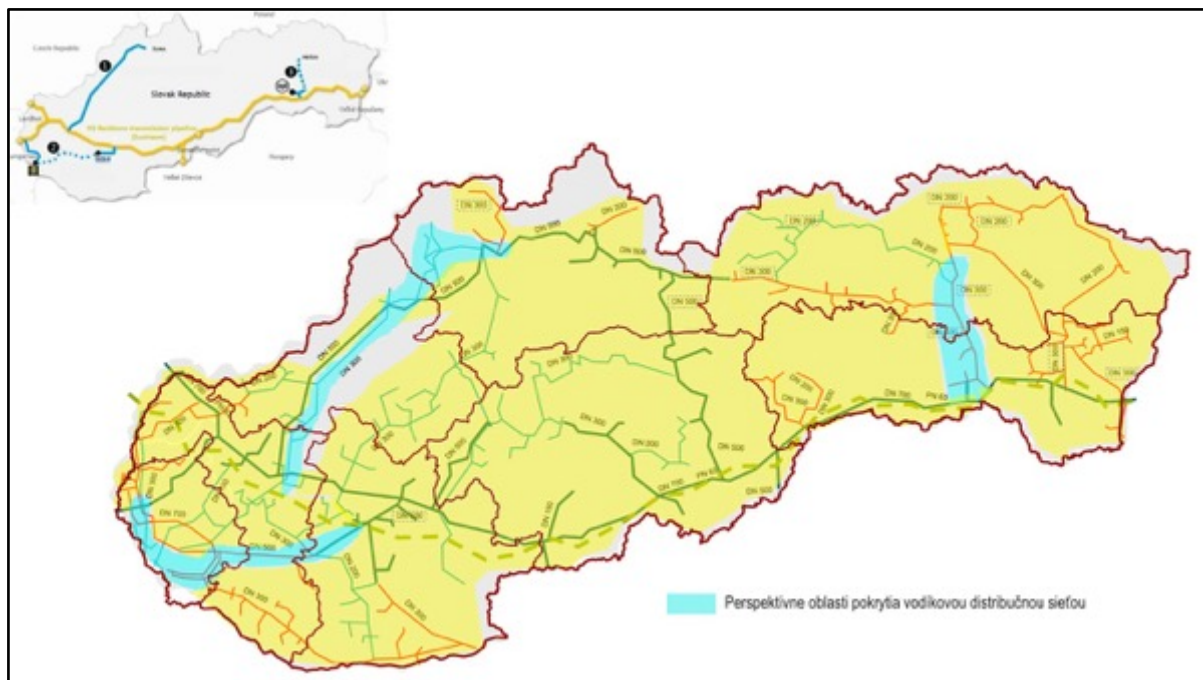
4.5.2.2.4 Príprava SPP-distribúcie na vodík

Slovenská plynárenská distribučná sústava je tiež postupne pripravovaná na prepravu vodíka ako naznačujú strategické plány spoločnosti SPP-distribúcia (SPP-D)¹⁶⁵. SPP-D v roku 2022 úspešne otestovala využívanie zmesi zemného plynu a vodíka v pomere 9:1 bez potreby dodatočných úprav spotrebičov v domácnostiach, čím prakticky overila technickú realizovateľnosť distribúcie vodíka.

V roku 2024 spoločnosť získala certifikáciu od TÜV SÜD a potvrdila kompatibilitu súčasnej distribučnej infraštruktúry SPP-D s distribúciou zmesi obsahujúcej do 5 % vodíka vo vysokotlakových sieťach a do 10 % v strednotlakových a nízkotlakových sieťach. SPP-Distribúcia plánuje adaptovať svoju plynárenskú distribučnú sústavu tak, aby dokázala

¹⁶⁵ SPP-distribúcia - Ročná správa za obdobie 1.8.2023 – 31.7.2024

distribúovať zmes obsahujúcu 5 % vodíka do roku 2025, s cieľom postupne zvýšiť tento podiel až na 10 % do roku 2030.



Obrázok 65: Mapa plánu rozvoja vodíkovej distribučnej siete.

Zdroj: SPP Distribúcia

Pre SPP-D tiež existujú perspektívne oblasti na pokrytie vodíkovou distribučnou sieťou. Dané projekty by boli atraktívne najmä v prípade veľkej kapacity odberu a výroby vodíka vo vodíkových údoliach. Perspektívne lokality vodíkových distribučných sietí sú vyznačené na obrázku.

Nevyhnutným predpokladom rozvoja vodíkovej distribučnej siete je rozvoj európskej transportnej siete spolu s námornými a riečnymi terminálmi vodíka a budovanie výrobných klastrov obnoviteľného vodíka v globálnom meradle. Tieto iniciatívy sa začali už aj na Slovensku, avšak nenapredujú rovnako rýchlo ako v susedných krajinách v dôsledku chýbajúcej štátnej politiky v oblasti vodíka. Preto veľkokapacitná spotreba vodíka do roku 2030 je nereálna a nie je zahrnutá v žiadnom scenári spotreby vodíka do roku 2030.

4.5.3 Vodíková čerpacia infraštruktúra

Súčasný stav čerpacej infraštruktúry pre vodíkové vozidlá je prakticky na nulovej úrovni. Na Slovensku je jediná vodíková čerpacia stanica (tlak 350 bar v areáli rafinérie Slovnaft), ktorý plnenie autobusov a nákladných áut, vrátane vodíkových autobusov Dopravného podniku Bratislava (DPB), pod vyšším tlakom, 350 bar. Tento technologický krok predĺži dojazd vozidiel DPB až o 40 %. Čerpacia stanica je umiestnená v areáli Slovnaft v Bratislave, ktorý vyrába a dodáva vodík. Prevádzkovateľom je spoločnosť Messer Tatragas .

Druhá slovenská vodíková čerpacia stanica bola mobilná a bola spustená v trnavskom areáli spoločnosti Arriva a jej plniaci tlak bol 350 bar. avšak bola určená len na časovo obmedzenú propagáciu a jej prevádzka už bola ukončená. V blízkej budúcnosti bude sprístupnená ďalšia čerpacia stanica na vodík v Trnave, Modranke v areáli existujúceho Truck centra a čerpacej stanice.

Rozvoj dopravy s vodíkovým pohonom bude možný len so zabezpečenou sieťou čerpacích staníc, aspoň na minimálnej úrovni, na Slovensku aj v ostatných štátoch. Aktuálna situácia v Európskej únii s celkovým počtom 177 a so siedmimi členskými krajinami, ktoré implementáciu plničiek len plánujú, je zatiaľ ďaleko za základnými prevádzkovými potrebami.

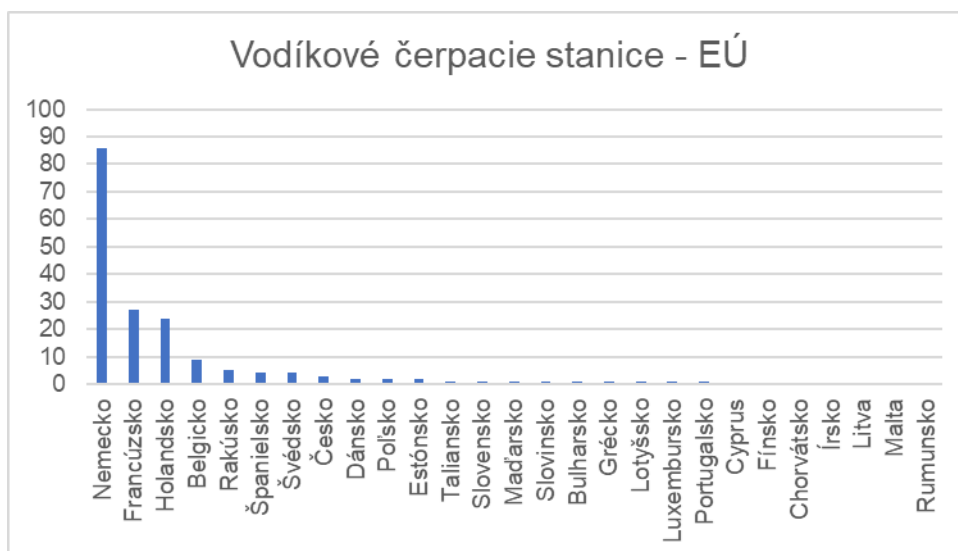
krajina	počet čerpacích staníc	krajina	počet čerpacích staníc
Nemecko	86	Bulharsko	1
Francúzsko	27	Grécko	1
Holandsko	24	Lotyšsko	1
Belgicko	9	Luxembursko	1
Španielsko	5	Portugalsko	1
Švédsko	4	Cyprus	0
Česko	4	Fínsko	0
Dánsko	3	Chorvátsko	0
Poľsko	2	Írsko	0
Estónsko	2	Litva	0
Taliansko	2	Malta	0
Slovensko	1	Rakúsko	(5) ^{166*}
Maďarsko	1	Rumunsko	0
Slovinsko	1	EÚ celkom	172 (177)*

Tabuľka 62: Počty vodíkových čerpacích staníc v Európskej únii

Zdroj: European Hydrogen Observatory¹⁶⁷

¹⁶⁶ Verejné vodíkové čerpacie stanice v Rakúsku prevádzkované OMV prerušujú činnosť od júna a septembra 2025.

¹⁶⁷ European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)



Obrázok 66: Počty vodíkových čerpacej staníc v Európskej únii

Zdroj: European Hydrogen Observatory¹⁶⁸

4.5.3.1 Požiadavky na vodíkové čerpace stanice

Minimálne požiadavky na sieť čerpacej staníc sú dané záväzkami z Nariadenia Európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2023/1804 z 13. septembra 2023 o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá (AFIR)¹⁶⁹.

Podľa článku 6 ohľadom Cieľových hodnôt vodíkovej čerpacej infraštruktúry pre cestné vozidlá „...členské štáty zabezpečia, aby sa do 31. decembra 2030 zriadili verejne prístupné vodíkové čerpace stanice navrhnuté pre minimálnu kumulatívnu kapacitu 1 tona za deň, vybavené dávkovačmi na tankovanie s tlakom minimálne 700 barov a v maximálnych rozstupoch 200 km pozdĺž základnej siete TEN-T.“¹⁷⁰ a „aby bola do 31. decembra 2030 v každom mestskom uzle zriadená aspoň jedna verejne prístupná vodíková čerpacia stanica.“

Zároveň v odôvodnení číslo 40 AFIR požaduje: „Vozidlá na vodíkový pohon by mali byť schopné dočerpať palivo na mieste určenia alebo v jeho blízkosti, čo je zvyčajne v mestskej oblasti. S cieľom zabezpečiť možnosť verejne prístupného čerpania na mieste určenia aspoň v hlavných mestských oblastiach by sa mali takéto vodíkové čerpace stanice zaviesť vo všetkých mestských uzloch, ako sú vymedzené v nariadení (EÚ) č. 1315/2013. V mestských uzloch by verejné orgány mali zvážiť zavedenie vodíkových čerpacej staníc v rámci multimodálnych uzlov, keďže tieto multimodálne uzly sú typickým miestom určenia pre ťažké úžitkové vozidlá a

¹⁶⁸ European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)

¹⁶⁹ Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1804>)

¹⁷⁰ Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1804>)

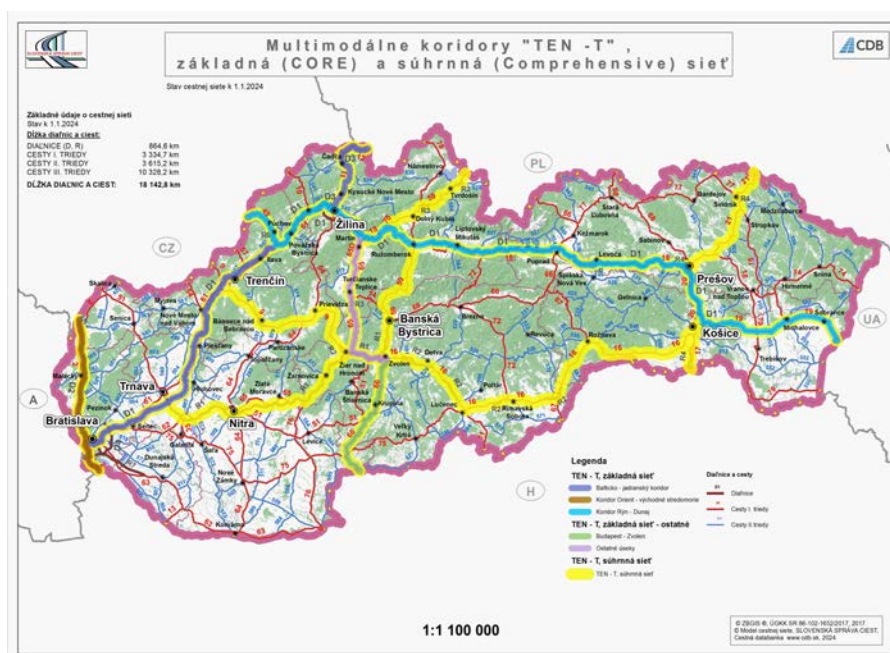
*keďže by mohli poskytovať vodík aj pre iné druhy dopravy, ako je železničná a vnútrozemská vodná doprava.*¹⁷¹

Názov uzlu	letisko	vnútrozemský prístav	terminál intermodálnej prepravy
Bratislava	základná sieť	základná sieť	základná sieť
Komárno		základná sieť	
Košice	súhrnná sieť		súhrnná sieť
Leopoldov - Šulekovo*			súhrnná sieť
Poprad Tatry	súhrnná sieť		
Žilina			súhrnná sieť

Tabuľka 63: Usmernenia Únie pre transeurópsku dopravnú sieť

Zdroj: Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá.

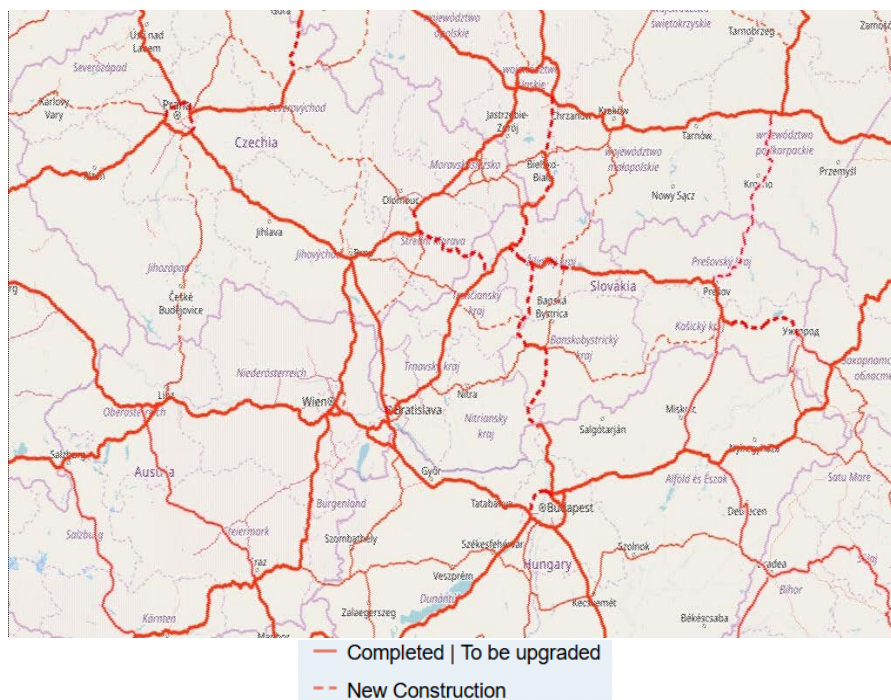
Geografia Slovenská v spojení s hustotou mestských uzlových bodov umožní alokovanie čerpacích miest vo veľkých a väčších mestách, ako Bratislava, Trnava, Trenčín, Žilina, Poprad, Košice, Nitra, Zvolen. Toto rozloženie pokryje požiadavky AFIR ohľadom umiestnenia čerpacích staníc. Na pokrytie siete TEN-T a splnenie požiadaviek AFIR je potrebných okolo 6 – 8 vodíkových čerpacích staníc. Presné množstvo a ich umiestnenie je potrebné koordinovať s okolitými krajinami, ale navrhnuté rozloženie by malo byť postačujúce na naplnenie podmienok. Pokrytie siete TEN-T je minimálnym naplnením požiadaviek EÚ a nemusí byť dostačujúce na kompletné budúce potreby vodíkovej potreby, v závislosti od rýchlosti adopcie vodíkových technológií a rastu nových vodíkových údolí.



¹⁷¹ Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1804>)

Obrázok 67: Pan-európska dopravná sieť

Zdroj: Slovenská správa ciest¹⁷²



Obrázok 68: Regionálna pan-Európska dopravná sieť

Zdroj: TEN-T¹⁷³

Je potrebné tiež optimalizovať umiestnenie staníc a preskúmať najmä „zriadenie takýchto čerpacích staníc v multimodálnych uzloch, kde by sa mohli zásobovať aj iné druhy dopravy“ (AFIR¹⁷⁴).

Výhodou umiestnenia čerpacích miest v hlavných mestských aglomeráciách bude možnosť kombinovať ich nielen pre nákladnú a osobnú dopravu (vrátane úžitkových vozidiel), ale aj pre autobusy hromadnej dopravy a, v prípade potreby, aj pre železnice, hlavne na aktuálne neelektrizovaných tratiach.

Alternatívu elektrifikácie trate je potrebné, pre každú potenciálnu lokalitu, porovnať s možnosťou vodíkového pohonu pri uvážení základných parametrov:

- úvodné investície
- údržba trate
- cena za palivo (na mieste spotreby)

¹⁷² Slovenská správa ciest: Pan-Európske koridory. (<https://www.cdb.sk/sk/cestna-siet-SR/Medzinarodne-tahy/Pan-Europske-koridory-TEN-T-alej>)

¹⁷³ Európska komisia: TEN-T Maps of the comprehensive, extended core and core networks. (https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/tentec-information-system-and-ten-t-map-library/ten-t-maps-comprehensive-extended-core-and-core-networks_en)

¹⁷⁴ Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1804>)

- prevádzka lokomotív



Obrázok 69: Trate vhodné pre vodíkovú železničnú dopravu

Zdroj: NVAS 2020

Lodné trasy je možné tiež riešiť vo vybraných spoločných uzloch s cestnou a/alebo železničnou sieťou. Vodíkové čerpacie stanice na letiskách (hlavne v Bratislave, Košiciach a prípadne aj v Poprade a Sliači) budú doriešené až v prípade potreby.

V zmysle nariadenia AFIR: „Susediace členské štáty zabezpečia, aby sa na cezhraničných úsekoch základnej siete TEN-T neprekročili maximálne rozstupy“ 200 km pozdĺž základnej siete TEN-T.“ (AFIR¹⁷⁵)

Na pokrytie stredoeurópskeho regiónu je potrebné spolupracovať s krajinami, s ktorými má Slovensko spoločné hranice, t. j. s Českom, Rakúskom Maďarskom a Poľskom.

Vzhľadom na menšiu rozlohu Slovenskej republiky a jej pretiahnutý tvar bude cieľové naplnenie požiadavky 200 km rozstupov pomerne jednoduché.

Česká republika má v súčasnosti 3 čerpacie stanice, ktoré sú výrazne ďalej ako 200 km od našich navrhovaných uzlových bodov, ale dá sa predpokladať, že česká sieť sa rozšíri aj na Moravu a naplnenia sa tak požiadavky AFIR.

¹⁷⁵ Európska únia (EÚ): Nariadenie o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1804>)

	Česko	SK - najbližšia ČS (mesto)	vzdialenosť (km)
1	Praha	Bratislava	328
2	Litvínov	Bratislava	432
3	Ostrava	Žilina	108

Tabuľka 64: Vodíkové čerpace stanice v ČR 2024

Zdroj: Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR¹⁷⁶

V roku 2024 bolo v realizácii a príprave ďalších 6 čerpacích staníc, z toho 4 vo vzdialenosti 130 – 150 km od Bratislavy (Morava, Česko). Výstavba 6 čerpacích miest je minimálnou povinnosťou ČR a je schválený v rámci Národného akčného plánu čistej mobility (NAP CM¹⁷⁷) pre pokrytie siete TEN-T. Ďalších 10 vodíkových čerpacích staníc plánuje NAP CM vybudovať v mestských uzloch.

	umiestnenie	stav
1	Litvínov	v prevádzke
2	Praha 5, Hlubočepy	v prevádzke
3	Ostrava, Vítkovice	v prevádzke
4	Ostrava, Hranečník	realizácia (podporené)
5	Napajedla	realizácia (podporené)
6	Praha 9	príprava (podporené)
7	Ostrava, Pustkovec	príprava (podporené)
8	Brno, Slatina	príprava (podporené)
9	Praha, Michle	príprava (podporené)

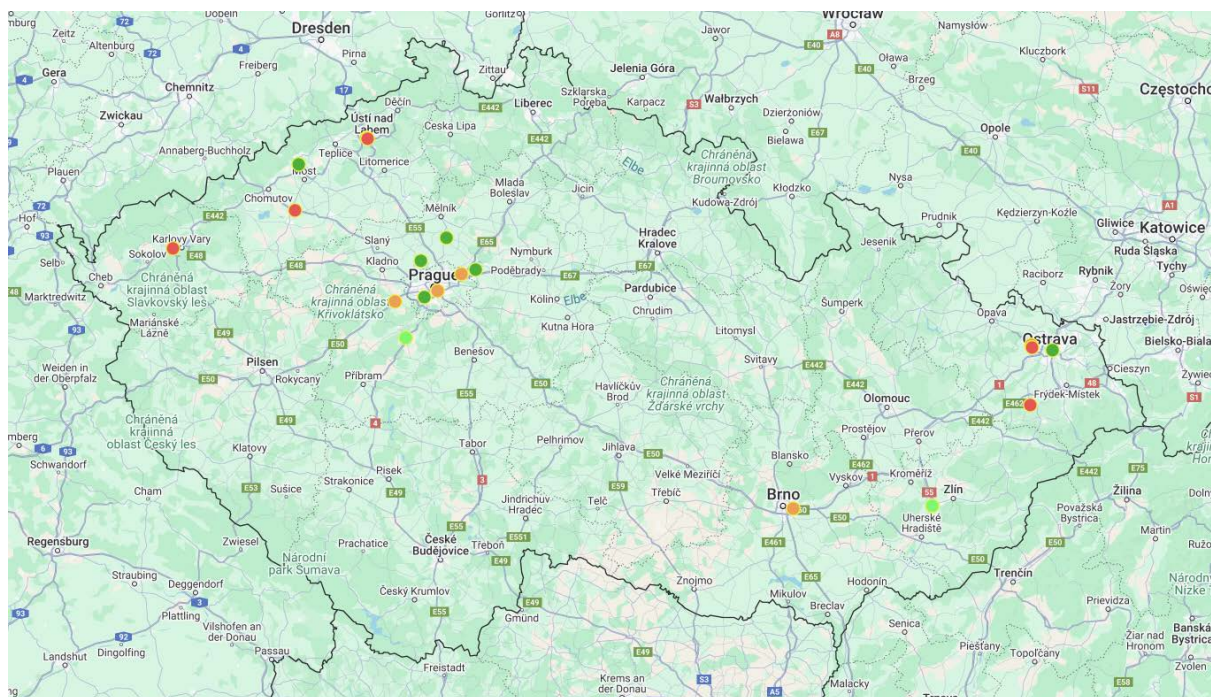
Tabuľka 65: Plánované vodíkové čerpace stanice v ČR

Zdroj: Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR¹⁷⁸

¹⁷⁶ Čistá doprava - Centrum dopravního výskumu: CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR. (<https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>)

¹⁷⁷ Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR: Národní akční plán čisté mobility. (<https://www.mpo.gov.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>)

¹⁷⁸ Čistá doprava - Centrum dopravního výskumu: CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR. (<https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>)



Obrázok 70: Prevádzkované a pripravované vodíkové čerpacie stanice v ČR

Zdroj: Vodíková mapa ČR¹⁷⁹

Zatiaľ jediná maďarská čerpacia stanica bude od navrhovaného miesta v Nitre vzdialená 163 km.

Maďarsko		SK - najbližšia ČS (mesto)	vzdialenosť (km)
1	Budapešť	Nitra	163

Tabuľka 66: Vodíkové čerpacie stanice v Maďarsku

Zdroj: European180 Observatory: Hydrogen Refuelling Stations

V Rakúsku je vybudovaných 5 vodíkových čerpacích staníc, ktoré ale od septembra 2025 prerušujú svoju činnosť. Dôvodom je neekonomická prevádzka po skončení štátnych subvencií ceny vodíka, ktorá je pre dopravu kľúčová. V prevádzke sú však aj ďalšie nové vodíkové čerpacie stanice slúžiace hlavne pre flotily vozidiel pre komunálne a firemné potreby. Takáto čerpacia stanica sa nachádza v areáli tepelnej elektrárne vo Viedni a je prevádzkovaná spoločnosťou Wien Energy.

Rakúsko		SK - najbližšia ČS (mesto)	vzdialenosť (km)
1	Viedeň	Bratislava	80
2	Wiener Neudorf	Bratislava	87
3	Asten	Bratislava	249

¹⁷⁹ Čistá doprava - Centrum dopravného výskumu: Vodíková mapa ČR. (<https://www.cistadoprava.cz/mapy/h2/>)

¹⁸⁰ European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)

4	Graz	Bratislava	264
5	Innsbruck	Bratislava	565

Tabuľka 67: Vodíkové čerpacie stanice v Rakúsku

Zdroj: European¹⁸¹ Observatory: Hydrogen Refuelling Stations

Poľsko vybudovalo čerpaciu stanicu aj v Rybniku, ktorý je od navrhovaného umiestnenia v Žiline vzdialený 124 km.

	Poľsko	SK - najbližšia ČS (mesto)	vzdialenosť (km)
1	Rybnik	Žilina	124
2	Varšava	Poprad	444

Tabuľka 68: Vodíkové čerpacie stanice v Poľsku

Zdroj: European¹⁸² Observatory: Hydrogen Refuelling Stations

4.5.3.2 Návrh siete vodíkových čerpacích staníc

Parametre, ktoré ovplyvňujú výber vhodných miest na vybudovanie čerpacích staníc popri požiadavkách AFIR, je možné zhrnúť do týchto bodov:

- Výroba vodíka, ideálne dostupná priamo k miestu čerpania, alebo aspoň čo najbližšie k nemu
- Potreba vodíka v doprave – autobusová, kamiónová a osobná doprava a logistika, prípadne kombinovaná s neelektrifikovanými železničnými traťami
- Spotreba vodíka – alternatíva/doplňok k doprave
- Spôsob zásobovania vodíkom – priama nadväznosť na výrobu, doprava trajlermi, vodíkovod
- Vzdialenosť k najbližším čerpacím staniciam – vo vzťahu k požiadavkám AFIR a k očakávanému dojazdu vozidiel s vodíkovým pohonom (aktuálne 400 – 500 km)
- Dopravná sieť – Pan-Európska dopravná sieť – TEN-T („Trans-European Transport Network), prípadne uzlový bod
- Počet obyvateľov
- Počet súkromných firiem a štátnych organizácií/spoločností

¹⁸¹ European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)

¹⁸² European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)

	Vodíková čerpacia stanica (ČS)	Naj- bližšia ČS	Vzdia- lenosť k najbližšej ČS	výroba vodíka	potreba vodíka v doprave	iná spotreba vodíka	spôsob zásobovania vodíkom	dopravná sieť TEN-T/uzol	počet obyvateľo v*	počet firiem**
1	Bratislava	Trnava	57	Slovnaft Bratislava 0 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné	Slovnaft Bratislava	miesto výroby vodíka	TEN-T - základná časť + uzol	478,040	36,855
2	Trnava	Nitra	48	Duslo Šaľa 47 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné	Duslo Šaľa	trajler	TEN-T - základná časť + uzol	62,508	5,815
3	Nitra	Trnava	48	Duslo Šaľa 27 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné	Duslo Šaľa	trajler	TEN-T - súhrnná sieť + uzol	77,014	8,060
4	Trenčín	Žilina	79	Duslo Šaľa 106 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné		trajler	TEN-T - základná časť + uzol	54,740	5,161
5	Žilina	Trenčín	79	Poprad 141 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné		trajler	TEN-T - základná časť + uzol	80,020	9,682
6	Zvolen	Nitra	107	Poprad 137 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné	Fortischem	trajler	TEN-T - základná časť + uzol	39,453*** *	2,871****
7	Poprad	Košice	110	Poprad 0 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné		miesto výroby vodíka	TEN-T - základná časť + uzol	48,741	3,461
8	Košice	Košice	110	Košice 0 km	autobusy, kamióny, úžitkové, osobné	USS	miesto výroby vodíka	TEN-T - základná časť + uzol	225,044	7,028
* Google Maps https://www.google.com/maps ** sčítanie obyvateľstva k 31.12.2023										

*** Obchodný register SR https://www.orsr.sk/search_sidlo.asp

**** Zvolen + Banská Bystrica - vzdialenosť 22 km - obyvatelia 113,092, firmy 12,305

Tabuľka 69: Parametre návrhu vodíkových čerpacích staníc

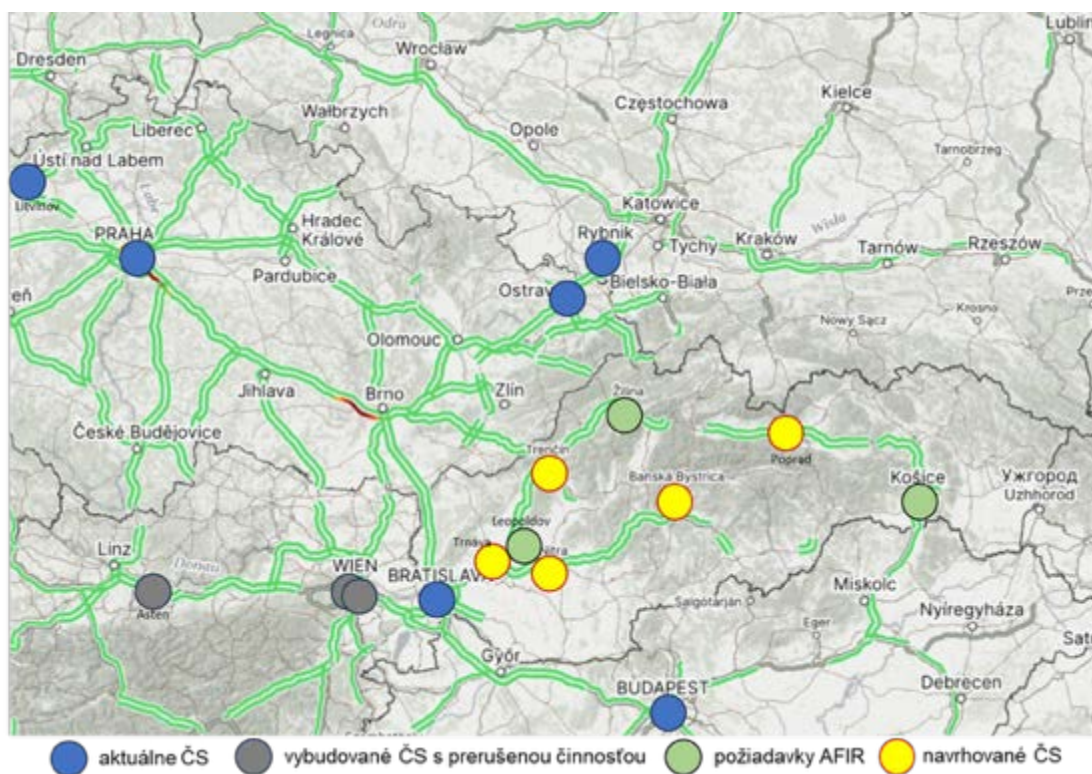
Zdroj: European Hydrogen Observatory

Minimálne požiadavky dané nariadením AFIR je potrebné pokryť do roku 2030, v prípade možnosti kombinované aj pre železničnú, lodnú dopravu (leteckú dopravu bude potrebné riešiť separátne):

- Bratislava (v prevádzke, ale potrebné upraviť)
- Leopoldov (ak to bude skutočne nevyhnutné)
- Košice
- Žilina

Logistické potreby s predpokladanými vodíkovými údoliami dopĺňajú k požiadavkám AFIR nasledovné mestské lokácie:

- Trnava
- Trenčín
- Nitra
- Zvolen
- Poprad



Obrázok 71: Vodíkové čerpacie stanice na Slovensku a v susediacich krajinách EÚ

Zdroj: European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations¹⁸³

¹⁸³ European Hydrogen Observatory: Hydrogen Refuelling Stations. (<https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>)

Ďalšie čerpacie stanice si môžu vybudovať relevantné organizácie štátnej alebo regionálnej správy ako napr. Polícia SR, Slovenská pošta a podobne.

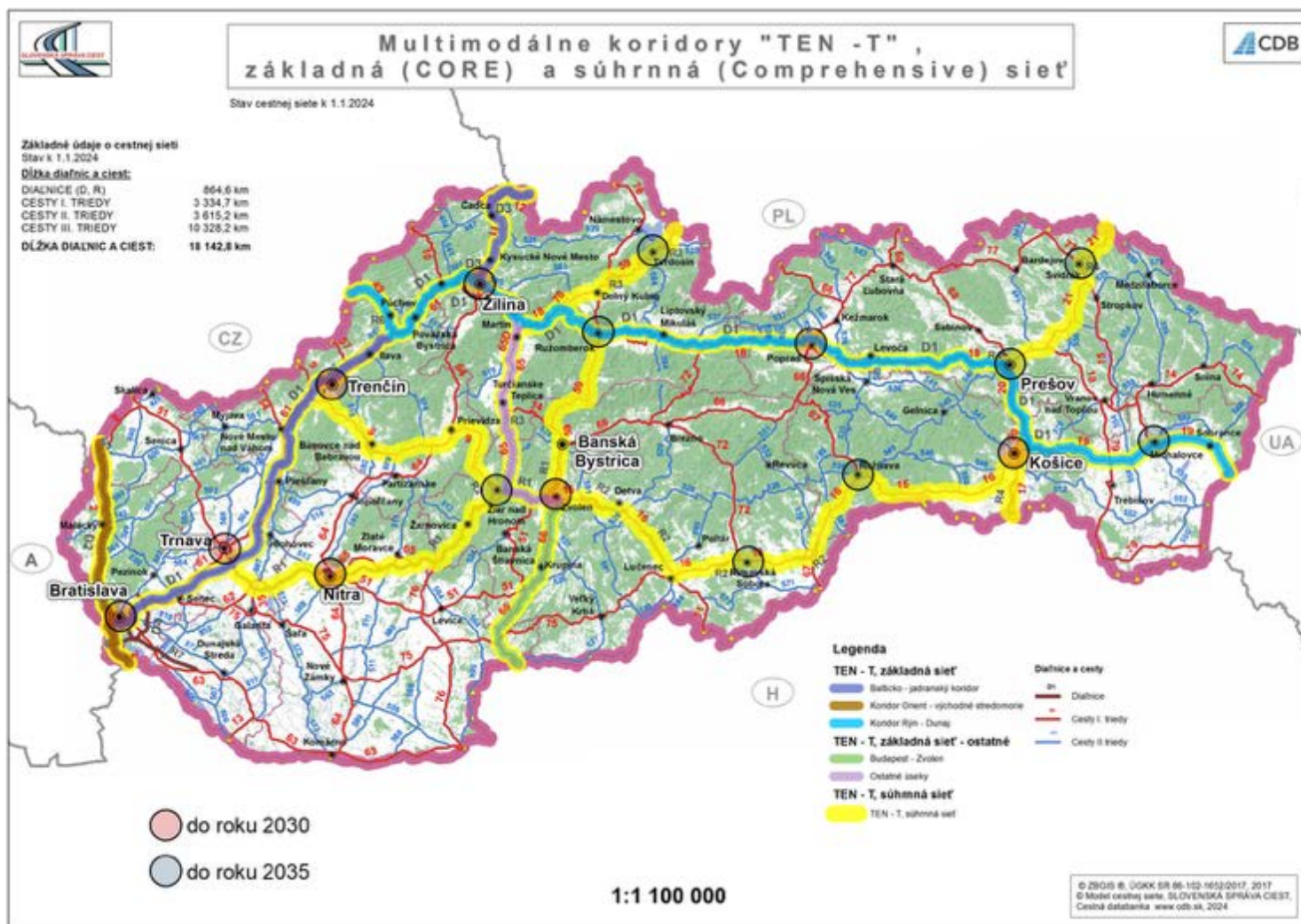
Dočasným a maximálne flexibilným riešením je použitie mobilných vodíkových čerpacích staníc (podobne ako firma Air Products poskytla svoju plničku Slovenskej inovačnej a energetickej agentúre na účely prezentácie vodíka a testovania vodíkových autobusov v Trnave¹⁸⁴). Tento prístup umožní preklenúť čas potrebný na výstavbu finálnych čerpacích staníc a zároveň sa dajú presúvať tam, kde to bude z akýchkoľvek dôvodov potrebné (napr. kvôli pokrytiu prechodne navýšeného dopytu, alebo aj ako záložné riešenie pri výpadku niektorej z čerpacích staníc).

Ďalší rozvoj bude sieť čerpacích staníc zahusťovať, čím sa zlepší komfort nielen pre nákladnú, ale aj osobnú dopravu (s možnosťou pokrytia aj pre železničnú a lodnú dopravu).

Ďalší rozvoj bude sieť čerpacích staníc zahusťovať, čím sa zlepší komfort nielen pre nákladnú, ale aj osobnú dopravu (s možnosťou pokrytia aj pre železničnú a lodnú dopravu):

• Žiar nad Hronom	• Tvrdošín
• Rimavská Sobota	• Prešov
• Rožňava	• Svidník
• Ružomberok	• Michalovce

¹⁸⁴ Mój Elektromobil (2022): Slovensko má dve čerpacie stanice na vodík. Mobilná sa nachádza v Trnave. (<https://www.mojelektromobil.sk/slovensko-ma-prvu-mobilnu-erpaciu-stanicu-na-vodik-nachadza-sa-v-trnave/>)



Obrázok 72: Návrh siete vodíkových čerpacích staníc do roku 2030 a 2035

Zdroj: Slovenská správa ciest

Z hľadiska distribúcie vodíka a vzdialenosti od miesta výroby je možné rozlíšiť tri alternatívne riešenia:

- čerpacia stanica je v mieste výroby vodíka
- čerpacia stanica je mimo výroby vodíka, prepojenie cez vodíkovod
- čerpacia stanica je ďalej od výroby vodíka, prevoz vodíka v trajleroch a cisternách

Najvhodnejšia sa javí alternatíva A, ktorá umožní využiť čistú výrobu vodíka (napr. z odpadu so zachytávaním alebo elektrolýzou) a rovno ho spotrebovať pre rôzne druhy dopravy (autobusová, nákladná a cieľovo aj osobná) bez ďalších nákladov na distribúciu a/alebo skladovanie. Takéto riešenie stlačí cenu vodíka približne na 7 EUR/kg.

Viac výhod poskytuje aj druhá alternatíva, s dodávkou vodíka do zásobníka čerpacej stanice cez vodíkovod, s väčšou flexibilitou a bez potreby skladovania, ale s potrebou významných investícií do potrubia a infraštruktúry aj s následnými nákladmi na ich údržbu.

Alternatíva C je pomerne flexibilným a rýchlym riešením, a je preto vhodná najmä v úvodných fázach implementácie čerpacích staníc. Preprava trajlerom pridáva k cene vodíka náklady 1 – 3 EUR/kg na 1 000 km (vrátane nákladov na prevádzku prepravného vozidla). Ďalšie zvyšovanie ceny vodíka tu spôsobuje investícia a prevádzka do skladovacích kapacít na čerpacej stanici aj v mieste výroby vodíka.

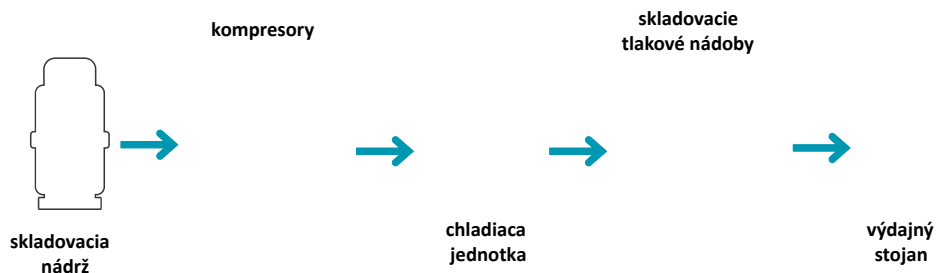
Oddelenie miesta výroby od miesta spotreby ale umožňuje, s využitím vhodne nadimenzovaného trajleru, zvoz z výroby v širšej oblasti. Takéto nastavenie pomáha pri vybalancovaní dostatočnej výroby a jej kompletnej spotreby na regionálnej úrovni.

4.5.3.3 Popis vodíkovej čerpacej stanice

Prevažná väčšina vodíkových čerpacích staníc pracuje so stlačeným plynným vodíkom a môžu mať finálny kompresný tlak:

- 350 Bar – využíva sa pre autobusy, nákladné vozidlá aj lokomotívy, ale osobné automobily dokáže naplniť len čiastočne (40 – 60 %)
- 700 Bar – napĺňanie osobných automobilov a najnovšie už aj nákladných vozidiel

Najčastejšie sa plynný vodík prečerpáva tak, že sa najprv stlačí na 950 bar alebo na 500 bar vo vyrovnávacom zásobníku (zriedkavejšie existujú aj iné technologické prístupy. Následne vodík prechádza tepelným výmenníkom do výdajného stojanu.



Obrázok 73: Schéma vodíkovej čerpacej stanice

Zdroj: Air Products

Vodíková čerpacia stanica sa skladá z nasledovných komponentov:

- Zásobník na vodík
- Kompresor
- Výmenník tepla
- Vysokotlakový zásobník
- Chladiace dávkovacie zariadenie
- Výdajný stojan
- Plniaca rýchlospojka

Vodík sa skladuje stlačený v tlakových zásobníkoch, ktoré sa vyrábajú z ocele, alebo z kompozitných materiálov. Zásobníky môžu byť pevne zakomponované do čerpacej stanice, alebo mobilné, v ktorých sa vodík prepravuje.

Kompresor slúži na stlačenie plynného vodíka tak, aby sa znížil jeho objem čo umožní skladovať viac vodíka. Pre vysokotlakové plnenie pri 700 bar je nutné stlačiť vodík na 950 bar a pre strednotlakové plnenie sa stláča na vyše 500 bar. Niektoré riešenie počítajú aj pre vysokotlakové plnenie s nižším tlakom (okolo 500 bar) a na 700 bar sa vodík do nádrže dotláča pomocou „booster“ kompresoru až pri tankovaní.

Výmenník tepla ochladzuje vysoko stlačený vodík zahriaty procesom stláčania.

Vysoko stlačený plyn sa skladuje vo vysokotlakovom zásobníku, so špeciálnymi ventilmi a riadiacimi prvkami navrhnutými pre malé molekuly vodíka.

Chladiace dávkovacie zariadenie schladzuje vodík na teplotu - 40 °C pre efektívne plnenie tak, aby sa zaistilo bezpečné dávkovanie podľa protokolu o dopĺňovaní plynného vodíka J2601.

Výdajný stojan obsahuje plniacu spojku a hadicu, displej a riadiacu techniku s platobným terminálom, ktorý môže byť oddelený. Stojan musí byť umiestnený na voľnom priestranstve pod nehorľavým prístreškom a kontrolovaný obsluhou alebo kamerovým systémom.

Plniaca rýchlospojka spája výdajné zariadenie a vozidlo tak, aby bol prietok plynu otvorený len ak je spojenie utesnené (s plniacim pretlakom 350 bar alebo 700 bar). Odpojenie rýchlospojky je možné až po jej odtlakovaní, čím chráni pred neúmyselným odpojením. Ak dôjde k prekročeniu vymedzeného mechanického namáhania, rýchlospojka sa rozpojí a prívod vodíku sa uzavrie. Plniaca rýchlospojka umožňuje dátové prepojenie vozidla a výdajného zariadenia a zaisťuje tak optimálne nastavenie pre skrátenie doby plnenia vozidla.

4.5.3.4 Podpora výstavby čerpaciej infraštruktúry

Primárnym predpokladom pre čerpacie stanice je zabezpečenie dostatočného množstva vodíka, v dostupnej vzdialenosti. Výrobu vodíka je potrebné prepojiť s flexibilným distribučným systémom.

Výstavba vodíkovej čerpaciej stanice trvá 9 – 15 mesiacov s očakávanými nákladmi vyše 1,5 mil. EUR, v závislosti od komplexnosti použitých technológií a výdajnej kapacity. Takto riziková a náročná investícia vyžaduje podporu na štátnej aj regionálnej úrovni. Výzva s dotáciou na podporu budovania vodíkovej infraštruktúry s možnosťou pokrytia až 50 % nákladov bola ukončená 31.10.2024 bez vyčerpania prostriedkov alokovaných z POO¹⁸⁵. Súkromný sektor mal o výzvu záujem, ale neistota spojená s prevádzkou a rozvojom vodíkovej dopravy investorov odrádzajú.

Podpora vyžaduje kombináciu finančných podnetov krytia investičných ale aj prevádzkových nákladov po dobu pokým sa nerozvinie vodíkové hospodárstvo do dostatočnej miery.

Zjednodušenie procesu výstavby čerpacích staníc bude nevyhnutné pre zvýšenie záujmu súkromného sektoru aj z hľadiska času na splnenie požiadaviek AFIR. Potenciálnym investorom by výrazne pomohlo zlepšenie prístupu k verejným pozemkom.

Doriešenie prepravy obnoviteľného vodíka je predpokladom pre najekologickejšiu realizáciu zámerov v tejto oblasti. Aktuálne je Slovensku (ale napr. aj v Čechách) na jednej strane platná požiadavka zabezpečenia bezemisnej prepravy a na strane druhej je zakázaná preprava vozidlami s elektrickým pohonom, pričom takýto pohon je v Európskej dohode o cestnej preprave nebezpečných vecí (ADR)¹⁸⁶ nielen u elektrických vozidiel, ale aj u vodíkoveho riešenia s palivovým článkom. Takýto prístup by v podstate prepravou obnoviteľný („zelený“) vodík s čiastočne menil na fosílny („sivý“).

Čerpacia infraštruktúra je nevyhnutným predpokladom pre realizáciu cieľov v oblasti vodíka a tým aj príspevkom k celkovej dekarbonizácii. Ciele a záväzky sa ale nedajú dosiahnuť bez

¹⁸⁵ Energie portál (2024): Zadotujú čerpacie stanice na vodík. Štát otvoril novú výzvu z Plánu obnovy. (<https://www.energie-portal.sk/Dokument/vodik-cerpacie-stanice-dotacie-110968.aspx>)

¹⁸⁶ Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky (MD SR): Predchádzajúce verzie dohody ADR. (<https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/ministerstvo-doprava-3-preprava-nebezpecneho-tovaru/po-ceste/predchadzajuce-verzie-adr>)

dostatočného počtu vozidiel s vodíkovým pohonom. Vodíkové autobusy majú na Slovensku dvoch výrobcov¹⁸⁷ a slovenská firma uvádza na trh aj prvý homologizovaný kamión na vodík v Európe¹⁸⁸. Ďalší rozvoj vodíkových vozidiel bude vyžadovať adekvátnu podporu pre používateľov aj výrobcov automobilov (podobne ako v oblasti výroby a spotreby vodíka aj s tým spojenou infraštruktúrou).

Rozvoj vodíkovej dopravnej infraštruktúry musí ísť paralelne s rozvojom vozidiel na vodíkový pohon s ohľadom na to, že prevádzka vodíkových čerpacích staníc je nákladná a súkromný sektor ich nebude dotovať. Preto je potrebné podporovať rast vozidiel s vodíkovými palivovými článkami a zabezpečiť tak ich schopnosť konkurovať iným pohonom, fosílnym aj nízkouhlíkovým.

Naštartovanie rozvoja v oblasti vodíka bude vyžadovať zníženie investičného rizika. V doprave nebude zabezpečená dostatočná sieť čerpacích staníc bez adekvátneho počtu vozidiel a naopak, vodíkové vozidlá sa nebudú kupovať bez flexibility pri dopĺňaní vodíkoveho paliva.

Osobné autá s vodíkovým pohonom doplnia možnosti plne elektrických vozidiel. Prioritou ale bude vybudovať čerpaciu infraštruktúru na podporu prevádzky ťažkých nákladných vozidiel, mestských a medzimestských autobusov a úžitkových vozidiel, pre ktoré je vodík výhodnejším pohonom z hľadiska dojazdu a rýchlosti doplnenia paliva.

4.6 Využitie vodíka na Slovensku

Táto časť Štúdie H2R sa venuje dopytu po vodíku v rôznych sektoroch hospodárstva Slovenska. Cieľom je analyzovať jeho technickú a ekonomickú realizovateľnosť v kontexte dostupných a plánovaných zdrojov elektrickej energie (v súlade s NEKP s definovaným potenciálom OZE a s ohlásenými zámermi). Kľúčovými oblasťami sú priemyselné odvetvia ako výroba ocele a chemický priemysel, ktoré budú významne prispievať k celkovému dopytu po vodíku. Rovnako je vyhodnotený aj dopyt v oblasti dopravy, energetiky a v ďalších relevantných oblastiach. Dôležitým faktorom je aj efektívne využitie verejných prostriedkov a plnenie cieľov udržateľnosti vodíkovej ekonomiky.

4.6.1 Súčasný dopyt po vodíku

Pochopenie súčasného dopytu po vodíku na Slovensku je kľúčové pre efektívne plánovanie infraštruktúry a podporu prechodu k udržateľnejším energetickým zdrojom. Táto časť sa zaoberá analýzou spôsobov, akými slovenské priemyselné odvetvia dnes vodík využívajú, pričom cieľom je poskytnúť celkový obraz o existujúcej infraštruktúre a dopyte zo strany

¹⁸⁷ ROŠERO – P s.r.o.: O nás. (<https://rosero.sk/sk/home-slider/>) a
Mobility & Innovation Production: O nás. (<https://mobility-innovation.sk/>)
¹⁸⁸ Mobility & Innovation Production: O nás. (<https://mobility-innovation.sk/>)

spotrebiteľských subjektov. Osobitná pozornosť je venovaná potrebám a zdrojom vodíka v jednotlivých oblastiach.

Je potrebné rozlišovať medzi dvoma hlavnými skupinami spotrebiteľov a to podnikmi, ktoré si vodík samy vyrábajú a zároveň ho spotrebúvajú, a tými, ktoré sú odkázané na externé zdroje. Kapitola sa taktiež zameriava na aktuálne kapacity výroby a spotreby, čím poskytne širší kontext pre budúci rozvoj vodíkoveho trhu na Slovensku.

Vodík je v súčasnosti v rámci SR využívaný v etablovaných sektoroch, ktoré využívajú fosílny vodík, zväčša vyrábaný parnou reformáciou plynu.

Dotazníkový prieskum trhu o spotrebe a výrobe vodíka realizovaný v priebehu júla 2024 Inštitútom hospodárskych analýz, ktorého výsledky boli prezentované v Bilancii výroby, spotreby, importu a exportu vodíka v SR za rok 2023 poskytol základ dát pre špecifikáciu aktuálneho dopytu.

Na základe prieskumu 11 kľúčových spoločností pokrývajúcich viac ako 99 % výroby a spotreby na Slovensku (odhad IHA) bol v rokoch 2019 až 2023 vývoj v tejto oblasti nasledovný:

	2019	2020	2021	2022	2023
Ročná spotreba vodíka [t]	156,100	174,000	180,800	163,800	151,100
Ročná výroba vodíka [t]	156,600	173,600	180,400	163,300	150,500
Import vodíka [t]	124	128	43	138	175
Export vodíka [t]	425	655	254	350	472

Tabuľka 70: Dotazníkový prieskum trhu o spotrebe a výrobe vodíka

Zdroj: IHA

Ťažisko spotreby, viac ako 99 %, je sústredené v priemysle, hlavne v chemickej výrobe. V ostatných odvetviach hospodárstva je aktuálne využitie vodíka obmedzené na úrovni menej ako 1 %. Predpokladaný je návrat na pred-covidové čísla s nárastom pokrývajúcim záväzky a ciele Slovenskej republiky.

4.6.2 Vodík ako palivo v doprave

Potenciál vodíka ako paliva sa líši pre rôzne segmenty dopravy na Slovensku, s najvyšším potenciálom pre autobusovú, nákladnú a železničnú dopravu, kde má vodík potenciál v konkurovať elektrifikácii a kde bežné elektrické technológie často nedosahujú požadovaný dojazd. Vodíkové palivové články poskytujú potrebný výkon a flexibilitu pre dlhé trasy a vysoké nároky na prepravu. Vodík ako palivo taktiež poskytuje dostatočnú energetickú hustotu, ktorá je vhodná pri preprave na dlhé trate. Na základe analýzy dopravných systémov v regióne bude možné identifikovať oblasti, kde by zavedenie vodíkoveho pohonu prinieslo najväčšie environmentálne a ekonomické výhody.

Využitie vodíka v doprave je v súčasnosti na nízkej úrovni, pričom tento sektor patrí medzi významných znečisťovateľov ovzdušia, čo má dopad na verejné zdravie najmä hlavne v husto obývaných mestských oblastiach, kde doprava prispieva k vysokým koncentráciám škodlivých látok. Doprava tvorí 21,3 % celkových emisií SR podľa štatistík Odboru emisií a biopalív SHMÚ z roku 2023 a je druhým najväčším zdrojom emisií v SR po sektore energetiky a na mierne vyššej úrovni ako priemysel. Sektor dopravy je taktiež odlišný tým, že v ňom neklesajú celkové emisie ako ostatných sektoroch, ale naopak, stagnujú alebo mierne stúpajú.¹⁸⁹

Podľa registrovaných vozidiel v SR z decembra 2024 sa v evidencii nachádza päť osobných vozidiel a štyri jednopodlažné autobusy (bez autobusov v testovacej prevádzke). Tieto jednopodlažné autobusy dnes prevádzkuje dopravný podnik Bratislava.

Pri aplikácii vodíka v doprave je potrebné, aby bol spotrebovaný vodík vyrábaný z obnoviteľných alebo nízkouhlíkových zdrojov energie. Ak sa spotreba nafty alebo benzínu nahradí spotrebou sivým vodíkom, ktorý je produkovaný zo zemného plynu, emisie sa znížia iba o 11 – 26 %¹⁹⁰.

Potenciál vodíka je veľkou príležitosťou pre sektor dopravy, najmä:

- úžitkové vozidlá,
- ťažká nákladná doprava,
- autobusová doprava,
- osobná doprava,
- železničná doprava (na neelektrifikovaných úsekoch),
- špecializované vozidlá a vysokozdvížné vozíky,
- letecká doprava,
- lodná doprava.

4.6.2.1 Implementácia vodíkového ekosystému v cestnej doprave

Implementácia vodíkového ekosystému v doprave si vyžaduje nielen technologickú pripravenosť vozidiel a infraštruktúry, ale aj vhodné podmienky pre výrobu a distribúciu vodíka. Pre Slovensko je dôležité, aby bol vodík produkovaný z obnoviteľných zdrojov energie, čím by sa zabezpečila jeho nízka uhlíková stopa. Kľúčovú úlohu zohráva aj budovanie vodíkových čerpacích staníc pozdĺž hlavných dopravných koridorov, čo by umožnilo efektívne zásobovanie vodíkových vozidiel palivom.

Podľa štatistiky registrovaných vozidiel k októbru 2024 bolo evidované nasledovné množstvo vybraných druhov vozidiel s najväčším potenciálom pre využitie vodíka:

¹⁸⁹ SHMU Odbor Emisií a Biopalív, <https://oeab.shmu.sk/emisie/>

¹⁹⁰ ICCT – A global comparison of the lifecycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars

Druh vozidiel	BB	BA	KE	NR	PO	TN	TT	ZA	Spolu
Autobus diaľkový triedy B	60	183	70	176	72	87	101	75	824
Autobus diaľkový triedy III	187	298	209	356	319	231	257	195	2 052
Autobus medzimestský triedy II	553	437	494	601	584	540	490	505	4 204
Autobus mestský triedy A	2	20	25	4	6	6	10	7	80
Autobus mestský triedy I	136	498	217	160	92	68	84	80	1 335
Nákladné vozidlo	35	58	35	43	36	32	37	41	321
	352	948	960	794	483	542	823	051	953
Nákladné vozidlo - ťahač návesu	2 286	6 334	2 168	4 859	2 499	3 017	3 976	2 599	27 738
Nákladné vozidlo - ťahač prívesu	8	20	8	6	3	6	3	13	67
Nákladné vozidlo špeciálne	1 820	2 728	1 740	1 777	1 637	1 361	1 412	2 206	14 681

Tabuľka 71: Evidované vozidlá v SR s najvyšším potenciálom pre využitie vodíka

Zdroj: Ministerstvo vnútra SR¹⁹¹

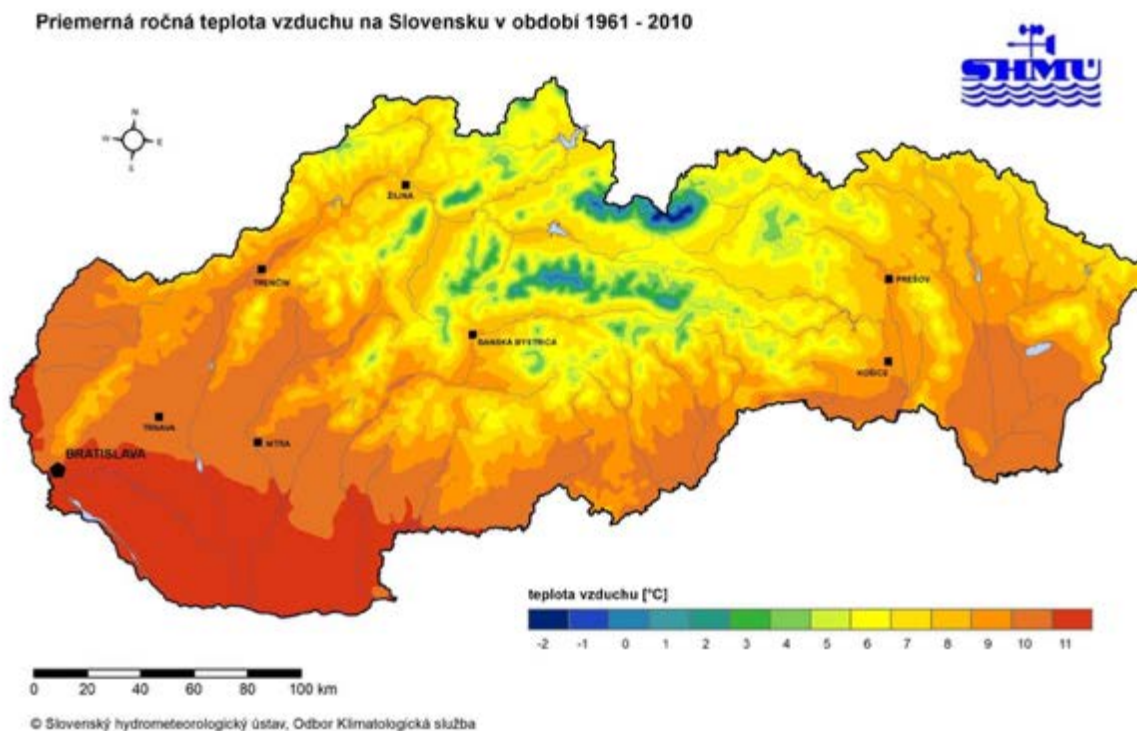
Popis druhov vozidiel:

- Autobus diaľkový triedy B - Autobusy určené na diaľkovú dopravu, trieda B znamená špecifické požiadavky na komfort alebo vybavenie. Tento typ sa využíva prevažne na dlhé vzdialenosti.
- Autobus diaľkový triedy III - Autobusy na diaľkovú prepravu s kategóriou III, ktorá môže indikovať nižší komfort alebo kapacitu ako trieda B. Tiež sa využívajú na prepravu medzi vzdialenými mestami.
- Autobus mestský triedy II - Autobusy určené na prepravu medzi mestami, trieda II môže znamenať špecifickú kapacitu a úroveň vybavenia. Tento typ autobusov je navrhnutý na kratšie vzdialenosti ako diaľkové autobusy.
- Autobus mestský triedy A - Mestské autobusy triedy A sú väčšie vozidlá, určené na prepravu cestujúcich v rámci mesta, poskytujú vyšší komfort a kapacitu ako autobusy nižšej triedy.
- Autobus mestský triedy I - Ide o menšie mestské autobusy alebo mikrobusesy, ktoré sú určené na kratšie vzdialenosti, často nasadené na linkách v centre mesta alebo menej frekventovaných trasách.
- Nákladné vozidlo špeciálne - Tieto vozidlá majú špeciálne konštrukcie a sú určené na špecifické účely, napr. hasičské vozidlá, autožeriavy alebo iné špeciálne nákladné stroje.

V prípade, že neberieme do úvahy diaľkové autobusy ale len mestské a prímestské, potom je na Slovensku evidovaných 5 619 autobusov. V prípade obnovy súčasného počtu týchto autobusov podielom 5,2 % vodíkových autobusov do roku 2030, na Slovensku by premávalo takmer 300 vodíkových autobusov. Špeciálne nákladné vozidlá majú často vysoký výkon, ktorý znemožňuje ich napojenie na miestnu elektrickú sieť, alebo nepravidelné využívanie. Tieto vozidlá sú preto dobrými kandidátmi na vodíkový pohon.

¹⁹¹ <https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr>

Výhody vodíkových pohonov v porovnaní s elektromobilmi sú výraznejšie v niektorých slovenských regiónoch kvôli špecifickým geografickým a klimatickým podmienkam. Je to dané nízkou priemernou teplotou aj kopcovitým reliéfom, ktoré výrazne znižujú dojazd elektrických batérií - najmä na strednom Slovensku a čiastočne aj na východe (viď obr. 3.3.1.1 a 3.3.1.2). Nízke teploty majú menší vplyv na vodíkové pohony, keďže už produkujú prebytkové teplo ktoré môže byť využívané na vykurovanie. FCEV vozidlá majú taktiež menšie batériové úložisko v porovnaní s BEV a tým pádom nižší únik skladovanej energie. Nižšia celková hmotnosť vodíkových vozidiel tiež zlepšuje ich spotrebu na cestách s výrazným prevýšením.



Obrázok 74: Priemerné ročné teploty v SR

Zdroj: SHMÚ



Obrázok 75: Georeliéf Slovenska

Zdroj: SAV

4.6.2.1.1 Súčasný stav spotreby palív v doprave

Cestná doprava na Slovensku spotrebuje približne 90 % celkovej spotreby motorovej nafty. Nákladná doprava, ktorá predstavuje kľúčový segment ekonomiky, prepravuje asi 77 % tovaru na Slovensku a zabezpečuje zásobovanie a logistiku, výrazne prispieva k celkovým emisiám CO₂. Autobusová verejná doprava zabezpečuje prepravu osôb nielen v mestských a aj v prímestských oblastiach. Železničná doprava má v porovnaní s cestnou takmer nulovú uhlíkovú stopu¹⁹². Na Slovensku sú najvyužívanejšie železničné trate plne elektrifikované, čo znižuje spotrebu nafty, no dekarbonizácia v tomto sektore je stále aktuálnou výzvou. Tabuľka nižšie opisuje spotrebu palív v doprave na Slovensku za rok 2023.

Spotreba v roku 2023 (doprava)	
Elektrina v železničnej doprave (MWh)	530,000
Elektrina v cestnej doprave (MWh)	24,000
benzín (tony)	615,000
plyn (tis. m ³)	9,000
Petrolej (tony)	28,000
Propán-bután (tony)	35,000
Nafta (tony)	1,896,000

¹⁹² Ročenka dopravy pôšt a telekomunikácií 2023

4.6.2.1.2 Osobná doprava

Využitie vodíka v osobnej doprave čelí výraznej konkurencii a to vo forme elektrických vozidiel, ktoré už sú bežnou súčasťou osobnej dopravy. Očakáva sa, že elektrické osobné vozidlá (EV) budú mať nižšie kapitálové náklady ako vozidlá so spaľovacím motorom (ICE) alebo vozidlá na vodíkové palivové články (FCEV), čo dokazuje ich konkurencieschopnosť na trhu osobných áut.

