
ROZVOJ VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU NA SLOVENSKU
SPOLU SO STREDNODOBÝMI A DLHODOBÝMI
PRODUKČNÝMI SCENÁRMÍ AŽ DO ROKU 2050.

MANAŽÉRSKE ZHRNUTIE

1. Účel a kontext

Dokument vychádza z potreby plniť záväzné ciele v rámci RED III, cieľov Plánu obnovy a odolnosti a bude analyticko–strategickým podkladom pre aktualizáciu Národnej vodíkovej stratégie a Akčného plánu SR do roku 2035 s výhľadom do roku 2050. Nadväzuje a je v priamom prepojení na aktualizácie Integrovaného národného energetického a klimatického plánu do 2030 (INEKP) a európskych rámcov (RED III, REPowerEU, AFIR, NZIA). Zohľadňuje záväzky SR v oblasti klimateckej neutrality a ponúka dopytovo–ponukové scenáre rozvoja vodíkového hospodárstva.

Primárna pozornosť bola venovaná cieľom do roku 2030 a 2035, kde je možné pomerne reálne odhadnúť situáciu, na rozdiel od roku 2050, kde sa pohybujeme skôr v rovine simulácii.

Jedna z možností ako dekarbonizovať priemysel a dopravu nielen na Slovensku, ale aj v Európe je využitie obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka. Prekážkou sú, ale stále nízke výrobné kapacity, malé dodávky z dôvodu vysokých investičných nákladov, obmedzená infraštruktúra a tým aj vysoká cena koncového produktu– vodíka. Stanovenými EÚ cieľmi v RED III do roku 2030 a 2035 v spojení s vysokými investičnými nákladmi na ich dosiahnutie hrozí, že niektoré energeticky náročné odvetvia, najmä chemický a oceliarsky – v nadväznosti aj na obranný priemysel, sa stanú v celosvetovom meradle nekonkurencieschopné a bude ohrozená ich ďalšia existencia v rámci EÚ.

2. Kľúčové zistenia a prognózy

- Na základe cieľov RED III by malo Slovensko do roku 2030 nahradiť najmenej **47 tis. t fosilného vodíka** obnoviteľným alebo nízkouhlíkovým palivom. Z dôvodu štruktúry priemyslu využívajúceho vodík bude splnenie cieľov smernice RED III pre Slovensko veľmi veľkou výzvou.
- Dotknuté podniky riešia **technické aj finančné prekážky**, najmä **z časového hľadiska**.
- **Slovensko nemá geografické podmienky** pre výrobu potrebného množstva obnoviteľného vodíka z obnoviteľných zdrojov.
- Pokrytie spotreby **importom** si vyžiada dostatočnú **ponuku zo zahraničia**, ktorá je v súčasnosti otázná. Naplnenie cieľov všetkých krajín EÚ bude závisieť od objemu importu z tretích krajín, ktorý so sebou prináša množstvo výziev a aj nových geopolitických rizík.
- **Aktuálne nastavenie cieľov** využívania obnoviteľného vodíka v EÚ si bude **vyžadovať revíziu a zrealizovanie príslušných politík**.

3. Sektorové dopady

Priemysel

Najväčšia výzva v priemysle je z časového a technologického hľadiska splnenie krátkodobých a strednodobých cieľov za aktuálne nastavených podmienok pre obnoviteľný vodík.

Boli identifikované tri kľúčové problémy, ktoré zásadne ovplyvňujú priebeh dekarbonizačného procesu:

- **Definícia a podmienky výroby obnoviteľného vodíka.** Geografické predpoklady a aktuálny energetický mix jednotlivých krajín vytvárajú nerovnaké východiská. Niektoré štáty nedokážu pri súčasnej definícii „obnoviteľného vodíka“ zabezpečiť jeho výrobu za konkurencieschopnú cenu.
- **Závislosť Slovenska od importu.** Pri aktuálne nastavených podmienkach bude Slovensko vo významnej miere odkázané na dovoz obnoviteľného vodíka. Domáca výroba obnoviteľného vodíka zatiaľ nie je technologicky ani ekonomicky udržateľná. Absencia transportnej infraštruktúry ešte viac prehĺbuje túto závislosť. Podniky budú musieť buď zvažovať presun výroby, alebo bude nutné vytvoriť vhodné finančné mechanizmy na kompenzáciu zvýšených nákladov výrobcov a odberateľov a na podporu budovania infraštruktúry pre výrobu a distribúciu vodíka.

- **Technologické obmedzenia.** Podľa hlavných aktérov v sektore sú prekážkou aj limitácie súčasných technológií. Existujúce výrobné procesy zatiaľ neumožňujú plnohodnotne nahradiť používaný sivý vodík bez negatívneho vplyvu na samotný výrobný proces a výsledný produktový mix.

Doprava

Z výsledkov vyplýva, že vodík je možné vnímať ako jeden z nástrojov dekarbonizácie dopravy, ale v kontexte technologickej neutrality. V krátkodobom a strednodobom horizonte bola identifikovaná ako kľúčová prekážka nedostatočne rozvinutý trh. Na jednej strane je chýbajúca lokálna výroba obnoviteľného vodíka, žiadna infraštruktúra, veľmi nízky alebo žiadny dopyt a z toho vyplývajúca nerentabilita prevádzkovania čerpacích staníc, a na druhej strane len čiastočná technologická pripravenosť od výroby až po spotrebu. Okrem toho je výzvou aj bezpečnosť najmä z pohľadu požiarnej ochrany napríklad pri parkovaní a transporte vodíka alebo jeho zlúčenín.

Ciele v doprave:

- z RED III vyplýva min. **1 % RFNBO v spotrebe energie do 2030.**
- pre rozvoj vodíkoveho dopravného ekosystému by bolo vhodné alokovať približne **75 – 90 % RFNBO do rafinérií a 10 – 25 % priamo do dopravy**, vzhľadom na pomalý rozvoj infraštruktúry.
- prognóza vozidiel a súprav na vodíkový pohon:
 - **2030: ~272 vozidiel a súprav**, z toho: 30 osobných áut, 10 dodávok, 100 autobusov (50 mestských, 50 prímestských), 50 nákladných vozidiel, 80 ťahačov a 2 železničné jednotky.
 - **2035: ~7 250 vozidiel a súprav**, z toho: 3 200 osobných áut, 560 dodávok, 561 autobusov (172 mestských, 344 prímestských, 45 diaľkových), 1 620 nákladných vozidiel, 1 300 ťahačov a 8 železničných jednotiek.

Energetika a infraštruktúra:

- Do roku 2030: základná sieť – **5 čerpacích staníc podľa AFIR**, dve stanice v rámci vodíkových údolí, cestná distribúcia a krátkodobé skladovanie.
- Do roku 2035: predpoklad ďalších **10+ staníc**, lokálne potrubné siete pre priemysel, rozšírenie do uzlov siete **TEN-T** a začlenenie do **EHB**.

Investičné nároky a dovoz

- Náklady na elektrolyzéry, dopravné prostriedky a infraštruktúru (čerpacie stanice, potrubia, skladovanie).
 - **3,4 mld. eur** pri sebestačnom modeli,
 - **2,9 mld. eur** pri stratégii s 80 % importom.
- **Náklady na zdroje energií (OZE, jadro) nie sú započítané**, čo znamená dodatočné niekoľko miliardové investície.

4. Dlhodobá vízia a ciele do roku 2050

- **Scenár WAM a pre chemický priemysel WEM:** spotreba vodíka na úrovni až **353 tis. t** (11,8 TWh), podiel **16 %** na konečnej spotrebe energie.
- **Scenár NZE:** až **768 tis. t**, vyžadoval by nové kapacity OZE a jadra v rozsahu **41–43 GW**, čo je pre SR technicky a ekonomicky nereálne – väčšina spotreby vodíka by musela byť importovaná.

- Vodík má potenciál znížiť emisie o **6,65 mil. t CO₂ ročne**, čo z neho robí jeden z možných nástrojov klimateckej politiky SR.

Reálna spotreba pre rok 2050 sa bude kreovať postupne podľa preferencií trhu, vývoja samotného vodíkového ekosystému na Slovensku a na základe dostupnosti jednotlivých technológií pre výrobné procesy. Slovensko v roku 2050 by ale chcelo dosiahnuť uhlíkovú neutralitu a vodík je jeden z nástrojov, ako sa k cieľu dopracovať. Možné scenáre vývoja sú v Tabuľke 11: Prognóza spotreby RHNBO v priemysle na strane 84.

5. Implementačný rámec

Dosiahnutie cieľov v niektorých prípadoch bude možné len za vysokých nákladov a môžu nastať situácie, že pri niektorých výrobných procesoch nebude možné pokračovať a bude ich potrebné nahradiť novými dodatočnými procesmi alebo sa nebudú dané produkty v EÚ už vyrábať. Je však potrebné si uvedomiť, že dané podniky prispievajú veľkou mierou k strategickej samostatnosti EÚ a sú základom pre udržanie funkčnosti aj ďalších odvetví (chemický priemysel – potravinársky priemysel – potravinová bezpečnosť a kvalita potravín).

Základné implementačné nástroje

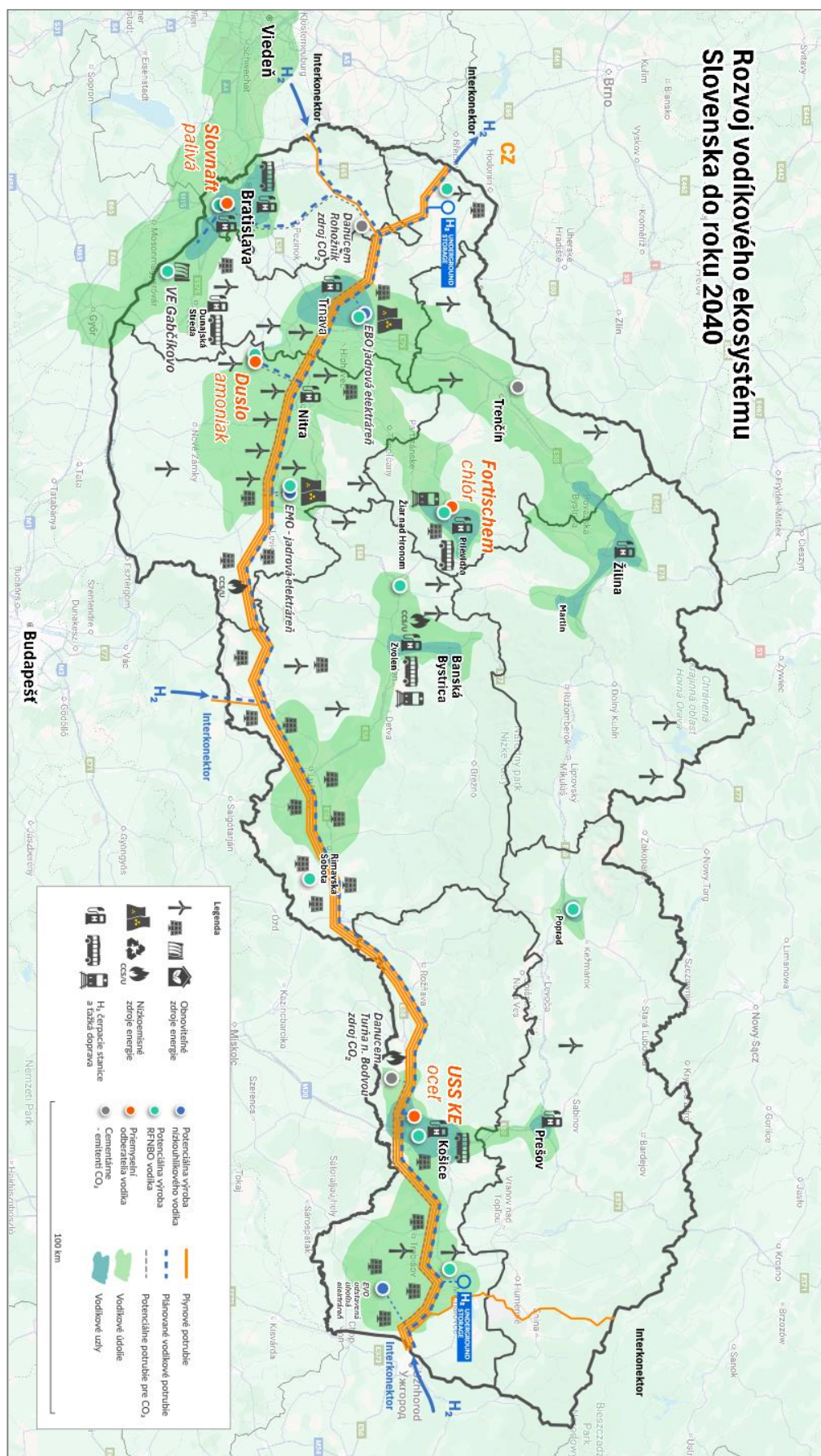
- **Aktualizovať Akčný plán na roky 2027 – 2030** s väzbou na ciele 2030, 2035 a prognózou do 2050. Akčný plán bude vypracovaný v roku 2026 a predložený na vládu SR na schválenie. Akčný plán bude obsahovať opatrenia pre zlepšenie a podporu vodíkového ekosystému na Slovensku a finančné nástroje podpory.
- **Aktualizovať Národnú Vodíkovú Stratégiu do roku 2050** s prepojením na analytické dokumenty a na dokument „Rozvoj vodíkového ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050“. V priebehu roka 2026 zapracovať aktuálne informácie ohľadne vodíkového ekosystému a možnosti rozvoja na základe doplňujúcich informácií od hlavných aktérov vo využívaní a spotrebe vodíka (reálnosť technologických postupov výroby a efektívnosť zmien v priemysle - oceliarsky, chemický, petrochemický a v doprave).
- **Legislatívne zmeny** - transpozícia plynového balíčka začiatkom roku 2026 a prijatie ďalších noriem ak budú potrebné.

Odporúčania pre rozvoj vodíkového ekosystému na Slovensku

- **Rozvíjať infraštruktúru** – čerpacie stanice, potrubia, skladovacie kapacity.
- **Zaviesť finančné a regulačné nástroje** – investičnú a/alebo prevádzkovú podporu na projekty výroby RFNBO a nízkouhlíkového vodíka. kontrakty na rozdiel (CfD), certifikáciu pôvodu (GoO), harmonizovanú LCA metodiku.
- **Zvážiť revíziu cieľov** s ohľadom na ich časovú a lokálnu koreláciu, resp. termíny výstavby nových zdrojov OZE.
- **Uprednostniť sektory** s najväčším klimatickým prínosom (chemický, oceliarsky, ťažkú dopravu) a odvetvia verejného sektora s ambicióznymi cieľmi (mestská hromadná doprava).
- **Podporiť partnerstvá** verejného a súkromného sektora, regionálne transformačné projekty a pilotné flotily do roku 2028-2030.
- Na úrovni EÚ **navrhnuť revíziu smernice RED III**, ktorá zrealizuje ciele využívania obnoviteľného vodíka a možnosti jeho výroby na základe podmienok a možností jednotlivých členských štátov.
- **Začleniť jadro** ako relevantný zdroj **pre výrobu nízkouhlíkového vodíka**.

Slovensko by sa malo rozvíjať na základe hybridnej stratégie, ktorá bude optimálne a systematicky rozvíjať domácu výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka a zároveň vytvárať infraštruktúru

pre dovoz RFNBO vo forme vodíka a amoniaku, čím sa zabezpečí nielen plnenie európskych klimatických cieľov, ale aj stabilita domáceho priemyslu, energetická bezpečnosť a dlhodobá konkurencieschopnosť a odolnosť hospodárstva Slovenska. Nevyhnutnou podmienkou realizácie tohto cieľa je **systematická a cielená podpora rozvoja** vodíkoveho ekosystému na Slovensku a **úzka kooperácia** medzi členskými štátmi.



Obrázok 1: Rozvoj vodíkového ekosystému do roku 2040

OBSAH

1	KONTEXT DOKUMENTU	11
1.1	Východiská vypracovania (metodika, zdroje, partneri)	12
1.2	Definície, terminológia a rámec klasifikácie vodíka	14
2	STRATEGICKÉ VÝCHODISKÁ A OČAKÁVANIA	19
2.1	Cieľ dokumentu	20
2.2	Zameranie analytického dokumentu	20
2.3	Príspevok vodíka pri riešení súčasných problémov (2030 – 2050)	22
2.4	Príspevok vodíka k plneniu globálnych a národných cieľov	24
3	ZHODNOTENIE VÝCHODISKOVÉHO STAVU	25
3.1	Energetické, geografické a priemyselné špecifiká SR	25
3.2	Stav energetickej infraštruktúry a obnoviteľných zdrojov	32
3.3	Súčasný stav a východiská segmentov vodíkového reťazca v SR	35
3.4	SWOT analýza aktuálneho stavu	38
3.5	Medzinárodné porovnanie	42
4	POLITIKY EÚ	45
4.1	Legislatívny a inštitucionálny rámec	50
4.2	Porovnanie s inými krajinami v implementácii cieľov	53
5	CIELE EÚ	54
5.1	Ciele v doprave	55
5.2	Ciele v priemysle	62
6	PROGNÓZA ROZVOJA VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU NA SLOVENSKU	66
6.1	Prieskum trhu	67
7	PROGNÓZA SPOTREBY VODÍKA	69
7.1	Priemysel	69
7.2	Energetika	86
7.3	Doprava	89
7.4	Prognóza spotreby RHNBO a LCH v národnom hospodárstve SR	107
7.5	Emisie skleníkových plynov	108
8	PROGNÓZA ROZVOJA INFRAŠTRUKTÚRY VODÍKOVÝCH ČERPACÍCH STANÍC	109
8.1	Sieť čerpacích staníc	109
8.2	Synergie s nabíjacou infraštruktúrou	112
9	POTENCIÁL DOMÁCEJ VÝROBY VODÍKA A POTREBA IMPORTU VODÍKA	113
9.1	LCOH v podmienkach Slovenska	114
9.2	Investičné náklady na elektrolyzéry	117
10	PROGNÓZA DISTRIBÚCIE, PREPRAVY A SKLADOVANIA VODÍKA	125
10.1	Potenciál prepravy distribúcie a skladovania vodíka v SR	125
10.2	Potenciál skladovania vodíka v SR	133
10.3	Vnútroštátna distribúcia vodíka	136
10.4	Európska vodíková sieť (EHB)	137
11	FÁZOVANIE VÝSTAVBY VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU A MODEL FINANCOVANIA	138
11.1	Scenáre rozvoja vodíkového ekosystému SR	140
11.2	SWOT analýza scenárov	144
11.3	Časová os dekarbonizácie – Cestovná mapa	147
12	SPOLOČENSKÉ A EKONOMICKÉ DOPADY	148
12.1	Zamestnanosť a vzdelávanie	148
12.2	Regionálna spravodlivosť a transformačný potenciál	150
12.3	Vplyv na zdravie a kvalitu života	152
13	NÁVRHY A ODPORÚČANIA	153
13.1	Národné priority	153
13.2	Zefektívnenie povoľovacích procesov	155
13.3	Finančné nástroje a podporné mechanizmy	156
13.4	Regulačné nástroje	157
13.5	Bezpečnostné a technické štandardy	158
13.6	Návrh postupov pre rozvoj a udržanie vodíkového ekosystému.	161
14	ZÁVER	163
14.1	KLÚČOVÉ STRATEGICKÉ ODPORÚČANIA	164
15	PRÍLOHY	167

ZOZNAM SKRATIEK

Skratka	Vysvetlenie
~	Približne
AEL	Alkalická elektrolýza (angl. alkaline electrolysis)
AFIR	Smernica o infraštruktúre alternatívnych palív (Alternative Fuel Infrastructure Regulation)
aFRR	automatic Frequency Restoration Reserve (Sekundárna regulácia)
ATR	Autotermálna reformácia
BESS	Batériový úložný systém
CBAM	Uhlíkové clo na dovoz komodít do EÚ (z angl. Carbon Border Adjustment Mechanism)
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CCUS	Carbon capture, utilization and storage
CfD	Contracts for Difference
DRI	Priama redukcia železa (z angl. Direct reduction of iron)
EBO	Elektrárň Bohunice
EBO	Elektrárň Jaslovské Bohunice
EE	Elektrická energia
EEA	Európska agentúra životného prostredia
EHB	Európska vodíková banka (European Hydrogen Bank)
EK	Európska komisia
ELY	Elektrolyzér
EMO	Elektrárň Mochovce
ENO	Elektrárň Nováky
ENTOG	European Network of Transmission System Operators for Gas
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EP	Európsky parlament
ESP	Emisie skleníkových plynov (angl. GHG – Green House Gas)
ETS	Systém obchodovania s emisiami EÚ (z angl. Emission Trading System)
EÚ	Európska únia
EÚ-27	Členské štáty EÚ
EUROSTAT	Štatistický úrad Európskej únie
EV	Elektrické vozidlo (Electric vehicle)
EVO	Elektrárň Vojany
FC	Fuel Cell
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FID	Final Investment Decision
FV	Fotovoltický
FVE	Fotovoltická (solárna) elektrárň
HRS	Čerpacia stanica na vodík (Hydrogen refuelling station)
IEA	International Energy Agency
IHA	Inštitút hospodárskych analýz
INEKP	Integrovaný národný energetický a klimatický plán
IPCEI	Dôležitý projekt spoločného európskeho záujmu
IRENA	International Renewable Energy Agency
JE	Jadrová elektrárň
KSK	Košický samosprávny kraj
KTOE	Tisíc ton ropného ekvivalentu (41,868 TJ)
LCA	Analýza životného cyklu (Life Cycle Assessment)
LCF	Nízkouhlíkové palivá
LCF	Nízkouhlíkový vodík
LCOE	Levelized Cost of Electricity (Úroveň nákladov na vyrobenú elektrinu)
LCOE	Levelized Cost of Energy
LCOH	Levelised Cost of Hydrogen (Úroveň nákladov na vyrobený vodík)
LH2	Skvapalnený vodík (Liquid Hydrogen)
LNG	Skvapalnený zemný plyn (Liquid Natural Gas)
LOHC	Kvapalné organické nosiče vodíka
MD SR	Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky

mFRR	manual Frequency Restoration Reserve (terciálna regulácia)
MH SR	Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky
MH SR	Ministerstvo hospodárstva SR
MHD	Mestská hromadná doprava
MVE	Malá vodná elektrárň
MŽP SR	Ministerstvo životného prostredia SR
NEKP	Národný energetický a klimatický plán
NVAS	Národná vodíková asociácia Slovenska
NVS	Národná vodíková stratégia
NZE	Optimistický scenár (Near Zero Emission)
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)
PDV	Prógnózy rozvoja vodíkového ekosystému na Slovensku – tento dokument
PEM	PEM elektrolyzér (Proton exchange membrane)
PPA	Power Purchase Agreement
PSA	Pressure Swing Adsorption (Tlaková adsorpcia)
PtX	Premena elektriny na inú energiu (Power to X)
RED	Smernica o obnoviteľnej energii (z angl. Renewable Energy Directive)
RED III	Tretia revízia Smernice o obnoviteľnej energii
REPowerEU	Plán EÚ na posilnenie energetickej bezpečnosti
RFNBO	Obnoviteľné palivá nebiologického pôvodu (Renewable Fuels of Non–Biological Origin)
RHNBO	Obnoviteľný vodík nebiologického pôvodu (Renewable Hydrogen of Non–Biological Origin)
SEOC	Solid Oxide Electrolyzer Cell
SEPS	Slovenská elektrizačná prenosová sústava
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SMR	Parná reformácia metánu (z angl. Steam Methane Reforming)
SOE	Solid oxide electrolysis
SPP	Slovenský plynárenský priemysel
SR	Slovenská republika
TKO	Tuhý komunálny odpad
TRL	Technology readiness level
UN–Energy	Organizácia OSN pre energiu
ÚRSO	Úrad pre reguláciu sieťových odvetví
USSK	U.S. STEEL Košice, s.r.o.
VE	Vodná elektrárň
VTE	Veterná elektrárň
VTOL	Vertical Take–Off and Landing
WAM	Scenár s ďalšími opatreniami („with additional measures”)
WEM	Scenár s existujúcimi opatreniami („with existing measures”)

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Rozvoj vodíkoveho ekosystému do roku 2040	5
Obrázok 2: Emisie pri výrobe vodíka zo zemného plynu so zachytávaním CO ₂ na Slovensku a v Nemecku.	16
Obrázok 3: Kategorizácie vodíka podľa spôsobu výroby	18
Obrázok 4: Mapa závislosti SR na dovoze zemného plynu (2023).....	26
Obrázok 5: Potenciálne lokality uskladnenia H ₂ alebo CO ₂ v geologických formáciách SR.....	28
Obrázok 6: Znižovanie CO ₂ emisií v cestnej doprave	59
Obrázok 7: Zvyšovanie podielu udržateľných a syntetických leteckých palív v letectve	60
Obrázok 8: Dekarbonizácia priemyselnej spotreby vodíka pomocou RFNBO alebo v kombinácii s LCH.	65
Obrázok 9: Konečná spotreba energie v chemickom priemysle	70
Obrázok 10: Schéma integrovanej výroby minerálnych hnojív s nahradením 20% fosílného vodíka RFNBO	71
Obrázok 11: Schéma integrovanej výroby minerálnych hnojív s importom amoniaku	75
Obrázok 12: Emisie energetického výrobného mixu Slovenska môžu klesnúť pod 18 gCO ₂ /MJ v roku 2030	88
Obrázok 13: Nákladné vozidlá: Porovnanie celkovej účinnosti FCEV a BEV	91
Obrázok 14: Spotreba energie v doprave v roku 2023.....	94
Obrázok 15: Konečná spotreba energie vo vodíku	108
Obrázok 16: Rozmiestnenie čerpacích staníc na vodík v EÚ podľa AFIR	110
Obrázok 17: Navrhované rozmiestnenie čerpacích staníc v SR v roku 2030	112
Obrázok 18: Globálna mapa úrovňových nákladov vodíka (LCOH).....	116
Obrázok 19: Súčasti výroby vodíka	118
Obrázok 20: Emisie pri výrobe LCH v podmienkach Slovenska s využitím najlepších technológií	122
Obrázok 21: Mapa IPCEI projektu H2I-TR (SK04) koverzie existujúcej tranzitnej línie ZP na prepravu čistého vodíka	126
Obrázok 22: Návrh budovania transportnej a distribučnej vodíkovej siete v SR do roku 2040	126
Obrázok 23: Vznikajúci globálny obchod vodíka a jeho derivátov	131
Obrázok 24: Kapacity akumulácie a trvanie výdaja energie rôznych technológií ukladania.	134
Obrázok 25: EHB – Európska vodíková sieť.....	138
Obrázok 26: Mapa rozvoja vodíkoveho ekosystému 2040+	139
Obrázok 27: Odhad konečnej spotreby palív do roku 2050 (INEKP).....	140
Obrázok 28: Ganttov graf cestovnej mapy vodíka do roku 2050	147

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Príspevok vodíka k plneniu globálnych a národných cieľov	24
Tabuľka 2: Porovnanie kapacity tlakových nádob	36
Tabuľka 3 Porovnanie rozpočtu priorít súčasného a nového finančného rámca EÚ v oblasti vodíka	48
Tabuľka 4: Vybrané oblasti štátnej podpory CISAF pre dekarbonizáciu priemyslu	50
Tabuľka 5: Využitie vodíka v sektoroch spotreby pre plnenie európskych cieľov	55
Tabuľka 6: Prehľad emisných cieľov v doprave	57
Tabuľka 7: Zvyšovanie podielu udržateľných a syntetických leteckých palív v letectve	60
Tabuľka 8: Harmonogram krátenia voľných povoleniek (2026–2034)	76
Tabuľka 9: Prognóza vývoja nákladov na emisie CO ₂ pri nezmennom objeme výroby do roku 2034	76
Tabuľka 10: Porovnanie kľúčových ukazovateľov pri alternatívnych spôsoboch výroby ocele	84
Tabuľka 11: Prognóza spotreby RHNBO v priemysle (hodnoty v tis. ton vodíkarok)	85
Tabuľka 12: Konečná spotreba vodíka vo vykurovaní budov	88
Tabuľka 13: Porovnanie parametrov vozidiel s pohonom BEV, FCEV a ICE	90
Tabuľka 14: Odhadovaná parita ceny vodíka k cene nafty po roku 2030	92
Tabuľka 15: Nárst ceny motorových fosílnych palív a ceny povolenky EU ETS ₂	93
Tabuľka 16: Porovnanie evidencie vybraných kategórií vozidiel 2019 a 30. jún 2025	94
Tabuľka 18: Celkový počet evidovaných autobusov v SR k 30.6.2025	96
Tabuľka 19: Počet prevádzkovaných autobusov MHD v Bratislave a krajských mestách	96
Tabuľka 20: Prognóza počtu vodíkových autobusov	97
Tabuľka 21: Prognóza spotreby vodíka v autobusoch (t/rok)	98
Tabuľka 22: Prognóza nákladov na obstaranie autobusov	98
Tabuľka 23: Prognóza priamej spotreby vodíka v sektore dopravy v optimistickom scenári NZE (t H ₂)	104
Tabuľka 24: Prognóza priamej spotreby vodíka v základnom scenári WAM (t H ₂)	105
Tabuľka 25: Prognóza priamej spotreby vodíka v pesimistickom scenári WEM (t H ₂)	105
Tabuľka 26: Prognóza spotreby obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka v hospodárstve SR (tis.t/rok)	107
Tabuľka 27: Kalkulácia emisií podľa sektorov	108
Tabuľka 28: Úspora emisií 2050 v scenári WAM	109
Tabuľka 29: Obnoviteľný vodík – výroba vodíka podľa zdrojov 2030	116
Tabuľka 30: Nízkouhlíkový vodík – prognóza objemu výroby a ceny vodíka	116
Tabuľka 31: LCOH pri kombinácii zdrojov	117
Tabuľka 32: IEA 2024 – vybrané parametre elektrolyzérův	119
Tabuľka 33: Odhad vývoja CAPEX elektrolyzérův	120
Tabuľka 34: Technický potenciál výroby vodíka z elektrickej energie v SR	121
Tabuľka 35: Porovnanie charakteristík a použitia kvapalného a stlačeného vodíka	130
Tabuľka 36: Porovnanie technológií uskladnenia vodíka	136
Tabuľka 37: Počet FCEV pre splnenie cieľa RFNBO v doprave do roku 2030	138
Tabuľka 38: Inštalovaný výkon zdrojův elektriny a elektrolyzérův – výlučne domáca výroba vodíka	142
Tabuľka 39: Inštalovaný výkon zdrojův elektriny a elektrolyzérův – import doplnený domácou výrobou	143
Tabuľka 40: Zhodnotenie importu vodíka (tis. t)	144

1 KONTEXT DOKUMENTU

Na začiatok je potrebné si povedať akú úlohu by mal spĺňať vodík v národnom hospodárstve v nasledujúcich dekádach a zároveň si položiť aj 5 otázok:

1. Znížime závislosť krajiny od dovozu fosílnych palív?
2. Dokážeme udržať klimatické zmeny pod kontrolou?
3. Posilní vodík energetickú nezávislosť a bezpečnosť štátu?
4. Je vodík popri elektrifikácii kľúčom k dekarbonizácii hospodárstva?
5. Udrží vodík dlhodobú konkurencieschopnosť krajiny?

Vodík predstavuje kľúčový prvok dekarbonizácie a energetickej transformácie vo svete a aj na Slovensku. Jeho význam vyplýva zo schopnosti nahrádzať fosílna palivá v odvetviach priemyslu, ktoré je ťažké elektrifikovať, a v ťažkej doprave. Zároveň ponúka riešenie pre stabilizáciu energetickej sústavy a integráciu obnoviteľných zdrojov energie, ktorých podiel sa bude v nasledujúcich desaťročiach dynamicky zvyšovať.

Slovensko ako vysoko plynoifikovaná krajina má pod povrchom veľké možnosti rozvoja – potrubné systémy schopné prepravovať energiu sú dva a pol až tri krát účinnejšie než elektrizačná sieť¹, má menšie požiadavky na záber pôdy vďaka užšiemu ochrannému pásu a takmer žiadny negatívny krajnotvorný dopad. Vodík má technický potenciál nahradiť uhlie, ropné produkty aj zemný plyn, avšak len v synergii s inými bezemisnými a nízkoemisnými riešeniami.

Európsky kontext

Európska komisia prijala v roku 2020 dokument „Vodíková stratégia pre klimaticky neutrálnu Európu“ (COM(2020) 301), ktorý definuje vodík ako strategickú súčasť pre dosiahnutie uhlíkovej neutrality do roku 2050 (eur-lex.europa.eu). Kľúčové iniciatívy ako REPowerEU a smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) [2018/2001](#) (ďalej aj ako RED III) stanovujú záväzné ciele pre využitie obnoviteľných palív nebiologického pôvodu a určujú legislatívny rámec, v ktorom musia členské štáty rozvíjať národné politiky.

Národný kontext – Slovensko

Slovensko v roku 2021 prijalo „[Národnú vodíkovú stratégiu](#)“ (*Pripravení na budúcnosť*) a jej **Akčný plán do konca roku 2026** bol zaradený ako **čiastkové opatrenie C19.R2 v rámci Plánu obnovy a odolnosti SR**. Tento plán určuje základné rámce pre rozvoj vodíkových technológií v hospodárstve SR do konca roku 2026, avšak pre úspešnú implementáciu **cieľov 2030 až 2035** je nevyhnutná jeho aktualizácia na základe detailných analýz. Jedným z podkladov bude aj tento **dokument prognóz rozvoja vodíkoveho ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050 (ďalej ako „PDV“)**. PDV analyzuje priority rozvoja ekosystému v oblasti vodíka primárne z obnoviteľných zdrojov. Zameriava sa na jednotlivé segmenty slovenského vodíkoveho hospodárstva.

Význam PDV preto spočíva v tom, že **nadväzuje na analytický a poskytuje strategický základ pre Akčný plán NVS** a dopĺňa ho o dlhodobejšiu víziu rozvoja. PDV umožňuje efektívne plánovanie

¹ ako orientačný benchmark uvádza dánska štúdia kapacitu približne 2 500 MW na jeden obvod 400 kV (teda ~5 000 MW pre dvojité vedenie a teoreticky ~43,8 TWh/rok pri 100 % využití ([ENS 2018](#)) ([ENTSO-E 2025](#)) ([National Grid 2013](#)). Reálne prenosy bývajú nižšie kvôli N-1 kritériu, teplote, vetru, stratám a obmedzeniam sústavy. Praktická dlhodobá využiteľnosť môže byť približne 50 až 70 % týchto hodnôt. 2 mil. t H₂ zodpovedá približne 66,7 TWh pri LHV (~33,33 kWh/kg) a využitie nie je limitované N-1 kritériom.

investícií, podporu technologických inovácií a zosúladienie národných ambícií Slovenska v oblasti obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka s európskymi klimatickými a energetickými cieľmi.

V národnom kontexte Slovensko disponuje potenciálom pre výrobu nízkouhlíkového vodíka, ale má výrazné geografické obmedzenia v prípade výroby obnoviteľného vodíka. Opiera sa o rozvinutú elektrizačnú sústavu, jadrovú energetiku, rozrastajúce sa kapacity obnoviteľných zdrojov a priemyselné zázemie. Vodík môže byť jeden z nástrojov, ktorý umožní nielen zníženie emisií skleníkových plynov, ale aj posilní energetickú bezpečnosť, diverzifikuje palivovú základňu a vytvorí nové hospodárske príležitosti. Vodík predstavuje jednu z možností v procese dekarbonizácie a energetickej transformácie hospodárstiev jednotlivých členských krajín vrátane Slovenska. Jeho význam spočíva v schopnosti nahradiť fosílna palivá v sektoroch, kde je elektrifikácia technicky náročná – najmä v priemysle, doprave a energetike – a zároveň slúžiť aj ako stabilizačný prvok pre integráciu obnoviteľných zdrojov energie do sústavy.

1.1 VÝCHODISKÁ VYPRACOVANIA (METODIKA, ZDROJE, PARTNERI)

METODICKÝ RÁMEC – VÝCHODISKOVÉ PRINCÍPY SPRACOVANIA DOKUMENTU

Analyticko – strategický dokument rozvoja vodíkového ekosystému Slovenska bude podkladom pre vypracovanie Akčného plánu pre vodík na roky 2027 – 2030, pričom je súčasťou reforiem v rámci Plánu obnovy a odolnosti SR. Spracovanie dokumentu bolo realizované s využitím kombinácie kvalitatívnych a kvantitatívnych analytických prístupov, ktoré umožnili komplexné zhodnotenie problematiky. Už pred samotným spracovaním prebiehal proces systematického zberu údajov, doplnený údajmi z prieskumu trhu realizovaného Ministerstvom hospodárstva SR s cieľene vedenými konzultáciami s kľúčovými aktérmi aktuálneho aj perspektívneho vodíkového ekosystému. Tento postup zabezpečil, že vypracované závery reflektujú nielen dostupné štatistické a technické dáta, ale aj skúsenosti a očakávania relevantných zainteresovaných subjektov. Na základe vyhodnotenia získaných dát bolo následne pristúpené k modelovaniu možných scenárov rozvoja a formulácii záverov. Použitá metodika vychádzala zo zásad objektivity, transparentnosti a porovnateľnosti s európskymi a národnými strategickými dokumentmi a legislatívnym rámcom. Osobitný dôraz bol kladený na overiteľnosť použitých zdrojov a konzistentnosť s medzinárodnými analytickými štandardmi.

POUŽITÁ DÁTOVÁ ZÁKLADŇA

Analýza vychádzala z primárnych dát získaných prostredníctvom prieskumov, konzultácií a štatistických výkazov partnerov. Sekundárne zdroje tvorili údaje z medzinárodných databáz (Eurostat, IEA, IRENA, OECD, CHP, Ramboll...), národných štatistických úradov a dostupných odborných publikácií a štúdií. Dátová základňa bola doplnená o technické správy, projekčné podklady a expertné posudky.

Pri interpretácii boli zohľadnené limity dostupnosti a aktuálnosti dát. Prognózy pre rok 2030 a 2035 sú stanovené na základe súčasných platných európskych a národných legislatívnych a regulačných predpisov s odporúčaním na presadzovanie záujmov Slovenskej republiky pri nadchádzajúcich legislatívnych konaniach na európskej úrovni. Odhady pre obdobie rokov 2040 až 2050 vychádzajú z cieľa SR dosiahnuť uhlíkovú neutralitu do roku 2050. Prognózy rozvoja bezemisnej vodíkovej dopravy sú postavené na predpoklade postupného technického pokroku v oblasti batériovej elektromobility a vodíkových technológií. Zároveň sa uvažuje so scenárom, že zásadné technologické inovácie môžu v budúcnosti významne zmeniť rovnováhu medzi vozidlami s batériovým a vodíkovým pohonom a určiť dominanciu jednej z alternatív.

Pri zostavovaní dlhodobých odhadov je potrebné zohľadniť viaceré riziká. Vývoj môže byť ovplyvnený dostupnosťou kritických surovín, cenovou hladinou energií, mierou verejnej a súkromnej investičnej podpory, regulačným rámcom na národnej úrovni a úrovni EÚ, dynamikou globálneho trhu

a preferenciou spotrebiteľov. Významným faktorom je aj tempo rozvoja infraštruktúry, ktoré môže urýchliť alebo naopak spomaliť širšie nasadzovanie jednotlivých technológií. Prognózy preto treba vnímať ako orientačné a podmienené vonkajšími okolnosťami, ktoré sa môžu v horizonte niekoľkých desaťročí výrazne zmeniť.

PREPOJENIE NA ANALYTICKÉ PODKLADY

Spracovanie dokumentu bolo úzko naviazané na existujúce národné a regionálne analýzy ako napríklad Aktualizácia integrovaného národného energetického a klimatického plánu na roky 2021 – 2030 (INEKP), strategické štúdie a rozvojové scenáre. Z dôvodu potreby výpočtu dopadov naplnenia cieľov využívania vodíka v priemysle, vychádzajúcich zo smernice RED III, ku ktorým vzniklo medzičasom viacero usmernení, boli v rámci materiálu použité aj ambicióznejšie scenáre nad rámec INEKP. Modelovanie INEKP navyše nezachytáva všetok vodík využívaný v krajine (napr. vyrobený ako vedľajší produkt v chemickom priemysle).

Využitie boli výstupy predchádzajúcich prieskumov, odborných konzultácií a verejných diskusií. Dokument reflektuje synergie s paralelnými projektmi a iniciatívami, ako napríklad Bilancia výroby, spotreby, importu a exportu vodíka v SR a 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, čím sa zabezpečila konzistentnosť a doplnkovosť analytických výstupov.

PARTNERI A EXPERTNÁ SPOLUPRÁCA

Na spracovaní sa podieľali odborní partneri z oblasti verejnej správy, najmä Ministerstva hospodárstva SR, Ministerstva dopravy SR, Ministerstva životného prostredia SR, Ministerstva vnútra SR, Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR, výskumných inštitúcií (SAV), univerzít (TUKE, STU), profesijných zväzov, združení a asociácií, veľkých priemyselných výrobcov a spotrebiteľov vodíka v SR, ako napríklad:

- Asociácia priemyselných zväzov a dopravy,
- Asociácia železničných dopravcov Slovenska,
- ČESMAD Slovakia – Združenie cestných dopravcov Slovenskej republiky,
- Národná Vodíková Asociácia Slovenska,
- SAPI – Slovenská asociácia udržateľnej energetiky,
- Výskumný ústav chemicko-technologický,
- Združenie prevádzkovateľov hromadnej dopravy osôb v mestských aglomeráciách SR,
- Zväz autobusovej dopravy,
- Zväz logistiky a zasielateľstva Slovenskej republiky,
- Zväz výrobcov cementu Slovenskej republiky,
- Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a ďalšie.

Ich úlohou bolo poskytovanie relevantných dát, odborných stanovísk a pripomienok. Súčasťou procesu bola aj medzinárodná spolupráca a využitie referencií a skúseností zo zahraničia, ktoré poskytli Hydrogen Europe, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) a Česká vodíková technologická platforma (HYTEP). Validácia výsledkov prebehla prostredníctvom konzultácií s expertmi a diskusie v rámci pracovných skupín.

1.2 DEFINÍCIE, TERMINOLÓGIA A RÁMEC KLASIFIKÁCIE VODÍKA

Vodík je základný chemický prvok, ktorý svojimi fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami ponúka široké možnosti využitia. Ako energetický nosič umožňuje vyrovnanie ponuky a dopytu po elektrine, slúži ako médium na dlhodobé skladovanie energie a predstavuje riešenie v odvetviach, kde priama elektrifikácia nie je reálna. Zároveň je kľúčovou surovinou pre chemický a hutnícky priemysel a otvára cestu k dekarbonizácii výroby amoniaku, ocele či palív. V doprave sa využíva buď priamo vo forme vodíkových palivových článkov, alebo ako základná zložka palív. Významnú úlohu zohráva aj jeho environmentálny prínos – pri premene v palivových článkoch vzniká iba voda, čo znižuje lokálne emisie znečisťujúcich látok.

Hoci je molekula vodíka vo všetkých prípadoch rovnaká, zásadný rozdiel spočíva v spôsobe jeho výroby, použitých zdrojoch energie a v celkovej uhlíkovej stope počas životného cyklu. Preto je nevyhnutné používať jednotné definície a klasifikačný rámec, ktoré zabezpečia transparentnosť a zrozumiteľnosť pri posudzovaní jeho udržateľnosti a podporia harmonizovaný rozvoj vodíkovej ekonomiky.

VYBRANÉ DEFINÍCIE

Palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu (z angl. Renewable Fuels of Non Biological Origin, RFNBO) ako uvádza [RED III](#) z 11. decembra 2018 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov v aktuálnom znení z 16.7.2024, **sú kvapalné a plynné palivá, ktorých energetický obsah pochádza z obnoviteľných zdrojov iných než biomasa**².

Ide hlavne o **vodík**, **amoniak** a **metanol**. Pre výrobu amoniaku a metanolu je potrebný vodík.

Obnoviteľný vodík z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu (ďalej aj ako RHNBO) je vodík vyrábaný elektrolýzou vody za použitia elektriny z OZE spĺňajúci všetky uvedené kritériá pre RFNBO.

Do kategórie RFNBO sa za splnenia vyššie uvedených podmienok radia aj **deriváty** ako **amoniak**, **metanol** a **syntetické palivá**.

RFNBO je jediný druh paliva ktorým je možné plniť všetky sektorové ciele v spotrebe udržateľných palív podľa RED III (priemysel aj doprava). Plnenie cieľov sa viaže na dolnú výhrevnosť palív (Low Heating Value, LHV):

- **Vodík (H₂):** 120 MJ/kg
- **Amoniak (NH₃):** 18,6 MJ/kg
- **Metanol (CH₃OH):** 20,1 MJ/kg

V praxi to znamená, že pre priame nahradenie súčasne využívaného amoniaku z fosílnych zdrojov za amoniak v kategórii RFNBO je potrebné menej MJ než nahradenie vodíka obnoviteľným vodíkom na začiatku chemickej integrovanej výroby. Inak povedané postačuje menej amoniaku než vodíka na splnenie cieľov RFNBO v priemysle.

Recyklované uhlíkové palivá (Recycled Carbon Fuels, RCF) sú kvapalné alebo plynné palivá vyrábané z kvapalných alebo pevných odpadových tokov neobnoviteľného pôvodu, ktoré nie sú vhodné na materiálovú recykláciu podľa smernice [2008/98/ES](#), alebo z plynov zo spracovania odpadu a z výfukových plynov neobnoviteľného pôvodu vznikajúcich nevyhnutne a nechcene pri priemyselnej

² Článok 2 bod 36 Smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) [2018/2001](#) (RED III)

výrobe podľa [čl. 2 bodu 35](#) 2. revízie smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 (RED II)³.

Obnoviteľný plyn je **bioplyn** v zmysle vymedzenia v článku 2 bode 28 smernice (EÚ) 2018/2001 vrátane bioplynu, ktorý bol upravený na biometán, **a palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu** v zmysle vymedzenia v článku 2 bode 36 uvedenej smernice.

Obnoviteľný vodík vyrobený s využitím energie **z biomasy** patrí do vymedzenia pojmu **bioplyn** uvedeného v smernici (EÚ) 2018/2001.

Nízkouhlíkové palivá podľa definície Smernice 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 **sú fosílna palivá** vyrobené z odpadu v zmysle vymedzenia v článku 2 bode 35 smernice (EÚ) 2018/2001, **nízkouhlíkový vodík** (ďalej aj ako LCH z angl. Low Carbon Hydrogen) **a syntetické plynné a kvapalné palivá**, ktorých energetický obsah pochádza z nízkouhlíkového vodíka a ktoré spĺňajú 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 prijatej podľa článku 29a ods. 3 smernice (EÚ) 2018/2001. V čase prípravy tohto dokumentu Európska komisia zverejnila návrhy [Delegovaného nariadenia EK](#) o nízkouhlíkových palivách (Delegated Act of Low Carbon Fuels DA LCF), ktorým sa dopĺňa smernica (EÚ) [2024/1788](#) Európskeho parlamentu a Rady stanovením metodiky na posudzovanie úspor emisií skleníkových plynov z nízkouhlíkových palív⁴.

Nízkouhlíkový vodík je vodík, ktorého energetický obsah pochádza **z neobnoviteľných zdrojov**, a ktorý spĺňa prahovú hodnotu znížených emisií skleníkových plynov o 70 % v porovnaní s fosílnym palivom – komparátorom 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 článku 29a ods. 3 smernice (EÚ) 2018/2001. Inými slovami, jeho výroba zo zemného plynu bude možná, ak sa dosiahne emisná intenzita celoživotného cyklu pod hranicou 28,2 g CO₂/MJ. To je možné len pri použití CCS technológií na úrovni zachytávania CO₂ najmenej 90 až 95 %. Rozhodujúci je pritom pôvod plynu – potrubný plyn môže umožniť splnenie požiadaviek, zatiaľ čo LNG námorského pôvodu výrazne prekračuje emisný prah.

Perspektívnou stratégiou je aj **miešanie zemného plynu s biometánom** alebo bioplynom a následná výroba vodíka prostredníctvom tejto plynovej zmesi, čo znižuje uhlíkovú stopu. Hlavnou výzvou však zostáva bezpečné uloženie zachyteného oxidu uhličitého. Slovensko disponuje vhodnými geologickými úložiskami v lokalitách ložísk zemného plynu pri Trnave (Golianovo), kde by podľa slovenského výrobcu minerálnych hnojív bolo možné trvalo ukladať časť jeho produkcie CO₂ po dobu najmenej 10 rokov. Úspech tejto cesty preto závisí od dostupnosti, vybudovania infraštruktúry pre zachytávanie a uloženie CO₂ a od integrácie obnoviteľných plynov do zemného plynu.

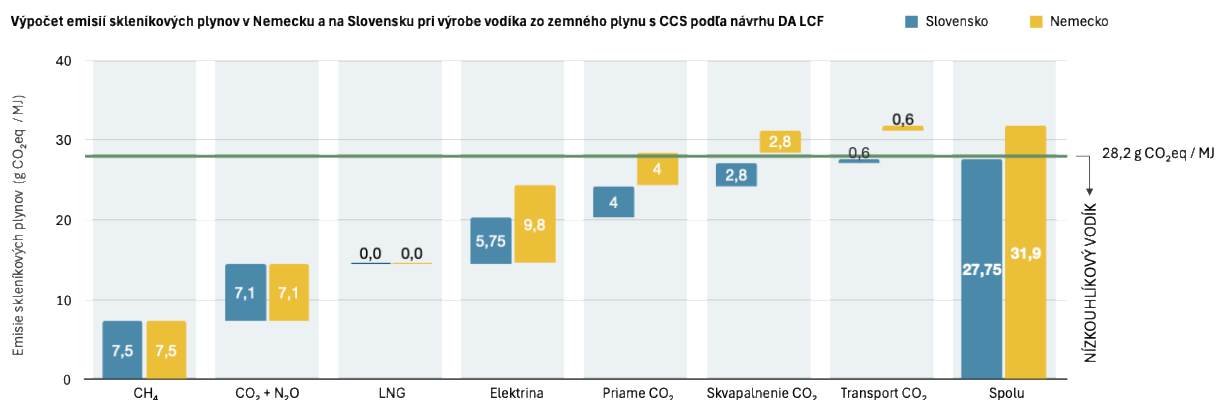
V prípade, že bude schválený **DA LCF**, potom výroba vodíka s CCS technológiou by mohla pri súčasnom trende emisií mixu vyrobenej a dovezenej elektriny v SR aj bez pridania biometánu klesnúť pod **28,2 g CO₂/MJ H₂** ako ilustruje Obrázok 2. Graf znázorňuje porovnanie emisnej intenzity využitia zemného plynu na výrobu vodíka v Nemecku a na Slovensku. Analytici Hydrogen Europe skúmali na

³ **Znenie definície (čl. 2 bod 35 RED II):** „recyklované uhlíkové palivá sú kvapalné a plynné palivá vyrábané z **neobnoviteľných kvapalných alebo tuhých odpadových materiálov** alebo z **plynného prúdu odpadu z neobnoviteľných zdrojov**, ktorý vznikol v procesoch nevyhnutných z priemyselného alebo chemického hľadiska, a ktorý by sa inak vypúšťal do ovzdušia.“ **Podstata:** nejde o palivá z obnoviteľných zdrojov, ale z **odpadov neobnoviteľného pôvodu**, typicky ide o **syntézny plyn alebo kvapalné uhľovodíky** vyrobené z priemyselných procesných plynov alebo odpadov, ich zaradenie umožňuje čerpať podporu a započítavať ich do cieľov znižovania emisií, ak spĺňajú metodiku výpočtu úspor emisií (stanovenú v DA RFNBO).

⁴ Časová os procesu schvaľovania podľa aktuálneho stavu a presných dátumov: **8. júl 2025** – Komisia prijala návrh delegovaného nariadenia s metodikou hodnotenia úspor GHG pre nízkouhlíkové palivá. **16. júl 2025** – **Európsky parlament** spustil **predloženie lehoty** na kontrolu o ďalšie 2 mesiace. **Lehota na námietky** – štandardne 2 mesiace od doručenia, predĺžená na **4 mesiace**. Pri doručení 9. júla 2025 teda kontrola beží do **9. novembra 2025**, ak EP alebo Rada nepožiadajú o skoršie hlasovanie alebo nevzniesu námietku. **Po uplynutí lehoty bez námietok** – uverejnenie v Ú. v. EÚ a účinnosť 20. deň po uverejnení.

modelovom prípade pre Nemecko, či je možné podľa DA LCF znížiť emisie pri výrobe vodíka zo zemného plynu s použitím technológie CCS pod 28,2 g CO₂eq/ MJ. Pre zemný plyn použili priemernú hodnotu emisií metánu, CO₂ a N₂O v EÚ vznikajúce pri ťažbe a preprave. Výroba vodíka pomocou ATR⁵ + CCS s 95 % mierou zachytenia CO₂ a uloženia v Severnom mori. Podľa tejto metodiky by pre modelový prípad Slovenska mohli byť všetky premenné rovnaké okrem emisií elektriny spotrebovanej v procese, pritom uvažujeme o uskladnení vodíka v podzemných úložiskách v okolí Trnavy. Keďže emisná intenzita vyrobenej a čistej importovanej elektriny na Slovensku je nižšia ako v Nemecku, Slovensko by teoreticky mohlo splniť limit a vyrábať nízkouhlíkový vodík zo zemného plynu bez prímеси biometanolu. Potvrdenie tohto tvrdenia je na prevádzkovateľoch reformerov zemného plynu, keďže na výrobu vodíka sa na Slovensku nepoužíva technológia ATR ale parná reformáciu zemného plynu (SMR)⁶. Na druhej strane EK ponúka úľavu pre existujúce prevádzky, kde je možné zohľadniť rôzne výrobné prúdy v chemickej výrobe a rafinériách.

Pri využití metodiky Hydrogen Europe pre príklad Nemecka, by sa Slovensko mohlo dostať pod limit, a teda vyrábať nízkouhlíkový vodík zo zemného plynu ak sa použijú údaje z tabuľky 5 prílohy navrhovaného DA LCF, kde je emisná intenzita vyrobenej a čistej importovanej elektriny v členských štátoch v roku 2023. Pre Slovensko sa uvádza hodnota 60,9 CO₂eq/MJ a v Nemecku 103,8 CO₂eq/MJ, medzročne má Slovensko klesajúci trend emisií mixu elektriny, pritom do výpočtu je možné zvoliť jednu z piatich najnovšie dostupných ročných hodnôt.



Obrázok 2: Emisie pri výrobe vodíka zo zemného plynu so zachytávaním CO₂ na Slovensku a v Nemecku.

Zdroj: NVAS na základe výpočtov Hydrogen Europe

Nízkouhlíkový vodík s vyrobený s využitím elektriny z jadrových zdrojov zatiaľ v návrhu DA LCF nie je podporovaný. Do roku 2028 má dôjsť k prehodnoteniu jadrovej energie či sa zaradi medzi udržateľné technológie pri výrobe vodíka a budú k dispozícii PPA aj s jadrovými zdrojmi (JZ). Ak by sa tak stalo, na Slovensku by pribudol významný zdroj pre výrobu vodíka s výhodami ako je vysoký kapacitný faktor, čo umožní efektívnejšie využitie elektrolyzéra počas rok (viac hodín v prevádzke než pri OZE), čo prinesie vyššiu rentabilitu projektov za podmienky prijateľnej ceny vstupnej elektriny. Nízka cena elektriny, nezaťažená o poplatky z distribúcie a prenosu ako aj o niektoré dane, sa čoraz tvorí základnú nákladovú položku v ekonomike ELY. Pri stratégii využívanie EE pri nízkych cenách na dennom trhu sa zároveň dodáva flexibilita elektrizačnej sústave. Pri stratégii umiestnenia ELY za

⁵ ATR (Autothermal Reforming) je technológia výroby vodíka zo zemného plynu alebo iných uhľovodíkov. Kombinuje parný reforming a čiastočné spaľovanie.

⁶ SMR (Steam Methane Reforming) je najpoužívanejšia technológia výroby vodíka zo zemného plynu. Metán reaguje s parou pri vysokej teplote (700–1000 °C) a za prítomnosti katalyzátora. SMR je lacnejšia, osvedčená, ale horšie prepojená technológia s CCS. ATR je flexibilnejšia, lepšia pre CCS, no drahšia kvôli potrebe čistého kyslíka.

medlom JE a pri využívaní lokálnych OZE, dosiahne ELY využiteľnosť nad 80% a vyrába tak RHNBO ako aj vodík, ktorý by mohol byť po roku 2028 zaradený do kategórie LCF.

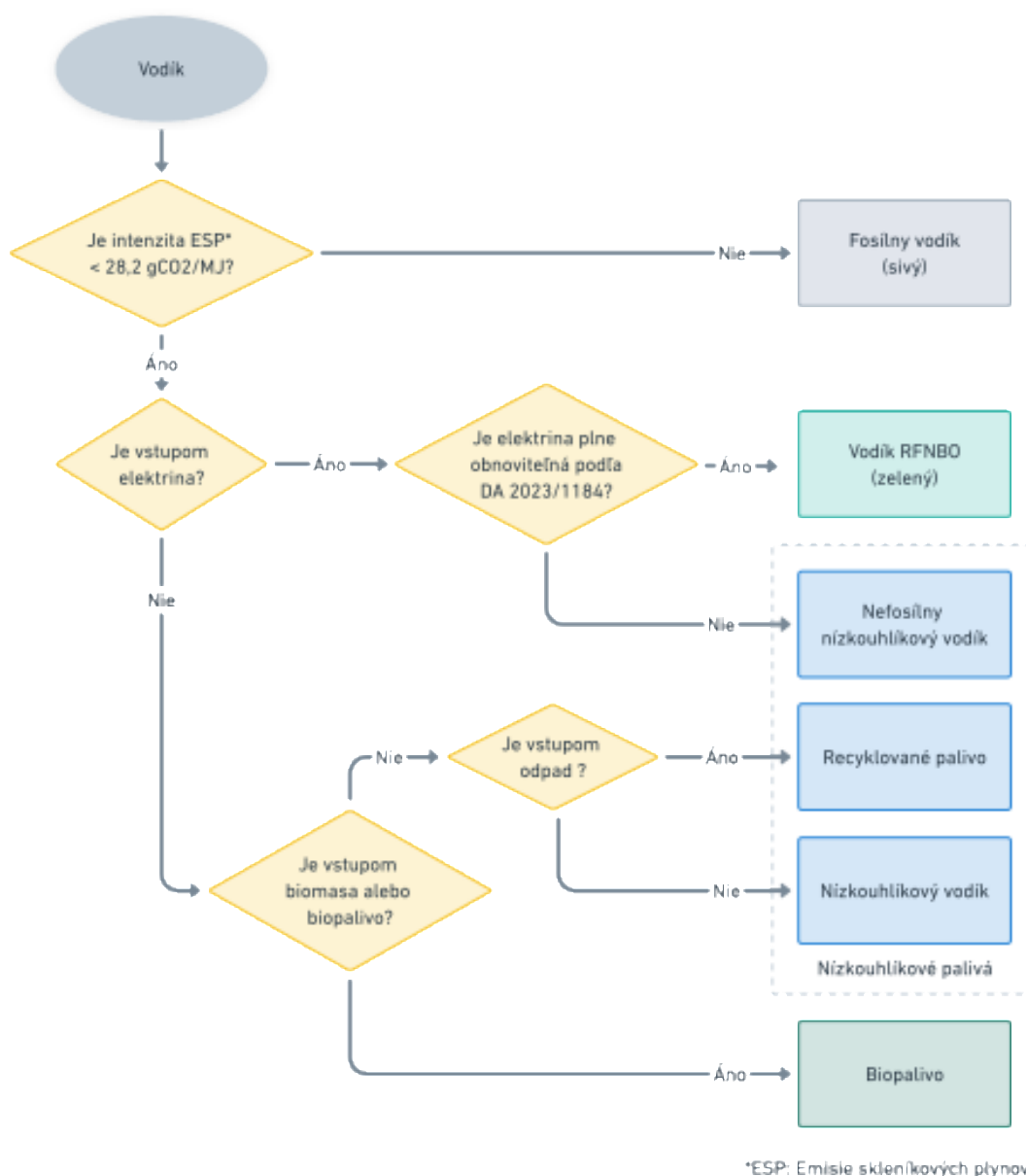
Syntetické plynné a kvapalné palivá sú energetické nosiče vyrobené chemickou syntézou z jednoduchých vstupov namiesto priamej ťažby fosílnych palív alebo biologickej konverzie. Typicky vznikajú spojením vodíka z elektrolýzy s uhlíkom alebo dusíkom, pričom uhlík pochádza z CO₂ alebo CO zachyteného zo vzduchu, z biogénnych zdrojov alebo z nevyhnutných priemyselných emisií. Používajú sa procesy ako Sabatierova reakcia pre e-metán, metanolová syntéza, Fischerova-Tropschova syntéza pre e-naftu a e-kerosén a Haberova-Boschova syntéza pre e-amoniak. Výsledkom sú plynné nosiče ako e-metán, syntetický zemný plyn a amoniak a kvapalné nosiče ako e-metanol, e-kerozín, e-nafta, e-benzín, DME⁷ a syntetické LPG. Z regulačného hľadiska sa palivá vyrobené z nebiologických vstupov za použitia obnoviteľnej elektriny klasifikujú ako RFNBO, palivá z neobnoviteľných odpadových plynov ako RCF a palivá vyrábané s nízkouhlíkovou, no nie nutne obnoviteľnou, elektrinou patria medzi nízkouhlíkové palivá podľa osobitných pravidiel. Klimatický prínos závisí od uhlíkovej stopy použitej elektriny, pôvodu uhlíka a účinnosti výrobných reťazcov.

KLASIFIKÁCIA VODÍKA PODĽA SPÔSOBU VÝROBY

Európska legislatíva klasifikuje vodík podľa pôvodu a emisií skleníkových plynov (ESP) pri výrobe. Preferované sú najmä obnoviteľný a nízkouhlíkový vodík. Fosílny vodík je postupne obmedzovaný. Rámec sa priebežne vyvíja. Klasifikácia začína posúdením intenzity emisií skleníkových plynov počas celoživotného cyklu, ako znázorňuje Obrázok 2. Uplatňuje sa vylučovacie pravidlo:

- 1) Východisko – intenzita emisií skleníkových plynov (ESP) v rámci celoživotného cyklu (LCA)
 - a) Ak $ESP \geq 28,2 \text{ gCO}_2\text{eq} / \text{MJ}$ (prahová hodnota) → **fosílny (sivý) vodík**.
 - b) Ak $ESP < 28,2 \text{ gCO}_2\text{eq} / \text{MJ}$ ($\approx 3,38 \text{ kgCO}_2\text{eq} / \text{kg H}_2$; $\geq 70 \%$ úspora oproti fosílnemu komparátoru) → pokračuje sa podľa vstupu/výroby.
- 2) Ak je vstupom **elektrina**
 - a) Elektrina je „plne obnoviteľná“ podľa Delegovaného nariadenia (EÚ) 2023/1184 (dodatkovosť, časová a geografická korelácia dodržaná) → **RFNBO – obnoviteľný vodík**.
 - b) Elektrina nespĺňa požiadavky 2023/1184 (napr. jadrová alebo mix), no celkové ESP je pod prahom → **nefosílny nízkouhlíkový vodík**.
- 3) Ak vstupom **nie je elektrina**
 - a) Vstup je biomasa/biopalivo → **biopalivo** (obnoviteľný bio-vodík v zmysle RED).
 - b) Vstup je odpad (nebiogénne vstupy) → **recyklované uhlíkové palivo (RCF)**.
 - c) Vstup je fosílna palivo (napr. zemný plyn) so znižovaním emisií (CCS/CCU) a ESP je pod prahom → **nízkouhlíkový vodík**.

⁷ DME – dimetyléter je syntetické kvapalné palivo (chemický vzorec CH₃-O-CH₃), ktoré možno vyrábať z metanolu alebo priamo zo syntézneho plynu (H₂ + CO). Používa sa ako alternatíva LPG, ako motorové palivo alebo ako medziprodukt v chemickom priemysle.



Obrázok 3: Kategorizácie vodíka podľa spôsobu výroby

Zdroj: Hydrogen Europe (2025), preklad do SJ a úprava NVAS

Udržateľné letecké palivá (SAF) sú podľa [Nariadenia Európskeho Parlamentu a Rady \(EÚ\) 2023/2405](#) letecké palivá, ktoré sú:

- a) syntetické letecké palivá;
- b) letecké biopalivá; alebo
- c) fosílné letecké palivá vyrobené z odpadu.

Fosílné letecké palivá vyrobené z odpadu „sú letecké palivá, ktoré sú fosílnymi palivami vyrobenými z odpadu v zmysle vymedzenia v článku 2 druhom odseku bodu 35 smernice (EÚ) 2018/2001 a ktoré spĺňajú prahovú hodnotu úspor emisií počas životného cyklu uvedenú v článku 29a ods. 2 uvedenej smernice a sú certifikované v súlade s článkom 30 uvedenej smernice”.

Syntetické letecké palivá (eSAF) „sú letecké palivá, ktoré sú palivami z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu v zmysle vymedzenia v článku 2 druhom odseku bodu 36 smernice (EÚ)

2018/2001 a ktoré spĺňajú prahovú hodnotu úspor emisií počas životného cyklu uvedenú v článku 29a ods. 1 uvedenej smernice a sú certifikované v súlade s článkom 30 uvedenej smernice“. **To znamená, že základnou zložkou pre výrobu je RHNBO.**

Recyklované uhľovodíkové palivá a nízkouhlíkový vodík nefosílného pôvodu sa do plnenia európskych cieľov v spotrebe palív započítavajú v sektore leteckej a námornej dopravy.

2 STRATEGICKÉ VÝCHODISKÁ A OČAKÁVANIA

Tento dokument pre scenáre a prognózy vývoja vodíkoveho ekosystému na Slovensku vytvára analytický, metodický a strategický základ pre ďalší rozvoj a rozhodovanie v oblasti výroby, dovozu, prepravy, skladovania a využitia vodíka a jeho derivátov. Predkladá a navrhuje konzistentný rámec dopytovo–ponukových scenárov, technologických trajektórií a investičných potrieb v horizonte do roku 2050 **so zameraním na obdobie 2030 – 2035**. PDV nie je aktualizáciou NVS. Jeho účelom je poskytnúť vecný podklad pre následnú aktualizáciu Národnej vodíkovej stratégie (NVS) a príslušného Akčného plánu 2027 – 2030.

Dokument vychádza zo zmeneného trhového, technologického a regulačného prostredia v EÚ a na Slovensku. Zohľadňuje platné a pripravované európske politiky a právne akty s priamym vplyvom na vodíkový reťazec: Parížsku dohodu; revidovanú smernicu o podpore OZE (RED III); delegované nariadenia Komisie k obnoviteľným palivám nebiologického pôvodu (RFNBO) – metodiku doplnkovosti a pravidiel časovej/geografickej korelácie elektriny (EÚ 2023/1184) a metodiku výpočtu úspor emisií skleníkových plynov a prahové hodnoty (EÚ 2023/1185), ďalej balík pre trh s vodíkom a dekarbonizovanými plynmi (smernica (EÚ) 2024/1788 a nariadenie (EÚ) 2024/1789); nariadenie o infraštruktúre alternatívnych palív (AFIR, (EÚ) 2023/1804), a tiež rámec štátnej pomoci (CEEAG/GBER); nariadenie **Net-Zero Industry Act (NZIA)**; plán REPowerEU a kroky súvisiace s **Európskou vodíkovou bankou**. Tieto akty spoločne definujú terminológiu, ciele, certifikáciu, trhové pravidlá a infraštruktúrne požiadavky pre obnoviteľný a nízkouhlíkový vodík.

Súčasne PDV **reflektuje národné analytické podklady**: (i) štúdiu *BILANCIA VÝROBY, SPOTREBY, IMPORTU A EXPORTU VODÍKA V SR* (2023) vypracovanú Inštitútom hospodárskych analýz pri Ministerstve hospodárstva SR a (ii) Národný projekt (2025) s názvom *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*. Zistenia týchto prác sú použité na kalibráciu dopytovo–ponukových scenárov, profilov flexibility a investičných potrieb v SR po roku 2030.

Infraštruktúra a AFIR. AFIR je priamo uplatniteľné nariadenie EÚ, ktoré ukladá povinnosti pre verejne prístupnú infraštruktúru alternatívnych palív vrátane vodíka. Cieľom je zabezpečiť dostupné čerpacie stanice pozdĺž koridorov TEN-T a v mestských uzloch. Nariadenie stanovuje minimálne kapacity, maximálne rozostupy medzi stanicami a základné technické parametre pre plnenie osobných aj ťažkých vozidiel. V rámci daných kritérií, PDV navrhuje rozmiestnenie čerpacích staníc v SR v roku 2030. Pre roky 2035 sa navrhuje rozšírenie a menujú sa potenciálne lokality. Detailné požiadavky menuje Príloha 1: Ciele AFIR pre vodíkové čerpacie stanice (HRS).

NZIA, CISAF a priemyselná politika. NZIA vytvára regulačný rámec na posilnenie konkurencieschopnosti výroby kľúčových bezemisných technológií v EÚ (vrátane elektrolyzéro, palivových článkov, skladovania energie a CCUS) a zavádza mechanizmy zrýchleného povoľovania a preferenčné necenové kritériá v obstarávaní a aukciách. **CISAF (Clean Industrial Deal State Aid Framework)** je európsky rámec štátnej pomoci účinný do konca roku 2030, ktorý nahrádza TCTF⁸ a

⁸ TCTF je **Temporary Crisis and Transition Framework**, dočasný rámec Európskej komisie pre štátnu pomoc, ktorý umožňuje členským štátom pružnejšie poskytovať finančnú podporu podnikom postihnutým krízou (napr. energetickou či geopolitickou) a zároveň podporovať prechod na bezuhlíkové hospodárstvo (EK 2023).

poskytuje členským štátom stabilné, predvídateľné pravidlá na podporu dekarbonizácie priemyslu a výroby čistých technológií. Umožňuje kombinovať **investičnú aj prevádzkovú** (CAPEX aj OPEX) **podporu**, využívať **kapitálové nástroje** (equity, quasi-equity) na pari passu báze s privátnymi investormi, urýchľuje schvaľovanie schém pri splnení vopred definovaných kritérií, umožňuje **matching aid** voči podpore v tretích krajinách a je **zosúladený s NZIA** (okruh oprávnených technológií vrátane elektrolyzéro, CCUS, a pod.). **Pre slovenský priemysel** to znamená adresné znižovanie investičných a prevádzkových rizík pri RFNBO a nízkouhlíkových H₂ projektoch, možnosť lokálne zakotviť dodávateľské reťazce (komponenty elektrolyzéro, palivové články, zásobníky).

Koordinačný kontext v SR. PDV reflektuje na prognózy rozvoja OZE a spotreby palív uvedených v INEKP a s politikami v oblasti priemyslu, dopravy a klímy. Koordinácia rezortov (MH SR, MŽP SR, MD SR, ÚRSO a ďalších) zabezpečí, aby výsledné scenáre a prognózy boli priamo využiteľné ako podklad pre následnú aktualizáciu NVS a AP.

Súčasná výroba a východiská dekarbonizácie v SR. Väčšina vodíka sa na Slovensku vyrába **parným reformingom zemného plynu (SMR)** v rafinérskych a chemických prevádzkach. Očakávané zmeny portfólia rafinérskych produktov a európske ciele v doprave a priemysle ovplyvnia dopyt po sivom vodíku, čo si vyžiada paralelný rozvoj RFNBO, postupné zavádzanie nízkouhlíkového vodíka a uplatnenie CCU/CCS tam, kde je to finančne, technologicky a geologicky opodstatnené. PDV kvantifikuje trajektórie náhrady sivého vodíka a vyžadované investície do výrobných kapacít, infraštruktúry a skladovania.

Zhrnutím, PDV stanovuje štruktúrovaný východiskový rámec a scenáre vývoja, ktoré umožnia Slovensku efektívne naplniť ciele dekarbonizácie, zároveň zvýšiť energetickú bezpečnosť a konkurencieschopnosť pri zohľadnení technologickej a regulačnej neistoty. Dokument slúži ako **podkladový materiál** pre následnú aktualizáciu NVS a súvisiaceho Akčného plánu, pričom poskytuje kvantifikované varianty, míľniky a predpoklady pre informované rozhodovanie verejného aj súkromného sektora.

2.1 CIEĽ DOKUMENTU

Dokument stanovuje priority rozvoja vodíkového ekosystému Slovenskej republiky pre relevantné sektory hospodárstva a určuje jeho vplyv na spoločnosť a budúcnosť krajiny. Zameriava sa na:

- priemysel – petrochemický, chemickú výrobu a hutníctvo,
- energetiku – sezónne úložiská energie, podporné služby a rozvoj OZE,
- dopravu – ťažkú cestnú, železničnú a letectvo,
- teplárenstvo – využitie odpadového tepla pri výrobe vodíka a kogenerácia vodíka zo sezónnych úložísk,
- výrobu zariadení a komponentov pre vodíkový ekosystém.

Určuje hierarchiu priorít, očakávané prínosy a riziká, potrebné regulačné a investičné zásahy a kľúčové predpoklady realizácie. Definuje ukazovatele úspechu a rámec monitorovania s dôrazom na ekonomické, environmentálne a sociálne dopady. Zohľadňuje regionálne rozdiely a princípy spravodlivej transformácie. Výstupom je súbor adresných odporúčaní pre verejné politiky, samosprávy, podniky a výskumno-inovačný ekosystém s cieľom posilniť energetickú bezpečnosť, konkurencieschopnosť a udržateľný rast Slovenska.

2.2 ZAMERANIE ANALYTICKÉHO DOKUMENTU

Dokument vymedzuje rozsah a hranice rozvoja vodíkového ekosystému v Slovenskej republike po roku 2030. Zameriava sa na tri kľúčové oblasti. Optimalizácia využitia verejných zdrojov. Ekonomická racionalita pri plnení cieľov do roku 2035. Určenie sektorových priorít pre najefektívnejšie zavedenie vodíka.

Predmet a rozsah

- Sektory. Priemysel. Energetika. Doprava. Teplárenstvo. Verejný sektor a vybrané služby.
- Reťazec hodnôt. Výroba vodíka. Prenos a distribúcia. Skladovanie. Koncové aplikácie. Normy a certifikácia.
- Geografia. Celé územie SR s regionálnou diferenciáciou a väzbami na trhy a infraštruktúru EÚ.
- Časový horizont. Primárne roky 2030 až 2035 s výhľadom do roku 2050.

Metodický rámec

- Kvantitatívne hodnotenie. LCOH. Celkové náklady na vlastníctvo. Náklady na ušetrenú tonu CO₂.
- Scenáre a citlivostná analýza. Vývoj cien elektriny. Povolenky. Technologická učebná krivka.
- Multikriteriálne posudzovanie. Nákladová efektívnosť. Technická realizovateľnosť. Pripravenosť trhu. Energetická bezpečnosť. Regionálne dopady.
- Overenie. Expertné konzultácie. Benchmarking voči praxi EÚ.

Obmedzenia a predpoklady

- Pracuje sa s verejne dostupnými a poskytnutými dátami a s konzistentnými predpokladmi modelovania.
- Nezahŕňajú sa mikroaplikácie s marginálnym systémovým prínosom.
- Výsledky podliehajú revízii pri zásadnej zmene v regulácii, cenách energií a technologickom pokroku.

Očakávané výstupy

- Prioritizačná mapa opatrení a projektov.
- Rámec pre efektívne nasadenie verejných zdrojov a trhových mechanizmov.
- Návrh sektorových priorít do roku 2035.
- Indikátory monitorovania a odporúčania pre aktualizáciu politiky.

2.3 PRÍSPEVOK VODÍKA PRI RIEŠENÍ SÚČASNÝCH PROBLÉMOV (2030 – 2050)



Environmentálne aspekty

Vodík, najmä ak pochádza z obnoviteľných zdrojov energie, má význam pre zníženie environmentálnej záťaže Slovenska. Umožní postupné obmedzenie spotreby ropy, zemného plynu a uhlia v oblastiach, kde je ich náhrada inými formami energie technicky náročná alebo neefektívna. To sa týka predovšetkým ťažkého priemyslu, energeticky náročných výrobných procesov a časti dopravného sektora.

Prechod na vodík prispeje k zlepšeniu kvality ovzdušia – vytvorením alternatívneho nosiča energie v doprave a priemysle, a neskôr aj pri výrobe tepla, zníži emisie oxidov dusíka, oxidu siričitého a pevných častíc, čo má priamy pozitívny dopad na zdravie obyvateľstva, najmä vo veľkých mestách a priemyselných regiónoch.

Vodíkové technológie môžu zohrávať významnú úlohu aj pri adaptácii na klimatické zmeny. Decentralizované systémy, ktoré kombinujú obnoviteľné zdroje, elektrolyzéry a zásobníky vodíka, poskytujú energetickú bezpečnosť aj počas extrémnych klimatických udalostí, ako sú silné búrky, záplavy alebo suchá, ktoré môžu spôsobiť výpadky elektrickej energie.



Bezpečnostné aspekty

Prioritou by mala byť domáca výroba vodíka z obnoviteľných a nízkouhlíkových zdrojov, čo prispeje k zníženiu energetickej závislosti Slovenska od dovozu fosílnych palív, a tým aj k posilneniu energetickej suverenity. Takýto prístup znižuje zraniteľnosť krajiny voči geopolitickým konfliktom a narušeniam dodávateľských reťazcov. Pri rozsiahlej expanzii vodíkoveho ekosystému nebude možné pokryť dopyt len z domácich zdrojov. Nevyhnutný bude aj diverzifikovaný dovoz vodíka z krajín, kde je jeho výroba výhodnejšia a dovoz je uskutočniteľný z ekonomického, technologického a bezpečnostného hľadiska.

Zároveň je potrebné zohľadniť, že rozsiahla výstavba OZE, elektrolyzérov a sprievodnej infraštruktúry môže dočasne zvýšiť závislosť od dovozu kritických komponentov a materiálov. Na jednej strane sa vďaka rozvoju domácej výroby a diverzifikácii palivovej základne znižuje energetická zraniteľnosť. Na druhej strane sa najmä pri snahe dosiahnuť objemy výroby požadované smernicami EÚ môže zvýšiť technologická a dodávateľská zraniteľnosť, kým nevybudujeme potrebné domáce kapacity a strategické zásoby.

Očakáva sa, že vodík môže slúžiť ako strategická energetická rezerva, ktorá umožní udržiavať dodávky energie pre kritickú infraštruktúru – nemocnice, zariadenia záchranných služieb, dátové centrá či strategické priemyselné podniky – aj v prípade rozsiahlych výpadkov primárnych zdrojov.

Rozvoj domácej výroby, skladovania a distribúcie vodíka zároveň posilní odolnosť energetického systému.



Hospodárske aspekty

Vodík môže byť kľúčovým faktorom transformácie slovenského priemyslu smerom k nízkouhlíkovému až klimaticky neutrálnemu. V sektore hutníctva, chemického priemyslu a spracovania ropy, umožní modernizáciu výrobných procesov, zníženie emisnej náročnosti a splnenie prísnych emisných štandardov Európskej únie.

Vznik nového vodíkoveho sektora otvorí priestor pre rast kompletného hodnotového reťazca – od výrobcov komponentov a zariadení, cez dodávateľov inžinierskych služieb a montážnych prác, až po

prevádzkovateľov infraštruktúry a poskytovateľov servisných služieb. Tým sa vytvorí priestor pre rozvoj domácich podnikov a zníži sa závislosť na zahraničných dodávkach technológií.

Rozvoj vodíkovej infraštruktúry prispeje aj k diverzifikácii energetických nosičov. Stabilnejšie dodávky energie podporia dlhodobú predvídateľnosť nákladov pre podniky, čo je kľúčové pre ich konkurencieschopnosť.



Energetické aspekty

Vodík umožňuje efektívne ukladanie prebytkov energie z obnoviteľných zdrojov v obdobiach nadprodukcie a jej využitie v časoch, keď výroba z týchto zdrojov klesá. Takéto sezónne vyrovnanie výroby a spotreby energie je nevyhnutné pre stabilnú prevádzku energetického systému s vysokým podielom OZE.

Integrácia elektrolyzérův a ďalších vodíkových zariadení do existujúcej infraštruktúry umožní lepšie využívanie obnoviteľnej energie, minimalizuje potrebu odstavovania veterných a solárnych elektrární a zníži straty energie. Vodík môže byť následne využitý nielen na výrobu elektriny a tepla, ale aj ako palivo pre dopravu či surovina pre priemyselné procesy.

Vodíkové riešenia tiež umožnia vznik hybridných energetických systémův, ktoré kombinujú výrobu elektriny, tepla a vodíka, čím sa zvýši flexibilita dodávok energie a zlepši sa ich prispôsobenie meniacim sa potrebám trhu.



Spoločenské aspekty

Rozvoj vodíkoveho hospodárstva na Slovensku môže predstavovať jeden z významných impulzův pre modernizáciu pracovného trhu a technologickú transformáciu spoločnosti. Implementácia vodíkových riešení vytvorí celé spektrum nových pracovných príležitostí – od výskumných a vývojových pozícií, cez inžinierske a projektové činnosti, až po prevádzkové a údržbové profesie. Tento proces posilní dopyt po technických a prírodovedných odboroch, a prinesie potrebu intenzívneho preškolenia existujúcej pracovnej sily, najmä v odvetviach, ktoré prechádzajú dekarbonizáciou.

Vzdelávací systém bude musieť pružne reagovať na tieto požiadavky zavedením nových študijných odborův a modulův zameraných na vodíkovú techniku, bezpečnosť pri manipulácii s vodíkom, jeho výrobu a využitie. Partnerstvá medzi školami, univerzitami a podnikmi umožnia vznik praktických tréningových centier, ktoré podporia nástup mladej generácie do sektora.

Výstavba a prevádzka vodíkových zariadení bude častokrát realizovaná v regiónoch mimo hlavných priemyselných centier, čo prinesie ekonomické impulzy aj menej rozvinutým oblastiam. Tým sa zlepši regionálna inklúzia, znížia sociálno-ekonomické rozdiely a posilní sa celková hospodárska stabilita krajiny.

2.4 PRÍSPEVOK VODÍKA K PLNENIU GLOBÁLNYCH A NÁRODNÝCH CIEĽOV

Tabuľka 1: Príspevok vodíka k plneniu globálnych a národných cieľov

Cieľ	Horizont 2030–2040	Horizont 2040–2050
Energetická bezpečnosť štátu	Rozbeh domácej výroby vodíka z OZE a nízkouhlíkových zdrojov v priemyselných uzloch, prvé prepojenia regionálnych klastrov a vznik strategických zásobníkov pre vyrovnanie sezónnych výkyvov. Zavedenie vodíka do plánov prevádzky v mimoriadnych situáciách, pilotné H2-ready úseky plynovej infraštruktúry a začiatky zmluvných rámcov pre import po Dunaji a cez prihraničné prepojenia. Vznik procedúr kybernetickej a fyzickej bezpečnosti pre elektrolyzéry, zásobníky a plniace stanice.	Plná integrácia vodíka do národnej energetickej architektúry so sústavou potrubných prepojení, veľkokapacitných zásobníkov a prevádzkových pravidiel na úrovni TSO/DSO. Stabilné portfóliá domácich zdrojov doplnené o diverzifikované importné trasy, vrátane európskej vodíkovej chrbtice. Vodík zapojený do mechanizmov krízového riadenia ako štandardný nástroj energetickej bezpečnosti a strategická rezerva pre kritickú infraštruktúru.
Klimatická neutralita	Integrácia vodíka do sektorových plánov dekarbonizácie podľa RED III a Fit for 55; prvé trvalé aplikácie v priemysle, teplárstve a ťažkej doprave. Rozšírené sezónne ukladanie elektriny vo forme vodíka na zvyšovanie podielu OZE, pilotné náhrady fosílnych vstupov v chemickom priemysle a začiatok prechodu rafinérskych procesov v SR na nízkouhlíkové vstupy. Harmonizácia metodík RFNBO a certifikácie pôvodu s národným registrami.	Vodík ako štandardná nízkouhlíková surovina a energetický nosič v sektoroch s ťažkou elektrifikovateľnosťou; postupná transformácia dodávateľských reťazcov na nízkouhlíkové vstupy. Prepojené systémy merania a verifikácie uhlíkovej stopy naprieč priemyslom a dopravou, plné zosúladienie s CBAM ⁹ a európskymi schémami udržateľnosti. Vodík podporuje špičkové riadenie sústavy a vysoký podiel OZE bez nárastu emisií.
Zlepšenie kvality ovzdušia	Postupná substitúcia lokálnych spaľovacích procesov vo vybraných priemyselných zariadeniach a zavádzanie flotíl H2 autobusov, nákladných vozidiel a vlakov na netrakčných tratiach. Zlepšenie kvality ovzdušia v mestských a priemyselných zónach prostredníctvom dekarbonizácie zdrojov tepla a palív a modernizácie logistických uzlov. Monitoring vplyvov H2 projektov a ich integrácia do mestských plánov kvality ovzdušia.	Rozsiahle rozšírenie bezemisných technológií v doprave a priemysle so stabilným poklesom lokálnych znečisťujúcich látok v hlavných aglomeráciách. Vodík bežne využívaný v mestských energetických systémoch, prístavoch a logistických centrách s výrazným prínosom pre zdravie obyvateľstva.
Regionálny rozvoj a modernizácia infraštruktúry	Vznik regionálnych vodíkových klastrov / údolí napojených na lokálne OZE, adaptácia vybraných priemyselných zón a budovanie počiatkovej siete plniacich staníc na TEN-T koridoroch a v mestských uzloch. Prvé lokálne potrubné segmenty, úprava regulačného rámca pre prístup tretích strán a pilotné projekty pri regionálnych letiskách, prístavoch a železničných termináloch. Systémy povoľovania a územného plánovania sa nastavujú pre rýchlejšie schvaľovanie H2 infraštruktúry.	Prepojenie klastrov do celoštátnej a európskej siete s interoperabilitou, štandardizovanými tlakovými úrovňami a kvalitatívnymi parametrami plynu. Modernizované priemyselné a dopravné uzly so službami pre vodíkové dodávky vo veľkých objemoch, vrátane prístavných terminálov na Dunaji a intermodálnych logistických centier. Regionálna ekonomika ťaží z vyššej investičnej atraktivity a naviazaných služieb.
Posilnenie konkurencieschopnosti SR	Slovenské podniky môžu posilniť svoju pozíciu zapojením do európskych hodnotových reťazcov cez výrobu komponentov,	Slovensko môže pôsobiť ako dodávateľ špecifických technológií, know-how a služieb pre priemyselné a energetické H2 projekty v

⁹ CBAM je **Carbon Border Adjustment Mechanism**, mechanizmus EÚ, ktorý zavádza uhlíkové clo na dovoz vybraných komodít z krajín s nižšími environmentálnymi štandardmi, aby sa vyrovnali rozdiely v cene uhlíka a zabránilo presunu emisií mimo EÚ (EK 2023).

	poskytovanie EPC služieb a dlhodobú údržbu technológií. Kľúčová bude systematická spolupráca s výskumnými organizáciami a univerzitami, aktualizácia technických noriem, vzdelávania a bezpečnostných štandardov pre H2 profesie a zavedenie akreditovaných skúšok. V krátkodobom až strednodobom horizonte však môže širšie využívanie vodíka znižovať cenovú konkurencieschopnosť voči mimoeurópskym producentom využívajúcim lacnejšie fosílné vstupy, a to do času, kým cena emisných povoleniek výraznejšie nevzrastie a plnohodnotne nenabehne CBAM. Rizikom sú vyššie kapitálové a prevádzkové náklady, nedostatok kvalifikovanej pracovnej sily a napäté dodávateľské reťazce. Zmiernenie týchto rizík si vyžiada prechodné investičné a prevádzkové mechanizmy podpory, prioritizáciu aplikácií s najvyššou pridanou hodnotou na kilogram vodíka, dôraz na efektívnosť, digitalizáciu a štandardizáciu a stabilné rámce pre dlhodobé zmluvy na dodávku bezemisnej elektriny a garancie pôvodu. Tým sa zvýši pravdepodobnosť, že rozvoj vodíkových riešení posilní konkurencieschopnosť slovenských firiem.	EÚ. Rozvinuté sú servisné ekosystémy a školiťské kapacity. Refazec vodíka profituje z preferencií odberateľov citlivých na uhlíkovú stopu a z plnej kompatibility so schémami EÚ. Technologický pokrok vo zvyšovaní efektivity elektrolýzy a znižovaní spotreby vzácnych kovov zároveň prispieva k obmedzeniu závislosti od dodávok z tretích krajín. Rozvinutá podpora dodávateľských vzťahov a šírenie skúseností. Slovensko tak získava stabilné miesto v dodávateľských reťazcoch s vyššou pridanou hodnotou a dlhodobými kontraktmi.
--	--	--

3 ZHODNOTENIE VÝCHODISKOVÉHO STAVU

Kapitola 3 poskytuje komplexné zhodnotenie východiskového stavu vodíkoveho hospodárstva v SR, pričom analyzuje energetické, geografické a priemyselné špecifiká krajiny a ich vplyv na potenciál výroby a využitia vodíka. Posudzuje stav energetickej infraštruktúry a obnoviteľných zdrojov vrátane jadrovej a plynovej energetiky, ako aj ich schopnosť integrácie do vodíkovej ekonomiky. Detailne rozoberá jednotlivé segmenty hodnotového reťazca – výrobu, distribúciu, skladovanie a spotrebu vodíka – spolu s transpozíciou cieľov EÚ do národného kontextu. Súčasťou kapitoly je SWOT analýza identifikujúca silné a slabé stránky, príležitosti a riziká, ako aj medzinárodné porovnanie pozície Slovenska v rámci EÚ a susedných štátov podľa kľúčových ukazovateľov rozvoja vodíkoveho sektora.

3.1 ENERGETICKÉ, GEOGRAFICKÉ A PRIEMYSELNÉ ŠPECIFIKÁ SR

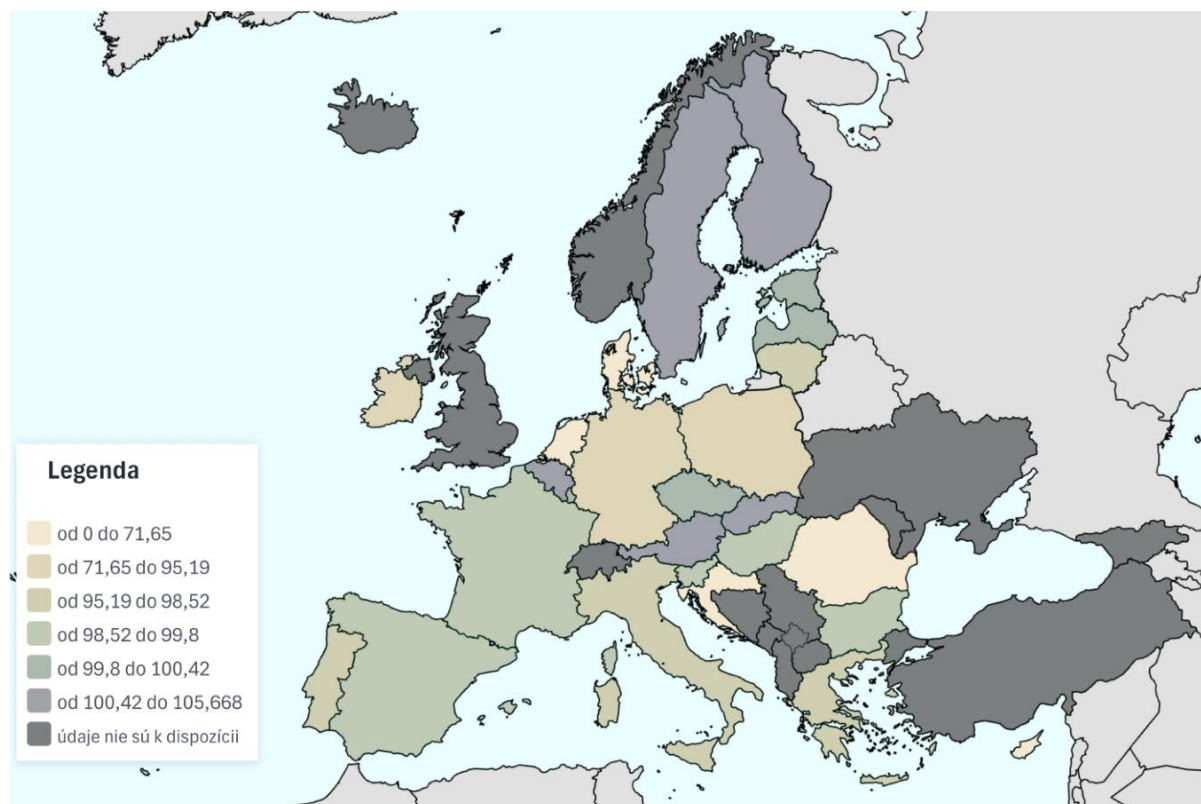
Zhodnotenie prírodných podmienok, existujúcich energetických tokov a regionálnych rozdielov ovplyvňujúcich potenciál výroby a využitia vodíka.

Geografické podmienky na Slovensku ponúkajú mix výhod a výziev pre rozvoj vodíkoveho hospodárstva. Predpokladom pre rozvoj vodíkoveho hospodárstva na Slovensku je využívanie hlavne obnoviteľného a nízkoemisného vodíka vyrobeného elektrolýzou vody pomocou elektriny z obnoviteľných a bezemisných zdrojov elektriny.

Slovenská republika je vzhľadom na takmer žiadne domáce zdroje výlučne závislá od dovozu fosílnych palív. Vlastná ťažba ropy a zemného plynu pokrýva len zanedbateľnú časť spotreby, pričom uhlie má obmedzený potenciál a jeho využívanie sa postupne utlmuje.

Podľa údajov [Eurostatu](#) dosahovala **celková energetická dovozná závislosť Slovenska v roku 2023 približne 57,732 %**, čo je rovnako ako priemer Európskej únie 58,272 %, avšak pri jednotlivých komoditách je závislosť diametrálne rozdielna:

- [ropa](#): dovozná závislosť **103,635¹⁰ %**,
- [zemný plyn](#): dovozná závislosť **105,668 %**, najvyššia zo všetkých krajín EÚ
- [uhlie](#): 98,738 % dovozná závislosť.



Obrázok 4: Mapa závislosti SR na dovoze zemného plynu (2023)

Zdroj: [Eurostat](#)

Celkovo je energetická bezpečnosť Slovenska výrazne determinovaná externými dodávkami, najmä ropy a zemného plynu. To zdôrazňuje potrebu systematickej diverzifikácie zdrojov, náhrady fosílnych plynov obnoviteľnými alebo nízkoemisnými plynmi (vodík, biometán), rozvojom obnoviteľných a nízkouhlíkových technológií (OZE, jadrová energetika) a prehĺbovania integrácie do európskeho energetického trhu.

NÍZKOEMISNÉ ZDROJE ENERGIE

JADROVÉ ZDROJE

Hlavným zdrojom nízkouhlíkovej a stabilnej elektriny na Slovensku sú jadrové zdroje. Elektrárne v Jaslovských Bohuniciach a Mochovciach pokrývajú významnú časť domácej spotreby. Hoci jadro nie je OZE, môže zásadne prispieť k výrobe nízkouhlíkového vodíka a k zvýšeniu využitia elektrolýzérův v čase dostupnosti lacnejšej elektriny (mimo špičky). Je nutné poznamenať, že

¹⁰ >100 % znamená, že čisté dovozy prevýšili domácu spotrebu a časť paliva skončila v zásobách (tvorba zásob; prípadne menšie štatistické korekcie). Pri 105.668 % to znamená, že čisté dovozy boli o 5.668 % vyššie než hrubá disponibilná energia danej komodity v danom roku. Negatívna hodnota by znamenala čistého exportéra.

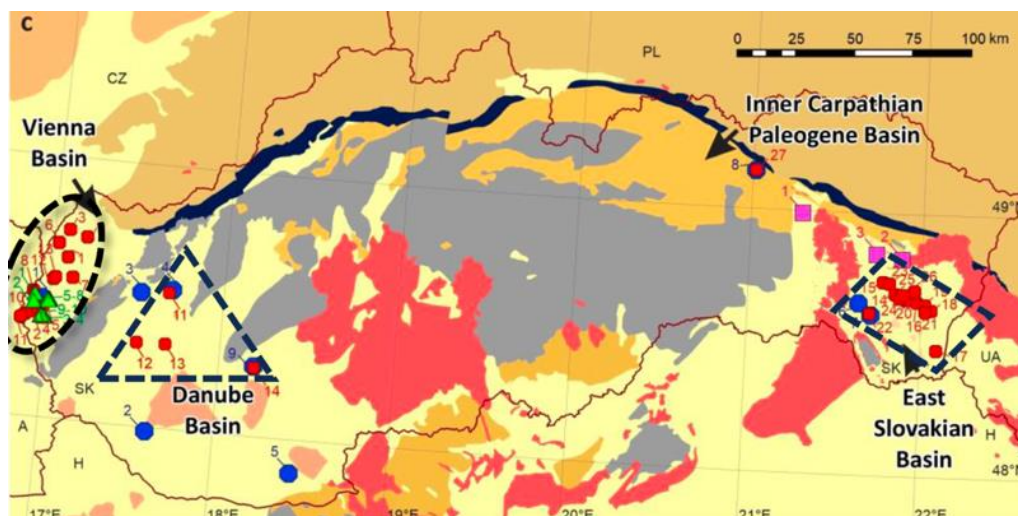
jadrová energia zatiaľ nefiguruje v návrhu Európskej komisie DA LCF, ako oprávnený zdroj pre výrobu nízkoemisného vodíka. EK avizuje prehodnotiť podmienky DA LCF v roku 2026, najneskôr v 2028. Pre konkurencieschopnosť vodíka je rozhodujúca nízka cena vstupnej elektriny. Existujúce jadrové bloky majú nízke variabilné náklady, no celková cena jadrovej elektriny je determinovaná vysokými fixnými investičnými a prevádzkovými nákladmi, najmä pri nových projektoch. Základným poslaním jadrovej výroby zostáva krytie spotreby priemyslu a domácností. Jej využitie na elektrolytickú výrobu vodíka je vhodné najmä ako doplnok na stabilizáciu prevádzky elektrolyzérov s ohľadom na cenu elektriny a uhlíkovú stopu výsledného vodíka. Rastúci dopyt po elektrine pre výrobu vodíka môže byť po uznaní jadrovej energie pre výrobu vodíka čiastočne uspokojený tretím a štvrtým blokom Mochoviec v prípade zahrnutia vodíka do rozvojových plánov prevádzkovateľov jadrových blokov.

Významnejšie pokrytie nových potrieb si však vyžiada výstavbu ďalšieho jadrového zdroja, ktorého uvedenie do prevádzky sa predpokladá až po roku 2040. V súčasnosti niekoľko slovenských popredných spoločností, ako Jadrová energetická spoločnosť Slovenska (JESS), Jadrová a vyradovacia spoločnosť (JAVYS) alebo Slovenské elektrárne (SE), pracuje na vývoji novej technológie malých modulárnych reaktorov, ktoré by mali v budúcnosti doplniť a prípadne aj nahradiť potrebu novej výstavby technicky a prevádzkovo náročných veľkých jadrových reaktorov. Táto inovatívna technológia, ktorej vývoj je momentálne vo fáze prototypov, môže poskytovať široké množstvo výhod oproti klasickým jadrovým reaktorom a v budúcnosti zároveň napomôcť k aktívnejšiemu rozvoju vodíkovej technológie. Malý modulárny reaktor bude mať voči klasickej jadrovej elektrárni a voči OZE viaceré výhody, predovšetkým nižšie investičné náklady, väčšiu variabilitu výroby a jej lepšie prispôsobenie sa spotrebe, väčší kapacitný faktor (80–95 %) a škálovateľnosť. Na zabezpečenie dostatočných výrobných kapacít jadrových zdrojov pre výrobu plánovaných objemov LCH je preto nevyhnutné zaviesť systém podpory (podporný mechanizmus) pre budovanie nových jadrových zdrojov, predovšetkým spomínaných malých modulárnych reaktorov.

Do tohto obdobia bude nevyhnutné posilňovať aj ostatné nízkoemisné a bezemisné zdroje vrátane OZE.

FOSÍLNE ZDROJE S CCS

Výroba nízkoemisného vodíka zo zemného plynu s CCS využíva parný reforming metánu alebo autotermálnu reformáciu s následným zachytávaním a ukladaním CO₂. Pri vysokom zachytení a nízkych únikoch metánu môže byť výsledná uhlíková stopa konkurencieschopná voči elektrolytickému vodíku z nízkouhlíkovej elektriny. Pri vyšších únikoch pri ťažbe a preprave a nižšej efektívnosti zachytávania rýchlo rastie. CCS zvyšuje spotrebu energie, potrebu vody a kapitálové náklady, no umožňuje využiť existujúcu plynárenskú a vodíkovú infraštruktúru a škálovať výrobu v krátkodobom horizonte. Kľúčové sú robustné certifikačné schémy, nezávislé meranie a overovanie únikov metánu, dlhodobá integrita úložísk a zabezpečené kapacity pre dopravu a uskladnenie CO₂. V podmienkach EÚ je rozhodujúca zhoda s požiadavkami na nízkouhlíkové palivá a s limitmi emisií životného cyklu podľa DA LCF a nadväzujúcich delegovaných aktov. V podmienkach Slovenska je perspektívna výroba vodíka upriamená do existujúcich prevádzok v rafinérii a chemickej výrobe. Podzemné uskladnenie CO₂ je perspektívne v totožných lokalitách ako uskladnenie vodíka v okolí Trnavy na Záhorí a Východoslovenskej nížine pri Trebišove, ako znázorňuje nasledovná mapa.



Obrázok 5: Potenciálne lokality uskladnenia H₂ alebo CO₂ v geologických formáciách SR

Oblasti ohraničené prerušovanou čiarou sú potenciálne vhodné na uskladnenia H₂ alebo CO₂ v geologických formáciách

Zdroj: nafta, a.s., projekt HENRI (2025)

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Kľúčovou podmienkou konkurencieschopnej výroby obnoviteľného vodíka je dostatok lacnej elektriny z OZE. Potenciál rozvoja obnoviteľných zdrojov na Slovensku limitujú geografické a morfológické faktory – hornatý a zalesnený terén, chránené územia a vyššia hustota obydľí ako aj súčasné a technologické limity premeny primárnej slnečnej energie na elektrickú pri moduloch s efektívnosťou 20–23%, stratách na meničoch a systéme celkovo 17–19%, využitie 900 až 1250 hodín v roku (kapacitný faktor CF 10–14%). Pri vetre je efektívnosť premeny 35–45% a využitie v slovenských podmienkach 1700 až 2800 hodín v roku (kapacitný faktor CF 19–32%). Nezanedbateľný je aj záber územia kde na 1 MW inštalovaného výkonu FV elektrárne na voľnej ploche je potrebný pozemok o výmere najmenej 1 ha. Napriek tomu na Slovensku zostáva značný nevyužitý potenciál, ktorý je potrebné rozvíjať prostredníctvom moderných prístupov k príprave, realizácii a prevádzke projektov.

Solárna energia

Najvyššia intenzita slnečného žiarenia je na juhu Slovenska (Podunajská a Východoslovenská nížina), čo vytvára optimálne podmienky pre fotovoltaické elektrárne. Pre ich efektívne využitie je potrebná kombinácia so skladovaním energie alebo s inými zdrojmi. Solárna energia je zároveň vhodná pre decentralizovanú výrobu vodíka určeného na lokálne využitie, napríklad v doprave.

Veterná energia

Potenciál vetra je vzhľadom na geomorfológiu a chránené územia obmedzený. Najlepšie podmienky sú na horských hrebeňoch, avšak prakticky realizovateľné projekty sú skôr v nížinách a pahorkatinách západného a južného Slovenska. V kombinácii so solárnou energiou, úložiskami a elektrolyzérmi môže veterná energia prispieť k stabilizácii výroby vodíka.

Geotermálna energia

Slovensko má geotermálne zdroje najmä vo Východoslovenskej a Podunajskej nížine. Zatiaľ sa však využívajú v obmedzenom rozsahu a ich zapojenie do výroby vodíka limituje najmä ekonomická efektívnosť. Geotermálne zdroje na Slovensku majú nízky teplotný

gradient (nízkoteplotné zdroje), preto sú vo využívaní vhodnejšie na výrobu tepla než na výrobu elektrickej energie a znej vodíka.

Hydroenergetický potenciál

Slovensko disponuje významným hydroenergetickým potenciálom na riekach Dunaj, Váh a Hron. Vodné elektrárne sú stabilným a spoľahlivým zdrojom vhodným na napájanie elektrolyzéro. Modernizácia malých vodných elektrární (MVE), výstavba väčších zdrojov (napr. VD Sereď) a modernizácia existujúcich vodných elektrární (VE) (napr. Vážska kaskáda a VE Gabčíkovo) môže zvýšiť ich výrobnú kapacitu aj pre účely výroby vodíka. Najväčšie zdroje, ako Vodné dielo Gabčíkovo, už dnes zohrávajú kľúčovú úlohu. Inštalácia elektrolyzéro v ich blízkosti by umožnila flexibilnejšie využívanie cenových výkyvov na trhu s elektrinou a produkciu RHNBO pre priemysel a dopravu. Vodohospodárska Výstavba, š.p. pripravuje projekt elektrolyzy pri Vodnom diele Gabčíkovo so zámerom využívať existujúci OZE na výrobu vodíka s možnosťou financovania aj z modernizačného fondu. Prípadne existujúce OZE k novým elektrolyzéro je umožnené do konca roka 2027. Vodohospodárska výstavba, š.p. tiež ohlásila investičný projekt vybudovania nového energetického zdroja – [Vodná elektráreň Čunovo II.](#)

Podpora rozvoja týchto aj iných projektov zo strany štátu na zvýšenie inštalovaného výkonu z vodných elektrární, či už cestou výstavby nových zdrojov, ako aj úložísk elektrickej energie vo forme potenciálnej energie vody v prečerpávacích vodných elektrárnach (napríklad nová PVE Málinec alebo PVE na rieke Ipeľ), alebo modernizácie existujúcich vodných zdrojov (napríklad ako PVE Čierny Váh), je a bude kľúčová pre dosiahnutie stanovených cieľov v oblasti rozvoja OZE a schopnosti vyrábať požadované množstvo RFNBO vodíka.

POTENCIÁL VÝSKYTU PRÍRODNÉHO VODÍKA

Prírodný, tzv. „biely“ alebo „geologický“, vodík predstavuje novú perspektívu získavania vodíka priamo z geologických procesov v zemskej kôre. Táto forma vodíka je považovaná za jednu z najčistejších a environmentálne najšetrnejších alternatív, s potenciálom stať sa ekonomicky najvýhodnejším primárnym zdrojom energie. Najnovšie zistenia z medzinárodného výskumu naznačujú, že prírodný vodík je dostupný vo významných objemoch a jeho získavanie môže byť technicky menej náročné a environmentálne priaznivejšie než súčasné spôsoby výroby ([IEAGHG](#)).

Na území Slovenska zatiaľ neprebehol systematický prieskum prírodného vodíka, existujú však historické dôkazy z hlbokých vrtov z 60.–70. rokov 20. storočia. Analýzy potvrdili prítomnosť vodíka vo viacerých panvách:

- **Viedenská panva (Záhorská nížina)** – obsah H_2 až 70 % v plynch do hĺbky 1000 m, do 20 % vo väčších hĺbkach (4,5 km).
- **Dunajská panva (Podunajská nížina)** – lokálne výskyty s obsahom 10–70 %.
- **Východoslovenská panva** – obsah do 3,5 %.
- **Hornonitrianska oblasť** – do 4 %.
- **Severné Slovensko (sedimentárne panvy)** – anomálne hodnoty 1–6 %.

Tieto údaje naznačujú, že Slovensko má potenciál výskytu prírodného vodíka, ktorý si vyžaduje detailný prieskum nie len ložísk ale aj spôsobu ťažby a distribúcie. Tejto problematike sa venuje [SAV Ústav vied o zemi](#).

VODÍK Z ODPADU

Slovensko v roku 2023 [vyprodukovalo](#) 2 560 970 t komunálneho odpadu. Reziduálny zmesový komunálny odpad dosahuje približne jeden milión t ročne (odhad z hodnoty 189 kilogramov na obyvateľa v roku 2022).

Pre technické scenáre zhodnotenia je realistické uvažovať zachytenie 30 až 60 % reziduálneho zmesového komunálneho odpadu, teda približne 0,30 až 0,61 milióna t ročne, v súlade s [modelovaním odpadového hospodárstva](#) a cieľmi [politiky odpadov](#).

Reziduálny odpad v komunálnom hospodárstve znamená zvyškový prúd po triedení pri zdroji. Ide najmä o obsah čiernych nádob, teda zmesový komunálny odpad, ktorý stále obsahuje aj triediteľné zložky, vrátane biologicky rozložiteľných zložiek a plastov.

Podiel biologicky rozložiteľných zložiek v zmesovom komunálnom odpade sa pohybuje približne okolo jednej tretiny. Analýzy z rokov 2020 až 2023 ukazujú, že v bytových domoch tvorí kuchynský bioodpad približne 30 % a v rodinných domoch približne 16 %, pričom záhradný bioodpad je v bytových domoch zanedbateľný a v rodinných domoch približne 16 %. Spolu to dáva približne 30 až 32 % biologicky rozložiteľného odpadu ([Inštitút environmentálnej politiky 2021](#)).

Postup odhadu vychádza z reprezentatívnych analýz ([IEP](#)) zloženia zmesového komunálneho odpadu na Slovensku, ktoré uvádzajú podiel biologicky rozložiteľných zložiek približne 1/3 a podiel plastových zložiek približne 11–12 %. Tieto podiely sa aplikovali na celkové ročné množstvo zmesového komunálneho odpadu odhadnuté z hodnoty 189 kilogramov na obyvateľa a populácie približne 5,4 milióna, čo predstavuje približne 1 milión t ročne. Násobením podielov vychádza biologicky rozložiteľná zložka približne 300–320 tisíc t ročne a plastová zložka približne 110–120 tisíc t ročne. Výsledok je orientačný a odráža národné priemery a intervaly, ktoré sa menia podľa zástavby, sezóny a metodiky merania. Hodnoty je potrebné každoročne spresňovať podľa údajov Informačného systému odpadového hospodárstva a Štatistického úradu Slovenskej republiky.

- [Spľňovanie](#) reziduálneho zmesového komunálneho odpadu s následnou konverziou plynu na vodík a jeho oddelením dosahuje približne 60 až 90 kilogramov vodíka na tonu vstupu; z uvedeného toku to predstavuje približne 18 až 55 tisíc t vodíka ročne.
- [Pyrolýza](#) zvyškových nerecyklovateľných plastov s následnou reformáciou plynov a kvapalín typicky prináša približne 80 až 100 kilogramov vodíka na tonu plastov; pri plastovej zložke okolo pätnástich % z reziduálneho zmesového komunálneho odpadu (teda približne 0,15 milióna t ročne) ide o približne 13 až 16 tisíc t vodíka ročne.
- [Plazmová pyrolýza](#) je zatiaľ prevažne v pilotnej fáze a z rovnakého plastového toku by priniesla skôr jednotky tisíc t vodíka ročne, pričom vyžaduje podstatne vyššiu špecifickú spotrebu elektriny než bežné tepelné procesy.

ENERGETICKÁ INFRAŠTRUKTÚRA A SKLADOVANIE

Slovensko má rozsiahlu plynovodnú sieť, ktorá je využívaná na tranzit a distribúciu zemného plynu. Táto infraštruktúra predstavuje významný potenciál pre distribúciu a skladovanie vodíka. Prebudovanie existujúcich plynovodov na vodík alebo jeho zmesi so zemným plynom je ekonomicky efektívnejšie než budovanie novej vodíkovej siete.

Elektrická prenosová sústava je dimenzovaná na veľké centrálné zdroje (jadrové a vodné elektrárne), ktoré sú prevažne situované v západnej časti krajiny. Splnenie cieľov Európskej únie v oblasti výroby RFNBO vodíka si však bude vyžadovať masívny nárast nových výrobných kapacít (OZE, jadro) a rovnako tak kapacít elektrolyzérov. Ani jedna z týchto požiadaviek nebude splnená bez výrazných investícií smerujúcich do zvyšovania prenosových kapacít elektrických sústav a rozvodní. V prípade, že sa uvažuje o výrobe LCH v blízkosti existujúcich a plánovaných jadrových zdrojov, budú potrebné rozsiahle investície na modifikáciu kritických elektrických rozvodní, ako sú Veľký Ďur, Bošáca, Križovany a viaceré ďalšie. Bez týchto investícií do prenosových uzlov bude pripájanie nových elektrolyzérov do elektrickej sústavy

obmedzené. Integrácia elektrolyzéro a decentralizovaných zdrojov si tak vyžiada rozsiahlu modernizáciu, najmä pre umožnenie obojsmerných tokov energie.

Významným obmedzením je nedostatok skladovacích kapacít pre vodík a absencia rozsiahlej siete plniacich staníc. Rozvoj týchto prvkov si vyžiada značné investície.

Regionálne rozdiely

- **Západné Slovensko** – ekonomické a priemyselné centrum s najväčším dopytom po energii. Vysoký potenciál pre výrobu a využitie vodíka v priemysle a doprave vďaka blízkosti Mochoviec, Bohuníc a Vodného diela Gabčíkovo. Ideálne prostredie pre pilotné projekty vodíkovej mobility.
- **Stredné Slovensko** – tradícia hutníctva a drevospracujúceho priemyslu, potenciál OZE obmedzený (okrem hydroenergetiky na Váhu). Priemyselné podniky môžu byť významnými odberateľmi vodíka dovážaného zo západu alebo východu.
- **Východné Slovensko** – región s ekonomickými a sociálnymi výzvami, ale so silnými energeticky náročnými podnikmi. Veľký potenciál pre využitie vodíka, najmä z OZE, čo by mohlo podporiť hospodársky rozvoj a zamestnanosť.

Vodné zdroje pre elektrolýzu

Vodík vyrábaný elektrolýzou vody vyžaduje dostatočné vodné zdroje. Slovensko disponuje bohatou riečnou sieťou a významnými podzemnými vodnými zdrojmi, čo je dôležitý predpoklad pre rozvoj tejto technológie.

Na výrobu 1 kg vodíka elektrolýzou je potrebných 11 až 24 l vody¹¹. Z toho 9 l sa spotrebuje ako surovina na výrobu vodíka v elektrolyzéro a zvyšok v pridružených zariadeniach, ako napríklad v chladičoch. Výroba 47 tis. t vodíka ročne v elektrolyzéroch (splnenie cieľa RED III) si vyžaduje priemerne 59 – 129 m³ vody za hodinu, čo predstavuje prítok 16 až 36 l / s.