Budúcnosť osobnej dopravy je najmä u služobných vozidiel, kde je aplikovateľná podpora štátu aj EÚ (polícia, pošta, školstvo a pod.) ale aj u väčších firemných flotíl. Úsilie by sa malo sústrediť na intenzívne využívané flotily vozidiel. Príkladom je väčšia budúca flexibilita v kombinácii elektrických a vodíkových vozidiel v Policajnom zbore SR. Aj tu je treba porovnať výšku investície a náklady na kúpu vodíkových autobusov a vybudovanie novej čerpacej stanice, ako aj cenu vodíka, s kúpou autobusov na elektrické batérie, vybavenia nabíjacej stanice a ceny elektriny.

Vodíková osobná doprava sa môže stať bežnou súčasťou premávky až po vybudovaní dostatočne hustej siete vodíkových čerpacích staníc, ktoré sú v súčasnosti v porovnaní s nabíjacími stanicami pre elektromobily prakticky neexistujúce alebo len minimálne dostupné.

Oblasť	Popis
Výhoda	Osobné vozidlá na vodíkový pohon majú zvyčajne výrazne vyšší dojazd (500 – 650 km) než elektrické automobily, pričom tankovanie trvá iba 3 – 5 minút. Výhoda sa prejaví najmä pri cestovaní na dlhšie vzdialenosti, kde čas tankovania rozhoduje.
Dlhší dojazd a rýchle tankovanie	
Výhoda	Vodíkové palivové články a zásobníky sú ľahšie než batérie v elektrických vozidlách, čo umožňuje lepšie jazdné vlastnosti a vyššiu efektivitu.
Nižšia hmotnosť vozidla	
Výhoda	Vodíkové autá sú menej citlivé na nízke teploty a používanie klimatizácie či kúrenia, čím si zachovávajú stabilný dojazd v zime aj v lete.
Stabilita dojazdu v rôznych klimatických podmienkach	
Výhoda	Vodíkové vozidlá môžu zmierniť rastúci tlak na energetickú infraštruktúru v obytných oblastiach, ktorý by spôsobil masívny rozmach elektrických áut.
Nižšie zaťaženie elektrickej siete	
Nevýhoda	Vodíkové vozidlá sú výrazne drahšie než bežné elektromobily alebo autá so spaľovacím motorom, najmä pre vysoké náklady na palivové články a nádrže na vodík.
Vyššie obstarávacie náklady	
Nevýhoda	Obmedzený počet čerpacích staníc značne znižuje praktickosť vodíkových áut pre bežné používanie.
Nedostatočná infraštruktúra čerpacích staníc	

Nevýhoda	Výroba, skladovanie a distribúcia vodíka spôsobujú vyššie energetické straty než priame využitie elektriny na nabíjanie batérií, čo môže
Nižšia energetická účinnosť	znamenat' vyššie prevádzkové náklady.

Tabuľka 73: Výhody a nevýhody vodíka v osobnej doprave

Zdroj: stengl a.s.

4.6.2.1.3 Úžitkové a nákladné vozidlá

Vodíkové riešenia v oblasti dopravy sa ukazujú ako technicky pripravené pre implementáciu najmä v segmente ťažkej dopravy, kde batériové elektrické technológie narážajú na obmedzenia spojené s dojazdom a hmotnosťou batérií. Preferovaným a efektívnym pohonom pre úžitkové vozidlá, ale aj pre nákladné autá a hromadnú dopravu sú motory s palivovými článkami. Spaľovanie vodíka v motoroch je menej energeticky efektívne, čo vedie k vyššej spotrebe paliva a kratšiemu dojazdu. Palivové články majú tichšiu a plynulejšiu prevádzku, a majú nižšie náklady na údržbu. V neposlednom rade vyžadujú spaľovacie motory vozidlá s podstatne väčšou nosnosťou a preto je na Slovensku vhodné viac pre železničnú dopravu.

Väčší potenciál je pre úžitkové a nákladné vozidlá, kde sú kľúčové výhody v:

- dojazde a tankovaní: vodíkové nákladné vozidlá dokážu prejsť podobné vzdialenosti ako dieselové vozidlá, pričom tankovanie trvá len niekoľko minút, na rozdiel od dlhého nabíjania batériových vozidiel,
- celkovej váhe vozidla: vodíkové palivové články sú ľahšie ako veľké batériové systémy, čo umožňuje zníženie celkovej váhy vozidla a zachovanie vyššej užitočnej hmotnosti nákladu,
- menšom vplyve na elektrickú sieť: rozsiahla elektrifikácia ťažkej nákladnej dopravy by si vyžadovala výrazné posilnenie elektrickej siete.

Kritické pre akékoľvek rozšírenie dopravy s vodíkovým pohonom bude vhodne rozmiestnená a dostatočne hustá sieť čerpacích staníc. V prípade ľahkých úžitkových vozidiel aj ťažkých nákladných vozidiel sú kapitálové náklady FCEV podobné nákladom EV. Najmä pri ťažkých nákladných vozidlách sa predpokladá, že celkové náklady na vlastníctvo EV sa do roku 2030 vyrovnajú dieselovým nákladným vozidlám, a do roku 2040 budú aj EV aj FCEV nákladné vozidlá lacnejšie ako dieselové¹⁹³.

Kvóty ekologických vozidiel v EÚ

EÚ stanovila ciele na postupné znižovanie emisií CO₂ pre ťažké úžitkové vozidlá a autobusy, pričom do roku 2030 by mali klesnúť až o 43 % oproti roku 2019. Pre mestské autobusy sa počíta s prechodom na bezemisné technológie, pričom od roku 2030 by 90 % nových autobusov malo byť bezemisných¹⁹⁴.

¹⁹³ BNEF Insights 2023

¹⁹⁴ NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2019/1242 z 20. júna 2019

Typ vozidla	Cieľ na rok 2025	Cieľ na rok 2030	Cieľ na rok 2035	Cieľ na rok 2040
Ťažké a stredne úžitkové vozidlá	Zníženie emisií o 0 – 15 % oproti roku 2019	Zníženie emisií o 43 % oproti roku 2019	Zníženie emisií o 64 % oproti roku 2019	Zníženie emisií o 90 % oproti roku 2019
Prímestské autobusy	-	Zníženie emisií o 43 % oproti roku 2019	Zníženie emisií o 64 % oproti roku 2019	Zníženie emisií o 90 % oproti roku 2019
Mestské autobusy	-	Nové autobusy 90 % bezemisné	Nové autobusy 100 % bezemisné	-

Tabuľka 74: Európske ciele znižovania emisií CO₂

Zdroj: NARIADENIE EP A RADY (EÚ) 2019/1242 z 20. júna 2019

Kvóty ekologických vozidiel pri obstarávaní

Zákon č. 214/2021 Z. z. o podpore ekologických vozidiel cestnej dopravy stanovuje minimálne kvóty ekologických vozidiel pri verejnom obstarávaní a službách vo verejnom záujme. Od roku 2021 do 2025 musí byť v nadlimitných verejných zákazkách minimálne 22 % nových osobných a ľahkých úžitkových vozidiel (M1, M2, N1), 8 % nákladných vozidiel (N2, N3) a 34% autobusov a trolejbusov (M3) ekologických. Na obdobie 2026 - 2030 sa podiel autobusov a trolejbusov zvyšuje na 48 %, pričom polovica z nich musí mať nulové emisie (napr. elektrické alebo vodíkové pohony). Ekologické vozidlá sú definované ako tie, ktoré produkujú menej ako 50 g CO₂/km do roku 2025, resp. úplne nulové emisie CO₂ od roku 2026 alebo využívajú alternatívne palivá, ako elektrina, vodík či biopalivá.

Kategória vozidla	Obdobie	
	2021 – 2025	2026 – 2030
Osobné a ľahké úžitkové (M1, M2, N1) (%)	22	22
Ťažké nákladné vozidlá (N2, N3) (%)	8	9
Autobusy a trolejbusy (M3) (%)	34	48

Tabuľka 75: Minimálne kvóty ekologických vozidiel vo verejnom záujme

Zdroj: 214/2021 Z. z. o podpore ekologických vozidiel cestnej dopravy a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Verejní obstarávatelia musia do 30. januára predkladať správu o dodržaní kvót Úradu pre verejné obstarávanie. Nedodržanie minimálneho podielu ekologických vozidiel môže viesť k pokutám až do výšky 1 mil. EUR pri autobusoch a trolejbusoch, 500 000 EUR pri osobných a ľahkých úžitkových vozidlách a 300 000 EUR pri nákladných vozidlách. Zákon tak podporuje prechod na nízkoemisnú a bezemisnú mobilitu v rámci verejnej dopravy a verejného obstarávania.

Oblasť	Popis
Výhoda	Vodíkové nákladné vozidlá dokážu prejsť porovnateľné vzdialenosti ako dieselové kamióny (600 – 750 km na jedno natankovanie) a tankovanie

Dojazd a rýchlosť tankovania	trvá len 10 – 15 minút, čo je významná výhoda oproti batériovým elektrickým vozidlám, ktoré potrebujú niekoľko hodín na dobitie.
Výhoda	Vodíkové palivové články sú výrazne ľahšie ako veľké batériové balíky, čím umožňujú vyššiu užitočnú hmotnosť nákladu. To je kľúčové pri diaľkovej preprave, kde hmotnosť vozidla ovplyvňuje nákladovú efektivitu.
Nižšia hmotnosť pohonného systému	
Výhoda	Vodíková technológia umožňuje efektívne fungovanie aj v oblastiach, kde nie je dostatočne rozvinutá elektrická nabíjacia infraštruktúra, napríklad na dlhých diaľkových trasách a v medzinárodnej preprave.
Flexibilita pri trasách	
Výhoda	Ak by sa všetka nákladná doprava elektrifikovala batériami, znamenalo by to obrovský nárast dopytu po elektrickej energii a potrebu masívnych investícií do rozšírenia elektrickej siete. Vodík ponúka alternatívu, ktorá tento problém čiastočne rieši.
Nižšie zaťaženie elektrickej siete	
Nevýhoda	Nákladné vozidlá na vodíkový pohon sú v súčasnosti drahšie ako ich dieselové a elektrické batériové alternatívy, a to najmä kvôli vysokej cene palivových článkov a nádrží na stlačený vodík.
Vyššie počiatkové náklady	
Nevýhoda	Počet vodíkových čerpacích staníc je stále veľmi nízky. Na rozšírenie vodíkovej mobility bude potrebné vybudovať rozsiahlu sieť plniacich staníc, najmä pri hlavných diaľničných koridoroch a v logistických centrách.
Obmedzená infraštruktúra	
Nevýhoda	Vodík vyžaduje konverziu energie (elektrina → vodík → späť na elektrinu), čo vedie k stratám v porovnaní s priamym využitím elektriny v batériových vozidlách.
Účinnosť výroby a distribúcie	

Tabuľka 76: Výhody a nevýhody vodíka v nákladnej a ťažkej doprave

Zdroj: stengl a.s.

4.6.2.1.4 Autobusová doprava

Vodík má veľký potenciál vo verejnej doprave, konkrétne v mestskej a prímestskej autobusovej doprave. Vodíkové autobusy predstavujú efektívny nástroj pre rozšírenie využitia vodíkových technológií, pričom mestská autobusová doprava poskytuje ideálne podmienky na ich nasadenie vďaka pravidelným trasám s vymedzenými geografickými a klimatickými podmienkami (napr. údolia na severe Slovenska) a presne definovaným časom, čo uľahčuje plánovanie tankovania a údržby. Plniace stanice pre hromadnú dopravu stačí budovať v miestach premávky autobusov čo umožňuje rozloženie nákladov na väčší počet najazdených kilometrov. Prímestská autobusová doprava, ktorá pokrýva väčšie vzdialenosti, môže profitovať z dlhšieho dojazdu vodíkových autobusov a rýchlejšieho tankovania v porovnaní s batériovými elektrickými alternatívami.

Oblasť	Popis
Výhoda	Osobné vozidlá na vodíkový pohon majú zvyčajne výrazne vyšší dojazd (500 – 650 km) než elektrické automobily, pričom tankovanie trvá iba 3 – 5 minút. Výhoda sa prejaví najmä pri cestovaní na dlhšie vzdialenosti, kde čas tankovania rozhoduje.
Dlhší dojazd a rýchle tankovanie	
Výhoda	Vodíkové palivové články a zásobníky sú ľahšie než batérie v elektrických vozidlách, čo umožňuje lepšie jazdné vlastnosti, vyššiu efektivitu a viac priestoru v interiéri.
Nižšia hmotnosť vozidla	

Výhoda	Vodíkové autá sú menej citlivé na nízke teploty a používanie klimatizácie či kúrenia, čím si zachovávajú stabilný dojazd v zime aj v lete.
Stabilita dojazdu v rôznych klimatických podmienkach	
Výhoda	Vodíkové vozidlá môžu zmierniť rastúci tlak na energetickú infraštruktúru v obytných oblastiach, ktorý by spôsobil masívny rozmach elektrických áut.
Nižšie zaťaženie elektrickej siete	
Nevýhoda	Vodíkové vozidlá sú výrazne drahšie než bežné elektromobily alebo autá so spaľovacím motorom, najmä pre vysoké náklady na palivové články a nádrže na vodík.
Vyššie obstarávacie náklady	
Nevýhoda	Obmedzený počet čerpacích staníc značne znižuje praktickosť vodíkových áut pre bežné používanie.
Nedostatočná infraštruktúra čerpacích staníc	
Nevýhoda	Výroba, skladovanie a distribúcia vodíka spôsobujú vyššie energetické straty než priame využitie elektriny na nabíjanie batérií, čo môže znamenať vyššie prevádzkové náklady.
Nižšia energetická účinnosť	

Tabuľka 77: Výhody a nevýhody vodíka v autobusovej doprave

Zdroj: stengl a.s.

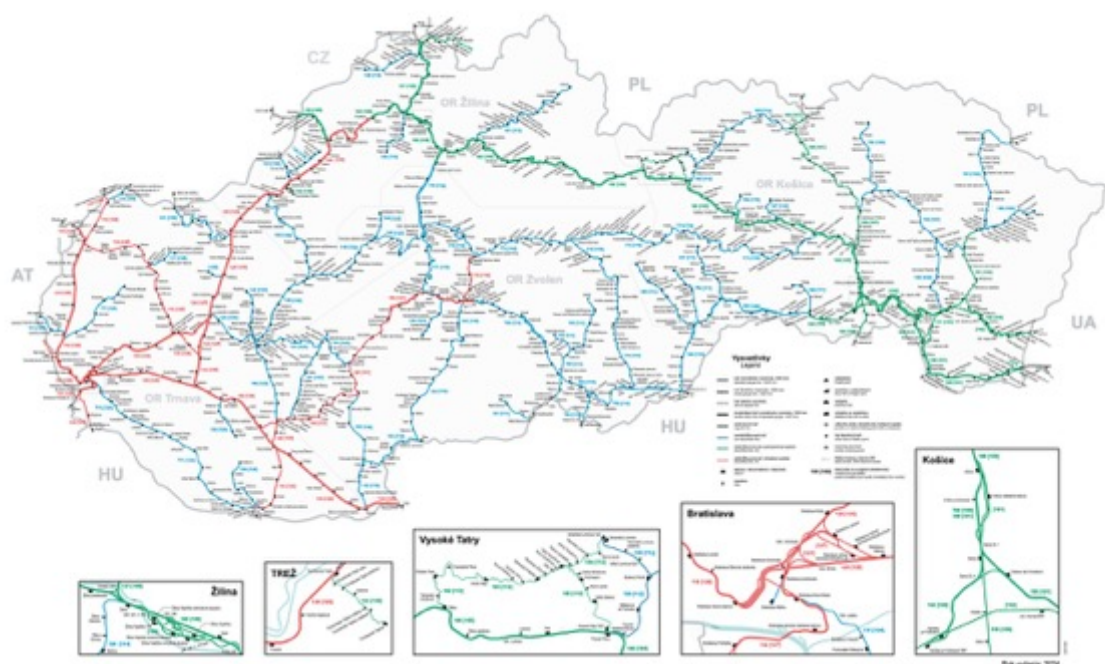
4.6.2.2 Železničná doprava

Železničná doprava je už dnes vysoko elektrifikovaná a jej kompletný prechod na vodík nie je potrebný. Pre tento druh dopravy s vysokou mierou štátneho subvencovania je kľúčové preukázať dlhodobú ekonomickú výhodnosť a udržateľnosť. Medzi elektrifikované trate patria Paneurópske koridory IV, V a VI a viaceré regionálne spojenia. Vhodnosť prechodu na vodík sa preto odporúča preveriť na železničných úsekoch bez elektrifikácie, kde dnes jazdia naftové rušne. Je dôležité porovnať možnosť využitia elektrických batériových rušňov a vodíkových rušňov.

- Alstom (Bombardier) Talent 3 predstavuje batériový vlak z Nemecka s dojazdom do 100 km s využitím na krátkych tratiach pre osobnú dopravu
- Coradia iLINT predstavuje vodíkový vlak nasadený vo viacerých krajinách v Európe a rušeň na vodíkový pohon sa momentálne vyvíja v Kanade:¹⁹⁵.

Pri výmene vlakových rušňov treba prioritizovať výmenu starších naftových motorových vozňov, zohľadniť predpokladaný dopyt na tratiach, národný Plán dopravnej obslužnosti, a vziať do úvahy postupné otvorenie trhu verejnej dopravy.

¹⁹⁵ <https://www.railway-technology.com/projects/bombardier-talent-3-battery-train/?cf-view>



Obrázok 76: Železničná mapa Slovenskej republiky

Zdroj: Železnice Slovenskej republiky¹⁹⁶

Oblasť	Popis
Výhoda	Vodíkové vlaky sú efektívnym riešením na tratiach, kde by elektrifikácia bola finančne alebo technicky neefektívna. Ponúkajú prevádzku bez potreby budovania trakčného vedenia.
Ideálne riešenie pre neelektrifikované trate	
Výhoda	Prevádzka vodíkových vlakov je ekologická, bez emisií CO ₂ a hluku typického pre dieselové jednotky, čo je výhodné najmä v mestských a prímestských oblastiach.
Ekologická a tichšia prevádzka	
Výhoda	Vodíkové vlaky majú ľahší pohonný systém ako batériové jednotky, čo zvyšuje výkon, predlžuje dojazd a zlepšuje jazdné vlastnosti.
Nízka hmotnosť a vysoký výkon	
Výhoda	Zavedenie vodíkových vlakov prináša úsporu nákladov v porovnaní s elektrifikáciou tratí, keďže nie je nutné budovať nové trakčné vedenie.
Nížšie investičné náklady oproti budovaniu trakčného vedenia	
Nevýhoda	Výroba a dodávka vodíka, najmä zo zelených zdrojov, je aktuálne drahšia než náklady na elektrickú energiu pre elektrifikované trate.
Vyššie prevádzkové náklady	
Nevýhoda	Existujúca infraštruktúra pre tankovanie vodíka je obmedzená, pričom jej rozvoj si vyžaduje vysoké investície.

¹⁹⁶ https://www.zsr.sk/files/o-nas/siet-zeleznic-slovenskej-republiky/mapa_a3.pdf

Obmedzená dostupnosť infraštruktúry	
Nevýhoda	Účinnosť vodíkových vlakov je nižšia ako pri jednotkách napájaných priamo z trakčného vedenia.
Nižšia účinnosť v porovnaní s elektrifikáciou	

Tabuľka 78: Výhody a nevýhody vodíka v železničnej doprave

Zdroj: stengl a.s.

4.6.2.3 Lodná doprava

Vodík sa uplatňuje aj v lodnej doprave, kde môže poháňať plavidlá bez emisií skleníkových plynov, čo má pozitívny vplyv na ochranu vodných ekosystémov a kvalitu životného prostredia. Na Slovensku sú v súčasnosti splavnené toky Dunaja, Moravy a Váhu od Serede po Komárno. Významným vodným tokom na Slovensku je Dunaj, ktorý patrí medzi hlavné dopravné koridory Európskej únie v rámci Transeurópskej dopravnej siete (TEN-T). Ročne ním prejde približne 1,54 mil.t tovaru. Medzi existujúce programy zaoberajúce sa vnútrozemskými vodnými tokmi na úrovni EÚ patria aj Naiades 3 (2021-2027), ktorej akčný plán obsahuje opatrenia pre TEN-T, kombinovanú dopravu, alternatívne palivá a štátnu pomoc v rámci vnútrozemskej lodnej dopravy, a Platina4Action projekt, ktorý má pomôcť implementovať Naiades III¹⁹⁷.

¹⁹⁷ <https://cordis.europa.eu/project/id/101137650>

VNÚTROZEMSKÉ VODNÉ TOKY V SR INLAND WATERWAYS IN THE SLOVAK REPUBLIC



Obrázok 77: Vnútrozemské vodné toky v Slovenskej republike

Zdroj: Ministerstvo dopravy SR. https://www.mindop.sk/files/statistika_yud/mapy.htm#k5

Vodík sa v lodnej doprave využíva zatiaľ len experimentálne, predovšetkým v prípade malých vlečných lodí, pričom vodíkové nosiče ako amoniak a metanol majú v tomto sektore väčší potenciál. Batérie sú vhodným riešením pre lodnú dopravu iba na krátke vzdialenosti, napr. pri kompách a trajektoch, z niekoľkých dôvodov. Súčasné batérie majú relatívne nízku energetickú hustotu v porovnaní s fosílnymi palivami alebo alternatívnymi zdrojmi, ako je vodík. To znamená, že na uskladnenie potrebného množstva energie na dlhé trasy by bolo potrebné veľké množstvo batérií, čo by zvýšilo hmotnosť a znížilo kapacitu pre náklad alebo cestujúcich. Dobíjanie batérií trvá dlhšie ako tankovanie iných palív, čo môže byť nepraktické pri lodiach, ktoré sú neustále v prevádzke. Pri kompách a trajektoch existuje možnosť pravidelného dobíjania počas zastávok v prístavoch, čo znižuje tento problém.

Dekarbonizácia lodnej dopravy je veľkou výzvou a uvedenie komerčných plavidiel na alternatívne pohony sa ešte len očakáva. V nákladnej vodnej doprave má veľký potenciál NH_3 alebo metanol, pretože majú vyššiu objemovú hustotu energie ako vodík. V lodnej doprave, najmä v riečnej, je toxicita paliva dôležitým faktorom z hľadiska bezpečnosti posádky a environmentálneho dopadu. Amoniak je vysoko toxický už pri nízkych koncentráciách a jeho únik môže spôsobiť vážne zdravotné problémy alebo ohroziť vodné ekosystémy. Pri manipulácii a skladovaní preto vyžaduje prísne bezpečnostné opatrenia. Metanol je menej toxický ako NH_3 , no stále predstavuje riziko pri vdýchnutí alebo kontakte s pokožkou, pričom je aj vysoko horľavý. Na druhej strane, ťažké lodné palivo používané v lodnej doprave, síce nie

je akútne toxické pre ľudí, ale obsahuje ťažké kovy a síru, ktoré pri úniku do vody spôsobujú dlhodobú kontamináciu a ekologické škody. V riečnej doprave, kde je vyššie riziko kontaktu s obyvateľstvom a vodnými zdrojmi, preto predstavuje prechod na menej toxické a ekologickejšie palivá významnú výzvu.

Podľa platných predpisov (RVIR¹⁹⁸ / ES-TRIN¹⁹⁹) plavidlá na batériový pohon a plavidlá poháňané LNG už môžu byť prevádzkované bez výnimiek na vnútrozemských vodných cestách. Plavidlá poháňané metanolom, vodíkovými palivovými článkami alebo stlačeným zemným plynom (CNG) momentálne potrebujú výnimky z predpisov, aby mohli byť prevádzkované na vnútrozemských vodných cestách v EÚ. Plavidlá na amoniakový pohon zatiaľ nie sú v prevádzke na vnútrozemských vodných cestách v EÚ. Z viac ako 200 pilotných projektov zameraných na testovanie alternatívnych zdrojov energie pre vnútrozemskú lodnú dopravu sa²⁰⁰:

- 52 % sústredí na elektrifikáciu,
- 45 % na alternatívne palivá,
- 3 % na zlepšenie energetickej efektívnosti existujúcich lodí.

Alternatívne palivá si vyžadujú iné motory, výfukové systémy aj nádrže ako tradičné plavidlá. Na svete je iba niekoľko príkladov takýchto plavidiel a technológií, ktoré využívajú NH₃, ešte len prichádzajú na trh. Motory poháňané vodíkom boli inštalované na jachtách a malých plavidlách²⁰¹. Prvé dvojtaktné motory spaľujúce NH₃ by mali byť nainštalované na plavidle počas roku 2024 a komerčne dostupné v roku 2025^{202,203}. Prvý štvortaktný motor spaľujúci NH₃ je dostupný od konca roku 2023²⁰⁴.

Pre rast spotreby vodíka v lodnej doprave ako aj preprava vodíka po rieke Dunaj je dôležitý európsky projekt Green Hydrogen @ Blue Danube²⁰⁵ (kapitola 3.4.1 - Príklady vodíkových projektov).

4.6.2.4 Letecká doprava

V leteckej doprave je vodík skúmaný ako potenciálne palivo pre krátke a stredne dlhé lety. Vývoj technológií palivových článkov na báze vodíka prináša sľubné výsledky, ktoré by mohli prispieť k dekarbonizácii tohto sektora, no tieto technológie nebudú ešte niekoľko rokov komerčne dostupné. V leteckej doprave sa očakáva, že vodík bude zohrávať kľúčovú úlohu predovšetkým vo forme syntetických palív, ako je e-kerozín (petrolej). Výhodou e-kerozínu je

¹⁹⁸ Revidierte Rheinschiffsuntersuchungsordnung

¹⁹⁹ European Standard laying down Technical Requirements for Inland Navigation vessels

²⁰⁰ https://platina4action.iwtprojects.eu/wp-content/uploads/2025/01/250123_PLATINA4Action_D4.1_Stocktaking-and-good-practices.pdf

²⁰¹ MAN Energy Solutions (2025), Hydrogen-powered marine engines

²⁰² MAN Energy Solutions (2025), Hydrogen-powered marine engines

²⁰³ Winterthur Gas & Diesel Ltd. (2023), WinGD two-stroke ammonia-fueled engine launch

²⁰⁴ Wärtsilä (2023), Four-stroke ammonia engine commercially available by end of 2023.

²⁰⁵ <https://h2v.eu/hydrogen-valleys/green-hydrogen-blue-danube>

jeho chemická zhodnosť s fosílnym petrolejom, vďaka čomu nie je potrebné meniť infraštruktúru ani motory lietadiel, aby mohli spaľovať toto alternatívne palivo. Tento typ paliva sa vyrába kombináciou vodíka s oxidom uhličitým, pričom na jeho produkciu je nevyhnutné zabezpečiť udržateľný a ekologický zdroj uhlíka. Práve dostupnosť takéhoto uhlíka predstavuje značnú výzvu, keďže jeho získavanie musí byť kompatibilné s cieľmi uhlíkovej neutrality a existujúce metódy CCS sú nesmierne finančne náročné. V leteckej doprave sa očakáva, že biopalivo bude druhým najlacnejším palivom až do roku 2050 (najlacnejším palivom zrejme ostane fosílna palivo). Odhadovaná cena e-kerozínu v Európe v roku 2020 bola približne trojnásobne vyššia ako cena biopaliva. Do roku 2050 sa očakáva, že cenový rozdiel klesne na približne dvojnásobok ceny biopaliva²⁰⁶. Do roku 2030 sa znižovanie emisií v leteckej doprave preto očakáva najmä vo forme biopalív, neskôr aj vo forme vodíka a e-palív vyrábaných z vodíka²⁰⁷.



Obrázok 78: Letiská v SR

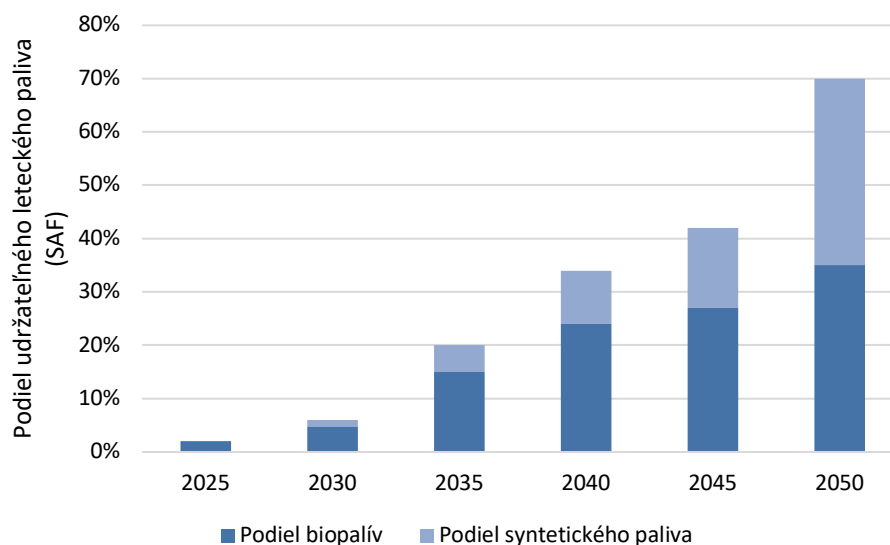
Zdroj: Ministerstvo dopravy SR. https://www.mindop.sk/files/statistika_yud/mapy.htm#k6

Regulácia EÚ 2023/2405 (ReFuelEU Aviation) stanovuje, že povinný podiel syntetického paliva v leteckom palive bude v počiatočných rokoch relatívne nízky oproti biopalivám a bude sa postupne zvyšovať. Cieľom tohto opatrenia je zabezpečiť hladký prechod na udržateľné palivá a zároveň minimalizovať vplyv na náklady leteckých spoločností. Graf nižšie ukazuje

²⁰⁶ ICCT - Current and future cost of e-kerosene in the United States and Europe

²⁰⁷ ICCT – Vision 2050: Aligning aviation with the Paris agreement

stanovené minimálne hodnoty obnoviteľných palív, ktoré musí letecké palivo používané v EÚ obsahovať. V leteckej doprave sa dekarbonizácia do roku 2030 bude sústrediť na biopalivá.



Obrázok 79: Podiel udržateľného leteckého paliva

Zdroj: ReFuelEU Aviation regulácia, Annex I

Vodík ako palivo má rastúci potenciál v oblasti pohonu dronov, najmä pri aplikáciách, kde je dôležitá dlhá doba letu a vyššia nosnosť. Vodíkové palivové články poskytujú dronom výhodu v podobe vyššej energetickej hustoty v porovnaní s klasickými lítiovo-iónovými batériami, čo umožňuje predĺžiť dobu letu na niekoľko hodín namiesto desiatok minút. Táto technológia je mimoriadne atraktívna pre komerčné a priemyselné využitie, ako sú prieskumy terénu, monitorovanie infraštruktúry, dodávky tovaru alebo operácie v odľahlých oblastiach. Výzvou zostáva dostupnosť vodíkovej infraštruktúry a miniaturizácia palivových článkov, avšak s narastajúcim dopytom po ekologických riešeniach sa očakáva ďalší technologický pokrok, ktorý zvýši ich konkurencieschopnosť a rozšíri možnosti nasadenia dronov poháňaných vodíkom.

4.6.2.4.1 IPCEI Projekt H2 VTOL

Cieľom slovenského vývojového projektu H2 VTOL spoločnosti Tomark Proton s.r.o. je do roku 2030 vyvinúť jedno z prvých vodíkom poháňaných lietadiel s vertikálnym vzletom a pristátím (VTOL – Vertical Take-Off and Landing). Systém je navrhnutý primárne pre leteckú záchrannú službu, pričom jeho architektúra umožňuje aj potenciálnu integráciu do budúcich systémov mestskej leteckej mobility. Vývoj zahŕňa optimalizáciu vodíkových palivových článkov, aerodynamickej konfigurácie a pokročilých riadiacich algoritmov s cieľom dosiahnuť vysokú energetickú účinnosť, nízku environmentálnu stopu a bezpečnostné štandardy požadované pre letecké aplikácie.

Projekt zahŕňa aj vývoj vysokotlakových vodíkových nádrží a ventilov s využitím v rôznych dopravných a priemyselných sektoroch. Tomark Proton bude spolupracovať s poprednými firmami ako Airbus, BMW, Neuman & Esser a 9 univerzitami z viacerých európskych krajín. Projekt je súčasťou východoslovenského vodíkového údolia EastgateH2V a prispeje k rozvoju výskumu a prilákaní kvalifikovaných odborníkov.

Projekt H2 VTOL je súčasťou iniciatívy IPCEI Hy2Move, ktorú EK schválila na podporu vývoja vodíkových technológií. Slovensko poskytne na projekt takmer 60 mil. eur v rámci štátnej pomoci, pričom celkovo sedem krajín investuje 1,4 miliardy eur a očakáva sa súkromné financovanie vo výške 3,3 miliardy eur.

Nasadenie lietadiel H2 VTOL v teréne by predstavovalo ďalší potenciálny zdroj dopytu po vodíku. S ich nasadením vo väčších množstvách sa dá počítať ale až po roku 2030. Do roku 2030 bude stále nutné zabezpečiť menšie množstvá vodíka pre projekt H2 VTOL ale aj pre ďalšie výskumno-vývojové projekty v oblasti vodíka na území SR.

4.6.3 Využitie vodíka v priemysle

Táto časť sa zaoberá identifikáciou priemyselných odvetví na Slovensku, ktoré sú vhodné pre dekarbonizáciu pomocou vodíka a súčasných odberateľov vodíka. Kľúčovým je hodnotenie potencionálneho dopytu v hutníckom, potravinárskom a chemickom priemysle, ktoré sa môžu stať najvýznamnejšími prispievateľmi k dopytu po vodíku. Skutočný dopyt po vodíku v priemysle bude do veľkej miery závisieť od regulačného rámca, cien vodíka, dostupných stimulov a vývoja trhu, keďže tieto faktory určia jeho konkurencieschopnosť voči konvenčným palivám a surovinám.

4.6.3.1 Emisie priemyslu Slovenska

Štatistika európskeho systému pre obchodovanie s emisiami EÚ ETS pokrýva energetiku, priemysel a leteckú dopravu. Tabuľka top 20 EU ETS uvádza prevádzky, ktorých emisie je možné čiastočne alebo úplne redukovat' vodíkom.

ID	Názov	Poznámka	Emisie CO ₂ (t)
1	U. S. Steel Košice, s.r.o.		5 375 510
2	U. S. Steel Košice, s.r.o.-FE		2 589 212
3	Rafinéria Slovnaft		1 018 878
4	Elektrárne Nováky	Prevádzka ukončená	-
5	Danucem Slovensko a.s., cementáreň Rohožník		863 884
6	CM European Power Slovakia		852 536
7	Duslo a.s.		794 426
8	Považská cementáreň		397 716
9	Petrochémia SPC		389 856
10	PPC Malženice		338 664

11	Cementáreň Turňa nad Bodvou, Danucem Slovensko a.s.	316 295
12	Carmeuse Slovakia, s.r.o., Košice	299 923
13	Cemmac, a.s.	278 483
14	Tepláreň Košice, TEKO a.s.	236 903
15	Výroba magnezitového slinku SMZ, a.s.	232 000
16	Žilinská teplárenská	195 000
17	Elektrárne Vojany	Prevádzka ukončená -
18	Carmeuse Slovakia, s.r.o., (Slavec)	114 505
19	TEPLÁREŇ Považská Bystrica, s.r.o.	103 456
20	DOLVAP s.r.o, pece na výrobu vápna	89 516

Tabuľka 79: Emisie v priemysle Slovenska

Zdroj: Európska komisia (2023). Verified emissions 2023²⁰⁸

4.6.3.2 Vodík v chemickom priemysle

Najväčšie uplatnenie vodíka v podmienkach Slovenska je aktuálne v chemickom a petrochemickom priemysle, kde sa vodík tradične využíva ako vstupná surovina vo výrobnom procese. V chemickom priemysle slúži vodík predovšetkým na výrobu NH₃ a následne močoviny, čo sú základné suroviny pre produkciu minerálnych hnojív a rôznych chemických produktov. Príkladom tohto využitia je spoločnosť Duslo, a.s., ktorá patrí medzi kľúčových výrobcov NH₃ v Európe.

V súčasnosti je najväčšie množstvo vodíka vyrábané a využívané v chemickom priemysle. Väčšina spoločností v chemickom priemysle vyrába vodík parným reformingom zo zemného plynu a technologická zmena môže prebehnúť v dvoch alternatívach:

Upgrade súčasných technológií na proces so zachytávaním CO₂, ktorý ešte nie je dostatočne široko zavedený v praxi (podľa International Energy Agency bolo v roku 2024 CCS aplikované celosvetovo len na 45 zariadeniach vo všetkých uhlíkově-náročných výrobách, t. j. nielen pri výrobe vodíka)²⁰⁹, zvyšuje náklady a tým aj cenu vyrobeného vodíka a vyžaduje dodatočné zdroje energie aj vody.

Ďalšou možnosťou je prechod na novú technológiu založenú na elektrolýze, ktorá môže produkovať obnoviteľný vodík a/alebo jeho nízkouhlíkovú alternatívu v závislosti od použitých zdrojov energie.

Použitím obnoviteľného vodíka ako vstupnej suroviny je možné zefektívniť produkciu NH₃ vynechaním prvého stupňa integrovanej výroby a to parného reformingu CH₄ a zároveň výrazne znížiť emisie skleníkových plynov. Tento proces by bolo potrebné nahradiť kúpou alebo

²⁰⁸ [dátový súbor]. https://climate.ec.europa.eu/document/download/ebb2c20e-8737-4a73-b6ba-a4b7e78ecc01_en?filename=verified_emissions_2023_en.xlsx

²⁰⁹ International Energy Agency. (2024). CCUS Projects Database.

výrobou obnoviteľného vodíka. V súčasnosti závod Duslo je siedmim najväčším u priemyselných emitentom skleníkových plynov na Slovensku, pričom je najvýznamnejším priemyselným odberateľom zemného plynu. Ekonomika výroby je teda zaťažená vysokými nákladmi za emisné povolenky so stúpajúcim trendom.

Proces Haber-Bosch na výrobu NH_3 vyžaduje stabilný prísun energie, vodíka a dusíka, aby mohol spoľahlivo fungovať. Výpadky pod cca. 40 % dodávky týchto vstupov môžu spôsobiť narušenie celého výrobného procesu. Používanie vodíka získaného pomocou obnoviteľnej elektriny prináša riziká z dôvodu jej prerušovaného charakteru, ktorý závisí od dostupnosti slnečnej alebo veternej energie. Problém je riešiteľný vybudovaním dostatočnej kapacity na skladovanie vodíka. Riešenie ale vyžaduje ďalšie investície a zvyšuje tak výrobné náklady.

Pri štandardnej konfigurácii systému na výrobu NH_3 a močoviny je možné nahradiť zhruba 10 % fosílného vodíka vyrábaného zo zemného plynu obnoviteľným vodíkom. Teplo a CO_2 generované pri výrobe fosílného vodíka tvoria neodlúčiteľnú súčasť výrobného procesu. Vyššia ako 10 % náhrada fosílného vodíka by si vyžadovala výrazné zásahy do výrobného procesu a dodatočné investície.

V petrochemickom priemysle zohráva vodík dôležitú úlohu pri odsírovacích procesoch, ktoré sú nevyhnutné na zlepšenie kvality motorových palív a zníženie obsahu síry. Slovnaft, a.s., najväčšia rafinéria na Slovensku, využíva vodík na hydrospracovanie ropy, čím prispieva k výrobe čistejších palív. Tento proces je kľúčový pre dodržiavanie prísnych emisných noriem a zlepšenie environmentálnej udržateľnosti ropného sektora. Vodík môže taktiež vznikať ako vedľajší produkt pri niektorých chemických procesoch ako napr. pri výrobe etylénu a propylénu.

V dlhodobom horizonte je vodík perspektívnym palivom pre hutnícky priemysel, najmä pre oceliárstvo. Konkrétnym príkladom je spoločnosť U.S. Steel Košice (USSK), ktorá je jedným z najväčších producentov ocele v strednej Európe. Jedna z vysokých pecí v tomto závode by mohla byť nahradená technológiou priamej redukcie železa (DRI), ktorá využíva vodík ako redukčné činidlo namiesto uhlíka. Spotreba vodíka by sa pohybovala na úrovni 100kt ročne²¹⁰. Tento prístup by umožnil podstatné zníženie emisií oxidu uhličitého a bol by významným krokom smerom k dekarbonizácii hutníckeho priemyslu na Slovensku. DRI technológia umožňuje výrobu železa s nízkymi emisiami, čo je dôležité v kontexte globálnych klimatických cieľov a požiadaviek na udržateľnú výrobu. DRI vyžaduje zdroj kvalitnej železnej rudy, zatiaľ čo elektrické oblúkové pece sú závislé od dostupnosti šrotu ako vstupného materiálu.

²¹⁰ Výpočet založený na výročnej správa USSK 2023

4.6.3.3 Ďalšie priemyselné aplikácie vodíka

Stavebníctvo

Pre stavebníctvo prinesie využitie vodíka väčšiu flexibilitu a nezávislosť, s možnosťou výrazného obmedzenia spotreby fosílnych palív (hlavne palív na báze ropy). Umožnia to najmä vodíkový pohon pre stavebné stroje a generátory elektrickej energie pred prepojením stavby na elektrickú sieť. Vodík nachádza uplatnenie aj ako alternatívne palivo v zariadeniach, ktoré je náročné vôbec pripojiť na elektrickú sieť, ako sú odľahlé lokality.

Prístavy

V prístavoch sa vodíkové palivo začína využívať na pohon vozíkov a žeriavov, ktoré sa podieľajú na manipulácii s nákladom, čím prispieva k znižovaniu emisií v oblastiach s vysokou koncentráciou logistiky.

Poľnohospodárstvo

Poľnohospodárstvo využije vodík výrobou tepla potrebného na sušenie obilnín a skladovanie iných produktov a na pohon traktorov a ďalšej mechanizácie. Výhody poskytnuté v tejto oblasti budú podobné ako v stavebníctve – flexibilitu a nezávislosť bez potreby budovania vlastnej rozsiahlej infraštruktúry.

Potravinársky priemysel

Vodík má významné využitie aj pri výrobe margarínu, kde slúži ako kľúčové činidlo pri hydrogenácii rastlinných olejov. Tento proces je nevyhnutný na vytvorenie požadovanej konzistencie margarínu, pričom využitie vodíka umožňuje dosiahnuť vysokú kvalitu produktu.

Vodík je tiež možné využiť ako zdroj tepla pri destilácii alebo pri výrobe iných druhov alkoholu. Ako zdroj tepla ale môže fungovať aj v iných procesoch ako na príklad pri pečení alebo tepelne náročných procesoch.

Hutnícky priemysel

V hutníckom priemysle sa vodík používa aj ako ochranná atmosféra pri rôznych tepelno-spracovateľských procesoch, ktoré vyžadujú prítomnosť redukčného prostredia. Tento spôsob využitia je dôležitý pre zachovanie kvality povrchu kovov a zabránenie ich oxidácie počas spracovania. Takúto technológiu využíva napr. USSK a Gevorkyan, a.s. (výroba kovových komponentov vysokej kvality).

Elektrochemický priemysel

Vodík sa využíva aj v menších množstvách v elektrotechnickom priemysle, konkrétne pri výrobe polovodičov a procesorov, kde slúži na vytvorenie redukčného prostredia potrebného pre niektoré fázy výroby. V jadrových elektrárňach je vodík používaný ako ochranná atmosféra na chladenie turbogenerátorov, čo prispieva k zvýšeniu efektívnosti a bezpečnosti týchto zariadení.

4.6.4 Vodík pri výrobe elektriny

Predpokladá sa, že vodík zohrá významnú úlohu v stratégii EÚ aj Slovenskej republiky v oblasti dekarbonizácie energetiky a zvyšovania energetickej bezpečnosti. Dokumenty ako Európska vodíková stratégia a Národná vodíková stratégia SR kladú dôraz na využitie vodíka nielen v priemysle a doprave, ale aj v energetickom sektore. Vodík ponúka potenciál na stabilizáciu elektrizačnej sústavy, najmä v spojení s rastúcim podielom obnoviteľných zdrojov energie, ktoré sú charakteristické nestabilnou a prerušovanou výrobou. Prebytočnú energiu vo vodíku, ktorý slúži ako energetický nosič a môže byť skladovaný dlhodobo a využívaný počas obdobia zvýšeného dopytu po elektrine. Tento proces podporuje aj cieľ EÚ dosiahnuť uhlíkovú neutralitu do roku 2050, pričom vodík predstavuje kľúčový prvok pre vyrovňovanie siete a zníženie záťaže na prenosové sústavy.

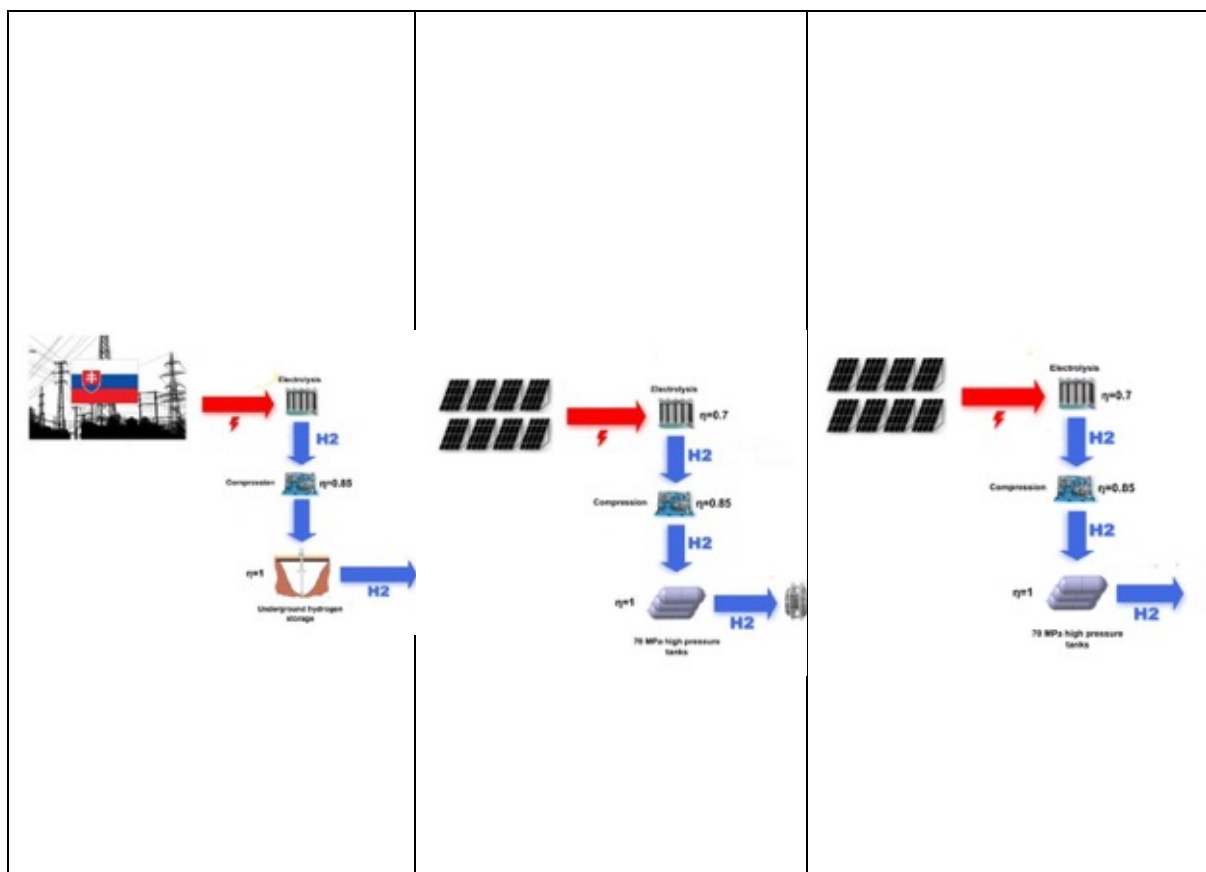
V kontexte stratégie obnoviteľných zdrojov a plánovanej transformácie energetiky, môže byť vodík pre Slovensko dôležitým riešením pre flexibilné riadenie výroby a spotreby elektriny, najmä v prípade zavádzania nových technológií na využitie prebytočnej energie. Ďalej je vodík vhodný na zriadenie decentralizovaných systémov alebo generátorov na výrobu elektrickej energie kde pripojenie na elektrickú sieť nie je možné.

Využitie vodíka na výrobu elektriny sa dá rozdeliť na dve kategórie:

- Podporné služby pre elektrickú sieť
- Využitie mimo elektrickej siete alebo „off-grid“ výroba elektrickej energie

Podporné služby pre elektrickú sieť zahŕňajú plynové špičkové elektrárne, vodíkové generátory vo forme vodíkových palivových článkov (fuel cells) alebo spaľovacích generátorov. Palivové články a vodíkové generátory tiež môžu slúžiť ako zdroje elektrickej energie na lokálnu výrobu elektrickej energie, napr. v miestach kde nie je dostupné pripojenie na elektrickú sieť.

Uvedené ilustrujú nasledujúce obrázky.



Obrázok 80 Výroba vodíka - možnosti

Zdroj: stengl, a.s. (Výroba vodíka z prebytkov z elektrickej siete (vľavo), s použitím vodíka pri použití turbíny (v strede) a s použitím vodíka pri použití palivového článku (vpravo))

4.6.5 Technológie na výrobu elektriny z vodíka (H₂P)

4.6.5.1 Plynové špičkové elektrárne

Plynové špičkové, resp. vodíkové elektrárne sú veľké priemyselné zariadenia s výkonom desiatok, stoviek alebo dokonca megawattov. Sú určené na napájanie rozvodnej siete alebo na zásobovanie veľkých priemyselných podnikov energiou.

Vodíkové špičkové elektrárne sa dostávajú do popredia ako jedno z budúcich riešení vyrovňovania elektrickej siete v časoch vysokého odberu elektriny zo siete, zabezpečujúc flexibilnú výrobu nízkouhlíkovej a čistej elektrickej energie. Na rozdiel od tradičných špičkových elektrární, ktoré spaľujú fosílna palivá, ako napr. zemný plyn, vodíkové elektrárne vypúšťajú počas prevádzky jedine vodu a neznečisťujú tým prostredie v okolí. Využívajú vodíkové turbíny alebo kombinované cykly (vodíková turbína + parná turbína) na efektívne spaľovanie vodíka. Podobne ako tradičné elektrárne majú tie vodíkové tiež veľmi krátku reakčnú dobu a je jednoduché postaviť elektrárne s vysokým výkonom v porovnaní s inými druhmi elektrární. Často slúžia ako doplnok k obnoviteľným zdrojom energie, ktoré sú závislé od počasia (napr. slnko a vietor). Vodíkové elektrárne môžu fungovať aj ako náhrada za fosílna elektrárne v priemysle.

Jednou z výhod vodíkových elektrární je ich schopnosť operovať ako dvojpalivový (dual-fuel) systém. To znamená že vedľa využívať aj iné palivá ako zemný plyn, čo zvyšuje ich flexibilitu a znižuje závislosť na dodávkach vodíka, ktoré nemusia byť dostačujúce v počiatočných fázach rastu vodíkovej ekonomiky SR. Tiež je možné striedať palivá v závislosti od trhových cien a tým minimalizovať náklady. Vysoká teplota spaľovania vodíka prináša výhodu vysokej účinnosti, no zároveň si vyžaduje opatrenia na minimalizáciu tvorby oxidov dusíka (NO_x), ktoré vznikajú pri vysokých spaľovacích teplotách. Vodíkové generátory.

Vodíkové generátory sú zariadenia, ktoré premieňajú energiu uloženú vo vodíku na elektrickú energiu alebo teplo. Pracujú na princípe chemickej reakcie medzi vodíkom a okysličovadlom (najčastejšie kyslíkom zo vzduchu), pričom výsledným produktom je elektrina, teplo a vodná para. Tieto zariadenia umožňujú efektívne skladovanie energie v podobe vodíka, ktorý môže byť použitý ako flexibilný zdroj energie podľa potreby.

Vodíkové generátory sú ideálne pre lokálne a flexibilné využitie, zatiaľ čo vodíkové elektrárne predstavujú veľkokapacitné riešenie pre energetickú transformáciu a dekarbonizáciu na národnej úrovni. Vodíkové generátory sú menšie zariadenia, ktoré slúžia na výrobu elektrickej energie na lokálnej úrovni. Ich výkon sa zvyčajne pohybuje od jednotiek kilowattov (kW) až po niekoľko megawattov (MW). Používajú sa ako záložné zdroje energie (napr. v nemocniciach, dátových centrách) alebo ako hlavné zdroje energie v izolovaných lokalitách (napr. na staveniskách, v prístavoch). Sú prenosné alebo stacionárne a ich primárnym cieľom je flexibilne zabezpečiť elektrinu podľa aktuálnej potreby.

Vodíkové generátory môžu využívať palivové články, spaľovanie vodíka alebo turbíny na premenu vodíka na elektrickú energiu.

4.6.5.2 Vodíkové palivové články

Vodíkové palivové články (fuel cells) sú elektrochemické zariadenia, ktoré priamo premieňajú energiu vodíka na elektrinu a teplo. Proces prebieha bez spaľovania a jediným vedľajším produktom je voda. Sú známe rôzne typy palivových článkov v závislosti od typu elektrolytu a aplikácie.

PEMFC	Palivové články s polymérovou elektrolytickou membránou	mobilné a nízko teplotné aplikácie
SOFC	Palivové články s tuhým oxidovým elektrolytom	veľké stacionárne systémy s kombináciou elektriny a
PAFC	Palivové články s kyselinou fosforečnou	stabilné a spoľahlivé pre stacionárne a kogeneračné využitie s nižšou efektívnosťou

Tabuľka 80: Vodíkové palivové články

Zdroj: stengl, a.s.

Oblasti využitia:

- Elektrické vozidlá, vlaky a lode poháňané palivovými článkami.
- Záložné generátory v kritických infraštruktúrach (nemocnice, dátové centrá).
- Zdroj elektriny a tepla pre priemyselné prevádzky alebo izolované oblasti bez prístupu k rozvodnej sieti.

Na Slovensku majú vodíkové palivové články veľký potenciál v oblasti dopravy, najmä v dekarbonizácii verejnej dopravy (autobusy, vlaky) a ako záložné zdroje energie v kľúčových infraštruktúrach.

4.6.5.3 Vodíkové spaľovacie generátory

Vodíkové spaľovacie generátory fungujú na princípe tradičných spaľovacích motorov, v ktorých sa namiesto fosílnych palív spaľuje vodík. Výsledkom je mechanická energia, ktorá poháňa generátor produkujúci elektrinu. Tento proces je menej efektívny ako palivové články, ale môže byť lacnejšou alternatívou v určitých aplikáciách. Technológia spaľovacích motorov je totižto zrelšia, ako technológia spaľovacích článkov.

Keďže čistý vodík neobsahuje uhlík, nevznikajú pri jeho spaľovaní žiadne uhlíkové znečisťujúce látky, ako napr. oxid uhoľnatý (CO) alebo uhl'ovodíky (HC), ani oxid CO₂ vo výfukových plynch. Avšak, keďže spaľovanie vodíka prebieha v prostredí obsahujúcom dusík a kyslík, môžu sa vytvárať oxidy dusíka, známe ako NO_x. Tieto je možné minimalizovať pomocou katalyzátorov, alebo úprav motora na optimalizovanie spaľovacieho procesu.

Oblasti využitia:

- Rýchla náhrada fosílnych palív pri elektrických generátoroch v priemysle.
- Záložné zdroje energie na miestach, kde nie je praktické používať batérie alebo palivové články.

V Slovenskej republike môžu vodíkové spaľovacie generátory nájsť uplatnenie najmä v priemyselných prevádzkach a na staveniskách, kde sú už teraz používané dieselové generátory. Ich výhodou je možnosť rýchlej implementácie, avšak nevýhodou je nižšia efektivita a produkcia niektorých oxidov dusíka pri spaľovaní.

4.6.5.4 Vodíkové turbíny

Vodíkové turbíny sú zariadenia, ktoré využívajú spaľovanie vodíka na produkciu mechanickej energie, ktorá následne poháňa elektrický generátor. Sú podobné klasickým plynovým turbínám, avšak na palivo využívajú čistý vodík alebo jeho zmes s CH₄. Vodíkové turbíny sú schopné pracovať s vysokými účinnosťami pri veľkých výkonoch. Sú súčasťou vodíkových elektrární, ale samotné turbíny sa dajú použiť aj na individuálne aplikácie v menšom rozsahu, ako plnohodnotná elektráreň.

Oblasti využitia:

- Výroba elektriny vo veľkých elektrárňach s nízkou uhlíkovou stopou.
- Zdroj vysokoteplotného tepla pre priemyselné procesy.

V Slovenskej republike by vodíkové turbíny mohli byť využité na postupnú dekarbonizáciu veľkých elektrární, napr. ako doplnok k obnoviteľným zdrojom energie. Významné využitie by mohli nájsť aj v priemyselných oblastiach, kde je potrebné zabezpečiť kontinuálnu dodávku tepla a elektriny. Ich zavedenie však závisí od dostupnosti obnoviteľného vodíka a veľkých investícií do novej infraštruktúry.

4.6.5.5 Systém kombinovanej výroby tepla a elektriny

Vodíkové palivové články ktoré sú používané najčastejšie sú PEM (palivové články s polymérnou membránou) a SOEC (palivové články s tuhým oxidom). Tieto majú väčšiu účinnosť ako tradičné naftové generátory.

4.6.6 Využitie mimo elektrickej siete

Vodík ako nosič energie predstavuje inovatívne riešenie pre rôzne aplikácie mimo tradičných elektrických sietí. Jeho flexibilita, nulové uhlíkové emisie pri spotrebe a schopnosť dlhodobého skladovania ho predurčujú na efektívne využitie v oblastiach, kde je prístup k stabilnej elektrickej sieti obmedzený alebo nemožný.

Vodík nachádza široké využitie mimo elektrickej siete vďaka svojej flexibilita a schopnosti poskytovať čistú a spoľahlivú energiu. Prenosné vodíkové generátory sú ideálnym riešením pre stavby, festivaly a dočasné infraštruktúry. Nahrádzajú tradičné diesellové generátory, čím znižujú emisie CO₂ a hluk v pracovnom prostredí. Sú praktické najmä tam, kde je potrebná flexibilita a rýchle nasadenie.

Ďalšou oblasťou využitia je napájanie odľahlých priemyselných a iných zariadení. Vodíkové systémy dokážu zabezpečiť stabilný zdroj energie pre priemyselné prevádzky, bane či vedecké stanice v extrémnych podmienkach. V porovnaní s batériovými systémami vodíkové palivové články umožňujú dlhšiu prevádzkovú autonómiu.

Vodík zohráva úlohu aj pri budovaní energeticky sebestačných komunít. Prebytočná energia z obnoviteľných zdrojov, ako sú solárne panely či veterné turbíny, môže byť použitá na produkciu vodíka prostredníctvom elektrolýzy. Tento vodík sa následne skladuje a využíva na výrobu elektriny a tepla v čase potreby, čo umožňuje rozvoj autonómnych dedín a menších miest.

V priemyselnom sektore vodíkové technológie umožňujú vytvárať energeticky sebestačné vodíkové reťazce, ucelené energetické celky alebo klastre. Tieto systémy znižujú závislosť na vonkajších energetických dodávkach, čím zvyšujú stabilitu a konkurencieschopnosť podnikov. Vodík sa pritom využíva nielen ako zdroj elektriny, ale aj ako surovina pre špecifické výrobné procesy alebo ako palivo pre dopravu.

Poslednou významnou oblasťou je využitie vodíka ako záložného zdroja elektrickej energie. Vodíkové palivové články sú ideálnym riešením pre kritickú infraštruktúru, ako sú nemocnice, dátové centrá a telekomunikačné stanice. Poskytujú dlhodobú a stabilnú zálohu v prípade výpadkov elektrickej siete a na rozdiel od batérií majú dlhšiu životnosť a umožňujú flexibilnejšie skladovanie energie.

Výhody využitia vodíka mimo elektrickej siete:

- Vodík pri svojej spotrebe neprodukuje žiadne uhlíkové emisie, čím prispieva k čistejšiemu ovzdušiu a udržateľnejšiemu prostrediu.
- Vďaka svojej univerzálnosti je vodík vhodný pre rôzne aplikácie od priemyselných zariadení po mobilné generátory v teréne.
- Umožňuje budovanie autonómnych energetických systémov, ktoré nie sú závislé od centralizovaných sietí.
- Efektívne riešenie na uchovávanie prebytočnej energie z obnoviteľných zdrojov na neskoršie použitie.

Vodík má potenciál transformovať energetické modely v oblastiach, kde tradičné prístupy zlyhávajú, a ponúka udržateľné a spoľahlivé riešenia pre budúcnosť mimo elektrických sietí.

4.7 Vodíkové vzdelávanie a podpora výskumu a vývoja

4.7.1 Podpora vzdelávania o vodíku

Základné poznatky o vodíku nadobúdajú Slováci na základných a stredných školách. Vzhľadom na rozvinutý chemický priemysel a metalurgiu, energetiku, ale aj ďalšie technické odvetvia existuje na Slovensku tradícia v strednom odbornom aj vyššom špecializovanom chemickom vzdelávaní. Stredné školy zamerané na technickú a aplikovanú chémiu a hutníctvo sa skoncentrovali najmä do blízkosti centier týchto priemyselných odvetví, ako aj do tradičných centier technického vzdelávania (Bratislava, Nováky, Banská Štiavnica, Podbrezová, Košice, Svit, Humenné). Pracoviská základnej a aplikovanej chémie, energetického výskumu a špecializovaných technických smerov sa rozvinuli na prírodovedeckých, technických fakultách a výskumných ústavoch v Bratislave, Žiline a Košiciach. V špeciálnych technických odboroch (39) v rokoch 2019 – 2023 absolvovalo 1. a 2. stupeň štúdia na VŠ na Slovensku v priemere 326 študentov ročne, počet absolventov 3. stupňa (PhD.) neprekračuje 20 – 25 absolventov ročne. Počet absolventov v posledných rokoch klesá, respektíve stagnuje ²¹¹. Aplikovaný chemický a energetický výskum je podporovaný aj súkromným sektorom.

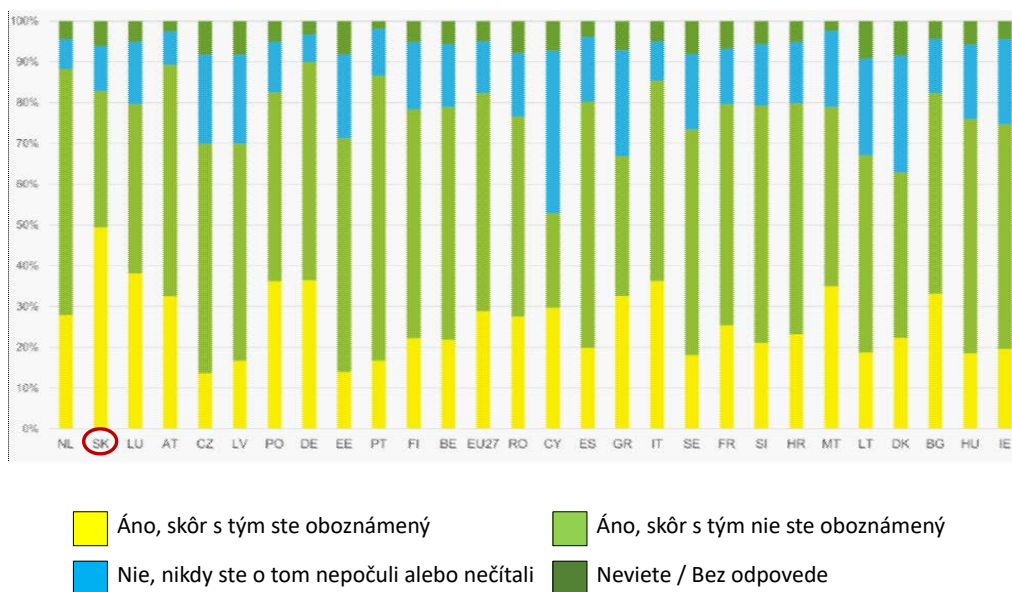
Vysoká úroveň informovanosti o vodíku je dôležitá pre všetky oblasti, v ktorých je táto dôležitá energetická alternatíva používaná. Vzdelávanie a osвета je potrebná pre podnikateľov, odborníkov aj širokú verejnosť, pre tých, ktorí majú potenciál zúčastniť sa na projektoch a iniciatívach smerujúcich k implementácii vodíka – investori, technici aj vedci, aj pre tých ktorí sa s vodíkom stretnú pri jeho rôznych aplikáciách a pripravujú sa na jeho využívanie, alebo prácu s ním – občania a školy na všetkých úrovniach.