ZÁVER

Východiskovou situáciou pre Slovensko je vysoká dovozná závislosť na rope, plyne a uhlí. Slovensko má potenciálne dobré predpoklady pre nízkoemisný vodík za predpokladu, že jadro bude v roku 2028 uznané ako oprávnený zdroj, a technológie CCS a geologické úložiská CO₂ preukážu pokles celoživotných emisií pod 28,2 g CO₂ / MJ pri výrobe vodíka zo zemného plynu, resp. zmesi s biometánom. OZE majú regionálne limity, ale aj nevyužitý potenciál najmä na juhu krajiny. Existujúca plynárenská sieť je významným aktívom. Kľúčové budú investície do výroby, infraštruktúry a do regionálne cieleného dopytu v priemysle a doprave.

Na splnenie cieľov Európskej únie v oblasti výroby RFNBO vodíka si však bude vyžadovať masívny nárast nových výrobných kapacít (OZE, jadro) a rovnako tak kapacít elektrolyzéro. Ani jedna z týchto požiadaviek nebude splnená bez výrazných investícií smerujúcich do zvyšovania prenosových kapacít elektrických sústav a rozvodní. V prípade, že sa uvažuje o výrobe LCH v blízkosti existujúcich a plánovaných jadrových zdrojov, budú potrebné rozsiahle investície na modifikáciu kritických elektrických rozvodní, ako sú Veľký Ďur, Bošáca, Križovany a viaceré ďalšie. Bez týchto investícií do prenosových uzlov nebude možné pripájať nové elektrolyzéry do elektrickej sústavy.

¹¹ International Renewable Energy Agency & Bluerisk. (2023, December). *Water for hydrogen production* (IRENA & Bluerisk report) [PDF]. Abu Dhabi, United Arab Emirates. ISBN 978-92-9260-526-1. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Dec/IRENA_Bluerisk_Water_for_hydrogen_production_2023.pdf (Accessed 2025-10-28)

Implikácie pre možný rozvoj.

- Diverzifikovať zdroje v procesoch, kde je to technicky možné a ekonomicky efektívne, nahrádzať fosílny plyn nízkoemisnými plynmi, najmä vodíkom a biometánom. Prioritou číslo 1 sú ťažko dekarbonizovateľné priemyselné procesy, napríklad vysokogradientné teplo, hutníctvo, chemický priemysel a rafinérie. Prioritou číslo 2 je doprava so zameraním na ťažkú, diaľkovú a mestskú hromadnú dopravu. Prioritou číslo 3 je vykurovanie, a to len tam, kde neexistujú efektívnejšie alternatívy a je preukázaná ekonomická efektívnosť.
- Preskúmať možnosti využitia jadrových a veľkých vodných zdrojov na báзовú prevádzku elektrolyzéro v procesoch, kde je to technicky možné a ekonomicky efektívne. Po roku 2030 až 2040 zvažovať nasadenie vysokoteplotných elektrolyzéro s využitím odpadového tepla z jadrových elektrární najmä tam, kde to prinesie najvyššiu efektívnosť.
- Modernizovať elektrickú sústavu v rozsahu potrebnom na akceleráciu fotovoltiky na juhu Slovenska a dopĺňať ju veternou energiou a akumuláciou.
- Preskúmať alternatívne prístupy k umiestňovaniu elektrolyzéro, a to buď
 - pri zdrojoch jadrovej a vodnej energie - čo by si vyžadovalo investície do potrubí a transportných kompresorov pre vodík alebo
 - priamo v miestach spotreby - čo by si vyžadovalo investície do distribučnej siete elektrickej energie medzi zdrojom energie a miestom spotreby vodíka
- Preskúmať možnosti využitia geologického vodíka, avšak až po systematickom prieskume lokalít s historickými nálezmi a zhodnotením technickej a ekonomickej realizovateľnosti.
- Rozvinúť energetické zhodnotenie odpadu v procesoch, kde je to technicky možné a ekonomicky efektívne. Uprednostniť splyňovanie a pyrolýzu reziduálnych a nerecyklovateľných tokov, ktoré môžu priniesť rádovo desiatky tisíc t vodíka ročne.
- Pripraviť plynárenské siete na postupné využívanie vodíka a jeho zmesí, tam kde to dáva technický a ekonomický zmysel. Budovať skladovacie a plniace stanice prioritne v regiónoch s najvyšším potenciálom odberu.
- Rozvíjať regionálne klastre tak, aby západné Slovensko slúžilo pre pilotné projekty a výrobu, stredné a východné Slovensko pre odber najmä v hutníctve a nových investíciách. Uplatňovať postupnosť krokov podľa regionálnych špecifik a možností trhu.
- Preferovať lokality využívajúce existujúce zdroje vody a zabezpečiť, aby boli tieto procesy technicky a ekonomicky efektívne.
- Zohľadniť makroekonomický prínos substitúcie dovážaného fosilného plynu domácim vodíkom. Pri posudzovaní brať do úvahy multiplikačné efekty na priemysel, zamestnanosť a regionálny rozvoj.

3.2 STAV ENERGETICKEJ INFRAŠTRUKTÚRY A OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV

PRENOSOVÁ SÚSTAVA ELEKTRINY

Prenosovú sústavu Slovenskej republiky prevádzkuje [SEPS, a.s.](#) ktorá zabezpečuje prenos elektriny na napäťových hladinách 400 kV a 220 kV a dodávku do regionálnych distribučných sústav prostredníctvom uzlových transformácií 400/110 kV a 220/110 kV. Rozvojové projekty sa sústreďujú na elimináciu úzkych miest, na postupnú transformáciu 220 kV na 400 kV a na zvyšovanie transformačných výkonov v západnej časti krajiny. Významným prvkom zosilnenia a digitalizácie prevádzky je cezhranične koordinovaný projekt [Danube InGrid](#), ktorý podporuje vyššie kapacity pre pripojenie nových zdrojov a odberov. Z pohľadu integrácie do vodíkovej ekonomiky prenosová sústava poskytuje vhodné podmienky pre pripojenie veľkých elektrolyzéro v blízkosti uzlov 400/110 kV kde je

k dispozícii dostatočná krátkodobá aj dlhodobá stabilita, a kde môžu elektrolyzéry plniť aj úlohu flexibilného odberu a podporných služieb.

REGIONÁLNE DISTRIBUČNÉ SÚSTAVY

Regionálne distribučné sústavy (DS) [Západoslovenská distribučná](#), [Stredoslovenská distribučná](#) a [Východoslovenská distribučná](#) zverejňujú prehľady voľných kapacít na napäťových hladinách 110 kV a 22 kV a posudzujú žiadosti o pripojenie individuálne, s dôrazom na kvalitu napätia a dostupnú transformačnú rezervu. Reálna pripojiteľnosť je lokálne limitovaná tvrdosťou uzlov a stavom vedení, a môže si vyžadovať doplnkové technické opatrenia na strane žiadateľa. Cenové a kapacitné pravidlá sú rámcované reguláciou [ÚRSO](#) a zmluvnými parametrami rezervovanej kapacity. Z pohľadu integrácie do vodíkovej ekonomiky DS umožňujú umiestňovanie elektrolyzérov v priemyselných uzloch s pripojením na 110 kV alebo 22 kV, pričom vhodné je uvažovať o flexibilnom profile odberu, lokálnej akumulácii a o hybridnom napájaní z obnoviteľných zdrojov na minimalizáciu sieťových dopadov.

OBMEDZENIA A ŠPECIFIKÁ PRIPOJENIA ELEKTROLYZÉROV

Elektrolyzéry predstavujú veľké a dynamické zaťaženie, ktoré ovplyvňuje napäťové pomery, jalový výkon a harmonické zložky, a preto sa pri výkonoch v desiatkach megawattov preferuje priame pripojenie na 110 kV v uzlovej blízkosti transformácií 400/110 kV alebo 220/110 kV. Prevádzkovatelia distribučných sústav typicky vyžadujú riadenie nábehových a útlmových rýchlostí, nastavenie účinníka, kompenzáciu jalového výkonu a filtráciu harmonických, pričom dostupnosť výkonu je limitovaná miestnou sieťovou rezervou. Z pohľadu integrácie do vodíkovej ekonomiky dokážu elektrolyzéry fungovať ako flexibilný dopyt, ktorý absorbuje prebytky zo siete, znižuje obmedzenia výroby a prispieva k stabilizácii frekvencie, pričom vznikajúci kyslík a teplo možno regionálne materiálovo a teplárensky zhodnotiť.

PLYNOVÉ SIETE

Prenosovú sústavu zemného plynu prevádzkuje [eustream](#) ktorý zabezpečuje cezhraničné prepojenia so všetkými susednými krajinami a disponuje paralelnými tranzitnými vedeniami s kompresorovými stanicami. V poslednom období došlo k presmerovaniu tokov s vyšším využitím interkonektorov v rámci Európskej únie, pričom sa pripravujú scenáre konverzie vybraných trás na čistý vodík v kontexte projektov národnej vodíkovej chrbtice a stredoeurópskeho koridoru. Na úrovni distribúcie spoločnosť [SPP – distribúcia](#) deklaruje kompatibilitu častí siete s nízkymi podielmi vodíka v zmesi a testuje technické a bezpečnostné aspekty zavádzania vodíkových zmesí v pilotných lokalitách v spolupráci s certifikačnými orgánmi ako [TÜV SÜD Slovakia](#). Z pohľadu integrácie do vodíkovej ekonomiky prenosová sieť vytvára priestor pre budúce dedikované vodíkové trasy a medzinárodnú prepravu, zatiaľ čo distribučná sieť umožní krátkodobé miešanie do plynárenského systému a regionálnu distribúciu nízkopodielových zmesí do obdobia plnej separácie vodíka. Bolo by vhodné v rámci EÚ informovať partnerov o projektoch tak, aby bola čo najrýchlejšia realizácia vzájomných prepojení a kompatibilita.

Budúca vodíková preprava. [eustream](#) rozvíja projekt Slovak Hydrogen Backbone ako súčasť PCI 10.4. Paralelne beží iniciatíva [Central European Hydrogen Corridor](#) z UA cez SR do ČR a DE. Ide o prípravu konverzií a nových úsekov pre čistý vodík.

Distribučná sústava plynu a H₂-ready stav. [SPP – distribúcia](#) v roku 2024 získala certifikáciu od TÜV SÜD Slovakia. Potvrdzuje kompatibilitu vysokotlakovej siete a regulačných staníc pre 5 % H₂ v zmesi a nízko- a strednotlakových sietí do 10 % H₂. Pilotné miešanie 10 % H₂ pre viac ako 300 domácností prebehlo v Blatnej na Ostrove v roku 2022. Očakávané prvé toky s nízkym podielom H₂ z tranzitu sú v strednodobom horizonte do 2 %.

OBNOVITELNÉ ZDROJE

Slovenská elektroenergetika je v súčasnosti založená predovšetkým na jadrovej a vodnej energii. Podiel jadra v roku 2024 dosiahol 61,6 % a vodná energia predstavovala dominantný zdroj medzi OZE s podielom 17,9 % na celkovej výrobe elektriny. Z pohľadu výroby je po vodnej energii druhým najdôležitejším zdrojom biomasa a bioplyn s podielom 4,9 %. Rozvoj týchto OZE sa prakticky zastavil z dôvodu zníženia prevádzkovej podpory a vysokých prevádzkových nákladov. Po tom, ako bol v roku 2021 uvoľnený stop stav na pripájanie väčších OZE, sa obnovil rozvoj v oblasti výstavby fotovoltických elektrární, ktoré na konci roka 2024 prekročili inštalovaný výkon 1,1 GW. Na Slovensku nie je aktuálne v prevádzke žiadna geotermálna elektrárňa. Veterná energetika je zatiaľ využívaná len marginálne prostredníctvom 5 turbín s celkovým inštalovaným výkonom 3 MW.

S výhľadom **do roku 2050 má Slovensko potenciál významne rozšíriť kapacity najmä v oblasti fotovoltických a veterných elektrární.** Ostatné druhy OZE majú obmedzené technické, resp. ekonomické podmienky na ďalší rozvoj. V oblasti vodnej energetiky bude zvyšovanie výroby postavené hlavne na rekonštrukcii a modernizácii existujúcich zdrojov. Pri bioenergetických zdrojoch sa naopak očakáva zníženie výkonu zdrojov kvôli transformácii časti existujúcich bioplynových staníc na výrobu biometánu. Geotermálne zdroje pri súčasnom stave technológií a investičných nákladov si ich výstavba vyžaduje významnú finančnú podporu. Navyše, geologické podmienky Slovenska neposkytujú významný potenciál na výrobu elektriny z geotermálnej energie, pretože miestne geotermálne vody majú nízku termodynamickú kvalitu a chýba im parná zložka potrebná pre efektívnu prevádzku geotermálnych elektrární.

Národný energetický a klimatický plán SR do roku 2030 predpokladá, že do roku **2030** sa zvýši celkový inštalovaný výkon **fotovoltiky na 1,70 GW a veterných elektrární na 0,75 GW.** Dosiahnutie uhlíkovej neutrality v roku 2050 si bude vyžadovať ešte omnoho väčšie zvýšenie inštalovaného výkonu fotovoltiky na úroveň **9,9 GW** a veterných elektrární až na **8 GW.**

V prípade fotovoltiky sa rozvoj bude uskutočňovať v troch hlavných segmentoch – malé zdroje v domácnostiach, lokálne zdroje v podnikoch a veľké komerčné zdroje ako pozemné inštalácie, dôležité ako zdroj obnoviteľnej elektriny pre výrobu obnoviteľného vodíka v kategórii RFNBO, ktoré budú aj priamo pripojené do distribučnej alebo prenosovej sústavy. Čo sa týka poslednej z uvedených kategórií, spoločnosť SEPS v spolupráci s MH SR a prevádzkovateľmi sústav každoročne prehodnocuje administratívny limit na pripájanie všetkých zdrojov a osobitne variabilných zariadení na výrobu elektriny z OZE. **Aktuálny limit platný pre celé územie SR je 2,6 GW (SEPS 2024)** inštalovaného výkonu z pohľadu globálnych vplyvov na úrovni priepustnosti, v rámci ktorého bola pre fotovoltiku a vietor vyčlenená kapacita 917 MW na pripojenie do prenosovej a distribučnej sústavy. Väčšina z tejto kapacity je aktuálne rezervovaná projektami fotovoltických elektrární, o ktorých výstavbu je z pohľadu investorov najväčší záujem kvôli tomu, že nepodliehajú takému náročnému povoľovaciemu procesu ako veterné elektrárne. Tieto projekty sú rozmiestnené po celom území Slovenska, pričom zo zverejnených informácií vyplýva, že viaceré z nich môžu dosiahnuť kapacitu až niekoľko desiatok MW.

V prípade veterných elektrární sú aktuálne **v procese EIA projekty súkromných investorov s celkovým inštalovaným výkonom viac ako 1,1 GW**, z ktorých prevažná väčšina sa plánuje na Západnom Slovensku. Okrem týchto projektov sa pripravujú aj **dve pilotné akceleračné zóny**, kde by mali byť umiestnené veterné elektrárne s celkovým výkonom až **300 MW.**

Z pohľadu integrácie do vodíkovej ekonomiky je zásadnou podmienkou budovanie nových kapacít OZE, predovšetkým kombinovaných projektov **slnko – vietor, prípadne jadrová energia.** Tieto zdroje dokážu vyrovnávať variabilitu a vytvárať vhodný profil pre prevádzku elektrolyzéro. Prepojenie s batériovými úložiskami a priame napojenie do distribučnej alebo prenosovej sústavy posilní schopnosť SR vyrábať obnoviteľný vodík v súlade s cieľmi RED III a REPowerEU.

Zhrnutie a odporúčania :

- **Prenosová sústava elektriny.** Posilňovanie 400 kV vedení a transformačných staníc zlepšuje možnosti pripojenia veľkých elektrolyzéro.

Odporúčanie: vytvoriť zoznam prioritných uzlov 400/110 kV pre rozvoj vodíkových projektov a zakotviť ich v regulačných dokumentoch.

- **Distribučné systavy elektriny.** DS umožňujú pripojenie elektrolyzér v priemyselných uzloch, no dostupná kapacita je lokálne obmedzená.

Odporúčanie: zaviesť flexibilné riadenie spotreby a podporiť hybridné modely OZE + elektrolyzér + úložisko.

- **Obmedzenia elektrolyzér.** Prevádzkovatelia DS vyžadujú prísne technické štandardy vrátane riadenia nábehov a filtrácie harmonických.

Odporúčanie: vypracovať metodiku integrácie elektrolyzér do ES a podporiť ich úlohu ako poskytovateľov podporných služieb.

- **Plynové siete.** Prenosová sieť má pripravené scenáre konverzie na čistý vodík, distribučná sieť je overená pre nízkopodielové zmesi.

Odporúčanie: rozvíjať projekty European Hydrogen Backbone a Central European Hydrogen Corridor a pokračovať v pilotných projektoch miešania H₂.

- **Obnoviteľné zdroje energie.** Bez masívnej výstavby nových kapacít fotovoltiky a veternej energie nebude možné vyrábať dostatočný objem obnoviteľného vodíka.

Odporúčanie: odstrániť legislatívne bariéry povoľovania, podporiť kombinované projekty slnko – vietor a systematicky zvyšovať administratívny limit na pripojenie variabilných OZE.

3.3 SÚČASNÝ STAV A VÝCHODISKÁ SEGMENTOV VODÍKOVÉHO REŤAZCA V SR

Účel, rozsah a metodika

Účelom kapitoly je poskytnúť faktografický prehľad o súčasnom stave (k roku 2025) a východiskách pre rozvoj výroby, distribúcie a skladovania a spotreby vodíka v Slovenskej republike. Rozsah je zámerne obmedzený na existujúce kapacity, infraštruktúru, prevádzkové parametre a regulačno-inštitucionálny „baseline“; nezahŕňa transpozíciu európskych cieľov, scenáre ani prognózy. Metodické poznámky uvádzajú len orientačné technicko-ekonomické veličiny pre kontext (napríklad LHV vodíka približne 33,33 kWh/kg a typickú špecifickú spotrebu elektrolyzéra približne 48–55 kWh/kg) ([IEA 2024](#)), nie pre výpočty budúcich kapacít.

VÝROBA VODÍKA

Priemyselná výroba vodíka na Slovensku je koncentrovaná najmä v chemickom a rafinérskom priemysle a prevažuje v nej on-site produkcia vodíka parným reformingom zemného plynu bez zachytávania CO₂. Výroba slúži predovšetkým ako surovina pre výrobu amoniaku, metanolu a procesov hydrogenácie pri výrobe palív. Dodávky mimo infraštruktúru výrobcu sú skôr výnimočné. Vedľajší vodík vznikajúci v niektorých chemických procesoch má lokálny význam, no v národnom meradle zostáva limitovaný a obvykle sa spotrebuje priamo na mieste. Obnoviteľná alebo nízkoemisná výroba elektrolyzou je prítomná v podobe pilotného projektu v Trnave s inštalovaným výkonom 1 MW, ktorej cieľom je najmä overovanie technológií v dopravných aplikáciách. V pilotnom projekte je nasadený PEM elektrolyzér. Jeho ekonomika je citlivá na cenu a uhlíkovú intenzitu elektriny, ako aj na dostupnosť a kvalitu technologickej vody vyžadujúcej demineralizáciu. Kontinuálna komerčná prevádzka väčšieho rozsahu na Slovensku zatiaľ rozšírená nie je.

Parný reforming so zachytávaním a využitím alebo ukladaním CO₂ nie je zatiaľ bežnou praxou ani v zahraničí. Jeho uplatnenie by vyžadovalo dostupnú infraštruktúru záchytu, prepravy a ukladania CO₂ a schválený regulačný rámec na úrovni EU (DA LCF).

Kľúčovým predpokladom elektrolytickej výroby je prístup k elektrine z obnoviteľných a nízkouhlíkových zdrojov a adekvátna pripojiteľnosť do elektrizačnej sústavy. Ekonomika projektov na výrobu vodíka je determinovaná cenou elektriny a hodinovou profiláciou výroby, pričom významnú úlohu zohráva aj spoľahlivá dodávka technologickej vody a kapacita jej úpravy. Najvhodnejšie lokalizačné predpoklady sa spájajú s existujúcimi priemyselnými klastrami, kde je prítomná spotreba

vodíka a energetické médiá, ako aj s regiónmi s fotovoltickým a veterným potenciálom a so stabilnými jadrovými zdrojmi umožňujúcimi base-load prevádzku elektrolyzéro.

Kvalitatívne požiadavky na vodík sa líšia podľa aplikácie. V doprave a pri PEM palivových článkoch sa uplatňuje čistota podľa ISO 14687, zatiaľ čo priemyselné procesy pracujú s odlišnými špecifikáciami. Bezpečnostné požiadavky vyplývajú z potrieb vetrania, detekcie únikov, materiálovej kompatibility a posudzovania priestorov s nebezpečenstvom výbuchu. Pri zavádzaní nových projektov je preto dôležité priebežne aktualizovať interné štandardy a prevádzkové postupy (NVAS). Medzi rozhodujúce obmedzenia patria nedostatočná kapacita nových OZE, pripojiteľnosť elektrolyzéro do siete a lokálne kapacity vodných a elektrických prípojk v priemyselných uzloch, viacstupňové povoľovacie konania bez jednotného postupu pre vodíkové technológie a obmedzená, nejednotná dostupnosť agregovaných dát o výrobe a spotrebe.

DISTRIBÚCIA A SKLADOVANIE

Slovenská republika v súčasnosti nedisponuje národnou potrubnou sieťou pre vodík. Potrubná doprava existuje len lokálne v rámci priemyselných areálov, kde spája výrobnú jednotku s príslušnými odbermi. Prepravná a distribučná plynárenská infraštruktúra je navrhnutá pre zemný plyn a vodík nie je predmetom bežnej prepravy. Technické posudky pripúšťajú obmedzené zmiešavanie vodíka do 5%, s výhľadom do 20%, so zemným plynom za prísnych podmienok materiálovej kompatibility, bezpečnosti a metrologie, no rutinný blending zatiaľ zavedený nie je. Pre dodávky mimo areálov sa využíva cestná logistika v tlakových traileroch a ISO kontajneroch. Priemyselní odberatelia pracujú s tlakmi rádovo 20 až 70 bar, zatiaľ čo dopravné aplikácie vyžadujú 350 alebo 700 bar. Kryogénny vodík¹² sa uplatňuje len okrajovo a vyžaduje špecializované plniace technológie a izoláciu. Koncept kvapalných organických nosičov vodíka (LOHC) sa začína presadzovať a vznikajú prvé pilotné projekty.

Skladovanie je riešené najmä **nadzemnými tlakovými zásobníkmi a tlakovými nádobami** – zväzkami v priemyselných areáloch a pri čerpacích staniciach tam, kde sú prevádzkované. Typické objemy uskladneného vodíka uvádza nasledovná tabuľka:

Tabuľka 2: Porovnanie kapacity tlakových nádob

TYP ZÁSOBNÍKA	Kapacita vodíka	Poznámka
Tube trailer (mobilný, Type IV)	do 1 000 kg	Mobilná preprava a aj lokálne skladovanie
Tube trailer (bežný)	cca 95 kg	Štandardné súpravy
Rack valcových zásobníkov („bullets“)	až 15 000 kg	Štyri bullets po 250 m ³ → 15 t vodíka
Stacionárny rack 18–20 nádob	cca 1 600 kg	Bežne na čerpacích staniciach

Kryogénne nádrže majú limitované využitie a slúžia skôr pre výskum a pilotné projekty.

Podzemné sezónne úložiská v soľných kavernách sa na území Slovenska neprevádzkujú. Geologické predpoklady a technicko-ekonomická uskutočniteľnosť neboli prakticky overené, avšak existujú dôkazy o existencii zdrojov prírodného vodíka na Slovensku.

¹² Kryogénny vodík (LH₂) je vodík skvapalnený ochladením na teplotu približne –253 °C pri atmosférickom tlaku. Vďaka viac ako 800-násobnému zníženiu objemu oproti plynnej forme pri normálnych podmienkach umožňuje efektívnejšie skladovanie a prepravu, avšak vyžaduje špeciálne izolované nádrže a prináša vysoké energetické náklady na skvapalnenie.

<https://www.iso.org/standard/56546.html>

Sieť vodíkových čerpacích staníc nie je rozvinutá. V prevádzke je jediná plnička 350 bar v areáli v Bratislave aktuálne slúži pre 4 FC autobusy, prioritne však slúži na plnenie vodíka pre priemyselných zákazníkov, nakoľko zatiaľ viac autobusov nie je k dispozícii. Plánované je skoré otvorenie čerpacej stanice na obnoviteľný vodík v Trnave. Technologické riešenia vychádzajú z parametrov 350 bar pre ťažké vozidlá a 700 bar pre ľahké aj ťažké vozidlá, pričom prevádzka podlieha požiadavkám noriem ISO 19880-1/2 a kvalitatívnym požiadavkám podľa ISO 14687.

Spotreba vodíka v hospodárstve – súčasný stav v SR

Najväčší objem spotreby vodíka sa sústreďuje **v chemickom priemysle a v rafinériách**, kde sa vodík používa skôr interne ako surovina alebo energetické médium, pričom ročná spotreba je do **170 000 t**. V energetickom vyjadrení ide o spotrebu 5 až 5,7 TWh ročne. Hutníctvo v súčasnosti nepoužíva vodík na priame redukovanie železa, používa ho len v malých objemoch, približne 150 až 200 t ročne pri finálnej fáze výroby plechov na vytvorenie ochrannéj atmosféry.

V energetike má vodík zatiaľ okrajovú úlohu v postavení vedľajšieho produktu pri výrobe chlóru v Novákoch pre výrobu tepla. Ani spoluspaľovanie vodíka v plynových turbínach nie je bežnou praxou a systémy typu power-to-gas či power-to-X majú charakter projektovaných aktivít. V malých množstvách sa využíva v jadrovej energetike. Veľké turbogenerátory v JE Mochovce sa chladia vodíkom kvôli jeho vysokej tepelnej vodivosti a nízkej hustote, čo znižuje mechanické straty.

V doprave najďalej pokročili aplikácie v ťažkej cestnej doprave a v mestskej hromadnej doprave, kde prebiehajú pilotné nákupy a testovanie autobusov a ťažkých nákladných vozidiel, avšak rozsah je limitovaný absenciou národnej siete čerpacích staníc a logistického zázemia.

V železničnej doprave vodíkové jednotky zatiaľ nie sú nasadené v prevádzke. Diskusia sa sústreďuje na trate bez elektrifikácie a na technicko-ekonomické posúdenia. Individuálna mobilita s vozidlami na palivové články zostáva marginálna a úzko závisí od dostupnosti infraštruktúry čerpacích staníc.

V komunálnej sfére sa vodík objavuje v podobe jednotkových kogeneračných a pilotných zariadení, ktorých cieľom je overiť technologickú a prevádzkovú vhodnosť, napr. vstrekovanie vodíka do plynárenských distribučných sietí.

VÝCHODISKÁ PRE ĎALŠÍ ROZVOJ

Východiská pre ďalší rozvoj sa opierajú o klastrový prístup (vodíkové údolia), v rámci ktorého sa nové zdroje a odbery sústreďujú do ťažkej dopravy a do priemyselných areálov s existujúcou spotrebou a skúsenosťou s bezpečnostnými štandardmi. Modulárnosť elektrolyzérovo umožňuje postupné rozširovanie kapacít podľa reálneho dopytu, pričom rozhodujúcou podmienkou zostáva dostupnosť obnoviteľnej a nízkouhlíkovej elektriny, pripojenie do elektrizačnej sústavy a vybudovanie potrubnej prenosovej a distribučnej siete s cezhraničnými prepojeniami.

Logistický reťazec sa východiskovo opiera o cestnú prepravu a lokálne areálové potrubia, keďže rozsiahle potrubné prepojenia neexistujú. Skladovanie je dnes prakticky riešené nadzemnými tlakovými zásobníkmi, kým sezónne riešenia v podzemí nemajú oporu v prevádzkovaní infraštruktúry.

Z regulačného a inštitucionálneho pohľadu je dôležitá harmonizácia technických kódexov pre kvalitu vodíka, metrológiu a bezpečnosť zariadení s referenciou na ISO 14687, ISO 19880-1/2 a všeobecne uplatniteľné bezpečnostné normy vrátane prostredí s nebezpečenstvom výbuchu.

Povoľovacie procesy sú viacstupňové a dnes neponúkajú jednotný postup pre vodíkové projekty. Pre hladké zavádzanie je dôležitá predvídateľnosť požiadaviek a koordinácia dotknutých orgánov. V oblasti dát je potrebné zaviesť systematickú evidenciu výroby, spotreby a infraštruktúry vodíka na národnej úrovni, aby bolo možné informovane plánovať ďalší rozvoj.

Finančné a ekonomické východiská ovplyvňuje najmä cena elektriny a vyťaženosť zariadení, ktoré spolu určujú výsledné náklady na kilogram vodíka. Hoci kapitálové náklady elektrolyzérovo majú klesajúci trend, lokálne investície do prípojk, úpravní vody a bezpečnostných systémov zostávajú

významné. Ľudské zdroje v chemických a rafinérskych areáloch tvoria solídny základ, no rozšírenie vodíkových technológií si vyžiada cielené vzdelávanie a certifikácie pre elektrolyzéry, čerpacie stanice, palivové články a tlakové zariadenia, ako aj rozvoj servisnej a metrologickej kapacity.

ZHRNUTIE

Výroba vodíka na Slovensku je sústredená v priemyselných areáloch chemických závodov a rafinérie, a má prevažne charakter fosílného vodíka. Obnoviteľná a nízkoemisná výroba má zatiaľ jediný pilotný projekt pred spustením v Trnave. Národná potrubná sieť pre vodík neexistuje a doprava sa realizuje najmä cestnou logistikou, zatiaľ čo potrubné prepojenia sú obmedzené na areály. Skladovanie je riešené prednostne nadzemnými tlakovými zásobníkmi, kým kryogénne a podzemné riešenia nie sú rozšírené. Dopyt je dominantne interný v chemickom a rafinérskom priemysle, kým energetika a sektor dopravy sú vo fáze pilotných aktivít. Kľúčovým východiskom pre ďalší posun je klastrový prístup, dostupnosť obnoviteľnej a nízkouhlíkovej elektriny, otvorené možnosti potrubného importu vodíka, jeho derivátov (napr. amoniaku) a zosúladienie technických štandardov a povolovacích postupov spolu so zlepšením dátovej evidencie a rozvojom kompetencií v prevádzke, údržbe a metrológii.

3.4 SWOT ANALÝZA AKTUÁLNEHO STAVU

Analýza silných a slabých stránok, príležitostí a rizík aktuálneho stavu sektora vodíka v SR.

SILNÉ STRÁNKY

- **Koncentrácia dopytu** - existujúca výroba/spotreba sivého vodíka je koncentrovaná na západnom Slovensku, v blízkosti jadrových elektrární, najlepších regiónov pre rozvoj OZE v krajine, ako aj potenciálneho napojenia na EHB.
- **Hustá plynárenská sieť** – prepravná a distribučná infraštruktúra zemného plynu vytvára technický základ pre budovanie vyhradených úsekov vodíkovej potrubnej siete. Umožňuje postupný prechod, často bez potreby okamžitej výstavby úplne novej siete. Napojenie na medzinárodné koridory zvyšuje flexibilitu budúcich tokov.
- **Rozsiahla výrobná kapacita jadrových elektrární** – stabilná bezemisná výroba elektriny (potenciál v kombinácii s príslušnými veľkokapacitnými OZE, ak budú dobudované) umožňuje plánovanie a dlhodobú prevádzku elektrolyzérov vysokým kapacitným faktorom pre veľkoobjemovú a efektívnu výrobu obnoviteľného a nízkoemisného vodíka z elektrolyzéra. Synergia základnej dodávky elektriny z JE výkonu a variabilných OZE podporuje flexibilitu siete. Uľahčuje to aj uzatváranie dlhodobých PPA a nízkorizikové financovanie.
- **Nízkoemisný elektroenergetický mix výrobných zdrojov elektrickej energie v SR** – klesajúci trend smerom k ~18 g CO₂/MJ zvyšuje pravdepodobnosť splnenia budúcich certifikačných limitov, kedy sa vodík vyrobený z elektriny zo siete bude považovať za obnoviteľný.
- **Strategická poloha Slovenska a prepojenia** – napojenie na transeurópske energetické a dopravné koridory (potrubné, riečne, cestné, železničné) zvyšuje možnosti dovozu a vývozu vodíkových nosičov.
- **Silná strojárka a elektrotechnická báza** – domáci dodávatelia vedia pokryť časti hodnotového reťazca vodíkových technológií (zásobníky, potrubia, montáže, rozvádzače, kontrolné systémy). To skracuje dodacie lehoty a znižuje investičné riziko. Vzniká priestor pre lokálnu pridanú hodnotu a exportné príležitosti.
- **Vznikajúce vodíkové údolia (Košice – EastGate V2H; potenciálne cezhraničné v Bratislave, na Hornej Nitre, vo Zvolene a v Podunajsku)** – regionálne ekosystémy integrujú výrobu, infraštruktúru a dopyt v priemysle a doprave, čím znižujú riziká „prvých projektov“.

Umožňujú pilotné projekty s reálnymi odberateľskými zmluvami, koordinovanú prípravu územia a efektívnejšie čerpanie fondov EÚ. Zvyšujú viditeľnosť SR v medzinárodných iniciatívach a uľahčujú škálovanie vodíkových riešení.

- **Podpora vodíkových údolí v krajských samosprávach** – regionálna politická a organizačná opora skracuje povoľovanie, uľahčuje prístup k pozemkom a zosúladzuje projekty s územným plánovaním. Prepojenie s dopravnými podnikmi a univerzitami vytvára prvotný dopyt a testovacie prostredie.

SLABÉ STRÁNKY

- **Absencia dlhodobej stratégie s finančným krytím najmenej do roku 2035** – chýba predvídateľný rámec, ktorý by zosúladil investície verejného a súkromného sektora. Slabé priority zvyšujú rizikovú prirážku kapitálu a oddaľujú konečné investičné rozhodnutia. Nízke nekoordinované financovanie obmedzuje kontinuitu projektov.
- **Suboptimálne geografické podmienky na OZE** - niektoré regióny Slovenska majú akceptovateľnú intenzitu vetra / slnečného svitu, nedajú sa ale porovnať s regiónmi ako Španielsko či Severné more. Pre výrobu rovnakého množstva zelenej energie je preto nutné inštalovať viac veterných turbín/fotovoltaických panelov, čo znamená vyššiu cenu elektrickej energie a následne vodíka. Vysoká cena ohrozuje konkurencieschopnosť priemyslu v porovnaní s regiónmi s lepšími geografickými podmienkami.
- **Suboptimálna geografická poloha krajiny** - najlepšie lokality pre výrobu z OZE sú ďaleko od hraníc Slovenska, a vnútrozemská poloha krajiny komplikuje/predražuje import polotovarov ako čpavok
- **Nedostatočná medzirezortná koordinácia** – slabá koordinácia medzi rezortmi vedie k nízkej podpore vodíkového ekosystému ako celku. Chýba nositeľ priorít, harmonogramov a metodík, čo znižuje predvídateľnosť pre investorov, ako napríklad v Českej republike Splnomocnenec vlády pre vodík.
- **Nestabilné regulačné prostredie** – zmeny v reguláciách a daniach zvyšujú riziko investovania a neistotu výnosov. Investori vyžadujú vyššie výnosové prahové hodnoty, čo znižuje počet životaschopných projektov. To oslabuje schopnosť konkurovať krajinám s jasnou a stabilnou politikou.
- **Konzervatívne regulačné prostredie** – nízka tolerancia k pilotným projektom a sandboxom spomaľuje overovanie technológií. Absentuje jasná trajektória pre podporu integrácie vodíka do trhov s energiou. To obmedzuje inovačný cyklus.
- **Slabé verejné povedomie** – nízka informovanosť o prínosoch vodíka a OZE znižuje spoločenskú akceptáciu. To zvyšuje riziko námietok a oneskorení v povoľovaní stavieb. Komunikácia „benefit–risk“ nie je systematicky riadená.
- **Ceny technológií klesajú pomalšie než sa očakávalo** – globálne bariéry v dodávateľských reťazcoch a rast cien materiálov obmedzujú krivku učenia. CAPEX/OPEX ostáva nad predpokladmi v pôvodných analýzach a podnikateľských plánoch. To predlžuje dobu návratnosti a znižuje IRR.
- **Pomalé a neprehľadné povoľovanie energetických stavieb** – fragmentované kompetencie a nejednoznačná metodika vedú k dlhým konaniam a prieťahom. Projekty nesú vysoké časové riziko a náklady na prípravu. Absencia „one-stop-shop“ úradu / poradenského centra brzdí rozvoj.
- **Nedostatok nových veľkokapacitných OZE** – obmedzenia v pripojiteľnosti a dlhé lehoty povoľovania limitujú dostupnosť zelenej elektriny pre elektrolyzéry. Bez rýchleho rozšírenia OZE hrozí kanibalizmus medzi sektormi. To zhoršuje splniteľnosť RFNBO cieľov.
- **Absencia prístupu k moru** – Slovensko nemá vlastný námorný terminál pre priamy prístup k zaoceánskym dodávkam vodíka a jeho derivátov. To navyšuje prepravné náklady a tým cenu importovaného vodíka pre domácich odberateľov.

- **Nedostatok kvalifikovanej pracovnej sily** – chýbajú špecialisti na elektrolyzéry, výkonovú elektroniku, bezpečnosť, servis a systémovú integráciu. Vzdelávací ekosystém v súčasnej podobe nedokáže uspokojiť dopyt po kvalifikovanej pracovnej sile a rekvalifikácie sa zatiaľ nerealizujú.
- **Absencia vodíkovej infraštruktúry v doprave** – jediná čerpacia stanica na vodík s tlakovým pásmom obmedzeným na 350 bar neponúka dostatočný akceleračný efekt na rozvoj dopravy. Bez prvej stimulácie ponuky ostávajú projekty v režime, ktorý limituje úspory z rozsahu.
- **Vysoké ceny elektriny a sieťových poplatkov pre elektrolyzéry** – nákladová báza je málo konkurencieschopná voči iným regiónom. To tlačí projekty k exportu alebo k odkladu. Znižuje sa tak lokálna pridaná hodnota.
- **Nejasnosti v certifikácii a zmluvných rámcoch (RFNBO, PPA, záruky pôvodu)** – chýbajú štandardizované šablóny a ustálená prax. Transakčné náklady rastú a právna neistota odďaľuje uzatváranie kontraktov. Investorom to sťažuje prístup k financovaniu.
- **Kapacitné obmedzenia PS/DS** – lokálne preťaženia, nedostatok transformácie a prístupových bodov predlžujú pripojenie. Projekty čelia vysokým investíciám do sprievodnej infraštruktúry. To znižuje ekonomickú realizovateľnosť.

PRÍLEŽITOSTI

- **Prítomnosť rafinérie** - ciele RFNBO v doprave je možné dosiahnuť náhradou časti sivého vodíka používaného pri výrobe benzínu/nafty v rafinérii. Nie je nevyhnutné investovať aj do čerpacích staníc a nového vozového parku nad rámec záväzných cieľov, ak to bude ekonomicky nerentabilné.
- **Výroba „zelenej ocele“** v rámci existujúcich výrobných prevádzok.
- **Nasadenie vodíka v ťažkej cestnej doprave a MHD** – koncentrované flotily umožňujú efektívne a udržateľné využitie čerpaciej infraštruktúry s menším počtom staníc vhodne umiestnených v mestských uzloch podľa AFIR. Čerpanie vodíka v depách alebo na hranici depa (verejný prístup) znižuje logistickú náročnosť.
- **Vodíkové vlaky na neelektrifikovaných tratiach** – vodík je alternatívou tam, kde je elektrifikácia ekonomicky či technicky nevýhodná. Pilotné úseky môžu preukázať celkové náklady na vlastníctvo (z angl. Total Cost of Ownership TCO) a environmentálne prínosy. Synergia s regionálnymi depami znižuje CAPEX infraštruktúry.
- **Repowering FVE z rokov 2009–2012 po skončení podpory** – uvoľní sa výrobná kapacita pre umiestnenie elektrolyzérov. OZE s re-investíciou $\geq$ ~30 % do modernizácie sú považované za nové zdroje v zmysle doplnkovosti OZE pre výrobu vodíka v kategórii RFNBO. Vzniknú integrované P2X uzly s nízkymi povolovacími rizikami.
- **Cielené schémy** – integrované projekty výroba–skladovanie–spotreba maximalizujú multiplikačné efekty. Výzvy orientované na systémové služby a priemyselné využitie zlepšia ekonomiku. Integrované schémy priťahujú kapitál.
- **Úpravy európskej regulácie pre reálne plnenie cieľov 2030/2035 (RED III)** – prehodnotenie doplnkovosti OZE, časovej/geografickej korelácie zlepši splniteľnosť cieľov RFNBO. Prehľadné a jednoduché metodiky znižujú transakčné náklady a zrýchlia certifikáciu. Včasná transpozícia dáva konkurenčnú výhodu.
- **Profilovaná podpora inovácií a vzdelávania** – VaV granty pre excelentné výskumno-vývojové pracoviská podporujú špecializáciu v inovatívnych aktivitách pre zvýšenie domácej konkurencieschopnosti v dodávkach vodíkových technológií, zariadení a komponentov pre globálne trhy. Rekvalifikačné programy pokryjú zabezpečia kvalifikovanú pracovnú silu v praxi.
- **Domáca výroba pre flexibilitu siete a energetickú bezpečnosť** – elektrolyzéry dokážu poskytovať podporné služby elektrizačnej sústave využívaním prebytkov elektriny z OZE. Tým

umožňujú inštaláciu nových OZE a zvyšujú stabilitu systému. Diverzifikácia zdrojov zlepšuje energetickú suverenitu.

- **Zníženie závislosti na dovoze palív** – substitúcia fosílnych palív domácim vodíkom znižuje makroekonomické a geopolitické riziká.
- **Posilnenie elektrizačnej sústavy** – investície do PS/DS, akumulácie a riadenia dopytu umožnia vyšší podiel OZE a P2X. Cílené posilnenia v uzloch s elektrolyzérmi zlepšia lokálne bilancie sústavy. Vznikne priestor pre regionálne energetické parky.
- **Recyklovaný a obnoviteľný plyn z bio- a plastového odpadu** – cirkulárne toky (biometán, recyklovaný vodík) rozšíria portfólio nízkouhlíkových vstupov. Integrácia s odpadovým hospodárstvom vytvára dodatočné príjmy. Znižuje sa environmentálna záťaž.
- **CBAM/ETS2 a** – nové politiky valorizujú nízkouhlíkové produkty a materializujú „green premium“. Priemysel získava motiváciu nahrádzať fosílny vodík - zatiaľ ale nie je motivácia dostatočná, potenciálni výrobcovia vodíka majú často problém získať dlhodobé off-take kontrakty. Riešením by mohlo byť použitie nástrojov ako sú **priemyselné CfD**.
- **Dunajské prístavy ako H₂ huby** – riečna logistika pre amoniak / metanol / LOHC umožní ich import/export. Prepojenie s priemyselnými odberateľmi v zázemí znižuje LCOH logistických reťazcov. Môžu vzniknúť medzinárodné kooperácie.

HROZBY

- **Neuznanie jadrovej energie na výrobu nízkouhlíkového vodíka** – zvyšuje cenu obnoviteľného vodíka znížením kapacitného faktora elektrolyzéra pri JE a OZE. Projekty by stratili investičnú istotu a časť trhov.
- **Závislosť na dovoze vodíka** – predstavuje geopolitické riziko vystavenia domáceho hospodárstva cenovým výkyvom a politickým tlakom krajín exportujúcich vodík, obmedzuje energetickú suverenitu a zvyšuje zraniteľnosť kritickej infraštruktúry voči prerušeniam dodávok spôsobeným konfliktmi, prírodnými katastrofami alebo obchodnými obmedzeniami.
- **Utlmenie alebo realokácia chemického priemyslu** – odchod kľúčových odberateľov oslabí dopytovú bázu. Zhorší sa ekonomika infraštruktúry a výrobných uzlov. Následne rastie riziko nevyužitej kapacity výroby vodíka a kolapsu celého dodávateľského reťazca s vplyvom aj na iné odberateľské sektory.
- **Deindustrializácia Slovenska a aj Európy a zároveň energetická chudoba.**
- **Ponechané tvrdé RFNBO pravidlá (hodinová korelácia, jedna ponuková oblasť, doplnkovosť OZE)** – môžu výrazne zvýšiť náklady a znížiť dostupnosť obnoviteľnej elektriny. Hrozí odklad investícií a nesplnenie cieľov EÚ 2030 a 2035.
- **Nedostatočný pokles cien technológií** – pretrvávajúci CAPEX/OPEX handicap oproti fosílnym alternatívam zhorší konkurencieschopnosť. Môže to vyžadovať vyššiu verejnú podporu na udržanie tempa. Odberatelia budú váhať s transformáciou.
- **Konzervatívna národná politika a nízky inovačný potenciál** – slabý súlad priorít medzi rezortmi a chýbajúca akceptácia vodíka znižujú dôveru investorov. Bez sandboxov sa spomaľuje učenie a štandardizácia. Konkurencia v susedných krajinách môže získať náskok.
- **Kybernetické riziká** – digitalizácia energetiky a vodíkovej infraštruktúry zvyšuje exponovanosť voči útokom. Incidenty môžu spôsobiť výpadky a reputačné škody. Vyžadujú sa investície do odolnosti.
- **Volatilita cien elektriny a nedostatok OZE** – zvyšuje prevádzkové náklady elektrolyzérov a riziko odstávok. Projekty čelia zložitejšiemu riadeniu rizík v PPA. To môže obmedziť dostupnosť financovania.
- **Medzinárodná dotačná konkurencia (USA/IRA, nemecké tendre)** – presúva projekty a talent mimo SR. Relatívna atraktivita podpory klesá. Hrozí odlev kapitálu a inovácií.

- **Nízka spoločenská akceptácia a NIMBY (z angl. Not In My Backyard)** – lokálny odpor môže blokovat' kľúčové uzly infraštruktúry. Povoľovanie sa predlžuje a náklady rastú. Reputačné riziká sa prenášajú na investorov a odberateľov.
- **Oneskorenia v transpozícii EÚ pravidiel** – pomalšia implementácia zvyšuje právnu neistotu. Investori čakajú na metodiky a sekundárnu legislatívu. Projekty sa posúvajú mimo okna príležitosti. Ohrozené je plnenie cieľov EÚ.

3.5 MEDZINÁRODNÉ POROVNANIE

Kapitola porovná postavenie a plány Slovenska voči susedom a EÚ podľa kľúčových ukazovateľov rozvoja vodíkovej ekonomiky (ciele a mílniky, regulačný rámec, infraštruktúra, finančné nástroje, priemyselné projekty). Referenčným základom sú aktuálne národné stratégie, akčné plány a infraštruktúrne rozhodnutia, ktoré určujú smerovanie trhu do roku 2030–2050. Porovnanie umožňuje identifikovať medzery a prenos dobrých praktík do slovenského kontextu.

EURÓPSKA ÚNIA

A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (COM(2020) 301) – oficiálna stratégia EÚ. ([EUR-Lex](#))¹ Európski audítori (European Court of Auditors) vyzvali Komisiu na **aktualizáciu vodíkovej stratégie**, najmä s ohľadom na reálnosť cieľov, infraštruktúru a financovanie. Odborné organizácie a priemyselné združenia v spoločnom stanovisku (február 2025) požadovali **revíziu stratégie**², pragmatickejší prístup k RFNBO, rýchlejšie budovanie infraštruktúry a stabilné dlhodobé plánovanie. Delegované akty, prijaté v júni 2023, stanovili kritériá RFNBO, a k 8. júla 2025 bol prijatý nový akt k metodike emisií pre nízkouhlíkový vodík podľa smernice o trhu s vodíkom. Európska stratégia zatiaľ pretrváva v platnosti so svojimi cieľmi (10 Mt domáceho + 10 Mt dovezeného obnoviteľného vodíka do 2030), doplnená smernicou REPowerEU a legislatívou (RED III, H₂ a dekarbonizovaný plyn).

Nemecko (DE)

- *Nationale Wasserstoffstrategie – Fortschreibung 2023* (BMWK). ([PDF](#))³
- *Importstrategie für Wasserstoff und Derivate* (BMWK, 24. 7. 2024). ([stránka/PDF](#))⁴
- *Wasserstoff-Kernnetz* – rozhodnutie BNetzA (22. 10. 2024) a parametre siete. ([prehľad](#))⁵

Česko (CZ)

Vodíková strategie ČR – aktualizace 2024 (MPO). ([PDF, 17. 7. 2024](#))⁶

Poľsko (PL)

Polska Strategia Wodorowa do 2030 z perspektywą do 2040 – prijatá uznesením RM 2. 11. 2021. ([oficiálna stránka](#))⁷, ([PDF](#)) Pracuje sa na aktualizácii, predovšetkým v kontexte RED III a legislatívnych zmien. V júni 2025 prebehlo 11. zasadnutie Koordinačnej rady, kde sa diskutovali návrhy aktualizácie.

Maďarsko (HU)

Hungary's National Hydrogen Strategy (2021). ([PDF – Kormány.hu](#))⁸ **Plánovaná revízia v roku 2025** je v texte spomenutá, ale samotný dokument aktualizácie ešte nebol zverejnený.

Rakúsko (AT)

Ministerstvo pre klímu, životné prostredie, energiu, mobilitu, inovácie a technológie (BMK) – oficiálna stránka poskytuje prehľad [stratégie](#), definovanej v roku 2022, vrátane cieľov, ako je vybudovanie 1 GW elektrolyzérovej kapacity do roku 2030, dekarbonizácia priemyslu, budovanie infraštruktúry a medzinárodné partnerstvá.

- Obsahuje aj [Executive Summary](#) v PDF formáte z roku 2022.
- Prostredníctvom platformy [HyPA \(Hydrogen Partnership Austria\)](#) sa zabezpečuje dialóg a koordinácia implementácie stratégie.

PREHĽAD PRIPRAVOVANÝCH A REALIZOVANÝCH VODÍKOVÝCH PROJEKTOV

Rozvoj vodíkoveho ekosystému je v jednotlivých krajinách EÚ rozdielny.

RAKÚSKO

Autobusy. [ÖBB Postbus](#) prevádzkuje vodíkové autobusy v regióne Villach. Palivo zabezpečuje vlastná H₂ stanica. Vodík vyrába elektrolyzér v Arnoldsteine s kapacitou do 700 kg/deň. Ročný nájazd flotily je rádovo dva milióny km.

Vlaky. Žiadna trvalá osobná prevádzka H₂ vlakov. Predchádzali iba testy.

Elektrolyzéry. [OMV](#) spustila v Schwechate 10 MW obnoviteľný elektrolyzér s kapacitou do 1 500 t H₂/rok. Využitie v rafinérii vrátane SAF a HVO.

Mesto Viedeň. [Wien Energie](#) a [Wiener Netze](#) prevádzkujú v Simmeringu 3 MW PEM elektrolyzér. Produkcia približne 1 300 kg H₂/deň. Prepojenie na mestské tankovanie a energetiku.

Voestalpine – zelená oceľ (greentec steel) v Linzi. Voestalpine spustila strategický program [greentec steel](#), v rámci ktorého plánuje od roku 2027 postupnú náhradu vysokých pecí („blast furnace“) za **elektrické oblúčkové pece (EAF)** poháňané zelenou elektrinou – jednu v Linzi a jednu v Donawitz. Tento krok má viesť k zníženiu emisií CO₂ o približne 30 % do roku 2029, čo predstavuje úsporu až 4 milióny t ročne. V ďalšej etape ako redukčné činidlo pre DRI ([HYFOR/Hy4Smelt](#)) a je overovaný v projektoch H2FUTURE a [Hy4Smelt](#) v Linzi.

Dvaja projektoví partneri, LAT Nitrogen a VERBUND, 10.9.2025 [oznámili](#), že spoločný projekt „Zelený amoniak Linz – GrAmLi“ na rozsiahlu výrobu zeleného vodíka na použitie v energeticky náročnom chemickom priemysle sa v súčasnom ekonomickom prostredí nebude realizovať.

ČESKÁ REPUBLIKA

Autobusy. Trvalé nasadenie sa pripravuje. [Projekt Stredočeského kraja](#) na 10 vodíkových autobusov s uvedením do prevádzky do konca roku 2025. Doterajšie prevádzky boli pilotné.

Vlaky. Žiadna trvalá osobná prevádzka H₂ vlakov.

Elektrolyzéry a infraštruktúra. [ORLEN Unipetrol](#) prevádzkuje verejné H₂ stanice Praha–Barrandov a Záluží pri Litvínove. Národná politika celi stovky MW elektrolyzérovo do roku 2030, no veľké zelené jednotky sú zatiaľ v príprave.

MAĎARSKO

Autobusy. Trvalé mestské nasadenie H₂ autobusov zatiaľ neprebíha. Prebehli iba krátke piloty v Budapešti.

Vlaky. Žiadna trvalá osobná prevádzka H₂ vlakov.

Elektrolyzéry. [MOL](#) uviedol do prevádzky 10 MW PEM elektrolyzér v Százhalombatte. Odhad produkcie približne 1 600 t H₂/rok pre dekarbonizáciu rafinérie.

POLSKO

Autobusy. Stabilná mestská prevádzka v niekoľkých mestách. Konin od roku 2022. Lublin od 2023 s rozšírením flotily o 20 vozidiel do roku 2026. Poznaň s flotilou 25 kusov, v roku 2025 dočasné odstavenia pre technické problémy, projekt pokračuje. Gdaňsk nasadzovanie od roku 2024. [Zdroj 1](#) [Zdroj 2](#) [Zdroj 3](#) [Zdroj 4](#)

Vlaky. Prvá pravidelná osobná prevádzka H₂ lokomotívy v krajine od 4. septembra 2025 na trati Jelenia Góra – Karpacz. Prevádzkovateľ Koleje Dolnośląskie. [Zdroj](#)

Elektrolyzéry. V Konine beží od decembra 2024 obnoviteľný H₂ na 2,5 MW PEM, približne 1 000 kg/deň, s plánom rozšírenia. Paralelne sú financované veľké elektrolyzéry v Gdansku v rámci programov Green H2 a Hydrogen Eagle, vrátane 100 MW jednotky s cieľom spustenia do roku 2027. [Zdroj 1](#) [Zdroj 2](#) [Zdroj 3](#)

NEMECKO

Hamburg Green Hydrogen Hub (HGHH). Konsorcium Luxcara a Hamburger Energiewerke buduje na lokalite bývalej elektrárne Moorburg elektrolyzér s výkonom 100 MW, ktorý má spustiť komerčnú prevádzku do roku 2027. Produkcia pokryje potreby priemyslu aj prístavu Hamburg; zásobovanie elektrolyzérovo dodá Siemens Energy. [Zdroj](#)

GET H2 Nukleus (RWE). Projekt RWE plánuje vybudovať na lokalite tepelnej elektrárne v Emslande elektrolyzér s kapacitou 300 MW, pričom prvých 100 MW má byť uvedených do prevádzky už v roku 2025. Cieľom je dodávať obnoviteľný vodík pre priemysel v okolí. [Zdroj](#)

Refhyne II (Shell & ITM Power). Shell spolu s ITM Power plánuje inštaláciu 100 MW PEM elektrolyzéra na energetickom a chemickom parku Rheinland v nemeckom Wesselingu. Projekt, známy ako Refhyne II, má už zabezpečené financovanie a predpokladá sa jeho spustenie medzi rokmi 2025–2026. [Zdroj](#)

EWE – Emden elektrolyzér (Siemens Energy). EWE zverila spoločnosti Siemens Energy výstavbu 280 MW elektrolyzéra vo veľmi strategickej lokalite Emden. Ten má byť uvedený do prevádzky v roku 2027 a ročne vyrobí až 26 000 t zeleného vodíka. [Zdroj](#)

Vodíková infraštruktúra – jadro vodíkovej siete. Vodíková magistrála (core hydrogen grid) má vstúpiť do prevádzky už v roku 2025, poskytne prenos cez existujúce potrubia. Projekt má pokryť prvú časť trás. AquaDuctus/AquaVentus predstavuje offshore projekt na výrobu vodíka z morských veterných elektrární – cieľom je inštalácia 10 GW elektrolyzérovo a vybudovanie zásobnej pipeline. [Zdroj 1](#) [Zdroj 2](#) [Zdroj 3](#)

Vlaková ekologická mobilita. Vodíkový vlak v Dolnom Sasku (Lower Saxony) – od augusta 2022 úplné zavádzanie na trase v okolí Bremervörde. Ide o prvý prípad komerčnej osobnej prevádzky vodíkového vlaku v Európe na druhej strane je otázna udržateľnosť takýchto projektov pokiaľ nie je vybudovaný efektívny vodíkový ekosystém. [Zdroj](#)

Priemyselné využitie – zelená oceľ. Thyssenkrupp (Duisburg) pripravuje konverziu oceliarskeho závodu na vodíkovú výrobu ocele. Investícia 3 mld. eur má umožniť zásadnú dekarbonizáciu a zníženie emisií. [Zdroj 1](#) [Zdroj 2](#)

CELOSVETOVÁ DATABÁZA VODÍKOVÝCH PROJEKTOV

Medzinárodná energetická agentúra (IEA) vytvorila súbory údajov ako súčasť úsilia sledovať pokrok v oblasti technológií nízkoemisného vodíka.