Prieskum *Clean Hydrogen Partnership* zameraný na povedomie o vodíkových technológiách „Awareness of Hydrogen technologies²¹²“, ktorý prebehol v polovici roku 2023 vo všetkých krajinách Európskej únie na vzorke približne 1,000 respondentov ukázal pomerne dobrú ale nie dostatočnú informovanosť Európanov v oblasti vodíka.

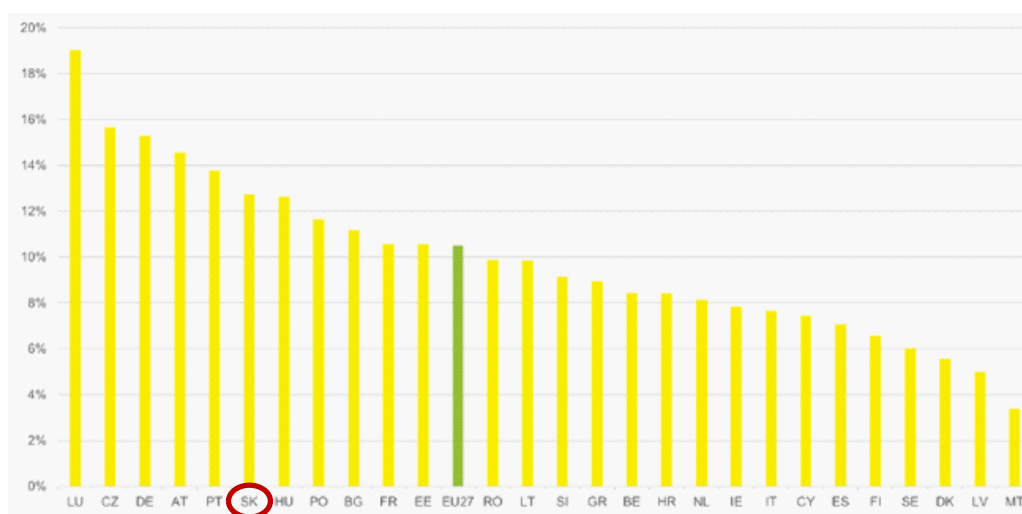
82 % respondentov z EÚ si je vedomých toho, čo v praxi znamená vodík ako energetické médium. Odpoveď na otázku, či videli, čítali alebo počuli niečo o vodíku ako zdroji energie bola na Slovensku pozitívna u viac ako 80 % účastníkov.

²¹¹ CVTI - ŠSR

²¹² https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/publications/awareness-hydrogen-technologies-survey-report_en



Obrázok 81: Percento respondentov, ktorí sú informovaní o vodíku
Zdroj: Prieskum Clean Hydrogen Partnership „Awareness of Hydrogen technologies“



Obrázok 82: Percento respondentov s voľbou prechodu vozidla na vodíkový pohon
Zdroj: Prieskum Clean Hydrogen Partnership „Awareness of Hydrogen technologies“

č.	Podiel na Slovensku	Vyjadrenie	Priemer v EÚ
1	57 %	Cíti, že vodík je dobrým riešením na zredukovanie energetickej závislosti našej krajiny	70 %
2	59 %	považuje vodík za udržateľný zdroj energie	69 %
3	47 %	verí, že vodík je rovnako bezpečný ako iné zdroje energie	59 %

4	8 %	má skúsenosti s týmito aplikáciami vodíka:	9 %
		• palivo v doprave • teplo v domoch a budovách • priemysel	
5	13 %	by si auto používajúce alternatívny zdroj energie vybrali:	11 %
	25 %	• s vodíkovým pohonom • s čisto elektrickým pohonom	33 %
6	72 %	má záujem dozvedieť sa o vodíku viac	71 %

Tabuľka 81: Prieskum informovanosti o vodíkových technológiách

Zdroj: Prieskum Clean Hydrogen Partnership „Awareness of Hydrogen technologies“²¹³

Slovákov so záujmom dozvedieť sa o vodíku viac je vysoký podiel, nad celkovým priemerom v EÚ. Verejnosť sa zaujíma, v čom im vodík bude užitočný, chcú sa uistiť, že nie je nebezpečný a prečo je dobrou alternatívou pre dekarbonizáciu vo viacerých oblastiach, ale hlavne v priemysle, energetike a doprave.

Tento pozitívny záujem je potrebné využiť a rozšíriť informovanosť na všetkých úrovniach.

Súkromní investori potrebujú viac jasných a presných informácií s celkovou podporou k tomu aby včas rozoznali ekonomický potenciál vodíku v ich podnikateľských aktivitách.

Vysoké aj odborné školstvo bude dôležité nielen pri zvyšovaní obecnej informovanosti, ale aj pri príprave technických kapacít, technologických expertov, vývojárov a vedcov. Vodíkové technológie vyžadujú väčšie množstvo odborníkov s novými znalosťami, ktoré kombinujú elektrotechniku s plynárenstvom a strojárstvom. Je nutné včasne reagovať na požiadavky vodíkového sektora ohľadom potreby profesionálov so skúsenosťami a nutnými certifikáciami na narábanie s vodíkom a vodíkovými technológiami, ako sú napr. technickí pracovníci. Vodík predstavuje rýchlo rastúci a vyvíjajúci sa sektor, s ktorým má v súčasnosti skúsenosti len obmedzené množstvo expertov. Preto bude v nasledujúcich rokoch potrebné upraviť alebo doplniť relevantné predmety a ich osnovy.

Cielená osвета bude dôležitá pre rozvoj cezhraničnej spolupráce, aj s ohľadom na to, že vodíkové projekty a iniciatívy majú často medzinárodný dosah a potrebné opatrenia nezriedka presahujú do susediacich krajín.

²¹³ https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/publications/awareness-hydrogen-technologies-survey-report_en

4.7.2 Podpora výskumu a vývoja vodíkových technológií

Rozvoj v oblasti vodíka potrebuje priebežnú podporu výskumu a vývoja smerujúceho k zefektívňovaniu existujúcich aj k zavádzaniu nových technológií a postupov s prihliadnutím na špecifické podmienky a potreby Slovenska.

Zmeny a zlepšenia sú relevantné v celom hodnotovom reťazci vodíka (tak ako boli tieto technológie detailne popísané v kapitolách 2. a 3.):

- Výroba elektrolýzou z nízkouhlíkových zdrojov energie ale aj z biomasy a odpadu so zachytávaním emisií, vodík ťažený z podzemných geologických formácií
- Úpravy existujúcej distribučnej infraštruktúry zemného plynu a podpora rozvoja cestnej prepravy vodíkovými kontajnermi alebo vysokotlakovými prívesmi
- Skladovanie vodíka, ktoré je s jeho rôznymi riešeniami rozvíjané aktuálne na Technickej univerzite v Košiciach
- Rozvoj a optimalizácia čerpacej infraštruktúry pre všetky druhy dopravy s vodíkovým pohonom
- Využitie vodíka
- v energetickom systéme Slovenska napr. aj ako úložisko energie pre podporu flexibility, ale aj výroba a predaj energie a tepla
 - v doprave je dôležitý vývoj nových a alternatívnych pohonov a hnacích jednotiek, konštrukcia vozidiel s novými hnacími jednotkami
 - priemysel s efektívnym a ekonomickým využitím vodíka
- Ďalšie procesy a infraštruktúra spojená s vodíkom
 - presné a overené merania
- Monitoring a zvyšovanie bezpečnosti zavádzaním certifikovaných meracích zariadení v súlade so štandardami a metodológiou

Vodíkové hospodárstvo je príležitosťou pre Slovenské podniky aj odborníkov. Komponenty potrebné pre infraštruktúru aj aktívne využívanie vodíka nie je potrebné výlučne dovážať, naopak môžeme sa do ich výroby aktívne zapojiť a do budúcnosti profitovať aj z ich vývozu.

Už dnes sú slovenské podniky pripravené na výrobu autobusov a nákladných vozidiel a s určitou podporou dopytu môžeme výrazne rozvinúť využívanie vodíka v doprave nielen u nás, ale aj v okolitých krajinách.

EÚ podporuje implementovanie nových technológií aj Nariadením o zriadení rámca opatrení na posilnenie európskeho ekosystému výroby emisne neutrálnych technológií²¹⁴, ktoré

²¹⁴ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401735

zjednodušuje proces udeľovania príslušných povolení pre strategické projekty v oblasti výroby čistých technológií (napr. elektrolyzéry alebo palivové články).

Výroba vodíkových technológií na Slovensku pomôže dekarbonizácii a zároveň podporí ekonomický rast a zamestnanosť.

Z hlavných aktérov energetického sektora sa podpore vedy a výskumu venuje pozornosť v posledných rokoch SEPS, Slovenské elektrárne a distribučné spoločnosti cez priamu podporu z nadačného fondu, zapájanie sa do medzinárodných projektov a podpory študentov.

4.7.3 Subjekty pôsobiace v oblasti vodíka

Počet podnikateľských subjektov a výskumných inštitúcií v oblasti vodíka, jeho výskumu, vývoja alebo vzdelávania sa zvyšuje. Nižšie uvedený zoznam firiem ponúka pasportizáciu väčšiny aktérov v oblasti vodíkového ekosystému, vrátane výskumu, vývoja a inovácií.

Subjekt	Oblasť	Charakteristika
Slovnaft, a.s. (, člen MOL Group)	Priemysel a energetika, rafinéria	Najväčší spracovateľ ropy v SR; výrobca a spotrebiteľ vodíka v rafinérskych procesoch. Plánuje čiastočný prechod na obnoviteľný vodík
Duslo, a.s. (Agrofert)	Priemysel a energetika, chemická	Chemický závod. Snaží sa dekarbonizovať procesy prechodom na obnoviteľný vodík
U. S. Steel Košice (US Steel Corp.)	Priemysel a energetika, oceliarne	- Najväčší hutnícky podnik - Skúma možnosti využitia vodíka v metalurgii pri redukcii železa na zníženie emisií
JESS, (Jadrová energetická spol. Slov.)	Priemysel a Energetika	- Spoločný podnik JAVYS a ČEZ - Orientuje sa aj na vodíkovú energetiku
Veolia Energia Slovensko (Veolia Group)	Priemysel a Energetika	- Energetická spoločnosť - V rámci divízie v Žiari nad Hronom pripravuje výrobu a uskladnenie zeleného vodíka na zásobovanie priemyselného parku a centrálnych zdrojov
Right Power, a.s.	Priemysel a energetika	- Dodávateľ zelenej energie
W2H2 KSK, s.r.o. (Vodíkové údolie KSK)	Priemysel a energetika	- Novozaložená spoločnosť v Košickom kraji - Cieľom je rozvoj vodíkového údolia využitie vodíka v doprave
ENERGE B4	Priemysel a energetika	- Plánuje výrobu vodíka

SPV Gepard	Priemysel a energetika	- Plánuje výrobu a uskladňovanie vodíka
Fortischem	Priemysel a energetika	- Zvažuje širšie využitie H ₂ v rámci premeny regiónu po ťtľme uhľia
Mobility & Innovation Production (MIP)	Doprava a mobilita (vývoj)	- Slovenský výrobca bezemisných vozidiel - Vyvinul prvý slovenský vodíkový autobus a vodíkový ťťaháč
Tomark Proton	Doprava a mobilita (vývoj)	- Vývoj vodíkom poháňaného VTOL lietadla a vysokotlakových zásobníkov - Slovenský R&D partner v projekte IPCEI Hy2Move
Alstom (Czech & Slovakia)	Doprava a mobilita	- Zahraničná spoločnosť - Propaguje vodíkové vlaky
Messer Tatragas (Messer SK)	Doprava a mobilita	- Prevádzkuje vodíkovú čerpaciu stanicu - Zabezpečuje dodávky plynného H ₂ pre mobilitu
ORLEN Unipetrol	Doprava a mobilita	- Pobočka poľskej skupiny ORLEN - Plánuje rozvoj vodíkovej infraštruktúry v SR popri existujúcej sieti čerpacích staníc - ORLEN už stavia H ₂ stanice v ČR a Poľsku
Dopravný podnik Bratislava	Doprava a mobilita	- Dopravca - Prevádzkuje 4 vodíkové autobusy
Arriva Slovakia (Trnava)	Doprava a mobilita	- Dopravca - Ako prvý nasadil H ₂ technológiu v praxi
Košický samosprávny kraj (KSK)	Doprava a mobilita	- Regionálna samospráva - Pripravuje vodíkové autobusy v prímestskej doprave a buduje k nim ekosystém
Trenčiansky samosprávny kraj (TSK)	Doprava a mobilita	- Regionálna samospráva - Zvažuje využitie H ₂ v doprave aj energetike
eustream (SPP – Preprava)	Infraštruktúra a služby	- Prevádzkovateľ tranzitného plynovodu. Pripravuje potrubia na H ₂
SPP – distribúcia	Infraštruktúra a služby	- Prevádzkovateľ distribučných sietí zemného plynu - Skúma vplyv prímiesí vodíka na rozvody - Cieľom je bezpečná integrácia zeleného vodíka do plynovej siete
Swagelok Slovensko	Infraštruktúra a služby	- Dodávateľ potrubných systémov a armatúr - Ponúka špeciálne nerezové konektory
Schwer Fittings	Infraštruktúra a služby	- Výrobca vysoko kvalitných fittingov - Sortiment zahŕňa komponenty vhodné pre vodíkové potrubné systémy
STATON, s.r.o.	Infraštruktúra a služby	- Firma špecializovaná na PVD povlaky a povlakovacie zariadenia - Vyvíja ochranné povlaky pre kovové materiály vystavené vodíku

TÜV SÜD Slovakia, s.r.o.	Infraštruktúra a služby	- Pobočka medzinárodného skúšobného a certifikačného orgánu - Poskytuje certifikácie kvality a bezpečnosti pre vodíkové technológie
CVVT – Centrum výskumu vodíkových tech.	Akademické a výskumné inštitúcie	- Centrum zastrešujúce celú oblasť H ₂ technológií - Orientuje sa na výskum aj prototypovanie - Plní vzdelávaciu funkciu v H ₂ oblasti
Technická univerzita v Košiciach (TUKE)	Akademické a výskumné inštitúcie	- Vedúca univerzita v H ₂ výskume a zapojená do košického EastGateH2V
Slovenská technická univerzita (STU)	Akademické a výskumné inštitúcie	- Zapojená do H ₂ výskumu na viacerých fakultách
Univerzita Pavla J. Šafárika (UPJŠ)	Akademické a výskumné inštitúcie	
Slovenská akadémia vied (SAV)	Akademické a výskumné inštitúcie	
Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA)	Akademické a výskumné inštitúcie	
Výskumný ústav dopravný, a.s. (VUD)	Akademické a výskumné inštitúcie	- Rezortné výskumné pracovisko pre dopravu - Skúma bezpečnostné aspekty vodíkových vozidiel

Tabuľka 82: Subjekty v oblasti vodíkového hospodárstva, výskumu a vývoja v SR

Zdroj: stengl, a.s.

4.8 Čiastkový záver a odporúčania

Kapitola 4 analyzuje zdroje energie na výrobu vodíka, využitie elektrickej prenosovej sústavy, výrobu, skladovanie a distribúciu vodíka a vzdelávanie a výskum v kontexte vodíkového hospodárstva na Slovensku.

4.8.1 Zdroje energie na výrobu vodíka a využitie elektrickej prenosovej sústavy

Slovensko má pomerne vyrovnanú bilanciu čo sa týka spotreby a výroby elektriny. Väčšinu elektrickej energie vyrábajú AE a VE, a aj preto v roku 2024 krajina dosiahla veľmi nízku emisnú intenzitu s klesajúcim trendom (99,13 gCO₂/kWh). Aby sa elektrina odobraná zo siete na výrobu vodíka považovala za obnoviteľnú, je potrebné dosiahnuť úroveň 64,8 gCO₂/kWh.

Produkcia nízkouhlíkového (nie obnoviteľného) vodíka je možná aj z atómovej energie alebo pomocou parnej reformácie zemného plynu so zachytávaním vznikajúceho CO₂. Návrh delegovaného nariadenia o nízko uhlíkových palivách, ktorý by mal byť schválený v auguste 2025, posúdi na základe analýzy využitie jadrovej energie na výrobu nízkouhlíkového vodíka až po roku 2026.

Na výrobu vodíka pomocou elektrolýzy vody je možné použiť akúkoľvek elektrinu, ale obnoviteľný vodík nebiologického pôvodu, podľa EU legislatívy, sa definuje iba ako vodík, ktorý je vyrobený elektrolýzou vody, kde na tento účel je využitá elektrina z obnoviteľných zdrojov, ako je slnečná alebo veterná energia. Táto definícia zabezpečuje, že výroba vodíka je úplne bezemisná a prispieva k cieľnému znižovaniu emisií skleníkových plynov.

Príprava strategických rozvojových projektov musí prebiehať v súlade s národnými cieľmi energetickej politiky a s legislatívnym rámcom EÚ.

Pre rozvoj domácej výroby obnoviteľného vodíka je kľúčové budovanie nových kapacít OZE (FVE, veterné elektrárne)

Vodík sa dá potenciálne použiť na poskytovanie podporných služieb pre elektrizačnú sústavu.

Vysoké poplatky za využívanie prenosovej a distribučnej elektrickej siete znevýhodňujú využívanie elektriny zo siete na výrobu vodíka a navyšuje jej náklady o 60 až 80 EUR / MWh.

Slovensko má sieťové obmedzenia prenosovej a distribučnej sústavy v kontexte jej pripravenosti na vodíkové hospodárstvo.

Identifikovaná potreba investícií do tranzitnej a distribučnej prenosovej sústavy s cieľom udržania jej stability a flexibility (flexibilný dopyt, absorbovanie prebytkov výroby elektrickej energie) vo výške 900 mil. EUR do roku 2034, z čoho približne 90 % bude alokovaných na výstavbu, modernizáciu a rekonštrukciu vedení a transformačných staníc.

Je potrebné:

- Zefektívniť energetické obstarávanie pre ekonomickú realizovateľnosť výroby vodíka na Slovensku (nástroje ako PPA, CfD) spolu s premyslenou stratégiou nákupu elektrickej energie, môže zabezpečiť stabilné a konkurencieschopné podmienky pre rozvoj vodíkových technológií
- Zanalyzovať distribučné a iné poplatky a zvážiť prípadné úľavy z týchto poplatkov, ktoré by sprístupnili pripájanie elektrolyzérovo do elektrizačnej ústavy.
- Udržať a ďalej podporovať trend znižovania emisnej stopy v elektrickej sústave SR a energetickom mixe (<64,8 gCO₂/kWh), ktorý je možné využiť na výrobu obnoviteľného vodíka).
- V krátkodobom horizonte podporiť využitie existujúcich OZE na výrobu vodíka (do r. 2027).
- Podporiť:
 - budovanie nových kapacít OZE
 - ďalšie zavádzanie prvkov inteligentných sietí (smart grids), ktoré zvyšujú stabilitu a flexibilitu energetickej siete
 - zvýšenie kapacít siete v oblastiach s rastúcim podielom obnoviteľných zdrojov,
 - budovanie flexibilných napájacích bodov pre elektrolyzéry na výrobu vodíka,

- o digitálnu transformáciu prenosovej a distribučnej sústavy vrátane implementácie pokročilých systémov riadenia,
- Rozšíriť hraničné prepojenia a zlepšiť interoperability s energetickými systémami susedných štátov.

4.8.2 Využitie vodíka

Petrochemický priemysel je v súčasnosti najväčším odberateľom neobnoviteľného - fosílného vodíka na Slovensku. Záväzné ciele EÚ pre SR určujú 42 % náhradu fosílného vodíka v roku 2030 a 60 % v roku 2035. Najväčší potenciál pre využitie obnoviteľného vodíka na dekarbonizáciu má petrochemický priemysel lokalizovaný v rámci západného Slovenska.

Rast spotreby obnoviteľného vodíka je možné očakávať aj v ďalších priemyselných odvetviach a službách. Potenciál významného (rýchleho) rastu spotreby obnoviteľného vodíka existuje najmä v autobusovej a nákladnej doprave, ktorý si ale vyžaduje finančnú podporu určenej na obstarávanie vodíkových vozidiel a budovanie vodíkovej infraštruktúry (vodíkové čerpacie stanice na strategických miestach, výrobu vodíka). Záväzné ciele EÚ očakávajú spotrebu obnoviteľných palív nebiologického pôvodu (vrátane vodíka) v doprave minimálne na úrovni 1 % celkovej spotreby v roku 2030. Obnoviteľný vodík biologického pôvodu, napríklad z biometánu sa zaraďuje medzi bioplyny a môže sa ním plniť cieľ 4,5 % spotreby biopalív v doprave do roku 2030.

Je potrebné:

- Priamo aj nepriamo podporiť:
 - o zavádzanie vodíkových technológií v priemysle
 - o zavádzanie vodíkových technológií v doprave (obstarávanie vodíkových vozidiel, budovanie distribučnej infraštruktúry vodíka najmä v autobusovej a nákladnej doprave, verejné vodíkové čerpacie stanice na strategicky vytipovaných lokalitách).
 - o budovanie malých ucelených vodíkových reťazcov zahrňujúcich - lokálnu výrobu, skladovanie a distribúciu a spotrebu vodíka
 - o prípravu a budovanie vodíkových údolí ako nástroja implementácie vodíkových technológií v zmysle kritérií stanovených EÚ

4.8.3 Výroba, skladovanie a distribúcia vodíka

Obnoviteľný vodík bude pravdepodobne do istej miery pôsobiť v priemysle a energetickom sektore Slovenska a jeho úloha by mala v dlhodobom horizonte pravdepodobne rásť.

Výroba vodíka je možná zo všetkých zdrojov, ktoré sú v súlade s taxonómiou udržateľnej energetiky, s úsporou skleníkových plynov o viac ako 70% s porovnateľnými fosílnymi palivami, ale európske ciele kladú dôraz využiť na jeho výrobu najmä OZE nebiologického pôvodu.

Slovensko má potenciál stať sa výrobcom obnoviteľného, resp. nízkoemisného vodíka určeného pre svoju vlastnú spotrebu a z malej časti na export.

Preferovanou technológiou výroby obnoviteľného vodíka bude do roku 2030 elektrolýza vody. Výroba vodíka z plynu, biomasy alebo odpadu so zachytávaním CO₂ je tiež možná, ale obmedzená nákladmi na dlhodobé uskladnenie CO₂ a nedostatkom dopytu po CO₂ ako surovine. V prípade výroby vodíka pyrolýzou alebo plazmolýzou, kde výstupom je aj pevný uhlík, tento zatiaľ nie je považovaný za trvalý spôsob uloženia CO₂ a preto sa započítava do celkových emisií pri výrobe vodíka.

Modernizácia existujúcej plynárenskej infraštruktúry je kľúčová pre budúci import a distribúciu vodíka po roku 2030 a pre jeho využitie pre ďalšiu dekarbonizáciu priemyslu (napr. pre výrobu zelenej ocele v USSK).

Vodík sa najčastejšie skladuje vo vysokotlakových nádržiach; alternatívne spôsoby sú skladovanie vo forme kvapalného vodíka, skladovanie v metalhydridoch, ako aj pomocou organických nosičov (LOHC). Podzemné úložiská budú mať významný potenciál v strednodobom alebo dlhodobom horizonte.

Preprava stlačeného vodíka je považovaná za najrýchlejšie spôsoby prepravy vodíka v krátkodobom horizonte.

Budovanie vodíkových čerpacích staníc pozdĺž siete TEN-T a v mestských uzloch je nevyhnutné na splnenie cieľov nariadenia AFIR

Je potrebné:

- Podporiť výrobu obnoviteľného vodíka elektrolýzou s využitím voľných kapacít a novovybudovaných kapacít OZE.
- Podporiť demonštračné projekty výroby vodíka z plynu, biomasy alebo odpadu so zachytávaním CO₂
- Podporiť rozvoj distribučnej a skladovacej infraštruktúry (modernizácia existujúcej plynárenskej siete a jej prispôsobenie na prepravu vodíka a budovanie nových skladovacích kapacít pre vodík, vodíkové čerpace stanice)
- Podporiť geologický a geochemický prieskum pre účely vybudovania podzemných úložísk a hľadania ložísk prírodného vodíka.

4.8.4 Vzdelávanie, výskum a inovácie

Vodíkové hospodárstvo si vyžiada vysoko, ale aj menej kvalifikovanú pracovnú silu na všetkých úrovniach, no najmä technických zamestnancov pre oblasť energetiky, plynárenstva a bezpečnosti práce.

Je veľmi dôležité podporovať osvetu a výskumu na všetkých úrovniach, informovať verejnosť a podporiť inovatívne riešenia v celom hodnotovom reťazci. Slovensko má potenciál nielen implementovať, ale aj spoluvytvárať technológie pre energetickú transformáciu.

Na Slovensku sa nerealizuje významnejšia systematická informačná a osvetová činnosť v kontexte obnoviteľného vodíka a jeho spoločenskej relevancie.

Je potrebné:

- Podporovať účasť a zapájanie Slovenska do programov EÚ v oblasti výskumu, vzdelávania a inovácií pre obnoviteľný vodík (aktívne zapojenie výskumných inštitúcií a univerzít, súkromných subjektov).
- Podporiť výskum a vývoj technológií, ktoré vychádzajú z potrieb a silných stránok slovenského hospodárstva (napr. ako IPCEI projekt H2-VTOL, podpora technológií na skladovanie a prepravu vodíka LOHC).
- Podporovať budovanie kapacít a rozvoj ľudských zdrojov (vzdelávacie programy cez Európsku vodíkovú akadémiu, prírodovedné a technické odbory - špecializované vzdelávanie)
- Podporiť prípravu kampaní na lepšiu akceptáciu OZE a vodíkového ekosystému, o bezpečnosti a prínosoch vodíka pre verejnosť
- Využiť záujem verejnosti a podnikateľov na posilnenie dopytu a investícií

5 POTENCIÁLNE VODÍKOVÉ ÚDOLIA NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

5.1 Úvod

Kapitola sa zameriava na identifikáciu tých lokalít na Slovensku, ktoré majú dostatočné energetické zdroje, potenciál na vybudovanie nových zdrojov energie, potenciál na využitie podzemných úložísk a výstavbu vodíkovej infraštruktúry.

Ide o atribúty, ktoré sú potrebné pre ďalší rozvoj vodíkoveho ekosystému a sú vhodné na zriadenie komplexných vodíkových ekosystémov a mohli by sa uchádzať o status „vodíkoveho údolia“ na európskej úrovni.

5.2 Výberové kritériá a predpoklady pre vodíkové údolie

Vodíkové údolie (VÚ) predstavuje región kde výroba, distribúcia, skladovanie a využitie vodíka prebieha v synergickom prepojení medzi priemyslom, energetikou, dopravou, akademickou a výskumno-vývojovou sférou.

Na Slovensku má predpoklady pre vznik takýchto vodíkových údolí niekoľko regiónov. Ide hlavne o rozvinuté priemyselné oblasti a dôležité dopravné uzly, s dostupnými OZE a existujúcou infraštruktúrou pre energetickú distribúciu. Strategická poloha Slovenska v rámci európskych tranzitných koridorov vytvára potenciál pre efektívne prepojenie s nadnárodnými vodíkovými sieťami.

Európska iniciatíva *Clean Hydrogen Partnership* definuje vodíkové údolie ako:

*„Vodíkové údolie je geografická oblasť - mesto, región, ostrov alebo priemyselné zoskupenie - kde sa niekoľko vodíkových aplikácií spája do integrovaného vodíkoveho ekosystému, ktorý spotrebuje značné množstvo vodíka, čím sa zlepšuje ekonomická stránka projektu. V ideálnom prípade by mal zahŕňať celý hodnotový reťazec vodíka: výrobu, skladovanie, distribúciu a konečné využitie.“*²¹⁵

Západné Slovensko s rozvinutým chemickým a petrochemickým priemyslom alebo východné Slovensko s vysokým potenciálom pre využívanie OZE, sa javia ako ideálne regióny pre pilotné vodíkové projekty. Rozvoj vodíkových údolí môže významne prispieť k dekarbonizácii priemyslu a dopravy, čím sa Slovensko priblíži k plneniu klimatických cieľov a zvýši svoju energetickú nezávislosť.

Vodíkové údolia sú popísané s ohľadom na kritéria výberu v nasledovných bodoch:

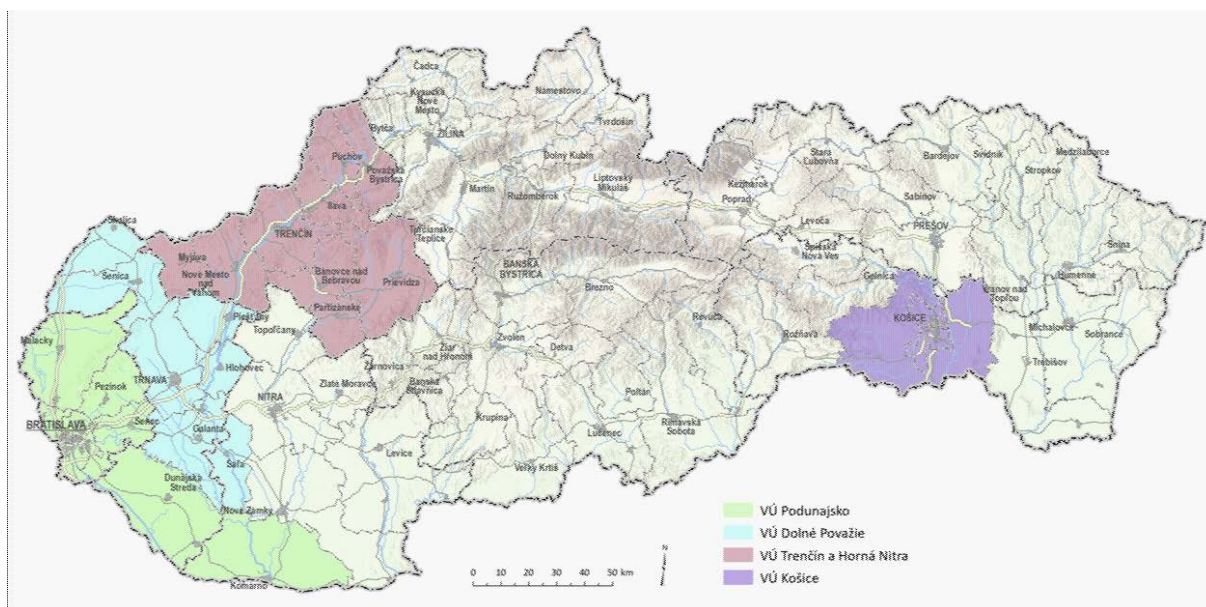
- Potenciálne zdroje energie a výroba vodíka

²¹⁵ Clean Hydrogen Partnership: Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform. (https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/mission-innovation-hydrogen-valleys-platform_en#:~:text=A%20%E2%80%9CHydrogen%20Valley%E2%80%9D%20is%20a,the%20economics%20behind%20the%20project)

- Aplikácie a využitie vodíka
- Vodíková infraštruktúra
- Technické parametre
- Predpokladané zdroje financovania
- Vplyv na socioekonomické indikátory a spoločenské prínosy projektu
- Analýza rizík

Analýzou potenciálu SR z hľadiska jednotlivých komponentov vodíkoveho reťazca boli identifikované ako najvhodnejšie tieto lokality na zriadenie vodíkových údolí:

- VÚ Podunajsko,
- VÚ Dolné Považie,
- VÚ Trenčín a horná Nitra,
- VÚ Košice.



Obrázok 83: Navrhované vodíkové údolia

Zdroj: stengl a.s.

Spoločné predpoklady pre navrhované vodíkové údolia na Slovensku

Spoločné predpoklady použité pri výpočtoch investičných nákladov vodíkových údolí sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

č.	Druh investície	Odhadované investície (EUR)	Poznámka
1	Vodíkový autobus	500 000 – 650 000	FCEV autobus mestskej hromadnej dopravy

2	Ťažké úžitkové alebo nákladné vozidlo	400 000 – 600 000	Ťažké úžitkové FCEV vozidlá
3	Vodíková čerpacia stanica	3 000 000 – 5 000 000	Odhad nákladov na 1 t / deň výdajnej kapacity čerpacích staníc, tlakom 700 Bar, uskladnením a prepravou vodíka. Predpokladá sa 50 % vytťaženie kapacity.
4	Výroba vodíka (elektrolyzér, podporné zariadenia a inštalácia)	2 480 – 1 950 EUR / kW	Investície na výrobu o veľkosti 10 – 100 MW (detailný opis v kapitole 7.9 - Popis finančného modelu finálneho scenára) Predpokladaná energetická spotreba výroby vodíka je 55 kWh / kg

Tabuľka 83: Spoločné predpoklady vodíkových údolí

Zdroj: stengl, a.s.

5.3 Vodíkové údolie Podunajsko

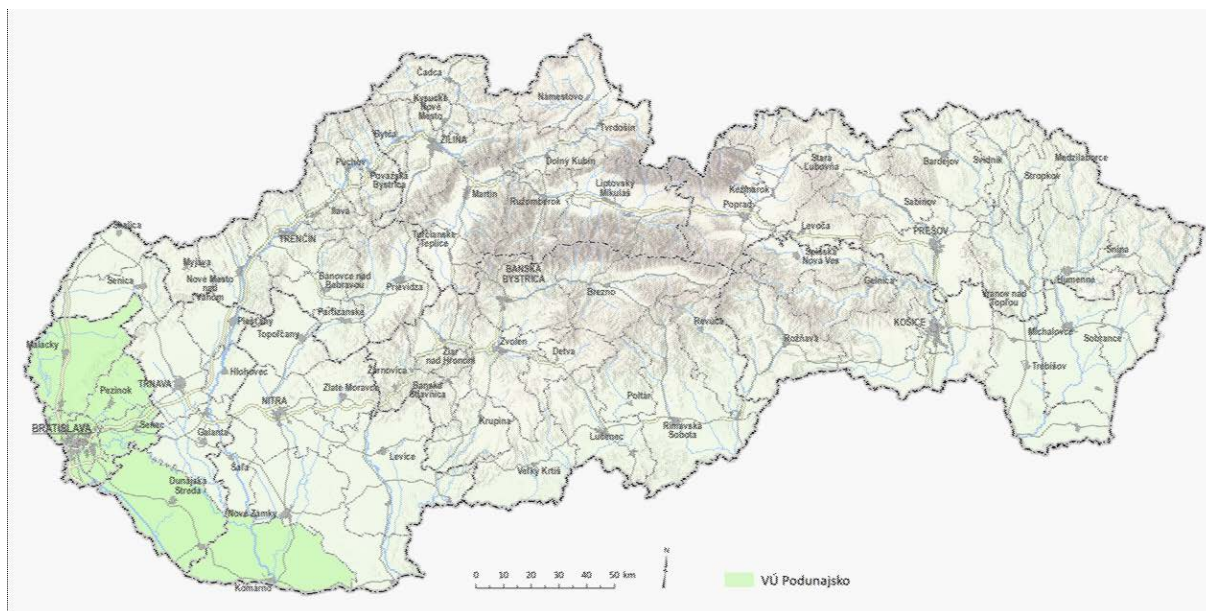
Vodíkové údolie Podunajsko (VÚP) leží na juhozápade Slovenska najmä v Bratislavskom kraji a v južnej časti Trnavského a Nitrianskeho kraja, v blízkosti hraníc s Rakúskom a Maďarskom. Ide o komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje vyrábať, distribuovať ako aj prakticky používať vodík. Dunaj zároveň prepája túto oblasť so susediacimi krajinami, v ktorých sa pripravujú vodíkové projekty.

Územie má polycentrický charakter, pričom jeho hlavné výrobné a spotrebné centrá sú strategicky rozmiestnené v rámci regiónu. Kľúčovou oblasťou pre OZE je okres Dunajská Streda, ktorý ponúka výborné podmienky na produkciu vodíka využitím vodnej (najmä z vodnej elektrárne Gabčíkovo), veternej a solárnej energie. Hlavná spotreba vodíka sa sústreďuje v Bratislave, kde existuje rozvinutý priemysel a potenciálny silný dopyt v doprave.

Vodíkové údolie zahŕňa viacero dôležitých dopravných uzlov a potenciálnych odberateľov vodíka. Oblasť sa vyznačuje rozvinutým priemyslom a priemyselnou infraštruktúrou, prítomnosťou výskumných a vzdelávacích inštitúcií a dobrej dopravnej dostupnosti umožňujúcej efektívne prepojenie výrobných kapacít a dopytu po vodíku.

Hlavným cieľom vodíkového údolia je využitie obnoviteľných a nízkouhlíkových zdrojov energie na dekarbonizáciu relevantných priemyselných a dopravných sektorov. Najmä dekarbonizácia nákladnej, verejnej hromadnej, leteckej a lodnej dopravy a niektorých priemyselných sektorov má potenciál značne prispieť k ekonomicky udržateľným riešeniam dekarbonizácie. V spolupráci priemyslu s výskumno-vývojovými inštitúciami, je potenciál vytvárania inovatívnych spoločenstiev zameraných na vývoj nových vodíkových technológií, vzniku nových spoločností v oblasti vodíkových technológií a výroby komponentov pre vodíkový priemysel.

Dôležitým faktorom je aj geografická poloha regiónu, ktorý je križovatkou významných dopravných a energetických koridorov. Táto poloha umožňuje efektívnu distribúciu vodíka do priemyselných podnikov, pre dopravné účely a potenciálne aj na export do susedných krajín. Vodíkové údolie tak spája dostupné zdroje energie s inovatívnymi technológiami na výrobu vodíka, čím prispieva k udržateľnému rozvoju a energetickej transformácii západného Slovenska.



Obrázok 84: Geografické ohraničenie vodíkového údolia Podunajsko

Zdroj: stengl a.s.

Bratislavský a ani Trnavský samosprávny kraj nezverejnili zatiaľ regionálnu vodíkovú stratégiu, v ktorej by bližšie popísali oblasti vhodné k výrobe, uskladňovaniu a používaniu vodíka. Ďalšie regionálne stratégie oboch krajov súvisiace s vodíkovou stratégiou sú²¹⁶:

- Integrovaná územná stratégia Bratislavského kraja
- Stratégia Bratislava SMART Region
- Regionálna inovačná stratégia BSK (nová verzia stratégie je v príprave);
- Územný plán VÚC BSK, Zmeny a doplnky
- Územný plán VÚC TTSK, Zmeny a doplnky;
- Konceptcia nakladania s odpadmi v Bratislavskom kraji;
- Konceptcia nakladania s odpadmi v Trnavskom kraji;
- Plán udržateľnej mobility Bratislavského samosprávneho kraja (PUM);

Vodíkové údolie Podunajsko nemá vybudované žiadne personálne a inštitucionálne kapacity.

²¹⁶ <https://web.vucke.sk/sk/uradna-tabula/phsr/strategicke-dokumenty.html>

5.3.1.1 Potenciálne zdroje energie a výroba vodíka

Vodíkové údolie Podunajsko má významný potenciál pre výrobu vodíka vďaka dostupnosti rôznorodých zdrojov energie. Región disponuje rozvinutou infraštruktúrou vhodnou pre obnoviteľné zdroje energie, vrátane solárnych a veterných elektrární, ktoré môžu efektívne napájať elektrolyzéry na výrobu obnoviteľného vodíka. Výroba môže byť podporená aj energetickým prebytkom z existujúcich fosílnych zdrojov a elektrární, ktoré sú schopné prispievať stabilnými dodávkami energie.

Energetické ukazovatele vodíkového údolia

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté vybrané základné energetické ukazovatele Bratislavského kraja.

Energetický ukazovateľ / rok	2019	2020	2021	2022	2023
Spotreba tepla [GJ]	192 576 085	195 338 854	196 170 421	198 178 002	223 030 003
Spotreba elektriny [MWh]	3 462 827	4 676 583	4 866 324	4 548 429	5 343 613
Spotreba motorovej nafty [t]	157 605	148 621	142 286	156 646	134 556
Spotreba zemného plynu [1000 m ³]	886 475	709 217	704 313	699 752	619 483

Tabuľka 84: Energetické ukazovatele Bratislavského kraja 2019 – 2023

Zdroj: Štatistický úrad SR (Spotreba palív, elektriny, tepla - en3001rr_data)

Podľa vývoja týchto indikátorov možno konštatovať, že v Bratislavskom kraji klesá spotreba motorovej nafty a zemného plynu avšak spotreba elektriny a tepla stúpa. Je preto nutné zvyšovať podiel nízkoemisných technológií v energetike pokiaľ sa má dosiahnuť zníženie emisií v daných sektoroch energetiky v Bratislavskom kraji.

Obnoviteľný vodík

Existuje tu tiež jeden z najlepších potenciálov pre rozvoj nových OZE na Slovensku, a to najmä solárna a veterná energia ale aj rozšírenie existujúcich resp. vyššie využitie kapacít vodných

elektrární. Dostatočné množstvo lacnej energie z OZE je možné využiť na výrobu obnoviteľného vodíka (v súlade s pravidlami doplnkovosti, časovej a geografickej korelácie).

Je tiež nutné podotknúť že existujúce vodné elektrárne (VE Gabčíkovo a Čunovo) a iné OZE je možné použiť na výrobu obnoviteľného vodíka len do roku 2027 kvôli pravidlu doplnkovosti z nariadenia RFNBO.

	do roku 2027	po roku 2027
Zdroje elektrickej energie a vodíka	Solárne elektrárne	Nové solárne elektrárne
	Veterné elektrárne	Nové veterné elektrárne
	Vodné elektrárne	Modernizované alebo nové vodné elektrárne
	Elektrická energia zo siete	Výroba z odpadu so zachytávaním CO ₂
	Fosílny vodík z parného reformingu	Elektrická energia zo siete (najmä pri dosiahnutí uhlíkovej stopy menej ako 65 gCO ₂ /kWh alebo 18 gCO ₂ /MJ)
		Fosílny vodík z parného reformingu s CCS

Tabuľka 85: Zdroje elektrickej energie pre výrobu vodíka VÚ Podunajsko

Zdroj: stengl a.s.

Fosílny vodík

V rámci navrhovaného vodíkoveho údolia sa vyrába vodík v rafinérii Slovnaft, a.s. v Bratislave, kde sa využíva najmä proces SMR. V budúcnosti je možná dekarbonizácia výroby vodíka Rafinérie Slovnaft pomocou zachytávania CO₂ (technológiami CCS) čím by bolo možné zmeniť klasifikáciu fosílného vodíka na nízkouhlíkový. Je tiež možná úplná náhrada za obnoviteľný a nízkouhlíkový vodík vyrábaný elektrolýzou. Dekarbonizácia týmto spôsobom vyžaduje veľké investície a ceny vyrobeného nízkouhlíkového alebo obnoviteľného vodíka by v súčasnosti presahovali ceny fosílného vodíka.

V krátkodobom horizonte môže fosílny vodík napomôcť rozvoju vodíkovej ekonomiky tým, že poskytne dočasnú alternatívu pri postupnom prechode na obnoviteľný alebo nízkouhlíkový vodík. Rafinéria Slovnaft predstavuje významný uzol pre priemyselné využitie vodíka v regióne a jej zapojenie do širšieho konceptu vodíkoveho údolia otvára možnosti pre rozvoj nízkouhlíkových technológií a integráciu vodíka do energetických a dopravných systémov západného Slovenska.

5.3.1.2 Aplikácie a využitie vodíka

Druhy dopytu

V regióne Bratislava je dopyt po vodíku sústredený hlavne v rafinérii Slovnaft, ktorá spotrebuje väčšinu celkového regionálneho dopytu vodíka. Dopyt v dopravnom sektore je zatiaľ

obmedzený na experimentálne projekty a prevádzky menšieho počtu autobusov, pričom najväčší potenciál rastu predstavuje mestská hromadná doprava v Bratislave, vlaková doprava na neelektrifikovaných železničných tratiach a ale aj diaľková nákladná doprava. Energetické aplikácie, ako aj sezónne skladovanie energie, sú v súčasnosti vo fáze štúdií a pilotných projektov, no predpokladá sa ich rast až po roku 2030.

Kvantifikácia súčasného dopytu

Celkový ročný dopyt po vodíku v regióne Bratislava môže podľa odhadov dosahovať do 100 000 t ročne. V oblasti dopravy sú aplikácie zatiaľ vo fáze pilotných projektov s relatívne nízkym dopytom. Energetické aplikácie a sezónne skladovanie vodíka zatiaľ nepredstavujú významný odber.

Potenciálny vývoj dopytu

Do roku 2035 sa očakáva nárast dopytu po vodíku a obnoviteľných palivách v súlade s európskymi normami pre uhlíkové emisie v doprave^{217,218}, a to predovšetkým v mestskej hromadnej doprave v Bratislave, prímestskej autobusovej doprave, ako aj v logistike v okolí priemyselných parkov.

Celkový počet autobusov prevádzkovaný v Bratislavskej MHD bol 519 v roku 2023 a počet evidovaných autobusov v BA kraji v roku 2024 bol 1 410 a z toho 950 mestských autobusov. V krajoch DS a KN bolo celkom 444 ďalších autobusov a z toho 21 mestských a 217 prímestských^{8,6}.

Kategória	VÚ Podunajsko				VÚ Celkom
	BA	Okolie BA (MA, PK, SC)	DS	KN	
Osobné autá M1	363 450	137 185	77 901	54 957	633 493
Nákladné autá do 3.5t N1	42 201	16 720	9 811	7 148	75 880
M1 a N1 Spolu	405 651	153 905	87 712	62 105	709 373
Nákladné autá N2/N3 Spolu	6 510	2 450	1 428	890	11 278
Autobus mestský	512	2	17	4	535
Autobus prímestský	415	21	209	8	653
Autobus diaľkový	355	103	129	77	664
Autobusy celkom	1 282	126	355	89	1 852

²¹⁷ Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/1242 z 20. júna 2019

²¹⁸ Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/851 z 19. apríla 2023

Tabuľka 86: Počty registrovaných vozidiel VÚ Podunajsko

Zdroj: MV SR - Celkový počet evidovaných vozidiel v SR 31.12.2024

V roku 2023 najazdili autobusy Bratislavskej MHD viac ako 28 mil. vozových kilometrov²¹⁹. Bratislavská MHD pritom už dnes disponuje 4 vodíkovými a 18 elektrickými autobusmi²²⁰.

Rok	SOR NS 12 Electric	SOR EBN 8	Solaris Urbino 12 Hydrogen
2021	16	2	-
2022	16	2	-
2023	16	2	4

Tabuľka 87: Počty bezemisných vozidiel v Bratislavskej MHD

Zdroj: iMHD.sk - Prevádzkové údaje MHD v Bratislave

Bezemisnými autobusmi disponuje aj verejná doprava v Dunajskej Strede kde premávajú dva elektrické autobusy spoločnosti Mobility & Innovation Production.

Celkový počet vodíkových autobusov do roku 2030 by mal byť 40 v súlade s ohlásenými zámermi DPB a.s.. Celkový počet môže narásť pokiaľ by boli ohlásené ďalšie obstarávania investície do vodíkových autobusov a to aj mimo mesta Bratislava.

Počet nákladných a osobných vozidiel bol vo VÚ Podunajsko vypočítaný v súlade s predpokladmi stanovenými v kapitole 4. Počet môže do roku 2030 predstavovať značné množstvo vozidiel za predpokladu že bude výstavba vodíkových staníc začatá a ich prevádzka spustená v relatívne krátkom časovom období.

Vodíkové vozidlá VÚP 2030	Autobusy	Vozidlá N2 a N3	Vozidlá M1 a N1
Konzervatívny	40	101	10 - 90
Stredný	203	201	852
Ambiciózny	244	201	852

Tabuľka 88: Počty vozidiel s vodíkovým pohonom vo VÚP

Zdroj: stengl a.s.

Pri čiastočnom prechode na obnoviteľný vodík pomocou 10 MW elektrolýzy by rafinéria Slovnaft mohla vyrobiť a spotrebovať do 1 500 t vodíka ročne vyprodukovaného elektrolýzou, viac realistický odhad spotreby obnoviteľného vodíka sa pohybuje na úrovni 800 t ročne. Pri 50 % dekarbonizácia vodíka v rafinérii by množstvo obnoviteľného vodíka muselo stúpnúť na úroveň niekoľkých desiatok tisíc a vyžadovalo by tak niekoľko stoviek MW elektrolýzér

²¹⁹ <https://imhd.sk/ba/doc/sk/10201/Prevadzko-udaje-MHD-v-Bratislave.html>

²²⁰ <https://imhd.sk/ba/doc/sk/10201/Prevadzko-udaje-MHD-v-Bratislave.html>

a vybudovanie nových zdrojov obnoviteľnej energie (slnko a vietor) alebo využitie vodných elektrární s kapacitou väčšou ako samotné elektrolyzéry.

Iný dopyt sa dá očakávať priemysle ako napr. pri výrobe cementu, farmaceutikom a potravinárskom priemysle. Schopnosť týchto sektorov prejsť na vodíkové alternatívy závisí od výšky finančnej a inej podpory projektov a predpokladá sa až po roku 2030.

5.3.1.3 Vodíková infraštruktúra

Vodíková infraštruktúra vo VÚ Podunajsko predstavuje kľúčový prvok pre rozvoj vodíkovej ekonomiky na Slovensku. Strategická poloha týchto regiónov a existujúca energetická infraštruktúra poskytujú významné príležitosti pre integráciu vodíka do národného energetického mixu.

Existujúca vodíková infraštruktúra a čerpacie stanice

V areáli rafinérie Slovnaft sa nachádza vodíková čerpacia stanica prevádzkovaná spoločnosťou Messer Tatragas. Táto stanica slúži na plnenie vodíkových vozidiel a predstavuje pilotný projekt pre budúce rozširovanie vodíkových čerpacích staníc v krajine.

Rafinéria Slovnaft disponuje infraštruktúrou na výrobu vodíka, ktorý sa využíva hlavne v petrochemických procesoch. Táto existujúca kapacita môže dočasne slúžiť ako zdroj vodíka pre externých odberateľov, kým nebude plne rozvinutá výroba obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka v rámci vodíkoveho údolia. Pre efektívne využitie tejto infraštruktúry je potrebné zabezpečiť kvalitu a čistotu vodíka podľa požiadaviek koncových užívateľov, ako aj vybudovať logistické riešenia pre jeho distribúciu.

Rozvoj vodíkovej infraštruktúry vo VÚ Podunajsko je kľúčový pre úspešnú integráciu vodíka do energetického systému Slovenska. Spolupráca medzi spoločnosťami ako Eustream, NAFTA a Slovnaft, podporená európskymi a národnými iniciatívami, vytvára pevný základ pre budovanie udržateľnej vodíkovej ekonomiky. Implementácia týchto projektov prispeje k dekarbonizácii priemyslu, zvýšeniu energetickej bezpečnosti a podpore inovácií v regióne.

5.3.1.4 Technické parametre

Táto časť poskytuje prehľad kľúčových technických parametrov súvisiacich s plánovanou výrobou, distribúciou a spotrebou vodíka v VÚP.

Na území VÚP je potenciál využitia existujúcich zdrojov energie pre výrobu obnoviteľného vodíka do roku 2027 nasledovné:

- Sústava vodných elektrární v rámci vodného diela Gabčíkovo
- Malé vodné elektrárne na Malom Dunaji
- Fotovoltické elektrárne na území VÚ Podunajsko

Napriek tomu, že existujúce zdroje vyrábajú elektrinu prioritne pre využitie v elektrickej sústave, existuje potenciál navýšenia kapacity týchto zdrojov pričom navýšená kapacita sa môže využiť aj na výrobu vodíka. Uvedené sa týka tak vodných zdrojov kde modernizáciou a zvýšením účinnosti výroby elektriny je možné v relatívne krátkom čase zvýšiť jej produkciu ako aj FVE zdrojov, pri ktorých ich rekonštrukciou, použitím najmodernejšej technológie FVE panelov a striedačov, prípadne doplnením o zariadenia na uskladnenie elektriny, významným spôsobom je možné zvýšiť produkciu elektriny pri nezmenenej inštalovanej kapacite týchto zdrojov. Preto aj dopad takýchto opatrení na elektrizačnú sieť by bol minimálny, skôr pozitívny, pretože by takéto zdroje svojou prevádzkou pozitívne pôsobili na stabilitu a odolnosť elektrizačnej sústavy.

Ďalším aspektom využitia existujúcich zdrojov je využitie období kedy je elektriny v elektrizačnej sústave viac ako je aktuálna spotreba a vznikajú prebytky v sieti ktoré spôsobujú veľmi nízke, niekedy až záporné spotové ceny elektriny. V takýchto prípadoch je výroba elektriny nerentabilná a práve využitie takejto elektriny pre výrobu vodíka je vhodné. Zavedením nových spôsobov riadenia výroby elektriny vo vodných a FVE elektrárnach spolu s úpravou regulácie zo strany štátu, môže vytvoriť vhodné prostredie pre využitie takejto elektriny na efektívnu výrobu obnoviteľného vodíka.

Na území VÚP je potenciál aj pre nové zdroje elektriny s realizáciou do roku 2030:

- Výstavba vodnej elektrárne Čuňovo
- Veterné elektrárne na území VÚP s odhadovanou inštalovanou kapacitou 100-150 MW
- Fotovoltické elektrárne na území VÚP s odhadovanou inštalovanou kapacitou 500 MW

Na základe prírodných podmienok a obmedzení vyplývajúcich z dnešnej legislatívy, v rámci územia VÚP je možné vybudovať viacero druhov nových zdrojov elektriny v štruktúre ako je uvedené vyššie, pričom ich presné umiestnenie závisí od individuálneho zhodnotenia konkrétnej lokality.

Výstavba vodnej elektrárne Čuňovo je dlhodobý plánovaný projekt využitia vybudovanej hrádze na Dunaji pri vodnom stupni Čuňovo pričom aktuálne vodný stupeň nevyužíva hydroenergetický potenciál v danom mieste. Jej vybudovanie je relatívne veľmi nákladovo efektívne keďže by sa budovalo v mieste existujúceho prehradenia rieky a využíval by prietok vody slúžiaci pre sýtenie starého koryta Dunaja. Využitie takto vyrobenej elektriny pre výrobu vodíka by vedelo zvýšiť efektívnosť prevádzky vodnej elektrárne. Výhodou je aj umiestnenie s vybudovanou infraštruktúrou a v blízkosti rafinérie Slovnaft.

Budovanie veterných elektrární na území VÚP je možné hlavne v oblastiach východne od Bratislavy, mimo území ktoré sú environmentálne chránené, v dostatočnej vzdialenosti od obytných zón (min. 1000 m), mimo ochranných pásiem letísk, v oblastiach s dostatočnou veternosťou. Vzhľadom k tomu, že v prihraničnej oblasti okolo Bratislavy v Rakúsku je vybudovaných viac ako 1000 veterných elektrární, veternosť tejto lokality je dostatočne

potvrdená. Pre územie VÚP je odhad vybudovania cca. 20 – 30 veterných elektrární, ktoré môžu slúžiť ako zdroj elektriny pre výrobu obnoviteľného vodíka hlavne v ambicióznom scenári vývoja vodíkového hospodárstva.

Budovanie FVE elektrární je možné v podstate na celom území VÚP zohľadňujúc zásady ochrany poľnohospodárskej pôdy a stav existujúcej infraštruktúry. Najvhodnejšie sú plochy v priemyselných oblastiach (strechy budov, skládky, parkoviská, betónové alebo inak upravené plochy), oblasti s veľmi nízkou bonitou pôdy, ostatné plochy nevyužívané pre iné účely.

Využitie geotermálnej energie je efektívne hlavne v oblastiach, kde sa už geotermálna energia v súčasnosti využíva (Dunajská Streda, Veľký Meder) na výrobu tepla a výroba elektriny by bola doplnkovým využitím geotermálnej energie pričom výroba vodíka by slúžila hlavne na zvýšenie efektivity prevádzky takéhoto zdroja v čase prebytkov v sieti.

Výstavba nových obnoviteľných zdrojov energie na území VÚP nezvyšuje uhlíkovú stopu výroby elektriny, prispieva k energetickej sebestačnosti daného územia a zvoleným výhodným mixom technológií a umiestnením aj k stabilite a odolnosti siete, čo je pre oblasť VÚP dôležité aj z hľadiska jeho priemyselného zamerania.

Výroba vodíka

Technické scenáre (konzervatívny, základný a ambiciózny) reflektujú rôzne úrovne rozvoja infraštruktúry a dopytu po vodíku. Zohľadňujú potreby dopravy, priemyslu, požiadavky na elektrolýzu a spotrebu vody, ako aj odhadované investičné náklady potrebné na realizáciu jednotlivých scenárov.

Nasledovná tabuľka sumarizuje dopyt vo VÚ Podunajsko a potrebnú kapacitu elektrolyzérův:

VÚ Podunajsko 2030	Dopyt v doprave	Dopyt v priemysle	Výroba vodíka v SR	Elektrolýza v SR	Spotreba vody
Scenár	[t/rok]	[t/rok]	[t/rok]	[MW]	[m ³ / deň]
Konzervatívny	1 422		505	1 927 18	95
Stredný	3 724		33 075	4 229 30	209
Ambiciózny	3 919		33 075	4 423 46	218

Tabuľka 89: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka

Zdroj: stengl a.s.

Vodík ktorý nebude možný vyrobiť na území SR bude musieť byť dovezený zo zahraničia najmä vodíkovými potrubiami cez prepravné siete. Dovozy vodíka cestnou dopravou v plynnej forme bude nepraktický a drahý. V prípade že dovoz nebude možný, bude potrebné spustenie dodatočných elektrolyzérův v strednom a ambicióznom scenári do roku 2030.

Investičné náklady na výrobu vodíka sa líšia v závislosti od scenára rozvoja infraštruktúry a dopytu. Konzervatívny scenár zahŕňa základné investície vo výške 60 500 000 EUR základný

scenár rozširuje infraštruktúru s nákladmi 91 800 000 EUR a ambiciózny scenár predpokladá komplexnú integráciu vodíkových technológií s investíciami 95 800 000 EUR. Tieto náklady pokrývajú elektrolyzéry, infraštruktúru a technológie potrebné na zabezpečenie efektívnej výroby vodíka. Okrem infraštruktúry na výrobu vodíka je potrebné zabezpečiť aj adekvátne zdroje elektrickej energie a infraštruktúru na efektívnu distribúciu vodíka.

VÚ Podunajsko 2030	Potrebné investičné náklady - Výroba vodíka [EUR]	Potrebné investičné náklady - Čerpace stanice (minimum) [EUR]
Konzervatívny	60 500 000	24 000 000 – 40 000 000
Stredný	91 800 000	63 000 000 – 105 000 000
Ambiciózny	95 800 000	66 000 000 – 110 000 000

Tabuľka 90: Súhrn investičných nákladov na výrobu vodíka na vodíkové čerpace stanice

Zdroj: stengl a.s.

VÚ Podunajsko 2030	Potrebné investičné náklady - Autobusy/hromadná doprava [EUR]	Potrebné investičné náklady - Ťažké úžitkové vozidla [EUR]
Konzervatívny	20 000 000 – 26 000 000	40 400 000 – 60 600 000
Stredný	101 500 000 – 131 950 000	80 400 000 – 120 600 000
Ambiciózny	122 000 000 – 158 600 000	80 400 000 – 120 600 000

Tabuľka 91: Súhrn investičných nákladov na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel

Zdroj: stengl a.s.

Kľúčovú úlohu zohráva aj dostupnosť vodných zdrojov, nevyhnutných pre proces elektrolyzy. V tomto regióne sa nachádza infraštruktúra schopná zabezpečiť potrebné množstvo čistej vody pre udržateľnú a efektívnu výrobu vodíka. Príkladom je využívanie technologických odpadových vôd v areáli rafinérie Slovnaft, kde sú tieto vody po úprave opätovne využívané v elektrolytických procesoch. Takýto prístup nielen znižuje záťaž na primárne vodné zdroje, ale prispieva aj k udržateľnej cirkulárnej ekonomike. Okrem toho môže byť vodík vyrábaný aj z odpadových prúdov vody niektorých priemyselných procesov.

Ďalším dôležitým faktorom je integrácia vodíkovej výroby do existujúcich priemyselných areálov, čím sa minimalizujú náklady na distribúciu a logistiku. Kľúčovým cieľom je dosiahnuť synergický efekt medzi výrobou, distribúciou a spotrebou vodíka, pričom sa maximalizuje ekonomická návratnosť a environmentálne prínosy.

Centralizovaná výroba vodíka pre dopravu, najmä z existujúcich obnoviteľných zdrojov energie, ako sú vodné elektrárne, ktoré môžu ťažiť z rýchleho nasadenia do roku 2027. Využitím prebytkovej elektriny z týchto zdrojov je možné zabezpečiť stabilnú a ekologickú produkciu vodíka prostredníctvom elektrolyzy. Takáto centralizácia umožňuje optimalizovať výrobné náklady, znižovať straty pri distribúcii a zabezpečiť konzistentnú kvalitu vodíka pre čerpace stanice.

5.3.1.5 Vplyv na sociálne a ekonomické indikátory a spoločenské prínosy projektu

Rozvoj výroby aj spotreby vodíka, a nepriamo aj budovanie obnoviteľných zdrojov energie, bude mať pozitívny vplyv na zamestnanosť. Podľa údajov z Úradu práce, sociálnych vecí a rodiny je percento evidovanej nezamestnanosti v Bratislavskom a Trnavskom kraji najnižšie na Slovensku (viď tabuľka nižšie). Benefitom VÚP je však pomoc pri znižovaní závislosti na automobilovom priemysle a diverzifikácie hospodárstva.

Kraj	Ekonomicky aktívne obyvateľstvo	Počet disponibilných uchádzačov o zamestnanie	Miera evidovanej nezamestnanosti [v %]
Bratislavský kraj	407,293	12 429	3,05
Trnavský kraj	290,239	9 672	3,33
Nitriansky kraj	348,815	12 338	3,54
Slovensko	2,787,314	135 443	4,86

Tabuľka 92: Mesačná štatistika uchádzačov o zamestnanie k 11/2024

Zdroj: Úrad práce, sociálnych vecí a rodiny

Bratislava má vysokú úroveň vzdelávacích inštitúcií s významným podielom na inováciách. Vybudovanie vodíkového údolia poskytne inováciám nový impulz a školy na druhom aj treťom stupni vzdelávania budú motivované k rozvoju nových zručností aj celých učebných odborov. Vodík vytvorí väčší priestor pre výskumné a vývojové projekty na školách, vo vedeckých inštitúciách aj v súkromnom sektore.

Investície do vodíka a s ním spojených investícií pomôžu na Slovensku a ich aplikácie je možné zhodnotiť aj na medzinárodných trhoch.

Z rozvoja vodíkovej ekonomiky môžu profitovať mnohé existujúce alebo novovzniknuté spoločnosti operujúce v oblasti vodíkových technológií ale tiež stavebné, inžinierske alebo iné podniky. Firma Mobility & Innovation Production sídliaca v okrese Dunajská Streda vyvíja a vyrába technologicky inovatívne autobusy a nákladné ťahače s vodíkovým pohonom. Podpora a rozvoj podobných podnikov pre Slovensko predstavuje jedinečnú možnosť zapojiť sa do rozvíjajúceho vodíkového sektora viacerými spôsobmi prinášajúcimi ekonomický a spoločenský prínos pre Slovensko.

Výskumná a inovačná autorita, útvar Úradu podpredsedu vlády pre Plán obnovy a znalostnú ekonomiku vo svojej správe „Návratnosť investície do výskumu, vývoja a inovácií“ odhaduje:

„Investície do výskumu, vývoja a inovácií predstavujú investíciu s vysokou návratnosťou pre firmy aj spoločnosť. Návratnosť investície do výskumu a vývoja sa pre individuálnu firmu pohybuje v rozmedzí 10 – 30 %.“

„Výdavky na výskum a inovácie sú kľúčovým faktorom rastu produktivity európskych krajín, tento vplyv je však veľmi nerovnomerný. Za roky 2000-2013, investície do výskumu a inovácií

zodpovedali za 40 – 50 % nárastu produktivity v najinovatívnejších krajinách, ale menej ako 10 % v inovačne slabších krajinách. “

Podpora vodíkového údolia je v Bratislavskom kraji zatiaľ obmedzená, aj s ohľadom na iné rozvojové projekty v oblasti ekológie a dopravy. V okrese Dunajská Streda budú aktivity v oblasti vodíka vítané a prínosné. Vzhľadom na očakávané zapojenie súkromného sektora a zjavné prínosy pre celkový rozvoj, je pravdepodobný aj nárast záujmu regionálnych orgánov.

Vodíkové údolie prinesie v Bratislavskom kraji redukciu emisií CO₂ v priemysle aj doprave. Prípadná výroba vodíka z odpadu zníži potrebu skládok a ušetrí iné zdroje energií. Ďalšie dopady na životné prostredie a vodné zdroje budú minimálne.

VÚ Podunajsko 2030	Spotreba obnoviteľného vodíka	Emisie z porovnateľného fosilného paliva	Ušetrené CO ₂	
	[tony za rok]	[tony za rok]	Min/Max [tony za rok]	
Konzervatívny	1 927	21 736	15 215	21 736
Stredný	36 799	415 097	290 568	415 097
Ambiciózny	36 994	417 288	292 102	417 288

Tabuľka 93: Predpoklad spotreby obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO₂ VÚ Podunajsko 2030

Zdroj: stengl a.s.

5.4 Vodíkové údolie dolné Považie

Vodíkové údolie dolné Považie (VÚDP) sa nachádza na západnom Slovensku. Zahŕňa severnú a centrálnu časť Trnavského kraja a okres Šaľa z Nitrianskeho kraja. Perspektívne by mohlo byť prepojené s okresom Dunajská Streda (súčasťou VÚ Podunajsko), čo by rozšírilo potenciál využitia najmä solárnej a vodnej energie. Pôjde o komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje vyrábať, distribuovať a aj prakticky používať vodík v rôznych formách. Pre uvedené poskytuje VÚDP značný potenciál.

Územie charakterizuje veľmi diverzifikovaná skladba priemyselných podnikov zameraných najmä na automobilový priemysel a výrobu jeho komponentov, výrobu počítačových, elektronických, optických výrobkov, výrobu kovových konštrukcií; výrobu strojov, chemický a farmaceutický priemysel, potravinárstvo a výrobu elektriny. Územie tiež patrí aj medzi najproduktívnejšie poľnohospodárske oblasti krajiny.

Hlavným cieľom vodíkového údolia je využitie obnoviteľných a nízko-emisných zdrojov energie na dekarbonizáciu relevantných priemyselných a dopravných sektorov. Najmä dekarbonizácia nákladnej dopravy, verejnej hromadnej dopravy a niektorých priemyselných sektorov má potenciál značne prispieť k ekonomicky udržateľným riešeniam dekarbonizácie.

Dôležitým faktorom je aj geografická poloha regiónu, ktorý je križovatkou významných dopravných a energetických koridorov. Územím prechádzajú dôležité cestné a železničné dopravné koridory ktoré sú súčasťou medzinárodných koridorov TEN-T (diaľnica D1, rýchlostná cesta R1, hlavné elektrifikované železničné trate v severnom a východnom smere). Na území VÚDP sa tiež nachádza rozvinutá plynárenská infraštruktúra potenciálne využiteľná pre distribúciu a uskladňovanie vodíka.

Poloha a existujúca infraštruktúra VÚDP umožňuje efektívnu distribúciu vodíka do priemyselných podnikov, pre dopravné účely ale zároveň vytvára aj predpoklady dekarbonizácie produkcie v chemickom priemysle, výroby komponentov pre vodíkové technológie a budovania dedikovaných prepravných a skladovacích kapacít vodíka. Vodíkové údolie tak spája dostupné zdroje energie s inovatívnymi technológiami na výrobu vodíka, čím prispieva k udržateľnému rozvoju a energetickej transformácii západného Slovenska.



Obrázok 85: Vodíkové údolia Dolné Považie

Zdroj: stengl a.s.

Potenciálne vodíkové údolie dolné Považie by nie len značne prispelo k dekarbonizácii slovenskej ekonomiky a naplneniu slovenských a európskych klimatických cieľov, ale aj zvýšilo energetickú sebestačnosť Slovenska.

5.4.1.1 Potenciálne zdroje energie a výroba vodíka

Trnavský aj Nitriansky kraj disponujú významným technickým potenciálom pre výrobu vodíka z OZE.

VÚDP disponuje významným potenciálom pre výrobu vodíka z nových OZE a zvýšeným využitím existujúcich OZE a využitie nízkouhlíkových zdrojov energie. Región disponuje rozvinutou infraštruktúrou vhodnou pre OZE, vrátane solárnych a veterných elektrární, ktoré môžu efektívne napájať elektrolyzéry na výrobu obnoviteľného vodíka. Výroba môže byť podporená aj energetickým prebytkom z existujúcich priemyselných zdrojov a elektrární, ktoré sú schopné prispievať stabilnými dodávkami energie, obzvlášť AE Jaslovské Bohunice (JB).

Energetické ukazovatele vodíkoveho údolia

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté vybrané základné energetické ukazovatele Trnavského kraja (nie je zahrnuté časť Nitrianskeho kraja, okres Šaľa, okres Nitra) ktoré v zmysle údajov uvedených vyššie patria do VÚDP, avšak v tejto štatistike pre prehľadnosť nie sú zahrnuté.

Energetický ukazovateľ / rok	2019	2020	2021	2022	2023
Spotreba tepla [GJ]	1 844 799	1 786 455	2 655 327	2 195 618	2 374 481
Spotreba elektriny [MWh]	1 108 363	931 656	1 060 498	1 105 245	1 119 122
Spotreba motorovej nafty [t]	56 963	65 418	61 254	58 721	55 932
Spotreba zemného plynu [1000 m ³]	446 075	537 911	638 482	229 414	373 111

Tabuľka 94: Energetické ukazovatele Trnavského kraja 2019 – 2023

Zdroj: Štatistický úrad SR (Spotreba palív, elektriny, tepla - en3001rr_data)

Podľa vývoja týchto indikátorov možno konštatovať, že v Trnavskom kraji klesá spotreba zemného plynu a fosílnych palív avšak spotreba elektriny a tepla zostáva rovnaká resp. mierne stúpa napriek tomu že údaje za rok 2021 a 2022 sú ovplyvnené výrazným poklesom ekonomickej aktivity z dôvodu Covidových obmedzení. Je preto nutné zvyšovať podiel nízkoemisných technológií v energetike pokiaľ sa má dosiahnuť zníženie emisií v daných sektoroch energetiky v Trnavskom kraji.

Obnoviteľný vodík a nízkouhlíkový vodík

VÚDP má jeden z najlepších potenciálov pre rozvoj nových OZE na Slovensku, a to najmä solárna a veterná energia, ale aj rozšírenie existujúcich resp. vyššie využitie kapacít vodných elektrární a vyššie využitie kapacít atómovej elektrárne JB. Dostatočné množstvo lacnej energie z OZE je možné využiť na výrobu obnoviteľného vodíka (v súlade s pravidlami doplnkovosti, časovej a geografickej korelácie).

Existujúce vodné elektrárne (VE Kráľová, Madunice) a iné existujúce OZE (vietor a slnko) je možné použiť na výrobu obnoviteľného vodíka len do roku 2027 kvôli pravidlu doplnkovosti (nariadenie RFNBO).

	do roku 2027	po roku 2027
Zdroje elektrickej energie a vodíka	Solárne elektrárne	Nové solárne elektrárne
	Veterné elektrárne	Nové veterné elektrárne
	Atómové elektrárne (voľné kapacity)	Atómové elektrárne (voľné kapacity)
	Elektrická energia zo siete	Elektrická energia zo siete (pri dosiahnutí menej ako 65 gCO ₂ /kWh)
	Fosílny vodík z parného reformingu	Fosílny vodík z parného reformingu s CCS/CCU
	Vodné elektrárne	Výroba z odpadu so zachytávaním CO ₂

Tabuľka 95: Zdroje elektrickej energie pre výrobu vodíka vo VÚ Dolné Považie

Zdroj: stengl a.s.

Fosílny vodík

V súčasnosti sa v rámci navrhovaného vodíkového údolia vyrába vodík v chemickom závode Duslo a.s., kde sa využíva proces parnej reformácie zemného plynu. Súčasná výroba je veľmi nákladovo efektívna, avšak je závislá na dovoze zemného plynu zo zahraničia a vystavená cenovým výkyvom na trhu s plynom. V budúcnosti je možná dekarbonizácia výroby vodíka v chemickom závode Duslo pomocou lokálnej výroby obnoviteľného vodíka využitím elektrolyzéra umiestneného priamo v závode Duslo a lokálnych zdrojov OZE (vietor, slnko) a pri zlepšení ekonomickej efektívnosti aj technológiou CCS a/alebo CCU, čím by bolo možné zmeniť klasifikáciu fosílného vodíka na nízkouhlíkový. Dekarbonizácia chemického priemyslu a výroby vodíka použitím technológie CCS a/alebo CCU je v súčasnosti nákladovo neefektívna a preto ceny vyrobeného nízkouhlíkového by významne presahovali ceny fosílného vodíka. V budúcnosti však môžu tvoriť významný podiel pri produkcii nízko uhlíkového vodíka používaného vo výrobných procesoch v rôznych odvetviach priemyslu, v rámci VÚDP hlavne v chemickom priemysle.

V krátkodobom horizonte však môže fosílny vodík napomôcť rozvoju vodíkovej ekonomiky tým, že poskytne dočasnú alternatívu pri postupnom prechode na obnoviteľné a nízkouhlíkové zdroje vodíka.

5.4.1.2 Aplikácie a využitie vodíka

Aktuálne je dopyt po vodíku sústredený hlavne v chemickom závode Duslo, ktorý vyrobí a spotrebuje takmer 100% vodíka na území VÚDP. Dopyt v dopravnom sektore je zatiaľ minimálny avšak v nasledujúcich rokoch je potenciál na rozvoj projektov vodíkových autobusov pre mestskú hromadnú dopravu v Trnave a ostatných väčších mestách (Šaľa, Piešťany), vlaková doprava na neelektrifikovaných železničných tratiach, vnútro areálová doprava vo výrobných závodoch a logistických centrách a nákladná doprava. Energetické aplikácie, ako aj sezónne skladovanie energie, sú v súčasnosti vo fáze štúdií a pilotných projektov, no predpokladá sa ich rast po roku 2027 - 2030.

Celkový ročný dopyt po vodíku v rámci VÚDP môže podľa odhadov dosahovať do 100 000 t ročne. Hlavným nositeľom dopytu po vodíku je chemický závod Duslo. V oblasti dopravy sú aplikácie zatiaľ vo fáze pilotných projektov s relatívne nízkym dopytom. Energetické aplikácie a sezónne skladovanie vodíka zatiaľ nepredstavujú významný odber.

Najvýraznejší spotrebiteľ vodíka v rámci VÚDP je chemický závod Duslo, ktorý vodík využíva ako jednu zo základných vstupných surovín pre výrobu svojich produktov. Z titulu nariadení EÚ týkajúcich sa dekarbonizácie výroby v chemickom priemysle, ktorého cieľom je zníženie emisií o 42,5% do roku 2035 predpokladáme významný rast dopytu po obnoviteľnom vodíku vyrobenom z OZE. Do roku 2030 bude hlavným zdrojom obnoviteľného vodíka výroba v elektrolyzérov umiestnenom v závode Duslo, ktorý bude využívať elektrinu vyrobenú z veterných a fotovoltických elektrární umiestnených v okolí závodu Duslo, pričom predpokladáme postupné zväčšovanie kapacity elektrolyzérov a zdrojov elektriny po roku 2030.

V prvej fáze výroby obnoviteľného vodíka pomocou elektrolýzy vody predpokladáme vybudovanie 10 MW elektrolyzéra, ktorý bude využívať elektrinu z OZE v celkovej kapacite do 50 MW. Pre dosiahnutie cieľa dekarbonizácie je potrebné nahradiť približne 42,5% fosílného vodíka. V súčasnosti však chemický závod Duslo nie je z dôvodov limitácie využívanej technológie schopný využívať viac ako 10% vodíka z nefosílnych/externých zdrojov. Náhrada 10% vodíka by vyžadovala vybudovanie viac ako 70 MW elektrolyzérov a vybudovanie nových zdrojov obnoviteľnej energie s možnosťou priameho napojenia do elektrolyzéra (slnko a vietor) s inštalovanou kapacitou viac ako 250 MW.

VÚ dolné Považie				
Kategória	TT	Okolie TT	Šaľa	VÚ Celkom
		(GA, HC, PN, SE, SI)		
Osobné autá M1	73 429	163 213	26 551	341 094
Nákladné autá do 3.5t N1	8 488	19 574	3 186	41 059
M1 a N1 Spolu	81 917	182 787	29 737	382 153
Nákladné autá N2/N3 Spolu	1 294	2 634	518	5 874
Autobus mestský	51	27	1	96
Autobus prímestský	206	73	79	567
Autobus diaľkový	56	221	65	419
Autobusy celkom	313	321	145	1 082

Tabuľka 96: Počty registrovaných vozidiel vo VÚDP

Zdroj: MV SR - Celkový počet evidovaných vozidiel v SR 31.12.2024

Do roku 2035 sa taktiež očakáva významný nárast dopytu po vodíku v sektore vodíkovej mobility v súlade s európskymi normami pre uhlíkové emisie v doprave²²¹,²²², a to predovšetkým v mestskej hromadnej doprave v Trnave, Senici, Piešťanoch a Šali a pokračujúcim technologickým rozvojom autobusov aj zavádzanie vodíkových autobusov aj do prímestskej verejnej dopravy. Odhadované spotrebované množstvo obnoviteľného/nízkoemisného vodíka je na úrovni okolo 140 t ročne, pričom vychádza z predpokladu zavedenia do prevádzky 20 autobusov, s denným nájazdom 200 km, spotrebou 10 kg/100 km a celoročnou prevádzkou (350 dní).

Ďalším významným odberateľom vodíka budú dopravné prostriedky používané v logistike v okolí priemyselných parkov (nákladné vozidlá) ako aj vnútornej logistiky jednotlivých logistických centier (vysokozdvížne vozíky).

Vodíkové vozidlá VÚDP 2030	Autobusy	Vozidlá N2 a N3	Vozidlá M1 a N1
Konzervatívny	19	52	10-48
Stredný	109	105	459
Ambiciózny	130	105	459

Tabuľka 97: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo VÚDP

Zdroj: stengl a.s.

Iný dopyt sa dá očakávať v priemysle ako napr. pri výrobe cementu, farmaceutickom a potravinárskom priemysle. Schopnosť týchto sektorov prejsť na vodíkové alternatívy závisí od nákladovej efektívnosti výroby a dodávky obnoviteľného/nízkoemisného vodíka a výšky finančnej a inej podpory projektov a predpokladá sa až po roku 2030.

5.4.1.3 Vodíková infraštruktúra

Vodíková infraštruktúra v Trnavskom kraji predstavuje kľúčový prvok pre rozvoj vodíkovej ekonomiky na Slovensku. Strategická poloha tohto regiónu a existujúca energetická infraštruktúra poskytujú významné príležitosti pre integráciu vodíka do národného energetického mixu.

Elektrická energetická infraštruktúra

Vo VÚDP sa nachádza rozvinutá elektro-energetická infraštruktúra v rôznych napäťových úrovniach ktorá súvisí hlavne s veľkým zdrojom elektriny v JE Jaslovské Bohunice a s tým

²²¹ Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/1242 z 20. júna 2019

²²² Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/851 z 19. apríla 2023

spojená systémová rozvodňa v Križovanoch nad Váhom. Napriek tomu, že pripájanie OZE zdrojov priamo do systémovej rozvodne nie je možné (resp. veľmi náročné), výkonová a prenosová kapacita vytvára dobrý potenciál pre ďalší rozvoj OZE v danej oblasti za predpokladu dodatočnej investície do existujúcej infraštruktúry.

Na území VÚDP je dobre rozvinutá aj elektrická distribučná sústava a viacero uzlových bodov distribučnej sústavy (110 kV rozvodne), ktoré potenciálne poskytujú kapacitu pre pripojenie OZE zdrojov (veterná a solárna energia), ktoré sú nevyhnutným predpokladom pre rozvoj vodíkovej infraštruktúry.

Preprava vodíka cez plynovodnú sieť

Spoločnosť Eustream spravuje rozsiahlu sieť plynovodov prechádzajúcich cez Trnavský kraj. V rámci IPCEI projektu H2I-TR plánuje Eustream upraviť jednu zo štyroch hlavných línii na prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka²²³

Okrem toho existujúca infraštruktúra na distribúciu zemného plynu môže byť po implementácii potrebných úprav využitá na prepravu vodíka alebo jeho zmesí so zemným plynom. To si vyžaduje technické úpravy potrubí a kompresorových staníc na zabezpečenie kompatibility s vlastnosťami vodíka, ako je jeho nižšia hustota a vyššia priepustnosť cez materiály²²⁴.

Podzemné skladovanie vodíka

V oblastiach Záhoria a Trnavského kraja boli identifikované potenciálne geologické štruktúry vhodné na podzemné skladovanie vodíka. Spoločnosť NAFTA v rámci projektu HENRI, ktorý získal štatút IPCEI, skúma možnosti využitia týchto štruktúr na veľkokapacitné skladovanie vodíka²²⁵. Cieľom je identifikovať vhodné ložiská a stanoviť podmienky pre efektívne a bezpečné skladovanie vodíka v poréznych horninách a iných geologických štruktúrach.

Implementácia podzemného skladovania vodíka umožní dlhodobé uskladnenie veľkých objemov energie, čo je nevyhnutné pre vyrovnanie sezónnych výkyvov v dopyte a ponuke energie. Takéto riešenie prispeje k stabilite energetického systému a podpore integrácie obnoviteľných zdrojov energie.

Existujúca vodíková infraštruktúra a čerpace stanice

²²³ Eustream, Plán Eustreamu umožniť medzinárodnú prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka (IPCEI), <https://www.eustream.sk/sk/o-nas/plan-eustreamu-umoznit-medzinarodnu-prepravu-cisteho-vodika-ma-status-doleziteho-projektu-spolocneho-europskeho-zaujmu-ipcei/spravy/plan-eustreamu-umoznit-medzinarodnu-prepravu-cisteho-vodika-ma-status-doleziteho-projektu-spolocneho-europs.html>

²²⁴ TŮV SŮD, Skladovanie, preprava a distribúcia vodíka, <https://www.tuvsud.com/sk-sk/odvetvia/energetika/konvenena-energia/vodikova-energia/skladovanie-preprava-a-distribucia-vodika>

²²⁵ NAFTA – Inovatívne rozvojové projekty v oblasti skladovania plynu <https://www.nafta.sk/sk/skladovanie-plynu/inovativne-rozvojove-projekty>

V procese spúšťania sa nachádza vodíková plniaca stanica v Trnave časť Modranka, ktorá je súčasťou pilotného projektu výroby obnoviteľného/nízkoemisného vodíka z OZE v rámci VÚDP. Jedná sa o FVE elektrárňu v Jaslovských Bohuniciach a výroba obnoviteľného/nízkoemisného vodíka v elektrolyzéri umiestnenom v areáli existujúcej veľkokapacitnej čerpacej stanice určenej prevažne pre nákladnú dopravu.

Hlavným cieľom tejto pilotnej inštalácie je overenie technickej a ekonomickej realizovateľnosti lokálnej výroby obnoviteľného/nízkoemisného vodíka a jeho využitia pre miestnu verejnú dopravu resp. ťažkú nákladnú dopravu, keďže umiestnenie tejto čerpacej stanice je v krajskom meste kde sa prevádzkuje mestská hromadná doprava, zároveň však je v tesnej blízkosti významných dopravných ťahov medzinárodného významu (TEN-T) a zároveň aj v blízkosti veľkých logistických a výrobných centier s intenzívnou kamiónovou dopravou. Uvedenie tohto projektu do prevádzky bude prvým príkladom kompletného vodíkového reťazca na Slovensku a môže byť významným impulzom pre vznik a rozvoj VÚDP. V prípade overenia technickej a ekonomickej efektívnosti je projekt škálovateľný a replikovateľný aj v iných dopravných uzloch v rámci VÚDP ako aj Slovenska.

5.4.1.4 Technické parametre

Táto časť poskytuje prehľad kľúčových technických parametrov súvisiacich s plánovanou výrobou, distribúciou a spotrebou vodíka v regióne VÚDP do roku 2030. Na území VÚDP je potenciál využitia existujúcich zdrojov energie pre výrobu obnoviteľného vodíka do roku 2027 nasledovné:

- Sústava vodných elektrární na Váhu
- Fotovoltické elektrárne na území VÚDP

Napriek tomu, že existujúce zdroje vyrábajú elektrinu prioritne pre účely elektrickej siete a jej spotreby ako elektriny, existuje potenciál navýšenia kapacity resp. Lepšie využitie existujúcej nevyužívanej kapacity týchto zdrojov. Takéto dodatočné zdroje elektriny by mohli byť využité aj na výrobu obnoviteľného vodíka. Uvedené sa týka tak existujúcich vodných elektrární, kde rekonštrukciou a zvýšením efektívnosti výroby je možné v relatívne krátkom čase zvýšiť produkciu elektriny, ako aj FVE zdrojov, pri ktorých ich rekonštrukciou, použitím najmodernejšej technológie FVE panelov a striedačov, prípadne doplnením o zariadenia na uskladnenie elektriny, je možné významným spôsobom predĺžiť ich životnosť a zvýšiť produkciu elektriny pri nezmenenej inštalovanej kapacite týchto zdrojov. Preto aj dopad takýchto opatrení na elektrizačnú sieť by bol minimálny, skôr pozitívny, pretože by takéto zdroje svojou prevádzkou pozitívne pôsobili na stabilitu a odolnosť elektrizačnej sústavy.

Ďalším aspektom využitia existujúcich zdrojov je využitie období, kedy je elektriny v elektrizačnej sústave viac ako je aktuálna spotreba a vznikajú prebytky v sieti ktoré spôsobujú veľmi nízke, niekedy až záporné spotové ceny elektriny. V takýchto prípadoch je výroba elektriny nerentabilná a práve využitie takejto elektriny pre výrobu vodíka je vhodné.

Zavedením nových spôsobov riadenia výroby elektriny vo vodných a FVE elektrárňach spolu s úpravou legislatívy a regulácie zo strany štátu, môže vytvoriť vhodné prostredie pre využitie takejto elektriny na efektívnu výrobu obnoviteľného vodíka.

AE Jaslovské Bohunice

AE je významným zdrojom nízkouhlíkovej elektrickej energie na Slovensku. Umiestnenie na území VÚDP vytvára významný potenciál pre využitie časti vyrobenej elektriny na výrobu nízkouhlíkového vodíka. Napriek tomu, že povahou výroby a prevádzky vyrába hlavne elektrinu v pásme tzv. base load v prípade významných dlhodobých výkyvov na energetickom trhu vie poskytovať dostatočné množstvo nízkoemisnej elektriny aj pre výrobu vodíka.

Z pohľadu VÚDP je areál AE Jaslovské Bohunice vhodný pre výstavbu a využitie aj ďalších OZE zdrojov, keďže existujúca energetická infraštruktúra, ktorá sa už nevyužíva resp. jej kapacita je vyššia ako jej aktuálne využitie, poskytuje významný potenciál pre budovanie uceleného vodíkového reťazca, rozvoj vedecko výskumných aktivít a vzdelávania v oblasti vodíka a vodíkových technológií.

Nové zdroje elektriny

Na území VÚDP je potenciál aj pre nové zdroje elektriny s realizáciou do roku 2030:

Na základe prírodných podmienok a obmedzení vyplývajúcich z dnešnej legislatívy, v rámci územia VÚDP je možné vybudovať viacero druhov nových zdrojov elektriny v štruktúre ako je uvedené vyššie, pričom ich presné umiestnenie závisí od individuálneho zhodnotenia konkrétnej lokality.

Budovanie veterných elektrární na území VÚDP je možné v podstate na celom území VÚDP, zohľadňujúc územia, ktoré sú environmentálne chránené, pri zachovaní dostatočnej vzdialenosti od obytných zón (min. 1000 m), mimo ochranných pásiem letísk a v oblastiach s dostatočnou veternosťou. Veternosť tejto lokality je dostatočná a v súčasnosti je ohlásených viacero zámerov veterných elektrární na území VÚDP, pri ktorých sú vykonávané potrebné monitorinky a štúdie. Pre územie VÚDP je odhad vybudovania cca. 100 - 150 veterných elektrární s celkovým inštalovaným výkonom 500 – 900 MW, ktoré môžu slúžiť ako zdroj elektriny pre elektrickú sieť a výrobu obnoviteľného vodíka.

Budovanie FVE elektrární je možné v podstate na celom území VÚDP zohľadňujúc zásady ochrany poľnohospodárskej pôdy a stav existujúcej infraštruktúry. Najvhodnejšie sú plochy v priemyselných oblastiach (strechy budov, skládky, parkoviská, betónové alebo inak upravené plochy, plochy ktoré sa nevyužívajú pre poľnohospodársku činnosť), oblasti s veľmi nízkou bonitou pôdy, ostatné plochy nevyužívané pre iné účely.

Využitie geotermálnej energie je efektívne hlavne v oblastiach, kde sa už geotermálna energia v súčasnosti využíva (Šaľa, Galanta a okolie) na výrobu tepla a výroba elektriny by bola doplnkovým využitím geotermálnej energie pričom výroba vodíka by slúžila hlavne na zvýšenie efektivity prevádzky takéhoto zdroja v čase prebytkov v sieti.

Výstavba nových obnoviteľných zdrojov energie na území VÚDP nezvyšuje uhlíkovú stopu výroby elektriny, prispieva k energetickej sebestačnosti daného územia a zvoleným výhodným mixom technológií a umiestnením aj k stabilite a odolnosti siete, čo je pre oblasť VÚDP dôležité aj z hľadiska jeho priemyselného zamerania.

Množstvo OZE potrebných na dodanie dostatočného množstva energie sa môže výrazne líšiť v závislosti od viacerých faktorov počnúc kapacitným faktorom OZE, technických parametrov prevádzky alebo spôsobom prevádzkovania elektrolyzéro. Všeobecne však kapacita OZE bude prevyšovať kapacitu elektrolyzéro. Príklad pomeru veternej a solárnej výrobnnej kapacity a elektrolyzéro môže byť 2:1:1.

Technické scenáre (konzervatívny, stredný a ambiciózny) reflektujú rôzne úrovne rozvoja infraštruktúry a dopytu po vodíku. Zohľadňujú potreby dopravy, priemyslu, požiadavky na elektrolyzu a spotrebu vody, ako aj odhadované investičné náklady potrebné na realizáciu jednotlivých scenárov.

VÚDP 2030	Dopyt v doprave	Dopyt v priemysle	Výroba vodíka v SR	Elektrolýza v SR	Spotreba Vody
Scenár	[t/ rok]	[t/ rok]	[t/ rok]	[MW]	[m ³ / deň]
Konzervatívny	733	0	733	16	36
Stredný	1 958	7 500	2 904	26	143
Ambiciózny	2 063	7 500	3 009	27	148

Tabuľka 98: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka

Zdroj: stengl a.s.

Investičné náklady na výrobu vodíka sa líšia v závislosti od scenára rozvoja infraštruktúry a dopytu. Konzervatívny scenár zahŕňa základné investície vo výške EUR 40 200 000, stredný scenár rozširuje infraštruktúru s nákladmi EUR 62 700 000 a ambiciózny scenár predpokladá komplexnú integráciu vodíkových technológií s investíciami až EUR 64 800 000. Tieto náklady pokrývajú elektrolyzéry, infraštruktúru a technológie potrebné na zabezpečenie efektívnej výroby vodíka. Okrem infraštruktúry na výrobu vodíka je potrebné zabezpečiť aj adekvátne zdroje elektrickej energie a infraštruktúru na efektívnu distribúciu vodíka.

VÚDP 2030	Potrebné investičné náklady - Výroba vodíka	Potrebné investičné náklady - Čerpacie stanice
	[EUR]	[EUR]
Konzervatívny	40 200 000	15 000 000 – 25 000 000
Stredný	62 700 000	33 000 000 – 55 000 000

Ambiciózny	64 800 000	36 000 000 – 60 000 000

Tabuľka 99: Investičné náklady na výrobu vodíka na vodíkové čerpace stanice VÚDP

Zdroj: stengl a.s.

VÚDP e 2030	Potrebné investičné náklady - Autobusy/hromadná doprava	Potrebné investičné náklady - Ťažké úžitkové vozidla
Konzervatívny	9 500 000 – 12 350 000 EUR	20 800 000 – 31 200 000 EUR
Stredný	54 500 000 – 70 850 000 EUR	42 000 000 – 63 000 000 EUR
Ambiciózny	65 000 000 – 84 500 000 EUR	42 000 000 – 63 000 000 EUR

Tabuľka 100: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel VÚDP

Zdroj: stengl a.s.

Dostupnosť vodných zdrojov nepredstavuje žiadne obmedzenie, keďže VÚDP je dobre zásobená Váhom a jeho prítokmi, prípadne Moravou a jej prítokmi na západe územia. Oblasť je charakterizovaná aj dobrou dostupnosťou podzemnej vody. V tomto regióne sa nachádza infraštruktúra schopná zabezpečiť potrebné množstvo čistej vody pre udržateľnú a efektívnu výrobu vodíka. Pre výrobu vodíka je postačujúce aj využitie technologických a odpadových vôd, kde sú tieto vody po úprave opätovne využívané v elektrolytických procesoch. Takýto prístup nielen znižuje záťaž na primárne vodné zdroje, ale prispieva aj k udržateľnej cirkulárnej ekonomike.

Ďalším dôležitým faktorom je integrácia vodíkovej výroby do existujúcich priemyselných areálov, čím sa minimalizujú náklady na distribúciu a logistiku. Kľúčovým cieľom je vytváranie ucelených vodíkových reťazcov, pričom sa maximalizuje ekonomická návratnosť environmentálne prínosy. V oblasti VÚDP sa nachádza množstvo priemyselných, logistických a výrobných podnikov v ktorých je veľký potenciál na využitie vodíka.

Centralizovaná výroba vodíka pre dopravu, najmä z existujúcich obnoviteľných zdrojov energie, ako sú vodné elektrárne, ktoré môžu ťažiť z rýchleho nasadenia do roku 2027. Využitím prebytkovej elektriny z týchto zdrojov je možné zabezpečiť stabilnú a ekologickú produkciu vodíka prostredníctvom elektrolyzy. Takáto centralizácia umožňuje optimalizovať výrobné náklady, znižovať straty pri distribúcii a zabezpečiť konzistentnú kvalitu vodíka pre čerpace stanice

5.4.1.5 Zdroje financovania

Možnosti financovania vodíkových projektov sú detailne zmapované v kapitole (3.66 - Zmapovanie dostupných finančných nástrojov podpory investičných projektov). Ponuka finančných nástrojov a mechanizmov umožňuje podporu všetkých častí hodnotového reťazca vodíka od výskumu a vývoja cez výrobu, skladovanie, distribúciu až po využitie v priemysle, doprave a energetike, ako aj na vzdelávanie a osvetu.

Pre územie VÚDP je možné využiť všetky formy verejných zdrojov platných pre celú Slovenskú republiku, keďže región Trnavského a časti Nitrianskeho kraja nie sú vylúčené z

oprávnenosti prijímania podpory a realizácie projektov. Zároveň však región VÚDP neumožňuje využívanie osobitných regionálnych programov financovania určených pre transformujúce sa a uholné regióny. Možnosťou pre VÚDP je zapojenie sa do medzinárodných (cezhraničných) projektov spolu s partnermi zo susediacich krajín pri ktorých je možnosť osobitného čerpania rôznych foriem finančnej podpory smerujúcej k budovaniu cezhraničných spojení a spoluprác v oblasti vodíkovej infraštruktúry a budovania vodíkových reťazcov.

Na území VÚDP vďaka svojej polohe a rozvinutej infraštruktúre sú prítomné mnohé investície realizované súkromným kapitálom, preto ak budú vytvorené vhodné podmienky pre rozvoj jednotlivých zložiek vodíkovej reťazca, súkromné investície budú hlavnou hybnou silou financovania vodíkových technológií na území VÚDP.

5.4.1.6 Vplyv na sociálne a ekonomické indikátory a spoločenské prínosy projektu

Rozvoj výroby a spotreby vodíka, a s tým spojené aj budovanie OZE, bude mať pozitívny na zamestnanosť. Podľa údajov z Úradu práce, sociálnych vecí a rodiny je miera evidovanej nezamestnanosti v Trnavskom kraji najnižšie na Slovensku (viď tabuľka nižšie) ale vodíkové údolie v navrhovanom regióne pomôže znížiť závislosť na automobilovom priemysle a umožní diverzifikáciu do novej oblasti.

Na území VÚDP žije 489 tis. obyvateľov, v Nitrianskom a Trnavskom kraji celkovo až 1,24 mil. obyvateľov. Územie patrí k hustejšie osídleným regiónom (144 obyv./km²). Trnavský kraj patrí k hustejšie osídleným (137 obyv./km²), Nitriansky kraj je pod celoštátnym priemerom (105 obyv./km²). Trnavský kraj dosahuje štvrtý najvyšší podiel na regionálnej hrubej pridanej hodnote Slovenska (12 859 mil. EUR, 11,47 %), v regionálnom HDP v prepočte na obyvateľa dosahuje nadpriemerné výsledky (110 % priemeru SR)²²⁶.

Kraj	Ekonomicky aktívne obyvateľstvo	Počet disponibilných uchádzačov o zamestnanie	Miera evidovanej nezamestnanosti (v %)
Trnavský kraj	290,239	9,672	3.33
Nitriansky kraj	348,815	12 338	3,54
Slovensko	2,787,314	135,443	4.86

²²⁶ ŠÚ SR / DataCube - Hrubá pridaná hodnota [nu3007rr]
https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/VBD_SK_WIN/nu3007rr/v_nu3007rr_00_00_00_sk

Vzdelávanie zabezpečuje komplexná sieť regionálneho školstva, v rámci nej sú tu viaceré stredné odborné a priemyselné školy zamerané na elektrotechniku, energetiku, IT, mechatroniku, strojárstvo, dopravu a logistiku. Vysoké školstvo sa koncentruje v Trnave (Trnavská univerzita, Univerzita sv. Cyrila a Metoda, Slovenská technická univerzita – Materiálovo-technická fakulta). Nachádzajú sa tu aj pracoviská ďalších domácich súkromných vysokých škôl. V území sú pracoviská výskumných inštitúcií SAV, rezortných výskumných organizácií a súkromných subjektov.

V spolupráci priemyslu s výskumno-vývojovými inštitúciami, je potenciál vytvárania a rozvoj inovácií zameraných na vývoj nových vodíkových technológií, vzniku nových firiem v oblasti vodíkových technológií a výroby komponentov pre vodíkový priemysel.

Chemická fabrika Duslo so svojim kľúčovým pôsobením v chemickom odvetví významne prispieva k inováciám v regióne a jeho dlhoročné skúsenosti s vodíkom a vodíkovými technológiami vytvárajú veľký potenciál pre rozvoj vodíkovej ekonomiky.

Ďalšie sektory ktoré významne môžu prispieť k výskumno-vývojovým aktivitám v regióne VÚDP sú:

- Automobilový priemysel a jeho dodávateľský reťazec (PSA, Porsche)
- Výroba cementu (Ladce) a energetické spracovanie odpadu
- Výskum a vývoj v oblasti jadrovej energetiky (VUJE)
- Výroba zariadení na vykurovanie domácností
- Logistické centrá (Amazon)

Z rozvoja vodíkovej ekonomiky môžu profitovať mnohé existujúce alebo novovzniknuté spoločnosti operujúce v oblasti vodíkových technológií ale tiež stavebné, inžinierske alebo iné podniky.

Hlavným nositeľom myšlienky a autoritou pre rozvoj vodíkového údolia je úrad Trnavského samosprávneho kraja spolu s Trnavskou univerzitou, mestom Trnava a ďalšími samosprávami vo VÚDP.

Vodíkové údolie prinesie v Trnavskom kraji redukciu emisií CO₂ v priemysle aj doprave. Negatívne dopady na životné prostredie a vodné zdroje budú len minimálne.

Ušetrené emisie	Spotreba obnoviteľného vodíka	Emisie z porovnateľného fosílného paliva	Ušetrené CO ₂	
	[t/rok]	[t/rok]	Min/Max [t/rok]	
Konzervatívny	1 739	19 617	13 732	19 617

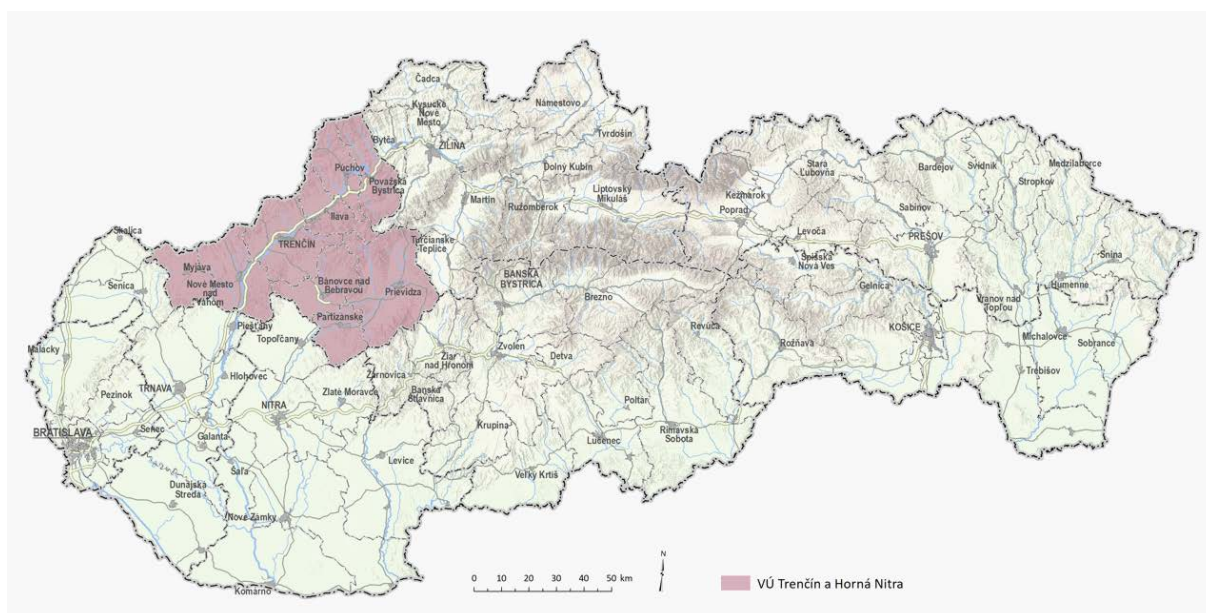
Stredný	9 463	106 744	74 720	106 744
Ambiciózny	9 568	107 924	75 547	107 924

Tabuľka 102: Predpoklad spotreby obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO₂ VÚ Podunajsko 2030

Zdroj: stengl a.s.

5.5 Vodíkové údolie Trenčín a horná Nitra

Vodíkové údolie Trenčín a horná Nitra (TVÚ) sa nachádza v severozápadnej časti Slovenska a pozostáva z dvoch hlavných centier v Trenčianskom a Nitrianskom kraji. Prvé jadro sa nachádza v oblasti stredného Považia a zahŕňa okresy Trenčín, Nové Mesto nad Váhom, Ilava, Púchov a Považská Bystrica, s presahom do okresu Myjava. Druhé rozvojové jadro je situované na hornej Nitre, zahŕňajúc okresy Prievidza a Partizánske, s presahom do okresu Bánovce nad Bebravou.



Obrázok 86: Trenčianske vodíkové údolie

Zdroj: stengl a.s.

Stredné Považie

Západná časť stredného Považia, s presahom po hranicu s Českou republikou v oblasti Myjavy a Starej Turej, sa vyznačuje priaznivými veternými podmienkami, ktoré umožňujú rozvoj výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov.

Dopravná infraštruktúra regiónu je založená na multimodálnych koridoroch údolím Váhu, vrátane diaľnice D1, rýchlostných ciest a elektrifikovaných železničných tratí. Tieto dopravné cesty sú súčasťou základnej siete transeurópskych dopravných koridorov (TEN-T).

Horná Nitra

Región hornej Nitry bol historicky banským uhoľným regiónom so zásobami hnedého uhlia. Surovina zohrávala v minulom storočí významnú úlohu v energetike a pri rozvoji chemického priemyslu a významne prispievala k hospodárskemu rozvoju regiónu, ale aj k environmentálnym záťažiam.

Koncom roka 2023 územie stratilo kapacity tepelnej elektrárne Nováky (ENO) s inštalovaným výkonom 266 MWe (6 % výkonu SE), lokalizovanej v katastrálnom území obce Zemianske Kostolany, ktorá bola pilierom jeho energetickej infraštruktúry. ENO spaľovala hnedé uhlie ťažené na Slovensku. Z odpadového tepla sa vykurovali mestá Prievidza, Nováky, obec Zemianske Kostolany a príslušné priemyselné podniky. ENO bola významným zdrojom emisií skleníkových plynov na Slovensku (1,5 – 1,7 mil. t eCO₂, približne 3,6 % emisií skleníkových plynov na Slovensku). Ako zdroj tepla s cieľom minimalizovať uhlíkovú stopu sa zvolil zemný plyn ako zdroj tepelnej energie. Opatrenie viedlo k poklesu emisií skleníkových plynov, no nedosiahlo úroveň dekarbonizácie, ktorú je možné dosiahnuť prostredníctvom využitia elektrickej energie v kombinácii s tepelnými čerpadlami alebo implementáciou obnoviteľného/nízkoemisného vodíka v kogeneračných zariadeniach na báze paroplynového cyklu.

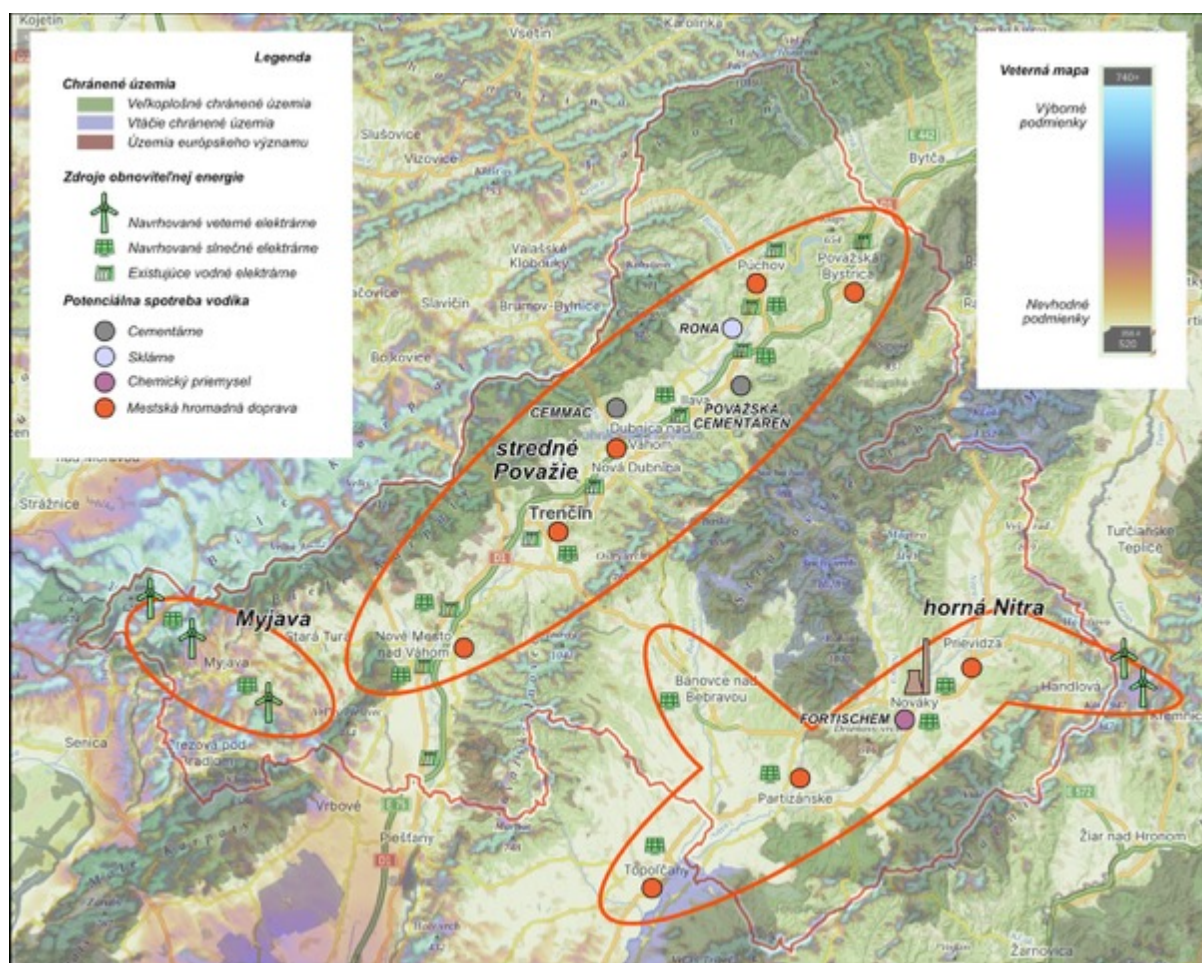
Región Hornej Nitry je prepojený cestnou infraštruktúrou nadregionálneho významu. V smere od Trenčína po Žiar nad Hronom prechádza cez tento región cesta I. triedy č 9, ktorá je predmetom plánovanej modernizácie s cieľom jej transformácie na rýchlostnú cestu R2. V severojužnom smere je región prepojený cestou I. triedy, ktorá spája región Turiec s Nitrou.

Cestné prepojenie medzi mestami Prievidza a Nitra vedie cez viaceré obce a v súčasnosti čelí výraznému dopravnému preťaženiu. Existujúca infraštruktúra neposkytuje dostatočný komfort ani kapacitu pre efektívnu obsluhu tohto dopravného koridoru. Okrem cestnej dopravy je v regióne prítomný aj neelektrifikovaný železničný koridor.

Región hornej Nitry je zaradený medzi tri transformujúce sa regióny Slovenska, ktoré sú podporované z Fondu spravodlivej transformácie. Dôvodom je vysoká miera ekonomickej a energetickej závislosti od uhoľnej energetiky a súvisiacej priemyselnej činnosti s vysokou produkciou skleníkových plynov.

5.5.1.1 Potenciálne zdroje energie a výroba vodíka

Nasledujúca mapa uvádza potenciálne oblasti pre výrobu vodíka z obnoviteľných zdrojov, ako aj centrá jeho spotreby.



Obrázok 87: Rozvojové centrá Trenčianskeho vodíkového údolia

Zdroj: NVAS

Rozhodovanie o umiestnení nových obnoviteľných zdrojov energie bude výrazne závisieť od stanovísk dotknutých miest a obcí, kde by sa mali tieto zariadenia realizovať. Dôležitou podmienkou je, aby miestni obyvatelia mali z týchto projektov priamy prospech, čo zabezpečí ich podporu a elimináciu potenciálnych obmedzení pri budovaní potrebnej infraštruktúry pre ekologizáciu dopravy a priemyslu.

Energetické ukazovatele vodíkového údolia

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté vybrané základné energetické ukazovatele Trenčianskeho kraja.

Energetický ukazovateľ / rok	2019	2020	2021	2022	2023
Spotreba tepla [GJ]	6 141 393	6 015 178	5 517 908	5 849 092	5 288 753
Spotreba elektriny [MWh]	1 876 576	1 630 509	1 675 660	1 704 313	1 646 158
Spotreba motorovej nafty [t]	60 883	57 525	53 992	53 169	50 801

Spotreba zemného plynu [1000 m³]	211 912	207 261	204 121	200 852	173 296

Tabuľka 103: Energetické ukazovatele Trenčianskeho kraja 2019 – 2023

Zdroj: Štatistický úrad SR (Spotreba palív, elektriny, tepla - en3001rr_data)

Vývoj uvedených indikátorov naznačuje pokles spotreby tepla, elektriny, motorovej nafty a zemného plynu v Trenčianskom kraji, čo možno čiastočne vysvetliť racionalizáciou využívania energetických zdrojov.

Stredné Považie

Sústava vodných elektrární na strednom Považí disponuje značným potenciálom pre spoľahlivú a efektívnu výrobu obnoviteľného vodíka (VE Nosice, VE Dolné Kočkovce, VE Ladce, VE Ilava, VE Dubnica, VE Trenčín, VE Kostolná, VE Nové Mesto nad Váhom a VE Horná Streda). Inštalovaný výkon predstavuje spolu 241,9 MW. Potenciál výroby energie z obnoviteľných zdrojov pri kapacitnom faktore 0,25 až 0,4 je 530 – 848 GWh elektrickej energie za rok. Pri využití 10 % tejto energie na výrobu vodíka by bolo možné vyrobiť 1 590 až 2 520 t obnoviteľného vodíka nebiologického pôvodu ročne. Podľa prechodného ustanovenia Delegovaného nariadenia Komisie (EÚ) 2023/1184²²⁷ je možné do konca roku 2027 vybudovať a prevádzkovať elektrolyzér pri existujúcom OZE až do roku 2038. Pre elektrolyzéry spustené do prevádzky po 1.1.2028 platí podmienka nového zariadenia OZE ako zdroja elektriny pre elektrolyzér (podľa princípu doplnkovosti). Preto je nákladovo efektívne vybudovať a spustiť elektrolyzér do prevádzky na Vážskej kaskáde do konca roku 2027, ktorý by pokryl dopyt bezemisnej

Pre vodíkové údolie je veľkou šancou získať obnoviteľný vodík z kombinovanej veternej a slnečnej farmy v okolí Myjavy a Starej Turej. Táto oblasť má výborné podmienky na výrobu cenovo dostupnej obnoviteľnej energie. Výrobné charakteristiky veternej a slnečnej energie sa čiastočne dopĺňajú a dokážu efektívne zvýšiť vyťaženosť elektrolyzéra počas roka. Výrobné náklady (LCOE) z 150 MW kombinovanej farmy v pomere 2:1 inštalovanej kapacity vetra (16 veterných turbín) a fotovoltického zdroja elektriny môže klesnúť pod 50 EUR / MWh čo pri správne nastavenej dotačnej politike štátu dáva predpoklad na výrobu cenovo dostupného vodíka pod 6 EUR na 1 kg. Inštalovaný výkon 150 MW kombinovanej elektrárne v okolí Myjavy s 50 MW elektrolyzérom má potenciál vyrobiť 4 500 – 5 000 t vodíka ročne.

Odporúčania pre stredné Považie:

- Využiť časť vyrobenej elektriny z vodných elektrární na Vážskej kaskáde a do konca roku 2027 spustiť do prevádzky elektrolyzér s kapacitou najmenej 2 MW pre pokrytie potrieb verejnej aj nákladnej dopravy na strednom Považí špecifikovanej nižšie v scenári WAM

²²⁷ [Delegované nariadenie](#) Komisie (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky Únie, ktorou sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu

- Zahájiť prípravu projektu na vybudovanie kombinovaného zdroja OZE (vietor, slnko) pre výrobu elektrickej energie v okolí Myjavy pre výrobu obnoviteľného vodíka v mierke desiatok MW po roku 2030 alebo pre ambiciózny scenár do roku 2030.

Horná Nitra

Z hľadiska obnoviteľných zdrojov energie región hornej Nitry čelí viacerým obmedzeniam. Geografické, klimatické a ochranné limity územia zužujú potenciál pre rozvoj veterných elektrární. Rieka Nitra neposkytuje dostatočný hydroenergetický potenciál na významnejšiu výrobu elektrickej energie z vodných zdrojov. Tieto faktory negatívne ovplyvňujú možnosti výroby obnoviteľného vodíka z nebiologických zdrojov priamo pri spotrebe.

Odporúčania pre hornú Nitru:

- Využiť výrobný potenciál vodíka v okolí Myjavy a Vážskej kaskády a dovážať vodík pre potreby sektora dopravy na hornú Nitru. Prepravné náklady predražia vodíka asi o 1-2 EUR v porovnaní s lokálnym využitím na strednom Považí.
- Vybudovať kombinovaný zdroj obnoviteľnej energie na báze vetra a slnka s elektrolyzérom pri obci Kunešov pri Kremnici (lokalita má porovnateľné prírodné podmienky ako lokalita pri Myjave, má však horšiu dostupnosť a obmedzené zdroje vody).
- Využiť existujúcu výrobu vodíka ako vedľajšieho produktu pri výrobe chlóru zo soľanky v závode Fortischem v Novákoch. V súčasnosti 2 elektrolyzéry vyrobia ročne 950 t vodíka, ktorý sa využíva v závode na výrobu procesného tepla. Vyrobený vodík sa nepovažuje za obnoviteľný, nakoľko elektrina do elektrolyzérů prúdi zo siete. V prípade vybudovania FVE v území, ktorá by dodala 10 % obnoviteľnej energie elektrolyzérom, by táto časť vodíka sa považovala za RFNBO a bolo by možné ho využívať v bezemisnej doprave. 400 t vodíka dokáže zásobovať 40 12m autobusov mestskej alebo prímestskej dopravy na hornej Nitre. Cena takto vyrobeného vodíka by mohla byť na parite s fosílnymi palivami a výroba vodíka by sa mohla spustiť do 2 rokov od začiatku výstavby fotovoltického zdroja, čerpacej stanice a potrebných úprav pri výrobe a vyvedení vodíka k čerpacej stanici pri Fortischeme.

Odporúčanie č. 3 je z časového, technického aj ekonomického hľadiska preferované.

Potenciálne OZE pre výrobu vodíka	do roku 2027 (MW)	po roku 2027 (MW)
Vážska kaskáda - vodná energia	2	24
Veterný a fotovoltický park Myjava	0	150
Veterný a fotovoltický park Kunešov	0	>50
FVE Fortischem	2	10

Tabuľka 104 : Potenciál obnoviteľných zdrojov elektrickej energie pre výrobu vodíka vo TVÚ

Zdroj: stengl a.s.

Trenčiansky kraj disponuje výborným potenciálom pre projekty strednej veľkosti pri Vážskej kaskáde ako aj existujúcou výrobou vodíka v závode Fortischeme, kde by sa časť vodíka ako

vedľajšie produktu pri výrobe chlóru dala kategorizovať ako RFNBO, LCH a ostatný fosílny vodík.

Obnoviteľný vodík (RFNBO)	V území je vybudovaná kaskáda vodných elektrární s výborným potenciálom na výrobu vodíka v kategórii RFNBO a pripravujú sa projekty pre produkciu vodíka zo solárnych elektrární.
Nízkouhlíkový vodík (LCH)	V území sa nachádza existujúca vedľajšia výroba vodíka v závode Fortischem, kde je možná výroba RFNBO, LCH aj fosílného vodíka.
Fosílny vodík	Na území sa nachádza výroba fosílného vodíka len v závode Fortischem v Novákoch.

Tabuľka 105: Súčasný stav vodíkoveho hospodárstva v Trenčianskom kraji

Zdroj: stengl, a.s.

5.5.1.2 Aplikácie a využitie vodíka

Druhy dopytu

Druhy dopytu je možné rozdeliť podľa sektorov a odhadovaného časového horizontu nasadenia nových vodíkových technológií. Podľa sektorov hospodárstva je najjednoduchšie dodávať obnoviteľný vodík tam, kde sa doposiaľ využíva. V trenčianskom regióne sú ťažiskovými priemyselnými odvetviami, strojárstvo, ťažobný priemysel, výroba stavebných hmôt, palív a energetika.

Aktuálne v TVÚ okrem spoločnosti Fortischem neexistuje dopyt po vodíku. Navýšenie odberu vodíka do roku 2030 sa týka len nových typov aplikácií, kde sa sleduje hlavne pokles emisií z priemyselných činností a dopravy za podmienky udržania konkurencieschopnosti súčasného priemyslu. Do roku 2030 sa nepočíta s nasadením väčších objemov vodíka v tepelnej energetike, avšak demonštračné projekty v tomto sektore sú vítané.

Kvantifikácia súčasného dopytu

Aktuálny dopyt po vodíku prichádza výlučne z priemyselného sektora. Spoločnosť Fortischem a.s., sídliaca v Novákoch, sa špecializuje na výrobu hydroxidu sodného, chlóru a vodíka prostredníctvom membránovej elektrolyzy chloridu sodného. Tento proces nahradil ortuťovú elektrolyzu, ktorá bola ukončená v decembri 2017. Vodík sa vyrába ako vedľajší produktu pri výrobe chlóru zo soľanky. Aktuálne 2 elektrolyzéry vyrobia ročne 900 až 1 000 t vodíka, ktorý sa využíva na mieste na výrobu procesného tepla.

Potenciálny vývoj dopytu

Potenciál využitia vodíka na hornom Považí so svojim cementárenským a sklárskym priemyslom bude ku koncu dekády narastať. V prípade investičných rozhodnutí využiť odpadové plyny z výroby slinku v Považskej cementárni a cementárni Cemmac na výrobu

syntetických palív na báze recyklovaných uhl'ovodíkových palív vznikne atraktívna obchodná príležitosť s výrazným dopadom na rozvoj regiónu stredného Považia. Recykláciou odpadových plynov s využitím existujúcich technológií, napr. Fischer-Tropsch syntézy sa z nákladovo náročného zachytu CO₂ môže stať zdroj ekonomicky užitočného uhlíka, kde výstupom bude palivo Európskou úniou uznané pri plnení klimatických cieľov v letectve a námornej doprave. Pre výrobu palív z odpadu je okrem CO₂ potrebný obnoviteľný vodík.

V roku 2023 Cemmac vyprodukoval 278 483 t a Považská cementáreň 480 887 t skleníkových plynov najmä v podobe CO₂²²⁸.

Na výrobu 1 t syntetického leteckého paliva (SAF, e-kerosene) prostredníctvom Fischer-Tropsch syntézy alebo Power-to-Liquid (PtL) technológie sú potrebné nasledujúce vstupy:

- CO₂: približne 2,9 tony (zachyteného CO₂)
- Vodík (H₂): približne 0,18 – 0,20 t

Teoreticky, ak by sa zachytilo 75 % CO₂ pri výrobe slinku v oboch závodoch, potom na základe objemu emisií z roku 2023 by bolo možné vyrobiť až 196 000 t leteckého paliva, čo pri súčasnej priemernej cene syntetického leteckého paliva (SAF) na európskom trhu 2 700 EUR za tonu by znamenalo príjem 530 mil. EUR ročne. Za predpokladu, že pri zvyšujúcej sa ponuke leteckého paliva na trhu sa cena SAF zníži, ale nevyrovná fosílnemu leteckému palivu s aktuálnou cenou približne 800 EUR za tonu, ide nie len o atraktívnu príležitosť ako radikálne znížiť emisie CO₂ pri výrobe cementu ale hlavne vytvoriť novú podnikateľskú príležitosť.

V Sklárskom priemysle môže byť dopyt po čistom vodíku generovaný prechodom výroby procesného tepla zo zemného plynu na vodík v závode RONA na výrobu nápojového skla so sídlom v Lednických Rovniach. To si vyžaduje úpravu pecí tak, aby boli schopné pracovať s vodnou parou, ktorá vzniká pri horení vodíka. Ďalším nevyhnutným predpokladom je pokles ceny vodíka maximálne na 1,5 násobok k parite zemného plynu a dostatok vodíka počas celého roka bez fluktuácie dodávok. Tento stav je možné doceliť len pripojením prevádzky na vodíkové potrubie. Prevádzka v závode RONA vyprodukovala v roku 2023 25 488 t emisií skleníkových plynov. Plné nahradenie zemného plynu vodíkom by si vyžiadalo 3 000 - 4 000 t vodíka ročne. Takéto množstvo by bolo možné vyrobiť z elektrolyzéra s výkonom 40 MW napájaného elektrickou energiou z Vážskej kaskády. Stredná hodnota potenciálnej spotreby vodíka (3 500 t) v sklárni RONA je zahrnutá v ambicióznom scenári pre TVÚ²²⁹.

Potenciálny dopyt po vodíku v sektore dopravy bude sústredený vo verejnej autobusovej doprave, ľahkej aj ťažkej nákladnej doprave a okrajovo v železničnej doprave na hornej Nitre.

²²⁸ https://climate.ec.europa.eu/document/download/ebb2c20e-8737-4a73-b6ba-a4b7e78ecc01_en?filename=veri

²²⁹ Vlastné výpočty NVAS

Mestská hromadná doprava na hornej Nitre

SAD Prievidza (patriaca do skupiny Transdev) vykonáva dopravu vo verejnom záujme od začiatku svojho vzniku. Má vydané licencie na prevádzku MHD v mestách Prievidza, Partizánske, Bojnice a Bánovce nad Bebravou. Momentálnu dopravnú sieť tvorí 14 liniek so 40 autobusmi. Obnova autobusov prebieha práve v tomto období, čo znamená že ďalšia vlna obnovy prebehne o 7 až 12 rokov. Z tohto dôvodu potenciál nasadenie vodíkových autobusov na hornej Nitre bude do roku 2030 pravdepodobne limitovaný.

Kategória	VÚ Trenčín a Horná Nitra		
	TN	Okolie TN	VÚ Celkom
	(BN, IL, MY, NM, PE, PB, PD, PU)		
Osobné autá M1	55 625	223 809	279 434
Nákladné autá do 3.5t N1	6 719	25 836	32 555
M1 a N1 Spolu	62 344	249 645	311 989
Nákladné autá N2/N3 Spolu	1 224	3 187	4 411
Autobus mestský	5	71	76
Autobus prímestský	277	255	532
Autobus diaľkový	81	230	311
Autobusy celkom	363	556	919

Tabuľka 106: Počty registrovaných vozidiel vo VÚ Trenčín a Horná Nitra

Zdroj: MV SR - Celkový počet evidovaných vozidiel v SR 31.12.2024

Mestská hromadná doprava na strednom Považí

Mestská hromadná doprava v meste Trenčín je zabezpečovaná autobusmi prostredníctvom zmluvného dopravcu TD Transport (Transdev). Vo svojom vozovom parku má 43 autobusov značky SOR, konkrétne 39 kusov modelu NSG 12 a 4 kusy modelu NSG 18. Všetky tieto vozidlá boli vyrobené a zaradené do prevádzky v roku 2022. Tu tiež nemožno uvažovať o širšej modernizácii vozového parku bezemisnými vodíkovými autobusmi do roku 2030.

Mestská hromadná doprava v Púchove je prevádzkovaná spoločnosťou Autobusová doprava Púchov, a.s., ktorá je od roku 2021 úplne vlastnená mestom Púchov. K 23. novembru 2024 evidovala spoločnosť celkovo 24 autobusov. Podľa dostupných údajov z apríla 2023 prevádzkuje Dopravný podnik mesta Považská Bystrica (DPMPB) 26 autobusov rôznych typov. Okrem toho spoločnosť Mestská dopravná spoločnosť (MDS) prevádzkuje linku 8 s tromi autobusmi. Celkovo je teda v rámci mestskej hromadnej dopravy v Považskej Bystrici evidovaných 29 autobusov.

MHD Púchov a Považská Bystrica sú vhodnými kandidátmi na obnovu vozového parku bezemisnými vozidlami vodíkového pohonu. Odporúčame výmenu flotíl v počte najmenej 10

FCEV autobusov v každom dopravnom podniku za účelom hospodárneho využitia čerpaciej infraštruktúry.

Prímestská autobusová doprava

Trenčiansky samosprávny kraj (TSK) je objednávatelom dopravných služieb prímestskej autobusovej dopravy v rámci svojho územia. Na základe zmlúv s dopravcami zabezpečuje dopravnú obsluhu pre obyvateľov kraja. Pravidelná autobusová doprava vykonávaná dopravcami SAD Trenčín, a.s. a SAD Prievidza, a.s. zabezpečuje plošnú obsluhu územia s počtom 427 autobusov v prímestskej autobusovej doprave (máj 2022)²³⁰.

Trenčiansky samosprávny kraj aktívne pracuje na príprave pilotného projektu nasadenia najmenej 10 vodíkových autobusov na hornej Nitre. Podľa dostupných údajov kraj hľadá dodávateľa obnoviteľného vodíka. Konzervatívny scenár počíta len so 16 vodíkovými autobusmi na prímestských linkách do roku 2030, základný s obmenou 89 autobusov a ambiciózny scenár počíta s obmenou 106 autobusov za vodíkové.