[Databáza projektov výroby vodíka](#) zahŕňa všetky projekty uvedené do prevádzky na celom svete od roku 2000, ktorých cieľom je výroba vodíka na energetické účely alebo na zmierňovanie zmeny klímy. Zahŕňa projekty, ktorých cieľom je buď znížiť emisie spojené s výrobou vodíka pre existujúce aplikácie, alebo využívať vodík ako energetický nosič či priemyselnú surovinu v nových aplikáciách, ktoré majú potenciál stať sa nízkoemisnou technologickou možnosťou. Sú zahrnuté aj projekty vo fáze plánovania alebo výstavby.

[Databáza projektov vodíkovej infraštruktúry](#) zahŕňa všetky projekty vo vývoji na celom svete týkajúce sa vodíkových plynovodov, podzemných zásobníkov a dovozno-vývozných terminálov určených pre nízkoemisný vodík a palivá na báze vodíka.

Tieto databázy dopĺňajú ďalšie aktivity zamerané na sledovanie technológií, ako sú [databáza projektov demonštrácie čistých energetických technológií](#) a [databáza projektov CCUS](#).

Európsku databázu vodíkových projektov spravuje aj [European Hydrogen Observatory](#).

4 POLITIKY EÚ

Kľúčové politiky EÚ relevantné pre vodík

RED III A DELEGOVANÉ AKTY K RFNBO

RED III stanovuje záväzné kvóty na podiel obnoviteľného vodíka (RFNBO) v priemysle: minimálne 42 % do roku 2030 a 60 % do roku 2035, s obmedzenou flexibilitou pre členské štáty. Dva delegované akty určujú požiadavky na elektrickú energiu pre výrobu RFNBO a metodológiu výpočtu úspor emisií (vrátane minimálne 70 % pre recyklované uhlíkové palivá). Tieto pravidlá sú základom pre certifikáciu a cezhraničný obchod s RFNBO.

Odkazy: [RED III – smernica 2023/2413](#) | [Delegované nariadenie 2023/1184](#) | [Delegované nariadenie 2023/1185](#)

BALÍK PRE TRH S VODÍKOM A DEKARBONIZOVANÉ PLYNY

Nové pravidlá vytvárajú osobitný trh pre vodík: unbundling, prístup tretích strán, tarify a ochranu spotrebiteľa; zriaďuje sa aj ENNOH – európska sieť prevádzkovateľov vodíkových sietí. Účelom je koordinovaný rozvoj prenosových sietí vodíka a harmonizácia kódexov. Zákony nadobudli účinnosť v lete 2024, ENNOH sa finalizuje v roku 2025.

Odkazy: [Smernica 2024/1788](#) | [Nariadenie 2024/1789](#) | [Stránka EK k balíku](#)

REPowerEU A CIEĽ 10 + 10 MT DO ROKU 2030

Plán REPowerEU určuje indikatívne 10 Mt domácej výroby a 10 Mt importov obnoviteľného vodíka do roku 2030 a akceleračný infraštruktúry. Služí ako dopytovo–ponukový signál pre výrobcov aj dovozné koridory.

Odkazy: [REPowerEU – komunikácia COM\(2022\) 230](#) | [Hydrogen – stránky EK](#)

AFIR – INFRAŠTRUKTÚRA ALTERNATÍVNYCH PALÍV

Do 31. 12. 2030 musia byť na základnej sieti TEN-T každých 200 km verejné H₂ stanice s min. kapacitou 1 t/deň a aspoň 700 bar, a aspoň jedna stanica v každom mestskom uzle. Cieľom je odstrániť infraštruktúrne prekážky pre cestnú dopravu na vodík.

Odkazy: [Nariadenie 2023/1804 \(AFIR\)](#) | [Zhrnutie AFIR](#)

REFUELEU AVIATION

Regulácia zavádza povinné podiely SAF na letiskách EÚ (2 % v 2025, 6 % v 2030 ... 70 % v 2050) a podciele pre syntetické letecké palivá (e–palivá) od 2030 pre podporu dopytu po e–keroséne z vodíka. Implementácia je kľúčová pre dekarbonizáciu letectva.

Odkazy: [Nariadenie 2023/2405 \(ReFuelEU Aviation\)](#) | [Zhrnutie ReFuelEU](#)

TEN E – CEZHRANIČNÁ ENERGETICKÁ INFRAŠTRUKTÚRA

Revidované TEN-E zahŕňa kategórie pre vodíkové projekty (prenos, terminály, skladovanie) a udeľuje im status PCI/PMI s prístupom k CEF. Cieľom je vybudovanie Európskej vodíkovej siete.

Odkazy: [Nariadenie 2022/869 \(TEN-E\)](#) | [Zhrnutie TEN-E](#)

CBAM – UHLÍKOVÉ VYROVNaNIE NA HRANICIACH

Nariadenie 2023/956 pokrýva aj dovoz vodíka a zavádza fázu reportovania do roku 2025 a následnú povinnosť nákupu CBAM certifikátov od 2026. Cieľom je vyrovnať uhlíkové náklady a obmedziť únik uhlíka. Opatrenie zvyšuje transparentnosť zabudovaných emisií v importe tovarov, surovín a palív z krajín mimo EÚ.

Odkazy: [Nariadenie 2023/956 \(CBAM\)](#) | [Zhrnutie CBAM](#)

EUROPEAN HYDROGEN BANK A INOVAČNÝ FOND

EÚ testuje prémiové aukcie na produkciu obnoviteľného vodíka; pilot (uzávierka 2024) pridelil takmer 720 mil. eur siedmim projektom s pevnou prémieu eur/kg. Druhá aukcia v roku 2025 rozšírila rozsah a počet podporených projektov, vrátane tém pre námorný sektor.

Odkazy: [European Hydrogen Bank – EK](#) | [Výsledky 2. aukcie 2025 – EK](#)

ŠTÁTNA POMOC – CEEAG, TCTF A IPCEI

Smerné línie CEEAG (2022) určujú podmienky pre podporu OZE, dekarbonizácie a vodíkových projektov; TCTF zrýchlil notifikáciu a intenzity pomoci pre technológie čistého priemyslu. IPCEI v reťazci vodíka umožnili miliardové investície do inovácií a infraštruktúry naprieč členskými štátmi.

Odkazy: [CEEAG 2022](#) | [TCTF 2023/C 101/03](#) | [IPCEI Hy2Infra – tlačová správa](#)

NÁVRH BUDÚCEHO VIACROČNÉHO FINANČNÉHO RÁMCA NA ROKY 2028 – 2034 EURÓPSKA KOMISIA

Vzhľadom na rastúci počet výziev, ktorým Európa čelí v mnohých oblastiach, akými je bezpečnosť, obrana, konkurencieschopnosť, migrácia, energetika a odolnosť voči zmene klímy, Európska komisia navrhuje zásadnú zmenu rozpočtu EÚ. Nový viacročný finančný rámec na obdobie rokov 2028 – 2034¹³ bude podľa nej racionálnejší, flexibilnejší, účinnejší a výrazne posilní schopnosť EÚ plniť hlavné politiky a zároveň riešiť novovznikajúce priority. Podľa Komisie tento finančný rámec poskytne EÚ dlhodobý investičný rozpočet, ktorý potvrdí jej ambície stať sa v nasledujúcom desaťročí nezávislou, bezpečnou a prosperujúcou spoločnosťou a ekonomikou.

Kľúčové prvky viacročného finančného rámca na roky 2028 – 2034:

- Väčšia flexibilita v rámci celého rozpočtu, aby Európa mohla rýchlo reagovať na neočakávané zmeny okolností a riešiť nové politické priority.

¹³ European Commission. (2025, 17 July). *A dynamic EU budget for the priorities of the future – The Multiannual Financial Framework 2028–2034* (COM (2025) 570 final; SWD (2025) 570 final). Brussels. Retrieved from https://era.gv.at/public/documents/5368/COM_2025_570_1_EN_ACT_part1_v6_Commission_Communication_MFF.pdf

- Jednoduchšie, racionálnejšie a harmonizovanejšie programy EÚ, aby občania a podniky mohli ľahko nájsť možnosti financovania a mať k nim prístup.
- Rozpočet prispôsobený miestnym potrebám vďaka Národným a regionálnym partnerským plánom založeným na investíciách a reformách (podľa vzoru Plánov obnovy a odolnosti).
- Výrazné zvýšenie konkurencieschopnosti, aby Európa zabezpečila dodávateľské reťazce, rozšírila inovácie a stala sa lídrom v oblasti čistých a inteligentných technológií.
- Vyvážený balík nových vlastných zdrojov EÚ, ktorý zabezpečí primerané príjmy pre napĺňanie európskych priorít a zároveň minimalizuje tlak na vnútroštátne verejné financie.

PODPORA ROZVOJ VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU

Viacročný finančný rámec EÚ na roky 2028 – 2034 ponúka široké možnosti pre rozvoj a uplatnenie vodíkových technológií ako nástroja dekarbonizácie, energetickej transformácie a priemyselnej modernizácie. Strategické zameranie rozpočtu kladie dôraz na konkurencieschopnosť, klimatickú neutralitu, energetickú bezpečnosť a technologickú suverenitu, čo vytvára vhodné podmienky pre systematickú integráciu vodíka do rôznych sektorových politík a investičných schém. 5 z 8 priorít nového európskeho rozpočtu z programového obdobia 2028 – 2034 zahŕňa vodík:

Tabuľka 3 Porovnanie rozpočtu priorít súčasného a nového finančného rámca EÚ v oblasti vodíka



Európska komisia 25. júna 2025 prijala rámec štátnej pomoci¹⁴ na podporu Dohody o čistom priemysle¹⁵ (ďalej len „CISAF“ z angl. Clean Industrial State Aid Framework), ktorý umožní členským štátom podporovať rozvoj čistej energie, dekarbonizáciu priemyslu a čisté technológie.

Rámec vymedzuje podmienky, za ktorých môžu členské štáty financovať vybrané investície a ciele v súlade s pravidlami EÚ o štátnej pomoci. Na jeho základe bude Komisia schvaľovať národné schémy, čo umožní rýchle poskytovanie individuálnej pomoci.

Rámec platí do 31. decembra 2030 a poskytuje dlhodobú predvídateľnosť pre verejný aj súkromný sektor. Nahrádza dočasný krízový a prechodný rámec účinný od roku 2022.

Rámec zjednodušuje pravidlá v piatich oblastiach:

- zavádzanie obnoviteľných a nízkouhlíkových palív,
- dočasné zníženie cien elektriny pre energeticky náročných odberateľov na urýchlenie prechodu na nízkonákladovú čistú elektrinu,
- dekarbonizácia existujúcich výrobných zariadení,
- rozvoj výrobných kapacít čistých technológií v EÚ,
- znižovanie rizika investícií do čistej energie, dekarbonizácie, čistých technológií, energetickej infraštruktúry a projektov obehového hospodárstva.

Z podporných opatrení sú pre rozvoj vodíka dôležité najmä investície, umožňujúce prechod zariadení na používanie vodíka alebo palív na báze vodíka s podielom RFNBO aspoň 40 %. Pomoc sa udeľuje v súťaži a môže dosiahnuť **60 %** oprávnených kapitálových nákladov; pre MSP platia bonusy **+10 %** (malé) a **+5 %** (stredné).

Významné sú aj investície umožňujúce používanie **nízkouhlíkových palív** (nie nevyhnutne RFNBO), kde sa podpora poskytuje formou tendra s hornou hranicou **35 %** CAPEX, s rovnakými bonusmi pre MSP. Opatrenie pokrýva technologické úpravy a palivové prechody znižujúce emisie.

Napokon, pre konkurencieschopnú výrobu a spotrebu vodíka sú kľúčové investície do **OZE, úložísk, flexibilnej elektrifikácie a CCS**, ktoré stabilizujú dodávku nízkoemisnej elektriny a zvyšujú systémovú flexibilitu. Podpora sa poskytuje v tendroch do výšky **45 %** CAPEX, opäť s bonusmi pre MSP.

¹⁴ European Commission. (2025, June 25). *Clean Industrial Deal State Aid Framework (CISAF)*. European Commission. https://competition-policy.ec.europa.eu/about/contribution-clean-just-and-competitive-transition/clean-industrial-deal-state-aid-framework-cisaf_en

¹⁵ Európska komisia. (2025, 26. februára). *Dohoda o čistom priemysle: spoločný plán konkurencieschopnosti a dekarbonizácie* (COM(2025) 85 final). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A52025DC0085>

Tabuľka 4: Vybrané oblasti štátnej podpory CISAF pre dekarbonizáciu priemyslu

OBLASŤ	Podopatrenie / téma	Spôsob prideľovania	Intenzita / limity	Podmienky a poznámky	Bonusy pre MSP
Dekarbonizácia priemyslu	Investície umožňujúce používanie H ₂ /H ₂ -palív s RFNBO ≥ 40 %	Súťaž (tender)	60 % CAPEX	Vyššia intenzita pri vysokom podiele RFNBO; vhodné pre konverziu zariadení na H ₂ .	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	Investície umožňujúce používanie nízkouhlíkových palív	Súťaž (tender)	35 % CAPEX	Prechody na nízkouhlíkové palivá (ne-RFNBO).	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	OZE, úložiská, flexibilná elektrifikácia, CCS (podporné pre H ₂)	Súťaž (tender)	45 % CAPEX	Nepriama podpora H ₂ – napájanie elektrolyzér, stabilita siete.	+10 % malé, +5 % stredné podniky

Všetky navrhované opatrenia uvádza Príloha 2

4.1 LEGISLATÍVNY A INŠTITUCIONÁLNY RÁMEC

PRÁVNE PROSTREDIE SR PRE OBNOVITELNÉ PALIVÁ NEBIOLOGICKÉHO PÔVODU A SÚLAD S EURÓPSKYMÍ A NÁRODNÝMI POLITIKAMI

Kapitola sumarizuje stav transpozície práva EÚ a národný rámec pre RFNBO. Obsahuje záväzky podľa RED III. Gas Package. INEKP. A nadväznosť na národné stratégie.

TRANSPOZÍCIA LEGISLATÍVY EÚ

RED III DO PRÁVA SR A PRÁVNE PROSTREDIE

Základný rámec tvorí smernica [RED III](#). Slovensko transponuje požiadavky do zákona o energetike č. 251/2012 Z. z. Vládna novela bola schválená 9. septembra 2025. Aktuálne znenie je dostupné na stránkach [NR SR](#).

Novela zavádza definíciu paliva z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu. Ide o kvapalné alebo plynne palivo. Energetický obsah pochádza z iného obnoviteľného zdroja energie ako biomasa.

Podiel RFNBO na vodíku užívanom **v priemysle** na koncovú energiu a neenergetické účely by mal dosiahnuť **aspoň 42 % v roku 2030¹⁶ a 60 % v roku 2035**.

Dodávatelia pohonných látok plnia referenčnú hodnotu aj prostredníctvom RFNBO. Minimálne na úrovni 0,5 percentného bodu¹⁷ po započítaní multiplikátora 2x z ustanovenej referenčnej hodnoty 1%.

Zavádza sa zvýhodnené započítavanie. RFNBO sa započítavajú dvojnásobne sektore dopravy. V leteckej a námornej doprave 1,5 násobne.

Uplatňujú sa delegované akty pre RFNBO. [Delegované nariadenie EÚ 2023/1184](#) a [Delegované nariadenie EÚ 2023/1185](#) upravujú metodiku pre elektrinu z OZE a pravidiel doplnkovosti.

Kľúčové regulačné požiadavky na výrobu RFNBO: Podľa [Delegovaného nariadenia EK 2023/1184](#) (ďalej aj ako DA RFNBO), ktorým sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001 vypracovaním metodiky Únie, ktorým sa stanovujú podrobné pravidlá výroby kvapalných a plyných palív v doprave z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu

¹⁶ <https://www.slov-lex.sk/ezbierky-fe/pravne-predpisy/SK/ZZ/2009/309/?ucinnost=01.01.2026#paragraf-14.odsek-13>

¹⁷ <https://www.slov-lex.sk/ezbierky-fe/pravne-predpisy/SK/ZZ/2009/309/?ucinnost=01.01.2026#paragraf-14a.odsek-10>

a [Delegovaného nariadenia EK 2024/1408](#), ktorým sa rozširuje pôsobnosť Delegovaného nariadenia 2023/1184 na všetky sektory, nie len dopravu.

- **Doplnkovosť** (od 1.1.2028): elektrina pre elektrolýzu musí pochádzať z novovybudovaných OZE uvedených najneskôr 36 mesiacov pred začiatkom výroby vodíka¹⁸, resp. z modernizovaných zdrojov s repoweringom presahujúcim 30 % súčasnej ceny porovnateľnej technológie. Neumožňuje sa využívanie elektrickej energie z OZE podporených štátnou pomocou. Oficiálne vymedzenie pojmov uvádza DA RFNBO v [článku 2](#). Bližšie vysvetlenie a príklady ponúka Príloha 8: Vysvetlenie doplnkovosti a Príloha 9: Vysvetlenie výnimiek z podmienky “doplnkovosti”
- **Časová korelácia**: do konca roka 2029 postačuje mesačná¹⁹, od roku 2030 hodinová²⁰, ak sa elektrina dodáva cez sústavu.
- **Geografická korelácia**: výroba elektriny aj vodíka musí byť v rovnakej ponukovej zóne, teda v rámci SR²¹.

Emisná intenzita: Obnoviteľný vodík musí preukázať úsporu emisií skleníkových plynov (ESP) $\geq 70\%$ oproti referenčným fosílnym palivám, t. j. $\leq 28,2 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$ (hodnotené v rámci životného cyklu vrátane výroby, skladovania a distribúcie).

Okrem vyššie uvedených pravidiel RFNBO musí spĺňať najmenej 70 % úsporu emisií skleníkových plynov oproti fosílnemu komparátoru ($94 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$), čo zodpovedá maximálnej uhlíkovej intenzite približne $28,2 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$ ($\approx 3,38 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg H}_2$).

GAS PACKAGE A NÍZKOUHLÍKOVÉ PALIVÁ

Pravidlá vnútorného trhu s obnoviteľnými plynmi a vodíkom boli prijaté v roku 2024. Kľúčové akty sú [smernica 2024/1788](#) a [nariadenie 2024/1789](#). Upravujú prístup do nových vodíkových sietí. Posilňujú unbundling. A plánovanie rozvoja sietí.

Právny rámec pre nízkouhlíkové palivá je v procese. Čaká sa na dokončenie a nadobudnutie účinnosti delegovaného aktu k metodike hodnotenia úspor skleníkových plynov. [DA LCF na stránke EK](#).

¹⁸ Výrobca RFNBO musí mať uzavretú zmluvu o dodávke s konkrétnym novým obnoviteľným zdrojom alebo priamu linku (PPA kontrakt). **Výnimky** sa uplatňujú na oblasti s vysokým podielom OZE v energetickom výrobnom mixe ($>90\%$), ak elektrolýzer využíva elektrinu v hodinách s veľmi nízkou trhovou cenou ($\leq 20 \text{ eur/MWh}$ alebo $\leq 0,36 \times \text{ETS cena}$). Doplnkovosť sa uzná, ak modernizácia vedie k **preukázateľnému zvýšeniu kapacity alebo výroby, navýšeniu výkonu** – ak sa modernizáciou zvýši inštalovaná kapacita (napr. repowering veternej farmy väčšími turbínami). **Predĺženie životnosti a vyšší výnos** – ak sa výmenou technológie zlepši účinnosť alebo dostupnosť, čo prinesie dodatočnú výrobu obnoviteľnej elektriny. **Dodatočná výroba** sa môže priradiť k zmluvám PPA pre RFNBO a spĺňa podmienku doplnkovosti. Inými slovami, **iba zvýšenie výroby nad pôvodnú úroveň** sa môže použiť na naplnenie požiadavky RFNBO. Pôvodná časť výroby (pred modernizáciou) sa nepovažuje za „novú“ a nemôže sa zarátať.

¹⁹ **Mesačná korelácia (temporal correlation – monthly)**. Podľa článku 6 DA 2023/1184 musí byť výroba RFNBO (napr. vodíka) uskutočnená v rovnakom **kalendárnom mesiaci**, v akom bola vyrobená odpovedajúca obnoviteľná elektrina (buď priamo prostredníctvom PPA, alebo z uloženého zdroja nabitého v tom istom mesiaci). Tento prístup bol zavedený vzhľadom na technologické výzvy spojené s hodinovým meraním a synchronizáciou časových údajov.

²⁰ **Hodinová korelácia (temporal correlation – hourly)**. Platí od 1. januára 2030. Od tohto dátumu musí byť produkcia RFNBO realizovaná v rovnakú **jednohodinovú periódu**, kedy bola vyrobené rovnocenné množstvo obnoviteľnej elektriny – opäť buď cez PPA alebo z energie vyrobenej/uloženej za meradlom „behind-the-meter“ počas tej istej hodiny. Uplatňujú sa však výnimky: hodina výroby RFNBO je považovaná za korelovanú, aj keď sa výroba odohrá počas periódy, kde **clearingová cena na trhu day-ahead je $\leq 20 \text{ eur/MWh}$** , alebo je nižšia ako **0,36-násobok ceny emisného povolenia (ETS-cena)**

²¹ Ponuková zóna je **územie, na ktorom účastníci trhu s elektrinou podávajú ponuky na veľkoobchodnom trhu** za rovnakú clearingovú cenu. Typicky ide o celé územie jedného členského štátu, ale v niektorých prípadoch (napr. Nemecko alebo Švédsko) štát môže byť rozdelený na viac ponukových zón. Na Slovensku je jedna ponuková zóna.

INEKP A NÁRODNÉ STRATÉGIE

Aktualizácia INEKP 2021 až 2030 rámcuje príspevok SR k cieľom EÚ pre OZE. Energetickú efektívnosť. A dekarbonizáciu. Aktuálne materiály sú dostupné na portáli Komisie. [INEKP 2021–2030](#). Pôvodné finálne znenie z roku 2020 je dostupné ako PDF. [INEKP 2020](#).

Národná vodíková stratégia a Akčný plán do roku 2026 definujú opatrenia pre výrobu, infraštruktúru a dopyt po vodíku. [NVS a Akčný plán](#).

SÚLAD S NÁRODNOU LEGISLATÍVOU

Dokument je v súlade s nasledovnými právnymi predpismi SR. Zákon o energetike č. 251/2012 Z. z. [Slov-Lex](#). Zákon o podpore OZE a VÚKV č. 309/2009 Z. z. [Slov-Lex](#). Zákon o obchodovaní s emisnými kvótami č. 414/2012 Z. z. [Slov-Lex](#). Zákon o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania. [Slov-Lex katalóg](#).

Implementačné potreby a regulačné prekážky – odporúčania

- **Sekundárna legislatíva a metodiky.** Dokončiť vnútroštátne vykonávacie predpisy k RED III a Gas Package. Zahnúť metodiky verifikácie udržateľnosti a záruk pôvodu pre RFNBO a nízkouhlíkové palivá.
- **Trh s vodíkom.** Dopracovať pravidlá prístupu a tarifikácie. A povinnosti prevádzkovateľov vodíkových sietí.
- **Doprava.** Zaviesť nástroje na dosahovanie subcieľov v doprave. Vráťane minimálne 1 percentného bodu RFNBO a 5.5 % pre pokročilé biopalivá a RFNBO.
- **Strategická koherencia.** Zosúladiť INEKP, NVS, a podporné mechanizmy s novým trhovým dizajnom vodíka a palív.
- **Regulácia v elektroenergetike:** Vytvoriť motivačné prostredie pre realizáciu projektov napríklad poskytnutím úľavy na poplatkoch a daniach pre elektrolyzéry pripojené k sieti pri odbere elektrickej energie na dennom trhu v účtovných hodinách s cenu rovnou alebo nižšou ako 40 eur a každému ELY nad 10 MW poskytnúť tarify ako pre najväčších priemyselných odberateľov. V prípade, že by celkové úľavy predstavovali 75% zo súčtu existujúcich poplatkov pre podnikateľov v kategórii veľkoodber, a odber zo siete pri celkovom inštalovanom výkone 75 MW by predstavoval polovicu potreby na dosiahnutie cieľov 2030 (zvyšok vlastná výroba a dodávka priamym vedením do ELY), potom by úľavy predstavovali v súčte **2,6 až 3,4 mil. eur** ročne²².

CIELE ZNIŽOVANIA EMISÍ V SEKTOROCH DOPRAVY

Pre sektor dopravy dokument nadväzuje na požiadavky RED III a na záväzky SR podľa nariadenia (EÚ) 2018/842 o znižovaní emisií skleníkových plynov mimo systému EU ETS. Cieľom je postupné znižovanie emisií prostredníctvom rastúceho podielu RFNBO a moderných biopalív v dodávkach motorových palív, pričom sa uplatňujú rastúce minimálne podiely a preferenčné koeficienty pre leteckú a námornú dopravu. Tento rámec podporuje prechod na nízkouhlíkovú mobilitu a znižuje závislosť na fosílnych palivách.

Metodiku výpočtu národných cieľov a preukázanie súladu s požiadavkami smernice RED III (najmä článku 22a a 25 – kritériá RFNBO), spolu s kvantitatívnym prepojením na výrobnú a spotrebnú bilanciu rozpracováva kapitola 7.

²² Tri príklady celkových regulovaných poplatkov k aktuálnemu obdobiu (09/2025) pre veľkoodber s MRK 75 MW a odberom 42 GWh/rok, pri 12-mesačnej RK a aktuálnych sadzbách TSS2 9,0282 €/MWh, TPS2 11,9000 €/MWh a NJF 3,27 €/MWh, so zahrnutím distribučných taríf jednotlivých PDS, vychádzajú takto: ZSD **3,503** mil. € celkom a 83,40 €/MWh pri sadzbe X1 2,3151 €/kW/mesiac a 8,632 + 0,963 €/MWh, SSD **4,565** mil. € a 108,69 €/MWh pri sadzbe X1 3,5748 €/kW/mesiac a 5,83 + 2,0596 €/MWh, VSD **4,008** mil. € a 95,42 €/MWh pri sadzbe X1 2,8460 €/kW/mesiac a 8,9235 + 1,31 €/MWh.

4.2 POROVNANIE S INÝMI KRAJINAMI V IMPLEMENTÁCII CIEĽOV

Členské štáty EÚ pristupujú k transpozícii cieľov smernice RED III **veľmi rozdielne**, čo odráža ich národné energetické politiky, úroveň technologickej pripravenosti aj politickú vôľu. V doprave viaceré krajiny už zaviedli konkrétne podiely obnoviteľných palív z RFNBO, často s vlastnými multiplikátormi a rozdielnou prísnosťou sankcií, aby motivovali investície alebo zohľadnili štruktúru svojich trhov. V priemysle je proces pomalší a väčšina štátov sa obmedzuje na rámcové diskusie alebo návrhy, pričom len menšina stanovila záväzné ciele. K 1. júlu 2025 transponovali záväzné ciele len **Česko, Rumunsko, Fínsko a Dánsko**, pričom údaje o zvyšných uvedených krajinách vychádzajú z neoficiálnych návrhov legislatív a nemajú ešte právnu záväznosť. Tento nerovnomerný postup spôsobuje, že celkový európsky rámec ostáva fragmentovaný a **budúci rozvoj trhu s obnoviteľným vodíkom závisí od rýchlosti a dôslednosti národných implementácií**.

Priemysel

Implementácia priemyselných cieľov RFNBO je obmedzená.

- **Rumunsko:** cieľ 42 % RFNBO + 50 % kombinácia RFNBO a nízkouhlíkových palív do 2030. Pokuta 0,17 LEI/MJ (~0,034 eur/MJ ≈ 4,1 eur/kg).
- **Česko:** cieľ 10 % RFNBO do 2030. Pokuta 0,6 Kč/MJ (~0,024 eur/MJ ≈ 2,9 eur/kg).
- **Nemecko, Francúzsko, Fínsko, Dánsko, Holandsko:** zatiaľ bez konkrétnych záväzných národných cieľov, diskusie alebo rámcové návrhy.

Doprava – ciele 2030 a multiplikátory (násobiče)²³

- **Nemecko:** 5 % RFNBO, pokuta 8,4 eur/kg H₂ a 600 eur/t CO₂ pre GHG cieľ; multiplikátor 3× do 2034 (postupne klesá) a 1,5× pre letectvo a námornú dopravu.
- **Francúzsko:** 1,5 % RFNBO v celej doprave, pokuta 9,6 eur/kg; bez multiplikátorov.
- **Holandsko:** 1,07 % cestná, 0,34 % vnútrozemská vodná, 0,32 % námorná; pokuta nedefinovaná; bez multiplikátorov.
- **Belgicko:** 4 % cestná, 1,2 % námorná, 1,28 % vnútrozemská; pokuta ekvivalent 9,9 eur/kg; multiplikátor 2× pre RFNBO a +1,5× pre letectvo a námornú dopravu (efektívne 3×), korekčný faktor 0,85.
- **Španielsko:** Podcieľ 1,5 % RFNBO ako medziprodukt v rafinériách; bez finančnej sankcie; multiplikátor 2× pre všetky RFNBO a ďalších 1,5× pre letectvo a námornú dopravu (spolu 3×)
- **Česko:** 1 % RFNBO; pokuta 9,6 eur/kg; multiplikátor 2× pre všetky RFNBO, +1,5× pre letectvo a námornú dopravu (spolu 3×).
- **Dánsko:** 0,9 % RFNBO; pokuta neurčená; multiplikátor 1,5× pre letectvo a námornú dopravu.
- **Fínsko:** 4 % RFNBO v cestnej doprave; pokuta 6,6 eur/kg; bez multiplikátorov.
- **Rumunsko:** 5 % RFNBO v celej doprave; pokuta 6 eur/kg bez možnosti odkúpenia (chýbajúce množstvo sa prenáša); multiplikátor 1,6× pre verejné vodíkové stanice, 1,2× pre letectvo a námornú dopravu.

²³ Multiplikátor v politike obnoviteľných palív je koeficient, ktorým sa pri výpočte plnenia cieľov EÚ započítava určitý druh obnoviteľného paliva viac ako jeho skutočný energetický obsah, aby sa stimulovalo jeho používanie a zrýchlil sa formálny rast podielu OZE v doprave.

Rozdiely v multiplikátoroch významne ovplyvňujú reálnu trhovú povinnosť, keďže vyššie násobky znižujú skutočné požadované fyzické objemy RFNBO palív.

Multiplikátory – EÚ umožňuje využívať násobiče, ktoré znižujú skutočné množstvo RFNBO potrebné na splnenie stanoveného cieľa podľa sektorov dopravy. Pri výpočte minimálnych podielov platia tieto pravidlá:

- **Cestná a železničná doprava:** podiel palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu sa považuje za dvojnásobok ich energetického obsahu (multiplikátor 2)
- **Letecká doprava a námorná doprava:** podiel palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu dodávaných leteckej a námornej doprave sa považuje za 1,5-násobok ich energetického obsahu (multiplikátor 1,5)

ODPORÚČANÉ CIELE PRE SLOVENSKO PRE ROK 2030

Doprava

Cieľ RFNBO na celkovej konečnej spotrebe energie v sektore dopravy **0,5 %** pri uplatnení násobiteľa 2. Tento cieľ sa odporúča rozdeliť tak, že **75 - 90 %** RFNBO sa použije ako vstup pri výrobe fosílnych motorových palív a **10 - 25 %** sa využije na priamu spotrebu v doprave. Sankcia je v zákone stanovená ako súčin energetického obsahu neuvedenej udržateľnej pohonnej látky na trh v MJ a sumy **0,05 eur**, čo predstavuje približne **6 eur/kg vodíka**.

Priemysel

Cieľ pre rok 2030 je zakotvený v národnej legislatíve a predstavuje 42 %, resp. 33,6 % podiel RFNBO z celkovej spotreby vodíka, za predpokladu, že podiel fosílného vodíka neprekročí 23 % (v súlade so smernicou). Stanovenie hodnoty sankcie by malo byť konzultované medzi MH SR a relevantnými partnermi.

Európsky rámec stanovuje sektorové ciele spotreby vodíka a syntetických palív a oprávnenosť použitia jednotlivých druhov vodíka a udržateľných palív v segmentoch spotreby. Tabuľka 6 ilustruje, že RFNBO má preferované uplatnenie vo všetkých segmentoch dopravy. Nízkouhlíkový vodík sa využíva najmä na dosahovanie cieľov v oblasti redukcie emisií. Biovodík môže plniť rovnakú funkciu ako nízkouhlíkový vodík a zároveň podporovať plnenie cieľov v oblasti biopalív. Recyklované uhlíkové palivá prispievajú k dosahovaniu emisných cieľov aj podielu OZE v doprave, pokiaľ obsahujú vodík biologického pôvodu z biodpadu.

Tabuľka 5: Využitie vodíka v sektoroch spotreby pre plnenie európskych cieľov

ZÁVÄZNÉ CIELE EÚ 2030	RED spotreba vodíka v doprave				RED spotreba v priemysle	ReFuelEU Aviation		Fuel EU Maritime	
	1 % RFNBO	5,5 % spolu pokročilé biopalivá, bioplyn a RFNBO	29 % Podiel OZE	Plnenie cieľa redukcie skleníkových plynov	42 % RFNBO	6 % SAF udržateľné letecké palivá	z toho 1,2 % eSAF syntetické udržateľné letecké palivá	Plnenie cieľa RFNBO	Plnenie cieľa redukcie skleníkových plynov
Obnoviteľný vodík (RHNBO)	ÁNO 2 x multiplikátor pre cestnú a železničnú dopravu 1,5 x pre námornú a leteckú dopravu			ÁNO	ÁNO	ÁNO	ÁNO	ÁNO	ÁNO
Nízkouhlíkový vodík (LCH) fosilného pôvodu	NIE	NIE	NIE	ÁNO	NIE	NIE	NIE	NIE	ÁNO
Nízkouhlíkový vodík z nefosilných zdrojov (LCH)	NIE	NIE	NIE	ÁNO	NIE	ÁNO	NIE	NIE	ÁNO
Obnoviteľný vodík (biopalivo)	NIE	ÁNO	ÁNO	ÁNO	NIE	ÁNO	NIE	NIE	ÁNO
Recyklované uhľovodíkové palivá (RCF)	NIE	NIE	ÁNO	ÁNO	NIE	ÁNO	NIE	NIE	ÁNO

Zdroj: HYTEP (2025), úprava NVAS

5.1 CIELE V DOPRAVE

Revízia smernice o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (RED III), prijatá ako smernica (EÚ) 2023/2413, zavádza nové záväzné ustanovenia týkajúce sa využívania obnoviteľného vodíka v sektore dopravy. Cieľom týchto opatrení je prispieť k dosiahnutiu klimatických cieľov EÚ a podporiť dekarbonizáciu sektorov s vysokou závislosťou od fosilných palív²⁴.

Pre zavádzanie vodíka do sektora dopravy je najvýznamnejší záväzný cieľ – podiel RFNBO 1 % na spotrebe palív do roku 2030 podľa článku 25 REDIII, ktorý znie:

“1. Každý členský štát dodávateľom paliva uloží povinnosť zaručiť, že:

a) množstvo palív z obnoviteľných zdrojov a elektriny z obnoviteľných zdrojov dodávané odvetviu dopravy povedie k:

i) **aspoň 29 % podielu energie z obnoviteľných zdrojov na konečnej energetickej spotrebe v odvetví dopravy do roku 2030, alebo**

ii) **zníženiu intenzity skleníkových plynov o minimálne 14,5 % do roku 2030 v porovnaní so základným scenárom stanoveným v článku 27 ods. 1 písm. b) v súlade s orientačnou trajektóriou, ktorú určil členský štát;**

²⁴ European Commission. (n.d.). Renewable Energy Directive – targets and rules. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

b) kombinovaný podiel pokročilých biopalív a bioplynu vyrábaných zo surovín uvedených v časti A prílohy IX a palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu ako podiel na energii dodanej odvetviu dopravy predstavuje aspoň 1 % v roku 2025 a 5,5 % v roku 2030, z toho podiel najmenej 1 percentuálneho bodu je z palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu v roku 2030.”

Možnosť výberu použitia RFNBO priamo v sektore dopravy, alebo pri výrobe konvenčných dopravných palív, alebo biopalív uvádza odsek 2:

“2. Členské štáty na výpočet cieľov uvedených v odseku 1 prvom pododseku písm. a), a podielov uvedených v odseku 1 prvom pododseku písm. b):

a) zohľadnia palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu aj v prípadoch, keď sa používajú ako medziprodukt na výrobu:

i) konvenčných dopravných palív alebo

ii) biopalív za predpokladu, že sa zníženie emisií skleníkových plynov dosiahnuté používaním palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu nezapočítava do výpočtu úspor emisií skleníkových plynov biopalív;...”

V článku 3 sa zároveň zvyšuje celkový cieľ pre podiel energie z obnoviteľných zdrojov na úroveň najmenej 42,5 % do roku 2030, s odporúčaním smerovať k úrovni 45 %. Podcieľ pre RFNBOs v doprave tvorí súčasť tohto širšieho cieľa a reflektuje potrebu urýchlenej transformácie energetického mixu aj v oblasti mobilit.

Európska komisia v roku 2023 prijala dva delegované akty k RED II (relevantné aj pre RED III), ktoré špecifikujú metodické kritériá pre uznanie palív ako RFNBO. **Obnoviteľný vodík musí byť vyrábaný elektrolytickým rozkladom vody s využitím obnoviteľnej elektriny**, pričom sa uplatňujú zásady dodatočnosti (výroba z nových OZE kapacít), časového zosúladenia výroby elektriny a výroby vodíka a geografickej blízkosti medzi zdrojom elektriny a miestom výroby vodíka. Zároveň sa vyžaduje preukázateľné **zníženie emisií skleníkových plynov minimálne o 70 %** v porovnaní s fosílnymi palivami, čo je podmienka pre ich započítanie do národných cieľov podľa RED III²⁵.

V článku 22a RED III sa členským štátom ukladá povinnosť zabezpečiť dosiahnutie stanovených cieľov týkajúcich sa RFNBOs. Štáty musia zaviesť vhodné regulačné, finančné alebo trhové mechanizmy na podporu ich využívania. V septembri 2024 Európska komisia zverejnila vykonávacie usmernenie, ktoré detailne špecifikuje výklad tohto článku a poskytuje rámec pre transparentné započítavanie spotreby RFNBOs do transportných cieľov²⁶.

Uvedené opatrenia sú súčasťou širšej stratégie REPowerEU, podľa ktorej by sa malo do roku 2030 vyprodukovať 10 miliónov ton obnoviteľného vodíka ročne v EÚ a ďalších 10 miliónov ton importovať z tretích krajín²⁷. Ustanovenia smernice RED III tak nadobúdajú kľúčový význam pri implementácii obnoviteľného vodíka ako nositeľa energie v sektore dopravy a pri podpore jeho rýchlej integrácie do energetického systému.

EMISIE V JEDNOTLIVÝCH SEKTOROCH DOPRAVY

S rastúcim tlakom na palivovú sebestačnosť a úplnú dekarbonizáciu cestnej dopravy nadobúda vodík kľúčové postavenie ako energetický nosič. Všetky emisné ciele pre osobné vozidlá, autobusy aj nákladné vozidlá sa vzťahujú na priame výfukové emisie – tzv. princíp „Tank-to-Wheel“ (TTW).

²⁵ European Commission. (2023, June 20). *Renewable hydrogen production: New rules formally adopted*. https://energy.ec.europa.eu/news/renewable-hydrogen-production-new-rules-formally-adopted-2023-06-20_en

²⁶ Hydrogen Europe. (2023). *EU continues energy transition ambitions with RED III adoption*. <https://hydrogeneurope.eu/eu-continues-energy-transition-ambitions-with-red-iii-adoption/>

²⁷ European Commission. (n.d.). *Hydrogen*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-system-integration/hydrogen_en

Znamená to, že vozidlo musí mať nulové emisie CO₂ pri samotnej jazde, bez ohľadu na emisie spojené s výrobou paliva.

To v praxi znamená, že po roku 2035 bude možné na trh uvádzať iba batériové (BEV) alebo vodíkové vozidlá s palivovým článkom (FCEV). Použitie vodíka v spaľovacích motoroch na jednej strane neemituje CO₂, ale emituje skleníkové plyny NO_x, preto vodík spaľovaný v ICE nebude spĺňať požiadavku bezemisnosti²⁸. Tím sa potvrdzuje, že **definíciu bezemisného vozidla spĺňajú len elektromobily na báze batérie a vodíka**.

V sektore dopravy je zásadná regulácia týkajúca sa výfukových emisií. Ide o **Nariadenie o znižovaní CO₂ z nových vozidiel** (EÚ 2019/631²⁹ a 2019/1242³⁰), ktoré definuje požiadavku nulových výfukových emisií, avšak nestanovuje, z akého zdroja vodík pochádza.

Využitie vodíka v doprave zahŕňa najmä:

- vozidlá s palivovými článkami (FCEV), ktoré premieňajú vodík na elektrinu,
- spaľovacie motory (ICE-H₂), ktoré priamo spaľujú vodík.

Oba typy pohonu môžu prispieť k plneniu bezemisných cieľov, pričom palivové články sú efektívnejšie, zatiaľ čo spaľovacie motory umožňujú rýchlejší technologický prechod pri zachovaní existujúcej výroby a infraštruktúry.

Cieľom Európskej únie je dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050. Tento cieľ si vyžaduje zásadné zníženie emisií skleníkových plynov vo všetkých segmentoch dopravy, ktoré v súčasnosti tvoria približne štvrtinu celkových emisií EÚ. V nasledujúcich kapitolách uvádzame prehľad záväzných emisných cieľov stanovených legislatívou EÚ v cestnej, leteckej, železničnej a riečnej doprave ako ilustruje súhrnná Tabuľka 6.

Tabuľka 6: Prehľad emisných cieľov v doprave

DRUH DOPRAVY	od 2030	Od 2035	Od 2040	Od 2050
Osobné automobily (M1) – flotila vozidiel výrobcu	-55 % CO ₂	Len bezemisné vozidlá *	Len bezemisné vozidlá	Len bezemisné vozidlá
Mestské autobusy (M3-I) – flotila obstaraných vozidiel	90 % bezemisných	Len bezemisné vozidlá	Len bezemisné vozidlá	Len bezemisné vozidlá
Prímestské/diaľkové autobusy (M3-II/III) – flotila vozidiel výrobcu	-45 % CO ₂	-65 % CO ₂	-90 % CO ₂	Len bezemisné vozidlá
Ľahké úžitkové vozidlá (N1) – flotila vozidiel výrobcu	-50 % CO ₂	Len bezemisné vozidlá	Len bezemisné vozidlá	Len bezemisné vozidlá
Ťažké úžitkové vozidlá (>7,5 t) – flotila vozidiel výrobcu	-45 % CO ₂	-65 % CO ₂	-90 % CO ₂	Len bezemisné vozidlá
Letecká doprava (intra-EÚ) – podiel paliva	6 % SAF + ETS	20 % SAF + ETS	34 % SAF + ETS	70 % SAF + ETS
Letecká doprava z toho e-SAF – podiel paliva	1,2%	5%	10%	35%
Železničná doprava	Dekarbonizácia	Dekarbonizácia	Len bezemisné vlaky	Len bezemisné vlaky
Riečna lodná doprava	Bez cieľa	Bez cieľa	Bez cieľa	Bez cieľa

* **Bezemisné vozidlo** je vozidlo s nulovými emisiami „na výfuku“, konkrétne oxidov dusíka (NO_x), pevných častíc, nespálených uhľovodíkov, oxidu uhoľnatého ani CO₂.

²⁸ Nariadenie (EÚ) [2017/1151](#) definuje „vozidlo s nulovými výfukovými emisiami“ ako také, ktoré počas štandardizovanej skúšky podľa WLTP nemá žiadne merateľné výfukové emisie znečisťujúcich látok, konkrétne oxidov dusíka (NO_x), pevných častíc, nespálených uhľovodíkov, oxidu uhoľnatého ani CO₂, t. j. všetky regulované zložky musia byť na úrovni nulovej detekcie.

**** Ciel pre Mestské autobusy** (kategória autobusov I) sa vzťahuje k registrácii nových vozidiel, pre ostatné vozidlá sa vzťahuje limit na flotilu výrobcu vozidiel.

CESTNÁ DOPRAVA

Emisné ciele pre cestnú osobnú dopravu vychádzajú z nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/631²⁹. Toto nariadenie stanovuje priemerné emisné limity oxidu uhličitého (CO₂) pre nové vozidlá kategórií M1 (osobné vozidlá) a N1 (ľahké úžitkové vozidlá, s referenčnou hmotnosťou nepresahujúcou 2 610 kg). Ciele sa uplatňujú na úrovni výrobcu a vyjadrujú sa ako flotilový priemer emisií nových vozidiel registrovaných v EÚ. Od roku 2030 sa požaduje zníženie emisií CO₂ z osobných vozidiel o 55 % v porovnaní s hodnotami z roku 2021. Od roku 2035 bude možné na trh uvádzať len bezemisné vozidlá, t. j. vozidlá s nulovými výfukovými emisiami (0 g CO₂/km). Tento cieľ fakticky znamená zákaz nových vozidiel so spaľovacím motorom okrem priameho spaľovania vodíka.

V prípade mestských autobusov (kategória M2 a M3, trieda I), ktoré sú využívané najmä v rámci mestskej hromadnej dopravy, boli stanovené ambiciózne bezemisné ciele. Od roku 2030 musí byť minimálne 90 % novo registrovaných mestských autobusov bezemisných. Od roku 2035 budú všetky nové mestské autobusy musieť byť úplne bezemisné³⁰, čo znamená povinný prechod na batérové alebo vodíkové technológie.

Pre prímestské a diaľkové autobusy (kategórie M2a M3, triedy II a III), ktoré zabezpečujú regionálne a diaľkové spojenia, platia flotilové redukčné ciele emisií CO₂. Od roku 2030 sa vyžaduje zníženie emisií o 45 %, v roku 2035 o 65 % a v roku 2040 až o 90 %³⁰. Tieto ciele sa takisto uplatňujú na výrobcov a podporujú zavádzanie nízkoemisných a bezemisných technológií v diaľkovej autobusovej doprave.

NÁKLADNÁ DOPRAVA

Pre nákladnú cestnú dopravu sú emisné ciele definované v nariadení (EÚ) 2019/1242. Ciele sa vzťahujú na nové ťažké úžitkové vozidlá, pričom sa uplatňujú na úrovni výrobcu ako priemerný flotilový cieľ.

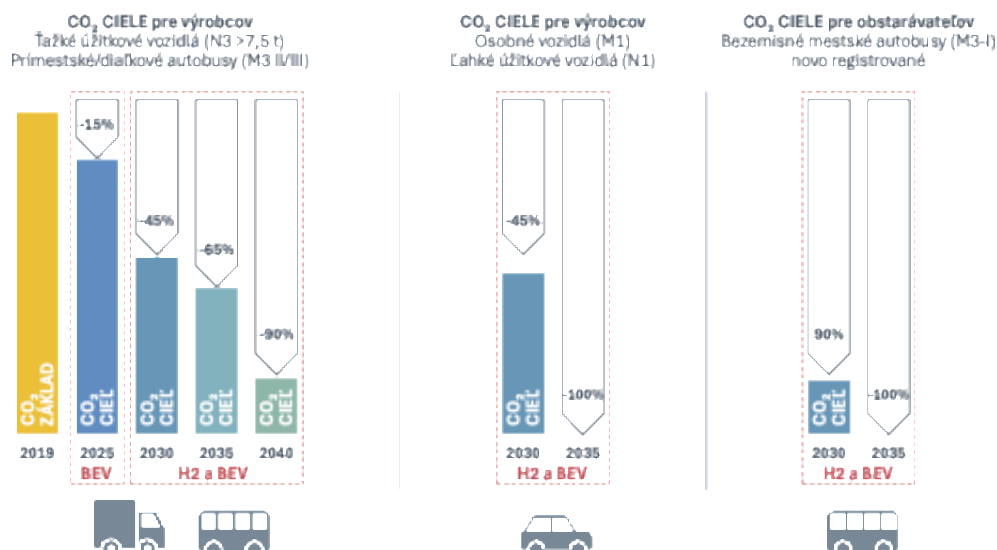
Pre ľahké úžitkové vozidlá (N1), ktoré sa používajú najmä na distribúciu tovaru v mestách a okolí, sa od roku 2030 požaduje zníženie emisií CO₂ o 50 % oproti roku 2021. Od roku 2035 budú môcť byť na trh uvádzané len bezemisné vozidlá.

Ťažké nákladné vozidlá nad 7,5 tony podliehajú podobnému režimu ako pri prímestských a diaľkových autobusoch. Do roku 2030 musia výrobcovia znížiť priemerné emisie CO₂ svojich nových vozidiel o 45 %, do roku 2035 o 65 % a do roku 2040 až o 90 % v porovnaní s rokom 2019³¹. Tieto limity podporujú prechod vodíkové a iné nízkoemisné technológie aj v nákladnej doprave na dlhé vzdialenosti. Záväzné emisné ciele v cestnej doprave ilustruje Obrázok 6.

²⁹ Európsky parlament a Rada. (2019). Nariadenie (EÚ) 2019/631. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0631-20250709>

³⁰ Slov-Lex. (2024). Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/1610 zo 14. mája 2024, ktorým sa mení nariadenie (EÚ) 2019/1242. <https://www.slov-lex.sk/pravo-eu/d3808bf4-0948-414e-ae57-534dfbb4db41> "... V prípade ťažkých úžitkových vozidiel uvedených vo štvrtom stĺpci tabuľky v bode 4.2 prílohy I (ďalej len „mestské autobusy“) musia výrobcovia dodržiavať minimálne podiely ťažkých úžitkových vozidiel s nulovými emisiami vo svojom vozovom parku nových ťažkých úžitkových vozidiel vo výške 90 % a 100 %, v súlade s bodom 4.3.2 prílohy I."

³¹ Priemerné emisie CO₂ vozového parku nových ťažkých motorových vozidiel v Únii, iných ako vozidiel na špeciálne účely, terénnych vozidiel a terénnych vozidiel na špeciálne účely, sa v porovnaní s priemernými emisiami CO₂ za nahlasované obdobie roku 2019 musia znížiť o tieto percentá.



Obrázok 6: Znižovanie CO₂ emisií v cestnej doprave

Zdroj: Hydrogen Europe, grafická úprava NVAS

LETECKÁ DOPRAVA

Pre leteckú dopravu platí kombinovaný rámec záväzkov, ktorý vyplýva zo systému obchodovania s emisnými kvótami (EU ETS) a z nariadenia ReFuelEU Aviation (EÚ 2023/2405). Do roku 2050 má byť 70 % leteckých palív udržateľných, pričom minimálne 35 % má pochádzať zo syntetických palív. Okrem toho sa na všetky lety v rámci Európskeho hospodárskeho priestoru vzťahuje povinnosť nakupovať emisné kvóty, čo má stimulovať prechod k bezemisnému letectvu.

Nariadenie (EÚ) 2023/2405 o zabezpečení rovnakých podmienok pre udržateľnú leteckú dopravu (RefuelEU Aviation)

Nariadenie nadobudlo účinnosť 1. januára 2024, má za cieľ zabezpečiť, aby letecká doprava v Európskej únii prispievala k plneniu klimatických cieľov EÚ na roky 2030 a 2050. Zároveň podporuje dodržiavanie Európskeho klimatického zákona a zachovanie rovnakých podmienok na vnútornom trhu.

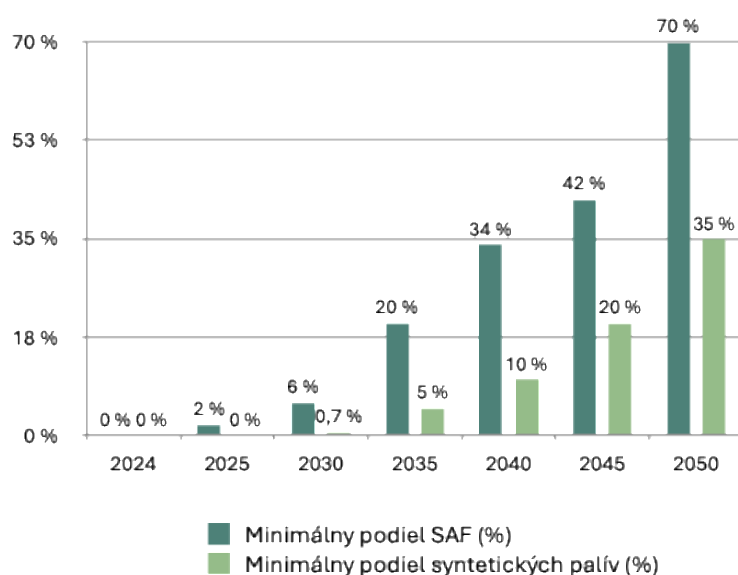
Toto nariadenie je súčasťou legislatívneho balíka „Fit for 55“, ktorého cieľom je realizácia Európskej zelenej dohody. Zavádza stabilný právny rámec na podporu postupného zvyšovania ponuky a využívania udržateľných leteckých palív (SAF) v EÚ. Udržateľné letecké palivá produkujú výrazne nižšie emisie skleníkových plynov počas celého svojho životného cyklu – v závislosti od typu SAF môžu úspory dosiahnuť 65 % až 100 % v porovnaní s fosílnym kerozínom.

Dodávatelia leteckého paliva budú musieť od roku 2025 zabezpečiť, aby zmes palív obsahovala minimálny podiel SAF, pričom od roku 2030 pribudne povinnosť zabezpečiť aj minimálny podiel syntetických leteckých palív. Tieto podiely budú postupne narastať: minimálny podiel SAF začne na úrovni 2 % v roku 2025 a dosiahne 70 % v roku 2050; syntetické palivá budú od roku 2030 tvoriť minimálne 0,7 %, pričom v roku 2050 sa ich podiel zvýši na 35 %. Syntetické palivá sú z hľadiska výroby vodíka významné aj preto, že ich produkcia si vyžaduje obnoviteľný vodík. Známe sú technológie ako napríklad Fischer–Tropschova syntéza. Podľa [prílohy I](#) nariadenie od 1.1.2030 určuje minimálny podiel syntetických leteckých palív (eSAF) je **0,7 %**, pričom celkový podiel SAF má dosiahnuť **6 %**. Ďalší rast podielu SAF a eSAF ilustruje nasledovná tabuľka a obrázok:

Tabuľka 7: Zvyšovanie podielu udržateľných a syntetických leteckých palív v letectve

OBDOBIE OD	Minimálny podiel udržateľných leteckých palív SAF (%)	V tom priemerný podiel syntetických leteckých palív eSAF (%)	Minimálny podiel syntetických leteckých palív eSAF za každý rok (%)
1.1. 2025	2,0%	0,0%	0,0%
1.1.2030, 2031	6,0%	1,2%	0,7%
1.1.2032, 2033	6,0%	2,0%	1,2%
1.1.2034	6,0%	2,0%	2,0%
1.1.2035	20,0%	5,0%	5,0%
1.1.2040	34,0%	10,0%	10,0%
1.1.2045	42,0%	15,0%	15,0%
1.1.2050	70,0%	35,0%	35,0%

Zdroj: Eur-lex, prevod do tabuľky NVAS



Obrázok 7: Zvyšovanie podielu udržateľných a syntetických leteckých palív v letectve

Zdroj: NVAS

SAF, ktoré sa započítavajú do cieľov, musia spĺňať kritériá udržateľnosti a úspor emisií podľa smernice o obnoviteľnej energii, napríklad zníženie emisií najmenej o 70% . Ide o biopalivá z odpadu a zvyškov (vrátane pokročilých), syntetické palivá vyrobené z obnoviteľného vodíka a recyklované uhlíkové palivá. Dodávatelia môžu tieto povinnosti plniť aj použitím vodíka (obnoviteľného alebo nízkouhlíkového nefosílného) a syntetických nízkouhlíkových palív.

Leteckí dopravcovia budú povinní natankovať potrebné množstvo paliva na celý let priamo na letisku v EÚ, čím sa zamedzí praktike tzv. tankeringu, pri ktorej sa tankuje palivo mimo EÚ kvôli nižšej cene, čo zvyšuje emisie. Prevádzkovatelia letísk budú musieť zabezpečiť prístup k udržateľným palivám.

Nariadenie zavádza povinnosť pre členské štáty vymenovať príslušné orgány, ktoré budú dohliadať na plnenie nariadenia a ukladať sankcie za jeho porušenie. Zavádza sa aj nový systém environmentálneho označovania letov, ktorý umožní cestujúcim informovanejšie rozhodovanie a podporí udržateľnejšie formy leteckej dopravy. Dodávatelia paliva, letiská a prevádzkovatelia

lietadiel budú povinní zhromažďovať údaje a predkladať ich Európskej agentúre pre bezpečnosť letectva (EASA) a príslušným vnútroštátnym orgánom.

ŽELEZNIČNÁ DOPRAVA

Železničná doprava je jedným z najekologickejších druhov dopravy, a preto je podpora jej rozvoja súčasťou klimatických cieľov EÚ. V tomto sektore neexistujú priame emisné limity CO₂ na úrovni jednotlivých vozidiel. Emisné ciele sú stanovené ako strategické smerovanie v rámci dokumentu „Sustainable and Smart Mobility Strategy“ z roku 2020³². Do roku 2040 má byť viac ako 90 % železničných tratí elektrifikovaných. Elektrifikácia tratí, sa ale ukazuje ako najviac investične náročná. V prípade neelektrifikovaných tratí sa podporuje zavádzanie bezemisných technológií, ako je vodíkový pohon. Cieľom EÚ je úplná dekarbonizácia železničnej dopravy do roku 2050.

RIEČNA DOPRAVA

Na rozdiel od námornej dopravy sa na riečnu (vnútrozemskú) dopravu zatiaľ nevzťahujú žiadne záväzné emisné normy CO₂. Nariadenie FuelEU Maritime (EÚ 2023/1805)³³, ktoré stanovuje ciele pre redukciu emisií v námornej doprave, sa týka len plavidiel s tonážou nad 5000 GT, ktoré vykonávajú medzinárodnú námornú dopravu. Pre riečne lode zatiaľ platia len odporúčania na úrovni EÚ, ktoré sú súčasťou dlhodobej stratégie Európskej komisie v oblasti nízkoemisnej mobility. Očakáva sa, že s rastúcim významom vnútrozemských vodných ciest budú prijaté nové legislatívne návrhy, ktoré zahrnú aj tento segment dopravy do rámca klimatickej politiky.

ZÁVER

Vodík predstavuje dôležitý prvok pri plnení emisných cieľov v doprave, no jeho uplatnenie je podmienené **technologicky neutrálnym prístupom**, ktorý podporí rozvoj všetkých foriem bezemisnej mobility. Kľúčová je najmä **podpora zavádzania infraštruktúry**, bez ktorej nebude možné rozšírenie ani následné porovnanie reálnej konkurencieschopnosti jednotlivých technológií. Prax ukáže, či niektoré z riešení nadobudne dominantné postavenie, alebo bude dlhodobo pretrvávajúť diverzifikovaný mix. Využitie obnoviteľného (RFNBO) aj nízkouhlíkového vodíka (LCH) v priemysle a logistike môže vytvoriť základný dopyt a **infraštruktúrne zázemie v sektore dopravy**. Ak sa tieto druhy vodíka uplatnia v priemysle, zabezpečí sa **dostatočná ponuka a primeraná cena aj pre sektor dopravy**, čo podstatne prispeje k jeho dekarbonizácii a rozšíreniu.

Z časového hľadiska je najefektívnejšie sústrediť sa najskôr na mestskú hromadnú dopravu, keďže emisné ciele sú v tomto segmente najprísnejšie (90% bezemisných autobusov pri obstarávaní od roku 2030 a 100% od 2035), na trhu sú dostupné vodíkové autobusy a podporné schémy by sa implementovali vo verejnom záujme za využitia aj autobusov **domácej výroby**, z Orechovej Potône, alebo zo Spišskej Novej Vsi.

Správne lokalizovaná čerpadia infraštruktúra pre autobusy môže obsluhovať aj pre iné sektory dopravy ako je nákladná, osobná cestná aj železničná doprava.

³² Európska komisia. (2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>

³³ Európsky parlament a Rada. (2023). Nariadenie (EÚ) 2023/1805. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805>

5.2 CIELE V PRIEMYSELE

RÁMEC EU ETS A ETS II

Systém EÚ pre obchodovanie s emisiami (EU ETS) predstavuje hlavný trhový nástroj EÚ na znižovanie skleníkových plynov, založený na princípe „cap-and-trade“, ktorý stanovuje celkový emisný strop pre vybrané sektory a umožňuje obchodovanie s emisnými kvótami, čím motivuje podniky k investíciám do nízkouhlíkových technológií a zvyšovaniu energetickej efektívnosti.

EU ETS sa vzťahuje na energetiku vrátane výroby a distribúcie elektriny a tepla, na priemyselné odvetvia s vysokou energetickou náročnosťou ako je výroba železa a ocele, cementu, vápna, hliníka, papiera, skla, chemikálií a rafinérií ropy, na komerčné letectvo v rámci Európskeho hospodárskeho priestoru a postupne aj na námornú dopravu.

EU ETS určuje, koľko skleníkových plynov môže priemysel a energetika spoločne vypustiť. Tento „strop“ sa každý rok znižuje, takže povoleniek je menej a ich cena rastie. Do roku 2030 sa očakáva výrazné zníženie emisií oproti roku 2005. Bezplatné povolenky, ktoré podniky doteraz dostávali, sa postupne obmedzujú a v sektoroch spadajúcich pod mechanizmus CBAM úplne zaniknú do roku 2034 (chemická výroba, rafinéria aj oceliarsstvo). Nový systém ETS II rozšíri od roku 2027 platbu za emisie aj na dodávateľov palív pre budovy a cestnú dopravu. Pre priemysel to znamená vyššie náklady na uhlík v celom dodávateľskom reťazci.

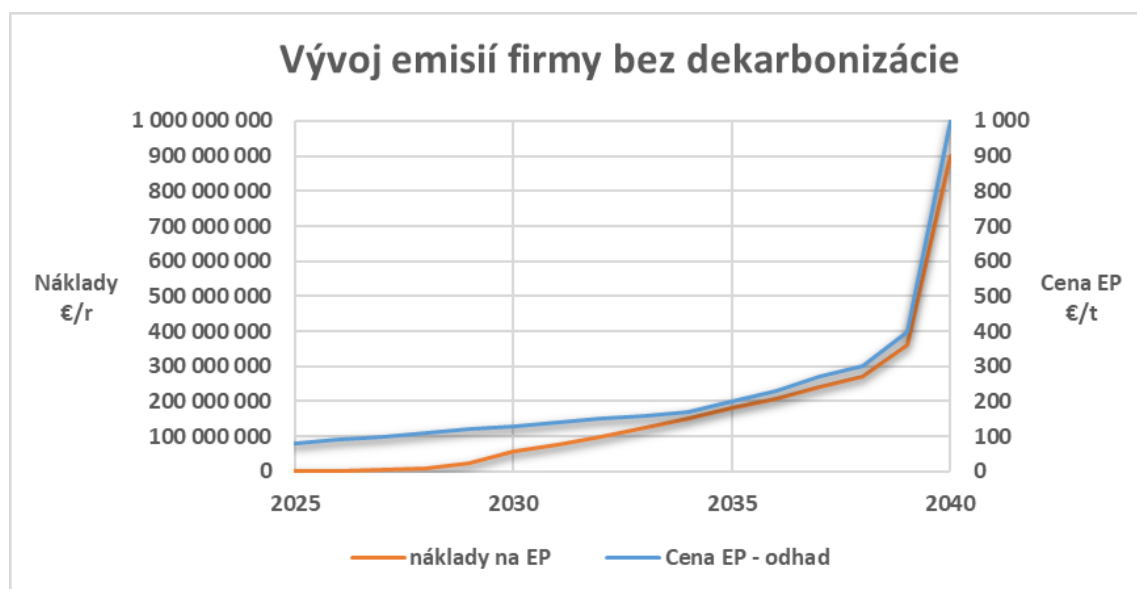
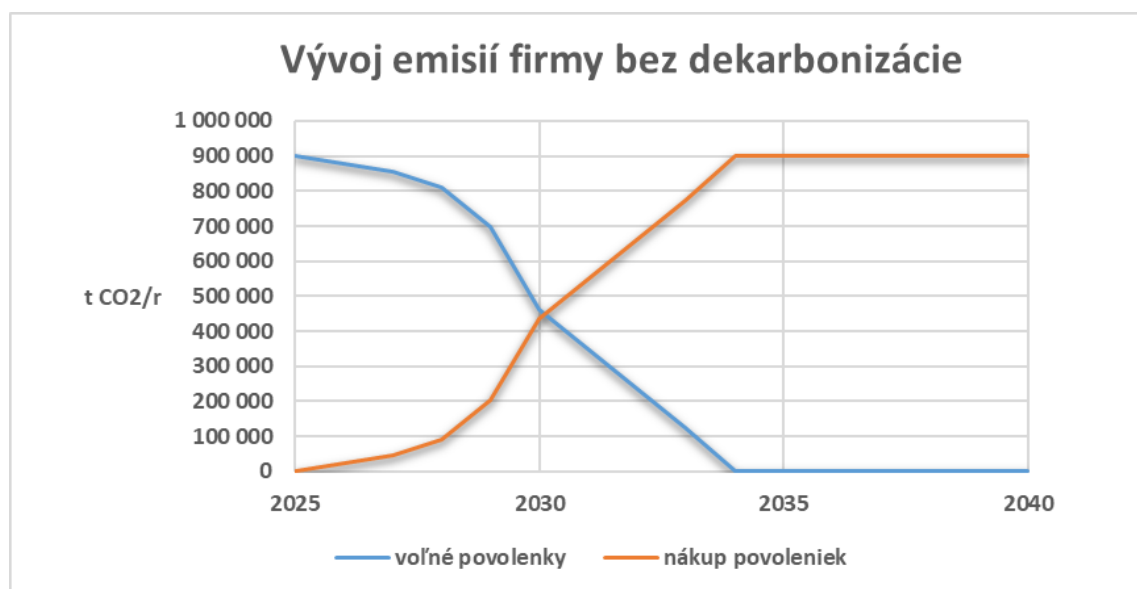
PREČO SA OPLATÍ DEKARBONIZOVAŤ

Cena povoleniek EUA môže ďalej rásť, čo zvyšuje prevádzkové riziko a náklady výrobcov. Banky, investori a verejné fondy čoraz častejšie podmieňujú financovanie preukázateľným znižovaním emisií. Odberatelia, najmä veľké medzinárodné firmy, požadujú produkty s nízkou uhlíkovou stopou a tieto požiadavky prenášajú na svojich dodávateľov. Podniky, ktoré začnú znižovať emisie včas si posilnia konkurencieschopnosť a uľahčia prístup k investíciám.

PRÍKLAD – VÝROBA AMONIAKU

- **Technológia.** Výroba amoniaku je najväčším spotrebiteľom vodíka na Slovensku. Vodík sa vyrába zo zemného plynu parným reformingom, čo spôsobuje vysoké emisie CO₂.
- **Spotreba paliva.** Ročne sa spotrebuje približne 450 miliónov m³ zemného plynu.
- **Emisie.** Produkcia približne 900 000 t CO₂ za rok.
- **Vývoj ETS.** V rokoch 2026-2034 je plánované postupné ukončenie prideľovania bezplatných povoleniek, čo znamená, že firma bude nútená pre každú emitovanú tonu nakúpiť emisnú povolenku za trhovú cenu. Do roku 2039 je plánované zníženie celkového emisného stropu ETS I na nulu - zatiaľ nie je jasné ako bude spoplatňovanie emisií fungovať od tohto bodu ďalej, je však zjavné že sa cena emisií radikálne zvýši.
- **Náklady na EUA.** Dekarbonizácia niektorých procesov ťažko dekarbonizovateľného priemyslu si vyžaduje vysoké investície. Finančná náročnosť takýchto investícií je v mnohých prípadoch pre podniky taká vysoká, že nie sú motivované ich podstúpiť ani pri rastúcich cenách emisných povoleniek. Napríklad pri výrobe amoniaku je dekarbonizácia, najmä cestou RFNBO, natoľko finančne náročná, že projekty nie sú návratné ani za predpokladu výrazného zvýšenia ceny povoleniek EUA. V takom prípade ETS nepôsobí motivačne. Len zvyšuje výrobné náklady a znižuje konkurencieschopnosť európskych výrobcov.
- **Finančné riziko.** Emisné povolenky v súčasnosti nezvyšujú cenu sivého vodíka v dostatočnej miere, aby motivovali k prechodu na obnoviteľný vodík. Situácia sa však začne meniť v okolo roku 2034 a definitívne sa prekloní v prospech obnoviteľného vodíka po roku 2039.

- **Ekonomická motivácia** k prechodu na vodík existuje až koncom budúcej dekády - po mŕňnikových rokoch 2030 a 2035, z dôvodu už zavedenia novej technológie. **Prechod na obnoviteľný vodík** je extrémne náročný na CAPEX, ktorých návratnosť bude závisieť výhradne od penalizácie emisie uhlíka. Firma pritom nedokáže niesť celé investičné riziko sama.
- **Výrobný proces** - zhruba tretina čpavku sa používa na produkciu močoviny, ktorú nie je možné vyrábať bez CO₂.



ODPORÚČANÉ KROKY

V prechodnom období možno využiť zachytávanie a ukladanie CO₂ (CCUS) a/alebo nahrádzať zemný plyn biometánom. V dlhodobom horizonte smerovať k výrobe vodíka z obnoviteľnej elektriny, zabezpečiť prístup k infraštruktúre a stabilným dodávkam energie. Využiť dostupné dotačné mechanizmy a dlhodobé zmluvy na zníženie rizika vysokej ceny uhlíka.

ZÁVÄZNÝ CIEĽ PRE PODIEL RFNBO

podľa článku 22a REDIII:

“Členské štáty zabezpečia, aby príspevok obnoviteľného paliva nebiologického pôvodu používaného **na účely koncovej energie a neenergetické účely** do roku 2030 predstavoval aspoň **42 % vodíka** používaného na účely koncovej energie a neenergetické účely v priemysle a do roku 2035 **60 % vodíka**. Na výpočet daného percentuálneho podielu sa vzťahujú tieto pravidlá:

a) na výpočet menovateľa sa použije energetický obsah vodíka použitého na účely koncovej energie a neenergetické účely, **s výnimkou:**

i) vodíka použitého ako **medziprodukt** na výrobu konvenčných dopravných palív a biopalív;

ii) vodíka, ktorý sa vyrába **dekarbonizáciou priemyselného zvyškového plynu** a ktorý sa používa ako náhrada špecifického plynu, z ktorého sa vyrába;

iii) vodíka vyrábaného ako **vedľajší produkt** alebo odvodeného z vedľajších produktov v priemyselných zariadeniach;

b) na výpočet čitateľa sa použije energetický obsah palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu spotrebovaných v priemysle na účely koncovej energie a neenergetické účely, s výnimkou palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu použitých ako medziprodukt na výrobu konvenčných dopravných palív a biopalív;

c) na výpočet čitateľa aj menovateľa sa použijú hodnoty týkajúce sa energetického obsahu palív stanovené v prílohe III.”.

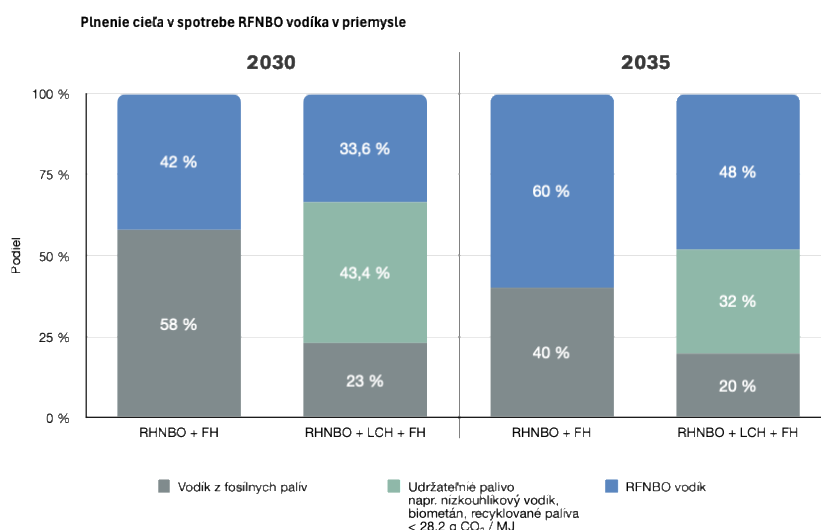
Podľa článku 22b REDIII existuje možnosť zníženia cieľa:

“Členský štát môže v roku 2030 **znížiť príspevok** palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu používaných na účely koncovej energie a neenergetické účely uvedené v článku 22a ods. 1 piatom pododseku o 20 % za predpokladu, že:

a) je tento členský štát **na dobrej ceste k svojmu národnému príspevku** k záväznému celkovému cieľu Únie stanovenému v článku 3 ods. 1 prvom pododseku, ktorý je prinajmenšom rovnocenný s jeho očakávaným národným príspevkom v súlade so vzorcom uvedeným v prílohe II k nariadeniu (EÚ) 2018/1999, a

b) **podiel vodíka** alebo jeho derivátov vyrobených **z fosílnych palív**, ktorý sa v danom členskom štáte spotrebúva, **nepresahuje 23 %** v roku 2030 **a nepresahuje 20 %** v roku 2035.

Ak niektorá z uvedených podmienok nie je splnená, zníženie uvedené v prvom pododseku sa prestane uplatňovať.



Obrázok 8: Dekarbonizácia priemyselnej spotreby vodíka pomocou RFNBO alebo v kombinácii s LCH.

Zdroj: Eur-lex, grafické spracovanie NVAŠ

RELEVANCIA PRE SLOVENSKO

Ciele sa prakticky týkajú predovšetkým veľkých dnešných spotrebiteľov vodíka. Spotreba vodíka v rafinériách je z veľkej časti viazaná na výrobu motorových palív. RED III výslovne uvádza, že **vodík spotrebovaný na produkciu dopravných palív sa započítava pod dopravné ciele**, nie pod priemyselný podcieľ. Navyše **vedľajší vodík** vznikajúci v procesoch, ktorý je „ťažko nahraditeľný“, sa z **priemyselného cieľa vylučuje**. Rozdelenie RFNBO vodíka v rafinérii medzi priemysel a dopravu sa definuje podľa energetického obsahu a konečného použitia, po vylúčení vodíka ako vedľajšieho produktu.

Výroba amoniaku patrí medzi výroby s najvyššou **priamou surovinovou** spotrebou vodíka. Tento vodík nie je vedľajší produkt ani nie je viazaný na výrobu dopravných palív. **Celý objem vstupuje do menovateľa priemyselného cieľa**, a teda výrobca stojí pred **najväčšou výzvou** zabezpečiť nahradenie podstatnej časti vodíka RFNBO, alebo preukázateľne znížiť fosílnu zložku a využiť prípadné národné flexibilné mechanizmy podľa čl. 22b. Bez dostupnej a cenovo konkurencieschopnej dodávky RFNBO, resp. zmluvného a certifikačného rámca, bude plnenie cieľov pre chemický priemysel náročné až nemožné.

Chlór-alkalické prevádzky. Výroba chlóru produkuje **vodík ako vedľajší produkt**. RED III stanovuje, že spotreba vodíka „vyrobeného ako alebo odvodeného z vedľajšieho produktu“ sa **nezapočítava** do priemyselného cieľa RFNBO. To znamená, že výrobca **nie je** povinným odberateľom RFNBO v rámci priemyselného podcieľa – viaže sa na neho výnimka.

Menší odberatelia. Výrobcovia ocele využívajú vodík okrajovo v špecifických technológiách najmä ako ochrannú atmosféru v metalurgických procesoch výroby. **Slovenské elektrárne** využívajú vodík slúži ako chladiace médium turbogenerátorov v jadrových elektrárnach. Vplyv na národný menovateľ a potrebu RFNBO je malý a v zásade riešiteľný cez limitované kontrakty alebo certifikované dodávky.

ZISTENIA

Ťažisko plnenia priemyselného cieľa RFNBO sa sústreďuje na veľkých súčasných odberateľov surovinového vodíka. V podmienkach Slovenska to znamená, že **hlavným nositeľom povinnosti bude chemický priemysel pri výrobe čpavku a palív**.

Výrobcovia čpavku nielen na Slovensku, ale naprieč celou EU sa snažia upozorniť na nemožnosť plnenia cieľov RED III pre priemyselné využívanie vodíka predovšetkým z technických, ekonomických

a časových dôvodov. Splnenie cieľa pre rok 2030 by v prípade chemického priemyslu predstavovalo výrobu a implementáciu minimálne 42 tis. ton RFNBO vodíka ročne. Bolo by potrebné zabezpečiť viac ako 2,4 TWh obnoviteľnej elektrickej energie, čo predstavuje výstavbu aspoň 125 veľkokapacitných veterných turbín, alebo 20 km² fotovoltaiických panelov. Bolo by nevyhnutné dobudovať kapacitu distribučnej sústavy. Aby bolo možné vyrábať elektrinu z nestálych obnoviteľných zdrojov, musela by sa vybudovať nová flexibilná výrobná čpavka. Takáto technológia ešte nie je vyvinutá a nie je dostupná nikde na svete. Realizácia vyššie uvedených opatrení vyžaduje desiatky rokov vývoja nových technológií a nemalé investičné náklady. Z pohľadu chemického priemyslu je nereálne dosiahnuť ciele RED III do roku 2030 a veľmi ťažko aj ciele 2035.

6 PROGNOZA ROZVOJA VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU NA SLOVENSKU

Úroveň a tempo rozvoja vodíkového ekosystému na Slovensku nie sú dané jednou premennou. Prognóza závisí od súbehu viacerých faktorov a preto pracujeme so scenármi v krátkodobom, strednodobom a dlhodobom horizonte. Základ tvoria transparentné predpoklady a citlivostné analýzy, ktoré umožnia vyhodnotiť rozsah neistoty a hlavné body zvratu.

KLÚČOVÉ URČUJÚCE FAKTORY

- a) Tvorba dopytu v priemysle, doprave a energetike vrátane verejných obstarávaní a dlhodobých odberových zmlúv.
- b) Domáci potenciál zdrojov elektriny a tepla vrátane jadra a obnoviteľných zdrojov a ich profil výroby počas roka.
- c) Potenciál importu vodíka a nosičov vodíka cez potrubia a terminály pre amoniak alebo iné médiá a dostupnosť logistických trás.
- d) Politické a regulačné prostredie vrátane transpozície EÚ pravidiel, certifikácie RFNBO a stability dlhodobých cieľov.
- e) Dostupnosť a dizajn vhodných dotačných mechanizmov a finančných nástrojov vrátane aukcií, investičných dotácií a prevádzkových prémie.
- f) Trajektória cien elektriny, plynu a CO₂ v systémoch ETS a ETS II a ich vplyv na konkurencieschopnosť vodíka.
- g) Technologický pokrok a pokles CAPEX a OPEX elektrolyzérov, skladovania, dopravy a konečných aplikácií.
- h) Stav a rozšíriteľnosť infraštruktúry vrátane elektrizačnej sústavy, prenosu a distribúcie vodíka a amoniaku, skladovania a čerpacích staníc.
- i) Povolenia, priestory a lokality s dostupnou vodou, teplom a sieťovými pripojeniami a dĺžka povoľovacích procesov.
- j) Kapitál a náklady na financovanie vrátane vnímania rizika zo strany investorov a bánk.
- k) Koordinácia so susednými trhmi a cezhraničná interoperabilita noriem a záruk pôvodu.
- l) Environmentálne limity, využitie vody a dopady na biodiverzitu a miestne komunity.
- m) Dostupnosť pracovnej sily, bezpečnostná pripravenosť a prijatie verejnosťou.
- n) Geopolitické a dodávateľské riziká vrátane cien kritických vstupov a spoľahlivosti dodávok.

Na základe týchto faktorov kapitola ďalej predstaví scenáre, predpoklady a hlavné citlivosti, ktoré určia pravdepodobné trajektórie rozvoja vodíkového ekosystému na Slovensku.

6.1 PRIESKUM TRHU

Súčasťou prípravy dokumentu bol aj zber aktuálnych dát prostredníctvom cieleného odborného prieskumu medzi kľúčovými priemyselnými a energetickými subjektmi.

Ministerstvo hospodárstva SR vykonalo pre potreby tohto dokumentu prieskum trhu v období od 14. júla 2025 do 31. augusta 2025. Elektronicky bolo oslovených 75 respondentov. Podľa nasledovných skupín:

- 8 potenciálnych výrobcov vodíka
- 9 spotrebiteľov vodíka
- 7 prepravcov a skladovateľov
- 4 prevádzkovatelia vodíkových čerpacích staníc
- 11 priemyselných zväzov a asociácií
- 8 krajských miest
- 7 okresných miest
- 4 dopravné spoločnosti zabezpečujúce mestskú hromadnú dopravu
- 4 dopravné spoločnosti zabezpečujúce nákladnú dopravu
- 4 zástupcovia železničnej dopravy
- 3 letiská
- + automobilky a logistické centrá (databáza MH)

Do prieskumu sa zapojilo 15 respondentov. Osobné konzultácie sa uskutočnili s najvýznamnejšími aktérmi vodíkového ekosystému.

METODIKA PRIESKUMU

Prieskum sa zameriava na identifikáciu aktuálnych a plánovaných kapacít v oblasti výroby, spotreby, ako aj importu a exportu vodíka, technicko-ekonomických parametrov technológií a identifikáciu bariér a očakávaní pri plnení cieľov podľa smernice RED III a požiadaviek na RFNBO do roku 2030 a 2035 s víziou do roku 2050.

Kľúčoví respondenti boli oslovení s výzvou na odbornú konzultáciu formou osobného stretnutia so zástupcami MH SR a NVAS, pričom diskusia sa zameriava na tieto oblasti:

- štruktúra a charakter výrobných procesov,
- surovinové a energetické vstupy,
- investičné zámery a ekonomické ukazovatele,
- identifikácia technologických a regulačných bariér,
- predpoklady a scenáre plnenia cieľov RED III a RFNBO,
- potenciál domácej výroby vs. potreba dovozu,
- možnosti uplatnenia vodíka z rôznych zdrojov (napr. SMR s CCSU, elektrolyzéry, odpadové teplo, CO₂ pre syntézu e-palív).

Súčasťou prieskumu je aj vyplnenie štandardizovanej tabuľky, ktorá zahŕňa tri scenáre vývoja:

1. **Optimistický scenár (NZE – Near Zero Emission):** predpokladá výrazne intenzívnejšie zapojenie vodíkových technológií a ambicióznou dekarbonizáciu hospodárstva.

2. **Základný scenár (WAM – With Additional Measures):** vychádza z aktuálne platných európskych a národných politík a zohľadňuje naplnenie záväzných cieľov.
3. **Pesimistický scenár (WEM – With Existing Measures):** uvažuje s obmedzeným rozvojom vodíkového sektora a nesplnením cieľov EÚ na národnej úrovni.

Respondenti boli zároveň vyzvaní, aby vyznačili, v akej miere je možné poskytnuté údaje zverejniť v strategickom dokumente, a to s ohľadom na dôvernosť alebo citlivosť niektorých informácií. Takto získané údaje budú použité na realistické nastavenie scenárov rozvoja, identifikáciu potrieb podpory a plánovanie investícií do vodíkového hodnotového reťazca na Slovensku.

VÝSLEDOK PRIESKUMU

Konsolidované výsledky prieskumu ilustruje Príloha 5. Na tomto mieste prinášame **kľúčové zistenia**. Prieskum ukazuje, že spotreba vodíka bude rásť aj v základnom scenári. Pri zachovaní dvoch hlavných odberateľov bude na splnenie cieľov nevyhnutné vybudovať v oboch prevádzkach prípojky a súvisiacu vodíkovú infraštruktúru. Tomu zodpovedá aj odhad dopravných objemov v rokoch 2030 až 2035, ktoré by mali postupne narásť až na približne 2 000 000 t prepravovaného vodíka ročne.

Doplnenie zistení:

- Vo WEM scenári je predpokladaná ročná výroba (potvrdená v prieskume) iba na úrovni **477 t/r v 2030 a 935 t/r v 2035**
- **Odhad domácej spotreby** hlavných odberateľov je na úrovni približne **41 až 49 tis. t RHNBO** v roku 2030 (cieľ 42%) a **59 až 70 tis. t RHNBO** v roku 2035 (cieľ 60%)
- Prieskum nenaznačuje, že by domáca výroba mohla pokryť domácu spotrebu
- Vzorka potenciálnych výrobcov je neúplná a nie je známe, aký veľký objem obnoviteľného vodíka bude v uvedenom období reálne potrebovať slovenské hospodárstvo, preto pri ďalších výpočtoch sa dokument opiera o verejne známe dnešné maximálne spotreby vodíka v národnom hospodárstve približne **177 tis. t** ročne a minimálne **142 tis. t** ročne (chemický priemysel a rafinéria). Ostatné prevádzky využívajú vodík len minimálne, rádovo v desiatkach až stovkách ton ročne.

Odhad počtu vozidiel s vodíkovým pohonom je podhodnotený. Do prieskumu nevstúpili kľúčoví hráči ako dopravné podniky MHD a veľké kamiónové prepravné spoločnosti. Z osobných konzultácií vyplynulo, že okrem Bratislavského dopravného podniku, kde už viac ako 1 a pol roka premávajú 4 vodíkové autobusy, ostatné dopravné podniky nemajú dostatok povedomia a informácií o vodíkových autobusoch a pozitívach či negatívach vodíkového pohonu pre ťažkú dopravu. Bolo by preto potrebné zrealizovať **pilotné projekty s testovacím vodíkovým autobusom s mobilnou čerpacou stanicou v reálnej prevádzke vo vybraných krajských a okresných mestách Slovenska pri rôznych geografických a lokálnych podmienkach**. Prvý takýto projekt je už v testovaní v Bratislave. Takéto projekty by mohli zvýšiť potenciál využitia vodíka v cestnej doprave a zlepšiť odhady flotíl v segmentoch autobusov, ťažkej nákladnej dopravy, úžitkových vozidiel a osobných áut. Z toho sa následne odvodí aj potrebný počet čerpacích staníc.

ZÁVER

Výstupy poskytlo elektronicky iba 6 respondentov. Pri tvorbe prognóz preto budeme vychádzať aj z poznatkov z osobných konzultácií s kľúčovými aktérmi budúceho vodíkového ekosystému a z databázy NVAS a MH SR.

7 PROGNOZA SPOTREBY VODÍKA

Vodíkový ekosystém môže byť dlhodobo udržateľný iba vtedy, ak pružne reaguje na objemové aj cenové signály vyplývajúce z reálneho dopytu. Takéto signály určujú nielen potrebnú kapacitu výroby a distribúcie, ale aj načasovanie investícií a rozvoj infraštruktúry. Bez väzby na trhové trendy by sa rozvoj sektora stal neefektívnym a ekonomicky neudržateľným.

CENOVÁ PARITA VODÍKA

Uplatnenie vodíka po zdolaní technických, bezpečnostných a realizačných výziev je závislé na finančných ukazovateľoch najmä na cenovej (energetickej) parite – rovnaká cena za dodanú energiu v porovnaní s palivami, ktoré má vodík v budúcnosti nahradiť.

Nasledujúce ceny hovoria o **cene vodíka dodaného spotrebiteľovi**. Zahŕňa teda nielen výrobnú cenu vodíka, ale aj prípadné náklady na transport a pod.

Vodík ako motorové palivo – cenová parita **7–9 eur/kg** – relatívne malé objemy – konkurenčný trhový náskok BEV.

Vodík ako vstupná surovina – nezastupiteľná úloha vodíka v chemickom priemysle, rafinériách a potenciálne v oceliarnstve – cenová parita **3–6 eur/kg** – vysoké objemy – požadovaná stabilná dodávka.

Vodík ako zdroj energie (teplo, elektrina) – cenová parita so zemným plynom, aktuálne pri veľkoobchodnej cene 40 eur / MWh je parita vodíka **1,7 eur/kg (~ 3 eur dodávateľská cena)**– veľmi vysoké objemy.

Ak sa pripočíta cena povoleniek EU ETS2 (~60 eur/t CO₂, čo zvyšuje cenu plynu o cca 6 eur/MWh), parita sa posunie vyššie približne o **0,30 až 0,60 eur/kg H₂**³⁴. **Cena povoleniek môže v roku 2030 prekročiť hranicu 100 eur.** Skutočné paritné náklady preto závisia od:

- aktuálnej veľkoobchodnej ceny zemného plynu, motorových palív,
- nákladov na emisie CO₂,
- distribučných poplatkov a účinnosti konkrétneho zariadenia.

7.1 PRIEMYSEL

Priemerná spotreba vodíka v uplynulých rokoch je rozdelená v pomere približne 55% pri výrobe amoniaku (90 tis. t) a 45% pre potreby rafinérie (76 tis.t). V súčasnosti je celé množstvo tohto vodíka na Slovensku vyrábané z fosílnych palív – zemného plynu, alebo vzniká ako vedľajší produkt pri chemickej výrobe. Ciele pre priemyselné využitie vodíka, ktoré stanovuje smernica RED III sa priamo týkajú výroby vodíka ako súčasti výroby amoniaku a fosílnych palív. Práve tieto odvetvie patria medzi najnáročnejšie odvetvia z hľadiska dekarbonizácie (hard to abate sectors).

VÝROBA AMONIAKU- PRE VÝROBU MINERÁLNYCH HNOJÍV A MOČOVINY

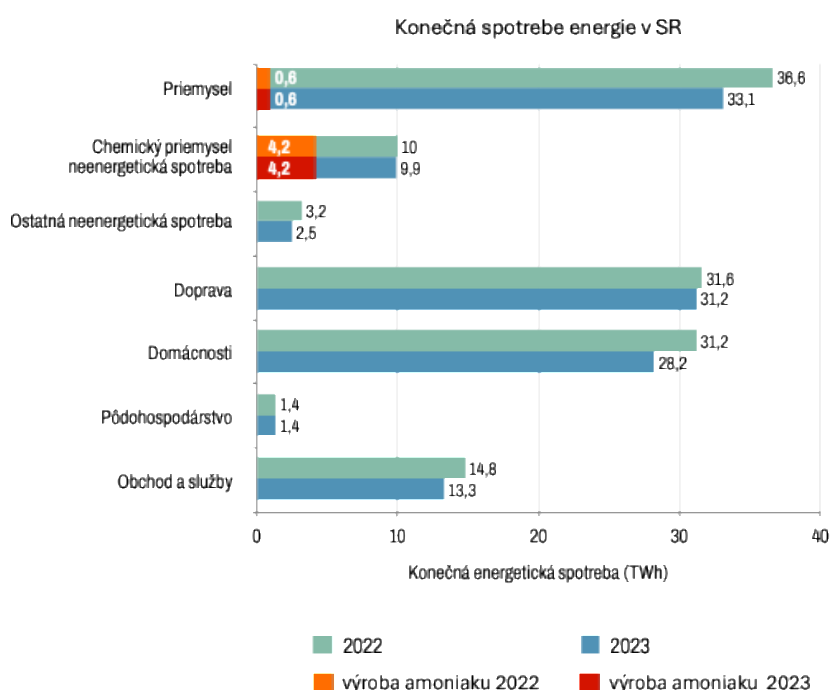
Chemický podnik na juhozápade Slovenska zohráva kľúčovú úlohu v slovenskom aj stredoeurópskom chemickom priemysle. Výrobný proces je energeticky náročný a úzko spojený so spotrebou zemného plynu, ktorý sa využíva ako surovina aj ako zdroj energie pri výrobe vodíka, ktorý je nevyhnutnou surovinou pre syntézu amoniaku. Vzhľadom na environmentálne záväzky EÚ a rastúce požiadavky na využitie obnoviteľného vodíka má podnik zásadný význam pre proces dekarbonizácie slovenského chemického priemyslu vodíkom, preto mu bude v tomto strategickom dokumente venovaná **širšia**

³⁴ V závislosti od použitia – pri spaľovaní menej, ako vstupná surovina viac.

pozornosť pri analýze možností dekarbonizácie a pri hodnotení jeho potenciálu pre využitie obnoviteľného vodíka v súlade s cieľmi EÚ.

Energetické nároky – Vodík sa v podniku vyrába prostredníctvom parného reformingu zemného plynu. Jedná sa o energeticky náročný proces. Avšak celková spotreba energie na elektrolýzu je asi o 18% vyššia³⁵, ako pri fosilnom vodíku.

Ministerstvo financií SR uvádza, že chemička je najväčší spotrebiteľ plynu na Slovensku s ročnou spotrebou „viac ako 5,8 TWh“ zemného plynu. Chemička v súčasnosti spotrebuje ročne približne 500 – 550 mil. m³ zemného plynu, 10% celkovej spotreby zemného plynu na Slovensku v priemysle SR (Obrázok 8), pričom približne 80% je vstupnou surovinou pre výrobu vodíka. Náhrada 42% vodíka, vstupnej suroviny, dnes vyrábaného zo zemného plynu pri výrobe amoniaku by si vyžadovala viac ako 2,4 TWh obnoviteľnej elektriny ročne spotrebovanej v elektrolýzéroch. Pri náhrade tejto časti vodíka, by bolo nutné vo veľkej miere modifikovať viaceré stupne integrovanej výroby hnojív a chemikálií v danom závode. Na takúto zmenu nie je súčasná technológia stavaná a vyžadovala by si úpravy, ktoré sú ekonomicky veľmi náročné, pričom nie sú na trhu dostupné ani samotné technologické riešenia. Podrobnejší popis je uvedený nižšie.



Obrázok 9: Konečná spotreba energie v chemickom priemysle

Regulačné obmedzenia: Smernica RED III kladie na použitú energiu aj ďalšie nároky, ktoré sú uvedené v delegovanom nariadení o RFNBO. Hlavným cieľom týchto doplňujúcich nárokov je zabezpečiť, aby spolu so vznikajúcimi výrobnými kapacitami na obnoviteľný vodík vznikali aj nové OZE, a aby sa zamedzilo „kanibalizácii“ existujúcich OZE (boj o zdroje elektriny). Obmedzenia sa týkajú aj umiestnenia zdrojov OZE a elektrolýzéroch, kedy je možné využívať elektrickú energiu vyrobenú len v rovnakých ponukových oblastiach – geografická korelácia, v prípade Slovenska – celé územie Slovenska. Ďalším obmedzením je časová korelácia, kedy elektrická energia, ktorú výrobca obnoviteľného vodíka použije musí byť vyrobená v rámci 1 mesiaca a od roku 2030 v rámci 1 hodiny. Tieto obmedzenia bránia tomu, aby výroba obnoviteľného vodíka na Slovensku, dovážali elektrinu

³⁵ Spoločná [správa JRC](#) o „green H₂“ v priemysle uvádza doslova: „A standard SMR hydrogen production route consumes about 15% less energy than that required for producing the same amount of hydrogen through electrolysis.“ To znamená, že elektrolýza spotrebuje približne o 17 až 18 % viac energie než SMR. Dokument tiež ilustruje potrebu 8 až 10 MWh na NH₃ pri SMR a 10 až 12 MWh pri elektrolýze.

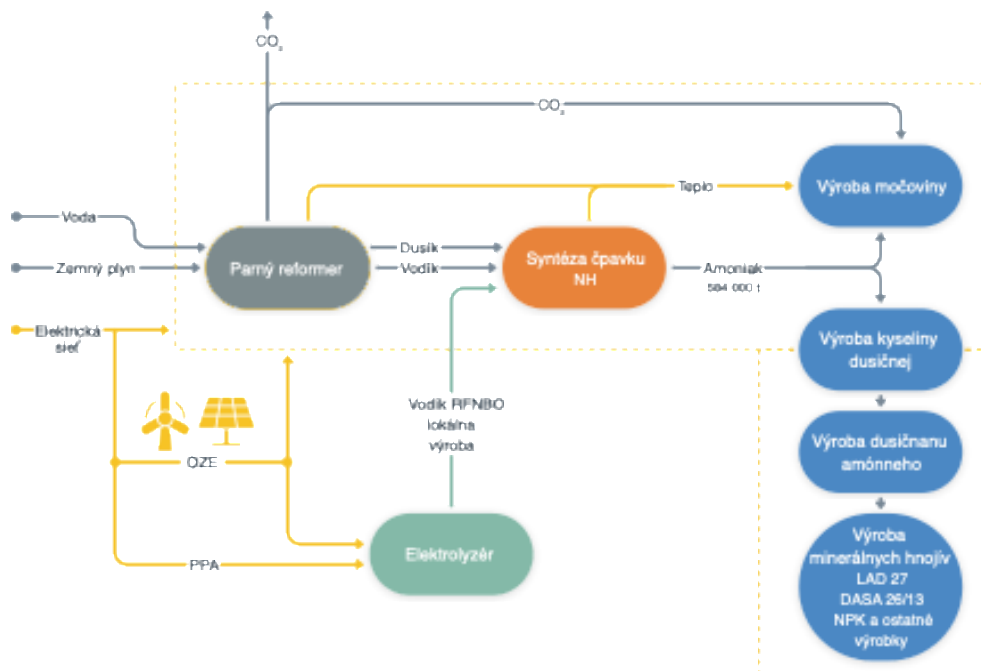
z lokalít v zahraničí, kde sú podmienky výhodnejšie. Slovenský obnoviteľný vodík tak bude menej konkurencieschopný v porovnaní s vodíkom vyrobeným vo vhodnejších oblastiach Severnej Európy alebo Pyrenejského polostrova.

Veľmi vážnym problémom je aj zákaz používania OZE, ktoré bolo spolufinancované cez štátne dotácie (v prípade používania elektriny zo siete).

Technologické obmedzenia: Výrobná jednotka amoniaku v Šali dosahuje veľmi vysokú energetickú účinnosť najmä vďaka sofistikovanému spôsobu využívania všetkých dostupných energetických prúdov. S tým je však spojená aj pomerne nízka flexibilita procesu. Pri akejkoľvek zásadnej zmene procesu je potrebné zvážiť zmenu parnej bilancie, inak hrozí, že sa proces zastaví pre nedostatok pary.

Náhrada fosílného vodíka externe vyrábaným obnoviteľným vodíkom predstavuje zásadnú zmenu procesu s negatívnym vplyvom nie len na parnú bilanciu, ale aj na teplotu v sekundárnom reforméri. Z toho vyplývajú obmedzenia:

- Do 2 % podielu obnoviteľného vodíka nie sú potrebné žiadne technologické úpravy.
- Pri prekročení 2 % by bola nutná zmena pohonu kompresorov. Úroveň 15–20 % je technicky dosiahnuteľná, avšak s nenávratnou úpravou časti technológie s vysokými investičnými nákladmi.
- Pri náhrade nad 20 % sa objavuje kaskáda problémov, ktoré si vyžadujú ďalšie investície nielen do parného systému. Vzniká tiež potreba výstavby novej jednotky na destiláciu vzduchu a odstavenie pridruženej výroby argónu.
- Pri ďalšom zvyšovaní podielu RFNBO dochádza k nutnosti odstavenia výroby močoviny a tým aj výroby AdBlue z dôvodu nedostatku CO₂. Tým zaniká spotreba pre približne 1/3 súčasnej výroby amoniaku v podniku.



Obrázok 10 Schéma integrovanej výroby minerálnych hnojív s nahradením 20% fosílného vodíka RFNBO

Problémom je aj veľká zotrvačnosť procesu najmä vzhľadom k vysokým teplotám a tlakom, pri ktorých výroba prebieha. Výkon prevádzky je možné meniť len v obmedzenej miere a v pomalých krokoch. Tento nárok je v priamom rozpore s modelom výroby obnoviteľného vodíka, ktorá bude naviazaná na nestabilné dodávky elektriny z obnoviteľných zdrojov. Problém obmedzenej flexibility nie je možné

vyriešiť vytvorením vyrovnávacej zásoby vodíka vzhľadom k mimoriadne vysokým technickým a ekonomickým nárokom na skladovanie vodíka.

Výroba vodíka elektrolýzou prináša bezpečnostné riziká, ktoré rastú s rastúcou kapacitou výroby. Dnešní výrobcovia obnoviteľného vodíka dosahujú len zlomok kapacity potrebnej pre splnenie cieľov RED III, no už teraz narážajú na technické a bezpečnostné problémy. Tie bude zrejme možné v rámci technického pokroku vyriešiť, ale vyžiada si to čas zjavne dlhší ako čas definovaný cieľmi smernice RED III.

Ekonomické hľadiská: Výroba obnoviteľného vodíka je investične veľmi náročná. Je potrebné vybudovať nie len samotné elektrolyzéry, ale aj OZE, či posilniť distribučnú sústavu. Prevádzkové náklady sú vyššie ako v prípade konvenčnej výroby. Výroba amoniaku je podmienkou výroby priemyselných hnojív. Odberatelia produktov sú teda farmári, ktorí sú veľmi citliví na cenu hnojív, keďže čelia veľkému konkurenčnému tlaku zo strany dovozu poľnohospodárskych plodín. Preto sa zdá byť nereálne premietnuť zvýšené výrobné náklady amoniaku do ceny produktov. Navyše, Európska únia čelí nadmernému dovozu lacného „nezeleného hnojiva“ do EÚ z tretích krajín.

Povoľovacie procesy a sociálne hľadisko: Na výrobu obnoviteľného vodíka je potrebné vybudovať veľké kapacity OZE, najmä veterné a solárne parky. Aktuálne na Slovensku prebieha povoľovací proces pre viacero plánovaných projektov veterných OZE. Tieto sa však brzdia zdĺhavý povoľovací proces. Dôsledkom je, že v súčasnosti nie je vo výstavbe žiaden veterný park. Bez elektriny z OZE nie je z definície možné vyrábať obnoviteľný vodík podľa smernice RED III.

Časové hľadisko: Smernica RED III ukladá cieľ výroby vodíka z obnoviteľných zdrojov pre rok 2030 na úrovni 42% a pre rok 2035 na úrovni 60%. Vzhľadom k vyššie popísanej dostupnosti obnoviteľných zdrojov, zrelosti technologických riešení a obvyklému trvaniu investičného projektu môžeme s istotou konštatovať, že **splnenie cieľa pre rok 2030 využitím obnoviteľného, resp. nízkouhlíkového vodíka pri neuznávaní vodíka vyrobeného z jadrovej energie súčasnou reguláciou EÚ je veľmi ťažko realizovateľné.**

Bez reálnej podpory a ochrany trhu, je priemyselný cieľ pre rok 2030 nedosiahnuteľný a pre rok 2035 veľmi ťažko dosiahnuteľný. Pre úplnosť uvádzame všetky známe a technicky realizovateľné scenáre dekarbonizácie chemickej výroby pri súčasnom plnení cieľov RFNBO.

VARIANTY DEKARBONIZÁCIE CHEMICKEJ VÝROBY PRI PLNENÍ CIEĽOV EÚ

Pre splnenie tohto cieľa je k dispozícii viacero realizačných variantov. Výber toho správneho záleží na mnohých faktoroch, ale hlavne na technicko-ekonomickom posúdení v súlade s platným regulačným rámcom.

A. Nová výrobná jednotka - 100% RFNBO

Postupné zvyšovanie podielu RFNBO (najprv na 42 % a potom na 60 %) na existujúcej výrobnéj jednotke je technologicky nezmyselné.

- Náhrada 42 % by si vyžadovala radikálnu prestavbu parného systému ako aj výstavbu novej jednotky na destiláciu vzduchu, čo nie je možné realizovať do 2030 z časového hľadiska.
- Náhrada 60 % by si vyžadovala druhú radikálnu prestavbu parného systému, ako aj výstavbu druhej jednotky destilácie vzduchu. Taktiež by došlo k zániku výroby močoviny, čím zaniká 1/3 spotreby amoniaku.

Vhodnejším postupom by bola výstavba novej výrobnéj jednotky čpavku od základov navrhnuť na 100% RFNBO vodík. V súčasnosti sa vyvíjajú prototypy čpavkových jednotiek, ktoré majú výrazne vyššiu flexibilitu - boli by teda lepšie schopné zniesť výkyvy OZE, čím sa radikálne znižujú náklady na stabilizáciu elektrickej siete. **Realistickým termínom je rok 2040.**

V prechodnom období je možné znižovať emisie pomocou CCS - výroba čpavku z fosílnych palív inherentne zahŕňa separáciu čistého prúdu CO₂, čím sa radikálne znižujú náklady na CCS.

Nevyriešenou otázkou je ale samotná výroba RFNBO vodíka:

- Lokálne z OZE, ktoré nie je momentálne k dispozícii a je potreba povoliť výstavbu stoviek slnečných kolektorov a veterných turbín.
- Lokálne z jadrovej energie, kde je potrebné klasifikovať jadro ako nízkouhlíkový alebo dokonca obnoviteľný zdroj energie. Pri potreba predpokladaného objemu vodíka je potrebná výstavba nového jadrového bloku pre také množstvo elektrolyzérov.
- Import vodíka potrubím. Potreba výstavby celoeurópskej potrubnej siete. Potreba rozšírenia výrobných kapacít v dodávateľských krajinách na pokrytie ich vlastných potrieb a potrieb tranzitných a konečných krajín teda aj Slovenska.

Kvantifikácia (v prípade lokálnej výroby z OZE):

Vzhľadom k zániku výroby močoviny by bola nová jednotka približne o 1/3 menšia.

- RFNBO H₂: 60 000t/rok
- Fosílny H₂: 0 t/rok
- Elektrolyzéry (inštalovaný výkon): 700 MW (cca 50% kapacitný faktor)
- OZE (inštalovaný výkon): 1 000 MW veterných turbín + 500 MW solárnych panelov
- BESS: 180 – 225 MW (na stabilizáciu siete, nie na dlhodobé skladovanie)
- Investičné náklady spolu: 5-5,5 mld. eur

Výhody:

- Úplná dekarbonizácia.
- Nižšia záťaž na elektrickú sieť.

Nevýhody:

- Nedostupnosť OZE kompatibilných s RFNBO definíciou.
- Veľmi vysoké investičné náklady.
- Neskoré splnenie cieľa (až 2040).
- **Technické riešenie flexibilnej syntézy čpavku je zatiaľ iba v experimentálnom štádiu.**

Záver - Nebude dostatok CO₂ na výrobu močoviny, zánik výroby DAM a AdBlue.

B. Hybridná výrobná jednotka 48% RFNBO + 32% biometán (s výhľadom na 52% biometánu)

Nasledujúce úvahy sú teoretické a blížia sa k reálne ekonomicko-efektívnym hraniciam toho, čo je možné na výrobné jednotke dosiahnuť. Pred ďalším postupom by bolo potrebné vypracovať technickú štúdiu s dostupným výrobcom technológií.

Smernica RED III umožňuje znížiť cieľ RFNBO zo 60% na 48%, ak je ďalších 32% nefosílného pôvodu (článok 22b). Pričom nefosílnym vodíkom môže byť aj vodík vyrobený parným reformingom biometánu.

Teoreticky by bolo možné prestavať existujúcu výrobnú jednotku do nového režimu, v ktorom by sa znížil výkon parného reformingu na 52%, pričom by sa ďalších 42% vodíka dodávalo z elektrolyzérov. Jednalo by sa o radikálnu prestavbu zariadenia - opäť platí, že nie je vhodné zvyšovať dodávky RFNBO vodíka postupne, je potrebné prebudovať jednotku zo súčasného režimu do finálnej zamýšľanej podoby. Renovácia existujúceho systému by mala byť lacnejšia

než výstavba novej jednotky - je však náročnejšia z hľadiska technických analýz, plánovania navrhovania strojov na mieru. Zamýšľaný rok dokončenia je opäť okolo 2040.

Jednou z výhod takéhoto postupu **možnosť udržania výroby močoviny**. Takáto výrobná jednotka by nebola flexibilná a **nedokázala by sa prispôbovať variabilným OZE**. To zdôrazňuje buď potrebu klasifikovať jadrovú energiu ako obnoviteľnú, alebo výrazne investovať do stabilizácie distribučnej siete.

V neposlednom rade vzniká v tomto scenári potreba zvýšenia výroby biometánu. Existujúce bioplynové stanice na Slovensku majú viac než dostatočnú produkciu bioplynu na pokrytie 32% súčasnej spotreby metánu vo výrobe čpavku - je však potrebné investovať do dočistenia bioplynu na čistý biometán. V niektorých prípadoch je tiež potrebné vybudovať pripojenie do distribučnej siete plynu.

Kvantifikácia:

- RFNBO H₂: 43 200 t/rok.
- LCH H₂: 28 800 t/rok (s výhľadom na 46 800 t/rok).
- Fosílny H₂: 18 000 t/rok s výhľadom na 0 t/rok.
- Elektrolyzéry: 250 MW (výkon musí byť viac menej konštantný).
- OZE (inštalovaný výkon): 720 MW veterných turbín + 360 MW fotovoltaických panelov.
- BESS: 180 – 225 MW. (lokálna stabilizácia, nie dlhodobá).
- Investičné náklady: 2,5-3 mld. eur. + 2 mld. eur na uskladňovanie energie - odhad 2 mld. eur (išlo by o projekt s podobnou kapacitou ako prečerpávacía vodná elektrárňa) + náklady na upgrade bioplynových staníc.

Výhody:

- vysoká miera dekarbonizácie (80%) s výhľadom na úplnú dekarbonizáciu
- udržanie výroby močoviny, udržanie plného rozsahu ekonomickej aktivity

Nevýhody:

- Neistá technologická realizovateľnosť
- Nízka flexibilita - vysoká záťaž na distribučnú sieť elektrickej energie

C. Kompletná náhrada amoniaku importovaným amoniakom

V tomto scenári dochádza k plneniu cieľov RED III bez ohľadu na to, či je importovaný čpavok fosílného alebo obnoviteľného pôvodu. **Úplný zánik domácej výroby čpavku znamená tiež zánik domácej spotreby vodíka - cieľ RFNBO sa teda stáva bezpredmetným**. Firma by si volila medzi importom fosílného vs. RFNBO čpavku na základe ich trhovej ceny (po započítaní CBAM).

Výhody:

- Splnenie cieľov RED III.
- Nižšie investičné náklady - infraštruktúra na transport čpavku o rád lacnejšia než jeho samotná výroba.

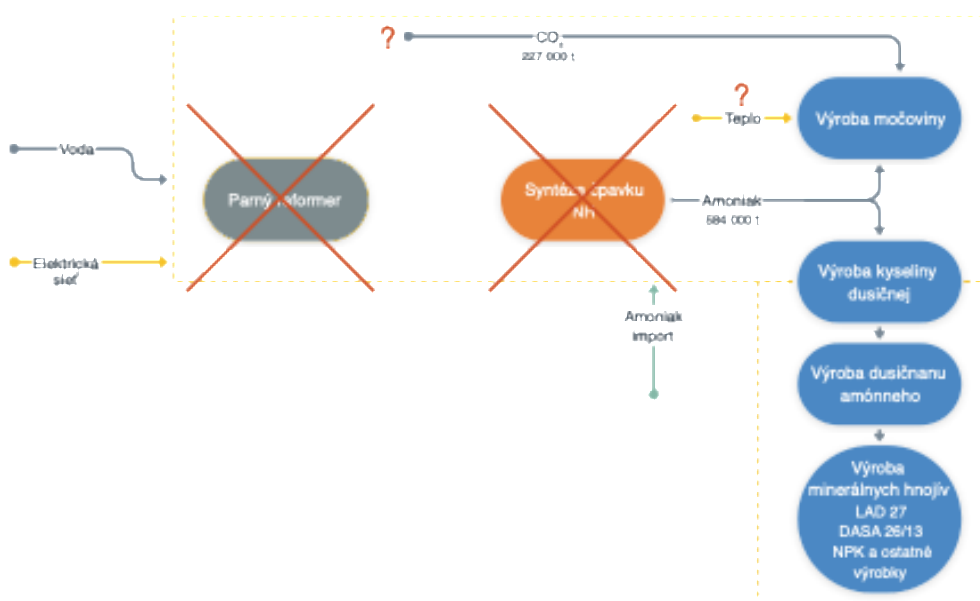
Nevýhody:

- Bez lokálnej výroby čpavku zaniká výroba močoviny. Spolu so stratou samotnej výroby čpavku dochádza k razantnému poklesu ekonomickej aktivity podniku a strate pracovných miest.

- Transport čpavku do vnútrozemia je komplikovanejší a drahší než transport hotových produktov. Hrozí strata konkurencieschopnosti v prospech firiem situovaných na pobreží Európy.
- Hrozí riziko úniku vysokotoxického amoniaku pri preprave železnicou. Preprava amoniaku UN 1005 z morských terminálov do vnútrozemia po železnici a vnútrozemských vodných cestách nesie riziká látky, horľavosť a zápalný rozsah približne 15 až 28 objemových % vo vzduchu. Pri úniku skvapalneného média vzniká hmla a ťažší toxický oblak so špecifickým šírením nad vodou a v dolinách. Zdravotné prahy pre núdzové plánovanie vychádzajú z [AEGL pre amoniak](#).

D. Kompletné odstavenie výrobného závodu.

Toto riešenie si však vyžaduje odstavenie prvých dvoch výrobných stupňov – parnej reformácie a výroby amoniaku (Obrázok 11). To opäť vyvoláva dodatočné investície do výroby tepla. Pri dovoze fosílného amoniaku z krajín mimo EÚ je potrebné od roku 2026 odvádzať „uhlíkové clo“, poplatok za emisie CO₂ vzniknuté pri výrobe amoniaku z fosílnych palív. Zatiaľ nie sú schválené všetky parametre rovnice na výpočet poplatku CBAM.



Obrázok 11: Schéma integrovanej výroby minerálnych hnojív s importom amoniaku

Zdroj: NVAS

Princíp spočíva v tom, že bez ohľadu na to, či sa tovar vyrába v EÚ alebo sa dováža z tretích krajín, výrobca alebo dovozca by mal zaplatiť **rovnakú cenu za 1 tonu CO₂**. To je podstata vyrovnávacieho mechanizmu. V roku **2026** zaplatí dovozca menej ako v roku **2035**, pretože sa predpokladá, že v rokoch 2026 a 2027 bude ešte k dispozícii značná časť bezodplatných povoleniek v systéme EÚ ETS.

Tempo znižovania bezodplatných alokácií do roku 2034 ilustruje nasledovná Tabuľka 8.

Tabuľka 8: Harmonogram krátenia voľných povoleniek (2026–2034)

<i>Rok</i>	<i>Podiel zrušených voľných povoleniek</i>	<i>Podiel zostávajúcich voľných povoleniek</i>
2026	2,5%	97,5%
2027	5,0%	95,0%
2028	10,0%	90,0%
2029	22,5%	77,5%
2030	48,5%	51,5%
2031	61,0%	39,0%
2032	73,5%	26,5%
2033	86,0%	14,0%
2034	100,0%	0,0%

Zdroj: [kompromis EP/Rada pri CBAM/ETS reforme](#)

Ak by podnik nezrealizoval dekarbonizáciu svojho výrobného procesu, jeho ročné náklady na emisie budú postupne narastať, čo znázorňuje nasledovná tabuľka.