Vodíkové vozidlá TVÚ 2030	Autobusy	Vozidlá N2 a N3	Vozidlá M1 a N1	Vlaky
Konzervatívny	16	39	10 - 40	0
Stredný	89	79	376	12
Ambiciózny	106	79	376	24

Tabuľka 107: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo TVÚ

Zdroj: stengl a.s.

V regióne existuje potenciál na dekarbonizáciu železničnej dopravy na neelektrifikovanom železničnom koridore. Z hľadiska dekarbonizácie dopravnej infraštruktúry by modernizácia železničného koridoru a zavedenie vodíkových vlakov prispelo k zníženiu uhlíkovej stopy v sektore verejnej dopravy.

Potenciálny dopyt po obnoviteľnou vodíku vo TVÚ bude závisieť od toho, akým spôsobom sa bude rozvíjať vodíkový ekosystém. Podľa konzervatívneho a základného sa predpokladá, že nepribudne žiadna priemyselná výroba založená na obnoviteľnou vodíku, avšak ambiciózny scenár reflektuje uplatnenie vodíka v sklárskom priemysle v sklárňach RONA pri bezemisnom spracovaní skla pre domácnosť, hotely a reštaurácie.

TVÚ 2030	Dopyt v doprave	Dopyt v priemysle	Výroba vodíka v SR	Elektrolýza v SR	Spotreba vody
Scenár	[t/rok]	[t/ rok]	[t/rok]	[MW]	[m ³ na deň]
Konzervatívny	558	0	558	5	28

²³⁰ https://www.tsk.sk/doprava.html?page_id=115

Stredný	1 947	0	1 947	16	96
Ambiciózny	2 462	0	2 462	20	121

Tabuľka 108: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka

Zdroj: stengl a.s.

5.5.1.3 Vodíková infraštruktúra

Do roku 2030 bude miestna spotreba vodíka plne pokrytá lokálnou výrobou. V prípade, ak by sa naštartovala výroba recyklovaných uhl'ovodíkových palív v oboch cementárňach, bolo by potrebné dodať 90 000 t obnoviteľného vodíka ročne a pre tento účel vybudovať distribučný vodíkovod, ako naznačujú plány SPP-D (kapitola 4.5.2.2.4 - Príprava SPP-distribúcie na vodík).

Veľkokapacitné uskladnenie vodíka v geologických štruktúrach v Trenčianskom kraji je možné skúmať vo vyťažených ložiskách hnedého uhlia. Bude potrebné skúmať tesnosť ložísk a chemické reakcie, ktoré by prebiehali v podloží s vodíkom. Predpokladá sa, že takto uskladnený a vyťažený vodík nebude dosahovať chemickú čistotu vhodnú na priame použitie v doprave, ale bude vhodný pre kombinovanú výrobu elektriny a tepla paroplynovým cyklom.

Existujúca infraštruktúra a čerpacie stanice

V Trenčianskom kraji sa nenachádza aktuálne žiadna stacionárna vodíková čerpacia stanica. Prvá by mohla vzniknúť v Novákoch zásobovaná lokálne z vedľajšej výroby vodíka vo Fortischeme bez potreby prevozu pre potreby 10 autobusov regionálnej dopravy.

5.5.1.4 Technické parametre

Investičné náklady na výrobu vodíka sa líšia v závislosti od scenára rozvoja infraštruktúry a dopytu. Konzervatívny scenár zahŕňa základné investície vo výške 13 100 000 EUR, stredný scenár rozširuje infraštruktúru s nákladmi 37 900 000 EUR a ambiciózny scenár predpokladá komplexnú integráciu vodíkových technológií vo verejnej doprave s investíciami až 46 500 000 EUR. Tieto náklady pokrývajú elektrolyzéry, distribučnú a čerpaciu infraštruktúru a autobusy na vodíkový pohon. Okrem infraštruktúry na výrobu vodíka je potrebné zabezpečiť aj adekvátne zdroje elektrickej energie.

TVÚ 2030	Potrebné investičné náklady - Výroba vodíka	Potrebné investičné náklady - Čerpacie stanice (minimum)
Konzervatívny	13 100 000 EUR	12 000 000 – 20 000 000 EUR
Stredný	37 900 000 EUR	33 000 000 – 55 000 000 EUR
Ambiciózny	46 500 000 EUR	42 000 000 – 70 000 000 EUR

Tabuľka 109: Investičné náklady na výrobu vodíka na vodíkovú čerpaciu stanicu

Zdroj: stengl a.s.

TVÚ 2030	Potrebné investičné náklady - Autobusy/hromadná doprava	Potrebné investičné náklady - Ťažké úžitkové vozidla
Konzervatívny	8 000 000 – 10 400 000 EUR	15 600 000 – 23 400 000 EUR
Stredný	44 500 000 – 55 850 000 EUR	31 600 000 – 47 400 000 EUR
Ambiciózny	53 000 000 – 68 900 000 EUR	31 600 000 – 47 400 000 EUR

Tabuľka 110: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel

Zdroj: stengl a.s.

Dostupnosť vodných zdrojov v oblasti TVÚ na strednom Považí nepredstavuje žiadne obmedzenie, keďže údolie je dobre zásobené vodnými tokmi Váh. Oblasť je charakterizovaná aj dobrou dostupnosťou podzemnej vody. V tomto regióne sa nachádza infraštruktúra schopná zabezpečiť potrebné množstvo čistej vody pre udržateľnú a efektívnu výrobu vodíka. Pre výrobu vodíka sú postačujúca aj technologické alebo odpadové vody, kde po úprave môžu byť využívané v elektrolytických procesoch. Takýto prístup nielen znižuje záťaž na primárne vodné zdroje, ale prispieva aj k udržateľnej cirkulárnej ekonomike.

Ďalším dôležitým faktorom je integrácia vodíkovej výroby do existujúcich priemyselných areálov, čím sa minimalizujú náklady na distribúciu a logistiku. Kľúčovým cieľom je vytváranie ucelených vodíkových reťazcov, pričom sa maximalizuje ekonomická návratnosť environmentálne prínosy. V oblasti TVÚ sa nachádza množstvo priemyselných, logistických a výrobných podnikov, v ktorých je veľký potenciál na využitie vodíka.

Centralizovaná výroba vodíka pre dopravu, najmä z existujúcich obnoviteľných zdrojov energie, ako sú vodné elektrárne na Vážskej kaskáde alebo využitím existujúceho elektrolyzéra Novákoch, môže byť zahájená do roku 2027. Využitím prebytkovej elektriny z týchto zdrojov je možné zabezpečiť stabilnú a ekologickú produkciu vodíka prostredníctvom elektrolýzy. Takáto centralizácia umožňuje optimalizovať výrobné náklady, znižovať straty pri distribúcii a zabezpečiť konzistentnú kvalitu vodíka pre čerpace stanice.

5.5.1.5 Zdroje financovania

Zdroje financovania pre TVÚ sú dostupné v rovnakej štruktúre ako ostatných vyššie opísaných údoliach. K nim sa na Hornej Nitre v okrese Prievidza a Partizánske pridávajú aj fondy na Spravodlivú transformáciu regiónu, podobne ako v Košickom vodíkovom údolí. Z nich sa plánuje podporiť nákup 10 vodíkových autobusov na regionálne linky na hornej Nitre ako uvádza nasledovná tabuľka. K nim je potrebný zdroj vodíka a čerpacia stanica, zatiaľ bez finančného krytia zámeru.

Projekt / nositeľ	Stručný opis a ciele projektu / zámeru	Rozpočet v EUR	Trvanie projektu harmonogram	Zdroj

Bezemisná regionálna autobusová doprava (Trenčiansky samosprávny kraj)	Nákup a prevádzka 10 FC autobusov na hornej Nitre v rámci dopravných služieb SAD Prievidza pre Trenčiansky samosprávny kraj	560 – 610 tis./bus	Od 2025 cca 10 rokov	Fond spravodlivej transformácie
Výroba RFNBO a LCH v závode Fortischem	Zabezpečenie RFNBO vodíka pre 10 regionálnych autobusov na hornej Nitre s potenciálom pre FC regionálne vlaky na trati Prievidza – Nitra - Nové Zámky	Nie je stanovený	Od 2026	Nie je zabezpečený
Čerpacia stanica vodíka pre verejnú a nákladnú dopravu	Výbudovanie vodíkovej čerpaciej stanice 350 bar pri AS v Novákoch pri závode Fortischem	Odhad 3 mil. EUR	Od roku 2026	Nie je zabezpečený

Tabuľka 111: Prehľad projektov a iniciatív v rámci TVÚ

Zdroj: stengl a.s.

5.5.1.6 Vplyv na sociálne a ekonomické indikátory a spoločenské prínosy projektu

Rozvoj výroby aj spotreby vodíka, a nepriamo aj budovanie obnoviteľných zdrojov energie, bude mať pozitívny vplyv na zamestnanosť. Podľa údajov z Úradu práce, sociálnych vecí a rodiny je percento evidovanej nezamestnanosti v Trenčianskom kraji pod priemerom Slovenska (viď tabuľka nižšie) ale vodíkové údolie v navrhovanom regióne pomôže vytvoriť nové pracovné príležitosti s vyššou kvalifikáciou.

Kraj	Ekonomicky aktívne obyvateľstvo	Počet disponibilných uchádzačov o zamestnanie	Miera evidovanej nezamestnanosti (v %)
Trenčiansky kraj	289,684	10,205	3,52
Nitriansky kraj	348,815	12 338	3,54
Slovensko	2,787,314	135,443	4,86

Tabuľka 112: Mesačná štatistika o počte a štruktúre uchádzačov o zamestnanie 11/2024

Zdroj: Úrad práce, sociálnych vecí a rodiny

Z rozvoja vodíkovej ekonomiky môžu profitovať mnohé existujúce alebo novovzniknuté spoločnosti operujúce v oblasti vodíkových technológií ale tiež stavebné, inžinierske alebo iné podniky.

Vzdelávanie a výskum

V území pôsobí Trenčianska univerzita A. Dubčeka, ktorá sa vo svojich výskumných aktivitách zameriava aj na aplikáciu vodíkových technológií v sklárskom a cementárskom priemysle. Univerzita disponuje odborným zázemím a kvalifikovanými expertmi, čo jej umožňuje efektívne sa podieľať na tvorbe a implementácii študijných programov zameraných na vzdelávanie budúcich odborníkov v oblasti vodíkových technológií. Tým prispieva k rozvoju

znalostnej ekonomiky a zabezpečeniu kvalifikovanej pracovnej sily pre rozvíjajúci sa vodíkový sektor.

Spolupráca na výskumno-vývojových projektoch s touto univerzitou predstavuje kľúčový faktor pre úspešnú realizáciu inovatívnych projektov v oblasti vodíka.

Vplyv na životné prostredie a verejné zdravie

Vodíkový ekosystém v rámci Trenčianskeho kraja je založený na udržateľných princípoch, ktoré minimalizujú negatívne dopady na životné prostredie. Tento ekosystém zahŕňa produkciu vodíka z obnoviteľných zdrojov energie, jeho distribúciou cez čerpace stanice, vodíkovú dopravu a spotrebu v priemyselných odvetviach.

Pri umiestňovaní nových obnoviteľných zdrojov energie sa dôsledne dbá na to, aby neboli situované v chránených územiach, územiach európskeho významu ani vtáčích územiach. V dôsledku toho sa nepredpokladá negatívny vplyv na predmet ochrany prírody.

Nároky na odber vody pre výrobu vodíka sú minimálne a postačujú existujúce miestne zásoby vody alebo využitie odpadovej vody. Tento prístup zabezpečuje efektívne nakladanie s vodnými zdrojmi bez negatívneho dopadu na ich dostupnosť pre obyvateľstvo.

Ekologizácia dopravy prostredníctvom vodíka prináša významné zdravotné benefity. Elimináciou emisií z výfukových plynov sa zlepšuje kvalita ovzdušia, čo pozitívne ovplyvňuje verejné zdravie. Navyše, vodíkové dopravné prostriedky produkujú nižší hluk a vibrácie, čo zvyšuje komfort cestujúcich a zlepšuje celkovú kvalitu mestského životného prostredia. Zavedenie vodíkovej dopravy bude mať citel'ný vplyv na zníženie skleníkových plynov vo verejnej doprave, ale najväčší benefit z vodíka môže mať zachytenie a využitie odpadových plynov pri výrobe cementu na syntézu recyklovaných uhľovodíkových palív.

V prípade, ak by sa zachytilo a využilo 75 % CO₂ vypúšťaného z oboch cementární na strednom Považí, potom by sa emisie skleníkových plynov znížili o 570 000 t. Na emisných povolenkách by cementárne ušetrili 45,5 mil. EUR pri cene povolenky EU ETS 80 EUR na tonu CO₂ eq.

Z dôvodu, že zachytávanie emisií a výroba syntetických palív bude možná až po detailnom preskúmaní podmienok a vypracovaní techno-ekonomickej štúdie a najmä po dobudovaní distribučného vodíkovodu na stredné Považie po roku 2030, nie je táto významná príležitosť zaradená do hodnotenia ani v ambicióznom scenári.

V ambicióznom scenári dokáže verejná doprava s vodíkovým pohonom ušetriť značné množstvo emisií CO₂, ale hlavne zlepšiť životné prostredie v mestských aglomeráciách Trenčianskeho kraja.

Ušetrené Emisie	Spotreba obnoviteľného vodíka	Emisie z porovnateľného fosílného paliva	Ušetrené CO ₂	
	[t/rok]	[t/rok]	Min/Max [t/rok]	
Konzervatívny	558	6 295	4 407	6 295
Stredný	1 947	21 958	15 371	21 958
Ambiciózny	2 462	27 768	19 438	27 768

Tabuľka 113: Predpokladaná spotreba obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO₂ vo TVÚ 2030

Zdroj: stengl a.s.

5.6 Vodíkové údolie Košice

Vodíkové údolie Košice, resp. Košické vodíkové údolie (KVÚ) je známe aj ako projekt *EastGateH2V*. Nachádza sa na juhovýchode Slovenska v Košickom kraji, v blízkosti hraníc s Maďarskom a Ukrajinou. Formuje sa v rámci krajského mesta (okr. Košice I–IV) a jeho okolia (okr. Košice - okolie) podľa zámerov spomínaného projektu. KVÚ bude predstavovať komplexné vodíkové údolie, v ktorom sa plánuje výroba, skladovanie, distribúcia, ako aj praktické využívanie vodíka. K projektu by sa mohol perspektívne pripojiť aj okres Spišská Nová Ves (výroba vodíkových autobusov) a okres Prešov (výroba leteckých dopravných prostriedkov poháňaných vodíkom).

Región Košíc disponuje veľkým potenciálom pre ďalšie navyšovanie kapacít OZE, ktoré sú základom pre budovanie a rozvoj vodíkového hodnotového reťazca. Pre umiestňovanie a vybudovanie nových kapacít OZE pre výrobu vodíka by bolo možné využívať juhozápadné a juhovýchodné okresy Košického kraja, čím by sa geograficky KVÚ mohlo rozšíriť na územie celého kraja s presahom aj do Prešovského kraja.



Košický samosprávny kraj má vypracovanú regionálnu vodíkovú stratégiu²³¹. V nej definuje oblasti vhodné k výrobe, uskladňovaniu a používaniu vodíka. Košický samosprávny kraj má v pláne investovať alebo podporovať investície do vodíkového hodnotového reťazca v rámci týchto oblastí:

- Doprava (bezemisná verejná autobusová doprava, využitie dopravných prostriedkov mikromobility v cestovnom ruchu, výletná lodná a letecká doprava);
- Vodíková infraštruktúra (výstavba vysokokapacitnej vodíkovej čerpacej stanice a menších vodíkových staníc, produkcia vodíka malými elektrolyzérmi napájaných elektrinou z OZE, inštalácia tlakových nádob na uskladňovanie vodíka, vodíkových palivových článkov, atď.);
- Energetika (využitie vodíkových technológií na zvýšenie bezpečnosti dodávok elektriny, batériové úložiská na uskladnenie prebytočnej elektriny OZE v batériách, energeticky sebestačné stavby);
- Pilotné a demonštračné aktivity (technológia redukcie železnej rudy obnoviteľným vodíkom, využívanie vodíkových technológií v oblasti cestovného ruchu);
- Výskum a vzdelávanie.

KVÚ zamestnáva v rámci Úradu KSK projektovú manažérku. Pre účely budovania infraštruktúry založili spoločný podnik W2H2 KSK a spoločnosť KOSIT., SAV, UPJŠ v Košiciach a TU v Košiciach založili *Centrum pre výskum vodíkových technológií*, ktoré sa inštitucionalizovalo v roku 2023 pri TUKE ako nezisková organizácia, alebo R&D spin-off H2 VTOL.

V platnosti sú aj ďalšie regionálne strategické dokumenty Košického samosprávneho kraja (KSK), pre územie Košického kraja a jeho okresov a mesta Košice súvisiace s vodíkovou stratégiou²³².

5.6.1.1 Potenciálne zdroje energie a výroba obnoviteľného vodíka

Energetické ukazovatele vodíkového údolia

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté vybrané základné energetické ukazovatele Košického kraja.

Energetický ukazovateľ / rok	2019	2020	2021	2022	2023

²³¹ Vodíková stratégia pre Košický kraj - *Hydrogen Strategy for the Košice Region* Technická univerzita v Košiciach, Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach, Slovenská akadémia vied, Promatech Centrum, Národná vodíková asociácia Slovenska & Košický samosprávny kraj (https://web.vucke.sk/files/sk/kompetencie/regionalny-rozvoj/koncepcne-materialy/vodik_sk_21_11_14.pdf)

²³² Regionálna inovačná stratégia KSK; Integrovaná územná stratégia Košického kraja 2022 – 2030; Charakteristika železničnej infraštruktúry v KSK a jej vplyv na železničnú osobnú dopravu; Územný plán VÚC KSK - Zmeny a doplnky 2009; Zámer vytvorenia Regionálneho inovačného centra Košice; Energetická politika KSK; Koncepcia nakladania s odpadmi v Košickom kraji; Stratégia vodného hospodárstva Košického samosprávneho kraja; Plán udržateľnej mobility Košického samosprávneho kraja (PUM); Stratégia rozvoja dopravy a dopravných stavieb mesta Košice (aktualizácia 2022 a 2024) ; Zámer výstavby Globálneho logistického industriálneho parku v Košiciach. (<https://web.vucke.sk/sk/uradna-tabula/phsr/strategie-dokumenty.html>)

Spotreba tepla [GJ]	17 932 395	16 616 109	19 907 552	17 702 381	16 980 862
Spotreba elektriny [MWh]	2 104 231	1 930 122	2 144 344	1 955 158	1 969 932
Spotreba motorovej nafty [t]	54 110	47 745	43 215	42 281	38 482
Spotreba zemného plynu [1000 m³]	245 877	278 589	306 483	209 170	199 785

Tabuľka 114 : Energetické ukazovatele Košického kraja 2019 – 2023

Zdroj: Štatistický úrad SR (Spotreba palív, elektriny, tepla - en3001rr_data)

Podľa vývoja týchto indikátorov možno konštatovať, že v Košickom kraji klesá spotreba tepla, elektriny, motorovej nafty a zemného plynu, ktoré možno pripísať aj k racionalizácii spotreby energetických surovín.

Technický potenciál pre existujúce a nové kapacity obnoviteľných zdrojov energie

Reliéf Košického kraja je pestrý a zložitý a tvoria ho horské oblasti, planiny, kotlina a nížina. Rozdiel medzi najvyššie a najnižšie položeným miestom je 1380 m (Stolica – Klin n. Bodrogom).

Rieky na území kraja patria k *nížinnému, vrchovinnému a strednohorskému typu s dažďovo-snehovým režimom odtoku*. Sú na nich vybudované viaceré vodné diela a elektrárne. Celkový technicky využiteľný hydroenergetický potenciál v území (Bodrog, Hornád, Bodva a Slaná) sa odhaduje na 499 GWh . Na celoštátnej úrovni sa potenciál využíva na 70,6 %²³³. Potenciálu malých VE sa využíva približne na 33 %²³⁴. V povodí Hornádu je jedna VVE (Ružín / Hornád, P_i 60 MW), dve prečerpávacie VE (P_i 36 MW, Dobšiná I, II / Hnilec). Ďalšie akumulčné, kanálové a prietokové VE v povodí Bodrogu a Hornádu patria do kategórie malých VE. Lokality vhodné pre umiestňovanie veľkých VE sú hydroenergeticky prakticky vyčerpané. Národná koncepcia rozvoja hydroenergetického potenciálu odporúča upriamiť pozornosť len na MVE, čo potvrdzujú ohlásené zámery na riekach Slaná a Hornád²³⁵ (). Elektrina z VE ako zdroj energie pre výrobu bezemisného vodíka pri súčasných vodných stavoch a režime odtoku len ťažko prichádza do úvahy.

Priemerná ročná energia slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch na územie kraja je 1000 – 1200 kWh/m²/rok. Momentálne je v kraji inštalovaných asi 100 MWp výkonu rôznych FVE. Nové FV systémy by sa mali prednostne umiestňovať na pozemkoch nevhodných na poľnohospodárske využitie a na strechách a fasádach budov. V Košickom kraji je aktuálne evidovaných asi 459 ha brownfieldov (4,59 km²), z ktorých mnohé sú využiteľné v ďalších scenároch ako miesta pre výstavbu FVE. Veľký potenciál majú strechy obchodných budov, výrobných a logistických priestorov. Na vybudovanie 1 MW výkonu FVE je potrebná plocha asi 1,2 – 1,5 ha, takže na území zodpovedajúceho brownfieldu by bolo možné nainštalovať až 340 MWp. Ak by sa využilo pre FVE percento (1 %) rozlohy kraja (67,5 km²), tak by bolo

²³³ Koncepcia využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR do roku 2030 (MŽP SR, 2017), ďalej ako KoHEP

²³⁴ https://web.vucke.sk/files/dokumenty/pub/regionalny_rozvoj/investicne_prostredie/ep_ksk.pdf

²³⁵ KKoHEP (MŽP SR, 2017)

možné inštalovať FVE s úhrnným výkonom 5 000 MWp. Pre tieto účely by bolo potrebné vyčleniť časť pasienkov, ktoré tvoria asi 111 tis. ha (tretina výmery poľnohospodárskej pôdy kraja).

Vhodné oblasti pre využitie sily vetra na výrobu elektriny veternými elektrárnami sú v regióne hlavne na horských hrebeňoch, v podhoriach a v niektorých oblastiach Východoslovenskej nížiny a Košickej kotliny²³⁶. Teoretický technický potenciál veternej energie na Slovensku je približne na úrovni 168 000 MW výkonu (420 TWh/rok). Na Košický kraj pripadá potenciál výroby veternej energie asi 3,9 – 4,2 TWh. V rámci kraja sú známe už dlhodobšie snahy o projekty veterných parkov v okresoch Košice – okolie a Trebišov a záujem o developerov OZE zosilnel v spojitosti s budovaním novej automobilky pre Košiciach (do konca roka 2026 by mali zabezpečiť výstavbu a prevádzku OZE vo Valalikoch priamo alebo cez PPA kontrakt). Budovanie veterných parkov má zložitý regulačný rámec a nenachádza potrebnú politickú podporu a akceptovanie verejnosťou. a

Košická kotlina a Humenská brázda má určitý potenciál, čo sa týka geotermálnej energie, no tieto oblasti sa na energetické účely zatiaľ nevyužívajú. Vhodné lokality na využitie geotermálnej energie sa nachádzajú hlavne v blízkosti Košíc a Prešova, kde odhadovaný energetický potenciál je okolo 1 200 MW a z toho sa 300 MW by bolo možné využívať priamo. Ide o tzv. *nízkotepelné geotermálne lokality* a ich potenciál aj vzhľadom na vysoké investičné náklady je limitovaný. V prípade využitia na účely využitia geotermálnej energie na vykurovanie budov by bolo možné takto nahradiť fosílné palivá (zemný plyn, uhlie).

Košický kraj disponuje významným technickým potenciálom pre výrobu vodíka z OZE.

Najlepší z potenciálov pre rozvoj nových kapacít OZE v Košickom kraji predstavuje solárna energia a rozšírenie siete existujúcich MVE. Dostatočné množstvo lacnej energie z OZE je možné využiť na výrobu obnoviteľného vodíka (v súlade s pravidlami doplnkovosti, časovej a geografickej korelácie).

Obnoviteľný vodík	V území sa pripravujú a spúšťajú projekty pre produkciu obnoviteľného vodíka.
Nízkouhlíkový vodík	V území sa nenachádza AE, ktorej elektrina by mohla byť využitá na produkciu tzv. nízko uhlíkového vodíka ²³⁷ .
Fosílny vodík	V území sa vyrába vodík v oceliarnach U.S. STEEL Košice (USSK) technológiou štiepenia NH ₃ . Oceliareň využíva vodík ako súčasť zmesi plynov, na vytvorenie tzv. HN _x ochrannej atmosféry. Vodík sa vyrába štiepením dovezeného čpavku. Výroba vodíka štiepením čpavku nepokrýva celú spotrebu a preto sa vodík aj musí dovážať (priemerná ročná spotreba okolo 280 t). Plánované investície uvažujú s udržateľnejšou výrobou vodíka SMR alebo elektrolýzou vody.

²³⁶ Údaje za 10 % najveternejšieho oblastí: 387 W/m²; 6,45 m/s; výška 100 m ; 6,0 m/s; výška 60 m

²³⁷ Projekt tretej AE na Slovensku, pri Košiciach v obci Kecerovce, bol pozastavený. Plánovaný výkon mal predstavovať 4 000 MW.

Tabuľka 115: Súčasný stav vodíkoveho hospodárstva v KVÚ

Zdroj: stengl, a.s.

V krátkodobom horizonte môže fosílny vodík napomôcť rozvoju vodíkovej ekonomiky ako dočasná alternatíva pri prechode na obnoviteľný a nízko uhlíkový vodík. Ak by sa USSK rozhodol v budúcnosti produkovať zelenú oceľ, tak jeho zapojenie do širšieho konceptu vodíkoveho údolia otvára nové možnosti pre rozvoj nízko uhlíkových technológií a integráciu vodíka do energetických a dopravných systémov východného Slovenska.

	do roku 2027	po roku 2027
Zdroje elektrickej energie a vodíka	Solárne elektrárne	Nové solárne elektrárne
		Nové veterné elektrárne
	Vodné elektrárne (len v prípade voľnej kapacity)	Nové malé vodné elektrárne
	Elektrická energia zo siete	Elektrická energia zo siete (pri dosiahnutí uhlíkovej stopy <65 gCO ₂ /kWh / 18gCO ₂ /MJ)
	Fosílny vodík z výroby čpavku, kde primárny zdroj fosílny metán	Fosílny vodík vyrobený pomocou parného reformingu (so zachytávaním CO ₂)
	Energia z odpadu a biomasy	Energia z odpadu a biomasy so zachytávaním CO ₂

Tabuľka 116: Prehľad zdrojov elektrickej energie pre výrobu vodíka v KVÚ

Zdroj: stengl a.s.

5.6.1.2 Aplikácie a využitie vodíka

Druhy dopytu

V košickom regióne sú ťažiskovými priemyselnými odvetviami hutníctvo, strojárstvo, potravinársky, elektrotechnický, ťažobný priemysel, výroba stavebných hmôt, palív a energetika. Aktuálny dopyt po vodíku sa koncentruje pre potreby USSK. Dopyt v sektore dopravy je zatiaľ obmedzený len na pilotné a demonštračné projekty vodíkových autobusov a vodíkových bicyklov. Energetické aplikácie, ako aj sezónne skladovanie energie, sú v súčasnosti vo fáze štúdií a pilotných projektov, no po roku 2027 predpokladá sa ich rast.

Kvantifikácia súčasného dopytu

Aktuálny dopyt po vodíku v KVÚ prichádza takmer výlučne z priemyselného sektora z USSK. Celková ročná spotreba vodíka v regióne Košického vodíkoveho údolia aktuálne zodpovedá asi 280 t/rok v priemere. Z toho sa pokryje asi 91 % (cca. 256 t/rok) výrobou fosílného vodíka z dovážanej suroviny. Zvyšok pokrýva import. Podiel na celoštátnej spotrebe vodíka to predstavuje asi 0,17 %²³⁸. Vodík sa využíva na vytvorenie ochrannej atmosféry H_Nx a na žihanie za studena vyvalcovaných plechov na viacerých prevádzkach (poklopová žihareň,

²³⁸ Údaje z prieskumu, USSK (2025)

kontižihareň, pozinkovňa) v závodoch oceliarní USSK. Vodík obsahuje aj vysokopecný plyn, ale tento sa nevyužíva. V USSK sa vodík vyrába štiepením NH₃, ale ide o zastaralú technológiu výroby vodíka.

V oblasti dopravy sú aplikácie vo fáze pilotných a demonštračných projektov s relatívne nízkym dopytom. Potenciál pre jeho využitie tu však je, ako dokumentuje nasledujúca tabuľka o registrovaných vozidlách v cestnej doprave.

Kategória	Košické VÚ		
	KE- mesto (KE I-IV)	KS (Košice – okolie)	Celkom
Osobné autá M1	103 137	55 506	158 643
Nákladné autá do 3.5t N1	11 778	5 990	17 768
M1 a N1 spolu	114 915	61 496	176 411
Nákladné autá N2/N3 spolu	1 368	592	1 960
Autobus mestský	210	2	212
Autobus prímestský	260	3	263
Autobus diaľkový	75	63	138
Autobusy celkom	545	68	613

Tabuľka 117: Registrované cestné vozidlá v KVÚ

Zdroj: MV SR - Celkový počet evidovaných vozidiel v SR 31.12.2024

Energetické aplikácie a sezónne skladovanie vodíka zatiaľ nepredstavujú významný odber. Prebiehajú štúdie a testovacie iniciatívy v spolupráci s univerzitami a energetickými spoločnosťami v regióne.

Potenciálny vývoj dopytu

Z dostupných projektových zámerov možno usudzovať, že dopyt po vodíku a aj jeho produkcia v regionálnom priemysle by mali vzrásť z 280 t/rok v najbližšom čase na dvojnásobok. USSK predložil na posúdenie zámery výroby vodíka metódou parnej reformácie CH₄ (reakcia zemného plynu s horúcou parou za prítomnosti katalyzátora) a elektrolýzou vody v predpokladanom objeme 560 t/rok²³⁹ (EIA). Do roku 2030 by malo 42 % z tohto vodíka predstavovať obnoviteľný, resp. nízkouhlíkový vodík. V prípade ambiciózneho scenára sa dá uvažovať, že celá kapacita výroby vodíka by mohla byť pokrytá z OZE.

Pripravované projekty naznačujú, že v budúcnosti sa táto situácia môže zmeniť. Zastaralá technológia výroby vodíka pre vytvorenie ochrannej atmosféry HNx má byť nahradená novou,

²³⁹ <https://www.enviroportal.sk/eia/detail/vyroba-vodik-parnym-reformingom-metanu->; <https://www.enviroportal.sk/eia/detail/vyroba-technickeho-plynu-elektrolyzou-vody>

ktorá má splniť požiadavky na environmentálne akceptovanú produkciu. S výstavbou sa má začať v roku 2026.

Dopyt po vodíku v priemysle a požiadavky na kapacitu elektrolyzéroov sú prezentované v nasledujúcej tabuľke.

	Dopyt v doprave	Dopyt v priemysle	Výroba vodíka v SR	Elektrolýza v SR	Spotreba vody
Scenár	[t/rok]	[t/rok]	[t/rok]	[MW]	[m ³ na deň]
Konzervatívny	254	118	371	5	18
Stredný	743	244	987	11	49
Ambiciózny	791	580	1 371	18	68

Tabuľka 118: Prehľad dopytu a kapacít výroby vodíka v KVÚ

Zdroj: stengl a.s.

Ak by sa začala železná ruda redukovať v oceliarniach obnoviteľným vodíkom namiesto tradičného uhlíka, došlo by k veľmi výraznému zvýšeniu dopytu po vodíku. Ak by v budúcnosti jednu tretinu súčasnej produkcie ocele USSK tvorila zelená oceľ, tak spotreba vodíka by vzrástla na asi 100 tis. t ročne, na výrobu ktorého by kapacity plánovaných alebo potenciálnych elektrolyzéroov z regionálnych OZE nepostačovali. Vodík by bolo nutné importovať napr. plynovodmi. Ďalší dopyt by sa dal očakávať v priemysle stavebných hmôt pri výrobe cementu alebo potravinárskom priemysle, ktorých potreby ale ešte nie sú presnejšie zidentifikované.

Ďalším sektorom bude doprava. Počet evidovaných autobusov v prevádzke v Košickom kraji je 1 013 (z toho 613 v KVÚ)²⁴⁰ a ich počet sa v poslednom období výrazne nemení. Evidovaných mestských autobusov v prevádzke je 239, z toho 23 elektrických (SOR EBN)²⁴¹. Veľkým vozidlovým parkom disponujú v kraji pôsobiace regionálne autobusové spoločnosti (najmä Eurobus, Arriva Michalovce). Vek mestských autobusov DPMK je okolo v priemere 9 rokov²⁴². Autobusy košickej MHD najazdia asi 11,05 mil. voz.km, z toho už časť pripadá na bezemisné alebo nízkoemisné vozidlá (elektro- a midibusy). KSK objednáva od dopravcov ročne as 10 mil. voz.km v prímestskej verejnej autobusovej doprave. Priemerný nájazd autobusu v Košickom kraji je 34,1 tis. km. Za poslednú dekádu obstarával DPMK asi 18 nových autobusov ročne (7,5 % z vozového parku, s významným príspevkom dotácií z EÚ fondov). Ak sa porovnateľným tempom bude obmieňať vozový park aj v ďalšom období, tak môžeme očakávať, že po roku 2035, keď sa môžu obstarávať len bezemisné dopravné prostriedky, bude vymieňať prepravca asi 88 autobusov, z ktorých by určitá časť mala pripadnúť na vodíkové.

Projekt EastGate H2V počíta s využitím vodíka na pohon autobusov. Po jeho realizácii by sa mal v Košiciach prevádzkovať elektrolyzér, ktorý má zabezpečiť ročnú výrobu 170 t

²⁴⁰ <https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr>

²⁴¹ Výročná správa DPMK za rok 2023

²⁴² https://web.vucke.sk/files/zmluvy/26339_151_11_2022_5-priloha-8_zoznam-vozidiel_arriva-mi.pdf
https://web.vucke.sk/files/zmluvy/26349_153_11_2022_7-priloha-8_zos_zoznam-vozidiel_eurobus.pdf

obnoviteľného, resp. nízkouhlíkového vodíka. Takto vyrobený vodík by sa mal využiť na pohon 10 vodíkových autobusov, vodíkového člnu a prepravného vodíkového dronu. Celkom sa uvažuje o nákupe 40 vodíkových autobusov, čím by mal dopyt vzrásť o ďalších 136 t obnoviteľného vodíka.

Do roku 2035 možno očakávať nárast dopytu vodíka v sektore dopravy v súlade s európskymi normami pre uhlíkové emisie v doprave^{243,244}, a to v mestskej hromadnej doprave v Košiciach a v sídlach veľkých okresných miest, v prímestskej autobusovej doprave, ale aj v logistike v okolí priemyselných parkov.

Prepočty pri spotrebe vodíka 0,053 - 0,1 kg / km, priemernom výkone autobusu vo VOD v Košickom kraji 34 000 km/rok, vodík vyrobený elektrolýzou v PEM elektrolyzéry pri spotrebe 50 – 55 kWh elektriny/kg H₂ a s kapacitným faktorom 0,60.

Konzervatívny scenár pre dopravu ráta s existujúcim projektom, ktoré predpokladajú nákup 10 ks vodíkových autobusov do roku 2030 (1,5 % vozového parku VOD). Stredný scenár počíta s prevádzkou 50 vodíkových autobusov a ambiciózny scenár počíta s prevádzkou 60 vodíkových autobusov a aj ďalších dopravných prostriedkov (napr. drony, bicykle).

Vodíkové vozidlá VÚK 2030	Autobusy	Vozidlá N2 a N3	Vozidlá M1 a N1
Konzervatívny	10	17	10 - 22
Stredný	50	35	213
Ambiciózny	60	35	213

Tabuľka 119: Prehľad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom vo KVÚ

Zdroj: stengl a.s.

5.6.1.3 Vodíková infraštruktúra

Budovanie infraštruktúry založenej na obnoviteľnom vodíku v Košickom kraji je stále iba v úvodnej fáze rozvoja. Chýbajú kapacity pre distribúciu a zásobovacia infraštruktúra (vodíkové čerpace stanice, resp. plničky, produktovody).

Ďalším z pripravených projektov je inštalácia vysokoteplotného elektrolyzéra na výrobu vodíka, ktorý má využívať teplo zo spaľovania nerecyklovateľného odpadu (spaľovňa) a FVE²⁴⁵. Vyrobený vodík sa má využívať ako palivo pre vodíkové autobusy v prímestskej autobusovej doprave. Spustenie skúšobnej prevádzky je plánované na rok 2026. Kapacita elektrolyzéra (170 t/rok) postačuje pre potreby vodíkovej autobusovej dopravy, mikromobility a ďalších módov, ktoré sú uvedené v akčných plánoch regionálnej vodíkovej stratégie.

²⁴³ Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/1242 z 20. júna 2019

²⁴⁴ Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/851 z 19. apríla 2023

²⁴⁵ Projekt v gescii **W2H2 KSK, s.r.o., spoločného podniku KSK a Kosit, a.s.**

Preprava vodíka cez plynovodnú sústavu

Vodík sa do Košického kraja prepravuje cestnou dopravou v tlakových fľašiach, prípadne železničnou dopravou. Sieť plynovodov prechádzajúcich cez Košický kraj spravujú spoločnosti Eustream a SPP Distribúcia. Infraštruktúra po modernizácií potrubí a kompresorových staníc sa môže využiť na prepravu obnoviteľného vodíka alebo zmesi vodíka so zemným plynom²⁴⁶ (IPCEI projekt H2I-TR)²⁴⁷. Projekt predstavuje významný krok ku dekarbonizácii priemyslu na Slovensku, vrátane podnikov ako USSK.

Podzemné skladovanie vodíka

V oblasti Východoslovenskej nížiny boli identifikované geologické štruktúry vhodné na podzemné skladovanie vodíka. Spoločnosť NAFTA v rámci IPCEI projektu HENRI skúma možnosti využitia týchto poréznych hornín a identifikuje vhodné ložiská na veľkokapacitné bezpečné komerčné skladovanie vodíka²⁴⁸. Podzemné skladovanie umožní dlhodobé uskladnenie veľkých objemov energie pre vyrovnávanie sezónnych výkyvov v dopyte a ponuke.

Existujúca infraštruktúra a čerpacie stanice

V Košickom kraji sa nenachádza aktuálne žiadna stacionárna vodíková čerpacia stanica. Najbližšie ČS v prevádzke sú v Budapešti a Bratislave.

5.6.1.4 Technické parametre

V tejto časti nasleduje prehľad kľúčových technických parametrov súvisiacich s plánovanou výrobou, distribúciou a spotrebou vodíka v Košickom kraji do roku 2030. Technické scenáre konzervatívny (WEM), stredný (WAM) a ambiciózny reflektujú rôzne úrovne rozvoja infraštruktúry a dopytu po vodíku. Zohľadňujú potreby dopravy, priemyslu, požiadavky na elektrolýzu a spotrebu vody a odhadované investičné náklady potrebné na realizáciu jednotlivých scenárov, ako aj požiadavky na dekarbonizáciu.

Dôležitú úlohu zohráva aj dostupnosť vodných zdrojov, nevyhnutných pre proces elektrolýzy. V regióne sa nachádza infraštruktúra schopná zabezpečiť potrebné množstvo čistej vody pre udržateľnú a efektívnu výrobu vodíka.

²⁴⁶ TÜV SÜD, Skladovanie, preprava a distribúcia vodíka,

<https://www.tuvsud.com/sk-sk/odvetvia/energetika/konvencna-energia/vodikova-energia/skladovanie-preprava-a-distribucia-vodika>

²⁴⁷ Eustream, Plán Eustreamu umožniť medzinárodnú prepravu obnoviteľného/nízkoemisného vodíka (IPCEI),

<https://www.eustream.sk/sk/o-nas/plan-eustreamu-umoznit-medzinarodnu-prepravu-cisteho-vodika-ma-status-doleziteho-projektu-spolocneho-europskeho-zaujmu-ipcei/spravy/plan-eustreamu-umoznit-medzinarodnu-prepravu-cisteho-vodika-ma-status-doleziteho-projektu-spolocneho-europs.html>

²⁴⁸ NAFTA – Inovatívne rozvojové projekty v oblasti skladovania plynu <https://www.nafta.sk/sk/skladovanie-plynu/inovativne-rozvojove-projekty>

Investičné náklady na výrobu vodíka sa líšia v závislosti od scenára rozvoja infraštruktúry a dopytu.

KVÚ 2030	Potrebné investičné náklady - Výroba vodíka [EUR]	Potrebné investičné náklady - Čerpacie stanice (min.) [EUR]
Konzervatívny	13 800 000	6 000 000 – 10 000 000
Stredný	28 600 000	15 000 000 – 25 000 000
Ambiciózny	44 800 000	15 000 000 – 25 000 000

Tabuľka 120: Investičné náklady na výrobu vodíka na jednu vodíkovú čerpaciu stanicu

Zdroj: stengl a.s.

KVÚ 2030	Potrebné investičné náklady - Autobusy/hromadná doprava [EUR]	Potrebné investičné náklady - ťažké úžitkové vozidla [EUR]
Konzervatívny	5 000 000 – 6 500 000	6 800 000 – 10 200 000
Stredný	25 000 000 – 32 500 000	14 000 000 – 21 000 000
Ambiciózny	30 000 000 – 39 000 000	14 000 000 – 21 000 000

Tabuľka 121: Investičné náklady na nákup vodíkových autobusov a ťažkých vozidiel

Zdroj: stengl a.s.

Konzervatívny scenár zahŕňa základné investície do elektrolyzéroov pre dopravu a priemysel a obstaranie 10 vodíkových autobusov. Základný scenár rozširuje infraštruktúru vo výrobe pre priemysel a zahŕňa rýchlejšiu adopciu vodíkových autobusov a nákladných vozidiel. Ambiciózny scenár predpokladá komplexnú integráciu vodíkových technológií s investíciami. Tieto náklady pokrývajú elektrolyzéry, infraštruktúru a technológie potrebné na zabezpečenie efektívnej výroby vodíka a obstaranie 60 vodíkových autobusov pre verejnú autobusovú dopravu. Nie je započítané obstaranie dronov, bicyklov a úžitkových vozidiel.

Dôležitým faktorom bude integrácia vodíkovej výroby do existujúcich priemyselných areálov, čím sa minimalizujú náklady na distribúciu a logistiku. Kľúčovým cieľom je dosiahnuť synergický efekt medzi výrobou, distribúciou a spotrebou vodíka, pričom sa maximalizuje ekonomická návratnosť a environmentálne prínosy.

5.6.1.5 Zdroje financovania

Regionálnemu ekosystému vodíkoveho hospodárstva sú k dispozícii národné, EÚ a ďalšie zahraničné finančné mechanizmy a nástroje, vrátane súkromných investorov. V regióne pôsobia grantoví špecialisti a investiční poradcovia, kvalifikované poradenstvo poskytujú aj štátne a samosprávne inštitúcie.

Možnosti financovania vodíkových projektov sú detailne zmapované v kapitole 3.6 - *Zmapovanie dostupných finančných nástrojov podpory investičných projektov*. Ponuka finančných nástrojov a mechanizmov umožňuje podporu všetkých častí hodnotového reťazca

vodíka od výskumu a vývoja cez výrobu, skladovanie, distribúciu až po využitie v priemysle, doprave a energetike, ako aj na vzdelávanie a osvetu.

V prípade KVÚ sú známe zdroje financovania niektorých súvisiacich projektov. Tie sú zosumarizované nižšie. V tabuľke sa neuvádzajú projekty budovania kapacít OZE, ak nie sú realizované v spojitosti s investíciami do vodíka.

Projekt / nositeľ	Stručný opis a ciele projektu / zámeru	Rozpočet v EUR	Trvanie projektu	Zdroj
Vodíkové údolie EastGate H2V (nadnárodný projekt)	Vybudovanie elektrolyzéra (2 MW, výroba 170 t H ₂ , následne 500 t pre 10 a perspektívne 40 H ₂ -autobusov, 4 prepravné H ₂ -drony, H ₂ -smetiarsky voz, štúdie pre transformáciu existujúceho potrubia na zemný plyn na vodíkové potrubie.	9 mil.	042025 - 2027	Clean Hydrogen JU / Programu Horizon Europe.
Hydrogen Infrastructure – Transmission Repurpose (H2I-TR) / Eustream	Infraštruktúra pre prepravu obnoviteľného vodíka z oblastí produkcie (sev. Afrika, Ukrajina) pre cieľové trhy. Vyčlenenie a úprava jednej z hlavných prepravných línii Eustreamu na prepravu obnoviteľného/nízkoemisného H ₂ (úprava potrubí na prenos a distribúciu vodíka, zariadenia na skladovanie vodíka, terminály a súvisiaca prístavná infraštruktúra na prepravu 6000 t / rok LOHC , projekty podporujúce spoluprácu pri vytváraní budúcich prepojení a prípravu spoločných technických noriem.	400 – 500 mil. (aliquótna pre Košický kraj)	2024	Hy2Infra IPCEI projekt notifikovaná štátna pomoc
HENRI/ Hydrogen energy reservoir	Vývoj skladovania, prepravy, distribúcie.		2023 - 2026	Hy2Tech IPCEI projekt
NAFTA, TUKE, SAV	Identifikovať vhodné štruktúry pre skladovanie vodíka na Slovensku, definovať maximálne prípustnú koncentráciu vodíka, ktorú by bolo možné uskladniť vo vybraných štruktúrach, spracovať model ložiska a a pilotným testom fyzicky otestovať vybranú štruktúru			POO
Atraktívna bezemisná verejná doprava na	Vozidlá vybavené 60 kW palivovými článkami a batériami s dojazdom 350 km (100 ciest)	560 – 610 tis./bus	do 2030	

medzinárodné letisko Košice				
Flotila vodíkových bicyklov a výletné lode pre zelenú a efektívnu mobilitu turistov	Rozšírenie kapacít mestskej mikromobility o vodíkové bicykle s väčším dojazdom a doplnením paliva do 2 minút. „Off-grid“ riešenie. Kryté stanoviisko pre bicykle s inštalovaným FV systémom, batériový systém pre uskladňovanie prebytkov energie a malé elektrolyzéry	100 000		Verejné a súkromné zdroje
Veľkokapacitný elektrolyzér, produkcia a zhodnocovanie vodíka USSK	Transformácia technológie výroby vodíka pre tzv. HNx atmosféru. Zavedenie metódy parného reformingu alebo elektrolyzy vody a navýšenie výrobnnej kapacity na objem 580 t/rok ²⁴⁹ . Modulárne jednotky, 4 zvislé zásobníky na vodík a 2 (100 m3, 50 bar)	5 mil.	09/2026	Súkromné zdroje
Hydrogen Aviation Valley Košice Letecká fakulta TU Košice	Podpora a zlepšenia mestskej leteckej mobility, integrovať bezpilotné letecké systémy a využívať virtuálnu realitu v doprave, výskum a implementácia bezemisných technológií v leteckej doprave.	neurčený	2022	
H2VTOL R&D spin-off TOMARK PROTON.	Vývinúť jedno z prvých vodíkom poháňaných lietadiel s vertikálnym vzletom a pristátím vhodným pre leteckú záchrannú službu, pre mestskú leteckú mobilitu. Vývoj a certifikácia leteckých recyklovateľných vysokotlakových vodíkových kompozitových nádrží a ventilov aj pre ďalšie využitie v doprave a priemysle.	60 mil. (aliquótne slovenskí partneri)	do 20230	EK Hy2Move IPCEI projekt notifikovaná štátna pomoc
Centrum výskumu vodíkových technológií Košice / SAV, UPJŠ) a TUKE²⁵⁰	Transformácia poznatkov v oblasti vodíkových technológií do nových prototypových riešení pre rôzne oblasti života.	Určí rozpočet zakladateľov	2020, resp. 2023 a trvá	Verejné zdroje Národné granty

²⁴⁹ [https://www.enviroportal.sk/cia/detail/vyroba-vodika-parnym-reformingom-metanu-;](https://www.enviroportal.sk/cia/detail/vyroba-vodika-parnym-reformingom-metanu-)

²⁵⁰ <https://www.finstat.sk/55259065>

Tabuľka 122: Prehľad projektov a iniciatív v rámci KVÚ

Zdroj: steng a.s.

5.6.1.6 Vplyv na sociálne a ekonomické indikátory a spoločenské prínosy projektu

Košické vodíkové údolie ovplyvní v prvej fáze približne 380 tis. obyvateľov Košíc a ich zázemia (Košice – mesto a Košice – okolie). V ďalších fázach 779 tis. obyvateľov. Jadro KVÚ patrí k husto osídleným regiónom (868 obyv./km²) a Košický kraj patrí tiež k hustejšie osídleným regiónom (115 obyv./km², nad celoštátnym priemerom). V jadre vodíkového údolia sú 3 mestá (Košice, Moldava nad Bodvou, Medzev), 22 mestských častí Košíc a 112 vidieckych obcí. V kraji evidujeme 461 obcí, z toho je 17 miest.

Košický kraj dosahuje druhý najvyšší podiel na regionálnej hrubej pridanej hodnote Slovenska (13 604 mil. EUR, 12,13 %), v regionálnom HDP v prepočte na obyvateľa zaostáva výraznejšie (85 % priemeru SR)²⁵¹.

V regióne sa nachádzajú náleziská rudných nerastných surovín a energetických surovín, aktuálne bez ekonomického zhodnotenia. Banská činnosť v okolí Košíc, Rožňavy, Spišskej Novej Vsi a Gelnice bola utlmená, ťažia sa prevažne suroviny pre stavebný priemysel v povrchových lomoch a bagroviskách. Z energetických surovín sú známe náleziská ropy a zemného plynu, ktoré sa významnejšie nevyužívajú (okr. Michalovce a Trebišov). Významné geotermálne lokality sa nachádzajú v Ďurkove pri Košiciach a v podhorí Vihorlatu.

Rozvoj vodíkového hospodárstva má potenciál ovplyvniť viaceré priemyselné odvetvia (hutníctvo a kovovýroba, automobilový priemysel, energetika), do ktorých smerujú priame zahraničné investície. Najdôležitejšie priemyselné odvetvia v kraji sú hutníctvo a kovovýroba, výroba komponentov pre automobilový priemysel a potravinársky priemysel ²⁵².

Rozvoj vodíkového hospodárstva má potenciál ovplyvniť aj sektor dopravy, najmä ťažkej mobility. Košice sú významným multimodálnym dopravným uzlom. V regióne je viac ako 220 km ciest medzinárodného významu s napojením na Poľsko, Maďarsko a Ukrajinu (TEM, TEN-T). Železničný uzol Košice prepája trate s normálnym a širokým rozchodom v smeroch na

²⁵¹ ŠÚ SR / DataCube - Hrubá pridaná hodnota [nu3007rr]

https://datacube.statistics.sk/#/view/sk/VBD_SK_WIN/nu3007rr/v_nu3007rr_00_00_00_sk

²⁵² [https://finstat.sk/databaza-financnych-](https://finstat.sk/databaza-financnych-udajov?Activity=&Region=košický&SalesFrom=&Employee=&Years=2023&Years=2022&Years=2021&PerPage=20&Sort=sales-desc&Tab=)

[udajov?Activity=&Region=košický&SalesFrom=&Employee=&Years=2023&Years=2022&Years=2021&PerPage=20&Sort=sales-](https://finstat.sk/databaza-financnych-udajov?Activity=&Region=košický&SalesFrom=&Employee=&Years=2023&Years=2022&Years=2021&PerPage=20&Sort=sales-desc&Tab=)

Bratislavu a Rakúsko, Maďarsko, Poľsko a na Ukrajinu²⁵³. Elektrifikácia tratí sa v regióne aktuálne zlepšuje, približne 46 % prevádzkovaných tratí je elektrifikovaných (ca. 46 %). V kraji sa nachádza významné železničné prekladisko (Čierna nad Tisou) a tri verejné terminály kombinovanej dopravy prevádzkované viacerými medzinárodnými operátormi (Košice, Haniska pri Košiciach a Dobrá). V kraji je evidovaných viac ako 448 tis. motorových vozidiel, toho je 335 tis. osobných, viac ako 1 tis. autobusov, takmer 40 tis. nákladných vozidiel, z toho viac ako 3,9 tis. ťahačov a špeciálnych nákladných vozidiel²⁵⁴. Elektrifikovaných vozidiel v kombinácii s iným druhom pohonu je 2,8 tis. (asi 0,63 % prevádzkovaných vozidiel). Počet plne elektrifikovaných vozidiel v regióne je menej ako 400, z toho 61 nákladných vozidiel.²⁵⁵ V Košiciach sa nachádza letisko s medzinárodným významom, ktoré v posledných dvoch rokoch odbavilo 623 tis. a 739 tis. pasažierov (z toho cca. 64 % v pravidelnej doprave)²⁵⁶. Ďalšie letiská majú pre civilnú a nákladnú dopravu okrajový význam (nepravidelné a vyhladkové lety, aerokluby), viaceré slúžia pre poľnohospodárske a les hospodárske účely.

Juhovýchodným cípom územia preteká rieka Tisa, ktorá je splavná od slovensko-maďarskej hranice. Bodrog je splavný od Stredy nad Bodrogom pre lode do 70 m až do Tokaja (ústie do Tisy). Územím vedie plynovod a ropovod v smere východ – západ s prepojením na sever.

Rozvoj regionálnej výroby a spotreby vodíka, a nepriamo aj budovanie OZE, bude mať pozitívny vplyv na tvorbu pracovných miest pre menej kvalifikovaných, ako aj kvalifikovaných zamestnancov. Vybudovanie vodíkového údolia poskytne inováciám nový impulz a školy na druhom aj treťom stupni vzdelávania budú motivované k rozvoju nových zručností aj celých učebných odborov. Vodík vytvorí väčší priestor pre výskumné a vývojové projekty na školách, vo vedeckých inštitúciách aj v súkromnom sektore. Vzdelávanie zabezpečuje komplexná sieť regionálnych škôl, z toho sú viaceré stredné odborné a priemyselné školy zamerané na elektrotechniku, energetiku, IT, strojárstvo a hutníctvo. Košický región má pomerne vysokú úroveň prírodovedne a technicky zameraných vzdelávacích inštitúcií, ktoré sa koncentrujú hlavne do Košíc. Sídli tam Prírodovedecká fakulta UPJŠ (odbory fyzika, chémia, matematika, informatika), ako aj technicky, informaticky, dopravné, environmentálne, ekonomicky a na prírodné zdroje zamerané fakulty Technickej univerzity v Košiciach a Ekonomickej univerzity Bratislava. Pôsobia tu aj ďalšie verejné a súkromné vysoké školy. V košickom regióne pôsobia aj výskumné inštitúcie SAV (napr. materiálový výskum), ako aj rezortných výskumných organizácií a súkromných subjektov.

²⁵³ Osobná verejná doprava v KSK: Trať č. 160: KE – Moldava nad Bodvou – Plešivec – Zvolen; Moldava nad Bodvou – Moldava nad Bodvou, mesto; Trať č. 173: Margecany – Dobšinská Ľadová jaskyňa – Červená Skala; Trať č. 180: KE – Spišská Nová Ves – Žilina – Bratislava; Trať č. 188: Košice – Kysak – Plaveč – Muszyna (PL); Trať č. 190: KE – Čierna nad Tisou – Čop; Kalša – Trebišov; Slovenské Nové Mesto – Sátoraljaujhely (HU); Trať č. 191: Michalany – Strážske – Medzilaborce – Łupków (PL)

²⁵⁴ https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/vbd_sk_win2/do3803rr/v_do3803rr_00_00_00_sk (za 2023); <https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr> (za rok 2024)

²⁵⁵ https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/vbd_sk_win2/do3803rr/v_do3803rr_00_00_00_sk (za 2023); <https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr> (za rok 2024)

²⁵⁶ https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/VBD_SK_WIN/do1010rs/v_do1010rs_00_00_00_sk; <https://www.airportkosice.sk/sk/precestujucich/aktuality/tlacova-sprava-letisko-kosice-v-jubilejnom-roku-s-rekordnym-vysledkom>

Priemerná hrubá mesačná mzda je mierne pod celoslovenským priemerom (o 5,7 %). Podiel evidovanej nezamestnanosti v Košickom kraji je o 1,61 p.b. vyšší ako je celoštátny priemer ale vodíkové údolie v navrhovanom regióne umožní diverzifikáciu do novej oblasti.

Kraj	Ekonomicky aktívne obyvateľstvo	Počet disponibilných uchádzačov o zamestnanie	Miera evidovanej nezamestnanosti (v %)
Košický kraj	374 337	24 117	6,44
Slovensko	2 787 464	134 544	4,83

Tabuľka 123: Mesačná štatistika uchádzačov o zamestnanie 04/2025

Zdroj: Úrad práce, sociálnych vecí a rodiny

Z rozvoja vodíkovej ekonomiky môžu profitovať mnohé existujúce alebo novovzniknuté spoločnosti operujúce v oblasti vodíkových technológií ale tiež stavebné, inžinierske alebo iné podniky. Príkladom sú podnik W2H2 KSK a spoločnosti KOSIT a Centrum pre výskum vodíkových technológií, ktoré sa inštitucionalizovalo v roku 2023 pri TUKE ako nezisková organizácia v spolupráci so SAV a UPJŠ Košice.

Vplyv na životné prostredie a verejné zdravie

Vodíkové hospodárstvo, ktoré sa bude rozvíjať v rámci KVÚ má potenciálne pozitívne aj negatívne vplyvy na životné prostredie. Prevažovať budú pozitívne vplyvy, najmä ak bude vodík vyrábaný z OZE.

Celkový technický potenciál vodnej energie (HEP) povodia Bodrogu a Hornádu je 354 GWh²⁵⁷ a využíva sa približne na 35,6 % (126 GWh). Miera využitia HEP pre VVE je vyššia (asi 70,6 %), v prípade malých VE je to približne 33 %. Ako zdroj elektriny pre výrobu obnoviteľného vodíka pri súčasných trendoch vodných stavov elektrina z vodných elektrární neprichádza do úvahy vzhľadom na spotrebu v elektrickej sieti. Národná koncepcia rozvoja hydroenergetického potenciálu odporúča upriamovať pozornosť na MVE²⁵⁸. To potvrdzujú viaceré zámery v povodí Bodrogu, Slanej a Hornádu, ako aj zámery z Prešovského a Banskobystrického kraja²⁵⁹. Každý projekt MVE a jeho pozitívne a negatívne vplyvy sa posudzujú osobitne. Z negatívnych vplyvov ide o záber pôdy, zmeny hydrologických a mikroklimatických podmienok. MVE vplývajú na ekosystémy rastlín a živočíchov. Negatívne vplyvy je potrebné riešiť technologicko-ekologickými opatreniami.

Z klimatického hľadiska patrí územie košického regiónu do severného mierneho pásma (priemerná ročná $t \gg 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), severné časti sú chladnejšie, juhovýchod dosahuje teploty kontinentálnych subtrópov. Spomedzi OZE pre výrobu obnoviteľného vodíka má územie

²⁵⁷ https://web.vucke.sk/files/dokumenty/pub/regionalny_rozvoj/investicne_prostredie/ep_ksk.pdf

²⁵⁸ Koncepcia využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR do roku 2030 / KoHEP (MŽP SR, 2017)

²⁵⁹ ENVIROPORAL - Informačný systém posudzovania vplyvov na ŽP (časť EIA) (227); SHMU - Zoznam miest odberov povrchových vôd za rok 2023 (https://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Suhrnna_evidencia_o_vodach/SEoV-4_odberyPV%202023.pdf)

vysoký potenciál pre budovanie FVE (1000 – 1200 kWh / m²). Každý projekt nových zdrojov FVE a jeho pozitívne a negatívne vplyvy sa posudzujú osobitne. Ide o záber pôdy, vplyv má aj samotná výroba a recyklácia panelov (často mimo miesta produkcie). FVE môžu mať vizuálny vplyv na krajinu, niektoré súčasti FVE sú potenciálnym zdrojom hluku. Negatívne vplyvy je potrebné riešiť technologicko-ekologickými a systematickými opatreniami pri lokalizácii zdrojov FVE. Pre budovanie týchto OZE bude potrebný zabratie časti vhodných pasienkov.

Z územia evidujeme už dlhšie záujem o projekty veterných parkov (napr. Čečejevce, Nováčany, Dvorníky, okres Košice - okolie, Lekárovce, okres Trebišov). Vláda SR avizuje, že v rámci zelenej transformácie podporí vybudovanie jedného z dvoch veľkých veterných parkov na východnom Slovensku. Vhodné oblasti pre využitie sily vetra sú v regióne na hrebeňoch horských celkov (rýchlosť vetra aj viac ako 7 m/s). Tieto územia sú z významnej časti zaradené do systému veľkoplošne alebo maloplošne chránených území, území NATURA 2000, chránených vtáčích území a radia sa medzi vysoko citlivé územia z pohľadu uchovania biodiverzity (napr. vtáctvo, netopiere). K ich negatívnym vplyvom patrí aj zvýšenie hluku, ktorý je rušivý pre obyvateľov a živočíchy. Rovnako tu nastáva záber pôdy a vplyv na poľnohospodárstvo a využívanie krajiny, avšak pôda v okolí veterných turbín môže byť naďalej využívaná na poľnohospodárske a iné účely (1 turbína asi 1 500 m²). Podobne ako pri FVE je významná aj recyklácia. Do investičných zámerov veterných parkov vstupujú aj ďalšie regulačné obmedzenia a dlhé schvaľovacie procesy (napr. vzdialenosť od zastavaného územia, ochranné zóny pre vojenské a civilné letectvo, pamiatky a krajinný obraz, atď.). Negatívne vplyvy je možné minimalizovať pomocou vhodných technicko-ekologických opatrení a plánovania lokalít pre výstavbu veterných elektrární.

Finančné dopady na výkup, alebo prenájom pôdy dokumentuje nasledujúca tabuľka.

Okres	Druh pozemku [EUR/m ²]				
	Poľnohospodárska pôda	Orná pôda	Vinice	Ovocné sady	Trvalé trávne porasty
Košice-okolie	2,55	2,46	-	47,17	2,86
Michalovce	0,27	0,29	-	-	0,24
Spolu	0,87	1,21	1,34	4,06	0,46

Tabuľka 124: Priemerná tržobná cena pozemkov vybrané okresy Košického kraja a SR 2018

Zdroj: VÚGK

Košická kotlina patrí k najperspektívnejším oblastiam z hľadiska využívania geotermálnej energie (3 000 m hĺbke sa predpokladá voda s teplotou 150 °C). Geotermálna energia sa pre výrobu elektrickej energie v kraji nevyužíva. Jej ďalšie využitie, napr. v teplárenstve je stále v začiatkoch a využitie elektrickej energie z geotermálnych zdrojov na výrobu obnoviteľného vodíka je ekonomicky nerentabilné.

Vodíkové údolie prinesie v Košickom kraji redukcii emisií CO₂ najmä v doprave a čiastočne v priemysle. Prípadná výroba vodíka z nerecyklovateľného odpadu zníži potrebu skládok

a ušetrí iné zdroje energií. Ďalšie dopady na životné prostredie a vodné zdroje budú súvisieť s budovaním nových kapacít OZE.

Ušetrené Emisie	Spotreba	Emisie z porovnateľného fosilného paliva	Ušetrené CO ₂	
	obnoviteľného vodíka		min / max [t/ rok]	
	[t/ rok]	[t/ rok]		
Konzervatívny	371	4 190	2 933	4 190
Stredný	987	11 129	7 791	11 129
Ambiciózny	1 371	15 467	10 827	15 467

Tabuľka 125: Predpokladaná spotreba obnoviteľného vodíka a úspor emisií CO₂ v KVÚ 2030

Zdroj: stebgl, a.s.

5.7 Analýza rizík implementácie vodíkových údolí

Táto analýza identifikuje a hodnotí riziká spojené so zavádzaním vodíkových technológií v slovenských vodíkových údoliach (VÚ Podunajsko, VÚ Dolné Považie, VÚ Trenčín a horná Nitra, VÚ Košice). Cieľom je poukázať na kritické oblasti a navrhnúť efektívne opatrenia na ich zvládnutie. Celkové hodnotenie rizík je zhrnuté v prílohe 7.6 - Analýza rizík vodíkových údolí.