Tabuľka 9: Prognóza vývoja nákladov na emisie CO₂ pri nezmennom objeme výroby do roku 2034

ROK	Emisie (t CO ₂ e)	Voľná alokácia (EUA)	Bilancia EUA	Náklady na CO ₂ pri cene ETS (mil. eur)		
				70 eur/t	100 eur/t	150 eur/t
2026	981 074	791 203	189 871	13,3	19,0	28,5
2027	981 074	763 207	217 867	15,3	21,8	32,7
2028	981 074	715 808	265 266	18,6	26,5	39,8
2029	981 074	610 226	370 848	26,0	37,1	55,6
2030	981 074	401 450	579 624	40,6	58,0	86,9
2031	981 074	300 971	680 103	47,6	68,0	102,0
2032	981 074	202 461	778 613	54,5	77,9	116,8
2033	981 074	105 891	875 183	61,3	87,5	131,3
2034	981 074	0	981 074	68,7	98,1	147,2

Zdroj: [Verified emission 2024](#)

Následky budú vysoko negatívne:

- Strata zamestnania v regióne priamo pre viac ako 1500 zamestnancov a ďalšie pracovné miesta v dodávateľsko-odberateľskom reťazci.
- Vysoké geopolitické riziko - zvýšenie závislosti Slovenska a odberateľských členských krajín na dovoze strategických tovarov – minerálnych hnojív pre poľnohospodárstvo.
- Strata inovatívneho potenciálu regiónu, strata dlhoročných skúseností a zručností.
- Odliv mladých odborne vzdelaných ľudí z regiónu. V regióne nie je ďalší veľký podnik v chemickom priemysle.
- Strata na HDP Slovenskej Republiky.

VARIANTY ČIASŤOČNEJ DEKARBONIZÁCIE CHEMICKEJ VÝROBY A NESPLNENIE CIEĽOV EÚ

Po konzultáciách so zástupcami chemického priemyslu, sme dospeli k záveru že, **nie je možné splniť ciele pre rok 2030**, ale je možné priblížiť sa k priemyselnému cieľu podielu RFNBO na spotrebe do roku **2035 za podmienok**:

- aby mohol chemický priemysel adoptovať obnoviteľný vodík, je nutné aby **cena obnoviteľného vodíka dodaného na miesto spotreby** klesla pod:
 - **2 €/kg** pri súčasných cenách zemného plynu a emisných povoleniek
 - **3 €/kg** pri cenách predpokladaných v **2035**
- **Uvalenie sankcií** na priemyselných spotrebiteľov vodíka (za nesplnenie národných cieľov RFNBO) **by radikálne zvýšilo výrobné náklady** finálnych produktov chemického priemyslu **na Slovensku - nijako by však neovplyvnilo cenu importovaných produktov**. Pokiaľ nebudú prípadné sankcie integrované do CBAMu (alebo podobného mechanizmu) a harmonizované na celoeurópskej úrovni, **dopad sankcií na domáci chemický priemysel by bol likvidačný**.

Na základe technologicko–ekonomickej analýzy vyhodnotili zástupcovia chemického priemyslu pri výrobe amoniaku **nasledujúce technologicky realizovateľné scenáre čiastočnej dekarbonizácie výroby**.

1. RFNBO vodík – lokálna výroba

Z technologického hľadiska je závod schopný prijať približne **10 % RFNBO vodíka** (cca 10 000 t/rok). Realizácia by si vyžiadala vyvolané investície do prestavby technológií chemickej výroby v rozsahu **10 – 20 mil. eur** a zvýšila by spotrebu elektrickej energie v závode približne o **12 MW**.

Predpoklady realizácie:

- Výstavba bude musieť byť dostatočne podporená štátom, aby bola výroba konkurencieschopná s výrobou z fosílnych palív. Napríklad dotácie na OPEX.
- Aby bolo možné tento cieľ dosiahnuť do roku 2030, je potrebné začať s výstavbou bezodkladne.
- Zároveň je potrebné upraviť definíciu RFNBO, ak má byť vodík klasifikovaný ako RFNBO.

V prípade dodávok RFNBO vodíka z plánovanej výroby v Gabčíkove by bolo nutné dokončiť výstavbu do 2028, aby ho bolo možné považovať ho za RFNBO. Aj potom bude považovaný za RFNBO iba počas obdobia približne 10 rokov (trvanie výnimky), ak by nedošlo k legislatívnym zmenám.

Ekonomicky výhodnejšie by bolo pravdepodobne vybudovať elektrické vedenie zabezpečiť výrobu vodíka priamo vo výrobnom areáli amoniaku, než budovať vodíkové potrubie, ktorého kapacita by bola relatívne obmedzená. V oblasti výroby sú k dispozícii destilovaná a chladiaca voda.

2. RFNBO čpavok – import

Spoločnosť je schopná **importovať určité množstvá RFNBO čpavku zo zahraničia**. Toto riešenie je však výrazne výhodnejšie pre priemyselné podniky **v pobrežných regiónoch**, nakoľko vnútrozemská distribúcia sa sústreďuje na železničnú prepravu, kde je potrebné vyriešiť bezpečnosť prepravy z námorných terminálov do miesta spotreby.

3. Znižovanie emisií alternatívnymi metódami

Spoločnosť už dosiahla maximálne možné zníženie emisií prostredníctvom zvyšovania energetickej účinnosti a redukciou emisií N₂O. V rámci konvenčnej technológie výroby čpavku zostávajú 2 možnosti ďalšieho významného zníženia emisií:

- **Efektívnou metódou je využívať biometán primiešaný do zemného plynu. Znižuje sa tak emisná stopa vodíka vyrobeného v existujúcom reformeri**. Na Slovensku

existuje **nevyužitý potenciál biometánu**. Na dosiahnutie parity so zemným plynom si vyžaduje nižšiu úroveň dotácií ako RFNBO. Súčasne prináša pozitívne efekty pre rozvoj vidieka a podporuje investície do rurálnych komunít. Primiešaný do zemného plynu má potenciál zabezpečiť certifikáciu vyrobeného vodíka v SMR s CCS ako LCH, ak dosiahne nižšie emisie ako 28,2 g CO₂eq / MJ. Biometán však nepatrí medzi RFNBO a ním samotným nie je možné plniť cieľ, len ho ponížiť o najviac 20% (z 60% na 48% v roku 2035).

- CCS - existujúca výrobná jednotka čpavku už dnes disponuje systémom separácie čistého prúdu CO₂, čím sa radikálne znižujú náklady na ukladanie CO₂ do podzemného úložiska. Najprv je však potrebné overiť, či sú potenciálne geologické úložiská v regióne vhodné na takúto činnosť. V prípade pozitívneho vyjadrenia príslušných úradov by bolo možné relatívne rýchlo a ekonomicky zredukovať emisie výroby čpavku o približne 1/3.

Zhodnotenie

Chemický priemysel výroby amoniaku je schopný čiastočne dekarbonizovať svoju výrobu dvoma spôsobmi:

1. Čo možno najviac a najefektívnejšie **znižiť emisie CO₂** využitím zemného plynu s prísadou **biometánu** a zachovať existujúcu chemickú výrobu bez výrazných zmien. Ukladať časť vzniknutých emisií **CO₂ do trvalých úložísk**. Rizikom je potreba vybudovať nové potrubné prepojenie pre transport CO₂.
2. Splniť, čo najväčší podiel využitia **RFNBO**, technologicky maximálne 20%, reálne **10%** – dovozom obnoviteľného **vodíka** alebo **amoniaku**.

ZISTENIA

Na základe posudzovaných dekarbonizačných variantov z odporúčaní zástupcov výrobného podniku amoniaku a z hľadiska nedostatočného rozvoja vodíkového ekosystému na celoslovenskej úrovni konštatujeme, že bude veľmi ťažké splniť ciele RED III v oblasti priemyslu v spotrebe vodíka v kategórii RFNBO do 2035.

Smernica RED III pritom stanovuje dosiahnutie cieľa 42% už v roku **2029**, teda ešte pred hranicou roku 2030, avšak budovanie technológií výlučne na tento termín nie je opodstatnené, keďže do roku 2035 sa požaduje podiel RFNBO na úrovni **60 %**, čo si vyžaduje nasmerovanie významných investícií priamo do kapacít zodpovedajúcich tomuto cieľu. Aj naďalej ale **absentuje právna istota**, že sa tieto požiadavky v horizonte rokov 2040 až 2050 opätovne **nezvýšia** a je potrebné zohľadniť, že technológie v chemickej výrobe majú životnosť spravidla viac ako 20 rokov a v mnohých prípadoch až 40 až 50 rokov, takže **realizácia obnoviteľných zdrojov potrebnej kapacity, výroby vodíka, infraštruktúry a prestavby chemickej výroby do roku 2029 nie je reálna**.

Za realistický postup je možné považovať:

- **do 2035** - Využiť dostupné alternatívne možnosti znižovania emisií (biometán, CCS). Pripraviť podrobný plán na výstavbu novej výrobnej jednotky obnoviteľného amoniaku. Je potrebné vytvoriť koherentný integrovaný plán v spolupráci so správcami distribučných sietí elektrickej energie a plynu.
- **2035-2040** - výstavba novej výrobnej jednotky amoniaku (buď 100% RFNBO alebo hybrid RFNBO + biometán). Alternatívne - vybudovanie importnej infraštruktúry na obnoviteľný amoniak z krajín s optimálnymi podmienkami na jeho produkciu.

Silné stránky dekarbonizácie chemickej výroby do roku 2040

- Realizácia jedného z variantov prináša úspory z rozsahu, pričom prebytky vodíka je možné využiť aj na plnenie ďalších klimatických cieľov v doprave a energetike.
- Urýchlenie **výstavby potrubného prepojenia medzi centrálnym zdrojom priemyselnými odberateľmi**, čím sa začne komplexná modernizácia transportných a distribučných kapacít ako súčasti budúcej Európskej vodíkovej siete (EHB).
- Cena vodíka mohla klesnúť pod **4 eur/kg** pri investičnej podpore pre vodíkovú elektrárňu a OZE o intenzite 50% podpore (fondy EU).

Slabé stránky:

- Realizácia sebestačnej tuzemskej výroby vodíka pre plnenie cieľov 2040 by si vyžiadala investície na úrovni viac ako **3 mld. eur** pri minimálnej podpore aspoň 50%. Alternatívne, prechod na importovaný vodík/amoniak znamená geopolitické riziko ako aj zníženie ekonomickej aktivity v krajine.
- EK zatiaľ nepodporuje výrobu nízkouhlíkového vodíka z jadrovej energie. Prehodnotenie nastane v roku 2028 na základe štúdie doručenej v júni 2026. **Je potrebná urýchlená zmena a vytvoriť flexibilné podmienky.**
- EK zatiaľ neumožňuje podporovať nové OZE pre potreby výroby vodíka. Investičné náklady na výrobu samotného obnoviteľného vodíka a na nové OZE pre jeho výrobu treba podporovať ako spoločný investičný zámer, aby bol pre podnikateľov efektívny a zaujímavý.
- Potreba zabezpečiť nové zdroje tepla a CO₂ pre ďalšie stupne výroby.

Pretrvávajúce problémy :

- Realizácia sebestačnej tuzemskej výroby vodíka pre plnenie cieľov 2040 by si vyžiadala investície na úrovni **miliárd eur**.
- EK zatiaľ nepodporuje výrobu nízkouhlíkového vodíka z jadrovej energie. Prehodnotenie nastane v roku 2028 na základe štúdie doručenej v júni 2026. **Je potrebný koordinovaný lobbying „projadrových krajín“.**
- EK zatiaľ neumožňuje dotovať nové OZE pre potreby výroby vodíka. **Potrebný lobbying za zmenu DA RFNBO – líder iniciatívy ČR.**

Výhody odkladu adopcie RFNBO do chemickej výroby do roku 2040

- Úspora na investičných nákladoch podnikov - postupné zvyšovanie podielu RFNBO každých 5 rokov by si vynútilo investície do zariadení, ktoré sa stanú nepoužiteľné o 5 rokov.
- Využitie nových technológií umožní flexibilnú výrobu čpavku, čo poskytne flexibilitu elektrizačnej sústave, zníži náklady na podporné služby a umožní pripájanie nových obnoviteľných zdrojov energie na celom Slovensku.
- Do roku 2040 sa cena obnoviteľného fosílného vodíka priblíži k parite (nárast ceny fosílného vodíka vplyvmi emisných povoleniek, potenciálne zároveň pokles ceny obnoviteľného vodíka). Vzniká realistický business case pre prechod na obnoviteľný vodík bez extrémnych dotácií (v súčasnosti potreba dotácie CAPEX >90%)

Záver

Transformácia chemickej výroby a splnenie cieľov RED III je reálne dosiahnuteľná najskôr do roku **2040**, a to len za predpokladu **stabilného finančného a regulačného rámca a efektívneho povoľovacieho procesu**, pričom nezaradenie vodíkoveho ekosystému medzi **strategické investície** by znamenalo riziko nesplnenia cieľov, potenciálne ukončenie výroby amoniaku a **stratu viac ako 1500 pracovných miest** vrátane stoviek nadväzujúcich pozícií v partnerských spoločnostiach. Dosiahnutie cieľov do roku 2040 si vyžaduje **vybudovanie maximálnej možnej domácej kapacity výroby vodíka**, ktorá posilní energetickú bezpečnosť a stabilitu priemyslu, avšak samotná tuzemská produkcia nebude postačovať, preto bude nevyhnutné kombinovať ju s **importom vodíka prostredníctvom siete EHB alebo s dovozom obnoviteľného čpavku**. Slovensko by preto malo **prijat' hybridnú stratégiu** založenú na systematickom rozvoji domácej výroby obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka a paralelnej výstavbe infraštruktúry pre dovoz RFNBO vo forme vodíka a amoniaku, čo umožní plnenie európskych klimatických cieľov a zároveň podporí stabilitu priemyslu, energetickú bezpečnosť a dlhodobú konkurencieschopnosť hospodárstva. Kľúčovou podmienkou je zaradenie výstavby veľkokapacitného ekosystému výroby vodíka medzi strategické národné projekty, čím sa urýchli povoľovací proces a vytvoria sa predpoklady pre výstavbu rozsiahlych parkov obnoviteľných zdrojov energie a celej potrebnej infraštruktúry vrátane elektrolyzéro, zásobníkov, potrubnej siete a priemyselných odberných napojení.

RAFINÁCIA ROPY

Hlavnou činnosťou rafinérie v Bratislave je spracovanie ropy a výroba ropných produktov, vrátane motorových palív, petrochemických surovín a špecializovaných chemických produktov. Vďaka svojej polohe a napojeniu na dopravnú infraštruktúru zohráva rafinéria významnú úlohu v zásobovaní trhu strednej Európy motorovými palivami. Podnik patrí medzi desať väčších producentov emisií skleníkových plynov na Slovensku, čo ho radí medzi strategické subjekty pri implementácii dekarbonizačných politík EÚ.

Energetické nároky: Prognóza spotreby obnoviteľného vodíka (RFNBO) v podmienkach rafinérie po roku 2030 vychádza z legislatívnych požiadaviek EÚ, najmä z RED III a ReFuelEU Aviation. Podľa realizovaného prieskumu, rafinéria odhaduje potrebu obnoviteľného vodíka pre splnenie cieľov do 2030 na úrovni 10 až 11 KT ročne, čo zodpovedá inštalácii elektrolyzéro s výkonom približne 90 až 140 MW³⁶. Na pokrytie týchto potrieb bude nevyhnutné zabezpečiť výrobu elektrickej energie v rozsahu približne 650 GWh ročne, čo bude investične náročné a je otázna uskutočniteľnosť do roku 2030.

Regulačné obmedzenia: Právny rámec vyplývajúci z RED III zavádza povinnosť nahradiť 42 % vodíka používaného v nepalivových výrobných procesoch obnoviteľným vodíkom, pričom po roku 2035 sa tento podiel zvýši na 60 %. **Popri priemyselných cieľoch má rafinéria povinnosť podieľať sa na plnení cieľov v sektore palív pre cestnú dopravu a leteckú dopravu.**

Doprava podlieha povinnosti dosiahnuť podiel obnoviteľného vodíka vo výrobe palív vo výške najmenej 1 % energetického obsahu, pričom sa umožňuje dvojité započítanie. V oblasti letectva zavádza smernica ReFuelEU Aviation od roku 2030 povinnosť využívať 0,7 % syntetických palív s postupným nárastom až na 35 % v roku 2050. Národná legislatíva je v súčasnosti v procese transpozície, pričom detaily metodiky výpočtu a sankčných mechanizmov zatiaľ nie sú určené.

Technologické obmedzenia: Súčasná výroba vodíka v rafinérii je založená na parnom reformingu zemného plynu (týkajú sa ciele RED III) a čiastočne na vedľajšej produkcii z technologických

³⁶ Rozpätie inštalovaného výkonu je široké z dôvodu rôznych scenárov využitia elektrolyzéra v roku – ak bude napájaný z lokálnych OZE (mix vietor, solár) $P_{\text{inst ELY}} = 3 \times P_{\text{inst OZE}}$, potom je možné dosiahnuť CF 50% 150 MW ak z OZE aj zo siete cez PPP potom 100 MW je reálny výsledok

procesov (spadá pod výnimku RED III). Zavedenie RFNBO si vyžiada inštaláciu veľkokapacitných elektrolyzéro, ich integráciu do existujúcich výrobných liniek a stabilné dodávky elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Kľúčovým problémom je nízka dostupnosť zelenej elektriny na Slovensku a obmedzené prenosové kapacity siete, čo predstavuje riziko pre naplnenie požadovaných cieľov.

Ekonomické hľadisko: Investičné náklady na zavedenie elektrolyzéro a výstavbu či obstaranie obnoviteľných zdrojov sa odhadujú v rozsahu stoviek miliónov eur. Prevádzkové náklady budú úzko závisieť od ceny elektrickej energie, ceny uhlíkových povoleniek a certifikácie RFNBO. Dodatočným rizikom je potenciálne znevýhodnenie oproti rafinériám mimo EÚ, ktoré nebudú vystavené rovnako prísny regulárnym požiadavkám.

Povoľovacie procesy: Zavedenie elektrolyzéro, nových zdrojov elektrickej energie a technologických zmien v rafinérii si vyžiada celý rad povoloacích procesov vrátane environmentálneho posudzovania (EIA) a získania príslušných licencií. Tieto procesy môžu byť časovo náročné a predstavujú riziko oneskorenia realizácie projektov.

Časové hľadisko: Proces transpozície RED III do národnej legislatívy sa očakáva do roku 2025. Očakávame, že sa ciele budú následne sprísňovať v horizonte rokov 2040 až 2050.

VARIANTY DEKARBONIZÁCIE RAFINÉRIE

Variant A – Minimálna zhoda s legislatívou

Tento variant predpokladá splnenie iba povinného minima podľa legislatívy EÚ. Investičné náklady by boli nízke, no vysoké je riziko penalizácie pri sprísnení regulácie.

Variant B – Progresívna adaptácia

Variant zahŕňa postupnú inštaláciu elektrolyzéro s výkonom od 20 do minimálne 100 MW, prípadne kombináciu vlastnej výroby RFNBO a nákupov na trhu.

Variant C – Ambiciózna dekarbonizácia

Tento scenár predpokladá inštaláciu elektrolyzéro s výkonom nad 150 MW a rozsiahle investície do obnoviteľných zdrojov.

Odporúčaný variant a hodnotenie

Za najvhodnejší sa javí **Variant B – Progresívna adaptácia**. Tento variant predstavuje kompromis medzi investičnými nákladmi a technickou uskutočniteľnosťou.

Silné stránky:

- Technicky aj ekonomicky uskutočniteľný prístup.
- Základ pre budúce sprísnenie cieľov.
- Možnosť kombinácie vlastnej výroby a trhových nákupov RFNBO.

Slabé stránky:

- Závislosť od dostupnosti a cien RFNBO na trhu.
- Strata konkurencieschopnosti.
- Potreba stabilného a predvídateľného politického rámca.

Rafinéria bude povinná plniť predovšetkým ciele v oblasti dopravy a zároveň bude musieť implementovať aj riešenia potrebné na plnenie cieľov v priemysle. Ciele v doprave budú musieť zohľadniť aj požiadavky na letecké palivá. Pre obdobie od roku 2030 to s pomocou dvojitého započítania bude len pre sektor dopravy vyžadovať minimálne 3,1 KT RFNBO. Pričom, už teraz je možné predpokladať, že pri súčasnem nastavení legislatívneho rámca bude plnenie len tohto cieľa mimoriadne technicky a ekonomicky náročné.

ZISTENIA

Plnenie cieľov RFNBO pre priemysel a dopravu (Scenár WEM) – ciele splnené

Rafinéria bude priemyselné ciele plniť postupným nahrádzaním vodíka zo zemného plynu obnoviteľným vodíkom vyrobeným elektrolyzérmi. Do roku 2030 sa predpokladá minimálne 6,5 tis. t RFNBO, po roku 2035 približne 13 tis.t (v scenári WEM). V oblasti dopravy bude závod plniť čiastočný cieľ a podieľať sa na plnení podielu RFNBO do výšky 1 % (resp. energetického obsahu palív, čo predstavuje približne najviac 3,1 kt zeleného vodíka po započítaní multiplikátora 2). Pre leteckú dopravu sa od roku 2030 bude zabezpečovať podiel syntetických palív, napríklad e-kerozínu, v súlade s požiadavkami smernice ReFuelEU Aviation.

VÝROBA OCELE

Najväčší potenciál využitia vodíka sa sústreďuje v hutníctve na východe Slovenska, predovšetkým v oceliarni v Košiciach. Ostatné hutnícke prevádzky na Slovensku neprevádzkujú vysoké pece a na tepelné procesy používajú najmä elektrinu alebo zemný plyn. V tomto prípade je budúce uplatnenie vodíka obmedzené, resp. sústredené na tepelné procesy.

Oceliarne v Košiciach sú najväčší hutnícky podnik na Slovensku a jeden z najväčších zamestnávateľov v regióne východného Slovenska. Závod produkuje široké spektrum oceľových výrobkov vrátane plochých valcovaných výrobkov, plechov a špeciálnych hutníckych produktov. Hutnícka výroba je energeticky náročná a tradične založená na vysokopecnom procese s využitím koksu. Od roku 2024 je podnik vlastnícky kontrolovaný japonským koncernom Nippon Steel Corporation, ktorý na globálnej úrovni presadzuje stratégiu dekarbonizácie hutníckeho priemyslu prostredníctvom najnovších aj interne vyvinutých technológií, vrátane použitia vodíka v redukcii oxidov železa ako náhrady uhlíka z koksu a uhlia.

Súčasný stav

Oceliarne v súčasnosti využívajú vodík prevažne ako ochrannú atmosféru pri finálnych metalurgických procesoch, najmä pri výrobe ocele. Ročná spotreba sa pohybuje na úrovni 200 až 250 ton. V porovnaní s inými priemyselnými podnikmi ide o relatívne nízke objemy, avšak význam spotreby je strategický, keďže ide o citlivý výrobný krok vyžadujúci vysokú kvalitu a stabilitu vstupov.

V súčasnosti nie je známy detailný rozvojový rámec železiarní pod novým japonským vlastníkom Nippon Steel. Verejne dostupné informácie však naznačujú, že v rámci iniciatívy „Nippon Steel Carbon Neutral Vision 2050“ vyvíja tri superinovatívne technológie s podporou japonskej vlády. Jednou z týchto technológií je vstrekovanie vodíka do vysokých pecí, ktoré využíva vodík namiesto uhlia na redukcii železnej rudy vo vysokej peci, čím sa výrazne znižujú emisie CO₂. Očakáva sa, že príslušné scenáre a informácie o strategickom rozvoji oceliarne budú zverejnené v najbližších mesiacoch.

Potenciál transformácie (scenár WAM)

V prípade transformácie výroby ocele z klasického vysokopecného procesu založeného na koksovanom uhlí na technológiu priamej redukcie železnej rudy pomocou vodíka (Direct Reduced Iron – DRI) by ročná potreba vodíka na Slovensku mohla stúpnuť o niekoľko tisíc ton, čo by znamenalo značný technologický aj energetický posun.

Regulačný rámec a ciele do roku 2035

Európska legislatíva (RED III) stanovuje, že priemyselné podniky budú povinné postupne zvyšovať podiel obnoviteľného vodíka. Do roku 2035 sa požaduje, aby 60 % spotreby bolo pokryté obnoviteľnými zdrojmi (RFNBO). Pri súčasnej spotrebe 150 až 250 ton ročne to znamená nahradiť fosílny vodík približne 90 až 150 t ročne obnoviteľným vodíkom. Ak však dôjde k technologickej

transformácii na báze DRI, požiadavky na RFNBO sa stanú násobne vyššími a ich plnenie bude závisieť od existencie európskej potrubnej vodíkovej infraštruktúry. Využitie DRI sa predpokladá až v poslednej fáze transformácie oceliarskeho priemyslu, v modelových scenároch INEKP najskôr po roku 2040.

Výhľad a strategické dôsledky

- **Krátkodobý horizont (do 2030):** stabilná spotreba vodíka na úrovni 150 – 250 ton, plnenie základných povinností RFNBO.
 - Udržanie súčasného výrobného procesu s minimálnym využitím vodíka.
 - Splnenie iba legislatívne požadovaného podielu RFNBO (~63–105 ton ročne do 2030) scenár WAM.
 - Nízke investície.
 - Zvyšovanie nákladov na EU ETS
- **Strednodobý horizont (2030 – 2035):** postupné zvyšovanie podielu obnoviteľného vodíka na 60 % spotreby, čo si vyžiada vytvorenie dodávateľských reťazcov pre RFNBO. (Scenár WEM)
 - Postupné zvyšovanie spotreby vodíka nad rámec legislatívneho minima.
 - Na základe strategických rozhodnutí nového vlastníka môže nastať čiastočná náhrada uhlíka vodíkom do roku 2035.
 - Zvýšené investičné náklady, vytvorenie základov pre budúcu transformáciu.
- **Dlhodobý horizont (po 2035) prináša 3 scenáre** (scenár WAM):
 - **Potenciál lokálnej výroby DRI obnoviteľným vodíkom.** Požadované množstvo vodíka, ale nebude možné zabezpečiť výlučne lokálnou výrobou, a preto bude nutné pripojenie Slovenska na **európsku vodíkovú sieť** a budovanie cezhraničných dodávok vodíka alebo dovoz. Proces bude investične aj technologicky náročný.
 - **Dovoz H₂-DRI peliet** (Scenár WAM).
 - **Dovoz nespracovaného železa „pig iron” a lokálne pretavenie.**

Scenár A. Lokálna výroba DRI (po 2040) na obnoviteľný vodík a tavenie v EAF.

Materiálové a energetické toky.

Potreba vodíka stúpne niekoľko násobne.

Je potrebné zabezpečiť zdroj na elektrinu pre elektrolýzu.

Investičné náklady pre zabezpečenie elektrolýz a napojenie na siete – elektrina, voda chladenie, interná infraštruktúra komplexu oceliarskeho.

Potenciálne kyslík ako vedľajší produkt.

Tavenie a legovanie.

Elektrická oblúčková pec s vysokým podielom DRI.

Typická spotreba elektriny 500 až 650 kWh na tonu ocele podľa teploty DRI a podielu šrotu.

Ročne 0,75 až 0,98 TWh.

Celková elektrická spotreba závodu 6,8 až 7,6 TWh.

Emisie a citlivosť.

Prevádzkové emisie sú dané uhlíkovou náročnosťou elektriny a zemného plynu v pomocných spotrebičoch.

Pri nízkouhlíkovej elektrine je redukčná časť bez emisií CO₂.

V tabuľke 10 a texte pod ním vynechať nasledovné:

Tabuľka 10: Porovnanie kľúčových ukazovateľov pri alternatívnych spôsoboch výroby ocele

UKAZOVATEĽ	Scenár A. Lokálny H ₂ -DRI	Scenár B. Dovož H ₂ -DRI	Scenár C. Dovož Fe ~99 %
Vodík na mieste	NA	~0 kt ročne	0 kt ročne
El. na H ₂ výrobu	NA	0 TWh	0 TWh
El. na EAF	NA	0,83 až 1,13 TWh ročne	0,75 až 1,05 TWh ročne
Voda na H ₂	NA	0 m ³	0 m ³
Závislosť od importu	NA	Stredná až vysoká pri DRI	Vysoká pri polotovare
Potreba CCS	NA	Nie. Voliteľné pre plynové ohrevy	Voliteľné pre plynové ohrevy

NA – jednotlivé údaje budú k dispozícii až po strategických rozhodnutiach a informovaní nového vlastníka oceliarne.

Dopady na infraštruktúru a investície.

Scenár A bude vyžadovať vysoké investície a nové, momentálne sa len rozvíjajúce technologické riešenia.

Scenár B vyžaduje spoľahlivý dovoz HBI a robustnú logistiku s minimálnymi zásobami na premostenie výpadkov.

Scenár C minimalizuje technologické riziko v redukčnej časti, ale maximalizuje závislosť od dodávateľov polotovarov a mení ekonomiku pridaných hodnôt.

ZISTENIA

Scenár A budeme vedieť určiť až po rozhodnutiach nového vlastníka. Ak bude prioritou **rýchla dekarbonizácia s nižším technologickým rizikom a nižšou počiatočnou spotrebou elektriny** v regióne, scenár B je vyvážený kompromis s vyššou logistickou expozíciou. Ak je prioritou **minimalizácia technologických zmien a investícií do redukčnej časti**, scenár C poskytuje najnižšiu zložitost na mieste za cenu najvyššej závislosti od importu a potenciálne vyššej ceny polotovaru.

Vo všetkých scenároch je vhodné preveriť možnosti spolutavenia šrotu, využitia odpadového tepla a optimalizácie predohrevov. Odporúča sa spracovať detailnú energeticko-emisnú bilanciu s lokálnymi údajmi o elektrine, plyne, biometáne a logistike, aby sa potvrdil zvolený variant.

Výroba ocele bude do roku 2030 potrebovať približne 100 t RHNBO v scenári WEM. V roku 2035 v scenári WAM 150 t. Scenáre s vyššou spotrebou vodíka bude možné riešiť až po rozhodnutiach nového vlastníka.

PROGNÓZA SPOTREBY RHNBO V PRIEMYSELE

Tabuľka 11: Prognóza spotreby RHNBO v priemysle (hodnoty v tis. ton vodíka / rok)

Optimistický scenár (NZE)	Odbyt	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Predpoklad
Chemický priemysel	výroba čpavku	0	10	102	102	102	102	Plná náhrada
Slovnaft	výroba motorových palív		3,1	4,4	4,4	4,4	4,4	Plnenie cieľov
	chemická výroba		6,5	9,3	9,3	9,3	9,3	Plnenie cieľov
	výroba syntetických palív	0	0,01	0,7	1,35	3	4,76	Plnenie cieľov
USS KE	výroba ocele	0,25	0,25	NA	NA	NA	NA	NA
Fortischem	výroba chlóru	0	2	2	2	2	2	Komplet RFNBO
ostatní (odhad)		0,3	1	3	5	10	20	Najmä výroba SAF
Spolu		0,55	22,86	241,4	244,05	250,7	262,46	

Základný scenár (WAM)	Produkt	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Predpoklad
Chemický priemysel	výroba čpavku	0	0	10	60	60	60	Plnenie cieľov
Slovnaft	výroba motorových palív		3,1	4,4	4,4	4,4	4,4	Plnenie cieľov
	chemická výroba		6,5	9,3	9,3	9,3	9,3	Plnenie cieľov
	výroba syntetických palív	0	0,01	0,7	1,35	3	4,76	Plnenie cieľov
USS KE	výroba ocele	0,25	0,25	NA	NA	NA	NA	Znižovanie CO ₂
Fortischem	výroba chlóru	0	1	1	1	1	1	1/2 RFNBO
ostatní (odhad)		0,3	0,5	1	2	5	10	Najmä výroba SAF
Spolu		0,55	11,36	36,4	109,65	114,3	121,06	

Pesimistický scenár (WEM)	Produkt	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Predpoklad
Chemický priemysel	výroba čpavku	0	0	0	0	0	0	Import čpavku
Slovnaft	výroba motorových palív		3,1	4,4	4,4	4,4	4,4	Plnenie cieľov
	chemická výroba		6,5	9,3	9,3	9,3	9,3	Plnenie cieľov
	výroba syntetických palív	0	0,01	0,7	1,35	3	4,76	Plnenie cieľov
USS KE	výroba ocele	0	NA	NA	NA	NA	NA	Status quo
Fortischem	výroba chlóru	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1/4 RFNBO
ostatní (odhad)		0,3	0,4	0,5	1	2	2	Najmä výroba SAF
Spolu		0,55	10,76	15,65	16,8	19,45	21,21	

7.2 ENERGETIKA

Uplatnenie vodíka v tepelnej energetike má široký priestor **v priemysle** pre výrobu procesného tepla napr. v **sklárstve, cementárstve** aj vo **vykurovaní budov**, kde sa dnes využíva zemný plyn. Plošnejšia adopcia je však pravdepodobná **až v období 2035 – 2040**, keď sa očakáva pokles ceny vodíka a priblíženiu sa k cenovej parite so zemným plynom vďaka importu cenovo dostupného vodíka z tretích krajín. Časovanie bude závisieť od cien vodíka, sprevádzkovaniu Európskej vodíkovej siete a zásobníkov, morských terminálov spolu s veľkokapacitnými zdrojmi vodíka mimo Európy, resp. na Ukrajine. Dosiahnutie cenovej parity urýchli aj zvyšujúca sa cena CO₂, a úbytok voľných povoleniek EU ETS.

Okrem produkcie vysokogradientného tepla pre priemyselné procesy, **využívanie odpadového tepla elektrolyzéro**v pri výrobe vodíka je výhodné v centralizovaných vykurovacích systémoch (CZT). Pri účinnosti elektrolyzéra **65%** je možné zachytiť viac ako **20%** odpadového tepla a zvýšiť tým rentabilitu prevádzky výroby vodíka, ako aj znížiť emisie pri výrobe tepla.

VYUŽITIE VODÍKA V ENERGETIKE

KOGENERÁCIA

Vodík umožňuje kogeneráciu elektriny a tepla v plynových motoroch, mikroturbínach, veľkých turbínach a v palivových článkoch. Pri spaľovacích jednotkách vodíka na 100 % dosahuje elektrická účinnosť približne 35 až 44 % podľa veľkosti. V režime kombinovaného cyklu 45 až 58 %. S odberom tepla sa celková účinnosť pohybuje na úrovni 80 až 92 %. Palivové články prinášajú vyššiu elektrickú účinnosť. Palivové články s PEM (PEMFC) pre budovy a menšie priemyselné prevádzky dosahujú 40 až 50 % elektricky a 35 až 45 % tepelne. Palivové články typu Solid oxide (SOFC) pre priemyselné teploty 400 až 600 °C dosahujú 50 až 60 % elektricky a 25 až 35 % tepelne.

Kľúčové aplikácie sú **mestské teplárne, priemyselné parky, datacentrá a areály nemocníc** (záložné zdroje). Vodíkové CHP znižujú lokálne emisie a pracujú flexibilne ako špičkové a podporné zdroje. Pre NO_x je nutné nízkoemisné spaľovanie alebo dodatočné čistenie. Pri palivových článkoch je NO_x prakticky nulové. Rozhodovací prah konkurencieschopnosti závisí od ceny H₂ a hodnoty využitého tepla. Orientačne platí, že pri plnom využití tepla a cene vodíka **3 až 5 eur** na kilogram môže byť LCOE a LCOH konkurencieschopné voči zemnému plynu na vysoko zdanených trhoch ako je aj ten v SR.

Prevádzkový návrh zahŕňa tepelný odber cez doskový výmenník. akumuláciu v nádržiach 80 až 95 °C a bezpečnostné opatrenia pre H₂. CHP moduly sa hierarchizujú do kaskád pre pružnú reguláciu.

ODHAD VYUŽITIA VODÍKA V TEPLÁRENSTVE DO ROKU 2050

Vodík má potenciál postupne nahrádzať zemný plyn v tepelnom hospodárstve. V praxi to prebehne postupným zvyšovaním koncentrácie H₂ v zemnom plyne v existujúcich sieťach a zdrojoch, následne prechodom vybraných úsekov a zariadení na vyššie zmesi a napokon konverziou „hydrogen-ready“ aktív na 100 % vodík tam, kde to bude technicky a ekonomicky opodstatnené. Postupnosť závisí od materiálnej kompatibility zariadení, limitov merania a kvality plynu, bezpečnostných štandardov a lokálnych investičných plánov.

Východiskom analýzy je rok 2024 so spotrebou zemného plynu v CZT približne 8.6 TWh ([ÚRSO](#)). Predpokladáme, že celkový dopyt po teple do roku 2050 lineárne klesne o 10 % v dôsledku obnovy budov, optimalizácie sietí a lepšieho riadenia dopytu. Dve hlavné sily postupne vytlačujú zemný plyn zo základného pásma výroby tepla. Priama elektrifikácia vo forme veľkých tepelných čerpadiel a elektrických kotlov. Využitie geotermálnej energie ako stabilného bezemisného zdroja tepla.

Model pracuje s dvoma dopytovými rámcami, ktoré určujú „reziduálny“ plyn pred zámenou vodíkom.

Scenár A predpokladá priamu elektrifikáciu 35 % a geotermál 5 % v roku 2050.

Scenár B predpokladá priamu elektrifikáciu 20 % a geotermál 8 % v roku 2050.

Na tento reziduálny plyn sa uplatnia tri scenáre zámény H_2 :

NZE má najrýchlejší nábeh, začína v roku 2035 na 5 % a stúpa na 20 % v roku 2050.

WAM začína v roku 2040 na 2 % a dosahuje 20 % v roku 2050.

WEM začína v roku 2040 na 1 % a končí na 5 % v roku 2050.

Prepočet je konzistentný. 1 TWh nahradeného plynu zodpovedá približne 30 tis. t vodíka. V rokoch 2024, 2025 a 2030 je zámena nulová. Vrchný riadok v tabuľkách uvádza reziduálnu spotrebu zemného plynu v GWh pred zámennosťou vodíkom. NZE je konzistentný s dekarbonizačným scenárom INEKP.

ODPADOVÉHO TEPLA

Vodíkový reťazec generuje významné množstvo tepla. Elektrolyzéry PEM a AEL poskytujú nízkopotenciálne teplo približne 40 až 80 °C. SOEC poskytuje strednopotenciálne teplo nad 150 °C. Palivové články poskytujú teplo podľa typu. PEMFC 60 až 80 °C. SOFC 400 až 600 °C. Vzniká potenciál pre zásobovanie CZT, ohrev TUV, predohrev technologických médií a pohon absorpčných chladičov.

Pre 20 MW PEM elektrolyzér v nepretržitej prevádzke a špecifickej spotrebe 50 kWh na kilogram vznikne približne 3 200 t H_2 ročne. Pri odovzdaní 10 až 20 kWh tepla na kilogram je možné ročne využiť približne 32 až 64 GWh nízkopotenciálneho tepla. Kľúčom je teplotné priradenie k odberu. Pri teplotnom nesúlade sa uvažuje s tepelnými čerpadlami a s akumuláciou vo vodných nádržiach. V priemysle je vhodné spájať SOFC s procesmi s potrebou stredných teplôt. Pri CZT sa uplatní teplo z PEM a AEL s nízkymi distribučnými stratami.

STABILIZAČNÝ PRVOK ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY

Moderné elektrolyzéry sú rýchlo regulovateľné elektrické záťaže. Umožňujú moduláciu výkonu v rozsahu približne 10 až 100 % menovitého výkonu s reakciou v sekundách. PEM technológia dosahuje najlepšiu dynamiku. V praxi poskytujú absorpciu prebytkov OZE, znižujú odstavovanie vetra a fotovoltiky a môžu sa agregovať do služieb FCR, aFRR a mFRR. V spojení s výkonovou elektronikou je možné nastavovať účinník a obmedzovať flicker.

Systémové prínosy sa hodnotia cez tri metriky:

1. Zníženie strát z obmedzenia OZE v MWh za rok.
2. Hodnota poskytovaných systémových služieb v eur za MW a rok.
3. Stabilita ceny vodíka vďaka flexibilnému nákupu elektriny.

Integrované riadenie využíva trhové signály, vlastné predikcie OZE a obmedzenia siete. Pri 20 MW a 8000 hodinách a 50 kWh na kilogram vzniká približne 3 200 t H_2 ročne.

Prevádzkové zapojenie zahŕňa meranie kvality napätia, lokálne obmedzenia transformátorov, koordináciu s nabíjaním a HRS a plánovanie údržby mimo špičiek OZE. V teplárskej väzbe sa odpadové teplo z elektrolyzéra vedie do akumulácie alebo CZT, čo zlepšuje celkovú energetickú účinnosť a ekonomiku.

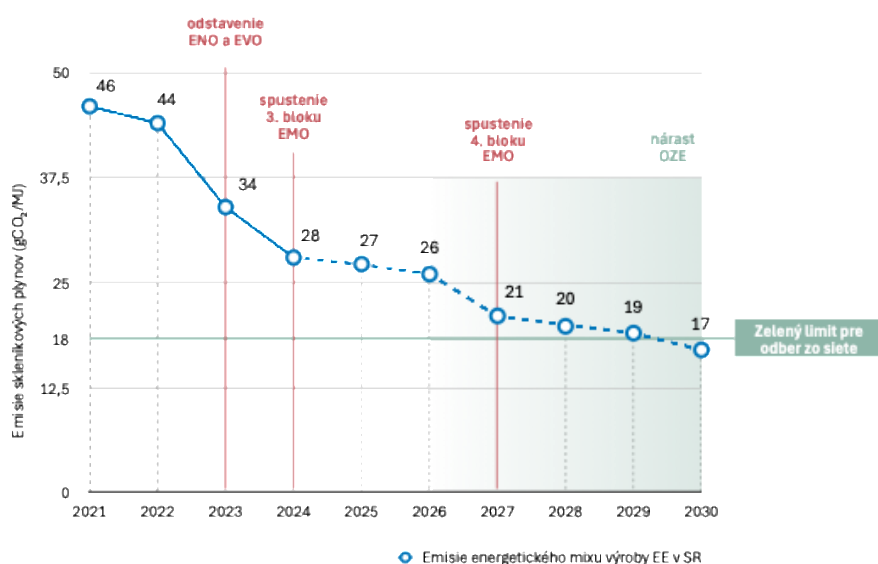
ODPORÚČANIA

Elektrolyzéry je vhodné umiestňovať **pri systémoch centrálneho zásobovania teplom (CZT)**, kde sa zužitkuje **odpadové teplo**, využitie elektriny stúpne nad 90% (65% vodík +25% teplo). Elektrolyzéry primárne napájať z lokálnych OZE a dopĺňať elektrinou z prenosovej sústavy. Takého hybridné systémy budú plniť viacero funkcií naraz. V mestách je rozumnejšie uprednostniť PEMEC s vysokou flexibilitou a existujúcim odberom nízkopotenciálneho tepla. Neskôr v priemysle kombinovať SOFC a SOEC pre využitie procesného tepla s vyššími teplotami.

Odporúča sa **upraviť reguláciu v oblasti tepla a elektroenergetiky (ÚRSO)** pre splnenie KPI na **využitie odpadového tepla** elektrolyzátorov, počet hodín poskytovaných **služieb výkonovej rovnováhy**, zníženie poplatkov za odobratú elektrinu zo siete pri špecifických podmienkach, zníženie curtailmentu³⁷ (hodín OZE a jednotkové náklady eur na kilogram H₂ a eur na MWh odobratého tepla).

Prevádzka musí byť nastavená tak, aby bola ekonomicky rentabilná a zároveň prispievala k stabilite elektrizačnej sústavy cieľným odberom v časoch nízkej ceny elektriny na dennom trhu, čo signalizuje prebytok elektriny v sieti. Príležitosťou na zlepšenie rentability tejto stratégie je zníženie emisnej intenzity výrobného mixu elektriny v SR pod 18 g CO₂eq/MJ, aby sa všetka elektrina odobratá zo siete mohla započítať ako obnoviteľná pri výrobe vodíka. Pri spustení jadrového bloku EMO4 a plnení cieľov OZE podľa INEKP by sa to mohlo stať už v roku 2030, ako ilustruje Obrázok 12.

Substitúcia zemného plynu vodíkom z RFNBO alebo LCH je realistická po dosiahnutí cenovej parity, dobudovaní európskej vodíkovej siete a zabezpečení cenovo dostupných veľkoobjemových dovozov do EÚ vrátane z Ukrajiny. Časový horizont sa odhaduje na obdobie po roku 2035 až približne do roku 2040.



Obrázok 12: Emisie energetického výrobného mixu Slovenska môžu klesnúť pod 18 gCO₂/MJ v roku 2030

Poznámka: pod limitom 18 gCO₂/MJ je možné vyrábať RFNBO zo všetkej odobratej elektriny zo siete ak je uzavretá PPA s výrobcom EE z OZE ([DA RFNBO](#))

Zdroj: 2021–2024 údaje z OKTE, 2025–2030 prognóza NVAS

PROGNÓZA SPOTREBY VODÍKA V ENERGETIKE

Tabuľka 12: Konečná spotreba vodíka vo vykurovaní budov

Elektrifikácia 35 % a geotermál 5 % v roku 2050

Náhrada zemného plynu	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Predpoklad
Spotreba zem. plynu [GWh]	8600	8435	7626	6842	6084	5351	4644	Reziduál bez H ₂
NZE [tis. t H ₂]	0	0	0	10	18,3	24,3	28	5 % v 2035 → 20 % v 2050
WAM [tis. t H ₂]	0	0	0	0	4	18	28	2 % v 2040 → 20 % v 2050
WEM. [tis. t H ₂]	0	0	0	0	1,8	4,8	7	1 % v 2040 → 5 % v 2050

³⁷ pojem *curtailment* označuje zámerné zníženie alebo úplné obmedzenie výroby elektriny z dostupných zdrojov (najmä OZE), keď ju nie je možné prijať do siete pre prebytok ponuky, technické limity prenosu alebo stabilitu sústavy.

7.3 DOPRAVA

Rozvoj vodíkovej dopravy predstavuje jednu z možností dekarbonizácie dopravného sektora v Slovenskej republike. Tento sektor je jedným z producentov emisií skleníkových plynov a jeho transformácia je nevyhnutná pre naplnenie klimatických cieľov EÚ aj národných stratégií. Vodík má potenciál zohrávať významnú úlohu najmä **v segmentoch (chemický, petrochemický a oceliarsky), kde elektrifikácia naráža na technické a ekonomické limity.**

Osobitný význam nadobúda využitie vodíka **v ťažkej nákladnej cestnej doprave.** Tento segment je zodpovedný za veľkú časť emisií z dopravy a dopyt po vysokom dojazde a rýchlom dopĺňaní paliva vytvára podmienky, v ktorých vodíkové technológie môžu konkurovať batériovým riešeniam. Paralelne sa otvára priestor pre **zavádzanie vodíkových autobusov v rámci mestskej a prímestskej verejnej dopravy, kde je tlak na znižovanie emisií a hlučnosti v mestách.**

Významný potenciál má aj **železničná doprava**, predovšetkým na neelektrifikovaných tratiach. Vodíkové alebo hybridné vlaky ponúkajú možnosť postupnej náhrady dieselových súprav bez nákladných investícií do elektrifikácie celej siete.

V letectve sa vodík profiluje ako dlhodobé riešenie dekarbonizácie, či už vo forme palivových článkov pre menšie lietadlá alebo ako syntetické palivá vyrábané na báze obnoviteľného vodíka pre diaľkové lety. Aj keď ide o sektor s najdlhším časovým horizontom zavádzania, jeho význam pre plnenie emisných cieľov je zásadný.

Celkovo sa rozvoj vodíkovej dopravy v SR musí opierať o koordinovaný prístup k infraštruktúre, technologickému rozvoju a regulačnému rámcu. Integrácia vodíkových riešení do ťažkej nákladnej dopravy, verejnej dopravy, železníc a letectva môže zásadne prispieť k znižovaniu emisií a posilneniu energetickej bezpečnosti krajiny.

KOMPARATÍVNA ANALÝZA OSOBNÝCH VOZIDIEL: BEV VS. FCEV VS. ICE DIESEL

Komparatívna analýza alternatívnych pohonov poskytuje systematické porovnanie kľúčových technických, environmentálnych a ekonomických parametrov batériových elektrických vozidiel (BEV), vozidiel s vodíkovým palivovým článkom (FCEV) a klasických spaľovacích vozidiel s naftovým motorom (ICE diesel). Cieľom je identifikovať rozdiely v účinnosti celého energetického reťazca, prevádzkových nákladoch a dopadoch na životné prostredie pri reálnej prevádzke.

Analýza sa opiera o kritériá zahŕňajúce účinnosť od zdroja energie po koleso, reálnu spotrebu, emisie CO₂ v celom cykle „well-to-wheel“, náklady na energiu, dojazd a rýchlosť dopĺňania, lokálne emisie, potreby údržby, hmotnosť a nosnosť, vplyv extrémnych teplôt, dostupnosť infraštruktúry a bezpečnostné aspekty. Tieto ukazovatele umožňujú kvantitatívne porovnať výkonnosť a vhodnosť jednotlivých technológií pre osobnú aj nákladnú dopravu v rôznych podmienkach a časových horizontoch.

Výsledkom je prehľadná báza údajov, ktorá slúži ako podklad pre strategické rozhodovanie v oblasti energetickej politiky, investícií do infraštruktúry a hodnotenia klimatických cieľov. Súhrn uvádza nasledovná tabuľka:

Tabuľka 13: Porovnanie parametrov vozidiel s pohonom BEV, FCEV a ICE

Kritérium	BEV	FCEV	ICE diesel
Účinnosť reťazca energie	Elektrina do kolies 65 až 80 %	Elektrina do kolies 25 až 40 %	Primárne palivo do kolies 15 až 25 %
Reálna spotreba	14 až 22 kWh na 100 km	0,8 až 1,2 kg H ₂ na 100 km	4,5 až 6,5 l na 100 km
WTW CO ₂ emisie	Vzorec. g CO ₂ na kWh krát kWh na 100 km. Príklad pri nízkouhlíkovej sieti 150 g na kWh a 16 kWh na 100 km. 2,4 kg CO ₂ na 100 km	Závisí od pôvodu H ₂ . Z fosílného SMR bez CCS približne 9 až 12 kg CO ₂ na kg. S CCS približne 1 až 4 kg na kg. Z OZE približne 0 až 1 kg na kg. Pre 0,9 kg na 100 km	Spaľovaním aj upstream približne 2,6 kg CO ₂ na liter. Pri 5,5 l na 100 km približne 14 kg CO ₂ na 100 km
Náklady na energiu na 100 km	Domáce AC. cena za kWh krát kWh na 100 km. Verejné rýchlonabíjanie vyššie	Cena za kg H ₂ krát kg na 100 km	Cena za liter krát l na 100 km
Dojazd a dopĺňanie	350 až 800 km. Nabíjanie minúty až hodiny podľa výkonu	500 až 700 km. Tlakové tankovanie 3 až 5 minút	700 až 1000 km. Tankovanie 3 až 5 minút
Lokálne emisie	Žiadne výfukové plyny	Žiadne výfukové plyny. Len vodná para	NOx. PM. CO ₂
Údržba	Nízka. Málo pohyblivých častí	Stredná. Palivový článok a vysokotlakový H ₂ systém	Vyššia. Komplexný motor a výfukové úpravy
Hmotnosť a nosnosť	Vyššia hmotnosť batérie. Možný vplyv na nosnosť	Nižšia hmotnosť paliva ako batéria pri dlhom dojazde. Nádrže 350 až 700 bar	Najnižšia hmotnosť pohonu pri dlhom dojazde
Zima a teplo	Vyššia spotreba v mraze. Potreba tepelného manažmentu	Stabilnejší dojazd. Ohrev kabíny z palivového článku	Menší pokles dojazdu v mraze
Infraštruktúra	Nabíjačky rýchlo rastú. Domáce nabíjanie je kľúčové	Sieť H ₂ čerpacích staníc riedka. Zásadná pre použiteľnosť	Sieť čerpacích staníc plne rozvinutá
Bezpečnosť	Vysokonapäťový systém. Overené štandardy	350 až 700 bar H ₂ . Overené normy. Potreba školenia servisov	Štandardné riziká kvapalných palív

Poznámky k výpočtom a porovnaniu

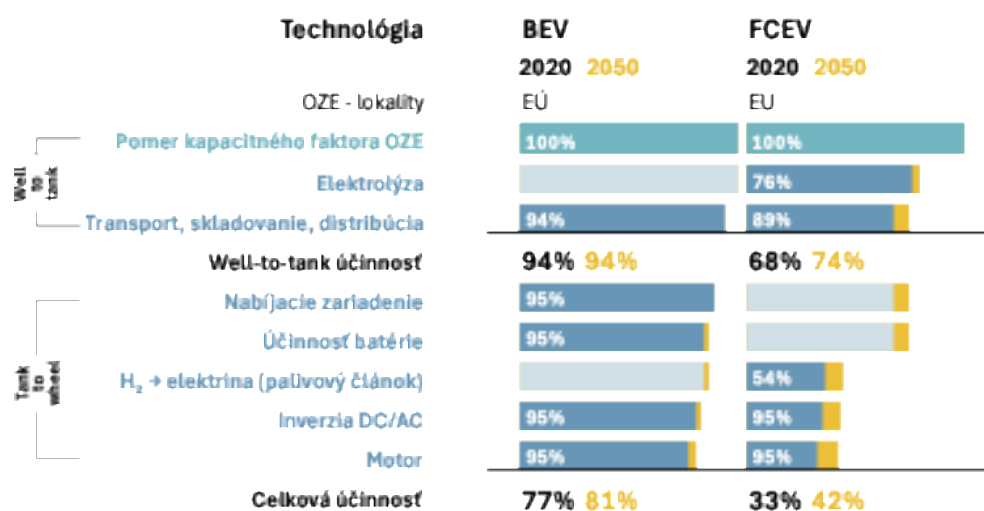
- WTW emisie BEV závisia od emisného faktora elektrickej siete. Pri nízkouhlíkovom mixe môžu klesnúť pod 30 g/km. Pri uhlíkovom mixe môžu presiahnuť 80 g/km.
- WTW emisie FCEV sú veľmi nízke len pri obnoviteľnom alebo nízkouhlíkovom vodíku. Pri sivom vodíku bývajú vyššie než pri dieseli.
- Náklady na 100 km sa počítajú ako súčin spotreby a jednotkovej ceny energie. Príklad. BEV 18 kWh/100 km a 0,20 eur/kWh. Náklad 3,60 eur/100 km. FCEV 1,0 kg H₂/100 km a 10,00 eur/kg. Náklad 10,00 eur/100 km. Diesel 5,5 l/100 km a 1,70 eur/l. Náklad 9,35 eur/100 km. Reálne ceny sa líšia podľa regiónu a tarify.
- Elektrická infraštruktúra. BEV je vhodné tam kde je dostupné domáce, pracovné a verejné nabíjanie a kde je možné riadenie zaťaženia siete.
- Logistika vodíka. FCEV vyžaduje sieť H₂ staníc a prísun nízkouhlíkového H₂. Výhodné je pri vysokých nájazdoch a potrebe rýchleho dopĺňania.
- Kvalita ovzdušia v mestách. BEV a FCEV eliminujú lokálne NOx a PM. Externé zdravotné náklady sa znižujú.
- Materiálová náročnosť. BEV nesie vyššiu batériovú materiálovú stopu. FCEV využíva platínové katalyzátory a kompozitné tlakové nádrže. Diesel vyžaduje komplexné systémy úpravy výfuku a rafinérsku infraštruktúru.
- Krátke a stredné denné dojazdy do 300 km s prístupom k nabíjaniu. Preferované je BEV.
- Vysoké ročné nájazdy so stabilným dojazdom a minimálnymi prestojmi. Perspektívne je FCEV tam kde je dostupný nízkouhlíkový H₂ a stanice.
- Regióny s obmedzenou elektroinfraštruktúrou. Diesel je prechodné riešenie s rastúcimi regulačnými rizikami.

Účinnosť batériových a vodíkových elektromobilov patrí medzi najdiskutovanejšie témy súčasnej transformácie dopravy. Obrázok poskytuje porovnanie na základe metodiky organizácie Transport & Environment a ukazuje rozdiely medzi oboma technológiami pri rovnakých vstupných parametroch. Druhý scenár navyše predpokladá **využitie vodíka vyrábaného v tretích krajinách s vynikajúcimi**

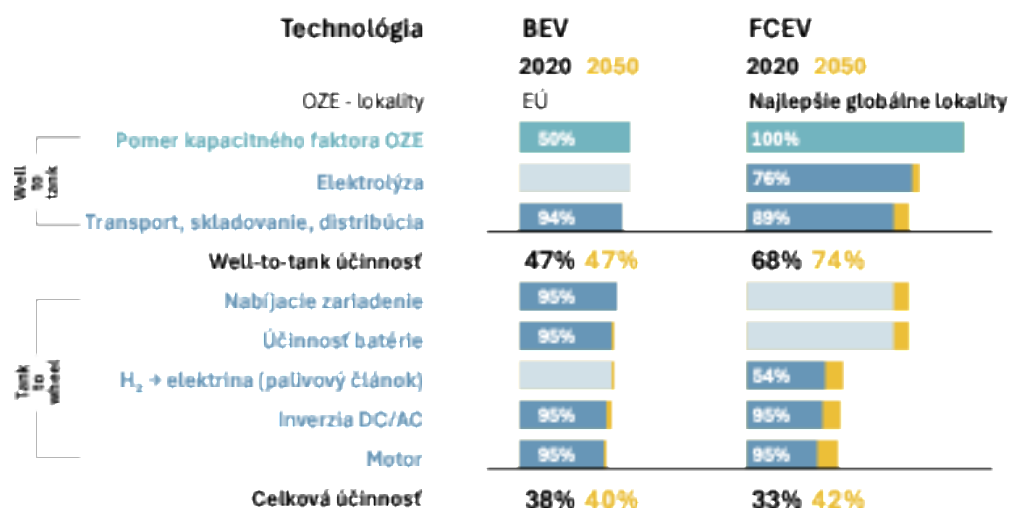
podmienkami pre obnoviteľné zdroje, kde je kapacitný faktor slnečných a veterných elektrární približne dvojnásobný oproti priemeru Európskej únie. Vďaka tomu je možné z rovnakej primárnej energie vyrobiť podstatne viac elektriny a následne efektívnejšie produkovať vodík. **Celková účinnosť je potom vyrovnaná u oboch technológií.**

Nákladné vozidlá: Porovnanie celkovej účinnosti (well to wheel) premeny primárnej energie na pohybovú pri BEV a FCEV podľa umiestnenia OZE

Graf A: OZE sa nachádza v EÚ pre oba pohony



Graf A: OZE pre BEV sa nachádza v EÚ a pre FCEV v najlepších svetových lokalitách



Poznámky:

Ak sa vodík vyrába z OZE v najlepších svetových lokalitách, kapacitný faktor premeny primárnej energie dosahuje dvojnásobok priemeru v EÚ. Účinnosti sa vzťahujú na ťažké nákladné vozidlá. Treba ich chápať ako približné priemerné hodnoty, ktoré zohľadňujú rôzne výrobné metódy. Vodík zahŕňa kompresiu paliva. Mechanické straty sú vylúčené.

Obrázok 13: Nákladné vozidlá: Porovnanie celkovej účinnosti FCEV a BEV

Zdroj: NVAS na základe analýzy transportenviromet.org

Stručne možno konštatovať, že batériové elektromobily dosahujú najvyššiu energetickú účinnosť a najnižšie emisie v prípade nízkouhlíkového mixu elektriny, pričom sú vhodné najmä tam, kde je dostupná nabíjacia infraštruktúra. Vozidlá s vodíkovým palivovým článkom ponúkajú výhodu rýchleho dopĺňania a stabilného dojazdu, avšak ich environmentálny prínos závisí výlučne od zdroja vodíka a dostupnosti vodíkovej infraštruktúry. Spaľovacie vozidlá zostávajú z hľadiska infraštruktúry okamžite nasaditeľným riešením, avšak pri najnižšej účinnosti a s najvyššími emisiami, čo ich v dlhodobom horizonte výrazne obmedzuje.

CENOVÁ PARITA VODÍKA K FOSÍLYM PALIVÁM

Vodík sa dokáže presadiť v sektore dopravy iba vtedy, ak dosiahne cenovú paritu s naftou, ktorá dnes predstavuje dominantné palivo pre ťažkú cestnú a verejnú dopravu. Ekonomická konkurencieschopnosť vodíkových technológií bude podmienená jednak znižovaním výrobné ceny obnoviteľného vodíka prostredníctvom technologického pokroku, škálovania výroby a rozvoja infraštruktúry, jednak regulačnými opatreniami štátu a Európskej únie. Kľúčovú úlohu zohrávajú najmä politiky podporujúce rozvoj vozidiel s nulovými emisiami (ZEV) a súčasne postupné znevýhodňovanie spaľovacích motorov na fosílna palivá prostredníctvom emisných noriem, poplatkov či daňovej politiky.

Cenová parita medzi naftou a vodíkom sa líši v závislosti od jednotlivých kategórií cestnej a železničnej dopravy. Očakávaný vývoj vodíkových technológií naznačuje, že vodík by sa mal stať cenovo konkurencieschopným s fosílnymi palivami, prípadne zostať najviac o 20 % drahší. Takýto rozdiel by bol pre trh prijateľný, keďže vodík prináša pridanú hodnotu v podobe znižovania emisií CO₂, zlepšovania kvality ovzdušia a napĺňania klimatických cieľov Európskej únie.

Tabuľka 12 porovnáva spotrebu nafty a vodíka pre vybrané segmenty dopravy, ako aj odhadovanú spotrebu vodíka v roku 2030 a prahovú cenu vodíka (paritu) k očakávanej cene nafty **1,60 eur/l (bez DPH)** po započítaní EU ETS II).

Výpočet parity vychádza zo vzorca znázorňuje :

$$P_{H_2}^* = \frac{P_d \cdot C_d}{C_{H_2}}$$

kde

- P_d je cena nafty [eur/l],
- C_d je spotreba dieslu [l/100 km],
- C_{H_2} je spotreba vodíka [kg/100 km].

Tabuľka 14: Odhadovaná parita ceny vodíka k cene nafty po roku 2030

SEGMENT DOPRAVY	Spotreba nafta dnes (l/100 km)		Spotreba H ₂ dnes (kg/100 km)		Odhad spotreby H ₂ 2030 (kg/100 km)	Parita k nafte (1,60) 2030 (eur/kg)	
	min	max	min	max		min	max
Ťahač s návesom	25	40	7	9	6,5	6,15	9,85
Mestský autobus (12 m)	33	45	7,7	9	7	7,54	10,29
Prímestský autobus	25	30	7	8	6,5	6,15	7,38
Diaľkový autobus	25	28	7,5	8	7	5,71	6,40
Regionálny vlak (per km)	150	250	28	35	25	9,60	16,00
Malý autobus (MIP, Rosero)	15	24	3	3,5	3	8	12,80

Ťahače s návesom – Pri súčasnej spotrebe vodíka 7 až 9 kg/100 km a odhadovanej spotrebe 6,5 kg/100 km v roku 2030 vychádza parita 6,15 až 9,85 eur/100 km. Ide o hodnoty, ktoré sú realisticky dosiahnuteľné pri očakávanom poklese ceny obnoviteľného vodíka. Tento segment je ekonomicky náročnejší, ale pri zohľadnení dotácií, úspor z mýta alebo nízkoemisných regulácií môže byť vodíkový pohon pre ťahače atraktívny.

Mestské autobusy (12 m) – Spotreba 7,7 až 9 kg/100 km a odhadovanej spotrebe 7 kg/100 km v roku 2030 sa parita pohybuje v rozmedzí 7,54 až 10,29 eur/kg. Tento segment je jedným z najperspektívnejších pre skorú dekarbonizáciu, keďže pri nižších nákladoch môže byť vodík konkurencieschopný už aj bez výraznejších dotácií.

Prímestské autobusy – S reálnou spotrebou 7 až 8 kg/100 km a odhadovaným poklesom na 6,5 kg/100 km v roku 2030 nastáva parita pri 6,15 až 7,38 eur/kg vodíka.

Diaľkové autobusy – Pri spotrebe 7,5–8 kg/100 km je parita na najnižšej úrovni zo všetkých autobusových segmentov: 5,71 až 6,40 eur/kg.

Regionálne vlaky – Pri spotrebe 0,25–0,35 kg/km sa odhaduje parita v roku 2030 na úrovni 9,60 až 16 eur/kg. Vodíkové vlaky sú sľubným segmentom na dekarbonizáciu vodíkom.

Malé autobusy – Spotreba 3–3,5 kg/100 km prináša paritu 8–12,8 eur/kg. Z autobusovej dopravy najekonomickejší segment. Pridaná hodnota spočíva aj vo vhodnosti pre menej vyťažené linky.

Celkovo je zrejmé, že väčšina kategórií cestnej dopravy môže byť pri cene 8 až 12 eur/kg bez DPH vodíka konkurencieschopná voči naftě, čo vytvára predpoklady pre postupný rozvoj vodíkovej mobility v Slovenskej republike.

EXTERNÉ REGULAČNÉ A FINANČNÉ FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE PARITU CENY VODÍKA

- A. **ETS II – uhlíkové povolenky pre palivá (od r. 2027) – posúva paritu v prospech H₂/BEV.** ETS II rozšíri obchodovanie s emisiami na dodávateľov palív pre cestnú dopravu a budovy. Tí budú musieť nakupovať a odovzdávať povolenky za CO₂ a náklady premietnu do cien palív. Mechanizmus schválila EÚ s plnou účinnosťou od roku 2027.

Príklad: spálenie 1 l nafty 2,64–2,68 kg CO₂ a 1 l benzínu ≈ 2,31 kg CO₂. Pri cene povolenky 100 eur/t CO₂ to znamená prírastok 0,26–0,27 eur/l nafty a 0,23 eur/l benzínu (len efekty ETS II). Analýzy trhu očakávajú ~0,14 eur/l nárast v roku 2027 a scenáre až k ~0,54 eur/l do roku 2031, v závislosti od ceny povoleniek.

Tabuľka 15: Nárast ceny motorových fosílnych palív ceny povolenky EU ETS2

CENA POVOLENKY (EUR/T CO ₂)	Nafta (eur/l)	Benzín (eur/l)
50	~0,13	~0,12
100	~0,27	~0,23
150	~0,40	~0,35

- B. **Diaľničné mýto – CO₂ triedy a preferencia ZEV – CO₂ – diferencované mýto** znižuje variabilné náklady ZEV na km na spoplatnených úsekoch. Smernica (EÚ) 2022/362 (Eurovignette) zavádza variabilné sadzby mýta podľa emisií CO₂ a umožňuje zvýhodnenie/úľavy pre ťažké vozidlá s nízkymi alebo nulovými emisiami. Mýtny systém v SR v súlade s pravidlami je EÚ nastavený tak, aby vozidlá s nižším emisným limitom uhrádzali nižšie mýto. Je potrebné uviesť, že vodíkové vozidlá spôsobujú cestnej infraštruktúre rovnaké negatívne dopady, ako vozidlá s emisiami – zaťaženie vozovky a degradácia cestnej infraštruktúry, hluk, kongescie a pod. Zároveň je potrebné podotknúť, že je dôvodné predpokladať aj zvýšené náklady Národnej diaľničnej spoločnosti, a. s. na údržbu – napr. na odstránenie vodíkových vozidiel pri nehodách.

- C. **Registračné poplatky** zlepšujú počiatočnú ekonomiku nákupu ZEV v porovnaní s ICE, najmä pri verejných a flotilových obstarávaníach. Na Slovensku majú **batériové elektromobily** pri prvom zápise do evidencie **poplatok 33 eur** (výrazne nižšie ako pri konvenčných vozidlách). Vozidlá na **ekologické palivá (vrátane vodíka)** majú **poplatok o –50 % nižší** oproti štandardu. Aktuálna prax ponecháva zvýhodnenie BEV a ostatné pohony sa vypočítavajú podľa výkonu a ekologického koeficientu. Efektom sú **nižšie vstupné náklady** na alternatívne pohony a priaznivejšie TCO v prvých rokoch.

SÚČASNÝ STAV VOZOVÉHO PARKU V SR

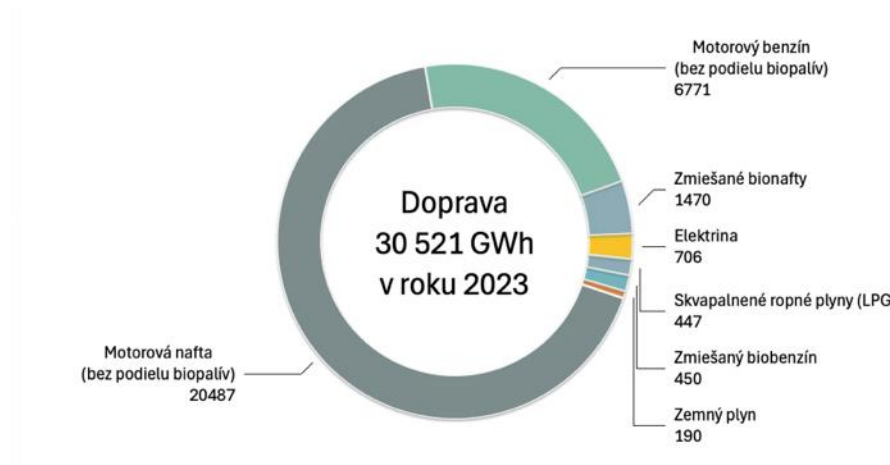
Sektor dopravy patrí medzi najväčších spotrebiteľov fosílnych palív a významných producentov emisií. Od roku 2019 slovenský vozový park ďalej rástol, pričom dominujú osobné autá M1 a rýchlo pribúdajú ľahké úžitkové vozidlá N1. Nákladné vozidlá N2 a N3 po krátkom útlme počas pandémie opäť rastú, mestské autobusy stagnujú, ale prírastok nastal v prímestských autobusoch. Naopak diaľkových výrazne ubudlo, čo je následok rastu individuálnej dopravy. Trend vývoja celkovej evidencie vybraných vozidiel medzi rokom 2019 a 2025 zobrazuje nasledovná tabuľka:

Tabuľka 166: Porovnanie evidencie vybraných kategórií vozidiel 2019 a 30. jún 2025

DRUH DOPRAVY / TYP VOZIDIEL	2019	2025
Osobné automobily	2 393 577	2 753 659
Dodávky a vany N1	240 000	266 000
Mestské autobusy kat. I a kat. A	1 402	1 415
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	3 906	4 185
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	3 661	2 841
Nákladné vozidlá N2 a N3	78 000	80 000
Ťahače návesu alebo prívesu	29 416	27 692
Železničná doprava – DMU 861 dieselmotorová jednotka	53	53

Zdroje: [Štatistické prehľady agendy vozidiel: MV SR, SEVA, Eurostat](#)

Najväčší potenciál pre využitie vodíka sa otvára v **ťažkej cestnej doprave (N3, časť N2)**, kde batériová elektromobilita naráža na limity dojazdu a nosnosti. Perspektívne je aj nasadenie vo **verejnej autobusovej doprave**, na **neelektrifikovaných železničných tratiach**, a v dlhodobom horizonte v **letectve a vodnej doprave**. V segmente osobných a ľahkých úžitkových vozidiel bude vodík skôr doplnkovým riešením popri batériovej elektromobilite.



Obrázok 14: Spotreba energie v doprave v roku 2023

Zdroj: Eurostat

Podľa posledných štatistík Eurostatu dosiahla spotreba energie v slovenskom dopravnom sektore v roku 2023 úroveň 30 521 GWh, pričom dominantné postavenie majú motorová nafta a benzín ako ilustruje Obrázok 12. Od tejto hodnoty sa odvíja aj záväzný cieľ stanovený smernicou RED III, ktorý možno zhrnúť nasledovne:

- **Cieľ RED III:** najmenej 1 % energie v doprave musí pochádzať z RFNBO v podmienkach Slovenska uvažujeme len o využití vodíka v kategórii RFNBO.
- **Rozsah záväzku:** pre Slovensko to znamená spotrebu rádovo niekoľkých stoviek gigawatthodín, čo predstavuje približne desaťtisíc ton vodíka ročne.
- **Multiplikátor 2:** využitím tohto mechanizmu je možné reálny objem dodávok znížiť na polovicu, pričom do štatistiky sa započítava dvojnásobok.
- **Možnosti plnenia:** cieľ možno rozdeliť medzi
 - priamu spotrebu vodíka v doprave (autobusy, nákladné vozidlá, vlaky),
 - využitie vodíka pri výrobe fosílnych palív v rafinériách.

Vo výpočtoch potrebného objemu vodíka uvažujeme s **mierne rastúcou spotrebou energie v rokoch 2025 – 2030**. Túto trajektóriu určujú dva protichodné trendy: na jednej strane očakávaný rast počtu registrovaných vozidiel, na druhej strane postupné znižovanie špecifickej spotreby fosílného paliva v dôsledku rastúceho podielu batériových elektromobilov s vysokou účinnosťou. Smerodajnou hodnotou pre odhad ďalších potrieb preto budú preto prognózy podľa INEKP, kde pre rok 2030 sa odhaduje konečná spotreba v sektore dopravy **33 738 GWh**.

Z tejto hodnoty vyplýva, že:

- **1 % záväzok RED III** predstavuje asi **337 GWh obnoviteľného vodíka** v doprave, čo zodpovedá **10 122 t H₂ ročne**.
- **Pri využití multiplikátora 2** sa reálne požadovaná dodávka znižuje na polovicu, teda približne **163,5 GWh**, čo znamená asi **5 061 t H₂ ročne**.
- Záväzok je možné podľa smernice RED III rozdeliť medzi spotrebu vodík pri výrobe fosílnych palív a priamu v spotrebu v doprave. Odporúčame rozdelenie ¾ cieľa pri výrobe palív a ¼ cieľa priamo v doprave. Potom **1 265 t** vodíka by malo smerovať na priamu spotrebu pre vozidlá s vodíkovým pohonom a **3 796 t** na výrobu fosílnych motorových palív.

Takto stanovené objemy jasne ukazujú, že aj pri využití dostupných opatrení bude potrebné budovať výrobné a distribučné kapacity vodíka v rozsahu tisícov ton ročne.

AUTOBUSOVÁ DOPRAVA

Autobusový park Slovenskej republiky, ktorý nezahŕňa električky ani trolejbusy, je možné podľa noriem EHK/OSN R107 rozdeliť na tri základné triedy: triedu I (mestské autobusy), triedu II (prímestské a regionálne autobusy) a triedu III (diaľkové autobusy, tzv. autokary). [Centrálnu evidenciu](#) vedie Ministerstvo vnútra SR a je každý mesiac aktualizovaná. Ministerstvo vedie štatistiky podľa kategórií a rozlišuje aj explicitne uvedené triedy. Nasledovné údaje sa viažu k 30.6.2025. Kompletný prehľad registrovaných autobusov podľa kategórií a krajských registratúr uvádza:

V oblasti **mestských autobusov (trieda I a A)** je počet registrovaných vozidiel **1415** k 30.6.2025. Tento údaj sa skladá zo známych flotíl hlavných mestských dopravcov – Bratislava (519 vozidiel), Košice (bežná výprava približne 170 vozidiel), Prešov (okolo 60 vozidiel), Žilina (41 vozidiel), Banská Bystrica (minimálne 65 vozidiel podľa zmluvy), Nitra (84 vozidiel), Martin (35 vozidiel) – a z desiatok menších mestských prevádzok, ktoré spoločne dopĺňajú zvyšok.

Prímestské autobusy (trieda II) predstavujú najväčšiu časť autobusovej dopravy v SR. Podľa údajov Zväzu autobusovej dopravy disponuje šesťnásť členských dopravcov približne 4 300 autobusmi určenými na výkon služieb vo verejnom záujme v regionálnej doprave to korešponduje s údajom

Ministerstva vnútra SR s počtom **4185**. Trieda II zahŕňa vozidlá konštruované na prepravu sediacich aj stojacich cestujúcich na stredné vzdialenosti a predstavuje chrbticu dopravnej obslužnosti regiónov.

Diaľkové autobusy (trieda III a B), teda autokary sú určené na komfortnú prepravu sediacich cestujúcich na dlhé vzdialenosti. Posledné dostupné počty udávajú číslo **2841** autobusov. Ide o segment, ktorý je z hľadiska verejnej služby menej regulovaný a silne závislý od trhového dopytu v komerčnej doprave a v cestovnom ruchu.

Celkovo možno konštatovať, že slovenský autobusový park predstavuje **viac ako osemtisíc vozidiel** rozdelených do uvedených tried, pričom 17% z nich slúži výlučne mestským dopravným systémom, 50% zabezpečuje prímestskú a regionálnu dopravu a 33% diaľkovú dopravu, ale technologicky špecifický segment tvoria diaľkové autokary. Tento stav je východiskom pre prognózy dekarbonizácie sektora a postupné nasadzovanie bezemisných technológií.

Tabuľka 17: Celkový počet evidovaných autobusov v SR k 30.6.2025

Kategorizácia autobusov	KDIBB	KDIBA	KDIKE	KDINR	KDIPO	KDITN	KDITT	KDIZA	ODEBA	Spolu
AUTOBUS ĎALĽKOVÝ TRIEDY B*	68	169	71	167	79	87	115	73	3	832
AUTOBUS ĎALĽKOVÝ TRIEDY III	187	303	199	348	315	217	249	191		2 009
AUTOBUS MEDZIMESTSKÝ TRIEDY II	548	427	498	589	578	538	499	508		4 185
AUTOBUS MESTSKÝ TRIEDY A	2	19	25	8	6	7	5	6		78
AUTOBUS MESTSKÝ TRIEDY I	137	488	224	163	91	68	84	82		1 337
AUTOBUS ŠPECIÁLNY		3	3							6

Zdroj: [Ministerstvo vnútra SR](#)

Mestské autobusové systémy predstavujú základný prvok dopravnej obslužnosti slovenských miest a zabezpečujú prepravu väčšiny cestujúcich v rámci MHD. Počet a koncentrácia autobusov sú výrazne diferencované – najvyššiu hustotu vozidiel majú veľké krajské mestá, zatiaľ čo v menších okresných mestách ide často len o niekoľko liniek s obmedzeným počtom autobusov. Táto disproporcija odráža populačnú veľkosť, dopravné potreby a ekonomické možnosti jednotlivých samospráv, pričom konkrétne počty autobusov sú uvedené v priloženej tabuľke.

Tabuľka 18: Počet prevádzkovaných autobusov MHD v Bratislave a krajských mestách

Mesto	Dopravca	Počet
Bratislava	DPB	486
Košice	DPMK	205
Prešov	DPMP	49
Žilina	DPMŽ	42
Banská Bystrica	SAD Zvolen (MHD)	64
Nitra	Transdev	82
Trnava	Arriva	41
Trenčín	Transdev	43
spolu		1012

Zdroj: [imhd.sk](#)

PROGNÓZA SPOTREBY VODÍKA V AUTOBUSOVEJ DOPRAVE (2030–2050)

Táto kapitola kvantifikuje prognózu spotreby vodíka pre mestskú, prímestskú a diaľkovú autobusovú dopravu v Slovenskej republike v rokoch 2030 až 2050 za predpokladu, že počty autobusov v jednotlivých kategóriách budú nasledovať trend 2009 – 2025 a postupne sa stabilizujú, a že nie

všetky registrované autobusy sú nasadené do prevádzky. Preto sa ďalej pri výpočtoch narába s 80% počtom autobusov v pravidelnej prevádzke.

Prognóza vývoja počtu autobusov do roku 2050 vychádza z predpokladu postupného nábehu nasadzovania bezemisných vozidiel. V počiatočnom období sa očakáva pomalšie tempo, keďže budú naďalej v prevádzke autobusy s pohonom na CNG, obstarané pred rokom 2030, teda ešte pred zavedením prísnych kritérií pre verejné obstarávanie bezemisných autobusov. Vzhľadom na predpokladanú životnosť týchto vozidiel na úrovni 7 až 10 rokov sa výraznejší nástup obstarávania vodíkových autobusov predpokladá až po roku 2035. Do roku 2040 sa odhaduje, že približne tretinu autobusovej flotily budú tvoriť vozidlá s vodíkovým pohonom. Následne sa ich podiel bude postupne zvyšovať a do roku 2050 by autobusy na vodíkový pohon mohli predstavovať viac ako 60 % všetkých evidovaných vozidiel, v prípade ak budú aj naďalej platiť regulácie o konci “spaľovacích motorov” v 2035. Tento scenár predpokladá, že technologické a prevádzkové výhody vodíkoveho pohonu budú v danom období prevyšovať výhody pohonu batériového.

Odhad pre rok 2030 vychádza z revidovanej českej vodíkovej stratégie s cieľom 200 autobusov do roku 2030³⁸ a vzhľadom na približne polovičný slovenský vozový park a oneskorenie rozvoja ekosystému sa pre SR stanovuje cieľ 86 vodíkových autobusov, z toho 43 pre mestskú a 43 pre prímestskú dopravu, ako ilustruje nasledujúca tabuľka.

Tabuľka 19: Prognóza počtu vodíkových autobusov

Autobusy v evidencii MV SR	2019*	2025*	2030	2035	2040	2045	2050
Mestské autobusy kat. I a kat. A	1 402	1 415	1 430	1 430	1 430	1 430	1 430
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	3 906	4 185	4 300	4 300	4 300	4 300	4 300
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	3 661	2 841	2 000	1 500	1 200	1 000	800
spolu	8 969	8 441	7 730	7 230	6 930	6 730	6 530
odhad spolu v pravidelnej prevádzke	8 969	8 441	7 730	7 230	6 930	6 730	6 530

*štatistika MV SR – evidencia vozidiel

Podiel autobusov s palivovými článkami (FCB) z celkovo evidovaných	2030	2035	2040	2045	2050
Mestské autobusy kat. I a kat. A	3,0%	12,0%	20,0%	25,0%	30,0%
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	1,0%	8,0%	20,0%	25,0%	30,0%
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0%	3%	25%	20%	40%
Podiel spolu	1,1%	7,8%	20,9%	24,3%	31,2%

Počet FCB	2030	2035	2040	2045	2050
Mestské autobusy kat. I a kat. A	43	172	286	358	429
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	43	344	860	1 075	1 290
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0	45	300	200	320
spolu	86	561	1 446	1 633	2 039
podľa INEKP	0	1 156	1 781	3 082	4 679

* Pravdepodobné pilotné projekty v 2030 v BA / PD / ZV / DS, ** VUC TT, TN, KE

Výpočty spotreby vodíka vychádzajú z priemerného denného nájazdu vozidiel, počtu dní v prevádzke, stredného odhadu veľkosti aktívneho autobusového parku, priemerného denného nájazdu 200 km mestské autobusy, 250 km prímestské a 400 kilometrov mestské autobusy s vyťaženosťou 330 dní v roku a špecifickou spotrebou 7, 6,5, resp. 7 kg H₂/100 km. Sledoval sa tiež záväzný cieľ 1 % podielu RFNBO (vodíka) v konečnej spotrebe energie v doprave, ktorý sa multiplikátorom 2 znižuje na 0,5 % a

³⁸ Vodíkové stratégie ČR aktualizace 2024 schválena vládou str. 39

delí sa na 75 % pre využitie vodíka v rafinériách pri výrobe fosílnych palív a 25 % pre priamu spotrebu vo vodíkových vozidlách.

Na základe danej metodiky ilustruje prognózu ročnej spotreby v sektore autobusovej dopravy nasledovná tabuľka:

Tabuľka 20: Prognóza spotreby vodíka v autobusoch (t/rok)

Spotreba t vodíka ročne *	2030	2035	2040	2045	2050	Denný nájazd (km)	Prevádzka v roku (dni)	Ročný nájazd (km)
Mestské autobusy kat. I a kat. A	189	727	1 162	1 398	1 611	200	330	66000
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	220	1 690	4 063	4 884	5 635	250	330	82500
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0	380	2 640	2 031	3 906	400	330	132000
spolu	409	2 797	7 865	8 313	11 152			

Odhad vývoja obstarávacej ceny vychádza zo súčasnej cenovej úrovne, ktorá sa pre 12-metrový mestský alebo prímestský autobus pohybuje v rozmedzí 550 až 650 tisíc eur. Predpokladá sa, že v budúcnosti dôjde k poklesu cien v dôsledku technologického pokroku a úspor z rozsahu. Prognóza investičnej náročnosti na obstaranie autobusov v jednotlivých obdobiach je ilustruje

Tabuľka 21, ktorá zohľadňuje predpokladaný vývoj nákladov na nákup autobusov, postupné zavádzanie bezemisných technológií a zmeny v podiele batériových a vodíkových autobusov v čase.

Tabuľka 21: Prognóza nákladov na obstaranie autobusov

Investičné náklady na obstaranie autobusov (12m)	2030	2035	2040	2045	2050
1 bus minimálne (tis. eur)	450	400	300	300	300
1 bus maximálne (tis. eur)	600	550	400	400	400
Náklady spolu minimálne (mil. eur)	59	172	305	185	479
Náklady spolu maximálne (mil. eur)	79	236	407	246	638

DOMÁCI INOVÁTORI

Na Slovensku pôsobia inovatívne firmy zamerané na výskum, vývoj a pilotnú výrobu midibusov poháňaných vodíkom v Spišskej Novej Vsi a v Orechovej Potôni. Midi autobus predstavuje kategóriu medzi minibusom a veľkým mestským autobusom, s dĺžkou približne 8–10 metrov a kapacitou 12–36 cestujúcich, čo prináša nižšie prevádzkové náklady a lepšiu manévrovateľnosť v mestských podmienkach. Na Slovensku sa vyvíjajú a vyrábajú midi autobusy, mikrobusey a ďalšie úžitkové vozidlá postavené najmä na podvozkoch osvedčených výrobcov. Firmy sa zameriavajú na bezemisné riešenia vrátane vodíkoveho pohonu.

ODHAD ROZVOJA VODÍKOVEJ INFRAŠTRUKTÚRY PRE SEKTOR AUTOBUSOVEJ DOPRAVY

Pre dimenzovanie plniacej infraštruktúry pre autobusy sa používa prepočet ročnej potreby vodíka na priemerný denný dopyt a následné škálovanie počtu staníc s kapacitou väčšinou 200 – 500 kg/deň a 1000 kg / deň.

Odhad počtu prevádzok s vodíkovým pohonom autobusov.

Trvalá prevádzka mestskej autobusovej dopravy (MHD) je sústredená v sídlach okresov a krajov. Východiskom pre prognózu je počet sídel v SR s MHD a ich podiel na celkovom počte jedinečných sídel, pričom SR má 79 okresov, avšak len 71 jedinečných okresných sídel (Bratislava pokrýva 5 okresov, Košice 4 okresy a okres Košice-okolie má sídlo v Košiciach). Údaje sú syntézou verejne dostupných informácií o aktívnych prevádzkach a licenciách dopravcov, keďže jednotná centrálna

evidencia MHD neexistuje. Z kvantifikácie vyplýva, že všetkých 8 krajských miest má zabezpečenú mestskú autobusovú dopravu a približne 51 z 71 jedinečných okresných sídel (71,8 %) má aktívnu prevádzku MHD, pričom v počte nie sú zahrnuté mestá, kde bola prevádzka ukončená (napr. Svidník v roku 2012 a Trebišov v roku 2024, kde bola nahradená ponukou v integrovanom dopravnom systéme). Pre potreby tohto dokumentu vychádzame z expertného odhadu, že po roku 2045 bude približne 75 % týchto 51 okresných sídel zabezpečovať mestskú autobusovú dopravu aj prostredníctvom vodíkových technológií, čo predstavuje **38 miest**. Pri odhade infraštruktúry čerpacích staníc predpokladáme, že Bratislava bude disponovať tromi, Košice dvomi a každé z ostatných zapojených sídel jednou čerpacou stanicou, čo spolu predstavuje približne **43 až vodíkových čerpacích staníc** po roku 2040.

V súčasnosti neexistuje centrálna evidencia „združených“ dep (spoločné zázemie pre MHD aj prímestskú), ale podľa dostupných údajov o mestách, kde **ten istý dopravca** zabezpečuje MHD aj prímestskú (medzimestskú) dopravu, čo v praxi znamená jedno spoločné depo, ide **minimálne o 10 miest** – Trnava, Piešťany, Senica (ARRIVA Trnava), Nové Zámky a Komárno (ARRIVA Nové Zámky), Zvolen a Žiar nad Hronom (SAD Zvolen), Poprad (SAD Poprad), Spišská Nová Ves (eurobus), Prievidza (SAD Prievidza) – pričom konzervatívny **odhad je 12–15 miest** po započítaní ďalších sídiel s rovnakou prevádzkovou schémou (napr. Bánovce n/B, Partizánske, Lučenec), vyžadujúcich lokálne overenie.

Z hľadiska investícií do vozidiel predstavujú uvažované jednotkové ceny kumulatívne potreby financovania približne **44 až 58 mil. eur v roku 2030, 88 až 120 mil. eur v roku 2035**, 610 až 813 mil. eur v roku 2040 a 09 až 1,3 mld. eur v roku 2050³⁹. V rovnakých rokoch vychádzajú kapitálové náklady na plniace stanice pri uvažovanom počte objektov približne 6, 15, 39 a 75 mil. eur. Skutočná štruktúra investícií bude závisieť od zvoleného podielu dovozu vodíka a on-site výroby, dostupnosti pozemkov, cien elektriny a mechanizmov dlhodobého zaistovania (PPA a záruky pôvodu). Výsledné dimenzie poskytujú robustný základ pre tvorbu programov obnovy vozidlových parkov, pre plánovanie elektroenergetických pripojení a pre prípravu verejných obstarávaní v súlade s trajektóriou dekarbonizácie mestskej hromadnej dopravy a cieľom klimatickej neutrality do roku 2050.

Pre zabezpečenie plynulého dopĺňania paliva bude nevyhnutné vybudovať infraštruktúru na plnenie vodíka. **Čerpacie stanice vodíka (VČS)** pri autobusových depách alebo v rámci povinných VČS podľa európskej smernice AFIR (pozri kapitolu Prognóza rozvoja infraštruktúry vodíkových čerpacích staníc) budú vybavené najmä kompresorom s plniacim tlakom 350 bar, pričom sa predpokladá postupný prechod aj na úroveň 700 bar pre vozidlá s dlhším dojazdom. Investičné náklady na vodíkovú čerpaciu stanicu s kombinovaným tlakom 350 a 700 bar, menovitou kapacitou 500 kg/deň pre obsluhu približne 20 autobusov a s rezervou 25 % pre podporu rozvoja ďalších segmentov dopravy, sa orientačne odhadujú na 4 mil. eur za jednu stanicu⁴⁰. Do roku 2035 je predpoklad budovania prevažne menších flotíl do 20 autobusov, maximálne 40 kusov v BA a VUC KE s jednou čerpacou stanicou 350 bar v hodnote 3 mil. eur a kombinovanou za 4 mil. eur, Pri priemernej cene 3,5 mil. eur je potrebných do roku 2030 vybudovať najmenej ďalšie tri VČS.

NÁKLADNÁ DOPRAVA VOZIDIEL KATEGÓRIE N2, N3 A ŤAHAČE

Východiská a trend

Dekarbonizácia ťažkej cestnej dopravy sa bude opierať o dva technické smery. Pre krátke a stredné vzdialenosti dominuje batériová elektrina. Pre flexibilnú diaľkovú prepravu s vysokými nárokmi na

³⁹ Hrubý odhad. Vývoj cien autobusov bude závisieť od rozširovania vodíkového pohonu v tomto segmente. Pre roky 2040 až 2050 sú uvedené pesimistické odhady.

⁴⁰ Konfigurácia kopilotný investičný náklad včítane povoľovania, stavebných prác, BoP a samotnej technológie, ktorá zahŕňa jeden kompresor, dva zásobníkové moduly s tlakom 700 bar a štyri zásobníkové moduly s tlakom 350 bar, ďalej dva výdajné stojany typu H35 podľa normy SAE J2601–2 a dva vysokoprietokové výdajné stojany typu H70 podľa normy SAE J2601–5. Kapacita 1 tona denne si vyžaduje dodatočné náklady 1 mil. eur.

dojazd a rýchle tankovanie je perspektívna technológia palivových článkov (FC) na vodík. Pilotné ťahače na kvapalný vodík preukázali dojazd presahujúci 1 000 km na jedno natankovanie⁹.

Technologické prvky pre ťažké vozidlá

Kritickým prvkom je infraštruktúra pre kvapalný vodík a štandardy rýchleho tankovania. Existujú tri druhy čerpacej infraštruktúry na:

- Stlačený vodík 350 bar – vhodný pre vozidlá s vodíkovým pohonom kategórie N2 a N3 na krátke vzdialenosti do 400 km.
- Stlačený vodík 700 bar – vhodný pre vozidlá s vodíkovým pohonom kategórie N2, N3 a ťahače na stredné a dlhé vzdialenosti.
- Kvapalný vodík (LH2) vhodný pre ťahače s vodíkovým pohonom dlhé vzdialenosti.

Nová technológia s LH2 znižuje investičné náklady staníc približne na tretinu až polovicu tradičných riešení a výrazne redukuje prevádzkové náklady. Umožňuje natankovať okolo 80 kg LH₂ pre 40 tonový súpravu za 10 až 15 minút a dosiahnuť dojazd rádovo 1 000 km. Ich najväčšou bariérou je pomalá výstavba verejnej infraštruktúry a neistota dopytu, čo predlžuje nástup hromadnej výroby vozidiel. Kľúčová je koordinácia investícií do sietí staníc, zabezpečenia dodávok nízkouhlíkového vodíka a doplnkových politík na hlavné TEN-T koridory. Bez súbežného rozvoja infraštruktúry hrozí oneskorenie komercializácie a vyššie náklady pre dopravcov.

Infraštruktúra a pripravenosť trhu

Rozhodujúca je dostupnosť siete vodíkových čerpacích staníc (VČS). Odhady priemyslu hovoria o potrebe približne 2 000 vodíkových čerpacích staníc v Európe do roku 2030, aby bolo možné nasadiť významné flotily ťažkých vozidiel na vodíkový pohon. Súčasné tempo výstavby tomu zatiaľ nezodpovedá, čo sa odráža aj v opatrnejšom načasovaní sériovej výroby niektorých modelov po roku 2029.

Stav nasadzovania a skúšky v prevádzke

Prvé flotily ťažkých ťahačov na kvapalný vodík prebiehajú v reálnych zákazníckych operáciách na vybraných koridoroch. Overuje sa spoľahlivosť, dojazd, časy tankovania a logistika dodávok kvapalného vodíka vrátane štandardizovaných postupov pre bezpečnosť. Slovenský vývojár v spolupráci s medzinárodným výrobcom vyvinul a vyrobil ťahač – kamión s palivovými článkami (FC) a ako prvý v EÚ ho homologizoval na premávku na verejných komunikáciách. V súčasnosti je nasadený v testovacej prevádzke v logistickej spoločnosti.

Bariéry a riziká

Najväčšou bariérou je pomalá výstavba verejnej infraštruktúry a neistota dopytu, čo predlžuje nábeh sériovej výroby vozidiel. Kľúčová je koordinácia investícií do sietí staníc, zabezpečenie dodávok nízkouhlíkového vodíka a rozvojových politík infraštruktúry pre hlavné TEN-T koridory a mestské uzly. Bez súbežného rozvoja infraštruktúry hrozí oneskorenie komercializácie a vyššie náklady pre dopravcov.

Zistenia a Odporúčania

1. Identifikovať a prioritizovať úseky diaľničných a TEN-T koridorov pre prvú vlnu LH₂ staníc so zameraním na cezhraničné spojenia. Prepojiť plán s existujúcimi a plánovanými hubmi v DE a AT.
2. Podporiť pilotné projekty ťažkých H₂ súprav s meraním TCO v reálnej prevádzke. Zamerať sa na segmenty s vysokou prevádzkovou intenzitou a stabilnými trasami.
3. Vytvoriť programy na dlhodobé kontrakty pre nízkouhlíkový vodík pre dopravu a mechanizmy zdieľania rizík pre investície do staníc a vozidiel.
4. Podporiť štandardizáciu a bezpečnostné rámce pre LH2 vrátane školení pre hasičov a prevádzkovateľov staníc. Nadviazať na overené postupy z pilotných projektov.

Kľúčové ukazovatele pre sledovanie

- Počet a geografické rozmiestnenie vodíkových čerpacích staníc dostupných pre ťažké vozidlá.
- Počet nasadených FC ťahačov a ich využitie.
- Reálne časy tankovania a dostupnosť paliva na staniciach.
- Celkové náklady vlastníctva na km v porovnaní s dieselovými a batériovými ťahačmi.

ŽELEZNIČNÁ DOPRAVA

Kapitola stručne hodnotí potenciál vodíkového pohonu v železničnej doprave SR ako nástroj dekarbonizácie a modernizácie najmä **na neelektrifikovaných tratiach**. Zameriava sa na osobnú regionálnu a nákladnú dopravu so zhodným rámcom hodnotenia technológií, infraštruktúry, prevádzky, TCO a emisných prínosov. Dôraz kladie na **fázovanie pilotných projektov**, spoločné využitie HRS s cestnou dopravou a cenovú paritu voči dieselovým riešeniam.

OSOBNÁ REGIONÁLNA DOPRAVA

Regionálne vlaky na neelektrifikovaných alebo len čiastočne elektrifikovaných tratiach sú vhodným cieľom pre vodíkový pohon. Ide o **linky s dĺžkou približne 30 až 150 km**, s pravidelnými obehmi a obratom v depe, často na tratiach s nižšou únosnosťou a nižšou hustotou dopravy. Technické riešenie obvykle kombinuje palivový článok ako primárny zdroj trakčnej elektriny a batériový buffer pre rekuperáciu a špičkové odbery. Vodík sa ukladá do tlakových nádrží, v železničných aplikáciách typicky pri 350 bar. Výkon súpravy sa pohybuje približne od 0,6 do 1,5 MW podľa sklonových pomerov a kapacitných požiadaviek. Technické parametre motorovej vodíkovej jednotky sumarizuje Príloha 9.

V takomto nasadení je **dojazd na jedno natankovanie približne 600 až 1 000 km**. Typická **spotreba sa pohybuje okolo 0,20 až 0,35 kg H₂ na vlakokilometer**. Tankovanie v depe s vysokoprietokovým výdajom trvá spravidla **20 až 45 minút**.

Palivová infraštruktúra je sústredená v depe. Jedna vodíková čerpacia stanica musí pri regionálnom grafíkone zabezpečiť výdaj približne 300 až 1 000 kg H₂ denne na súpravu. Zdrojom môže byť lokálna elektrolyza alebo dovoz v prívesných cisternách. Prevádzka sa organizuje buď s jedným depom s nočným tankovaním a stacionárnym zásobníkom, alebo v modeli so satelitnými bodmi a mobilnými cisternami.

Ekonomika je citlivá na cenu paliva, vyťaženie a životnosť palivových článkov a batérií. Kľúčové položky TCO tvoria nákup súprav, palivo v eur/kg H₂, servis a infraštruktúra HRS. Parita voči dieselovým DMU je dosiahnuteľná pri LCOH približne **6 až 10 eur/kg** pri vysokom ročnom nájazde a stabilnom grafíkone. Úspory emisií sú významné. Pri RFNBO alebo nízkouhlíkovom vodíku klesajú lokálne emisie NO_x a PM na nulu a hluk sa znižuje najmä v depách a na koncových staniciach. WTW emisie závisia od mixu elektriny a metodík uznávania RFNBO.

Bezpečnosť pri práci vyžaduje nádrže a potrubia podľa železničných noriem, detekciu únikov, ochranné zóny a školenie personálu na manipuláciu s vodíkom a postupy núdzového odvetrania. Najväčšími bariérami sú počiatočná kapitálová náročnosť, potreba certifikácie a interoperabilita komponentov, dlhšie obstarávacie cykly a zmluvná istota dodávok paliva. Implementačne sa odporúča **fáza pilotov v rokoch 2026 až 2028** s jednou až dvoma súpravami na vhodnej neelektrifikovanej linke, následné rozšírenie na klastre 4 až 8 súprav do rokov 2029 až 2032 s jednou HRS v každom depe a systematická náhrada dieselových DMU do rokov 2033 až 2035 na tratiach s najvyššou pravdepodobnosťou parity. Úspech sa sleduje pomocou indikátorov ako počet súprav v prevádzke, cena H₂ na vlakokilometer, dostupnosť nad 97 % a úspora CO₂eq na vlakokilometer.

NÁKLADNÁ ŽELEZNIČNÁ DOPRAVA

Pre nákladnú železničnú dopravu sú prirodzeným začiatkom posunovacie lokomotívy v zoraďovacích staniciach, priemyselných vlečkách a intermodálnych termináloch. Ďalšou etapou sú regionálne a medziregionálne vlaky na neelektrifikovaných úsekoch alebo v režime last-mile do terminálov. Technické riešenia opäť kombinujú palivové články a batériový buffer. Zásobníky vodíka môžu byť modulárne kontajnery alebo rámové zväzky pre rýchle zásahy údržby. Výkonová potreba sa pohybuje približne od 1 do 4 MW podľa hmotnosti súpravy a sklonových pomerov.

V posune dosahuje spotreba približne 5 až 15 kg H₂ na motohodinu v závislosti od pracovného cyklu. V líniovej prevádzke je spotreba približne 0,4 až 0,8 kg H₂ na kilometer pri ťažších vlakoch. Dojazd pri tankovaní v depe býva 400 až 800 km.

Infraštruktúra sa sústreďuje do uzlových staníc a terminálov. Depová HRS v takýchto lokalitách potrebuje výdaj rádovo 1 až 2 tony H₂ denne pre klastery lokomotív a má zmysel ju integrovať s miestnym priemyslom alebo so zdieľaním kapacity s cestnou dopravou a mestskými autobusmi. Prevádzkové modely rátajú s denným dopĺňaním v posune a s tankovaním v obrátových bodoch pri líniových vlakoch.

Ekonomika je opäť determinovaná LCOH, vyťažením a profilom trate. Prah parity voči dieselovým lokomotívam sa približuje pri LCOH okolo 6 až 8 eur/kg v posune a 5,50 až 7,50 eur/kg v líniovej prevádzke, najmä ak sa dosiahne vysoké využitie spoločnej HRS. Údržbové náklady môžu byť nižšie než pri nafta a energetická účinnosť reťazca vlak koľaj je vyššia najmä v typických posunovacích profiloch. Emisné prínosy sú najsilnejšie v uzloch a termináloch, kde sa znižujú lokálne emisie a hluk. WTW bilancia závisí od pôvodu vodíka.

Bezpečnostné požiadavky kopírujú železničné predpisy so zameraním na posúdenie rizík pre terminály a koordináciu s špecializovanými zložkami HaZZ a CBRN v rámci integrovaného záchranného systému. Hlavné bariéry predstavujú náročnejšie pracovné cykly, potreba kontinuálnej dodávky paliva a financovanie infraštruktúry, ktoré si často vyžaduje priemyselných partnerov. Implementačná trajektória odporúča pilot posunu v priemyselnom areáli alebo prekladisku v rokoch 2026 až 2028, pilotnú líniovú prevádzku na regionálnej trati s HRS v dvoch uzloch do rokov 2029 až 2032 a následné rozširovanie do klastrov s prepojením na logistické parky do rokov 2033 až 2035. KPI sledujú tona kilometre prepravené na H₂, dostupnosť nad 97 %, cenu H₂ na vlakokilometer a úspory CO₂ na vlakokilometer a v uzloch.

ZISTENIA A ODPORÚČANIA

Ekonomika vodíkovej železničnej dopravy sa zlepšuje s vyšším vyťažením súprav a stabilnými obehmi. Návrhnosť urýchli zdieľanie čerpacích staníc a výrobných zdrojov s autobusmi a nákladnými vozidlami. Prioritou majú byť trate s vysokými nákladmi na elektrifikáciu, dostupnou logistikou v depách a možnosťou pripojenia na OZE alebo nízkouhlíkovú elektrinu. Pilotné projekty je vhodné fázovať tak, aby už v prvých rokoch dosiahli vysoké využitie HRS, skrátili krivku učenia a priniesli zmluvnú istotu dodávok paliva aj servisu. Odporúčame vypracovať comparatívnu analýzu podľa vzoru z ČR ([Regionální vodíkové vlaky na českých železničních Technicko–ekonomická studie](#)).

OSOBNÁ VOZIDLÁ A DODÁVKY

OSOBNÉ VOZIDLÁ (M1)

Osobné vozidlá na vodíkový pohon sú vhodné pre flotily s vysokým denným nájazdom a potrebou rýchleho obratu. Ide najmä o taxislužby, firemné vozidlá, SUV a SAV, zdieľané autá a služobné pooly bez možnosti stabilného nabíjania. Technické riešenie využíva palivový článok s tlakovými nádržami 700 bar a malou trakčnou batériou pre vyrovnanie špičiek. Reálna spotreba dosahuje približne 0,8 až 1,2 kg H₂ na 100 km. Dojazd sa pohybuje okolo 500 až 700 km a tankovanie trvá 3 až 5 minút. Infraštruktúra si vyžaduje 700 bar HRS v mestských uzloch alebo firemných depách. Ekonomika závisí od ceny H₂, vyťaženia a reziduálnej hodnoty vozidiel. Parita voči BEV sa môže dosiahnuť pri veľmi vysokom využití a obmedzených možnostiach nabíjania. Parita voči hybridom a nafta nastáva skôr v

aplikáciách s extrémnymi nájazdmi a požiadavkou na rýchly obrat. Kľúčové prínosy sú nulové lokálne emisie a stabilný výkon aj v zime. Bariérou je dostupnosť modelov a sieť 700 bar staníc. Implementačne sa odporúča pilot v taxislužbe a vo firemnej flotile s garantovaným odberom a jednou verejno–súkromnou HRS v mestskom uzle.

DODÁVKY A ĽAHKÉ ÚŽITKOVÉ VOZIDLÁ (N1)

Vodíkové dodávky sú perspektívne v segmentoch s citlivosťou na čas obratu a nosnosť. Ide o balíkovú logistiku, servisné vozidlá, chladené rozvozy a zásobovanie periférnych oblastí. Technicky sa využíva palivový článok s nádržami 700 bar. Niektoré depové aplikácie môžu použiť 350 bar pri nižšom tlakovom režime a dlhšom tankovaní. Reálna spotreba sa pohybuje približne 1,2 až 2,0 kg H₂ na 100 km podľa hmotnosti a profilu jazdy. Dojazd býva 400 až 600 km a tankovanie 5 až 10 minút. Zdieľaná HRS s autobusmi alebo ťažkými nákladnými vozidlami výrazne zvyšuje využitie technológie a skracuje dobu návratnosti. TCO je citlivé na cenu H₂ a kilometrový výkon. Parita voči naftu a BEV je dosiahnuteľná v prevádzkach s vysokým nájazdom, pevnými oknami výdaja a obmedzenou možnosťou inštalovať výkonné nabíjanie bez negatívnych vplyvov na distribučnú sieť. Prevádzkové prínosy sú stabilný dojazd bez poklesu užitočného zaťaženia a obmedzenie výpadkov pri nabíjaní. Bariéry predstavujú dostupnosť modelov, štandardizácia karosárskych nadstavieb a počiatočný CAPEX HRS. Odporúča sa fázovanie cez depové piloty u dvoch až troch logistických partnerov s garantovaným odberom paliva a následné škálovanie na mestské huby pre kombinovanú obsluhu N1, autobusov a ťažkých vozidiel.

LETECKÁ DOPRAVA – KRÁTKE A STREDNÉ LETY A VODÍK V INFRAŠTRUKTÚRE LETÍSK

Rozsah a východiská

Kapitola rieši využitie vodíka pre krátke a stredné lety s orientačným objemom približne 8 000 letov ročne na území SR. Predpokladá sa zmes regionálnych turbovrtuľových a úzkotrupých lietadiel s doletom do 2 000 km. Na premostenie sa počíta s postupným nasadením vodíkových palivových článkov v pozemnej technike a s hybridnými demonštračnými letmi na vybraných tratiach.

Orientačný dopyt po H₂ a energetika

Ročný dopyt odvodený od 8 000 letov závisí od dĺžky etáp a typu lietadla. Ilustračný mix 70 % krátkych regionálnych etáp s priemerom 400 km a 30 % stredných etáp s priemerom 1 000 km vedie k ročnej potrebe približne 3 300 t H₂. Priemerná denná potreba je približne 9 t. Z toho vyplýva potreba 2 až 3 dodávok LH₂ denne pri kapacite cisterny 3,5 až 4,2 t. Ak sa vodík vyrába z elektriny a skvapalňuje, celková spotreba elektriny na elektrolyzér a skvapalňovanie dosahuje približne 60 až 68 kWh na kilogram. Pri uvedenom dopyte to predstavuje približne 200 až 225 GWh ročne.

Infraštruktúra letísk pre vodík

Letisková infraštruktúra sa skladá z kryogénneho zásobníka LH₂, kryogénnych púmp, plniacich bodov a bezpečnostných systémov. Zásobník sa dimenzuje na 5 až 10 dní priemernej spotreby podľa úlohy letiska v sieti. Pre zásobu 30 až 50 t LH₂ je potrebná nádrž s objemom približne 420 až 710 m³. Distribúcia k lietadlám prebieha cez mobilné kryogénne cisterny alebo fixný hydrantový systém pre LH₂ na vybraných stojiskách. Na synergické využitie sa inštaluje výmenník pre odber plynného H₂ na 350 bar pre ťažké pozemné vozidlá a na 700 bar pre ľahké vozidlá. Pre stabilitu dodávky sa počíta s redundanciou čerpadiel, systémom riadenia varných strát, spätným skvapalňovaním alebo kontrolovaným odberom boil–off plynu do palivových článkov v energetickom zázemí letiska. Príprava pozemnej infraštruktúry zahŕňa aj vyhradené bezpečnostné zóny, meranie koncentrácie H₂, detekciu požiaru a integráciu do letiskového SCADA.

Využitie H₂ v pozemnej prevádzke letiska

Vodík nahrádza diesel pri autobusoch na ploche, ťahačoch a ťahačoch batožiny, cateringových a servisných vozidlách, GPU jednotkách a mobilných klimatizačných PCA jednotkách. Palivové články umožňujú bezemisnú a tichú prevádzku so stabilným výkonom v zime. Vzniká prirodzené prepojenie

s mestskou dopravou a regionálnou logistikou, ktoré môžu využívať tú istú 350 bar infraštruktúru s vysokým využitím aktív. Zníženie lokálnych emisií a hluku je najvyššie práve v tejto fáze.

Prevádzka a bezpečnosť

Bezpečnosť vychádza z leteckých a priemyselných štandardov a z požiadaviek národného leteckého úradu a Hasičského a záchranného zboru. Zahŕňa klasifikáciu zón, protokoly tankovania, školenia personálu, pravidelné tlakové a kryogénne skúšky, HAZMAT a CBRN pripravenosť, koordináciu zásahov a plánovanie únikových ciest. Letiská zavádzajú režimy prevencie statickej elektriny, kontrolu kompatibility materiálov pri kryogénnych teplotách a riadenie prevádzkových rizík v blízkosti rolovacích dráh.

Fázovanie implementácie

Fáza 1 pokrýva pozemnú techniku a plynne H_2 s konverziou najnáročnejších dieselových aplikácií.

Fáza 2 zavádza kryogénne zásobníky LH_2 a napojenie na vybrané demonštračné lety s kapacitne menším tankovaním.

Fáza 3 rozširuje LH_2 výdajné stojany na viaceré stojiská, zvyšuje denný prietok a kontraktuje dlhodobé dodávky LH_2 alebo buduje vlastné výrobné zázemie v partnerstve s priemyslom. Každá fáza má jasné KPI. Denný prietok LH_2 , využitie zásobníka, dostupnosť nad 97 %, úspora CO_2eq na pohyb po letisku a na let, bezpečnostné ukazovatele a cena H_2 na pohyb alebo let.

Rozhodovacie kritériá a umiestnenie

Ekonomika sa zlepšuje so stabilným grafikomom a zmluvami s dopravcami. Letiská s vyšším podielom krátkych a stredných letov a s príslušnými priemyselnými odbermi vedú dosiahnuť rýchlejšie využitie kapacity. Umiestnenie LH_2 výroby má rešpektovať bezpečnostné vzdialenosti, logistické prístupy pre cisterny a minimalizovať krížovanie trás s cestujúcimi. Pre sieť SR je vhodné začať na jednom hlavnom a jednom regionálnom letisku a vytvoriť referenčný model pre rozsah zásobníka, počet plniacich liniek a operatívne postupy.

PROGNÓZA SPOTREBY V SEKTORE DOPRAVY

Prognóza spotreby vychádza z predpokladov o špecifickej spotrebe vodíka na 100 km (pri letectve na jeden let), z ročného alebo denného nájazdu jednotlivých kategórií vozidiel, z očakávaného zlepšovania účinnosti pohonov a z počtu evidovaných vozidiel. Zohľadňuje preferencia FCEV pred BEV s vyššou záťažou a intenzitou prevádzky. Preferencia nasadenia je v ťažkej doprave, v regionálnej železničnej doprave a na krátke až stredné trasy v leteckej doprave. Detailné výpočty obsahuje

Vo všetkých modelovaných scenároch je cieľ **1 % podielu RFNBO v doprave do roku 2030 splniteľný**, ale s odlišnou štruktúrou využitia:

- **Ambiciózny scenár WAM** – približne **polovica vodíka smeruje do priamej spotreby** v doprave a polovica do výroby fosílnych palív (ko–procesy v rafinériách).
- **Základný scenár WEM** – asi **tretina predstavuje priamu spotrebu** a dve tretiny výrobu fosílnych palív.
- **Pesimistický scenár** – len približne **jedna osmina je určená na priamu spotrebu**, zvyšok sa využíva v rafinériách.