Súhrn najvýznamnejších rizík

Jedným z najvýznamnejších rizík je nepriaznivý vývoj cien potrebných technológií, ktorý môže ohroziť ekonomickú konkurencieschopnosť vodíkových riešení. Toto riziko vzniká najmä v dôsledku neočakávaného rastu cien technológií a zvyšovaniu cien energie. Riziko je možné obmedziť pomocou:

- Zabezpečením skorého financovania projektov
- Zmluvnou fixáciou cien technológií a zariadení

Dôležité sú tiež bezpečnostné riziká spojené s prevádzkou vodíkových zariadení, najmä kvôli nedostatkom existujúcich štandardov a bezpečnostných noriem. Riziko možno výrazne obmedziť:

- Implementáciou medzinárodne uznávaných bezpečnostných štandardov
- Pravidelnými bezpečnostnými kontrolami zariadení

Možným problémom je aj nedostatok vhodných pozemkov pre potrebnú infraštruktúru, čo vyžaduje strategický prístup, ktorý zahŕňa:

- Uprednostňovaním lokalít s vhodnou infraštruktúrou
- Včasný prieskum a výber lokality vhodnej na výrobu vodíka

Významným faktorom je aj odpor voči zavádzaniu obnoviteľných zdrojov energie, ktorý môže byť spôsobený nedostatočnou informovanosťou verejnosti. Na zmiernenie tohto rizika sú nevyhnutné:

- Aktívne komunikačné a informačné kampane
- Transparentné prezentovanie ekonomických a environmentálnych výhod vodíkových technológií

Hodnotenie rizík vo vodíkových údoliach

VÚ Podunajsko	41/88
VÚ Dolné Považie	41/88
VÚ Trenčín a horná Nitra	44/88
Košické VÚ	41/88

Tabuľka 126: Hodnotenie rizík implementácie vodíkových údolí

Zdroj: stengl a.s.

Celkovo riziká schopné ohroziť implementáciu VÚ sú stredne veľké. Na základe uvedenej analýzy je zrejmé, že hlavnými oblasťami, ktoré vyžadujú prioritnú pozornosť pri zavádzaní vodíkových technológií na Slovensku, sú ekonomická stabilita projektov, bezpečnostné opatrenia a účinná komunikácia s verejnosťou. Väčšina je zmierniteľná dôsledným plánovaním, obstarávaním, komunikáciou so zainteresovanými skupinami a silným dôrazom na efektívny a bezpečný dizajn v súlade s medzinárodnými a národnými štandardmi. Realizácia navrhnutých opatrení a manažment rizík prispeje k úspešnému splneniu energetických a environmentálnych cieľov Slovenska.

5.8 Čiastkový záver a hodnotenie vodíkových údolí

Kapitola 5 sa venovala potenciálnym vodíkovým údoliam. Kľúčové faktory pre vytváranie VÚ sú: regionálna energetika, OZE, výrobný potenciál, distribučné možnosti, dopyt a prierezové faktory (dostupnosť financovania či verejná podpora). Formovanie vodíkových údolí na Slovensku je zatiaľ len počiatočnej fáze.

Ako plánované a potenciálne VÚ boli identifikované:

- **Košické VÚ** vyniká v kategórii prierezových faktorov, vďaka vysokej dostupnosti financovania, aktívnej cezhraničnej spolupráci a silnej verejnej podpore. Región sa však musí zamerať na zlepšenie výrobných kapacít a nové kapacity OZE, aby plne využil svoj potenciál na výrobu obnoviteľného vodíka. Košické VÚ by malo intenzívne využiť dostupné financovanie a medzinárodnú spoluprácu na rozvoj výrobných kapacít a zvýšenie podielu OZE. Ako jediné z VÚ už postúpilo aj v otázke budovania inštitucionálnych kapacít a organizačného zabezpečenia práce VÚ.
- **VÚ Podunajsko** s vysokým skóre najmä v oblasti výroby vďaka dostupnosti OZE (vodné elektrárne a ďalšie nové kapacity OZE), ktoré dokážu zabezpečiť výrobu obnoviteľného vodíka. Silnou stránkou je aj potenciálna distribúcia, ktorá je podporená výhodnou polohou v blízkosti plynovodnej

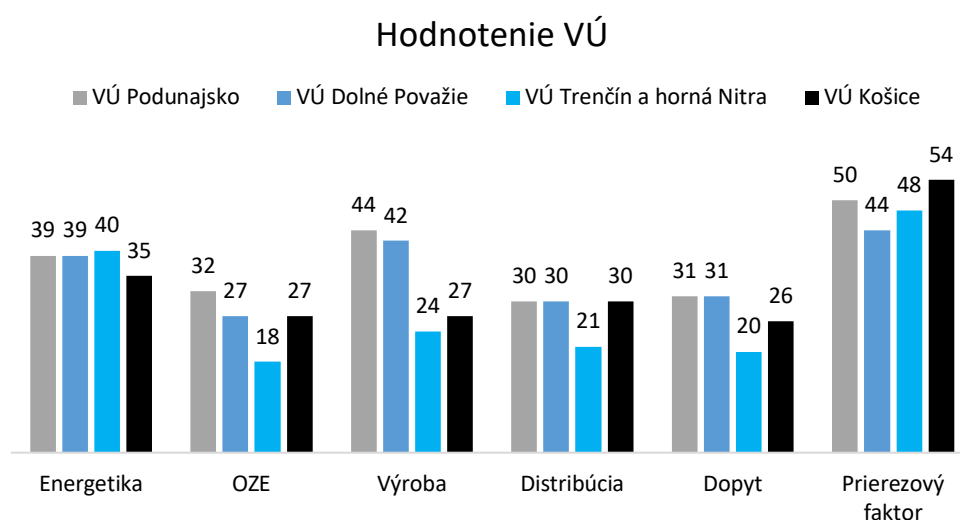
siete spoločnosti Eustream, umožňujúcej efektívnu prepravu vyrobeného vodíka. Vo VÚ by bolo vhodné maximálne využiť existujúcu energetickú infraštruktúru a zároveň rozvíjať nové projekty OZE s cieľom zabezpečiť dlhodobú produkciu obnoviteľného vodíka.

- **VÚ Dolné Považie** dosahuje dobré skóre v oblastiach výroby, spotrebe a energetiky, najmä vďaka existujúcej kvalitnej energetickej infraštruktúre, existencii veľkého potenciálu odberu vodíka v priemysle a blízkosti zdrojov energie vhodných na výrobu vodíka. Región má tiež vysoký potenciál pre rozvoj nových OZE projektov, pričom ich realizácia môže významne zvýšiť produkciu obnoviteľného vodíka. Vo VÚ by bolo vhodné maximálne využiť existujúcu energetickú infraštruktúru a zároveň rozvíjať nové projekty OZE s cieľom zabezpečiť dlhodobú produkciu obnoviteľného vodíka.
- **VÚ Trenčín a horná Nitra** má v hodnotení najnižšie skóre najmä v oblastiach OZE a distribúcie, pričom tieto nedostatky sú spojené s obmedzenou dostupnosťou vhodných pozemkov a nižším súčasným využitím obnoviteľných zdrojov energie. Výhodou tohto regiónu je však lepšia dostupnosť voľných kapacít pripojenia na elektrizačnú sústavu, čo umožňuje efektívnejšiu integráciu výroby vodíka z prevádzkového a ekonomického hľadiska. Navyše, existujúce iniciatívy a zabezpečené financovanie pilotných projektov predstavujú silnú konkurenčnú výhodu. Vo VÚ by bolo vhodné posilniť rozvoj kapacít na výrobu vodíka, aktívne využívať existujúce financovanie a iniciatívy, a zároveň prioritne podporiť výstavbu nových zdrojov obnoviteľnej energie.

VÚ boli posudzované na základe viacerých kľúčových faktorov: energetika, obnoviteľné zdroje energie (OZE), výrobný potenciál, distribučné možnosti, dopyt a prierezové faktory ako dostupnosť financovania či verejná podpora.

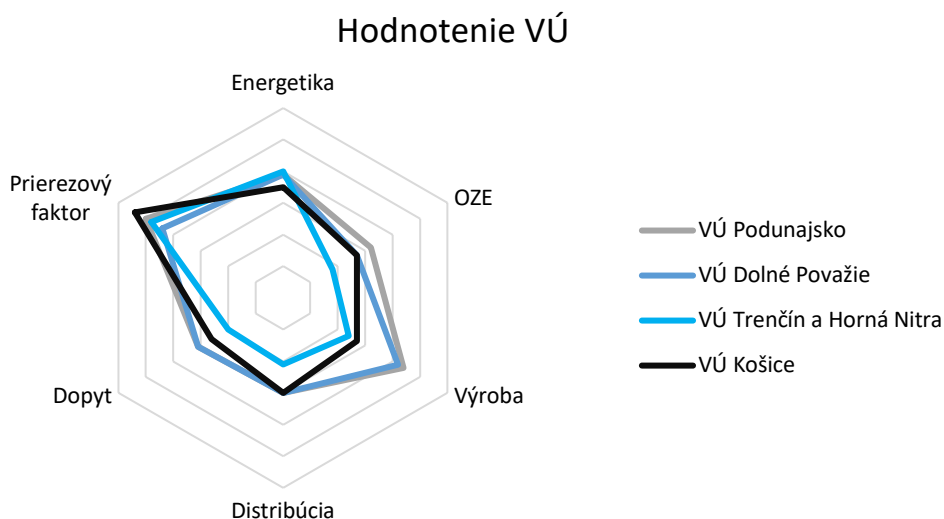
Porovnávací analýza vodíkových údolí

Na základe výsledkov hodnotenia (viď priložený graf), je zrejmé, že jednotlivé vodíkové údolia majú svoje špecifické výhody aj slabé stránky:



Celkové hodnotenie a odporúčania

Z celkového hodnotenia vyplýva, že všetky analyzované vodíkové údolia majú potenciál na úspešnú realizáciu vodíkových projektov, pričom každé z nich by malo zamerať pozornosť na rozvoj vlastných silných stránok a minimalizáciu nedostatkov.



Obrázok 90: Diagram hodnotenia vodíkových údolí

Je potrebné:

- V rámci pripravovaných aj perspektívnych VÚ rozvíjať ich silné stránky a ponúkané príležitosti a minimalizovať negatívne vplyvy slabých stránok a podľa toho prioritizovať infraštruktúrne projekty:
 - modernizácie prenosovej a distribučnej elektrickej siete,
 - výstavby rentabilných výrobných kapacít vodíka (elektrolyzéroov) a nových kapacít OZE,
 - modernizácie a adaptácie tranzitnej a distribučnej plynárenskej infraštruktúry,
 - dlhodobé využívanie obnoviteľného vodíka v regionálnom priemysle, doprave a energetike.
- Každé pripravované aj perspektívne VÚ by malo efektívne využívať existujúce financovanie a iniciatívy a medzinárodnú spoluprácu na rozvoj výrobných kapacít a zvýšenie podielu obnoviteľných zdrojov energie vo výrobe vodíka.

Na základe tejto analýzy boli navrhnuté nasledovné opatrenia:

- Vo VÚ Podunajsko a VÚ Dolné Považie maximálne využiť existujúcu energetickú infraštruktúru a zároveň rozvíjať nové projekty OZE s cieľom zabezpečiť dlhodobú produkciu obnoviteľného vodíka.

- Vo VÚ Trenčín a horná Nitra posilniť rozvoj kapacít na výrobu vodíka, aktívne využívať existujúce financovanie a iniciatívy, a zároveň prioritne podporiť výstavbu nových zdrojov obnoviteľnej energie.

Implementácia týchto odporúčaní prispeje k efektívnemu a vyváženému rozvoju vodíkových technológií na Slovensku, čím sa dosiahnu stanovené energetické, ekonomické a environmentálne ciele krajiny.

6 SCENÁRE BUDÚCEHO ROZVOJA VODÍKOVÉHO HOSPODÁRSTVA V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

6.1 Úvod

Scenáre vodíkového hospodárstva nadväzujú na dekarbonizačné opatrenia a scenáre popisované v hlavných mitigačných strategických a analytických dokumentoch SR²⁶⁰. Ciele a záväzky pre SR v oblasti vodíka aj celkovej dekarbonizácie vyplývajú z medzinárodných dokumentov EÚ aj OSN²⁶¹. Kľúčové bude dosiahnuť zníženia emisií skleníkových plynov o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990 a do roku 2050 smerovať ku klimatickej neutralite). Pokles hodnoty emisií skleníkových plynov v rokoch 2019 – 2023 osciluje v rozmedzí 46,13 – 50,1 %²⁶².

Kvantifikácia scenárov vychádza zo spotreby vodíka pokrytej jeho výrobou, s potrebou skladovania a distribúcie. Časové hľadisko pre analyzované scenáre kladie dôraz na aktivity do roku 2030 ale iniciatívy a realizácia projektov môže prebiehať do roku 2035 (napr. investičné zámery v energetike).

6.2 Popis scenárov rozvoja

V ŠRH2 sa uvažuje s tromi scenármi, ktoré môžu nastať pri rozvoji vodíkového hospodárstva v krátkodobom až strednodobom horizonte.

1. Konzervatívny scenár počíta s existujúcimi opatreniami, ktorých vplyv na rast spotreby vodíka bude obmedzený a dopyt bude takmer plne pokrývať výroba na Slovensku. Tento prístup sa zvykne nazývať aj scenár WEM (z angl. „with existing measures“), resp. „business as usual“.
2. Stredný scenár počíta s doplňujúcimi opatreniami oproti súčasnému stavu, ktoré stimulujú ďalší rast spotreby vodíka, ktorú sčasti pokryje aj import vodíka. Tento druh scenára sa zvykne nazývať aj WAM (z angl. „with additional measures“).
3. Ambiciózny scenár uvažuje s komplexným programom opatrení a s výrazným rastom spotreby vodíka, ktorú môže pokryť aj import vodíka a podpora využívania, ale aj ďalšieho vývoja vodíkových technológií. Aj tento prístup možno nazvať WAM, pre odlišenie so stredným scenárom je vhodné ho nazývať WAM+ scenárom.

6.2.1 Konzervatívny scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska

Tento scenár možno charakterizovať nasledovne:

²⁶⁰ INEKP - MH SR; NuS 2030/2050, MŽP SR; Bilancia výroby, spotreby, importu a exportu vodíka v SR, Inštitút hospodárskych analýz MH SR

²⁶¹ Európska zelená dohoda; RED III; Rámcový dohovor OSN o zmene klímy (Parížska dohoda); Posilnenie energetickej bezpečnosti (REPowerEU); Fit for55

²⁶² Podľa údajov SHMÚ dosahovali celkové emisie skleníkových plynov na Slovensku v roku 1990 asi 73,95 mil. t eCO₂ (Gg CO₂ ekv.). Údaje za rok 2023 uvádzajú pokles na 37,1 mil. t eCO₂. Pokračoval pokles emisií v energetike a zaznamenal sa aj ako novinka pokles v doprave. Vývoj emisií sa v posledných rokoch stúpa a klesá.

- Predpokladajú sa minimálne zmeny oproti súčasnému stavu. Scenár uvažuje primárne s dokončením spustených iniciatív a projektov. Využitie vodíka primárne v existujúcom priemysle (napr. Duslo Šaľa, Slovnaft, Fortischem, USSK).
- Pilotné projekty v oblasti vodíkovej mobility vo vybraných mestách alebo regiónoch.
- V doprave sa očakáva len pomalý nárast spotreby a ciele NEKP budú naplnené iba čiastočne.
- Vývoj vodíkového hospodárstva bude stagnovať a bude závislý na súčasnej infraštruktúre, s minimálnymi zmenami.
- V legislatíve sa implementujú len povinné a záväzné opatrenia pre členov EÚ. Veľká časť požiadaviek v podobe konkrétnych projektov bude realizované s omeškaním, a to po roku 2030. Bez legislatívnych úprav bude implementácia opatrení pomalá a v niektorých prípadoch paralyzovaná kvôli povolovacím procesom.
- Intenzita emisií skleníkových plynov pri výrobe elektrickej energie v národnom energetickom mixe zostane nad limit doplnkovosti $> 18\text{g CO}_2\text{eq/MJ}$, podpora v podobe zníženia distribučných poplatkov sa nepredpokladá.
- Vodíkové hospodárstvo bude koncentrované vo vodíkových údoliach Podunajsko, Dolné Považie, Košice a Trenčín.

6.2.1.1 Parametre scenáru

Doprava	
Osobné a ľahké úžitkové vozidlá doprava	V osobnej doprave sa očakáva hlavne využitie batériových vozidiel ako spôsob dekarbonizácie. Počty vozidiel sa budú odvíjať od vývoja v technológiách a politických rozhodnutí ale aj od dopytu verejnosti. Počty budú relatívne nízke a budú závisieť od dostupnosti verejnej čerpacej infraštruktúry. Predpokladaný počet vozidiel sa bude pohybovať v desiatkach až nízkych stovkách.
Nákladná doprava	Očakáva sa iba polovičné naplnenie cieľa NEKP na 0,5 % ťažkej nákladnej dopravy čo zodpovedá približne 210 vozidlám kategórie N2 a N3. V nákladnej doprave sa dá počítať aj s dopytom nákladných vozidiel ktoré nie sú registrované v SR. Dopyt v tejto kategórii však nie je započítaný do finálnej spotreby.
Autobusová doprava	Obnova vozového parku mestských autobusov sa odhaduje na 7% (súčasný priemer podnikov MHD) za rok a z toho 48 % je nízkoemisných. Očakáva sa že jedna tretina z obstaraných nízkoemisných autobusov bude na vodíkový pohon. Celkové množstvo vodíkových autobusov do roku 2030 je odvodené len z ohlásených zámerov v SR.

	Neočakáva sa implementácia vodíka v prímestskej a diaľkovej doprave.
Ostatné sektory dopravy	Do roku 2030 sa neočakáva využitie vodíka v železničnej, lodnej a ani leteckej doprave na území SR vo veľkom množstve.
Čerpace stanice	Výbudovanie 4-5 čerpacích staníc so zameraním na zlepšenie logistickej siete pre nákladnú dopravu a prevádzku autobusov v rámci vodíkových údolí.
Priemysel	
Chemický priemysel	Očakáva sa implementácia elektrolyzérův o veľkosti do 10 MW aspoň v dvoch priemyselných podnikoch. Okrem nich sa neočakáva výraznejšie využitie v priemysle (možné posunutie termínov do r. 2035). Dekarbonizácia vodíka v týchto spoločnostiach tak prebehne neskôr až po roku 2030 bez výraznej podpory.
Hutnícky priemysel	Spotreba obnoviteľného vodíka v hutníckom priemysle bude minimálne 42 % zo súčasnej spotreby. Využívanie vodíka v ostatných priemyselných odvetviach sa neočakáva a ich dekarbonizačné ciele sa dosiahnu iba za pomoci elektrifikácie alebo alternatívnymi metódami.
Ostatné sektory	
	Očakáva sa len minimálne využitie vodíka v iných sektoroch hospodárstva ako napr. v energetike, vykurovaní priemyselných a obytných budov alebo v ostatných odvetviach priemyslu.

Tabuľka 127: Charakteristika spotreby vodíka v konzervatívnom scenári

Zdroj: stengl a.s.

6.2.1.2 Potrebná infraštruktúra

Nasledujúca tabuľka obsahuje zhrnutie očakávaných počtov vozidiel v konzervatívnom scenári v roku 2030:

Druh dopravy	Počet vozidiel
Nákladná doprava (N2, N3)	210 nákladných vozidiel
Autobusová doprava (M2, M3)	85 autobusov (hlavne mestské autobusy)
Osobná doprava (M1, N1)	40 – 200 vozidiel
Železničná doprava	Dekarbonizácia železničnej dopravy do roku 2030 prebehne len pomocou elektrifikácie.
Lodná doprava	Nepredpokladá sa nasadenie vodíka v lodnej doprave pred rokom 2030
Letecká doprava	Spotreba len pre IPCEI projekt H2 VTOL a prípadné nasadenie lietadiel s vertikálnym vzletom

Tabuľka 128: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel konzervatívnom scenári

Zdroj: stengl a.s.

V oblasti priemyslu sa plánuje čiastočná dekarbonizácia existujúcej spotreby vodíka, pričom tento proces nebude vyžadovať významné zásahy do súčasných výrobných technológií a procesov. Dekarbonizácia prebehne prevažne v chemickom priemysle s celkovým výkonom elektrolyzéroov na úrovni 20 MW.

Na pokrytie predpokladaného dopytu po vodíku v doprave a priemysle bude potrebná inštalácia elektrolyzéroov s celkovým výkonom 51 MW. Súčasne bude nutné vybudovať nové obnoviteľné zdroje energie (hlavne vietor a fotovoltika), ktoré budú dodávať elektrickú energiu pre výrobu vodíka a priemyselnú spotrebu. Výroba vodíka a zdroje energie budú rozdelené medzi vodíkové údolia. Predpokladá sa vznik nových zdrojov energie vo forme OZE ale aj využitie existujúcich vodných elektrární. Energia z elektrickej sústavy sa bude používať najmä ako doplnkový zdroj energie zabezpečujúci stabilnú prevádzku.

Výroba vodíka	Na pokrytie dopytu v roku 2030 bude potrebných 51 MW elektrolyzéroov v SR
Kapacity OZE	Potreba vybudovania nových kapacít OZE pre spotrebu v priemysle a doprave odhadované na: • 36 MWp dedikovaných veterných elektrární • 41 MWp dedikovaných solárnych elektrární Ostatná spotreba energie: • Celková spotreba bude 264 GWh elektrickej energie • Odhadovaná spotreba 83 GWh energie z vodných elektrární • Odhadovaná spotreba 8 GWh energie z elektrickej sústavy • Odhadovaná spotreba 15 GWh energie z biomasy alebo odpadu V jednotlivých projektoch je možná náhrada inými obnoviteľnými zdrojmi energie.
Distribúcia vodíka	Distribúcia vodíka bude využívať takmer výlučne cestnú prepravu vodíka pomocou rúrkových prívesov a kontajnerov MEGC.

Tabuľka 129: Technické parametre výroby vodíka v konzervatívnom scenári

Zdroj: stengl a.s.

Výroba vodíka na základe konzervatívneho scenára bude na úrovni 4 570 t ročne pri čom väčšina spotreby pochádza z dopytu v mestskej autobusovej doprave a nákladnej doprave. Spotreba chemickom priemysle bude taktiež významná a bude slúžiť ako doplnok k súčasnej výrobe fosílného vodíka.

Výroba vodíka [t / rok]	4 570
Import vodíka [t / rok]	0
Spotreba vodíka v doprave [t / rok]	2 990
Spotreba vodíka v chemickom priemysle [t / rok]	1 460
Spotreba vodíka v hutníckom priemysle [t / rok]	120

Tabuľka 130: Bilancia spotreby a výroby vodíka v konzervatívnom scenári

Zdroj: stengl a.s.

6.2.2 Stredný scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska

Stredný scenár možno rámcovo charakterizovať nasledovne:

- Očakáva sa včasná implementácia zmien a nárast aktivity vo vodíkovom sektore (čiže scenár “with additional measures”). Scenár zahŕňa okrem dokončenia rozbehnutých iniciatív aj ich navýšenie v súlade s klimatickými cieľmi (hlavne NEKP a RED III).
- Úprava aktuálnej legislatívy s dôrazom na zníženie administratívnej náročnosti a zrýchlenie povoľovania OZE a vodíkových technológií. Úprava technických noriem potrebných pre výstavbu a prevádzku vodíkových technológií.
- Prebehne významná dekarbonizácia dopravy, so zrýchlenou výstavbou vodíkových čerpacích staníc a nárastom dopytu najmä po roku 2027.
- Využitie existujúcich a plánovaných nástrojov financovania na podporu výstavby a prevádzky vodíkových technológií.
- Vodíkové hospodárstvo bude koncentrované hlavne vo vodíkových údoliach Podunajsko, Dolné Považie, Košice a Trenčín.

6.2.2.1 Parametre scenáru

Doprava	
Osobné a ľahké úžitkové vozidlá doprava	V osobnej doprave sa očakáva najmä elektrifikácia. Počty sa budú odvíjať najmä od vývoja v technológiách a politických rozhodnutí. Na Slovensku je zhruba 2.9 mil. Osobných a ľahkých úžitkových aut registrovaných aut a ich odhadovaná náhrada v strednom scenári predstavuje hodnotu 0.065 % a 1 900 vozidiel.
Nákladná doprava	Spotreba vodíka v nákladnej doprave sa odvíja od cieľu NEKP kde spotreba vodíka v doprave musí dosiahnuť 1 %, čo zodpovedá približne 420 vozidlám kategórie N2 a N3. V nákladnej doprave sa dá počítať aj s dopytom nákladných vozidiel ktoré nie sú registrované v SR. Dopyt v tejto kategórii však nie je započítaný do finálnej spotreby.
Autobusová doprava	Obnova vozového parku mestských a prímestských autobusov sa odhaduje na 10 % (na úrovni krajín západnej Európy) za rok a z toho 48 % je nízkoemisných. Očakáva sa že jedna tretina z obstaraných nízkoemisných autobusov bude na vodíkový pohon.

	Do roku 2027 bude pomer obstarávaných vodíkových autobusov nižší ale bude postupne stúpať najmä vďaka lepšiemu dojazdu a jednoduchšiemu prevádzkovaníu.
	Neočakáva sa nákup výrazných počtov diaľkových autobusov do roku 2030 z dôvodu ich nízkej dostupnosti na trhu. Pripúšťa sa menší počet diaľkových autobusov do roku 2030 ale výrazný nárast nastane až po roku 2030.
Ostatné sektory dopravy	Do roku 2030 sa očakáva využitie vodíka v železničnej doprave na jednej až dvoch tratiach. Využitie vodíka v lodnej ani leteckej doprave sa neočakáva.
Čerpacie stanice	Dobudovanie ďalších 2 verejných čerpacích staníc oproti konzervatívnemu scenáru (celkom 6-7) so zameraním na pokrytie cestnej siete TEN-T (v súlade s AFIR), zlepšenie logistickej siete pre nákladnú dopravu ale aj pre zvýšený počet autobusov v rámci vodíkových údolí.
	Je možná výstavba dodatočných čerpacích staníc mimo vodíkových údolí najmä pre využitie v logistických centrách, autobusových depách a podobne.
Priemysel	
Chemický priemysel	Spotreba obnoviteľného vodíka v priemysle pokryje ciele RED III na dekarbonizáciu 42% vodíka, ktorý sa v súčasnosti využíva.
	Z technických dôvodov však nebude možné dosiahnutie 42 % cieľu vo všetkých odvetviach priemyslu a to hlavne pri výrobe hnojív a močoviny kde bude spotreba obnoviteľného vodíka obmedzená na menej ako 10 %.
Hutnícky priemysel	Dekarbonizácia vodíka pri výrobe ocele bude minimálne 42 %.
	Využívanie vodíka v ostatných priemyselných odvetviach sa neočakáva a ich dekarbonizačné sa dosiahnu iba za pomoci elektrifikácie alebo alternatívnymi metódami. Dopyt sa očakáva po roku 2030 z dovozu pomocou EUSTREAM alebo po vybudovaní výrobných kapacít v SR a zníženia cien vodíka.
Ostatné	
	Očakáva sa len minimálne využitie vodíka v iných sektoroch hospodárstva ako napr. v energetike, vykurovaní priemyselných a obytných budov alebo v ostatných odvetviach priemyslu do roku 2030 z dôvodu vysokých cien vodíka a dostupnosti alternatívnych riešení dekarbonizácie. Po roku 2030 je využitie očakávané aj v ďalších sektoroch hospodárstva vďaka znižovaniu cien vodíka a inováciám.

Tabuľka 131: Charakteristika spotreby vodíka v strednom scenári

Zdroj: stengl a.s.

6.2.2.2 Potrebná infraštruktúra

Nasledovná tabuľka obsahuje zhrnutie očakávaných počtov vozidiel v strednom scenári v roku 2030:

Druh dopravy	Počet vozidiel
Nákladná doprava (N2, N3)	420 nákladných vozidiel
Autobusová doprava (M2, M3)	451 autobusov (hlavne mestské autobusy)

Osobná doprava (M1, N1)	1 900 vozidiel
Železničná doprava	Prebehne dekarbonizácia jednej železničnej trate do roku 2030 pomocou 12 vodíkových vlakov.
Lodná doprava	Nepredpokladá sa nasadenie vodíka v lodnej doprave pred rokom 2030
Letecká doprava	Spotreba len pre IPCEI projekt H2 VTOL a prípadné nasadenie lietadiel s vertikálnym vzletom.

Tabuľka 132: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel strednom scenári

Zdroj: stengl a.s.

V oblasti priemyslu sa plánuje výrazná dekarbonizácia existujúcej spotreby vodíka, v súlade s nariadením RED III pokiaľ to dovoľujú technické podmienky v podnikoch. Dekarbonizácia prebehne v chemickom priemysle a to v podnikoch Slovnaft a.s. a Duslo a.s.

Scenár počíta s využitím potrubia EUSTREAM a distribučných vodíkových potrubí na prepravu vodíka zo zahraničia. V takom prípade budú v podnikoch Slovnaft a.s. a Duslo a.s. vybudované elektrolyzéry s kapacitou 20 MW a zvyšný vodík bude dovážaný zo zahraničia. Predpokladá sa aj dekarbonizácia vodíka v USSK pomocou obnoviteľného vodíka na úrovni 42 %. V prípade nedostupnosti prepravných potrubí a zahraničnej produkcie vodíka bude potrebná výroba vodíka s kapacitou 350 - 450 MW, pričom spustenie prevádzky je náročné realizovať pred rokom 2030. Viac pravdepodobný by bol termín v období 2030 – 2035.

Na pokrytie predpokladaného dopytu po vodíku v doprave a priemysle bude potrebná inštalácia elektrolyzérov s celkovým výkonom 93 MW. V prípade že dovoz obnoviteľného vodíka nebude možný, kapacita elektrolyzérov by musela stúpnuť na 440 – 540 MW. Súčasne bude nutné vybudovať nové kapacity OZE (hlavne vietor a fotovoltika), ktoré budú dodávať elektrickú energiu pre výrobu vodíka a priemyselnú spotrebu. Výroba vodíka a zdroje energie budú rozdelené medzi vodíkové údolia. Predpokladá sa vznik nových zdrojov energie vo forme OZE ale aj využitie existujúcich vodných elektrární. Energia z elektrickej sústavy sa bude používať najmä ako doplnkový zdroj energie zabezpečujúci stabilnú prevádzku.

Výroba vodíka	Na pokrytie dopytu v roku 2030 bude potrebných 93 MW elektrolyzérov v SR a dovoz 40 000 t vodíka ročne.
Kapacity OZE	Potreba vybudovania nových kapacít OZE pre spotrebu v priemysle a doprave odhadované na: • 91 MWp dedikovaných veterných elektrární • 67 MWp dedikovaných solárnych elektrární Ostatná spotreba energie: • Celková spotreba bude 517 GWh elektrickej energie • Odhadovaná spotreba 148 GWh energie z vodných elektrární • Odhadovaná spotreba 14 GWh energie z elektrickej sústavy

Distribúcia vodíka	V jednotlivých projektoch je možná náhrada inými obnoviteľnými zdrojmi energie. Distribúcia vodíka bude využívať cestnú prepravu vodíka pomocou rúrkových prívesov a kontajnerov MEGC najmä pre dopyt v doprave. Pre veľkokapacitný dopyt v priemysle musí byť vodík prepravovaný pomocou potrubí.

Tabuľka 133: Technické parametre výroby vodíka v strednom scenári

Zdroj: stengl a.s.

Výroba vodíka na základe stredného scenára bude na úrovni 8 920 t ročne pri čom väčšina spotreby vodíka vyrobeného v SR pochádza z dopytu v mestskej autobusovej doprave a nákladnej doprave. Spotreba chemickom priemysle bude taktiež významná a opiera sa o vodík importovaný zo zahraničia.

Výroba vodíka (tony / rok)	8 920
Dovoz vodíka (tony / rok)	39 130
Spotreba vodíka v doprave (tony / rok)	7 210
Spotreba vodíka v chemickom priemysle (tony / rok)	40 580
Spotreba vodíka v hutníckom priemysle (tony / rok)	260

Tabuľka 134: Bilancia spotreby a výroby vodíka v strednom scenári

Zdroj: stengl a.s.

6.2.3 Ambiciózny scenár vývoja vodíkového hospodárstva Slovenska

Ambiciózny scenár možno rámcovo charakterizovať nasledovne:

- Očakáva sa včasná implementácia zmien a nárast aktivity vo vodíkovom sektore nad rámec stredného scenára. Scenár zahŕňa okrem dokončenia rozbehnutých iniciatív aj ich navýšenie v súlade s klimatickými cieľmi (hlavne NEKP a RED III), ambicióznou obnovu vozových parkov MHD.
- Úprava aktuálnej legislatívy s dôrazom na zníženie administratívnej náročnosti a zrýchlenie povoľovania OZE a vodíkových technológií. Úprava technických noriem potrebných pre výstavbu a prevádzku vodíkových technológií.
- Prebehne významná dekarbonizácia dopravy, so zrýchlenou výstavbou vodíkových čerpacích staníc a nárastom dopytu najmä po roku 2027. Adopcia vodíkových pohonov v doprave bude výrazne podporovaná zo strany štátu najmä v autobusovej a nákladnej doprave kde je rýchla implementácia vodíkových technológií najpravdepodobnejšia.
- Slovensko sa zameria na strategický rozvoj vodíkových technológií a podporu všetkých častí vodíkového hodnotového reťazca na území SR (aj v spolupráci so zahraničnými partnermi) čím vytvorí lepšie podmienky pre budúci rast ekonomiky.
- Využitie existujúcich nástrojov financovania (EU fondy a výrazná podpora zo štátneho rozpočtu) na podporu výstavby a prevádzky vodíkových technológií.
- Vodíkové hospodárstvo bude koncentrované hlavne vo vodíkových údoliach Podunajsko, Dolné Považie, Košice a Trenčín. Existuje potenciál aj pre vybudovanie značnej vodíkovej infraštruktúry aj mimo vodíkových údolí.

6.2.3.1 Parametre scenáru

Doprava	
Osobné a ľahké úžitkové vozidlá doprava	V osobnej doprave sa očakáva najmä elektrifikácia. Počty sa budú odvíjať najmä od vývoja v technológiách a politických rozhodnutí. Na Slovensku je zhruba 2.9 mil. Osobných a ľahkých úžitkových aut registrovaných aut a ich odhadovaná náhrada v strednom scenári predstavuje hodnotu 0.065% a 1 900 vozidiel. Spotreba vodíka v osobnej doprave sa očakáva až po roku 2030.
Nákladná doprava	Spotreba vodíka v nákladnej doprave sa odvíja od cieľu NEKP kde spotreba vodíka v doprave musí dosiahnuť 1%, čo zodpovedá približne 420 vozidlám kategórie N2 a N3. V nákladnej doprave sa dá počítať aj s dopytom nákladných vozidiel ktoré nie sú registrované v SR. Dopyt v tejto kategórii však nie je započítaný do finálnej spotreby.
Autobusová doprava	Obnova vozového parku mestských a prímestských autobusov sa odhaduje na 12% (na úrovni najvyspelejších krajín Európy) za rok a z toho 48% je nízkoemisných. Očakáva sa že jedna tretina z obstaraných nízkoemisných autobusov bude na vodíkový pohon. Do roku 2027 bude pomer obstarávaných vodíkových autobusov nižší ale bude postupne stúpať najmä vďaka lepšiemu dojazdu a jednoduchšiemu prevádzkovaniu. Neočakáva sa nákup výrazných počtov diaľkových autobusov do roku 2030 z dôvodu ich nízkej dostupnosti na trhu. Pripúšťa sa menší počet diaľkových autobusov do roku 2030 ale výrazný nárast nastane až po roku 2030.
Ostatné sektory dopravy	Do roku 2030 sa očakáva využitie vodíka v železničnej doprave na dvoch tratiach. Využitie vodíka v lodnej a leteckej doprave sa bude rozvíjať, avšak výraznejšia spotreba vodíka v daných sektoroch sa očakáva až po roku 2030.
Čerpacie stanice	Vytvorenie 4-5 verejných čerpacích staníc pozdĺž TEN-T v hlavných dopravných uzloch. Výbudovanie ďalších 4 verejných čerpacích staníc so zameraním na pokrytie cestnej siete TEN-T, zlepšenie logistickej siete pre nákladnú dopravu ale aj pre zvýšený počet autobusov v rámci vodíkových údolí. Je možná výstavba dodatočných čerpacích staníc podľa požiadaviek aj mimo vodíkových údolí najmä pre využitie v logistických centrách, autobusových depách a podobne.
Priemysel	
Chemický priemysel	Spotreba obnoviteľného vodíka v priemysle pokryje ciele RED III na dekarbonizáciu 42% vodíka, ktorý sa v súčasnosti využíva. Z technických dôvodov však nebude možné dosiahnutie 42% cieľu vo všetkých odvetviach priemyslu a to hlavne pri výrobe hnojív a močoviny kde bude spotreba obnoviteľného vodíka obmedzená na menej ako 10%.
Hutnícky priemysel	Dekarbonizácia vodíka pri výrobe ocele bude na úrovni 100%. Očakáva sa tiež mierny nárast celkovej spotreby.

Využívanie vodíka v ostatných priemyselných odvetviach sa neočakáva a ich dekarbonizačné sa dosiahnu iba za pomoci elektrifikácie alebo alternatívnymi metódami. Dopyt sa očakáva po roku 2030 z dovozu pomocou EUSTREAM alebo po vybudovaní výrobných kapacít v SR a zníženia cien vodíka.
Ostatné
Očakáva sa len minimálne využitie vodíka v iných sektoroch hospodárstva ako napr. v energetike, vykurovaní priemyselných a obytných budov alebo v ostatných odvetviach priemyslu do roku 2030 z dôvodu vysokých cien vodíka a dostupnosti alternatívnych riešení dekarbonizácie. Po roku 2030 je využitie očakávané aj v ďalších sektoroch hospodárstva vďaka znižovaniu cien vodíka a inováciám.

Tabuľka 135: Charakteristika spotreby vodíka v ambicióznom scenári

Zdroj: stengl a.s.

6.2.3.2 Potrebná infraštruktúra

Nasledovná tabuľka obsahuje zhrnutie očakávaných počtov vozidiel v strednom scenári v roku 2030:

Druh dopravy	Počet vozidiel
Nákladná doprava (N2 a N3)	420 nákladných vozidiel
Autobusová doprava (M2 a M3)	540 autobusov (hlavne mestské autobusy)
Osobná doprava (M1 a N1)	1 900 vozidiel
Železničná doprava	Nasadenie do 24 osobných vlakov na vybraných tratiach s výhľadom ďalšieho nárastu počtu vlakov a dekarbonizáciu ďalších úsekov po roku 2030
Lodná doprava	Nepredpokladá sa nasadenie vodíka v lodnej doprave pred rokom 2030
Letecká doprava	Spotreba len pre IPCEI projekt H2 VTOL a prípadné nasadenie lietadiel s vertikálnym vzletom.

Tabuľka 136: Prehľad cieľového počtu vodíkových vozidiel ambicióznom scenári

Zdroj: stengl a.s.

V oblasti priemyslu sa plánuje výrazná dekarbonizácia existujúcej spotreby vodíka, v súlade s nariadením RED III pokiaľ to dovoľujú technické podmienky v podnikoch. Dekarbonizácia prebehne v chemickom priemysle a to v podnikoch Slovnaft a.s. a Duslo a.s.

Scenár počíta s využitím potrubia EUSTREAM a distribučných vodíkových potrubí na prepravu vodíka zo zahraničia. V takom prípade budú v podnikoch Slovnaft a.s. a Duslo a.s. vybudované elektrolyzéry s kapacitou 20 MW a zvyšný vodík bude dovážaný zo zahraničia. Predpokladá sa aj dekarbonizácia vodíka v USSK pomocou obnoviteľného vodíka na úrovni 100 %. V prípade nedostupnosti prepravných potrubí a zahraničnej produkcie vodíka bude potrebná výroba vodíka s kapacitou 350 - 450 MW, pričom spustenie prevádzky je náročné stihnúť pred rokom 2030. Viac pravdepodobný by bol termín v období 2030 - 2035.

Na pokrytie predpokladaného dopytu po vodíku v doprave a priemysle bude potrebná inštalácia elektrolyzérů s celkovým výkonom 107 MW. V prípade že dovoz obnoviteľného vodíka nebude možný, kapacita elektrolyzérů by musela stúpnuť na 450 – 550 MW. Súčasne bude nutné vybudovať nové obnoviteľné zdroje energie, ktoré budú dodávať elektrickú energiu pre výrobu vodíka a priemyselnú spotrebu. Výroba vodíka a zdroje energie budú rozdelené medzi vodíkové údolia. Predpokladá sa vznik nových zdrojů energie vo forme OZE ale aj využitie existujúcich vodných elektrární. Energia z elektrickej sústavy sa bude používať najmä ako doplnkový zdroj energie zabezpečujúci stabilnú prevádzku.

Výroba vodíka	Na pokrytie dopytu v roku 2030 bude potrebných 107 MW elektrolyzérů v SR a dovoz 40 000 t vodíka ročne.
Kapacity OZE	Potreba vybudovania nových kapacít OZE pre spotrebu v priemysle a doprave odhadované na: • 102 MWp dedikovaných veterných elektrární • 82 MWp dedikovaných solárnych elektrární Ostatná spotreba energie: • Celková spotreba bude 651 GWh elektrickej energie • Odhadovaná spotreba 227 GWh energie z vodných elektrární • Odhadovaná spotreba 17 GWh energie z elektrickej sústavy V jednotlivých projektoch je možná náhrada inými obnoviteľnými zdrojmi energie.
Distribúcia vodíka	Distribúcia vodíka bude využívať cestnú prepravu vodíka pomocou rúrkových prívosů a kontajnerů MEGC najmä pre dopyt v doprave. Pre veľkokapacitný dopyt v priemysle musí byť vodík prepravovaný pomocou potrubí.

Tabuľka 137: Technické parametre výroby vodíka v ambicióznom scenári

Zdroj: stengl a.s.

Výroba vodíka na základe ambiciózneho scenára bude na úrovni 11 220 t ročne pri čom väčšina spotreby vodíka vyrobeného v SR pochádza z dopytu v autobusovej doprave a nákladnej doprave. Spotreba chemickom priemysle bude taktiež významná a bude sa opierať o vodík importovaný zo zahraničia.

Výroba vodíka [t / rok]	11 220
Import vodíka [t / rok]	39 120
Spotreba vodíka v cestnej doprave [t / rok]	8 330
Spotreba vodíka v železničnej doprave [t / rok]	860
Spotreba vodíka v chemickom priemysle [t / rok]	40 575
Spotreba vodíka v hutníckom priemysle [t / rok]	580

6.3 Vyhodnotenie scenárov vrátane finančného modelu a rizikovej analýzy

Konzervatívny scenár sa zameriava na minimálnu potrebnú infraštruktúru pre výrobu vodíka, čím znižuje investičné náklady na výrobu vodíka a OZE. Jeho hlavnou výhodou je nízke riziko a nezávislosť od dovozu vodíka, avšak za cenu vyššej ceny vodíka a obmedzenej kapacity, čo môže brániť širšiemu rozvoju vodíkoveho trhu na Slovensku. Tento prístup je síce finančne bezpečnejší, ale v dlhodobom horizonte by mohol viesť k oneskorenej adaptácii vodíkovej ekonomiky a strate konkurencieschopnosti voči iným krajinám. Nevýhoda je tiež nenaplnenie klimatických cieľov.

Ambiciózny scenár stavia na maximálnom využití potenciálu vodíka s vysokými investíciami do infraštruktúry, obnoviteľných zdrojov a výrobných kapacít. Tento prístup umožňuje produkciu vodíka za najnižšiu cenu a podporuje jeho širšie využitie, vrátane exportu. Scenár však predstavuje malú zmenu oproti strednému scenáru a naplnenie všetkých míľnikov je veľmi náročné.

Stredný scenár predstavuje vyvážený prístup k dosiahnutiu klimatických cieľov a silnému využitiu potenciálu vodíka. Ponúka dostatočne veľké investície na rozvoj vodíkovej infraštruktúry a podporu trhu, pričom zachováva ekonomickú udržateľnosť a menej náročnú implementáciu oproti ambicióznemu scenáru. Vzhľadom na vyváženosť medzi investíciami, cenovou dostupnosťou vodíka a udržateľnosťou je stredný scenár najrozumnejšou voľbou pre Slovensko v súčasných podmienkach.

6.3.1 Potrebné investície na naplnenie scenárov

Na základe ekonomických a inžinierskych výpočtov boli odhadnuté tieto investície pre napĺňanie jednotlivých scenárov.

	Konzervatívny scenár	Stredný scenár	Ambiciózny scenár
Počet lokalít výroby vodíka	7	7	7
	3 s priemyselným zameraním 4 s dopravným zameraním	3 s priemyselným zameraním 4 s dopravným zameraním	3 s priemyselným zameraním 4 s dopravným zameraním
Priemerná veľkosť elektrolyzéro [MW]	7,3	13,3	15,3
	(51 celkom)	(93 celkom)	(107 celkom)
Spotreba energie (vodné elektrárne)	83 500 MWh	148 300 MWh	227 300 MWh
Priemerná cena vodíka (predaj na mieste výroby)	6,8 EUR / kg	6,6 EUR / kg	6,5 EUR / kg
	(5.5 - 9.5 EUR / kg)	(5.4 - 9.3 EUR / kg)	(5,4 – 9,1 EUR / kg)
Priemerná cena prepravy (na čerpacie stanice)	1.4 EUR / kg	0,9 EUR / kg	0,9 EUR / kg
	(1,0 – 2,2 EUR / kg)	(0,8 - 1.1 EUR / kg)	(0,7 – 1,2 EUR / kg)
Dovoz vodíka zo zahraničia (t / rok)	0	39 100	39 100
Výroba vodíka v SR (t / rok)	4 600	8 900	11 200

Tabuľka 139: Zhrnutie základných výsledkov jednotlivých scenárov pre SR

Zdroj: stengl a.s.

	Konzervatívny scenár	Stredný scenár	Ambiciózny scenár
	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Investičné náklady - výroba vodíka elektrolýzou	114 500 000	183 100 000	205 400 000
Očakávaná výška dotácie - výroba vodíka elektrolýzou (50%)	57 300 000	91 600 000	102 700 000
Investičné náklady - nové OZE	99 700 000	200 600 000	230 200 000
Investičné náklady - H2 autobusy	37 500 000	195 000 000	233 800 000

Investičné náklady - H2 ťažké vozidlá	104 500 000	210 000 000	210 000 000
Investičné náklady - H2 čerpace stanice	76 000 000	192 000 000	212 000 000
Ostatné náklady	0	500 000 000 (H2I-TR EUSTREAM)	500 000 000 (H2I-TR EUSTREAM)
Celkové investičné náklady	489 410 000	1 572 215 000	1 694 120 000

Tabuľka 140: Zhrnutie potrebných investičných nákladov jednotlivých scenárov

Zdroj: stengl a.s.

6.3.2 Zabránené emisie CO₂

[t CO ₂ / rok]	Konzervatívny	Stredný	Ambiciózny
Spotreba vodíka (t H ₂)	4 570	48 050	50 340
Emisie pri výrobe vodíka (min.)	0	0	0
Emisie pri výrobe vodíka (max.)	15 465	162 601	170 351
Zabránené emisie	51 550	542 004	567 835
Net redukcia emisií (min.)	36 085	379 403	397 485
Net redukcia emisií (max.)	51 550	542 004	567 835

Tabuľka 141: Zhmutie redukcie emisií CO₂ v jednotlivých scenároch

Zdroj: stengl a.s.

6.3.3 Predpoklady a riziká

Scenáre vývoja vodíkového hospodárstva predpokladajú:

- včasnú implementáciu potrebných legislatívnych úprav (okrem konzervatívneho scenára)
- dostupnosť finančných zdrojov
- normálny vývoj na trhu s energiami bez zásadných zmien oproti súčasnosti a postupný návrat k dlhodobým trendom na energetickom trhu.

Následné body sumarizujú predpoklady a riziká spojené s realizáciou scenárov vývoja. Zoznam sa snaží zachytiť najdôležitejšie body aplikovateľné na projekty výroby vodíka na Slovensku:

Riziko	Opis
Včasné dokončenie projektu H2I-TR EUSTREAM	Uvedenie do prevádzky je naplánované až po roku 2030 čo posunie implementáciu iných väčších projektov na obdobie 2030-2035. Nedokončenie alebo oneskorenie strategického projektu môže spomaliť rozvoj vodíkovej infraštruktúry a jeho integráciu do energetického systému najmä v chemickom priemysle. Dôsledkom môže byť aj vylúčenie Slovenska zo siete na prepravu vodíka, s negatívnym vplyvom na celú ekonomiku. Obmedzí sa tým flexibilita prispievajúca k zvýšeniu energetickej bezpečnosti Slovenskej republiky. Alternatívne riešenie je masívna výstavba OZE a elektrolyzéroov na území Slovenska s potenciálom vývozu vodíka zo Slovenska do Strednej a Západnej Európy po dokončení projektu H2I-TR. Dokončenie takýchto projektov bude ale taktiež náročné pred rokom 2030. Nedostavanie projektu H2I-TR nebude mať výrazný dopad na konzervatívny scenár.
Rýchle schválenie projektov OZE a ich výstavba do roku 2027.	Zdlhové administratívne konania alebo námietky verejnosti môžu oddialiť investície do obnoviteľných zdrojov energie (OZE), čo znižuje ich dostupnosť pre výrobu vodíka.

	Chýbajúce alebo neaktuálne právne predpisy a technické normy môžu brániť implementácii vodíkových technológií. Je nevyhnutné aktualizovať legislatívu a vytvoriť jasný regulačný rámec pre výrobu, distribúciu a využitie vodíka. Výroba vodíka by v niektorých VÚ nemala dostatok lacných zdrojov energie na výrobu vodíka. Vodík môže byť vyrábaný aj alternatívnymi metódami, ako napr. výroba z odpadu či biomasy s CCS.
Dostupnosť pozemkov v blízkosti závodu na výrobu vodíka a odberu	Legislatívne alebo technické bariéry môžu brániť efektívnej kolokácii OZE v blízkosti výroby vodíka, čím sa zvyšujú náklady na distribúciu elektrickej energie k elektrolyzérům. Elektrolyzéry môžu byť premiestnené čo však môže zvýšiť náklady na prepravu vodíka. V prípade veľkokapacitnej výroby pre priemyselný odber môžu byť vybudované potrubia. Implementácia takýchto projektov môže byť zdĺhavá.
Dostupnosť finančnej podpory pre výrobu vodíka	Bez dotácií alebo stimulov môže byť ekonomická realizovateľnosť produkcie obnoviteľného vodíka ohrozená, čo brzdí jeho rozvoj a adopciu. Potrebné investície môžu byť pokryté finančnými zdrojmi ktoré poskytuje vo svojich relevantných programoch, ale Slovensko musí byť dostatočne rýchle a flexibilné pri príprave a schvaľovaní potrebných vstupov a podkladov. Prípadné zlyhanie v tejto oblasti by presunulo ťažisko financovania a/alebo ďalších spojených nákladov a pokút na štát a súkromný sektor.
Nedoriešená legislatíva pre budovanie v oblasti energetiky a vodíka	Potreba legislatívnych úprav popísaná v predchádzajúcej kapitole je nevyhnutným predpokladom pre implementáciu opatrení na strane zdrojov energie (primárne OZE) aj pri výrobe a spotrebe vodíka. Každé oneskorenie v riešení legislatívy, a/alebo neistoty v legislatívnom prostredí, sa následne odrazia v meškaní zavádzania potrebných zmien a budovania vodíkovej infraštruktúry, čo zvýši náklady pre slovenské hospodárstvo.
Nedostatočná podpora pre rozvoj obnoviteľných zdrojov energie	Ak nebudú zabezpečené dostatočné dotačné mechanizmy pre podporu budovania nových kapacít OZE, ich rast môže byť spomalený, čím sa obmedzí dostupnosť zelenej energie pre elektrolyzéry. Niektoré vodíkové projekty môžu dosiahnuť ekonomickú udržateľnosť aj bez finančnej podpory OZE.
Nedostatočné investície do vodíkovej čerpaciej infraštruktúry	Ak sa nevybudujú dostatočné kapacity na distribúciu a tankovanie vodíka, bude jeho využitie v doprave a priemysle obmedzené.
Pomalé uvádzanie vodíkových vozidiel na trh	Nízky dopyt, obmedzená ponuka alebo chýbajúca infraštruktúra môžu spôsobiť, že trh s vodíkovou mobilitou sa bude rozvíjať pomalšie, než sa očakáva. V takomto prípade nastane vývoj vodíkovej dopravy opisovaný konzervatívnym scenáriom.
Obmedzená dostupnosť vodíkových technológií v dôsledku globálnej konkurencie	Intenzívna medzinárodná konkurencia môže viesť k nedostatku kľúčových technológií alebo vyšším cenám, čo môže predražiť projekty a predĺžiť ich realizáciu.
Nesynchronizovaná realizácia vodíkových projektov	Chýbajúca koordinácia medzi investormi, regulátormi a dodávateľmi môže viesť k nesúladu medzi produkčnou a spotrebiteľskou infraštruktúrou.

Nestabilné alebo vysoké ceny elektrickej energie	Ak bude cena elektriny vysoká, môže to výrazne ovplyvniť ekonomiku výroby vodíka, najmä v prípade elektrolytickej produkcie s pripojením do elektrickej sústavy. Ak bude výhodnejšie predávať elektrinu priamo do siete, developeri OZE môžu obmedziť dodávky elektriny pre vodíkovú produkciu, čím sa zníži jej dostupnosť.
Výzvy spojené s bezpečnosťou, povoľovaním a certifikáciou vodíkových technológií	Prísne regulačné požiadavky, bezpečnostné normy a zdĺhavé certifikačné procesy môžu spomaliť nasadzovanie nových technológií a predražiť ich implementáciu. Pri uskutočňovaní vodíkových projektov je nutné dbať na správnu certifikáciu komponentov a bezpečnostné predpisy spojené s vodíkovými technológiami a ich prevádzkou.
Nedostatočná koordinácia medzi výskumnými inštitúciami a priemyslom	Slabá spolupráca medzi akademickým sektorom a priemyselnými podnikmi môže spomaliť transfer technológií a inovácií do praxe. Podpora spoločných výskumných projektov by mohli tento problém zmierniť. V takomto prípade by sa tiež obmedzili benefity získané podporou vodíkoveho hospodárstva
Nedostatočná informovanosť a akceptácia verejnosti	Nízka informovanosť verejnosti o výhodách a bezpečnosti vodíkových technológií môže viesť k odporu voči ich implementácii. Edukačné kampane a transparentná komunikácia sú kľúčové pre získanie podpory verejnosti.
Nedostatočná medzinárodná spolupráca a integrácia	Izolovaný prístup bez medzinárodnej spolupráce môže obmedziť prístup k najnovším technológiám a trhom. Aktívna účasť v medzinárodných projektoch a partnerstvách je nevyhnutná pre efektívny rozvoj vodíkoveho hospodárstva.
Nečinnosť v oblasti budovania vodíkovej infraštruktúry a rozvoja projektov	Priemysel – výroba produktov pre ktoré je potrebný vodík by sa, kvôli nedodržaniu pravidiel daných v európskom priestore, mohla presunúť do iných krajín EÚ Nákladná doprava – vozidlá s vodíkovým pohonom by museli obchádzať územie Slovenska a ekologické preferencie výrobných aj obchodných spoločností v rámci EÚ by nás mohlo úplne vylúčiť z podstatnej časti svojej logistickej siete

Tabuľka 142: Zhrnutie rizík v jednotlivých scenároch

Zdroj: stengl a.s.

6.3.4 Predpokladané zvýšené náklady a sankcie

Náklady na emisné poplatky môžu pre slovenský priemysel narásť každý rok až na 250 mil. EUR. Podobná situácia môže nastať aj pre sektor dopravy. Pokuty v prípade neplnenia cieľov výroby a použitia RFNBO môžu pre priemyselné a energetické podniky v Slovenskej republike dosiahnuť úroveň ďalších 250 až 300 mil. EUR ročne.²⁶³

²⁶³ Pripravenosť Českej republiky na vodíkové hospodárství (2024) – PwC, Svaz průmyslu a dopravy České republiky, ORLEN Unipetrol

Transpozíciu RED III v oblasti RFNBO mali členské štáty uskutočniť do mája 2025. Slovensko si povinnosť nesplnilo. Súčasťou transpozície malo byť aj zavedenie sankcie vypočítanej ako súčin energetického obsahu udržateľnej pohonnej látky neuvedenej na trh v MJ a zatiaľ nestanovenej sumy v EUR, ak zodpovedná právnická osoba alebo fyzická osoba neuvedie na trh palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a to v minimálnej výške jedného percentuálneho bodu stanovenej referenčnej hodnoty. Sankcia by mala byť motivačná pre rozvoj vodíkovej mobility v SR. Pre príklad, Česko stanovilo hodnotu sankcie na 9,6 EUR za každý nedodaný kg vodíka na trh v sektore dopravy čo predstavuje 0,08 EUR za každý nedodaný MJ paliva.

Vodík nie je riešením pre kompletnú dekarbonizáciu, ale bez jeho príspevku nebudú potrebné opatrenia dostatočne rýchle ani rozsiahle. Okrem negatívnych ekonomických dopadov z oneskorenia alebo neimplementácie nevyhnutných zmien by bolo potrebné počítať aj s vplyvom na fyzické a sociálne zdravie obyvateľstva SR.

6.4 Odporúčaná scenár rozvoja vodíkoveho hospodárstva na Slovensku

Odporúčaná scenár rozvoja vodíkoveho hospodárstva na základe potreby dosiahnutia klimatických a energetických cieľov a záväzkov Slovenska je “stredný scenár” rozvoja vodíkoveho hospodárstva na Slovensku. Predstavuje pragmatický prístup k energetickej transformácii, ktorý reflektuje rastúcu urgenciu potreby naplnenia klimatických záväzkov. Scenár vychádza z potreby dostatočne dynamického rozvoja výroby a využitia vodíka, aby bolo možné efektívne naplniť domáci dopyt. Kľúčovým prvkom je kombinácia lokálnej výroby vodíka pomocou elektrolyzérův a aj jeho dovozu, čím sa zabezpečí dostatočná flexibilita pri pokrývaní spotreby priemyslu a dopravy. Scenár podporuje výstavbu dodatočných čerpacích staníc, čo umožní plynulý rozvoj vodíkovej mobility, pričom predpokladá rozšírenie využitia vodíka predovšetkým v oblastiach, kde iné formy dekarbonizácie nie sú efektívne alebo technicky uskutočniteľné.

6.4.1 Návrh harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára

Nasledovné tabuľky predkladajú harmonogram pre implementáciu Stredného scenára a s ním spojené financovanie pre kľúčové oblasti:

- Nové zdroje energie na výrobu vodíka – OZE
- Nová výroba vodíka – elektrolyzéry
- Distribúcia vodíka – čerpacie stanice

Spotreba je popísaná pre dopravu, ktorá bude do roku 2030 pre vodík kritická:

- Autobusová doprava
- Nákladná doprava
- Vlaková doprava

Legenda pre stav príprav komponentov VÚ:

plánované - príprava podkladov
pripravované - štúdie, schvaľovanie, financovanie
budované - výstavba
v prevádzke - pilotná alebo plná prevádzka

STREDNÝ SCENÁR	ročné zmeny / hodnoty	2025	2026	2027	2028	2029	2030	celkom
Zdroje energie - OZE	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	investície	2 191 000 €	22 882 700 €	33 431 700 €	41 789 600 €	50 147 500 €	50 147 500 €	200 590 000 €
	prevádzka	0 €	60 300 €	689 500 €	1 608 900 €	2 758 100 €	4 137 200 €	9 254 000 €
	výnosy	0 €	177 400 €	2 030 500 €	4 737 800 €	8 122 000 €	12 183 000 €	27 250 700 €
Výroba - elektrolyzéry	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet - MW	-	12	27	47	70	93	93
	investície	2 000 000 €	20 887 500 €	30 516 700 €	38 145 800 €	45 775 000 €	45 775 000 €	183 100 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	2 488 200 €	5 805 900 €	9 953 000 €	14 929 500 €	33 176 600 €
	výnosy	0 €	0 €	6 612 000 €	15 427 900 €	26 447 800 €	39 671 700 €	88 159 300 €
Distribúcia - čerpacie stanice	stav	pripravované	budované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	Kapacita (t/deň)	0	3	21	39	48	48	48
	investície	100 000 €	10 000 000 €	72 760 000 €	72 760 000 €	36 380 000 €	0 €	192 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	2 571 500 €	21 096 400 €	39 621 300 €	48 883 800 €	112 173 000 €
	výnosy	0 €	0 €	4 985 600 €	17 806 900 €	31 746 600 €	46 944 700 €	101 483 800 €
Investície celkom		4 291 000 €	53 770 200 €	136 708 300 €	152 695 400 €	132 302 500 €	95 922 500 €	575 690 000 €
Prevádzkové náklady celkom		0 €	60 300 €	5 749 300 €	28 511 200 €	52 332 400 €	67 950 500 €	154 603 600 €
Výnosy celkom		0 €	177 400 €	13 628 100 €	37 972 600 €	66 316 400 €	98 799 400 €	216 893 900 €

Tabuľka 143: Harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára

Zdroj: stengl a.s.

STREDNÝ SCENÁR	ročné zmeny / hodnoty	2025	2026	2027	2028	2029	2030	celkom
Doprava - autobusy	stav	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	90	180	271	361	451	451
	investície	0 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	39 000 000 €	195 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	5 467 800 €	10 935 600 €	16 403 300 €	21 871 100 €	54 677 800 €
Doprava - nákladná	stav	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	10	105	210	315	420	420
	investície	0 €	5 000 000 €	47 500 000 €	52 500 000 €	52 500 000 €	52 500 000 €	210 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	1 101 800 €	11 569 300 €	23 138 600 €	34 708 000 €	70 517 800 €
Doprava - vlaky	stav	plánované	plánované	pripravované	pripravované	v prevádzke	v prevádzke	
	počet	-	-	-	1	6	12	12
	investície	0 €	0 €	0 €	10 000 000 €	74 000 000 €	84 000 000 €	168 000 000 €
	prevádzka	0 €	0 €	0 €	0 €	596 600 €	5 011 600 €	5 608 300 €
Investície celkom		0 €	44 000 000 €	86 500 000 €	101 500 000 €	165 500 000 €	175 500 000 €	573 000 000 €
Prevádzkové náklady celkom		0 €	0 €	6 569 600 €	22 504 900 €	40 138 600 €	61 590 700 €	130 803 800 €

Tabuľka 144: Harmonogramu implementácie a financovania finálneho scenára pre dopravu

Zdroj: stengl a.s.

6.5 Potrebné legislatívne úpravy

V súlade so stredným scenárom navrhnutým v ŠRH2 bola identifikovaná potreba legislatívnych úprav, ktoré by prispeli k rýchlejšej a úspešnej implementácii navrhovaných krokov.

6.5.1 Výroba vodíka

Základnými právnymi aktami EÚ pre oblasť výroby, tak ako aj pre jeho prepravu a obchodovanie vodíka sú:

- Delegované nariadenie Komisie (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky únie, ktorou sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu,
- Delegované nariadenie Komisie (EÚ) 2023/1185 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 stanovením minimálnej prahovej hodnoty pre úspory emisií skleníkových plynov z fosílnych palív vyrobených z odpadu a spresnením metodiky posudzovania úspor emisií skleníkových plynov z kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a z fosílnych palív vyrobených z odpadu,
- Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413 z 18. Októbra 2023, ktorou sa mení Smernica (EÚ) 2018/2001, Nariadenie (EÚ) 2018/1999 a Smernica 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa ruší Smernica Rady (EÚ) 2015/652.

Výroba vodíka elektrolýzou z vodných zdrojov je priamo úmerná k potrebe legislatívnych zmien v legislatívnom prostredí SR a k vytvoreniu udržateľnému legislatívnemu prostrediu na úseku vodnej politiky na Slovensku, gestorom ktorej je Ministerstvo životného prostredia SR.

Odporúčania:

Štáty EÚ, v ktorých sú výroba vodíka z OZE majú okrem vodíkovej stratégie vypracovanú aj vodnú stratégiu. Pre účely Slovenska môžeme za takýto dokument považovať koncepciu vodnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050, ktorá bola vypracovaná Ministerstvom životného prostredia a schválená Uznesením vlády SR č. 372 z 01.06.2022. Bude potrebné uvedený strategický dokument doplniť o zámery s ohľadom na výrobu vodíka a nechať prepracovaný materiál schváliť vládou SR. Malo by sa to prejaviť aj zmenou zásad a princípov vodnej politiky, do ktorej by bola zakomponovaná aj časť výroby vodíka a to aj vo vzťahu k ochrane vodných zdrojov a oblastí, kde by sa takáto výroba realizovala. Zároveň má byť zmenená/doplnená aj prioritná oblasť 3. Koncepcie, pod názvom „Udržateľné využívanie vôd“, kde by bola absorbovaná aj ustanovenia k výrobe vodíka. To by zahŕňovalo aj transponovanie smerníc a nariadení EÚ uvedených v úvodnej časti tejto kapitoly pre Výrobu vodíka do súvisiacich právnych predpisov SR. V tejto súvislosti bude potrebné, aby

MŽP SR v rámci vodnej politiky v spojení s vodíkovou stratégiou SR, do dokumentu (Konceptiu vodnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050, zapracovalo mapu plánovaných lokalít výroby vodíka spolu s regionálnou situáciou sucha a zrážok v rámci územia SR.

Pre tieto účely bude potrebné, aby strategické ciele SR v oblasti vodíka boli zachytené aj v príprave Zákona o krajinnom plánovaní.

Zároveň je potrebné pripraviť za účelom realizácie cieľov Vodíkovej stratégie na úseku výroby vodíka aj Zákon č. 200/2022 Z.z. o územnom plánovaní, vo vzťahu ako k jednej zo základných koncepcií určených zákonom pri tvorbe a určení územného rozvoja regiónu a územného plánu obce.

Transpozícia aktov EÚ ako:

- Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023
- Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2023/1185 z 10. februára 2023
- Smernica európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2023/2413 z 18. októbra 2023

Pre potreby výroby vodíka je nutná zmena aj v Zákone č. 364/2004 Z.z. o vodách (Vodný zákon), kde by bolo potrebné zmeniť účel a predmet úpravy zákona o využívanie vodných zdrojov pre účely výroby vodíka, do vymedzenia základných pojmov tohto zákona dostať zariadenia na výrobu vodíka ako aj definovať oblasti, ktoré sú z hľadiska vodnej politiky štátu vhodné na výrobu vodíka. Zároveň by mal byť Vodný zákon doplnený aj vo vzťahu podmienkam získania užívacieho vodoprávného povolenia na užívanie vodných tokoch/plôch a zariadení na výrobu vodíka.

So zmenou Vodného zákona vo vzťahu k výrobe vodíka bude potrebné zmeniť aj Vyhlášku MŽP SR č. 29/2005 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o určovaní ochranných pásiem vodárenských zdrojov, o opatreniach na ochranu vôd a o technických úpravách v ochranných pásmach vodárenských zdrojov.

Pri posudzovaní vplyvov na životné prostredie v súvislosti s výrobou vodíka elektrolýzou vody, používajú príslušné úrady štátnej správy (odbor starostlivosti o životné prostredie) ustanovenie § 18 ods. 2, písm. a), Zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov, pričom uvedený zákon vo svojich prílohách nedefinuje jasne proces výroby vodíka bez ohľadu na to akým spôsobom sa realizuje a s tým súvisiace prahové hodnoty a nedefinuje jasne zariadenia na výrobu vodíka, čo bude potrebné doplniť.

Bude potrebné prehodnotiť aj zmenu Zákona č. 321/2014 Z.z. o energetickej efektívnosti vo vzťahu k výrobe vodíka taktiež k jeho využívaniu. Uvedeným zákonom bola transponované Nariadenie Európskeho Parlamentu a Rady (ES) Č. 1099/2008 z 22. októbra 2008 o energetickej štatistike.

Úrad pre reguláciu sieťových odvetví sa v rámci legislatívnych zmien/doplnení vo vzťahu k výrobe vodíku elektrolyzou, by sa mal, resp. potreboval zaoberať aj vypracovaním:

- vyhláškou, ktorou sa ustanoví cenová regulácia odberu povrchovej vody a energetickej vody z vodných tokov vo vzťahu k odberateľom/prevádzkovateľom zariadení na výrobu vodíku elektrolyzou,
- vyhláškou, ktorou sa ustanovia podrobnosti o podpore OZE, v súvislosti s výrobou vodíka elektrolyzou,
- vyhláškou, ktorou sa určí spôsob overovania hospodárnosti prevádzky na výrobu vodíka, ukazovatele energetickej účinnosti zariadení na výrobu vodíka, rozsah ekonomicky oprávnených nákladov na overenie hospodárnosti prevádzky na výrobu vodíka a spôsob úhrady týchto nákladov.

6.5.2 Výroba zo zemného plynu a ropy s CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage)

Základným právnym aktom EÚ pre výrobu vodíka zo zemného plynu a ropy v nadväznosti využitie technológie na zachytávanie a uskladnenie uhlíka (CCS) je Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2009/31/ES z 23. apríla 2009 o geologickom ukladaní oxidu uhličitého a o zmene a doplnení Smernice Rady 85/337/EHS, Smerníc Európskeho Parlamentu a Rady 2000/60/ES, 2001/80/ES, 2004/35/ES, 2006/12/ES A NARIADENIA (ES) Č. 1013/2006.

Táto smernica je súčasťou širšieho globálneho úsilia o minimalizáciu negatívnych dôsledkov zmeny klímy. Smernica bola transponovaná do Zákona č. 258/2011 Z.z. o trvalom ukladaní oxidu uhličitého do geologického prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.

Zákon určuje podmienky vydania povolenia na ukladanie oxidu uhličitého, podmienky kontroly žiadosti o povolenie na ukladanie a definuje podmienky zmeny, kontroly, aktualizácie a zrušenia povolenia na ukladanie oxidu uhličitého do geologického prostredia.

V ustanovení § 3 ods. 3 zákona teda určuje oblasti, v ktorých nemožno vykonávať ložiskový geologický prieskum na zriaďovanie prírodných horninových štruktúr a podzemných priestorov na účely trvalého ukladaní oxidu uhličitého do geologického prostredia (ďalej len „oblasti na účely ukladaní“). Oblasť na účely ukladaní nemôžu byť tiež na územiach chránených podľa osobitných predpisov: príloha č. 1, bod 1.3 (Územia chránené podľa osobitných predpisov) k zákonu, Zákon č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon) v znení neskorších predpisov, Zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov, Zákon č. 364/2004 Z.z. o vodách a o zmene Zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (ďalej len „vodný zákon“). Uvedené právne predpisy boli uvedené aj v kapitole súvisiacej s uskladnením vodíka a výrobou vodíka z ropy.

Pre prípad výroby vodíka zo zemného plynu a ropy, z hľadiska posudzovania vplyvov na životné prostredie, sa pri povoľovacích rozhodnutiach na zariadenia výroby vodíka (napr. MŽP

SR) odvoláva na ustanovenie § 18 ods. 2, písm. c), Zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov, jeho prílohu č. 8, bod 4 „Chemický, farmaceutický a petrochemický priemysel“, body 2, 3, (rezortný orgán MH SR), kde už je uvedená výroba vodíka, čo absentuje pri výrobe vodíka elektrolýzou.

Odporúčania:

Pre účely realizácie zariadení na výrobu vodíka, v podstate akýmkoľvek spôsobom, bude povinnosť prevádzkovateľa takéhoto zariadenia spočívať aj v uplatňovaní legislatívnych ustanovení v zmysle Zákona č. 128/2015 Z.z. o prevencii závažných priemyselných havárií a o zmene niektorých zákonov a to vo vzťahu k manipulácii a skladovaniu materiálov, ktoré majú potenciál k vzplanutiu alebo výbuchu.

Pri zariadeniach na výrobu vodíka zo zemného plynu a ropy pre prípad, že výrobca nebude využívať vodík pre vlastnú spotrebu ale bude ho používať ako obchodný artikel v prospech tretích subjektov, bude potrebné aby obdobne ako pri výrobe vodíka elektrolýzou

Úrad pre reguláciu sieťových odvetví sa v rámci legislatívnych zmien/doplnení vo vzťahu k výrobe vodíka z plynu a ropy vypracoval:

- vyhlášku, ktorou sa ustanovia podrobnosti o podpore OZE, v súvislosti s výrobou vodíka z plynu a ropy,
- vyhlášku, ktorou sa určí spôsob overovania hospodárnosti prevádzky na výrobu vodíka, ukazovatele energetickej účinnosti zariadení na výrobu vodíka, rozsah ekonomicky oprávnených nákladov na overenie hospodárnosti prevádzky na výrobu vodíka a spôsob úhrady týchto nákladov.

6.5.3 Výroba vodíka z odpadu a biomasy s CCU / CCS

V súvislosti s uskladnením, obchodovaním, prepravou a výrobou vodíka akýmkoľvek spôsobom, je potrebná zmena legislatívy SR aj vo vzťahu k povolovacím procesom zo strany príslušný orgánov štátnej správy, prípadne samosprávy.

Odporúčania:

V zmysle ustanovení Smernice EP a Rady (EÚ) 2023/2413 z 18. Októbra 2023, je potrebné aby jednotlivé členské štáty EÚ pri transponovaní tejto smernice do relevantných právnych noriem určili časové lehoty povolovacích procesov tak, že povolovací proces nesmie presiahnuť 2 roky a v prípade projektov na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov na mori 3 roky. Lehota na transpozíciu tohto ustanovenia: 21. 5. 2025

V prípade projektov v oblastiach „zrýchlenia výroby energie z obnoviteľných zdrojov“, ktoré určia členské štáty, sa tieto lehoty skracujú o 1 rok. Lehota na transpozíciu ustanovenia (kratšie lehoty): 1. 7. 2024 Zavádzanie energie z obnoviteľných zdrojov sa bude okrem toho považovať

za „vyšší veřejný zájem“, čím sa obmedzia dôvody právnych námietok v prípade nových zariadení.

Uvedené je aj v súlade s dokumentom EÚ Odporúčanie Komisie z 18. 5. 2022 o urýchlčení postupov udeľovania povolení na projekty v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov a uľahčení zmlúv o nákupe energie.

Tieto odporúčania a záväzné zmeny, ktoré je potrebné legislatívne zvládnuť v jednotlivých právnych normách SR, ktoré súvisia povoľovacími procesmi vo vzťahu k vodíku bude potrebné uskutočniť na jednotlivých úrovniach ústredných orgánov štátnej správy čo najskôr a to hlavne k právnym predpisom ako Stavebný zákon, Zákon o posudzovaní vplyvov na životné prostredie atď.

Pri zmene Zákon č. 309/2009 Z.z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov v súvislosti so zámermi Vodíkovej stratégie SR bude potrebné urobiť legislatívne zmeny súvisiace s výrobou vodíka z biomasy a nie len z biomasy aj vo:

- Vyhláske Úradu pre reguláciu sieťových odvetví (URSO) č. 490/2009 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o podpore obnoviteľných zdrojov energie, vysoko účinnej kombinovanej výroby a biometánu, ktorou by sa mali upraviť aj parametre vo vzťahu k vodíku pri výrobe z biomasy, alebo by URSO vypracovať novú vyhlásku pre tieto účely vo vzťahu k výrobe vodíka z biomasy.
- Vyhláske MH SR 599/2009 Z.z. ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby.

6.5.4 Uskladňovanie vodíka

Základom legislatívnej úprava EÚ pre skladovanie vodíka je Smernica EP a Rady (EÚ) 2023/2413 z 18. októbra 2023, ktorou sa mení Smernica (EÚ) 2018/2001, Nariadenie (EÚ) 2018/1999 a Smernica 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa ruší Smernica rady (EÚ) 2015/65. V ustanovení čl. 46 uvedenej smernice jej druhej vete je jasne deklarované, že:

„Treba zaviesť energetickú infraštruktúru na podporu výrazného rozšírenia výroby energie z obnoviteľných zdrojov. Členské štáty by mali mať možnosť určiť vyhradené oblasti infraštruktúry, ak sa neočakáva, že zavádzanie sietí alebo projektov uskladňovania energie, ktoré sú potrebné na integráciu energie z obnoviteľných zdrojov do elektrizačnej sústavy, bude mať významný vplyv na životné prostredie, ak takýto vplyv možno náležite zmierniť alebo, ak to nie je možné, kompenzovať.“

V čl. 46 sa odkazuje aj na Smernicu EP a Rady 2001/42/ES z 27. júna 2001 o posudzovaní účinkov určitých plánov a programov na životné prostredie.

Smernica EP a Rady (EÚ) 2023/2413 v svojom ustanovení odkazuje aj na skutočnosť, že pri realizácii projektov v špecializovaných oblastiach infraštruktúry, nevynímajúc napr. skladovanie vodíka je potrebné posudzovanie vplyvov na životné prostredie podľa Smernice 2001/42/ES a vyhýbať sa lokalitám sústavy NATURA 2000.

NATURA 2000 je európska sústava chránených území, ktorú členské štáty Európskej únie vyhlasujú pre zachovanie najcennejších a ohrozených druhov a biotopov Európy a pozostáva z:

- chránených vtáčích území vymedzených podľa smernice EP a Rady 2009/147/ES z 30. Novembra 2009 o ochrane voľne žijúceho vtáctva
- území európskeho významu vymedzených podľa smernice Rady 92/43/EHS z 21. mája 1992 o ochrane prirodzených biotopov a voľne žijúceho vtáctva

Nie menej dôležitým dokumentom EÚ vo vzťahu k uskladneniu a taktiež preprave vodíka, ktorým by sa mali riadiť jednotlivé členské štáty EÚ je:

Oznámenie komisie Európskemu parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru regiónov smerovanie k ambicióznemu priemyselnému riadeniu uhlíka v EÚ zo dňa 06.02.2024

Komisia cez uvedené Oznámenie proklamuje, že plánuje:

- vyvinúť s členskými štátmi najneskôr do začiatku roka 2026 platformu na posudzovanie a agregáciu dopytu v prípade služieb prepravy alebo ukladania CO₂ s cieľom prepojiť dodávateľov CO₂ s poskytovateľmi ukladania a prepravy a zabezpečiť transparentnosť uzatvárania zmlúv a obstarávania,
- usilovať sa v spolupráci s geologickými ústavmi EHP o vytvorenie investičného atlasu potenciálnych úložísk CO₂ na základe spoločného formátu úrovne pripravenosti na ukladanie a o jeho sprístupnenie do začiatku roka 2026,
- použiť platformu na výmenu poznatkov týkajúcich sa priemyselných projektov CCS na vypracovanie odvetvových plánov priemyselného riadenia uhlíka spoločne s priemyselným odvetvím,
- vypracovať s členskými štátmi do roku 2025 podrobné usmernenie pre povoľovacie procesy v prípade strategických projektov v oblasti emisnej neutrálnosti pre ukladanie CO₂, konkrétne v súvislosti s:
 - a) prenosom zodpovednosti z prevádzkovateľov späť na príslušné orgány a zodpovedajúcimi požiadavkami na finančné zabezpečenie a finančný mechanizmus,
 - b) transparentnosťou požiadaviek na vydávanie povolení a prístupov založených na rizikách na uľahčenie konečných investičných rozhodnutí prevádzkovateľov úložísk.

Zároveň Komisia proklamuje, že členské štáty by mali:

- zahrnúť do svojich aktualizovaných národných energetických a klimatických plánov posúdenie potrieb zachytávania a kapacity/možností ukladania a identifikovať opatrenia na podporu zavedenia hodnotového reťazca CCS,
- do roku 2025 zabezpečiť, aby mali zavedené transparentné procesy pre žiadateľov o povolenia na ukladanie pri interakcii s príslušnými orgánmi počas prípravnej fázy,
- od roku 2024 podporovať vývoj a zavádzanie kooperatívnych strategických projektov v oblasti emisnej neutrálnosti na základe aktu o emisne neutrálnom priemysle s cieľom vytvoriť úplné hodnotové reťazce v oblasti ukladania, prepravy a ukladania, a to aj cezhranične,
- najneskôr do roku 2025 umožniť svojim geologickým ústavom postupovať existujúce údaje a generovať nové údaje, ktorými sa prispeje k investičnému atlasu potenciálnych úložísk CO₂ v rámci celého EHP.

Odporúčania:

V rámci legislatívy SR je potrebné vykonať transformáciu príslušných smerníc do jednotlivých predpisov SR a to hlavne Zákon č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon).

Banský zákon navrhujeme upraviť v rámci transformácie uvedených smerníc EÚ ako aj v ustanovenia ôsmej časti zákona v § 34 „Osobitné zásahy do zemskej kôry“, kde v prípade ak to je technicky prípustné, bolo možné skladovať pod zemskou kôrou aj vodík.

Zároveň bude potrebné zmeniť aj Vyhlášku Slovenského banského úradu č. 21/1988 Zb. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom v podzemí.

Potrebným legislatívnym zmenám sa nevyhne ani Zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Uvedený zákon v prílohe č. 16 odkazuje na zoznam preberaných právne záväzných aktov EÚ, medzi inými aj na Smernicu Európskeho parlamentu a Rady 2009/31/ES z 23. Apríla 2009 o geologickom ukladaní oxidu uhličitého a o zmene a doplnení Smernice rady 85/337/EHS, Smerníc Európskeho parlamentu a Rady 2000/60/ES, 2001/80/ES, 2004/35/ES, 2006/12/ES, 2008/1/ES a Nariadenia (ES) č. 1013/2006.

Navrhujeme aby bola do Zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie implementovaná aj Smernicu Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413 a reagovať tak na možnosti využitia vodíka a to aj s ohľadom na jeho možné skladovanie pod zemskou kôrou a s dopadom európsku sústavu chránených území v rámci NATURA 2000.

Na ochranu prírody v nadväznosti na uvedené právne predpisy SR nadväzuje aj a akt:

- Partnerská dohoda Slovenskej republiky na roky 2021 – 2027.

- Správa o hodnotení strategického dokumentu podľa zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov z októbra 2021.

Predmetná Dohoda bola vypracovaná obstarávateľom Ministerstvom investícií, regionálneho rozvoja a informatizácie Slovenskej republiky.

Zmenou a transformovaním aktov EÚ, konkrétne Smernicou Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413, vo vzťahu k skladovaniu vodíka by mal prejsť aj Zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny.

6.5.5 Preprava vodíka a obchodovanie s vodíkom

S prepravou a obchodovaním s vodíkom súvisí Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 1227/2011 z 25. októbra 2011 o integrite a transparentnosti veľkoobchodného trhu s energiou. V súlade s uvedeným nariadením účastníci trhu v celej EÚ (myslí sa tým aj trhu s vodíkom), zverejňujú správy o trhu na platforme CEGH REMIT. Táto platforma umožňuje účastníkom trhu zverejňovať interné informácie podľa uvedeného nariadenia.

Na uvedené nariadenie odkazuje v rámci Európskej legislatívy aj Úrad pre reguláciu sieťových odvetví, ktorý je ústredným orgánom štátnej správy. Úlohou úradu je v sieťových odvetviach - elektroenergetike, plynárenstve, tepelnej energetike a vodnom hospodárstve - ochraňovať koncového spotrebiteľa pred zneužitím dominantného postavenia monopolných dodávateľov energií a vody a zároveň dbať na návratnosť investícií podnikateľských subjektov, aby dodávka energií a vody bola spoľahlivá a bezpečná.

Odporúčania:

Jedným zo základných právnych aktov SR, kde bude potrebné urobiť legislatívne zmeny súvisiace s prepravou vodíka je Zákon č. 250/2012 Z.z. o regulácii v sieťových odvetviach, v ktorom bude potrebné okrem základných ustanovení s odkazom na vodík aj ostatné ustanovenia v ktorých bude potrebné zohľadniť záujem SR a účastníkov trhu s vodíkom v rámci Národnej vodíkovej stratégie, súvisiacich dokumentov a príslušných právnych aktov EÚ.

To isté platí aj pre:

- Zákon č. 251/2012 Z.z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- Zákon č. 309/2009 Z.z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov

V súvislosti s prepravou vodíka bude potrebné v rámci legislatívy SR vytvoriť aj všeobecné záväzne právne predpisy/Vyhlášky na úrovni jednotlivých dotknutých ministerstiev alebo ostatnými ústrednými orgánmi štátnej správy. Týka sa to cenovej vyhlášky vo vzťahu k vodíku.

Zároveň bude potrebné na strane Úradu pre reguláciu sieťových odvetví vytvoriť aj vyhlášku, ktorou sa ustanovia štandardy kvality uskladňovania vodíka, prepravy vodíka, distribúcie vodíka a dodávky vodíka.

Úrad pre reguláciu sieťových odvetví sa v rámci legislatívnych zmien/doplnení vo vzťahu k vodíku bude musieť zaoberať aj vypracovaním:

- vyhlášky, ktorou sa ustanovia pravidlá pre fungovanie vnútorného trhu s vodíkom, obsahové náležitosti prevádzkového poriadku prevádzkovateľa siete (myslí sa tým siete s vodíkom) a prevádzkovateľa zásobníka a rozsah obchodných podmienok, ktoré sú súčasťou prevádzkového poriadku prevádzkovateľa siete,
- vyhlášky, ktorou sa ustanovia náležitosti a podmienky súvisiace s certifikátmi, predchádzajúcim súhlasom a povoleniami v súvislosti so uskladňovaním, prepravou, distribúciou a dodávkou vodíka,
- vyhláškou, ktorou sa ustanoví spôsob vedenia evidencie skutočností, ktoré sú predmetom účtovníctva, spôsob vedenia evidencie nákladov, výnosov, aktív a pasív, forma a termíny predkladania z evidencie v súvislosti so uskladňovaním, prepravou, distribúciou a dodávkou vodíka.

Na úrovni Vlády SR bude potrebné prijať nariadenia, ktorými sa ustanoví:

- suma za mernú jednotku vodíka, pri určení výšky dotácie,
- maximálna cena pre časť regulovanej dodávky vodíka pre odberateľov (ak to bude potrebné).

6.5.6 Využitie vodíka – vodíkové elektrárne

V kapitole posudzovania legislatívneho prostredia sme sa zaoberali technickými a právnymi normami pri používaní vodíka v doprave, konkrétne vo vzťahu k čerpacím staniciam na vodík, no samotne využitie vodíka pri jeho výrobe, resp. po výrobnom procese je aj vodíkové elektrárne.

Je dôležité vopred preskúmať ekonomické, technické a právne aspekty – od výberu lokality a technológie až po ekologickú kompatibilitu. Pri zaobchádzaní s vysoko horľavým plynom je veľmi dôležitá aj otázka bezpečnosti. Každá časť stroja v systéme musí spĺňať všeobecne platné predpisy pre vodík.

Pokiaľ ide o vodíkové aplikácie, je potrebné vziať do úvahy mnohé bezpečnostné a konštrukčné požiadavky – či už ide napr. o potrubia alebo elektronické systémy. Zohrávajú kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní bezpečnosti, účinnosti a dodržiavania predpisov.

6.5.7 Bezpečnostné a konštrukčné požiadavky

Dôležitú úlohu pri bezpečnostných a konštrukčných požiadavkách hrá v rámci legislatívy dôležitú úlohu jej ukotvenie v právnych aktov EÚ, medzi ktoré patrí Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2006/42/ES zo 17. Mája 2006 o strojových zariadeniach a o zmene a doplnení smernice 95/16/ES.

Odporúčania:

Aj napriek skutočnosti, že zo strany Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky (ďalej len „ÚNMS SR“) bolo odporúčané aby bola uvedená smernica transponovaná do Zákona č. 56/2018 o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov, tak nebolo urobené. Je potrebné implementovať uvedený akt EÚ do predmetného zákona v procese potrebných legislatívnych zmien k tomuto zákonu vo vzťahu k vodíku.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 06/42/ES zo 17. Mája 2006, bola implementovaná do: Nariadenia vlády SR č. 436/2008 Z. z, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách a postupoch posudzovania zhody na strojové zariadenia.

Od uvedeného dokumentu Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2006/42/ES zo 17. Mája 2006, sa odvíjajú aj technické normy ako:

- EIGA IGC 121/14 – Tento dokument poskytuje usmernenia pre návrh, konštrukciu a bezpečnú prevádzku potrubí prepravujúcich čistý vodík a vodíkové zmesi. Návrhové a kontrolné techniky sa odporúčajú aj pri riešení trhlín spôsobených koróziou pod napätím.
- IEC 61508 – Táto Smernica o strojových zariadeniach má za cieľ zaručiť vysokú úroveň bezpečnosti a ochrany zdravia počas prevádzky strojov. Stanovuje základné požiadavky, ktoré musia výrobcovia splniť pred uvedením strojov na trh EÚ. Kľúčové slovo: ES vyhlásenie o zhode a označenie CE. Smernica sa okrem iného vzťahuje aj na stroje, reťaze či elektrické pohony.

6.5.8 Výber a hodnotenie materiálov

Výber a hodnotenie materiálov pre vodíkové aplikácie si vyžaduje veľkú odbornosť, najmä pokiaľ ide o bezpečnosť a odolnosť. Podrobné pokyny k tomu poskytujú viaceré normy a smernice.

- ISO 11114 – Uvedená norma obsahuje požiadavky na kompatibilitu materiálov plynových fliaš a príslušenstva s vodíkom. Podporuje výber materiálov, ktoré vplyvom plynu nekrehnú a nekorodujú.
- ISO 15156/NACA MR0175 - Táto norma tiež stanovuje pokyny pre výber materiálu. Vyžaduje, aby kovové materiály v prostrediach obsahujúcich H₂S boli odolné voči korózii a praskaniu pod napätím.

6.5.9 Ochrana proti výbuchu a elektrická bezpečnosť

Pri aplikácii vodíka je dôležitá aj ochrana proti výbuchu a elektrická bezpečnosť sú ústrednými aspektmi v nebezpečných priestoroch a pri používaní elektrických zariadení. Rôzne smernice, ako napr. smernica ATEX, ako aj smernice pre nízke napätie a EMC, ponúkajú komplexné špecifikácie.

Ochrana je legislatívne upravená v rámci aktov EÚ v Smernici Európskeho Parlamentu a Rady 2014/34/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov

týkajúcich sa zariadení a ochranných systémov určených na použitie v potenciálne výbušnej atmosfére. Smernica sa zaoberá ochranou proti výbuchu zariadení a ochranných systémov v potenciálne výbušných priestoroch. Vztahuje sa na zariadenia, ktoré sú potenciálnymi zdrojmi vznietenia, ako aj ich súčasti a bezpečnostné zariadenia.

Ochrany sa týkajú aj smernice EÚ a to:

- Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2014/35/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa sprístupnenia elektrického zariadenia určeného na používanie v rámci určitých limitov napätia na trhu,
- Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2014/30/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov vzťahujúcich sa na elektromagnetickú kompatibilitu (EMC),
- Smernica o nízkom napätí stanovuje bezpečnostné požiadavky na elektrické zariadenia s menovitým napätím 50-1000 V AC alebo 75-1500 V DC. Smernica EMC zase zabezpečuje, že elektrické a elektronické zariadenia sú elektromagneticky kompatibilné a nespôsobujú škodlivé rušenie.

Uvedené smernice sú implementované do Zákona č. 56/2018 o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

6.5.10 Tlakové nádoby a potrubia

Pri nakladaní s vodíkom, či už pri výrobe, preprave alebo skladovaní (krátkodobom), sa používajú potrubia a tlakové nádoby podliehajúce mnohým špecifikám, ktoré sú rozhodujúce pre bezpečnú prevádzku a materiálové požiadavky týchto komponentov. Uvedené nároku upravuje v rámci legislatívy EÚ Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2014/68/EÚ z 15. Mája 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa sprístupňovania tlakových zariadení na trhu, ktorá bola taktiež implementovaná do Zákona č. 56/2018 o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

V rámci technických noriem sú požiadavky na materiál sú upravené v:

- EN 13480-2:2017 – táto norma popisuje, ktoré požiadavky sa vzťahujú na materiály pre priemyselné potrubia a ich konzoly vyrobené z kovových materiálov podľa EN 13480-1. Tiež relevantné pre vodíkové aplikácie.
- ASTM B31.12 - Tento kód sa vzťahuje na potrubia a vedenia pracujúce s plynným vodíkom, zmesami vodíka alebo kvapalným vodíkom. Stanovuje tiež špecifikácie pre spojovacie body medzi potrubím a príslušnými tlakovými nádobami.

6.5.11 Testovanie, kontrola a certifikácia

Základnými procesmi na zaistenie bezpečnosti systémov a komponentov sú pravidelné testy a kontroly. Od personálu až po jednotlivé zložky. Uvedené je v legislatíve EÚ odvodené v

Smernici európskeho parlamentu a rady 2006/42/es zo 17. mája uvedenej vyššie. Požiadavky a postupy na to špecifikujú mnohé normy ako napr.:

- ISO 9712 - Táto norma sa zameriava na kvalifikáciu a certifikáciu personálu pre nedeštruktívne skúšanie (NDT). Sú dôležité na kontrolu integrity a kvality materiálov a komponentov vo vodíkových závodoch bez ich poškodenia. Kontroly zahŕňajú kontrolu zvarov, potrubí, nádob a iných kritických komponentov.
- ISO 15848 - Táto časť ISO 15848 opisuje skúšobné metódy na posúdenie vonkajšej tesnosti, okrem iného, spojov karosérie uzatváracích ventilov a pohonov pracujúcich s prchavými vzduchovými kontaminantmi a nebezpečnými kvapalinami – nevyhnutné pre minimalizáciu netesností a zlepšenie bezpečnosti prevádzky.

Environmentálne a zdravotné požiadavky

Oblasť ochrany životného prostredia a zdravia poskytuje aj niektoré predpisy, ktoré sú kľúčové pre nakladanie s nebezpečnými látkami, ako je vodík.

Ochrana životného prostredia a zdravia je z hľadiska legislatívy upravená v:

- Nariadení Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 z 18. Decembra 2006 o registrácii, hodnotení, autorizácii a obmedzovaní chemikálií (REACH) a o zriadení európskej chemickej agentúry, o zmene a doplnení Smernice 1999/45/ES a o zrušení Nariadenia rady (EHS) č. 793/93 a Nariadenia komisie (ES) č. 1488/94, Smernice rady 76/769/EHS a Smerníc komisie 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES.
- Nariadenie REACH (Registrácia, hodnotenie, autorizácia a obmedzovanie chemikálií) bolo prijaté Európskou úniou s cieľom zlepšiť ochranu zdravia a životného prostredia pred rizikami, ktoré predstavujú chemikálie. Vyžaduje od výrobcov a dovozcov, aby preukázali bezpečnosť chemikálií ich registráciou a hodnotením ich rizík.

Oblasťou ochrany životného prostredia a zdravia sa zaoberá aj Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 z 16. Decembra 2008 o klasifikácii, označovaní a balení látok a zmesí, o zmene, doplnení a zrušení Smerníc 67/548/EHS a 1999/45/ES a o zmene a doplnení Nariadenia (ES) č. 1907/2006. Na uvedené nariadenia odkazuje aj Zákon č. 79/2015 o odpadoch Z.z., ktorý taktiež ráta so zneškodňovaním odpadov príslušnej kategórie, ktoré vznikajú pri výrobe alebo pri nakladaní s vodíkom, ako aj Zákon č. 67/2010 Z.z. o podmienkach uvedenia chemických látok a chemických zmesí na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov (chemický zákon).

V rámci legislatívy SR boli nariadenia implementované aj do Zákona č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony.

Uvedeným nariadením (klasifikácia, označovanie a balenie látok a zmesí) sa implementuje Globálny harmonizovaný systém OSN (GHS) do práva EÚ. Harmonizuje kritériá klasifikácie

chemických látok a zmesí z hľadiska ich nebezpečenstva pre zdravie, životné prostredie a fyziku. V štátoch ako Nemecko a Rakúsko sa pre účely ochrany životného prostredia a zdravia vytvorilo opatrenia s označením TRGS 500 – tieto Ochranné opatrenia TRGS 500 vytvárajú rámec pre zaobchádzanie s nebezpečnými látkami na pracovisku s cieľom zabezpečiť zdravie a bezpečnosť zamestnancov. Používa sa tu princíp STOP, čo znamená substitučné, technické, organizačné a osobné ochranné opatrenia.

6.5.12 Požiadavky na kvalitu vodíka

Kvalita vodíka je rozhodujúca pre bezpečnú a efektívnu prevádzku palivových článkov a iných aplikácií. Normy ako ISO 14687 a DIN EN 17124, ako aj pracovný list DVGW G 260 definujú požiadavky na čistotu a kvalitu vodíka. Norma DIN EN 17124 bola ÚNMS SR prijatá v roku 2019.

- ISO 14687 - Táto norma špecifikuje požiadavky na kvalitu vodíka používaného ako palivo v palivových článkoch s protónovou výmennou membránou (PEMFC) pre cestnú dopravu. Definuje úrovne čistoty a maximálne prípustné koncentrácie nečistôt, ako je oxid uhoľnatý, zlúčeniny síry, amoniak a častice.
- DIN EN 17124 - Európska norma vychádza z vyššie uvedenej normy ISO 14687 a poskytuje dodatočné požiadavky a usmernenia na zabezpečenie kvality. Je určený na zabezpečenie trvalo vysokej kvality vodíka.
- Pracovný list DVGW G 260 plyn kvality - Stanovuje predpisy pre charakter plynov, ktoré sú prepravované a distribuované vo verejných plynárenských sieťach. Patrí sem zemný plyn, bioplyn, syntetický zemný plyn (SNG) a vodík.

Dodávanie vodíka do plynárenských sietí

Na dodávanie vodíka do plynárenských sietí sú potrebné osobitné technické a bezpečnostné opatrenia, ktoré sú aplikované napr. v Rakúsku a Nemecku. Rôzne pracovné listy DVGW ako G 485, G 262 a G 685 definujú požiadavky na dodávanie vodíka do plynárenských sietí:

- Pracovný list Nemeckej asociácie pre plyn a vodu DVGW G 485 odkazuje na technické predpisy pre údržbu a prevádzku plynových potrubí. Osobitný dôraz sa kladie na bezpečnosť a účinnosť dodávania vodíka do sietí na dodávku plynu.
- Tento pracovný list DVGW G 262 je o využití plynov z obnoviteľných zdrojov vo verejnom zásobovaní plynom. Diskutuje sa o usmerneniach pre vstrekovanie a používanie bioplynu, syntetického metánu a vodíka vo verejných sieťach dodávky plynu. Podporuje tiež integráciu obnoviteľných plynov – vrátane vodíka – do existujúcej plynárenskej infraštruktúry.
- DVGW G 685 - DVGW G 685 je norma, ktorá definuje špecifické požiadavky a smernice pre vstrekovanie obnoviteľných plynov, ako je vodík, do plynárenských sietí. Táto norma pokrýva technické aj bezpečnostné aspekty privádzania plynov z obnoviteľných zdrojov.

Na potrebu investícií do podpory výstavby nových kapacít obnoviteľných zdrojov energií (OZE), na znižovanie uhlíkovej náročnosti energetiky a celkovo na znižovanie emisií v doprave

s možnosťou využitia vodíka v doprave reagovalo Slovensko aj prijatím Plánu obnovy a odolnosti v roku 2021, ktorý bol aktualizovaný následne v rokoch 2022-2023.

Medzi jeho priority patrí aj kapitola s názvom „Zelená ekonomika“, ktorá vo svojej časti s názvom „KOMONENT 3: Udržateľná doprava“, zahŕňa štyri reformy a štyri investície.

Očakáva sa, že žiadne opatrenie v tomto komponente výrazne nenaruší environmentálne ciele v zmysle článku 17 nariadenia (EÚ) 2020/852 (Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2020/852 z 18. júna 2020 o vytvorení rámca na uľahčenie udržateľných investícií a o zmene nariadenia (EÚ) 2019/2088), berúc do úvahy opis opatrení a zmierňujúce kroky stanovené v Pláne obnovy a odolnosti v súlade so zásadou technického usmernenia týkajúceho sa uplatňovania zásady „výrazne nenarušiť“ (DNHS) (2021/C58/01).

Reforma 4: Zavedenie nových politík pre dlhodobú podporu alternatívnych pohonov v sektore dopravy, priamo odkazuje na skutočnosť, že reforma bude podporená nadobudnutím účinnosti nových legislatívnych opatrení, ktorými sa zreformujú distribučné tarify, zjednoduší a urýchli proces budovania infraštruktúry pre alternatívne pohony. Zavedie sa nimi aj „právo na nabíjací bod“ a stabilný predvídateľný viacročný rámec na podporu budovania príslušnej infraštruktúry pre alternatívne pohony.

V Investícii 4: Podpora budovania infraštruktúry nákladnej dopravy sa investícia zameria na nabíjacie body pre elektromobily a vodíkové plniace stanice. Vytvorí sa finančný mechanizmus schém pomoci pre budovanie nabíjacích bodov pre elektromobily a vodíkových plniacich staníc. Systém zabezpečí vybudovanie kostrovej infraštruktúry ultrarýchlonabíjacích bodov, dostupnej nabíjacej infraštruktúry na úrovni všetkých okresov SR a podporí tak rýchlejší rozvoj osobnej a nákladnej dopravy na alternatívny pohon, ktorý povedie k modernizácii vozového parku s cieľom zníženia celkových emisií v cestnej doprave. Táto investícia podporuje Reformu 4. Implementácia tejto investície sa dokončí do 30. júna 2026.

Plán obnovy SR je jedným z najúčinnnejších nástrojov na čerpanie finančných zdrojov EÚ v oblasti OZE.

6.5.13 Aplikácia vodíka v doprave

Nové technológie používané v automobiloch musia spĺňať prísne ekonomické a ekologické štandardy. Jednou z takýchto technológií je aj aplikácia vodíka v automobiloch. V súvislosti s používaním vodíka v doprave je potrebné dbať aj na bezpečnostné opatrenia, ktoré zabránia kolíznym situáciám.

Na tieto účely sú vypracované tzv. „harmonizované normy“, ktoré plne podporuje Nariadenie Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2023/1804 z 13. septembra 2023 o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá a o zrušení Smernice 2014/94/EÚ.

Európske normy harmonizované s uvedenou smernicou sú implementované do sústavy STN ako:

- STN EN 17124: 2019 Vodíkové palivo. Špecifikácia výrobku a zabezpečenie kvality. Palivové články s protónovou výmennou membránou (PEM) pre cestné vozidlá
- STN EN 17127: 2021 Vonkajšie vodíkové čerpace stanice na výdaj plynného vodíka obsahujúce plniace protokoly
- STN EN ISO 17268: 2021 Pripájacie zariadenia na tankovanie plynného vodíka do pozemných vozidiel (ISO 17268: 2020)

Pri realizácii čerpacích staníc na alternatívny pohon sa projektanti riadia aj Európskymi normami v rámci predpisov CEN/CENELEC, čo je Európsky výbor pre normalizáciu, ktorého členom je aj Slovenská republika, alebo schválenými normami štátov, ktorý sú v budovaní vodíkových čerpacích staníc najďalej ako Nemecko, ktoré sa riadi aj medzinárodnou normou (DIN EN 17124:2018) a normou (DIN EN 17127:2019-9).

Odporúčania:

V súvislosti s budúcou realizáciou čerpacích staníc na vodík, by bolo účelné legislatívne upraviť na úrovni SR aj potrebu vypracovania protokolov o čerpaní paliva, aby sa umožnilo krátkodobé využitie vodíkových vozidiel na základe modelovania, experimentálneho overovania a testov v teréne. Tie by sa mali dať použiť na plnenie akéhokoľvek vozidla na stlačený vodík s kapacitou > 250 litrov CHSS, a nie protokoly špecifické pre konkrétne vozidlá (napr. vozové parky s určitým dizajnom vozidiel). Takéto vozidlá zahŕňajú, ale nie sú obmedzené na dodávky, autobusy, nákladné autá, autokary, nákladné autá, vlaky, trajekty, člny a iné vhodné mobilné aplikácie poháňané vodíkom. To by malo podľa možnosti zahŕňať plnenie paliva na nominálny pracovný tlak (NWP) 350 bar a 700 bar, ale to nevylučuje zváženie iných možných NWP (napr. 500 bar).

Protokoly by mali pokryť čerpanie paliva v širokom rozsahu okolitých podmienok (napr. od -40 °C do +50 °C). Mali by zabrániť pretlakovaniu alebo prehriatiu CHSS nad 125 % NWP a nad +85 °C, aby zodpovedali schopnostiam palubných skladovacích nádob, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii. Tieto krátkodobé protokoly by mohli používať 120 g/s ako maximálny prietok vodíka, aby sa predišlo nesúladu so súčasnými normami, prípadne sa môžu preskúmať vyššie prietoky.

Táto práca by sa mala vykonávať v spojení so SAE J2601-2 a ďalšími príslušnými normalizačnými organizáciami (napr. ISO TC 197). Ak je to možné, mala by ďalej rozvíjať a verejne sprístupňovať protokoly vyvinuté v predchádzajúcich projektoch vodíkových autobusov (napr. HyFleet-CUTE) alebo inú použiteľnú prácu (napr. HyTransfer).

V nadväznosti na Smernicu Európskeho parlamentu a Rady 2014/94/EU o zavádzaní infraštruktúry pre alternatívne palivá a uvedené STN by bolo vhodné implementovať uvedené

právne predpisy aj do Vyhlášky Ministerstva životného prostredia SR č. 251/2023 Z.z. o kvalite palív.

V pôsobnosti CEN/TC 23 Prepravné fľaše na plyny v sústave STN zavedené:

- STN EN 17339: 2020 Prepravné fľaše na plyny. Fľaše a tuby z kompozitného uhlíka na prepravu vodíka (harmonizácia 2008/68/EC)
- STN EN 17533: 2020 Plynný vodík. Fľaše a tuby pre stacionárne sklady

V pôsobnosti CEN/TC 267 Priemyselné potrubia je zavedený v sústave STN súbor noriem STN EN 13480-1 až 8, (harmonizácia so Smernicou Európskeho parlamentu a Rady 2008/68/ES z 24. septembra 2008 o vnútrozemskej preprave nebezpečného tovaru), zaoberajúci sa materiálmi, navrhovaním a výpočtami, výrobou a inštaláciou, kontrolou a skúšaním, dodatočnými požiadavkami na podzemné potrubia, posudzovaním zhody, požiadavkami na potrubia z hliníka. K tomuto súboru pribudne v dohľadnej budúcnosti časť 11, zaoberajúca sa dodatočnými požiadavkami na vodíkové aplikačné potrubie.

Sústava STN obsahuje aj ďalšie technické normy súvisiace s vodíkovými technológiami:

- v oblasti bezpečnosti zaobchádzania s plynmi napr. STN EN 1839: 2017 Stanovenie medzi výbušnosti plynov a pár a stanovenie medznej koncentrácie kyslíka (MKK) pre horľavé plyny a pary; STN EN 15967: 2022 Stanovenie maximálneho tlaku pri výbuchu a maximálnej rýchlosti nárastu tlaku plynov a pár,
- v oblasti kvality plynu napr. STN EN 16726+A1: 2019 Plynárenská infraštruktúra. Kvalita plynu. Skupina H; Súbor noriem STN EN ISO 6145-1 až 11 Analýza plynov. Príprava kalibračných plynných zmesí,
- v oblasti komponentov infraštruktúry napr. STN EN 1775 dátum vydania: 2008 Zásobovanie plynom. Plynovody na zásobovanie budov. Maximálny prevádzkový tlak menší alebo rovný 5 bar. Odporúčania na prevádzku (predpoklad ukončenia revízie so zapracovaním požiadaviek na štandardizáciu pre vodík v roku 2025); STN EN 1594: 2014 Systémy zásobovania plynom. Plynovody na maximálny prevádzkový tlak nad 16 barov. Požiadavky na prevádzku a podobne.

Motorové vozidlá, ktoré sú poháňané vodíkom, musia byť povinne označené identifikačným znakom podľa Prílohy II. “Zoznam požiadaviek podľa článku 4 ods. 5 a článku 5 ods. 3, ako aj dátumov podľa článku 16“, čo sú požiadavky týkajúce sa podľa písm. „A“ zadržiavacích systémov, nárazových skúšok, integrity palivového systému a elektrickej bezpečnosti pri vysokom napätí, konkrétne písm. „A17“:

Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/2144 z 27. novembra 2019 o požiadavkách na typové schvaľovanie motorových vozidiel a ich prípojných vozidiel a systémov, komponentov a samostatných technických jednotiek určených pre tieto vozidlá, pokiaľ ide o ich všeobecnú bezpečnosť a ochranu cestujúcich vo vozidle a zraniteľných účastníkov cestnej premávky, ktorým sa mení nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/858 a ktorým sa zrušujú nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 78/2009, (ES)

č. 79/2009 a (ES) č. 661/2009 a nariadenia Komisie (ES) č. 631/2009, (EÚ) č. 406/2010, (EÚ) č. 672/2010, (EÚ) č. 1003/2010, (EÚ) č. 1005/2010, (EÚ) č. 1008/2010, (EÚ) č. 1009/2010, (EÚ) č. 19/2011, (EÚ) č. 109/2011, (EÚ) č. 458/2011, (EÚ) č. 65/2012, (EÚ) č. 130/2012, (EÚ) č. 347/2012, (EÚ) č. 351/2012, (EÚ) č. 1230/2012 a (EÚ) 2015/166.

Príloha II uvedeného nariadenia odkazuje v písm. „A17“ na:

- Predpis Európskej hospodárskej komisie Organizácie spojených národov /EHK OSN) č. 134 – Jednotné ustanovenia pri schvaľovaní motorových vozidiel a ich konštrukčných častí z hľadiska bezpečnosti vozidiel na vodíkový pohon (HFCV) [2019/795]
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/2144 z 27. novembra 2019 upravuje typové schvaľovanie vozidiel s vodíkovou technológiou. Zahŕňa prísne bezpečnostné požiadavky a rôzne testy, ako sú testy tlaku, tesnosti, roztrhnutia a požiarnej bezpečnosti. Reakcia vodíka s kyslíkom môže byť nekontrolovateľná a horľavá. K takzvanej oxyhydrogenovej reakcii však dochádza len vtedy, keď je zmes vodíka a kyslíka s obsahom kyslíka aspoň 4 percentá. Aby sa tomu zabránilo, vodík sa skladuje v špeciálne zabezpečených robustných nádržiach.

Odporúčania:

V uvedených súvislostiach pri s odkazom na vyššie uvedené akty EÚ/OSN by bolo vhodné realizovať legislatívne zmeny v Zákone č. 106/2018 Z.z. o prevádzke vozidiel v cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Je vhodné uvedený právny predpis doplniť o vymedzenie pojmov vo vzťahu zariadeniam, ktorých prevádzka je na báze vodíka, ako aj schvaľovacie procesy/procesy homologizácie aj o typ komponentu, alebo samostatnej technickej jednotky na prevádzku na pozemných komunikáciách o zariadenia s pohonom na vodík.

Ministerstvo vnútra SR – Prezídium Hasičského a záchranného zboru vydáva metodické usmernenia/listy „Činnosť hasičskej záchrannej služby – dopravné nehody na cestách“, ktoré bude potrebné doplniť o takticko-metodické postupy vykonávania zásahov hasičskej záchrannej služby pri dopravných nehodách automobilov na vodíkový pohon a to nie len na cestách ale aj v podzemných garážach a tuneloch. Uvedené zmeny by mali prebehnúť aj v interných predpisoch s názvom Zbierka interných predpisov prezídia hasičského a záchranného zboru.

Schvaľovanie užívania motorových vozidiel s alternatívnym palivom/vodíkom je v gescii Ministerstva dopravy SR, Štátneho dopravného úradu, ktorého pôsobnosť je vymedzená Zákonom č. 56/2012 Z.z. o cestnej doprave v znení neskorších predpisov.

Schvaľovacím orgánom, podľa ustanovenia § 2 ods. 4 zákona č. 106/2018 Z.z., je orgán členského štátu, ktorý:

- je zodpovedný za všetky aspekty schválenia jednotlivého vozidla, systému, komponentu alebo samostatnej technickej jednotky a
- plní ďalšie úlohy ustanovené vnútroštátnym právom členského štátu.

Príslušný okresný úrad, odbor cestnej dopravy a pozemných komunikácií podľa ustanovenia § 138 zákona č. 106/2018 Z.z. vystupuje pri schvaľovacom procese ako schvaľovací orgán.

Pre prihlásenie vozidla na vodíkové palivo, je potrebné vyhotoviť Osvedčenie o zhode (Certificate of Conformity, COC). COC je úradný doklad vydaný výrobcom vozidla, ktorý potvrdzuje, že vozidlo spĺňa technické požiadavky stanovené EÚ. Dokument plní kľúčovú úlohu v procese registrácie vozidiel v rámci EÚ a pre ojazdené vozidlá dovezené z krajín mimo EÚ. V tomto článku preskúmame, čo je COC, jeho účel a kroky potrebné na jeho získanie.

Na vydanie osvedčenia o zhode COC na konkrétne vozidlo, výrobca musí prejsť procesom typového schválenia. Tento proces pozostáva z niekoľkých krokov:

- Testovanie a zhoda: Vozidlo musí prejsť testami týkajúcimi sa bezpečnosti, emisií a iných predpisov špecifických pre EÚ.
- Vydanie COC: Po dokončení testov dostane výrobca COC pre model vozidla.
- platnosť: COC zostáva v platnosti počas celej životnosti vozidla a je potrebné ho predložiť pri registrácii alebo opätovnej registrácii.

Okrem COC je každému vozidlu pridelené a Identifikačné číslo vozidla (VIN). VIN je jedinečný kód, ktorý identifikuje vozidlo a používa sa na overenie informácií na COC. Pri registrácii alebo preregistrácii vozidla je dôležité mať oba doklady.

Podľa § 2 ods. 18 zákona č. 106/2018 Z.z. je doklad vydaný výrobcom vozidla, ktorý osvedčuje, že vyrobené vozidlo zodpovedá schválenému typu vozidla. Osvedčenie o zhode COC sa vydáva podľa rámcových nariadení o typovom schvaľovaní, pre jednotlivé kategórie vozidiel nasledovne:

- pre vozidlá kategórie L je rámcovým nariadením: nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 168/2013,
- pre vozidlá kategórie M, N a O je rámcovým nariadením: nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/858,
- pre vozidlá kategórie T, C, R a S je rámcovým nariadením: nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 167/2013.

Presný vzor osvedčenia o zhode COC (štruktúra, jednotlivé body) sú stanovené vykonávacími nariadeniami Komisie, ktoré boli vydané k vyššie uvedeným rámcovým nariadeniam o typovom schvaľovaní pre jednotlivé kategórie vozidiel nasledovne:

- pre vozidlá kategórie L: vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 901/2014,
- pre vozidlá kategórie M, N a O: vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2020/683,

- pre vozidlá kategórie T, C, R a S: vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2015/504.

V legislatíve SR je sú povinnosti o typovom schvaľovaní motorových vozidiel upravené v/vo:

- Vyhláške č. 176/1960 Zb. Vyhláška ministra zahraničných vecí o Dohode o prijatí jednotných podmienok pre homologizáciu (overovanie zhodnosti) a o vzájomnom uznávaní homologizácie výstroja a súčastí motorových vozidiel.
- Nariadení vlády SR z 20.04.2018, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 140/2009 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o typovom schvaľovaní motorových vozidiel a ich prípojných vozidiel, systémov, komponentov a samostatných technických jednotiek určených pre tieto vozidlá v znení neskorších predpisov.

Pre modelový prípad, pri vydaní Osvedčenia o zhode COC, pre motorové vozidlo s vodíkovým palivom TOYOTA MIRAI, oprávnená odborná autorita pri vydaní Osvedčenia o zhode COC, prehlasuje súlad s:

- Nariadením Komisie (EÚ) 2017/1151 z 1. júna 2017, ktorým sa dopĺňa nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 o typovom schvaľovaní motorových vozidiel so zreteľom na emisie ľahkých osobných a úžitkových vozidiel (Euro 5 a Euro 6) a o prístupe k informáciám o opravách a údržbe vozidiel, ktorým sa mení smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/46/ES, nariadenie Komisie (ES) č. 692/2008 a nariadenie Komisie (EÚ) č. 1230/2012 a ktorým sa ruší nariadenie (ES) č. 692/2008,
- Nariadením Komisie (EÚ) 2018/1832 z 5. novembra 2018, ktorým sa mení smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/46/ES, nariadenie Komisie (ES) č. 692/2008 a nariadenie Komisie (EÚ) 2017/1151 na účely zlepšenia skúšok a postupov typového schvaľovania z hľadiska emisií ľahkých osobných a úžitkových vozidiel vrátane skúšok a postupov z hľadiska zhody v prevádzke a emisií počas skutočnej jazdy, ako aj zavedenia zariadení na monitorovanie spotreby paliva a elektrickej energie,
- Nariadením Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 715/2007 z 20. júna 2007 o typovom schvaľovaní motorových vozidiel so zreteľom na emisie ľahkých osobných a úžitkových vozidiel (Euro 5 a Euro 6) a o prístupe k informáciám o opravách a údržbe vozidiel.

6.5.14 Vodíkové čerpacie stanice - bezpečnosť prevádzky

Jedným zo základných dokumentov/aktov EÚ pre stanovenie právnych kritérií bezpečnosti práce a prevádzky na čerpacích staniciach a to aj vodíkových je Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2014/34/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa zariadení a ochranných systémov určených na použitie v potenciálne výbušnej atmosfére.

Predmetná smernica bola na úrovni legislatívy SR transponovaná do:

- Nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 333/2019 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 149/2016 Z. z. o zariadeniach a ochranných systémoch určených na použitie v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu,

- Zákona č. 56/2018 Z.z. o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trhu a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- Nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 149/2016 Z.z. o zariadeniach a ochranných systémoch určených na použitie v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu.

Okrem uvedených aktov/právnych noriem v legislatívnom prostredí EÚ a SR, je pre účely školenia zamestnancov/prevádzkarov čerpacích staníc vo vzťahu k BOZP potrebné aplikovať aj zákony, vyhlášky:

- Zákon č. 124/2006 Z.z. Zákon o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 42/1994 Z.z. o civilnej ochrane obyvateľstva v znení neskorších predpisov
- Zákon č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov,
- Nariadenie vlády SR č. 121/2006 z 10. mája 2006 o ochrane zdravia zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou karcinogénnym faktorom, mutagénnym faktorom alebo reprodukčne toxickým faktorom pri práci,
- Vyhláška MZ SR č. 398/2010 Z.z. o minimálnych požiadavkách na kurzy prvej pomoci a kurz inštruktora prvej pomoci,
- Vyhláška MV SR č. 121/2002 Z.z. o požiarnej prevencii,
- Vyhláška MPSVR SR č. 356/2007 z 22. júna 2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách a rozsahu výchovnej a vzdelávacej činnosti, o projekte výchovy a vzdelávania, vedení predpísanej dokumentácie a overovaní vedomostí účastníkov výchovnej a vzdelávacej činnosti,
- Zákon č. 128/2015 Z.z. prevencii závažných priemyselných havárií a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- Vyhláška MPSVaR SR č. 508/2009 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci s technickými zariadeniami tlakovými, zdvíhacími, elektrickými a plynovými a ktorou sa ustanovujú technické zariadenia, ktoré sa považujú za vyhradené technické zariadenia.

6.5.15 Platby za pripojenie do energetických sietí

Využitelnosť vodíka po jeho získaní a to bez ohľadu na jeho pôvod (ťažbu, výrobu,) spočíva aj vo výrobe elektriny z vodíka a to buď pomocou vodíkového palivového článku (reverzná elektrolýza), alebo je možné vodík spáliť v plynovej elektrárni a premeniť ho na elektrinu. Okrem elektriny vyrobenej vodíkovou elektrinou, oba popísané procesy výroby elektriny z vodíka, produkujú využiteľné teplo.

Vyrobená elektrina, resp. teplo sa dá využiť na vlastnú spotrebu výrobcu elektriny, alebo v prospech iných/tretích subjektov a to prenosom vyrobenej elektriny/tepla prostredníctvom existujúcich prenosových sústav/sietí, ktoré sú regulované príslušným úradom.

V rámci platnej legislatívy EÚ je problematika energetickej infraštruktúry ukotvená v: Nariadení Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2022/869 z 30. mája 2022 o usmerneniach pre

transeurópsku energetickú infraštruktúru, ktorým sa menia nariadenia (ES) č. 715/2009, (EÚ) 2019/942 a (EÚ) 2019/943 a smernice 2009/73/ES a (EÚ) 2019/944 a ktorým sa ruší nariadenie (EÚ) č. 347/2013.

Delegovanom nariadení komisie (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023, ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky Únie, ktorou sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu.

EK vydala dňa 15.12.2022 pod č. V(2022) 9284 Oznámenie Komisie Usmernenia týkajúce sa rozdelenia nákladov a prínosov v rámci projektov cezhraničnej spolupráce v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov.

Cieľom tohto usmernenia je podporiť členské štáty, ktoré sú ochotné zapojiť sa do projektov cezhraničnej spolupráce v oblasti výroby energie z obnoviteľných zdrojov, pri hľadaní vzájomne výhodného riešenia rozdelenia súvisiacich nákladov a prínosov. Načrtáva možnosti koncepcie rozdelenia nákladov a prínosov v projektoch cezhraničnej spolupráce v oblasti obnoviteľných zdrojov energie a poskytuje odporúčania a najlepšie postupy, pričom členským štátom umožňuje flexibilitu. Usmernenie možno použiť v kontexte segmentu Nástroja na prepájanie Európy (ďalej len „NPE“) pre cezhraničné projekty v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov, ako aj pre projekty OZE využívajúce mechanizmy spolupráce vo všeobecnejšej rovine. Týka sa projektov v oblasti elektriny z obnoviteľných zdrojov, ako aj projektov v oblasti tepla a plynu z obnoviteľných zdrojov.

Právny rámec rozvoja OZE je stanovený v rámci európskej legislatívy v Smernici európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov.

Ako je stanovené v článku 3 ods. 1 smernice, členské štáty musia spoločne dosiahnuť celkovú záväznú cieľovú hodnotu Únie týkajúcu sa podielu energie z obnoviteľných zdrojov na hrubej konečnej energetickej spotrebe v Únii v roku 2030. Táto spoločná cieľová hodnota sa dosahuje prostredníctvom národných príspevkov, ktoré stanovujú všetky členské štáty v rámci svojich integrovaných národných energetických a klimatických plánov (ďalej len „NEKP“). V smernici sa uznáva aj cezhraničný rozmer zavádzania energie z obnoviteľných zdrojov a členským štátom sa adresuje výzva, aby v tomto smere spolupracovali, a to okrem iného prostredníctvom dostupných mechanizmov spolupráce, ako sú štatistické prenosy, spoločné projekty medzi členskými štátmi, spoločné projekty medzi členskými štátmi a tretími krajinami alebo spoločné systémy podpory, ktoré sú regulované Nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2021/1153 zo 7. júla 2021, ktorým sa zriaďuje Nástroj na prepájanie Európy a zrušujú nariadenia (EÚ) č. 1316/2013 a (EÚ) č. 283/2014.

Podľa ustanovení článku 15 odsek 1 Smernice európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov Členské štáty

zabezpečia, aby všetky vnútroštátne pravidlá vzťahujúce sa na postupy schvaľovania a vydávania osvedčení a povolení, ktoré sa uplatňujú vo vzťahu k zariadeniam a súvisiacim prenosovým a distribučným sieťam na výrobu elektriny, tepla alebo chladu z obnoviteľných zdrojov a na procesy premeny biomasy na biopalivá, biokvapaliny, palivá z biomasy alebo na iné energetické produkty a na kvapalné a plynné palivá v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu, boli primerané a potrebné a prispievali k uplatňovaniu zásady prvoradosti energetickej efektívnosti.

Členské štáty prijmu najmä vhodné opatrenia na zabezpečenie toho, aby:

- administratívne postupy boli efektívne a vybavované na príslušnej administratívnej úrovni a aby sa stanovili predvídateľné časové rámce pre postupy uvedené v prvom odseku,
- pravidlá týkajúce sa schvaľovania, ako aj vydávania osvedčení a povolení boli objektívne, transparentné a primerané, nerobili rozdiel medzi žiadateľmi a úplne zohľadňovali špecifiká jednotlivých technológií výroby energie z obnoviteľných zdrojov,
- správne poplatky, ktoré platia spotrebitelia, projektanti, architekti, stavbári a dodávatelia a inštalatéri vybavenia systémov, boli transparentné a súviseli nákladmi, a
- sa pre decentralizované zariadenia a pre výrobu a uskladnenie energie z obnoviteľných zdrojov stanovili zjednodušené a menej zaťažujúce schvaľovacie postupy vrátane postupu jednoduchého oznámenia.

Na území SR je cenová regulácia napr. v elektroenergetike, jej tvorba a podmienky sú v kompetencii Úradu pre reguláciu sieťových odvetví (ďalej len ako ÚRSO), ktorý je od 01.02.2024 ústredným orgánom štátnej správy. Pôsobnosť ÚRSO je upravená v Zákone č. 250/2012 Z.z. o regulácii sieťových odvetví.

Základom legislatívy na území SR súvisiacu s reguláciou poplatkov/cien za prístup do distribučnej sústavy napr. v elektroenergetike, prístupu do prenosovej sústavy sú:

- Zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysokoúčinnnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- Vyhláška č. 207/2023 Z.z. ÚRSO, ktorou sa ustanovujú pravidlá pre fungovanie vnútorného trhu s elektrinou, obsahové náležitosti prevádzkového poriadku prevádzkovateľa sústavy, organizátora krátkodobého trhu z elektrinou a rozsah obchodných podmienok, ktoré sú súčasťou prevádzkového poriadku prevádzkovateľa sústavy.

Dôležitým právnym predpisom na úrovni legislatívy SR vo vzťahu k poplatkom za pripojenie do siete napr. pre výrobcov elektriny a to aj z OZE je Vyhláška č. 154/2024 Z. z. ÚRSO, ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike a niektoré podmienky vykonávania regulovaných činností v elektroenergetike. Táto vyhláška nadobudla platnosť 28.06.2024 a účinnosť 01.01.2025.

Odporúčania:

Dostupnosť zelenej elektriny alebo dostupnosť alternatívnych palív v automobilovom priemysle, vodík nevynímajúc je v posledných rokoch jedným z dôležitých faktorov, ktoré si všímajú potencionálni investori, ktorí sa rozhodujú o investovaní na Slovensku, alebo rozširovaní svojich už existujúcich prevádzok. Priemerné ceny energií ako aj pohonných látok vplyvom vytvorenia vhodného prostredia pre OZE by sa v jednotlivých členských štátoch mohli znížiť a to aj podporou aplikácie vodíka v priemysle.

Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov ako aj súvisiace vyššie uvedené vyhlášky URSO v súčasnosti vytvárajú právny rámec pre podnikanie v energetických odvetviach, ustanovujú práva a povinnosti jednotlivých účastníkov trhu s energiami a pravidlá pre výkon štátnej správy v energetike.

Tvorba legislatívneho prostredia vo vzťahu k OZE by mala v jednotlivých členských štátoch vytvárať vhodné legislatívne a ekonomické prostredie pre „Energetické spoločenstvá“.

Energetickým spoločenstvom sa rozumie občianske energetické spoločenstvo podľa smernice (EÚ) 2019/944 a komunita vyrábajúca energiu z obnoviteľných zdrojov podľa smernice (EÚ) 2018/2001, ktoré smerujú k organizácii komunitárnych aktivít v oblasti energetiky, a to cez právnickú osobu založenú špecifickými osobami, s demokratickými princípmi riadenia, za nekomerčným účelom a na nediskriminačnom základe vo vzťahu k ostatným účastníkom trhu, pričom komunita vyrábajúca energiu z obnoviteľných zdrojov môže pôsobiť nielen na trhu s elektrinou, ale aj na trhoch s inými energiami, ak je splnená podmienka, že ide o energiu z OZE.

Pre stabilné a udržateľné prostredie a to nie len legislatívne ale aj ekonomické prostredie vo vzťahu k OZE a vodíku zvlášť bude do budúcnosti efektívne prispôbiť tvorbu vnútroštátnych predpisov v súlade s platnými právnymi aktami Európskej únie tak ako je to uvedené v prerokovanom ustanovení článku 15 odsek 1 Smernice európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov.

Je dôležité, aby legislatívne prostredie tvorené na úrovni Slovenskej republiky ako aj príslušné cenové vyhlášky ústredných orgánov štátnej správy (URSO) zohľadňovali potrebu znižovania sadzieb poplatkov, ktoré majú vplyv na výrobu, prepravu, skladovanie a predaj energií z OZE.

Pre udržateľnosť a podporu podnikateľského sektora, ktorý sa zaoberajú výrobou, prepravou alebo predajom komodít z OZE je vhodné aby sa legislatívne prostredie aj vo vzťahu k vodíku nastavilo ako v krajinách Európskej únie kde je aplikácia vodíka v automobilovom priemysle alebo všeobecne v priemysle rozvinutejšia a kde sú právnymi predpismi týchto štátov poplatky za pripojenie do siete regulované tak, že sa tieto poplatky za pripojenie do siete a sieťové tarify znižujú pre nákup elektriny vyrábanej z OZE.

6.5.16 Odporúčania k legislatívnym procesom:

Úlohou ŠRH2 je aj oboznámenie sa s legislatívnym prostredím v rámci EÚ a SR a následné pomenovanie potrebných legislatívnych zmien pre účely implementácie vodíka do prostredia priemyslu SR. Bude potrebné, aby sa nastavili jasné, transparentné a nezaťažujúce pravidlá pre integráciu opatrení/právnych aktov na podporu vodíka v priemysle na území SR a to nie len na strane štátu ale aj podnikateľského a spotrebiteľského sektora na území SR.

Fungovanie Európskej únie sa opiera o princípy právneho štátu. Znamená to, že každé opatrenie EÚ má oporu v zmluvách, ktoré boli demokraticky schválené jej členmi. Právne predpisy EÚ prispievajú k plneniu cieľov zmlúv EÚ a politik EÚ v praxi. Medzi najzakladanejšie typy právnych úkonov patria Zmluvy EÚ, Nariadenia, Smernice, Rozhodnutia, Odporúčania, Stanoviská, Delegované právne akty a Vykonávacie akty. Niektoré právne akty EÚ sú záväzné a niektoré majú odporúčací charakter pre jednotlivé členské štáty EÚ. Jedným zo záväzných právnych aktov EÚ sú aj Smernice, ktoré zaväzujú krajiny EÚ prijať tieto opatrenia a začleniť ich do svojho práva.

Bude preto potrebné aby Slovenská republika prostredníctvom jednotlivých gestorov/ústredných orgánov štátnej správy dôsledne pristupovala implementácii jednotlivých záväzných ale aj odporúčacích právnych aktov Európskej únie v oblasti vodíka do právnych predpisov SR, čím sa jednotlivé kroky k využitiu vodíka v priemysle a doprave na území SR zjednodušia.

6.6 Čiastkový záver a odporúčania

Kapitola 6 hodnotila scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku.

6.6.1 Scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva na Slovensku

Vývoj môže prebiehať podľa konzervatívneho, stredného a ambiciózneho scenára. Reálny vývoj závisí od politickej vôle, investícií ale aj externých faktorov.

Konzervatívny scenár (489 mil. EUR) predpokladá, že sa nezrealizujú zásadné zmeny a rozvoj vodíkovej ekonomiky bude veľmi obmedzený. Konzervatívny scenár vyžaduje nižšie náklady v porovnaní s ostatnými scenármi, ale je dlhodobý rizikový z hľadiska záväzkov EÚ. Očakáva sa, že Slovensko splní ciele len čiastočne pomocou projektov ktoré si nevyžadujú výrazné investície alebo zásahy do existujúceho energetického systému. Ide o takzvaný „business as usual“.

Scenár:

- V dlhodobom horizonte nebude stačiť na dosiahnutie ambiciózných klimatických cieľov a plného využitia potenciálu vodíkového hospodárstva.

- Predpokladá nižšiu spotrebu vodíka v doprave a v priemysle. Čiastkové naplnenie cieľov, bez zásadných zmien v energetike.
- Investície do vodíkového ekosystému sú odhadované na 489 mil. EUR.
- Prináša vysoké riziko pokút za nesplnenie klimatických záväzkov (výška zatiaľ neznáma). Poplatky za emisie v ETS budú naďalej rásť, čo zvýši náklady podnikov.
- Minimálne investície do OZE a vodíkovej infraštruktúry.
- Nerieši sa dovoz vodíka ani rozvoj domácej produkcie vo väčšom rozsahu.
- Nezahrňa významnú dekarbonizáciu priemyslu ani využitie vodíka v železničnej doprave.

Stredný scenár (1 572 mil. EUR) počíta s plnením väčšiny klimatických a energetických cieľov v rozsahu, ktorý je technicky dosiahnuteľný a ekonomicky únosný. Rozvoj infraštruktúry a importu vodíka bude kľúčový, pričom časová realizácia je viazaná na dokončenie modernizácie potrubnej infraštruktúry, čím by sa umožnil veľkokapacitný dovoz vodíka zo zahraničia.

- Väčšinové naplnenie cieľov, tam kde je to technicky možné v súlade so záväzkami a cieľmi SR.
- Predpokladá sa značné využitie v doprave a čiastočná dekarbonizácia priemyslu.
- Nízke riziko pokút, závislé od miery implementácie opatrení.
- Investície do vodíkového ekosystému sú odhadované na 1 572 mil. EUR.
- Kľúčovým prvkom je dovoz vodíka s využitím a potrebnou úpravou existujúceho potrubia Eustream, ktoré má byť modernizované v roku 2030.
- Plné naplnenie scenára je pravdepodobné až po roku 2030, teda v časovom období 2030 – 2035.
- Bez dovozu vodíka bude potrebná rozsiahla domáca výroba vodíka, možná len s výraznou politickou a ekonomickou podporou výstavby nových OZE a elektrolyzérů.
- Dekarbonizácia priemyslu je čiastočne možná, ak budú vytvorené vhodné podmienky.
- Využitie vodíka v železničnej doprave je potenciálne možné, po dôkladnej analýze trás.

Ambiciózny scenár (1 694 mil. EUR) počíta s proaktívnym prístupom a hlbokou transformáciou energetiky, priemyslu aj dopravy. Nejde len o plnenie cieľov, ale o to, aby sa Slovensko stalo lídrom v udržateľných vodíkových technológiách. Realizácia si však vyžaduje vysokú úroveň koordinácie, investícií a technologickej pripravenosti.

- Predpokladá sa vysoká spotreba v doprave a ambiciózna dekarbonizácia priemyslu.
- Naplnenie cieľov v súlade so súčasnými záväzkami SR a cieľmi EU.
- Investície do vodíkového ekosystému sú odhadované na 1 694 mil. EUR.
- Zdieľa technické obmedzenia so stredným scenárom a to dostupnosť plynovodov Eustream na dovoz vodíka po roku 2030.
- Vysoké investície do výroby, infraštruktúry a obnoviteľných zdrojov.
- Dekarbonizácia hutníckeho priemyslu a ďalších energeticky náročných sektorov ako priorita.
- Zavedenie vodíka do železničnej dopravy, aspoň na jednej trati.
- Scenár sa odporúča iba v prípade, že sa vodíkové technológie ukážu udržateľnejšie ako elektrifikácia.
- Cieľom je dlhodobá udržateľnosť a technologická konkurencieschopnosť.

Odporúčaný scenár rozvoja vodíkoveho hospodárstva na Slovensku:

- “stredný scenár” rozvoja vodíkoveho hospodárstva na Slovensku ako pragmatický prístup k energetickej transformácii,
- reflektuje urgenciu potreby naplnenia klimatických záväzkov,
- vychádza z potreby dostatočne dynamického rozvoja výroby a využitia vodíka, aby bolo možné efektívne naplniť domáci dopyt,
- kľúčovým prvkom je kombinácia lokálnej výroby vodíka pomocou elektrolyzérovo ale aj jeho dovozu, čím sa zabezpečí dostatočná flexibilita pri pokrývaní spotreby priemyslu a dopravy,
- podporiť výstavbu dodatočných čerpacích staníc, čo umožní plynulý rozvoj vodíkovej mobility, pričom predpokladá rozšírenie využitia vodíka predovšetkým v oblastiach, kde iné formy dekarbonizácie nie sú efektívne alebo technicky uskutočniteľné.

6.6.2 Legislatívne úpravy týkajúce sa vodíkoveho hospodárstva

Legislatívne úpravy budú potrebné vo viacerých oblastiach, najmä na urýchlenie povolenacích procesov, ujasnenie regulácií a redukciu administratívnej záťaže pri realizácii vodíkových projektov. Boli identifikované tieto zákony, ktoré by mali prejsť novelizáciou:

- Zákon č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon) v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny,
- Zákon č. 250/2012 Z.z. o regulácii v sieťových odvetviach,
- Zákon č. 251/2012 Z.z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 309/2009 Z.z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 200/2022 Z.z. o územnom plánovaní v znení neskorších predpisov,
- Vyhlášku MŽP SR č. 29/2005 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o určovaní ochranných pásiem vodárenských zdrojov, o opatreniach na ochranu vôd a o technických úpravách v ochranných pásmach vodárenských zdrojov v znení neskorších predpisov.

Ďalej je kritická transpozícia aktov EÚ, a to najmä:

- Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2023/1184 z 10. februára 2023,
- Delegované nariadenie komisie (EÚ) 2023/1185 z 10. februára 2023,
- Smernica európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2023/2413 z 18. októbra 2023.

7 PRÍLOHY

7.1 Dokumenty a regulácie EÚ

Štúdia vychádza z nových aj aktualizovaných dokumentov a zo záväzných predpisov Európskej únie:

- Oznámenie o Európskej vodíkovej banke
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:52023DC0156>
- Delegované nariadenie vytvárajúce metodiku Únie k podrobným pravidlám výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX:32023R1184>
- Nariadenie o vnútornom trhu s plynmi z obnoviteľných zdrojov, so zemným plynom a s vodíkom
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401789
- Smernica o spoločných pravidlách pre vnútorné trhy s obnoviteľným plynom, so zemným plynom a s vodíkom
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401789
- Pokyny k štátnej podpore v oblasti klímy, životného prostredia a energetiky (CEEAG)
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sk/qanda_22_566?fbclid=IwAR0dudeNVxH-7v1qqqR5h0U3o7AOtnVM-8l4-CwZN7jN27jKxW4Q8KGTvW8
- Nariadenie o zriadení rámca opatrení na posilnenie európskeho ekosystému výroby emisne neutrálnych technológií
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401735
- Nariadenie, ktorým sa zriaďuje rámec pre posilnenie európskeho ekosystému výroby produktov technológií pre nulové emisie
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0161>
- Nariadenie o usmerneniach pre transeurópsku energetickú infraštruktúru
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0869>

7.2 Vodík v najväčších svetových ekonomikách

7.2.1 USA

USA zverejnili v júni 2023 vôbec prvú americkú národnú stratégiu a plán obnoviteľného vodíka. Stratégia predstavuje komplexný rámec na urýchlenie výroby, spracovania, dodávky, skladovania a používania obnoviteľného/nízkoemisného vodíka a podčiarkuje cesty vlády USA k riešeniu klimatickej krízy a dosiahnutiu bezemisnej siete do roku 2035 a ekonomiky s nulovými čistými emisiami do roku 2050. Stratégia a plán načrtávajú víziu úlohy obnoviteľného/nízkoemisného vodíka pri dosahovaní národných cieľov dekarbonizácie v rôznych priemyselných odvetviach v nasledujúcich rokoch. Skúma potenciálne budúce požiadavky a identifikuje strategické príležitosti pre domácu produkciu 10 mega ton (Mt) obnoviteľného/nízkoemisného vodíka ročne do roku 2030, 20 Mt ročne do roku 2040 a 50 Mt ročne do roku 2050. V súčasnosti viac ako 95 % z približne 10 mil. t vodíka vyprodukovaného ročne v USA predstavuje sivý vodík. To predstavuje 1 % spotreby energie v USA.

Národná stratégia USA načrtáva tri základné prístupy na zabezpečenie efektívneho vývoja a prijatia obnoviteľného vodíka ako nástroja na dekarbonizáciu²⁶⁴:

- Sústreďenie úsilia na identifikáciu a implementáciu vysokoúčinných aplikácií pre obnoviteľný vodík so strategickým významom a podstatným vplyvom.
- Cieľom je maximalizovať využitie obnoviteľného/nízkoemisného vodíka v aplikáciách s obmedzenými alternatívami dekarbonizácie (napr. priemyselný sektor, ťažká preprava a dlhodobé skladovanie energie na umožnenie čistej siete), čím sa zabezpečí čo najväčší prínos z jeho použitia.
- Znížiť náklady spojené s výrobou obnoviteľného vodíka urýchlením inovácií a rozsahu, podporou investícií súkromného sektora a vytvorením robustného dodávateľského reťazca obnoviteľného vodíka. V júni 2021 ministerstvo energetiky (DOE) iniciovalo projekt Energy Earthshots – Hydrogen Shot s cieľom uvoľniť trhovú potenciál obnoviteľného vodíka s cieľom dosiahnuť 80 % zníženie nákladov, čím sa v priebehu desaťročia znížia na 1 dolár za 1 kilogram.
- Uprednostňovanie rozvoja regionálnych sietí, ktoré umožňujú výrobu obnoviteľného vodíka a jeho blízkosť pre okamžité konečné použitie. Okrem toho podporuje významnú expanziu a uľahčuje úspešné uvedenie na trh a zároveň využíva príležitosti špecifické na podporu rovnosti, začlenenia a environmentálnej spravodlivosti.

7.2.2 Čína

Čínska vláda označila vodíkovú ekonomiku za jedno zo šiestich odvetví budúcnosti a nedávno zverejnila plány, ktoré podčiarkujú jej význam pre energetiku aj priemyselný rozvoj. Čína je už teraz najväčším svetovým dodávateľom vodíka a vyrába približne 25 mil. t vodíka, čo je štvrtina celosvetovej produkcie.

Čínska vodíková aliancia predpokladá, že dopyt Číny po vodíku dosiahne do roku 2030 35 mil. t, čo bude predstavovať najmenej päť percent dodávok energie v krajine, predtým, než sa zvýši na 60 mil. t a 10 percent do roku 2050 a 100 mil. t a 20 % do roku 2060. Skupina očakáva, že hodnota produkcie tohto odvetvia dosiahne 1 bilión RMB (157,44 miliardy USD) už v roku 2025.

Čínska vláda zverejnila plány na výrobu väčšieho množstva vodíka a na uspokojenie tohto rastúceho dopytu ekologickejšou výrobou. Dôležitosť, ktorú čínski lídri prikladajú vodíkovej energii, možno vidieť na jej význame v 14. päťročnom pláne, ktorý upravuje smerovanie rozvoja krajiny na obdobie rokov 2021-2025.

Podľa plánu by Čína mala vytvoriť zdravé prostredie pre rozvoj vodíkovej energie so systémami a politikami zavedenými do roku 2025. Do roku 2035 by Čína mala vytvoriť priemyselný systém pre vodíkovú energiu a systém na využitie vodíkovej energie vrátane dopravy a skladovania energie.

²⁶⁴ <https://ieaghg.org/insights/u-s-national-clean-hydrogen-strategy-and-roadmap-2023-ip10/>

Národný plán strategicky umiestňuje vodík ako: (1) dôležitú súčasť budúceho energetického systému Číny; (2) dôležitým nositeľom na dosiahnutie nízkouhlíkového energetického prechodu v Číne; a (3) kľúčový vznikajúci priemysel a smer rozvoja budúcich priemyselných odvetví v Číne.

Vodík je tiež súčasťou čínskych plánov pre množstvo ďalších priemyselných odvetví, ako sú nové vodíkové vozidlá. Napríklad plán rozvoja odvetvia nových energetických vozidiel predpokladá, že množstvo čerpacích staníc na vodík (HRS) vzrastie zo 72 jednotiek v polovici roku 2020 na 2 000 jednotiek do roku 2035, čo dokazuje úzky vzťah medzi vývojom vodíkovej ekonomiky a vývojom vodíkových vozidiel. Lokálne plány jednotlivých čínskych provincií posudzované spoločne môžu poskytnúť presnejší obraz o čínskom vodíkovom priemysle v nasledujúcich desaťročiach ako národný plán.

Zistenia:

- Ciele čínskych provincií sú spolu oveľa ambicióznejšie ako ich národné ciele, pričom na čele stojí Vnútroň Mongolsko. Cieľom poslednej menovanej provincie je dosiahnuť do roku 2025 produkciu 480 000 t obnoviteľného vodíka ročne (2,5 až 5-násobok národného cieľa). Vnútroň Mongolsko, s dobrými prírodnými podmienkami pre rozvoj OZE (vietor a slnko), by mohlo dosiahnuť približne 60 percent svojho cieľa na rok 2025 na základe projektov, ktoré sú v súčasnosti vo výstavbe (a s výnimkou tých, ktoré sú stále vo fáze plánovania, ktoré sa môžu, ale nemusia uskutočniť). Tento región by sám osebe vo veľkej miere splnil národný cieľ pre obnoviteľný vodík.
- Hoci zmierňovanie klimatických zmien je určite jednou z kľúčových hnacích síl čínskej vodíkovej stratégie, z krátkodobého hľadiska sa zdá, že priemyselné a ekonomické motivácie sú výraznejšie. Čína kladie menší dôraz na uhlíkovú intenzitu ako EÚ a USA, o čom svedčí chýbajúca formálna definícia obnoviteľného vodíka zo strany čínskej vlády.
- Chýbajúca prepravná infraštruktúra v Číne predstavuje ďalšiu výzvu keďže krajina v súčasnosti vlastní iba 400 kilometrov vodíkových potrubí. Nedávne iniciatívy na rozvoj infraštruktúry, ako sú vodíkové potrubia na krátke vzdialenosti, čerpacie stanice vodíka a zariadenia na skladovanie kvapalného vodíka, sa primárne sústreďujú do štyroch veľkých priemyselných zoskupení.

7.3 Finančné nástroje podpory investičných projektov

7.3.1 Inovačný fond

Intenzita podpory

- Financovanie pokrýva až 60% nákladov na kapitálové investície a náklady na prevádzku súvisiace s inovatívnymi technológiami.
- Granty môžu byť kombinované so súkromným financovaním, venture kapitálom alebo inými verejnými finančnými zdrojmi.
- Program je otvorený aj pre malé a stredné podniky, ktoré môžu žiadať o menšie granty.

Špecifické ciele a priority

- Znižovanie emisií skleníkových plynov, najmä v priemyselných odvetviach s vysokými emisiami.

- Podpora technológií na výrobu, distribúciu a využitie obnoviteľného vodíka.
- Zvýšenie investícií do inovácií a modernizácie infraštruktúry pre vodíkovú ekonomiku.

Poskytovateľ

EÚ prostredníctvom Európskej komisie v rámci programu Horizon Europe. Fond je spravovaný Európskou implementačnou agentúrou pre inovácie a výskum (CINEA).

Rozpočet

Celkový rozpočet Innovation Fund je 10 miliárd eur do roku 2030, pričom jednotlivé výzvy sa pohybujú v rozsahu stoviek mil. eur pre konkrétne projekty v oblasti vodíkových technológií a inovácií.

Riziká a podmienky

- Projekty môžu čeliť technologickým a regulačným rizikám pri nasadzovaní inovatívnych riešení.
- Podmienky pre úspešné získanie grantu zahŕňajú povinnosť pravidelného reportovania o pokroku a dosiahnutých výsledkoch.

7.3.2 Mechanizmus spravodlivej transformácie

Intenzita podpory

Intenzita podpory bola určená pre menej rozvinuté regióny vo výške 85% a 50% pre viac rozvinuté regióny.

Špecifické ciele a priority

- Pomoc regiónom, ktoré sú najviac zasiahnuté negatívnymi vplyvmi prechodu na zelenú ekonomiku, vrátane podpory pracovnej sily v týchto regiónoch a zníženia negatívnych sociálno-ekonomických následkov.
- Na Slovensku boli pre tento účel vybrané región hornej Nitry a Košický, Banskobystrický a Bratislavský kraj.
- Investície do zavádzania technológií a infraštruktúry pre dostupnú čistú energiu vrátane technológií na skladovanie energie a znižovania emisií skleníkových plynov.
- Investície do inteligentnej a udržateľnej miestnej mobility a dekarbonizácie dopravného sektoru a jeho infraštruktúry.

Rozpočet

Celkový rozpočet mechanizmu je 100 mld. eur. Fond na spravodlivú transformáciu má vo forme grantov alokáciu 17,5 mld. EUR (z toho 459 mil. EUR pre SR, viac ako polovica týchto prostriedkov pochádza z nástoja NextGeneration EU a zvyšná časť z Viacročného

finančného rámca na roky 2021-2027) a zvyšné dva zdroje (v návratnej forme) 82,5 mld. EUR s otvorenou alokáciou pre SR.

7.3.3 Plán obnovy a odolnosti

Intenzita podpory

- Projekty môžu získať až 100% financovania pre zelené a inovatívne technológie v súlade s cieľmi udržateľného rozvoja a klimatických cieľov EÚ.
- Financovanie je zamerané na verejné aj súkromné subjekty, s dôrazom na ekologické inovácie a digitálnu transformáciu.
- Podpora zahŕňa priame granty a financovanie formou pôžičiek s nízkym úrokom.

Špecifické ciele a priority

- Podpora projektov, ktoré prispievajú k ekologickej transformácii, znižovaniu emisií skleníkových plynov a dekarbonizácii energetiky a priemyslu.
- Zvýšenie investícií do technológií pre obnoviteľné zdroje energie, najmä vodíka, s cieľom dosiahnuť klimatické ciele EÚ do roku 2050.

Poskytovateľ

EK v rámci národných plánov obnovy. Na Slovensku je plán spravovaný Vládou SR.

Rozpočet

Celkový rozpočet pre EÚ je 723,8 miliardy eur, pričom Slovensko získalo alokáciu vo výške 6,3 miliardy eur, ktorá zahŕňa financovanie projektov na dekarbonizáciu, vrátane vodíkových projektov.

Riziká a podmienky

- Riziká môžu zahŕňať nedostatočnú technologickú pripravenosť alebo problémy pri implementácii projektov v rámci stanoveného časového rámca.
- Podmienky zahŕňajú povinnosť pravidelného reportovania a monitorovania dosiahnutých výsledkov v súlade s cieľmi plánu obnovy.

7.3.4 Európska vodíková banka

Ciele

- Podpora rozvoja domácej produkcie vodíka v rámci EÚ.
- Prepojenie výrobcov vodíka s priemyselnými spotrebiteľmi na zabezpečenie stabilného dopytu.
- Zníženie investičných bariér pre rozvoj vodíkových technológií.
- Podpora dekarbonizácie priemyslu a rozvoj vodíkovej infraštruktúry vrátane čerpacích staníc.

Hlavné aktivity

- Domáci pilier:
- Tento pilier podporuje výrobcov obnoviteľného vodíka prostredníctvom finančných aukcií. Výrobcovia môžu získať stabilnú prémiiu za overenú produkciu vodíka.
- Prvá aukcia (2023 – 2024): Na podporu siedmich projektov bolo pridelených 720 mil. eur. Tieto projekty plánujú vyprodukovať viac ako 1,5 mil. t vodíka a znížiť emisie CO₂ o viac ako 10 mil. t počas desiatich rokov.
- Druhá aukcia (2024): Plánovaná s rozpočtom 1,2 miliardy eur, zameraná na rozšírenie produkčných kapacít.
- Medzinárodný pilier:
- Podpora dovozu vodíka do Európy, vytváranie transparentného trhu pre medzinárodné transakcie a prepojenie zahraničných dodávateľov s európskym dopytom.

Intenzita podpory

- Financovanie pre veľké inovačné projekty môže dosiahnuť až 60% až 70% oprávnených nákladov.
- Projekty v menej rozvinutých regiónoch môžu získať až 100% nákladov na podporu ich konkurencieschopnosti.
- Pri aukciách, ako je pilotná aukcia v roku 2023, sa poskytujú fixné prémie na kilogram vyprodukovaného vodíka, čím sa vyrovnávajú výrobné náklady a predajná cena.

Rozpočet

- Predpokladaný celkový rozpočet EHB je 3 miliardy eur na obdobie rokov 2024 – 2030. Financovanie je kombinované s ďalšími európskymi programami, ako sú Horizon Europe a Inovačný fond.

Využitie pre Slovensko

- Rozvoj infraštruktúry: Financovanie môže podporiť výstavbu čerpacích staníc a výrobných zariadení na Slovensku.
- Dekarbonizácia priemyslu: Vodík má potenciál významne znížiť emisie v energeticky náročných odvetviach, ako sú chemický priemysel a výroba ocele.
- Doprava: Vodíkové technológie môžu podporiť rozvoj ekologickej mobility a znížiť závislosť na fosílnych palivách.

Európska vodíková banka ponúka Slovensku významnú príležitosť na rozvoj vodíkových technológií. Využitím tejto podpory môže Slovensko posilniť svoju pozíciu v európskej vodíkovej ekonomike a prispieť k dosiahnutiu klimatických cieľov.

7.3.5 Program Slovensko

Intenzita podpory

Financovanie závisí od typu projektu a oblasti podpory. Maximálna intenzita financovania môže dosiahnuť až 100% oprávnených nákladov pre verejný sektor, zatiaľ čo pre súkromný sektor sú limity závislé od pravidiel štátnej pomoci.

Špecifické ciele a priority

Program Slovensko explicitne neuvádza vodíkové projekty ako samostatnú kategóriu, ale tieto môžu čerpať podporu v rámci viacerých prioritných oblastí:

- Zelenšia Európa: Projekty zamerané na výrobu a využitie vodíka ako obnoviteľného zdroja energie, znižovanie emisií a podporu udržateľnej energetiky.
- Inteligentnejšia Európa: Inovatívne riešenia v oblasti vodíkových technológií, výskum a vývoj nových aplikácií vodíka v priemysle a doprave.
- Prepojenejšia Európa: Rozvoj infraštruktúry pre distribúciu a skladovanie vodíka, integrácia vodíkových technológií do dopravných systémov.

Poskytovateľ

Riadiacim orgánom je Ministerstvo investícií, regionálneho rozvoja a informatizácie SR.

Rozpočet

Celková alokácia predstavuje takmer 13 miliárd eur, ktoré sú rozdelené medzi prioritné oblasti na základe ich významu a dopadu.

Riziká a podmienky

Rizikami sú administratívna náročnosť, zdržania v implementácii alebo nesprávne nastavenie projektových cieľov. Podmienkou pre získanie financovania je dodržiavanie postupov uvedených v príslušných výzvach. Eurofondy

Aktuálny stav

K 31. máju 2024 bolo v rámci Programu Slovensko vyhlásených 132 výziev s alokáciou 4,74 miliardy eur, čo predstavuje 37,68% z celkovej alokácie programu. Zazmluvnených bolo 493 projektov v hodnote 2,34 miliardy eur, čo predstavuje 18,57% z alokácie programu.

7.3.6 Modernizačný fond

Intenzita podpory

Intenzita financovania závisí od konkrétneho sektora a typu projektu. Projekty v oblasti obnoviteľných zdrojov a energetickej efektívnosti môžu získať významnú časť nákladov, pričom limity určuje schéma štátnej pomoci.

Špecifické ciele a priority

- Modernizácia teplárenstva.
- Podpora OZE.
- Dekarbonizácia priemyslu.
- Zlepšenie energetickej efektívnosti a rozvoj technológií pre nízkouhlíkové hospodárstvo.

Poskytovateľ

Riadiacim orgánom je Ministerstvo životného prostredia SR v spolupráci s Ministerstvom hospodárstva SR.

Rozpočet

Odhadovaná alokácia pre Slovensko je približne 1,3 miliardy eur na obdobie do roku 2030, financovaná z výnosov z dražieb emisných kvót v rámci EU ETS.

Riziká a podmienky

Jedným z rizík programu je časté oneskorenie a zdržania v posudzovaní a schvaľovaní projektov. Takéto meškanie môže negatívne ovplyvniť čerpanie finančných prostriedkov a realizáciu plánovaných aktivít.

7.3.7 Dôležité projekty spoločného európskeho záujmu (IPCEI)

EK v roku 2022 schválila program IPCEI Hydrogen, ktorý umožňuje financovanie vodíkových projektov, ktoré majú významný cezhraničný dopad a prispievajú k environmentálnym cieľom EÚ. Tieto projekty musia byť v súlade s kritériami Taxonómie EÚ, čo znamená, že prioritne podporujú obnoviteľný vodík a technológie s nízkymi emisiami.

Ciele

- Podporiť inovatívne vodíkové technológie a infraštruktúru.
- Posilniť cezhraničnú spoluprácu medzi členskými štátmi EÚ.
- Dekarbonizovať priemyselné odvetvia.

Aktivity

- Financovanie výskumných a vývojových projektov, ako aj infraštruktúrnych projektov.
- Podpora pilotných projektov na implementáciu technológií obnoviteľného vodíka.

7.3.8 Program Stredná Európa (Interreg)

Intenzita podpory

- Financovanie projektov je zabezpečené prostredníctvom grantov programu Interreg Central Europe.
- Projekty zvyčajne pokrývajú 75–85% oprávnených nákladov.

Špecifické ciele a priority

- Podpora využívania OZE a zvyšovanie energetickej efektívnosti.
- Adaptácia na klimatické zmeny a ochrana biodiverzity.
- Posilnenie spolupráce medzi mestami a regiónmi na nadnárodnej úrovni.

Poskytovateľ

EK prostredníctvom programu Interreg Central Europe.

Rozpočet

Celkový rozpočet programu Interreg Central Europe pre obdobie 2021 – 2027 je približne 1,5 miliardy EUR, pričom financovanie pochádza z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (EFRR).

Intenzita podpory

- Financovanie projektov je zabezpečené prostredníctvom grantov programu Interreg Central Europe.
- Projekty zvyčajne pokrývajú 75–85% oprávnených nákladov.
- Špecifické ciele a priority
- Podpora využívania OZE a zvyšovanie energetickej efektívnosti.
- Adaptácia na klimatické zmeny a ochrana biodiverzity.
- Posilnenie spolupráce medzi mestami a regiónmi na nadnárodnej úrovni.

Poskytovateľ

EK prostredníctvom programu Interreg Central Europe.

Rozpočet

Celkový rozpočet programu Interreg Central Europe pre obdobie 2021 – 2027 je približne 1,5 miliardy EUR, pričom financovanie pochádza z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (EFRR).

7.4 Vývoj energetického mixu na Slovensku

Nasledujúca tabuľka predstavuje vývoj energetického mixu na Slovensku v rokoch 2019 – 2023.

Energetický mix výroby	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025+	2026+

Celkový objem výroby elektrickej energie [TWh]	26,82	25,96	27,73	24,68	27,49	30,20	22,35	30,90
CO₂ (gCO₂/kWh) energetického mixu zdrojov	151,10	155,48	165,48	156,93	123,04			
Obnoviteľné zdroje [%]	25,89	22,25	22,24	21,89	22,99			
Ostatné obnoviteľné zdroje [%]	1,70	-	0,34	0,38	0,32			
[TWh]	0,46	-	0,09	0,09	0,09	0	0	0
Biomasa [%]	5,96	2,79	4,27	4,14	3,36			
[TWh]	1,60	0,72	1,18	1,02	0,92	-	-	-
Solárna energia [%]	2,19	2,53	2,21	2,57	2,21			
[TWh]	0,59	0,66	0,61	0,63	0,61	-	-	-
Geotermálna energia [%]	-	-	-	-	-	0	0	0
[TWh]	-	-	-	-	-	-	-	-
Veterná energia [%]	0,02	-	0,02	0,01	0,01			
[TWh]	0,01	-	0,01	0,00	0,00	-	-	-
Vodná energia [%]	16,02	16,93	15,40	14,79	17,09			
[TWh]	4,30	4,40	4,27	3,65	4,70	-	-	-
Jadrová energia [%]	53,80	55,17	52,88	60,11	61,98			
[TWh]	14,43	14,32	14,66	14,84	17,04	-	-	-
Ostatné fosílné zdroje [%]	-	1,86	4,40	1,95	1,85			
[TWh]	-	0,48	1,22	0,48	0,51	-	-	-
Čierne uhlie [%]	3,11	1,91	1,13	2,55	1,42			
[TWh]	0,83	0,50	0,31	0,63	0,39	-	-	-
Hnedé uhlie [%]	5,29	3,87	2,79	3,28	2,55			
[TWh]	1,42	1,00	0,77	0,81	0,70	-	-	-
Ropné produkty [%]	1,48	1,40	1,16	1,66	1,10			
[TWh]	0,40	0,36	0,32	0,41	0,30	-	-	-
Plynné palivo [%]	10,30	13,53	15,40	8,56	8,12			
[TWh]	2,76	3,51	4,27	2,11	2,23	-	-	-

Poznámka: + - predbežné údaje SEPS, ++ - plán výroby

Tabuľka 145: Energetický mix Slovenska 2019 – 2024 s výhľadom do 2026

Zdroj: OKTE, SEPS, prepočty stengl, a.s.

7.5 Kategorizácia úrovni technologickej pripravenosti

TRL úroveň	Popis úrovne technologickej pripravenosti
TRL 1	Základné princípy pozorované: Prvotné vedecké poznatky potvrdzujú základné koncepcie technológií.
TRL 2	Formulácia technologického konceptu: Formulácia konceptu technológií; identifikácia jej potenciálnych aplikácií.
TRL 3	Experimentálny dôkaz konceptu: Počiatočné experimenty v laboratórnom prostredí overujúci koncept.

TRL 4	Technológia validovaná v laboratóriu: Prototyp technológie testovaný v laboratórnych podmienkach.
TRL 5	Technológia validovaná v relevantnom prostredí: Testovanie technológie v relevantnom prostredí (priemyselne relevantné prostredie pre technológiu).
TRL 6	Technológia demonštrovaná v relevantnom prostredí: Technológia otestovaná v reálnych podmienkach (priemyselne relevantné prostredie pre technológiu).
TRL 7	Demonštrácia systémového prototypu v operačnom prostredí: Prototyp systému je testovaný v operačných podmienkach.
TRL 8	Kompletný a kvalifikovaný systém: Technológia je kompletná a kvalifikovaná na použitie.
TRL 9	Funkčný systém overený v operačnom prostredí: Systém preukázaný v operačnom prostredí (konkurenčná výroba pre technológiu).

Tabuľka 146: Definície jednotlivých úrovní technologickej pripravenosti (TRL)

Zdroj: Horizon Europe NCP Portal

7.6 Analýza rizík vodíkových údolí

Riziká popísané v nasledujúcej tabuľke boli analyzované z hľadiska ich závažnosti a pravdepodobnosti ich výskytu:

Legenda:

závažnosť	
nízka	1
stredná	2
vysoká	3
kritická	4

pravdepodobnosť

nulová	0	0%
nízka	1	do 25%
stredná	2	25% až 50%
vysoká	3	50% až 50%
kritická	4	nad 75%

č.	Riziko	Popis rizika	Riešenia a opatrenia na zníženie / riadenie rizika	závažnosť		VÚ Podunajsko		VÚ Dolné Považie		VÚ Trenčín a horná Nitra		VÚ Košice	
						pravdepodobnosť	celkové skóre rizika	pravdepodobnosť	celkové skóre rizika	pravdepodobnosť	celkové skóre rizika	pravdepodobnosť	celkové skóre rizika
1	Nepriaznivý vývoj cien potrebných technológií	Predpokladaný pokles cien technológií spojený so škálovaním výroby a realizáciou projektov nedosiahne hodnoty stanovené súčasnými odhadmi. Rast cien spôsobený infláciou, konsolidačnými opatreniami alebo rastom výmenných kurzov.	1. Včasne zabezpečené financovanie s dostatočnou rezervou 2. Zmluvne zafixované ceny technológií, zariadení a služieb (v EUR)	2		3	6	3	6	3	6	3	6

2	Nedostatočná pripravenosť potrebných technológií	Technológie potrebné na zavádzanie opatrení pre zdroje energie, výrobu, prepravu a distribúciu, skladovanie a spotrebu vodíka nebudú k dispozícii a/alebo nebudú mať dostatočné parametre	1. Použitie technológií overených v praxi - na lokálnych alebo zahraničných projektoch a inštaláciách	3		1	3	1	3	1	3	1	3
		Detailná analýza rizík by vyžadovala použitie niektorej z dostupných metodológií - viď 'Bezpečnosť a riziká technických systémov' - Hana Pačaiová, Juraj Sinay, Juraj Glatz ²⁶⁵	2. Požiadavka relevantných referencií od dodávateľov technológií										
3	Bezpečnostné riziká prevádzky	Implementácia adekvátnych bezpečnostných opatrení a dodržiavanie legislatívy v oblasti bezpečnosti	1. Implementácia najlepších inžinierskych štandardov počínajúc fázou projektovania	3		1	3	1	3	1	3	1	3
			2. Adekvátna úroveň kontroly zo strany regulačných úradov s ohľadom na environmentálne a bezpečnostné štúdie a bezpečnú prevádzku										
4	Zmeny ciel a poplatkov	Zmeny ciel a poplatkov môžu byť vyvolané zmenou legislatívy, alebo medzinárodných obchodných dohôd a ich nárast by mal negatívny vplyv na ceny potrebných technológií/zariadení	1. Identifikácia alternatívnych dodávateľov a monitorovanie situácie na trhu s relevantnými technológiami/zariadeniami	2		2	4	2	4	2	4	2	4
			2. Záväzné podmienky s ohľadom na možné zmeny ciel a poplatkov stanovené v dodávateľských zmluvách spolu s výraznými zmluvnými pokutami										
5	Zmeny v národných alebo EÚ štandardoch, nariadeniach	Zmeny môžu vyvolať nové požiadavky na technológie/zariadenia a ich	1. Monitorovanie prípadných zmien na relevantných národných aj medzinárodných fórach	1		2	2	2	2	2	2	2	2

²⁶⁵ Bezpečnosť a riziká technických systémov - Hana Pačaiová, Juraj Sinay, Juraj Glatz - 1. vyd - TU SjF, Košice - 2009 - ISBN 978-80-553-0180-8

		prevádzku, prípadne aj na celkový návrh implementácie	2. Proaktívna komunikácia s dodávateľmi a príprava alternatívnych riešení										
6	Geopolitické zmeny a ich dopad na implementáciu aj prevádzku	Geopolitické zmeny môžu mať dopad na návrh a jeho implementáciu, na ceny aj dodávku technológií a zariadení, na cenu vstupov a následne aj na spotrebu a cenu vodíka	1. Monitorovanie relevantných geopolitických pohybov a prípadná reakcia na nich 2. Proaktívna komunikácia s dodávateľmi a príprava alternatívnych riešení	2		2	4	2	4	2	4	2	4
7	Odpor proti nasadeniu obnoviteľných zdrojov energie	Nespokojnosť obyvateľov, na lokálnej/regiónálnej úrovni, pri nasadení a/alebo prevádzke OZE	1. Včasná a otvorená komunikácia a riešenie obáv a problémov spojenými s nasadením daných technológií 2. Zdôrazňovanie prínosov pre životné prostredie aj ekonomiku daného regiónu	3		3	9	3	9	3	9	3	9
8	Riziko sucha alebo nedostatku vodných zdrojov	Výroba vodíka môže závisieť od vodného zdroja, ktorý je ohrozený možnosťou sucha alebo inými obmedzeniami odberu vody.	1. Včasná komunikácia s relevantnými subjektmi v oblasti vodohospodárstva alebo vykonanie potrebných prieskumov zdrojov vody 2. Včasná identifikácia lokalít s dostatočnými vodnými zdrojmi alebo pripojením na vodovodnú sieť	1		1		1		1		1	
9	Príprava a schválenie povolení potrebných na výstavbu a prevádzku technológií a zariadení pre OZE	Príprava a schválenie všetkých povolení potrebných na výstavbu a prevádzku technológií a zariadení môže (v aktuálnom nastavení) znamenať výrazné zdržanie	1. Nevyhnutná úprava schvaľovacích procesov a termínov	2		2	4	2	4	2	4	2	4
10	Nedostatok vhodných pozemkov v záujmových oblastiach pre OZE a výrobu vodíka	Vysoké náklady spojené s kúpou pozemkov alebo iné faktory znemožňujúce zabezpečenie pozemkov pre OZE alebo výrobu vodíka vo vhodných lokalitách	1. Využitie elektrickej sústavy na prenos energie z OZE a premiestnenie OZE do inej lokality 2. Výstavba elektrolyzérův v inej lokalite a následná preprava vodíka	3		2	6	2	6	3	9	2	6
				Celkovo			41 / 88		41 / 88		44 / 88		41 / 88

Tabuľka 147: Analýza a hodnotenie rizík vybraných vodíkových údolí Slovenska

Zdroj: stengl a.s.

7.7 Hodnotenie vodíkových údolí na Slovensku

Hodnotenie vodíkových údolí			VÚ Podunajsko			VÚ Dolné Považie		VÚ Trenčín a horná Nitra		VÚ Košice		Kategória
ID	Kritéria	Popis kritéria	Váha [1 až 5]	Hodnotenie [0 až 4]	Celkové hodnotenie	Hodnotenie [0 až 4]	Celkové hodnotenie	Hodnotenie [0 až 4]	Celkové hodnotenie	Hodnotenie [0 až 4]	Celkové hodnotenie	
1	Existujúce zdroje energie	Dostupné zdroje energie, hlavne nízkoemisné a obnoviteľné zdroje energie použiteľné na výrobu vodíka.	4	3,0	12,0	3,0	12,0	2,0	8,0	2,0	8,0	Energetika
2	Existujúca prenosová energetická infraštruktúra	Dostupnosť kapacít na elektrické napojenie výroby vodíka na prenosovú sústavu. Pripojenie len do rozvodní (440/220 kV).	4	3,0	12,0	3,0	12,0	3,0	12,0	3,0	12,0	Energetika
3	Existujúca regionálna energetická infraštruktúra	Dostupnosť kapacít na elektrické napojenie výroby vodíka na distribučnú sústavu	5	3,0	15,0	3,0	15,0	4,0	20,0	3,0	15,0	Energetika
4	Potenciál výstavby nových OZE a iných ekologických zdrojov energie	Potenciál pre výstavbu nových OZE na výrobu vodíka. Potenciál alternatívnych zdrojov energie na výrobu vodíka ako napríklad komunálny odpad.	5	4,0	20,0	3,0	15,0	2,0	10,0	3,0	15,0	OZE
5	Existujúce kapacity pre výrobu vodíka	Existujúce kapacity pre výrobu vodíka - hlavne výroba fosílného vodíka	4	4,0	16,0	4,0	16,0	2,0	8,0	1,0	4,0	Výroba
6	Plánované a pripravované výrobné kapacity vodíka	Plánované výrobné kapacity obnoviteľného alebo nízkouhlíkového vodíka pomocou elektrolýzy alebo alternatívnych technológií	5	4,0	20,0	4,0	20,0	2,0	10,0	3,0	15,0	Výroba
7	Chránené prírodné územia	Chránené prírodné územia môžu obmedziť dostupnosť vhodných lokalít pre výstavbu nových OZE a výroby vodíka	4	3,0	12,0	3,0	12,0	2,0	8,0	3,0	12,0	OZE
8	Dopyt po vodíku (súčasnosť)	Kritérium hodnotí existujúci dopyt po vodíku ktorý je koncentrovaný hlavne v priemysle. Ostatné odvetvia tvoria len malú časť dopytu.	5	2,0	10,0	2,0	10,0	1,0	5,0	1,0	5,0	Dopyt
9	Dopyt po vodíku (potenciál do roku 2035)	Potenciálny nárast dopytu po vodíku v najmä v odvetviach dopravy, priemyslu a energetiky	3	4,0	12,0	4,0	12,0	2,0	6,0	4,0	12,0	Dopyt
10	Infraštruktúra na prepravu a distribúciu vodíka	Hodnotenie spôsobov prepravy vodíka ako: - využitie existujúcich plynovodov (po modernizácii) - cestná preprava - lodná preprava - Možnosť importu vodíka zo zahraničia, hlavne pre veľkých priemyselných odberateľov	3	4,0	12,0	3,0	9,0	2,0	6,0	3,0	9,0	Distribúcia

11	Potenciál pre skladovanie vodíka	Potenciál na skladovanie vodíka v regióne pomocou: - veľkokapacitných podzemných zásobníkov - nadzemných zásobníkov - hodnotenie bude doplnené na základe výsledkov projektu HENRI	3	2,0	6,0	3,0	9,0	2,0	6,0	3,0	9,0	Distribúcia
12	Potreba verejných vodíkových čerpacích staníc	Potreba výstavby nových vodíkových čerpacích staníc v súlade s AFIR. Čerpacie stanice majú byť budované pozdĺž medzinárodnej cestnej siete TEN-T. Časť plánovaných čerpacích staníc bude vo vodíkových údoliach.	3	4,0	12,0	4,0	12,0	3,0	9,0	4,0	12,0	Distribúcia
13	Dostupnosť zdrojov financovania	Prístup k potenciálnym a už zabezpečeným zdrojom financovania a dotáciám určeným na pokrytie investičných nákladov, vrátane bankových úverov a zdrojov súkromného sektora	3	3,0	9,0	3,0	9,0	4,0	12,0	4,0	12,0	Prierezový faktor
14	Celková ekonomická udržateľnosť	Ekonomická udržateľnosť z dlhodobého hľadiska. Hodnotenie efektivity prevádzky a/alebo prevádzkových nákladov v porovnaní s výnosmi. Rozdiel medzi VÚ vychádza najmä z dostupnosti lacných zdrojov energie a dostatočného dopytu.	3	3,0	9,0	3,0	9,0	2,0	6,0	2,0	6,0	Prierezový faktor
15	Podpora verejného sektora a verejnosti pre vodíkové technológie	Podpora verejnosti pre vodíkové iniciatívy v danom regióne. Skutočné alebo vnímané riziká a obavy spojené s prevádzkou technológií a zariadení.	4	3,0	12,0	3,0	12,0	4,0	16,0	4,0	16,0	Prierezový faktor
16	Podpora/záujem súkromného sektora	Podpora súkromného sektora a záujem o investovanie do jednotlivých projektov	3	3,0	9,0	3,0	9,0	3,0	9,0	3,0	9,0	Dopyt
17	Dostupnosť kvalifikovanej pracovnej sily	Dostupnosť kvalifikovanej pracovnej sily, vzdelávacích zariadení a inštitúcií na školenie	4	3,0	12,0	2,0	8,0	2,0	8,0	3,0	12,0	Prierezový faktor
18	Výskum a vývoj vodíkových technológií	Potenciál VÚ pre výskum a vývoj vodíkových technológií	2	4,0	8,0	3,0	6,0	3,0	6,0	4,0	8,0	Výroba
19	Cezhraničná spolupráca	Možnosť cezhraničnej spolupráce, vytvorenie cezhraničných VÚ a prítomnosť medzinárodných strategických projektov	2	4,0	8,0	3,0	6,0	3,0	6,0	4,0	8,0	Prierezový faktor
Celkom			226 / 276		213 / 276		171 / 276		199 / 276			
Energetika			39		39		40		35			

		OZE	32		27		18		27	
		Výroba	44		42		24		27	
		Distribúcia	30		30		21		30	
		Dopyt	31		31		20		26	
		Prierezový faktor	50		44		48		54	

Tabuľka 148: Hodnotenie vybraných vodíkových údolí Slovenska

Zdroj: stengl a.s.

7.8 Metodika výpočtu ušetrených emisií oxidu uhličitého pre vodíkové údolia a scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva

Výpočet emisií CO₂ pre vodíkové údolia a scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva sa opiera o porovnanie množstva emisií spojených s produkciou obnoviteľného vodíka pomocou elektrolýzy a množstvom emisií, ktoré by vznikli spaľovaním rovnakého množstva fosílnych palív. Metodika je založená na aktuálnej legislatíve Európskej únie, konkrétne na smernici o obnoviteľných zdrojoch energie (Renewable Energy Directive III, 2023/959/EU). Táto legislatíva určuje štandardizovanú energetickú hodnotu vodíka na úrovni 120 MJ/kg.

Hlavné použité emisné faktory sú nasledovné:

- Referenčný emisný faktor pre tradičné fosílna palivá (94 gCO₂e/MJ), definovaný smernicou RED III.
- Emisný limit výroby obnoviteľného vodíka elektrolýzou (28,2 gCO₂e/MJ), odvodený z európskej taxonómie (EU Taxonomy Regulation 2020/852), označujúci maximálne prípustné hodnoty pre obnoviteľný nízkouhlíkový vodík.

Jednotlivé kroky výpočtu:

- Určí sa ročná produkcia vodíka pre každú zo sledovaných alternatívnych možností (konzervatívny, stredný a ambiciózny scenár).
- Vypočítaná hmotnosť vodíka (v kg) sa prevedie na energiu (MJ) vynásobením hodnotou 120 MJ/kg.
- Spočíta sa množstvo emisií CO₂ zodpovedajúce energetickému obsahu fosílného paliva, ktoré by bolo nahradené, s využitím faktora 94 gCO₂e/MJ.
- Vypočíta sa maximálne množstvo emisií pri produkcii obnoviteľného vodíka použitím faktora 28,2 gCO₂e/MJ.
- Výsledná minimálna úspora emisií CO₂ je rozdiel medzi emisiami z fosílného paliva a emisiami z obnoviteľného vodíka.
- Maximálna teoretická úspora emisií sa rovná emisiám CO₂ zodpovedajúcim energetickému obsahu fosílného paliva, ktoré by bolo nahradené.

Predpoklady výpočtovej metodiky:

- Emisná stopa vodíka je v súlade s pravidlami výroby obnoviteľného vodíka a je menšia ako 28,2 gCO₂e/MJ
- Použitie štandardných európskych hodnôt emisných faktorov ktoré predpokladajú fixný emisný faktor pre nahradené fosílna palivá.
- Emisná intenzita vodíka 28,2 gCO₂/MJ zohľadňuje výrobu, distribúciu a logistiku vodíka v súlade s definíciou RED III. Ostatné emisie počas vodíkového životného cyklu nie sú vzaté do úvahy.

Metodika nerozlišuje rozdiely medzi energetickou účinnosťou starých systémov založených na fosílnych palivách a nových systémov založených na vodíku. Započítanie týchto rozdielov pre všetky jednotlivé prípady spotreby obnoviteľného vodíka by mierne zvýšilo odhad ušetrených emisií.

7.9 Popis finančného modelu finálneho scenára

Vodíkové hospodárstvo závisí od viacerých faktorov, ktoré určujú celkové náklady na výrobu, distribúciu a predaj vodíka. Hlavné faktory ovplyvňujúce cenu vodíka sú:

- Dostupnosť OZE (veterná a solárna energia)
- Investičné náklady na elektrolyzéry závislé od veľkosti elektrolyzéro
- Prevádzkové a finančné parametre ako napr. vyťaženie elektrolyzéra (kapacitný faktor)
- Náklady na prepravu a skladovanie vodíka

Výpočet veternej energie a hlavné konštanty

Veterná energia je jedným z hlavných OZE na výrobu vodíka. Model predpokladá využitie veternej energie s kapacitným faktorom 30 – 40 %, čo znamená, že turbíny produkujú energiu približne 30-40 % času počas roka.

Hlavné konštanty pre veternú energiu:

- Kapacitný faktor: 30 – 40 % (podľa lokality)
- Životnosť veternej turbíny: 20 – 25 rokov
- Investičné náklady: 1 300 000 – 1 700 000 EUR/MW
- Ročná výroba energie (1 MW): 2 600 – 3 900 MWh/rok

Výroba vodíka z veternej energie je efektívna, pretože umožňuje stabilnú produkciu elektriny počas zimných mesiacov, čím vyrovnáva sezónne výkyvy solárnej energie.

Výpočet solárnej energie a hlavné konštanty

Fotovoltaické elektrárne sú ďalším kľúčovým zdrojom energie na výrobu vodíka. V modeli sa predpokladá kapacitný faktor 13 % v bežných podmienkach na území SR. Produkcia je koncentrovaná najmä v letných mesiacoch, takže vo väčšine prípadov nie sú vhodné ako jediný zdroj energie na výrobu vodíka, hoci ide o cenovo dostupnú možnosť.

Hlavné konštanty pre solárnu energiu:

- Kapacitný faktor: 13 %
- Životnosť solárnej elektrárne: 20 - 25 rokov
- Investičné náklady: 700 000 – 800 000 EUR/MW
- Ročná výroba energie (1 MW fotovoltaiky): 1 300 MWh/rok

Solárna energia je výhodná najmä v letných mesiacoch, ale kvôli nízkemu kapacitnému faktoru je nutné kombinovať ju s veternou energiou alebo inými zdrojmi, aby bola zabezpečená stabilná výroba vodíka počas celého roka.

Ostatné zdroje energie pre výrobu vodíka

Okrem veternej a solárnej energie je možné využívať energiu z biomasy a odpadu s CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage), prípadne jadrovú energiu. Model sa primárne sústreďí na OZE (vietor, slnko, voda), pretože pre splnenie cieľov RED III a Fit for 55 musí vodík pochádzať prevažne z obnoviteľných zdrojov.

Investičné náklady na výrobu vodíka

Náklady na výrobu vodíka sú ovplyvnené viacerými faktormi vrátane cien technológií, účinnosti elektrolyzéroov a dostupnosti dotácií.

Hlavné konštanty pre elektrolyzéry:

- Investičné náklady na elektrolyzér: 1 200 – 2 100 EUR/kW v závislosti od veľkosti elektrolyzéroov
- Pripočítava sa 20% kontingenčný faktor, najmä pokiaľ ide o jedny z prvých projektov na Slovensku pri ktorých sa dajú očakávať zvýšené náklady
- Spotreba elektriny na výrobu vodíka: 50 – 55 kWh/kg H₂
- Životnosť elektrolyzéroového modulu: 10 rokov (v roku 10 prebehne výmena modulu)
- Dotácie na výrobu vodíka: 50 % z investičných nákladov
- Prevádzkové náklady a to hlavne energetické náklady, údržba, platy a spotreba vody

Faktory ovplyvňujúce cenu vodíka:

- Cena vstupnej elektriny (hlavne ceny energie z el. Sústavy ktoré sú podstatne vyššie
- Účinnosť elektrolyzéroov a prevádzkové náklady
- Dotácie na investície a prevádzku

Výsledná cena vodíka sa odvíja najmä od ceny elektriny, účinnosti technológie, kapacity výroby, vyťaženia elektrolyzéroov (kapacitný faktor) a dotácií na infraštruktúru.

Finančné parametre a metodológia ekonomických výpočtov

Hlavné finančné parametre:

- Inflácia investičných nákladov: 2% ročne
- Doba návratnosti investície: 15 rokov

Ekonomika výroby vodíka je výrazne ovplyvnená európskymi dotáciami, legislatívnymi stimulmi a politickými opatreniami, ktoré podporujú prechod na čistú energiu. Dotácie na investičné náklady môžu pokryť až 50% nákladov na elektrolyzéry a infraštruktúru.

Okrem toho majú regulačné mechanizmy EÚ, ako RED II, AFIR a Fit for 55, zásadný vplyv na rentabilitu vodíkových projektov. Tieto regulácie stanovujú povinnosti znižovania emisií,

podporujú využitie obnoviteľného vodíka a vytvárajú stabilné legislatívne prostredie pre dlhodobé investície. Zvýhodnené úvery, uhlíkové kredity a garantované výkupné ceny za zelený vodík môžu ďalej zlepšiť ekonomiku projektu a pritiahnúť súkromné financovanie.

Vďaka kombinácii verejnej podpory, stabilných politík a postupne klesajúcich technologických nákladov sa očakáva, že vodíkové projekty budú v horizonte niekoľkých rokov stále konkurencieschopnejšie voči tradičným fosílnym palivám.

Výpočet prepravnej ceny vodíka

Vodík sa prepravuje v modulárnych plynových kontajneroch (MEGC) alebo prostredníctvom potrubia. V modelovaní sa pre prvé fázy projektu počíta hlavne s cestnou prepravou vodíka na čerpace stanice.

Hlavné parametre pre výpočet ceny prepravy vodíka:

- Cena prepravy: 2 EUR/km (externou prepravnou spoločnosťou)
- Obojsmerná vzdialenosť prepravy: 100 km priemerne
- Životnosť prepravného kontajnera: 20 rokov
- Poistenie a právne náklady: 30 000 EUR ročne na kontajner
- Efektívna kapacita 6-metrového kontajnera: 400 kg H₂
- Efektívna kapacita 12-metrového kontajnera: 850 kg H₂
- Spotreba nafty nákladného vozidla: 33 l/100 km

Výsledkom je, že náklady na prepravu predstavujú významnú časť finálnej ceny vodíka, najmä pri menších objemoch a dlhších vzdialenostiach. Pri väčších objemoch je možné minimalizovať ceny na prepravu vodíka.

Model ukazuje, že efektívna kombinácia OZE s optimalizovanými investičnými a prepravnými nákladmi môže výrazne znížiť cenu vodíka. Pri správnom nastavení dotácií a legislatívnych podmienok je možné dosiahnuť konkurencieschopnú cenu vodíka v rámci EÚ a podporiť jeho širšie využitie v priemysle a doprave.

7.10 Kategorizácia vodíka podľa farebného označenia

V minulosti aj v súčasnosti sa v laickej verejnosti používa farebné označenie vodíka podľa spôsobu jeho výroby. Na lepšie porozumenie uvádzame priradenie týchto farebných označení k oficiálnym kategóriám podľa legislatívy EÚ:

- **Obnoviteľný vodík nebiologického pôvodu** (označovaný aj ako zelený) je vodík vyrábaný z obnoviteľnej energie nebiologického pôvodu.
- **Obnoviteľný vodík biologického pôvodu** (označovaný aj ako zelený alebo tyrkysový) je biopalivo a je vyrábaný z energie biomasy.
- **Nízkouhlíkový vodík** (označovaný aj ako modrý, ružový alebo tyrkysový) je vodík, ktorého energetický obsah pochádza z neobnoviteľných zdrojov, ale spĺňa prahovú hodnotu zníženia emisií skleníkových plynov vo výške 70 % v porovnaní s porovnateľným fosílnym palivom.
- **Fosílny vodík** (označovaný aj ako čierny, sivý alebo hnedý) je vodík vyrábaný z fosílnych palív, a ktorý prekračuje prahovú hodnotu zníženia emisií skleníkových plynov vo výške 70 % v porovnaní s porovnateľným fosílnym palivom.

Je možné sa stretnúť najmä v populárnych publikáciách zjednodušené označovanie vodíka vo farebnej škále. Toto označovanie sa ale nemusí zákonite zhodovať naprieč všetkými zdrojmi. Pre ilustráciu uvádzame zaužívané farebné označovanie vodíka podľa spôsobu jeho výroby:

- Čierny – vyrába sa splyňovaním „čierneho“ uhlia.
- Hnedý – vyrába sa splyňovaním „hnedého“ uhlia.
- Sivý – vyrába sa termochemickou premenou zemného plynu, buď autotermálnou reformáciou (ATR) alebo parnou reformáciou metánu, resp. zemného plynu (SMR²⁶⁶).
- Modrý – vyrába sa prostredníctvom ATR alebo SMR s pridaním technológie zachytávania a skladovania uhlíka (CCS²⁶⁷).
- Tyrkysový – vyrába sa pyrolýzou metánu (fosílného alebo biologického pôvodu).
- Ružový – vyrába sa elektrolýzou vody s využitím elektriny jadrového pôvodu.
- Zelený – vyrába sa elektrolýzou vody, s využitím obnoviteľnej elektrickej energie.
- Žltý – vyrába sa elektrolýzou vody s využitím elektrickej energie zo siete.
- Biely – vodík vyskytujúci sa v prírode, najmä v geologických ložiskách.

²⁶⁶ Z angl. Steam Methane Reforming

²⁶⁷ Z angl. Carbon Capture Storage



Obrázok 91: Produkcia vodíka kódovaná farebnou škálou
 Zdroj: Kneebone (2024)

7.11 Informačné zdroje a pramene

Zdroj	Pramenné dielo / údaje	Poznámka
Štatistický úrad SR	Verejná databáza DATAcube ²⁶⁸	Sociálne a ekonomické údaje za demografiu, energetiku, dopravu, životné prostredie, udržateľný rozvoj a Agenda2030, viacstranné alebo odvetvové štatistiky, regionálne údaje.
	Verejná databáza STATdata	
	API Otvorené údaje Štatistického úradu SR	
	Energetika 2023 (12/2024) ¹	
	Ročenka dopravy, pôšt a telekomunikácií 2024	
	Slovenská republika a ciele udržateľného rozvoja Agendy 2030 (2023) 3	

²⁶⁸ https://datacube.statistics.sk/#!/lang/sk/?utm_source=susr_portalHP&utm_medium=page_database&utm_campaign=DATAcube_portalHP
 421

	Slovenská republika – Regionálne údaje 2023 (04/2025)	
Štatistický úrad Európskej únie (EUROSTAT)	Zamestnanci a priemerné mesačné mzdy v SR v roku 2024 (04/2025) Databázy EUROSTAT ²⁶⁹	Agregátor údajov na vyššej úrovni
Ministerstvo hospodárstva SR	Národná vodíková stratégia „Pripravení na budúcnosť“ Akčný plán opatrení úspešnej realizácie Národnej vodíkovej stratégie do roku 2026 ²⁷⁰	Koncepčné dokumenty a analytická príloha akčného plánu
Ministerstvo dopravy SR	Bilancia výroby, spotreby, importu a exportu vodíka v SR a možné scenáre vývoja vodíkového ekosystému do roku 2030 a 2050 ²⁷¹ „Desatoro“ dekarbonizácie dopravy: Dekarbonizácia dopravy SR v kontexte európskeho systému riadenia (12/2024)	Komparatívne dáta a analýzy z oblasti dopravy
Ministerstvo vnútra SR / Prezídium Policajného zboru / Evidencia vozidiel	Celkový počet evidovaných vozidiel v SR ²⁷²	Evidencie a štatistiky vozidiel
Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) - Odbor emisie a biopalivá (OEAB)	Národný emisný informačný systém (NEIS). Správa o emisiách EÚ ETS a EÚ ESR za roky 2022 (04/2024) ²⁷³	Monitoring informácie o stave a prognózach emisií z energetiky v SR, vrátane dopravy a domácností, bilancia do roku 2050, analýza emisnej stopy elektrickej siete reportovaná za Slovensko EÚ.
OKTE, a.s.	Národný energetický mix 2019 – 2023 (máj/2024)	Organizátor krátkodobého trhu s elektrinou zverejňuje zvyškový energetický mix, energetický mix dodávateľov a výroby.
Úrad pre reguláciu sieťových odvetví SR (ÚRSO)	Výročné správy úradu Indikátor aktuálnej trhovej ceny elektriny a plynu	Ceny komodít Rozhodnutia Regulačnej rady a rozhodnutia predsedu úradu
Európska agentúra životného prostredia - European Environmental Agency (EEA)	Metodiky a usmernenia Aktuálne publikácie	Oprávnenia a evidencie Komparatívne dáta a analýzy

²⁶⁹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database>

²⁷⁰ <https://www.mhsr.sk/uploads/files/d1dutlWq.pdf?csrt=13740369593371762621>

²⁷¹ <https://www.mhsr.sk/uploads/files/1N239BZZ.pdf?csrt=13740369593371762621>

²⁷² <https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr>

²⁷³ <https://oeab.shmu.sk/emisie/energetika/>; §34 ods. 3 písm. c) zákona č. 146/2023 Z.z. o ochrane ovzdušia a §18 ods. 7 vyhlášky MŽP SR č. 249/2023 Z. z. o monitorovaní emisií zo stacionárnych zdrojov znečisťovania ovzdušia a kvality ovzdušia v ich okolí

Indicators		
	Country fact sheets	
Medzinárodná agentúra pre obnoviteľné zdroje - International Renewable Energy Agency (IRENA) - Innovation & Technology Centre Spoločné výskumné centrum Európskej komisie (Joint Research Centre – JRC) Organizácia pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj (OECD) UN-Energy / CENELC EMBER	Datahub	
	Global trade in green hydrogen derivatives: Trends in regulation, standardisation and certification	Agregátor údajov na vyššej úrovni
		Komparatívne dáta a analýzy
		Komparatívne dáta a analýzy
	Global Hydrogen Review 2023	Komparatívne dáta a analýzy
		Agregátor údajov na vyššej úrovni
		Komparatívne dáta a analýzy
	Electricity Data Explorer	Agregátor údajov na vyššej úrovni
	Monthly electricity data	
	2030 Global Renewable Target Tracker	

Tabuľka 149: Zhrnutie informačných zdrojov a prameňov

Zdroj: stengl a.s.