Tabuľka 22: Prognóza priamej spotreby vodíka v sektore dopravy v optimistickom scenári NZE (t H_2)

Druh dopravného prostriedku	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	0	35	355	4961	11078	14795
Dodávky a vany	0	86	463	2226	3424	6586
Autobusy	18	1210	3528	13184	16243	21328
Nákladné vozidlá	0	985	17244	55853	159428	253331

Železničná doprava	0	19	36	95	133	127
Riečna doprava	0	0	0	180	173	166
Letecká doprava	0	0	0	1200	1200	1800
Ostatná doprava – komunálna lesnícka, poľnohosp., vojenská	0	62	91	290	335	322
<i>Ľahká doprava (M1a N1)</i>	<i>0</i>	<i>121</i>	<i>818</i>	<i>7187</i>	<i>14503</i>	<i>21380</i>
<i>Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)</i>	<i>18</i>	<i>2275</i>	<i>20899</i>	<i>70801</i>	<i>177511</i>	<i>277074</i>
Spolu t H2	19	2396	21717	77988	192014	298455
Spolu energie vo vodíku GWh	1	80	724	2599	6400	9947
Spolu energie vo vodíku ktoe	0	7	62	224	550	855

Cieľ RFNBO v doprave	0	1%	2%	8%	20%	35%
1% z energie spotrebovanej v doprave tvorí (tis.t H2)	0	9,6	21,1	76,8	192,0	336,0
Použitie multiplikátora 2 znižuje cieľ o polovicu ((tis.t H2)	0	4,8	bez multiplikátora			
Plnenie cieľa prostredníctvom priamej spotreby H2 (1/2)	0	2,4				
Plnenie cieľa pri výrobe fosílnych palív (1/2)	0	2,4				

Tabuľka 23: Prognóza priamej spotreby vodíka v základnom scenári WAM (t H₂)

Druh dopravného prostriedku	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	0	35	355	1654	2770	4438
Dodávky a vany	0	86	185	890	1712	3293
Autobusy	18	623	2797	7865	8313	11877
Nákladné vozidlá	0	809	17244	55853	140964	160551
Železničná doprava	0	9	36	95	91	88
Riečna doprava	0	0	0	180	173	166
Letecká doprava	0	0	0	1200	1200	1800
Ostatná doprava – komunálna lesnícka, poľnohosp., vojenská	0	32	73	116	140	177
<i>Ľahká doprava (M1a N1)</i>	<i>0</i>	<i>121</i>	<i>540</i>	<i>2544</i>	<i>4482</i>	<i>7731</i>
<i>Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)</i>	<i>18</i>	<i>1473</i>	<i>20149</i>	<i>65309</i>	<i>150881</i>	<i>174659</i>
Spolu t H2	19	1594	20690	67853	155362	182390
Spolu energie vo vodíku GWh	1	53	690	2262	5178	6079
Spolu energie vo vodíku ktoe	0	5	59	194	445	523

Cieľ RFNBO v doprave	1%	2%	7%	15%	20%
1% z energie spotrebovanej v doprave	9,6	19,2	67,2	144,0	192,0
Použitie multiplikátora 2 znižuje cieľ o polovicu	4,8	bez multiplikátora			
z toho 1/3 v priamej spotrebe vodíka v doprave	1,6				
z toho 2/3 pri výrobe fosílnych palív (Slovnaft)	3,2				

Tabuľka 24: Prognóza priamej spotreby vodíka v pesimistickom scenári WEM (t H₂)

Druh dopravného prostriedku	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	0	18	178	661	1385	2466
Dodávky a vany	0	19	93	445	856	1646
Autobusy	18	306	1335	2852	3809	3662
Nákladné vozidlá	0	234	5809	32810	61250	67771
Železničná doprava	0	0	9	34	33	32
Riečna doprava	0	0	0	0	0	0

Rozvoj vodíkoveho ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050.

Letecká doprava	0	0	0	300	600	600
Ostatná doprava – komunálna lesnícka, poľnohosp., vojenská	0	13	36	70	84	81
Ľahká doprava (M1a N1)	0	37	270	1107	2241	4112
Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)	18	553	7189	36067	65776	72146
Spolu t H2	19	590	7459	37173	68017	76258
Spolu energie vo vodíku GWh	1	20	249	1239	2267	2542
Spolu energie vo vodíku ktoe	0	2	21	107	195	219

Cieľ RFNBO v doprave	1%	2%	8%	14%	16%
1% z energie spotrebovanej v doprave	9,6	14,4	76,8	134,4	153,6
Použitie multiplikátora 2 znižuje cieľ o polovicu	4,8	7,2	38,4	67,2	76,8
z toho 1/3 v priamej spotrebe vodíka v doprave	0,6				
z toho 2/3 pri výrobre fosílnych palív (Slovnaft)	4,2				

7.4 PROGNOZA SPOTREBY RHNBO A LCH V NÁRODNOM HOSPODÁRSTVE SR

Predošlé kapitoly zhrnuli spotrebu za jednotlivé sektory hospodárstva. Súhrnná tabuľka uvádza predpokladané objemy spotreby vodíka v národnom hospodárstve do roku 2040 s výhľadom do 2050 v 3 scenároch.

Tabuľka 25: Prognóza spotreby obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka v hospodárstve SR (tis.t/rok)

Optimistický scenár (NZE uhlíkovo neutrálna spoločnosť 2050): predpokladá výrazne intenzívnejšie zapojenie vodíkových technológií a ambicióznou dekarbonizáciu hospodárstva.

Sektor	2030	2035	2040	2045	2050
Priemysel RHNBO	47	>75	71	198	209
Priemysel LCH	0	53	53	53	53
Doprava 100% RFNBO v 2030	2,4	11	36	75	111
Doprava od 2035 50% LCH	0	11	36	75	111
Energetika – teplárenstvo CZT LCH	0	10	18	24	28
Ostatné sektory* LCH	0	1	11	18	23
spolu RHNBO	25	85	93	242	279
spolu LCH	0	69	133	201	257
SPOLU	25	154	226	443	536
podľa INEKP	19	66	144	268	307

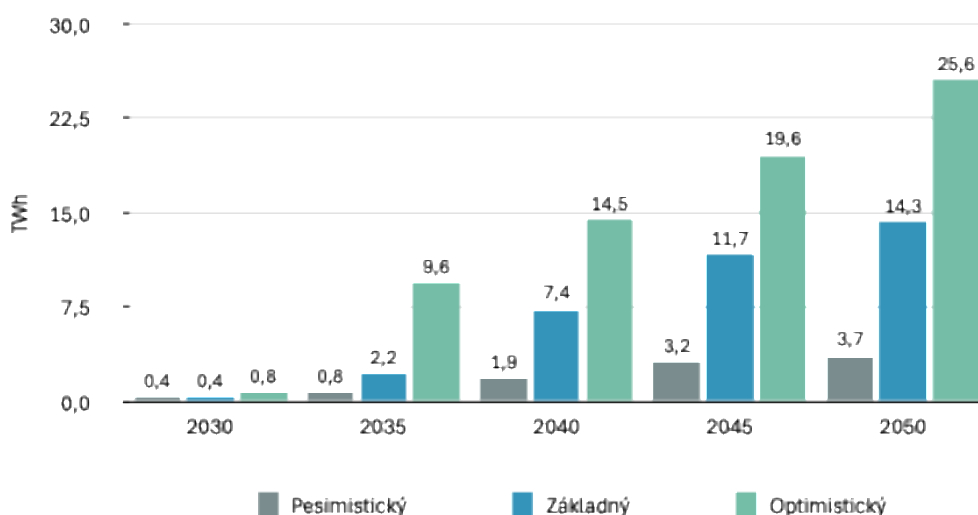
Základný scenár (WAM – With Additional Measures): vychádza z aktuálne platných európskych a národných politík a zohľadňuje naplnenie záväzných cieľov.

Sektor	2030	2035	2040	2045	2050
Priemysel RHNBO	11	66	67	72	79
Priemysel LCH	0	42	42	42	42
Doprava 100% RFNBO v 2030	1,4	10	34	68	91
Doprava od 2035 50% LCH		10	34	68	91
Energetika – teplárenstvo CZT LCH	0	0	4	18	28
Ostatné sektory* LCH	0	3	5	10	15
spolu RHNBO	13	76	101	136	162
spolu LCH	0	56	85	143	183
SPOLU	13	132	186	279	345
podľa INEKP	12	56	141	255	273

Pesimistický scenár (WEM – With Existing Measures): uvažuje s obmedzeným rozvojom vodíkového sektora a nespĺnením cieľov EÚ na národnej úrovni.

Sektor	2030	2035	2040	2045	2050
Priemysel RHNBO	0	0	1	17	21
Priemysel LCH	0	0	0	0	0
Doprava 100% RFNBO v 2030	0	0	7	14	27
Doprava od 2035 50% LCH	0	0	7	14	27
Energetika – teplárenstvo CZT LCH	0	0	2	5	7
Ostatné sektory* LCH	0	0	0	5	5
spolu RHNBO	0	0	8	32	48
spolu LCH	0	0	9	24	39
SPOLU	0	0	18	56	87
podľa INEKP				21	54

*výroba špičkovej elektriny, tepelné procesy v priemysle, mikrokogenerácie v budovách



Obrázok 15: Konečná spotreba energie vo vodíku

7.5 EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV

POROVNANIE EMISÍ CO_2 PRE FCEV VS. ICE DIESEL A VYBRANÉ PRIEMYSELNÉ POUŽITIA VODÍKA

Metodika

Výpočet vychádza z funkčnej jednotky a vzorca $\text{Emisie} = \text{Aktivita} \times \text{Emisný faktor}$, kde pre dopravu je uvedená 100 km s predpokladmi spotreby ICE diesel 5,5 l/100 km a FCEV 1,0 kg H_2 /100 km, pre chemický priemysel 1 t NH_3 so spotrebou 176,5 kg H_2 /t, pre výrobu železa DRI 1 t DRI so spotrebou 80 až 58 kg H_2 /t a pre teplo 1 MWh_{th} so spaľovaním zemného plynu alebo vodíka; emisné faktory sú pre naftu 2,64 až 2,68 kg CO_2 /l, pre zemný plyn 56,1 kg CO_2 /GJ a pre vodík podľa pôvodu približne 10 až 12 kg CO_2 /kg H_2 pri výrobe zo zemného plynu bez zachytávania CO_2 , 1 až 4 kg CO_2 /kg H_2 pri nízkouhlíkovom H_2 zo zemného plynu s CCS a 0 až 1 kg CO_2 /kg H_2 pri elektrolytickom H_2 z elektriny s nízkou uhlíkovou intenzitou.

(IEA 2024) (IPCC 2006) (IEA 2021 Ammonia) (EEA 2024) (Hyundai NEXO WLTP)

Tabuľka 26: Kalkulácia emisí podľa sektorov

POUŽITIE	Funkčná jednotka	Aktivita (predpoklad)	Fosílna referencia CO_2	LCH CO_2	RHNBO CO_2	Poznámka
Cestná doprava FCEV vs ICE diesel	100 km	ICE 5,5 l; FCEV 1,0 kg H_2	14,5 až 14,7 kg/100 km	1,0 až 4,0 kg/100 km	0,0 až 1,0 kg/100 km	ICE z 2,64 až 2,68 kg CO_2 /l; FCEV rozsah podľa 1 až 4 a 0 až 1 kg CO_2 /kg H_2
Amoniak NH_3	1 t NH_3	176,5 kg H_2 /t	2,0 až 2,6 t/t NH_3 (SMR bez CCS)	0,18 až 0,71 t/t NH_3	0,00 až 0,18 t/t NH_3	Výpočet z 176,5 kg H_2 × intenzita CO_2 /kg H_2
Železo DRI (redukcia H_2)	1 t DRI	54 až 58 kg H_2 /t	≈ 1,5 t/t DRI (plynový DRI)	0,05 až 0,23 t/t DRI	0,00 až 0,06 t/t DRI	Len príspevok H_2 ; 54 až 58 × (1 až 4) alebo × (0 až 1) kg CO_2
Voľné spaľovanie paliva pre teplo	1 MWh_{th}	NG 1 MWh_{th} ; H_2 ~30 kg/ MWh_{th}	≈ 201,6 kg/ MWh_{th} (NG)	30 až 120 kg/ MWh_{th}	0 až 30 kg/ MWh_{th}	201,6 = 56,1 × 3,6; H_2 30 kg/ MWh_{th} × intenzita

Poznámky k zdrojom a overeniu predpokladov.

Emisné intenzity výroby H₂ 10 až 12 kg CO₂/kg H₂ pre nezachytený plyn a 1 až 4 kg CO₂/kg H₂ pre nízkouhlíkový H₂ s CCS vychádzajú z IEA metodík, 0 až 1 kg CO₂/kg H₂ pre elektrolytický H₂ závisí od uhlíkovej intenzity elektriny a súladov s regulačnými prahmi; spotreba H₂ pre NH₃ je daná stechiometriou a pre H₂-DRI typicky 54 až 58 kg/t; spaľovanie zemného plynu má faktor 56,1 kg CO₂/GJ, vodík pri spaľovaní nevytvára výfukové CO₂ a hodnoty sú dané upstream intenzitou.

(IEA 2024) (Worldsteel 2025 H₂-DRI) (IPCC 2006)

ÚSPORY EMISÍ CO₂ PRE SLOVENSKO – PRÍKLADY VYUŽITIA VODÍKA

Metodika a východiská.

Výpočet vychádza z funkčných jednotiek a vzorca Emisie = Aktivita × Emisný faktor; predpoklady: nahradenie 102 000 t fosílného H₂ v amoniaku (rozdiel 10,0 kg CO₂/kg H₂ medzi fosílnym a obnoviteľným H₂), oceľ 1,5 mil. t so zmenou technológie z BF-BOF (2,3 tCO₂/t) na H₂-DRI-EAF (0,4 tCO₂/t), cestná doprava – nahradenie 20 % súčasných emisií cestnej dopravy vozidlami na obnoviteľný vodík s redukciou 96,6 % v nahradenej časti, teplo – nahradenie 20 % spaľovania zemného plynu obnoviteľným vodíkom; faktor NG 56,1 kg CO₂/GJ a 1 bcm ≈ 2,1879 Mt CO₂; údaje sú orientačné a zaokrúhlené.

(IEA 2024) (WEF 2024 – Steel) (ETC 2023 – H₂-DRI-EAF) (SHMÚ – doprava) (IPCC 2006 – NG faktor)

Tabuľka 27: Úspora emisií 2050 v scenári WAM

SEGMENT	Predpoklad	Metóda (stručne)	Úspora CO ₂ [t/rok]	Úspora CO ₂ [Mt/rok]
Amoniak (náhrada 102 000 t fosílného H ₂)	Fosílny H ₂ 10,5 vs. obnoviteľný H ₂ 0,5 kg CO ₂ /kg	102 000 000 kg × (10,5 – 0,5)	1 020 000	1,02
Oceľ (1,5 mil. t ocele)	BF-BOF 2,3 → H ₂ -DRI-EAF 0,4 tCO ₂ /t	1 500 000 × (2,3 – 0,4)	2 850 000	2,85
Cestná doprava (20 % nahradenie)	Základ ~7 260 000 t CO ₂ ; úspora 96,6 % v nahradenej časti	0,20 × 0,966 × 7 260 000	1 402 632	1,403
Výroba tepla (20 % nahradenie)	NG pre teplo ~3,1429 bcm; 1 bcm ≈ 2,1879 Mt CO ₂	0,20 × 3,1429 × 2,1879 Mt	1 375 270	1,375
Spolu	Súčet	–	6 647 902	6,648

8 PROGNOZA ROZVOJA INFRAŠTRUKTÚRY VODÍKOVÝCH ČERPACÍCH STANÍC

8.1 SIEŤ ČERPACÍCH STANÍC

Smerovanie rozvoja siete čerpacích staníc na vodík (HRS) v SR do roku 2030 v súlade s AFIR. Výstavba má spĺňať technické a prevádzkové požiadavky AFIR a zároveň odrážať dopyt vznikajúcich flotíl verejnej a ťažkej cestnej dopravy. Preferované sú kombinované lokality, ktoré pokrývajú hlavné koridory siete TEN-T aj mestské uzly Bratislava, Žilina, Košice a Nitra. Uprednostniť treba miesta prvých pilotných projektov autobusovej a nákladnej dopravy s presahom na železničnú dopravu.

AFIR A VODÍK

Čo presne vyžaduje a ako to rámcuje plánovanie H₂ infraštruktúry.

Regulačný rámec. AFIR je priamo uplatniteľné nariadenie EÚ 2023/1804, ktoré stanovuje záväzné ciele pre verejne prístupnú infraštruktúru alternatívnych palív vrátane vodíka a definuje technické, platobné a dátové požiadavky. Platí v súčinnosti s revidovanou politikou TEN-T 2024/1679, ktorá určuje mestské uzly, kde sa ciele AFIR plnia.

Ciele pre vodíkové čerpacie stanice (HRS)

- **Do 31. 12. 2030** musia byť na základnej sieti TEN-T HRS s minimálnou kapacitou **1 t H₂/deň** a **aspoň jedným 700-bar výdajom** v maximálnych rozstupoch **200 km**. Zároveň **aspoň jedna HRS v každom mestskom uzle**. Stanice sa môžu započítať aj v rámci mestských uzlov, ak splnia kapacitný cieľ.
- HRS pozdĺž TEN-T môžu stáť **na sieti alebo do 10 km** od najbližšieho výjazdu.
- **Derogácia kapacity** je možná na cestách jadrovej siete s **< 2000 ťažkých vozidiel AADT⁴¹**, a to najviac **o 50 %**, pri zachovaní 200 km rozstupov a 700 bar.
- Komisia má **prehodnotiť** parametre HRS vrátane prípadného **zvýšenia kapacity**, určenia cieľov pre **kvapalný vodík** a načasovania **rozšírenia zo základnej na súhrnnú sieť TEN-T**.

Revízia TEN-T z roku 2024 stanovuje zoznam mestských uzlov. V rámci implementácie je komunikované, že mestské uzly tvorí **431 lokalít** ako ilustruje mapa a tabuľka – .

Mapa rozširovania vodíkovej čerpacej siete v EÚ podľa AFIR

330 čerpacích staníc na vodík (VČS) potrebných v mestských uzloch

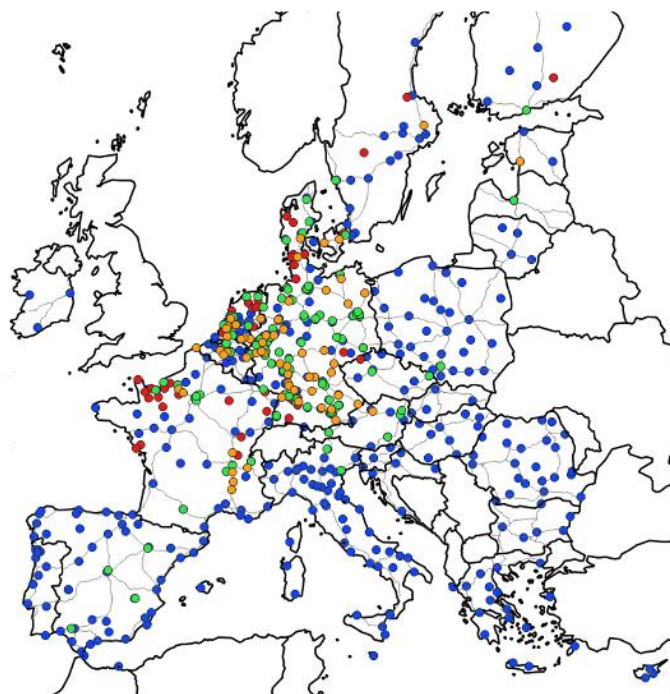
98 VČS potrebných pozdĺž sietí TEN-T

45 existujúcich VČS mimo vymedzenia AFIR

Databáza poskytnutá analytickým tímom Hydrogen Europe, overená na základe spätnej väzby členov (priemysel a národné asociácie)

Legenda:

- mestský uzol
- existujúca VČS v mestskom uzle
- existujúca VČS pozdĺž TEN-T
- existujúca VČS mimo vymedzenia AFIR
- základná sieť TEN-T



Obrázok 16: Rozmiestnenie čerpacích staníc na vodík v EÚ podľa AFIR

(Zdroj: Hydrogen Europe)

Technické špecifikácie HRS

- **Interoperabilita a kvalita paliva** sú viazané na európske normy uvedené v **Prílohe II AFIR**:
– algoritmus plnenia a HMI podľa **EN 17127:2020**

⁴¹ AADT je priemerná denná intenzita dopravy v roku

- kvalita vodíka podľa **EN 17124:2022**
- **konektory** pre vozidlá podľa **EN ISO 17268:2020** po ukončení certifikačného procesu
- špecifikácie pre konektory ťažkých vozidiel sú súčasťou rámca Prílohy II.

Užívateľské a platobné požiadavky

Ad-hoc tankovanie musí byť umožnené na každej verejne prístupnej vodíkovej čerpacej stanici s využitím v EÚ bežne rozšíreného elektronického platobného nástroja. Pre stanice uvedené do prevádzky po 13. apríli 2024 platí táto povinnosť okamžite. Pre staršie stanice nadobúda účinnosť 14. októbra 2024. Prevádzkovateľ je povinný zverejniť cenu za kilogram vodíka ešte pred začiatkom tankovania a ceny musia byť transparentné a nediskriminačné.

Dátové povinnosti a dostupnosť informácií

Prevádzkovatelia infraštruktúry sú povinní poskytovať statické aj dynamické údaje prostredníctvom národných prístupových bodov podľa vykonávacieho aktu 2025/655, ktorý určuje formát, frekvenciu a požadovanú kvalitu dát. Delegovaný akt 2025/671 rozširuje rozsah povinných údajov. Pre vodíkové čerpacie stanice sa vyžaduje informácia o prevádzkovom stave, aktuálnej dostupnosti, ad-hoc cene a špecificky aj údaj o obmedzenom množstve dostupného vodíka. Obe nariadenia nadobúdajú účinnosť 14. apríla 2025.

Národné plánovanie a reportovanie

Členské štáty sú povinné pripraviť národný politický rámec pre alternatívne palivá. Návrh bolo treba predložiť do 31. decembra 2024 a finálnu verziu do 31. decembra 2025. Od 31. decembra 2027 je povinné každé dva roky zasielať Európskej komisii národné správy o pokroku.

Nariadenie AFIR stanovuje **minimálnu priestorovú hustotu a kapacitu vodíkových čerpacích staníc**. Tým vytvára základnú sieť a ponuku pre uspokojenie dopytu po plynnom vodíku v pilotnej fáze rozvoja FCEV cestnej dopravy na koridoroch TEN-T a v mestských uzloch. Táto hranica je priamym vstupom pre dimenzovanie primárnej výroby a logistických kapacít. Požiadavka umiestniť stanice najviac 10 km od siete TEN-T a preferencia multimodálnych lokalít v mestách uľahčujú napojenie na budúcu prepravnú a distribučnú sústavu vodíka aj na železniciu a vnútrozemskú plavbu. V praxi to podporuje integráciu staníc s plánovanou konverziou plynárenskej infraštruktúry na vodík a s terminálmi v mestských a logistických uzloch. Minimálne technické parametre a povinná dátová transparentnosť umožňujú presnejšiu kalibráciu investičných a prevádzkových scenárov.

Nariadenie AFIR vytvára základnú sieť a kapacitu vodíkových čerpacích staníc. Tým pokryje prvotný dopyt po plynnom vodíku v cestnej doprave v koridoroch TEN-T a v mestských uzloch, čo sa priamo premieta do dimenzovania primárnej výroby a logistických kapacít. Požiadavka umiestniť stanice do vzdialenosti maximálne 10 km od siete TEN-T a preferencia multimodálnych lokalít v mestských uzloch uľahčujú napojenie na budúcu prepravnú a distribučnú sústavu vodíka aj na železničnú a vnútrozemskú lodnú dopravu, ktoré AFIR výslovne zohľadňuje. V praxi to podporuje integráciu vodíkových staníc s plánovanou zmenou účelu plynárenskej, pričom minimálne technické parametre a požiadavky na dátovú transparentnosť umožňujú presnejšie kalibrovať investičné a prevádzkové scenáre.

STRUČNÉ ZHRNUTIE PARAMETROV PRE HRS PODĽA AFIR

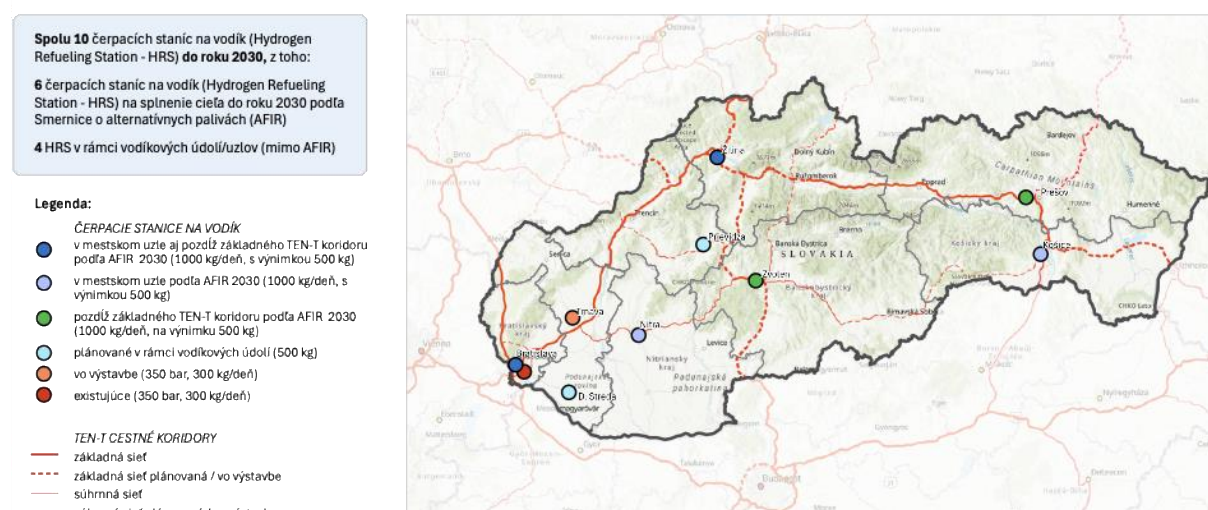
- Umiestňovanie na základných TEN-T koridoroch a v mestských uzloch do 2030.
- Kapacita a tlak: $\geq 1 \text{ t/deň}$ a $\geq 700 \text{ bar}$.
- Rozstup najviac **200 km** na základnej sieti TEN-T.

- Umiestnenie môže byť priamo **na TEN-T alebo aj mimo, najviac do 10 km** od výjazdu.
- Možné zníženie kapacity HRS pri nízkom AADT⁴² až o **50 % (na 0,5 t/deň)**.
- Platby a ceny: umožnená ad-hoc platba kartou alebo bezkontaktné, viditeľná cena/kg.
- Normy: **EN 17127, EN 17124, EN ISO 17268**.

NÁVRH ROZLOŽENIA ČERPACÍCH STANÍC NA VODÍK V SR DO ROKU 2030

Tematická mapa Slovenska zobrazuje návrh umiestnenia vodíkových čerpacích staníc do roku 2030 v súlade s AFIR a doplnkové lokality mimo AFIR v rámci vodíkových údolí. Stanice sú sústredené vo vybraných mestských uzloch a na koridoroch TEN-T⁴³. Príkladmi uzlov sú Bratislava, Žilina, Nitra, Zvolen a Košice. Zámerom je pokryť potreby vznikajúcich flotíl MHD a ťažkej cestnej dopravy a zároveň plniť sieťové požiadavky na hlavných ťahoch.

Do roku 2030 má sieť čerpacích staníc na vodík pozostávať zo šiestich staníc v súlade s AFIR na koridoroch základnej siete TEN-T a v mestských uzloch, jednej existujúcej a jednej pred spustením a dvoch v pripravovaných vodíkových údoliach mimo AFIR, spolu desať staníc.



Obrázok 17: Navrhované rozmiestnenie čerpacích staníc v SR v roku 2030

(Zdroj: NVAS na základe TENtec maps, EK⁴⁴)

8.2 SYNERGIE S NABÍJACOU INFRAŠTRUKTÚROU

Kolokácia vodíkovej čerpacej stanice pre ťažké vozidlá a hubu DC rýchlonabíjania pre BEV umožňuje zdieľať stavebno-technickú infraštruktúru, pripojenia do sietí, povoľovanie a vybrané prevádzkové služby. AFIR do roku 2030 vyžaduje na základnej sieti TEN-T čerpacie stanice na vodík s minimálnou kumulatívnou kapacitou 1 t H₂ za deň s 700 bar a pokrytie mestských uzlov, čo prirodzene smeruje k

⁴² AADT (Annual Average Daily Traffic) je ukazovateľ, ktorý vyjadruje priemerný počet vozidiel prechádzajúcich určitým úsekom cesty za deň, vypočítaný ako priemer zo všetkých dní v roku.

⁴³ Slovenská správa ciest: Mapa Paneurópskych cestných koridorov v SR. (<https://www.cdb.sk/sk/cestna-siet-SR/Medzinarodne-tahy/Pan-Europejske-koridory-TEN-T-alej>)

⁴⁴ TENtec maps portal. (<https://webgate.ec.europa.eu/tentec-maps/web/public/screen/home>)

multimodálnym uzlom vhodným na kolokáciu s elektrickým nabíjaním. Text [AFIR](#) výslovne požaduje analýzu umiestnenia so zameraním na multimodálne huby.

Porovnávacie nákladové rámce

- **HRS pre MHD a ťažké úžitkové vozidlá.** Dopadová štúdia k AFIR uvádzala pre referenčnú HRS ~1 t H₂ za deň približne 4 mil. eur s očakávaným poklesom pod 3 mil. eur do roku 2030. ([Hydrogen Europe](#))
- **EV rýchlonabíjanie.** Európsky EV Charging Masterplan uvádza v roku 2030 typové investičné náklady v prepočte na kW. AC 11 kW ~125 eur/kW a DC vysokovýkonné až po 1 MW ~260 eur/kW. Dokument zároveň upozorňuje, že údaje nezahŕňajú sieťové posilnenia, ktoré sa posudzujú samostatne. ([ACEA](#))

Tieto zdroje potvrdzujú, že výrazná časť CAPEX pri oboch technológiách vzniká mimo vlastných technických agregátov. Zdieľanie staveniska, prístupových a inžinierskych sietí, projektovania a povoľovania preto ponúka reálny potenciál úspor. Empirické aj modelové analýzy zároveň ukazujú, že vysoké fixné náklady a nízka počiatočná vyťaženosť HRS si vyžadujú nákladové znižovanie a podporné mechanizmy, čo ko-lokácia uľahčuje.

Dodatočné prínosy a riziká

- Skrátenie povoľovania vďaka jednému územnému a stavebnému konaniu a nižšia potreba plôch v dopravných uzloch.
- Možnosť optimalizovať VN pripojenie a prípadne zdieľať batériové úložisko na redukcii špičiek a lepšiu koordináciu odberu.
- Lepšie podmienky pre financovanie vďaka väčšiemu a diverzifikovanému cash-flow areálu a preukázateľným úsporám nákladov.
- Potreba precízneho bezpečnostného návrhu areálu a dopravno-prevádzkového usporiadania, keďže H₂ a vysokovýkonné DC nabíjanie majú špecifické požiadavky.
- Skúsenosti z trhov s viacpalivovými stanicami potvrdzujú uskutočniteľnosť konceptu pre ťažkú dopravu.

Záver a odporúčania

- Úspory sú citlivé na lokálne náklady pozemkov a na posilnenie distribučnej siete. Masterplan explicitne rozlišuje CAPEX nabíjačiek a samostatné investície do pripojenia na distribučnú sieť, čo je potrebné zohľadniť vo finančnej analýze .
- Pre každý plánovaný uzol odporúčame spracovať jednotnú finančnú analýzu s variantmi samostatne a s jednotnou metodikou diskontovania a scenármi vyťaženia.
- V uzloch s vysokým podielom ťažkej dopravy a povinnosťami podľa AFIR je intermodalita preferovaná, keďže pomáha plniť vodíkové aj elektrické ciele súčasne.

9 POTENCIÁL DOMÁCEJ VÝROBY VODÍKA A POTREBA IMPORTU VODÍKA

Slovensko je vnútrozemská krajina s priemernými podmienkami výroby elektrickej energie zo slnečnej energie a s podpriemernými podmienkami pre výrobu elektriny z veternej energie v porovnaní s krajinami EÚ s najlepšimi podmienkami. Z toho vyplýva, že požiadavky na CAPEX a cena vyrobenej elektriny z OZE bude vyššia ako v krajinách s vysokým slnečným svitom a lepšími veternými podmienkami ako napríklad Španielsko, Portugalsko a severozápadná Európa. Pre naplnenie európskych cieľov v spotrebe obnoviteľného vodíka nebiologického pôvodu – RHNBO sú nevyhnutne potrebné obnoviteľné zdroje v rámci krajiny – v jednej ponukovej oblasti. Preto, ak sa majú európske ciele plniť je potrebné budovať nové zdroje obnoviteľnej energie, primeranú inštalovanú kapacitu

elektrolyzérov a doplniť vlastné výrobné kapacity o importné kanály – potrebnými infraštruktúrnymi systémami prepájajúce krajiny EÚ – európska vodíková sieť (EHB).

Z geopolitického hľadiska by malo byť pre zachovanie odolnosti a energetickej bezpečnosti štátu prioritou a snažiť sa o čo najvyšší podiel doma vyrobeného vodíka a dopĺňať ho o import pre zabezpečenie dodatočných objemov pre pokrytie dopytu. Technický a skutočný potenciál rozvoja OZE je značný v oblasti veternej energetiky a fotovoltiky. Je pomerne obmedzený na nové zdroje z vodnej energie z dôvodu takmer vyčerpaného hydroenergetického potenciálu krajiny a ešte viacej limitujúci na zdroje z geotermálnej energie, kvôli nízkoteplotným zdrojom, menej vhodným na výrobu elektriny.

Detailnému mapovaniu zdrojov na výrobu vodíka sa venuje „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“, preto sa tento dokument zameriava na prognózy a technicko-ekonomické aspekty výroby vodíka z rôznych zdrojov od roku 2030.

Pre pochopenie zostavovaniu prognóz výroby je potrebné najprv vysvetliť pojem LCOH.

9.1 LCOH V PODMIENKACH SLOVENSKA

S rastúcim významom vodíka ako nosiča čistej energie v kontexte dekarbonizácie priemyslu, dopravy a energetiky narastá potreba objektívne porovnávať nákladovosť rôznych technológií výroby vodíka. Jedným z kľúčových ukazovateľov, ktorý umožňuje takéto porovnanie, je tzv. **LCOH (Levelised Cost of Hydrogen) – vyrovnané náklady na vyrobený vodík** za celý životný cyklus zariadenia. Tento parameter predstavuje štandardizovaný spôsob výpočtu priemerných nákladov na produkciu jedného kilogramu vodíka počas celej životnosti výrobného zariadenia. LCOH sa stal neoddeliteľnou súčasťou posudzovania technickej a ekonomickej realizovateľnosti vodíkových projektov.

LCOH sa analogicky k ukazovateľu LCOE (Levelised Cost of Electricity) vypočíta ako pomer diskontovanej hodnoty celkových nákladov na výrobu vodíka k celkovému množstvu vyrobeného vodíka počas doby životnosti zariadenia podľa nasledovnej rovnice:

Rovnica 1: Výpočet LCOH

$$LCOH = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{CAPEX_t + OPEX_t + \text{náklady na energiu}_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \left(\frac{H_{2,t}}{(1+r)^t} \right)} \left[\frac{EUR}{kg} H_2 \right]$$

kde:

- $CAPEX_t$ – kapitálové výdavky v roku t ,
- $OPEX_t$ – prevádzkové náklady v roku t ,
- $H_{2,t}$ – množstvo vyrobeného vodíka v roku t ,
- r – diskontná miera,
- N – životnosť zariadenia v rokoch.

Výsledná hodnota LCOH je determinovaná viacerými technickými, ekonomickými a regulačnými parametrami:

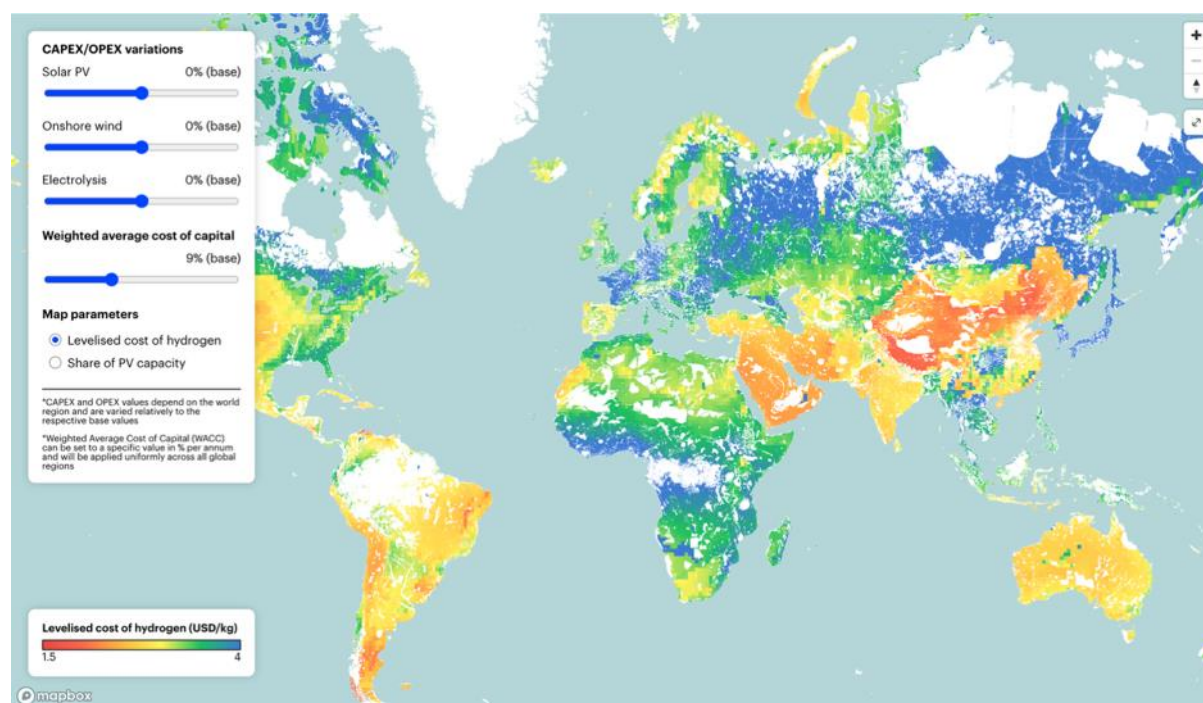
- **Cena vstupnej energie.** Pri elektrolytickej výrobe vodíka predstavuje nákup elektriny (najmä z OZE) dominantnú zložku prevádzkových nákladov. Priemerná cena elektriny významne ovplyvňuje LCOH.
- **Investičné náklady (CAPEX).** Cena elektrolyzéro, prípadne reformátorov metánu alebo zariadení na pyrolýzu, tvorí významnú zložku celkových nákladov. Ekonomika z rozsahu (napr. 100 MW vs. 1 MW zariadenie) umožňuje redukovať LCOH.

- **Miera využitia výrobného zariadenia v roku (capacity factor).** Vyššia prevádzková doba vedie k rovnomernejšiemu rozloženiu investičných nákladov, čím sa LCOH znižuje. Napr. prevádzka elektrolyzéra s využitím 4000 hodín ročne má výrazne nižší LCOH než pri sezónnej výrobe.
- **Dostupnosť podpory a dotácií.** Granty, prevádzková podpora alebo garantované ceny znižujú reálne náklady na výrobu a tým aj LCOH. Podpora z Európskej vodíkovej banky môže byť významným stimulom pre pokles LCOH v EÚ.
- **Životnosť technológie a úroková miera.** Dlhšia životnosť technológie a nižšia diskontná miera (napr. pri stabilných podmienkach financovania) majú pozitívny vplyv na výslednú hodnotu LCOH.
- **Veľkosť výroby vodíka.** Čím väčšia, tým sú nižšie špecifické investičné náklady.

Hodnota LCOH je jedným z hlavných vstupov pri rozhodovaní o alokácii verejnej a súkromnej podpory v oblasti vodíka. Umožňuje identifikovať technológie s najväčším potenciálom znižovania nákladov, sledovať pokrok v čase a optimalizovať výber vhodných výrobných modelov pre konkrétne regióny. V podmienkach Slovenska je dôležité, aby sa do budúcich hodnotení LCOH zahrnuli aj lokálne špecifiká: dostupnosť OZE, existujúca infraštruktúra a možnosti priemyselnej integrácie.

IEA zverejnila aktualizovanú [globálnu mapu úrovňových nákladov na výrobu vodíka](#) (LCOH)¹⁰ z energie zo slnka a vetra⁴⁵.

Interaktívna mapa (Obrázok 15) znázorňuje LCOH výroby vodíka z fotovoltických (FVE) a veterných elektrární na pevnine (VTE). Pre každú lokalitu a jej hodinové kapacitné faktory FVE a VTE na pevnine boli pomocou modelovej súpravy ETHOS⁴⁶ určené nákladovo optimálne inštalované kapacity FVE, VTE a elektrolyzérov, ako aj potreba flexibilných prvkov, napríklad batériového úložiska alebo obmedzovania výroby (curtailment).



⁴⁵ Aktualizované: 13. november 2024

⁴⁶ Inštitút pre energetický a klimatický výskum – IEK-3, Výskumné centrum Jülich

Obrázok 18: Globálna mapa úrovňových nákladov vodíka (LCOH)

Základné predpoklady kapitálových nákladov (CAPEX) pre rok 2030 sú na úrovni 380 – 1 300 USD/kW pre fotovoltické elektrárne, 980 – 3 260 USD/kW pre veterné elektrárne na pevnine a 620 – 960 USD/kW pre elektrolyzéry. Uvedené rozpätia odrážajú regionálne rozdiely v nákladoch. Základné ročné prevádzkové náklady (OPEX) sú 8 – 26 USD/kW pre fotovoltické elektrárne, 25 – 83 USD/kW pre veterné elektrárne na pevnine a 19 – 30 USD/kW pre elektrolyzéry. Náklady na technológie v jednotlivých regiónoch relatívne klesajú alebo stúpajú podľa zvolených percentuálnych hodnôt.

LCOH – cena vodíka v podmienkach Slovenska bude najnižšia pri centralizovanej veľkokapacitnej výrobe s čo najvyšším využitím zariadenia počas roka, Ako príklad posluží model veľkokapacitnej centralizovanej výroby nad 100 MW s vysokým kapacitným faktorom 83%. Ten by mohlo byť zabezpečený priamo pripojeným obnoviteľným zdrojom a dotovaný výrobou elektriny z jadrovej elektrárne.

Tabuľka 28: Obnoviteľný vodík – výroba vodíka podľa zdrojov 2030

SPÔSOB VÝROBY	Typické lokality v SR	Faktor využitia v roku (CF)	LCOH (€/kg)	Emisie (g CO ₂ /MJ)	Inštalovaný výkon elektrolyz (MW)	Predpokladaná výroba H ₂ (kt/rok)
Vietor → H ₂	Záhorie, Myjava, Podunajská a Východoslovenská nížina	0,33–0,40	6,06–8,31	5,04–5,50	100 (príklad)	5,6–6,7
Slnko → H ₂	Juh SR, Zemplín, priemyselné strechy, brownfieldy	0,25–0,30	7,40–10,31	18,8–22,0	100 (príklad)	4,2–5,1
Voda → H ₂	Gabčíkovo, kaskády Váhu, PVE Čierny Váh	0,55–0,65	4,31–5,67	≈11,0	100 (príklad)	9,3–11,0
Hybrid V:S = 2:1 → H ₂	Portfóliový mix západ a východ	0,45–0,55	5,56–7,26	≈10,3	100 (príklad)	7,6–10,1
Biometán → H ₂ (reforming)	BPS s upgradíngom (Bierovce) a ďalšie projekty	–	4,0–5,6	4,2–16,7	– (neaplikuje sa)	20–40

Východiská pre LCOH: jadro 60 €/MWh, vietor 65 €/MWh, slnko 75 €/MWh, existujúca voda 50 €/MWh, hybrid 68 €/MWh. CAPEX elektrolyzy 1 400–2 200 €/kW pri veľmi veľkých elektrolyzéroch 100 MW. Pri elektrolyzéroch do 10 MW LCOH stúpa približne o 2 eur / kg H₂.

Tabuľka 29: Nízkouhlíkový vodík – prognóza objemu výroby a ceny vodíka

CESTA	Typické lokality v SR	LCOH (€/kg)	Emisie (g CO ₂ /MJ)	Inštalovaný výkon elektrolyz (MW)	Predpokladaná výroba H ₂ (kt/rok)
Jadro → H ₂ (elektrolýza)	Mochovce, Bohunice (nový blok 1,2–1,25 GW)	4,52–5,37	≈5,5	500 (príklad)	200–300
SMR/ATR + CCS	Chemický priemysel, rafinéria, metalurgia	2,6–3,8	8,3–25	– (neaplikuje sa)	50–150
RCF (odpady) → H ₂	BA/TT, ZA, KE pri priemyselných a odpadových uzloch	4,8–7,4	≤28,2	– (neaplikuje sa)	1–10
Vedľajší H ₂ (chlór)	Výroba chlóru v Novákoch	0,85–1,55	8,3–16,7	– (neaplikuje sa)	1–5
Prírodný H ₂	Perspektívne zóny Západných Karpát a sedimentov	0,6–2,2*	<8,3*	– (neaplikuje sa)	stovky–tisíce*

* orientačné odhady s vysokou neistotou.

Posudzuje sa s horizontom 20 rokov, WACC 8 % a koeficientom splátky kapitálu CRF ≈ 9,44 %. Predpoklad energetická náročnosti elektrolyzy 55 kWh na kilogram H₂ vrátane kompresie približne na 30 bar. Fixná údržba elektrolyzy 2 % CAPEX ročne. Pri procesoch mimo elektrolyzy je použitá fixná údržba 4 % CAPEX ročne a faktor využitia 0,9. Prah pre uznanie nízkouhlíkového paliva v EÚ zodpovedá minimálne 70 % úspore emisií oproti fosílnemu referenčnému palivu, t. j. ≤ 3,38 kg

CO₂eq/kg H₂, čo pri LHV 120 MJ/kg znamená ≤ 28,2 g CO₂eq/MJ. Metodiku stanovuje delegované nariadenie Komisie (EÚ) 2023/1185 a súvisiace pravidlá RED III.

Pre vyššie využitie elektrolyzéro v roku je vhodné kombinovať viaceré zdroje, ktoré sa vzájomne dopĺňajú vo výrobe, napríklad väčšina výroby elektrickej energie zo slnečnej energie je sústredená v lete a v denných hodinách, kdežto v kombinácii s veternou farmou je predpoklad doplnenia výroby aj v nočných hodinách a hlavne v jesennom a zimnom období, kedy sú na Slovensku najlepšie výrobné podmienky pre výrobu elektriny z veternej energie. Nasledovná tabuľka uvádza vplyv rôznych variácií OZE na odhadovanú cenu vodíka v podmienkach Slovenska v roku 2030.

Tabuľka 30: LCOH pri kombinácii zdrojov

SCENÁR: 10 MW ELY	Výkon OZE Mix vietor: slnko	Investičná dotácia ELY	Investičná dotácia OZE	Odber zo siete	Cena H ₂ (eur/kg)
OZE:ELY 1:1, bez podpory	10 MW, 2:1	0 %	0 %	nie	> 10,00
OZE:ELY 2:1 + sieť, bez podpory	20 MW, 2:1	0 %	0 %	áno, 120 eur/MWh	8,30
OZE:ELY 3:1 + sieť, bez podpory	30 MW, 2:1	0 %	0 %	áno, 120 eur/MWh	7,70
OZE:ELY 1:1, 50% dotácia ELY	10 MW, 2:1	50 %	0 %	podľa variantu	7,70
OZE:ELY 2:1 + sieť, 50% dotácia ELY	20 MW, 2:1	50 %	0 %	áno, 120 eur/MWh	6,60
OZE:ELY 3:1 + sieť, 50% dotácia ELY	30 MW, 2:1	50 %	0 %	áno, 120 eur/MWh	6,20
OZE:ELY 1:1, 50% dotácia ELY aj OZE	10 MW, 2:1	50 %	50 %	podľa variantu	6,80
OZE:ELY 2:1 + sieť, 50% dotácia ELY aj OZE	20 MW, 2:1	50 %	50 %	áno, 120 eur/MWh	5,50
OZE:ELY 3:1 + sieť, 50% dotácia ELY aj OZE	30 MW, 2:1	50 %	50 %	áno, 120 eur/MWh	5,00

Vysvetlenie: OZE:ELY 2:1 + sieť, 50% dotácia ELY znamená pomer inštalovaného výkonu lokálneho OZE a elektrolyzéra + 10 % elektriny počas roka zo siete a 50 dotácia na OZE aj ELY. Podľa podmienky doplnkovosti nemôže byť dotovaný zdroj OZE, s výnimkou pripojenia a nákladov na pozemok. Tri spodné riadky uvádzajú hypotetický príklad, ak by boli aj OZE dotované.

EURÓPSKA VODÍKOVÁ BANKA

V rámci EÚ je dostupná aj prevádzková podpora na každý vyrobený kilogram RHNBO. Poskytuje sa projektom bez investičnej pomoci na garantovanú dobu, formou každoročných európskych aukcií z Inovačného fondu prostredníctvom tzv. „[Európskej vodíkovej banky](#)“. Každý členský štát EÚ má možnosť využiť túto schému podpory pre vnútroštátnu aukciu. Takúto možnosť využili napríklad Rakúsko alebo Lotyšsko, či Nemecko. Pri celoeurópskej aukcii víťazia žiadatelia s najnižšou cenou vodíka. [Vítazi](#) poslednej aukcie (máj 2025) získali prevádzkovú podporu v rozmedzí 0,20 až 0,60 eur za 1 kg vodíka. Táto podpora je rentabilnejšia v krajinách s lepšími klimatickými podmienkami pre výrobu obnoviteľnej energie zo slnka a vetra, keďže úspešní uchádzači pochádzajú z krajín ako Španielsko, Holandsko a Nemecko.

Odporúčanie

Pre Slovensko by bola atraktívna podpora minimálne **2 eur/kg H₂**, a to len pri povolenej kombinácii investičnej a prevádzkovej pomoci. Je potrebné intervenovať na úrovni EÚ s cieľom povoliť takúto kumuláciu v záujme plnenia záväzných cieľov v priemysle a doprave v rokoch **2030** a **2035**.

9.2 INVESTIČNÉ NÁKLADY NA ELEKTROLYZÉRY

Investičné náklady na výstavbu elektrolyzéro v mierkach 1–10–100 MW a prognóza ich vývoja do rokov 2030–2040

Renomované medzinárodné energetické agentúry a priemyselné združenia v prognózach za posledné dva roky korigujú odhady investičných nákladov na inštaláciu elektrolyzérův.

Hlavné dôvody korekcie smerom nahor:

- **Makroekonomika.** Inflácia materiálov a práce po roku 2021. Vyššie úrokové sadzby zvyšujú WACC a tým aj požadovaný rozpočet projektův.
- **Materiály a kritické kovy.** Volatilita cien ocele, medi, titánu. Obmedzenia pri PGM a irídiu pre PEM zvyšujú náklady a rizikové prírážky.
- **Dodávateľské reťazce.** Dlhšie dodacie lehoty, drahšia logistika a poistky. Dodávatelia premietajú riziká do cien a záruk.
- **Slabší než očakávaný dopyt a FID.** Menej projektův prešlo do realizácie. Učenie a konkurenčný tlak preto znižujú ceny pomalšie, než sa čakalo.

Dôsledkom je, že aktuálne špecifické náklady na kW sú vyššie než odhady z rokov 2021–2022. Pokles v ďalších rokoch bude podmienený štandardizáciou systémův, rozšírením výroby, zlepšením výkonovej elektroniky a stabilizáciou reťazcov.

Je nevyhnutné rozlišovať medzi cenou samotného elektrolyzéra, systémom elektrolyzéra a kompletnou výrobnou jednotkou vrátane Balance of Plant a napojenia na sieť. V prípade zaobstarania funkčnej a kompletnej výrobnéj jednotky vodíka s elektrolyzou je potrebné počítať so zostavou ako ilustruje Obrázok 16.



Obrázok 19: Súčasti výrobné vodíka

Zdroj: Ramboll 2023, preklad NVAS

Aktuálne sú investičné náklady vysoké. Hlavnými príčinami je **chýbajúca sériová výroba** a štandardizácia zariadení tvoriacich celú výrobu. Špecifické náklady v eur/kW sú zároveň výrazne **vyššie pri malých** inštalovaných výkonoch a klesajú s rastúcou kapacitou v prospech 10–100 MW projektův.

Investičné náklady sa líšia aj v závislosti od krajiny pôvodu. Produkty pochádzajúce z **Číny** často dosahujú **nižšie cenové hladiny** v porovnaní s globálnou konkurenciou. Podporené investície z fondov EÚ limitujú využívanie čínskych technológií.

V tomto dokumente pracujeme s celkovými nákladmi na **kompletnú výrobu vodíka bez čínskych komponentov**. Výrobňa zahŕňa elektrolyzátor, systémové komponenty a zariadenia výroby (Balance of Plant – BoP) a všetky činnosti podľa vyššie uvedeného obrázku.

Podľa dánskej spoločnosti **Ramboll** pôsobiacej v oblasti architektúry, inžinierstva a poradenstva boli prognózy vývoja cien elektrolyzátorov renomovaných agentúr podhodnotené. V novembri 2023 Ramboll publikoval štúdiu “[Achieving affordable green hydrogen production plants](#)” kde publikuje súhrn hlavných zistení nasledovne:

- Predpoklad škálovania elektrolyzátorov z 1 MW na >100 MW sa zatiaľ nepotvrdil. Bežné sú menšie kapacity 0,5–5 MW.
- Veľké projekty 50–200 MW sa skladajú z modulárnych menších systémov elektrolyzátorov. To zvyšuje systémové a prevádzkové náklady oproti pôvodným predpokladom.
- Verejné zdroje často nadhodnocujú podiel EPC na 15–30 % a podhodnocujú budovy, elektro zariadenia, nepriame náklady a rezervy.
- Rozdiely vo vymedzení rozsahu investícií môžu zvýšiť CAPEX na 1,3–3,3-násobok oproti často citovaným údajom.
- Regulačné a certifikačné požiadavky pre RFNBO a časovo–geografická korelácia zvyšuje technické nároky na elektrickú časť a prevádzku.

Odhad cien elektrolyzátorov pre rok 2030 uvádza porovnávací graf – Príloha 4.

Revidované odhady súčasných nákladov a prognózy Medzinárodnej energetickej agentúry [IEA z roku 2024](#) sa priblížili odhadom spoločnosti Ramboll. Tabuľka 19 ukazuje, že globálny priemer CAPEX pre elektrolytne výroby vodíka klesá z 2160 USD/kWe v roku 2023 na 960 USD/kWe v scenári NZE 2050, teda približne o 56 %. V Číne sú náklady nižšie, z 1100 USD/kWe na 620 USD/kWe, pričom rozdiel voči svetovému priemeru sa časom znižuje. Účinnosť na báze LHV stúpa zo 66 % na 69 %, čo približne znamená pokles špecifickej spotreby z asi 50,5 kWh/kg H₂ na 48,3 kWh/kg. Ročný OPEX je uvažovaný na úrovni 3 % z CAPEX, takže s poklesom CAPEX klesá aj absolútna výška prevádzkových nákladov. Všetky údaje o CAPEX sa vzťahujú na inštalované náklady technológie bez inžinieringu, stavebných prác, zemných prác, voliteľnej infraštruktúry, pripojenia na siete a voliteľnej infraštruktúry.

Tabuľka 31: IEA 2024 – vybrané parametre elektrolyzátorov

TECHNOLÓGIA	Parameter	Jednotky	2023	NZE 2050
Elektrolýza vody	CAPEX (globálny priemer)	USD/kWe	2160	960
	CAPEX (Čína)	USD/kWe	1100	620
	Účinnosť (LHV)	%	66 %	69 %
	Ročné OPEX	% z CAPEX	3 %	3 %
	Životnosť elektrolyzátoru	hodiny	50 000	50 000

Poznámky: CAPEX zahŕňa systém elektrolyzátoru, elektrické zariadenia, úpravu plynu, vyrovnávacie prvky výroby a inžiniering, obstarávanie a výstavbu (EPC). Životnosť elektrolyzátoru môže dosiahnuť až 95 000 hodín. Vybraná hodnota (50 000 hodín) vychádza z analýzy IEA o optimálnej ekonomickej životnosti so zohľadnením problémov degradácie. Pre Čínu sa predpokladá, že CAPEX bude predstavovať 50 % svetového priemeru. NZE = scenár nulových čistých emisií do roku 2050.

Referenčná hodnota pre 10 MW vychádza z priemerných realizovaných projektov v EÚ a USA ([IEA, 2024](#)), ([ISPT, 2024](#)), pričom pre odhad nákladov pri iných mierkach je uplatnený štandardný škálovací exponent $k \approx 0,85$, typický pre chemické prevádzky. Tento prístup vedie k zvýšeniu jednotkových nákladov pri 1 MW o ~41 % a k ich zníženiu pri 100 MW o ~29 % oproti 10 MW. Hodnoty sú v súlade s údajmi [NREL/DOE \(2022\)](#).

Aplikácia prognóz pre tento dokument

Pri zachovaní technologického pokroku rastúcich produkčných kapacít a ekonomiky sa jednotkové náklady pre mierku 1 MW a 100 MW odhadujú z hodnoty pre 10 MW kapacitu pomocou násobkov:

- **1 MW:** $\times 1,41$
- **100 MW:** $\times 0,71$

Kalkulácie a prognózy pre WAM sa opierajú o nasledovné:

Tabuľka 32: Odhad vývoja CAPEX elektrolyzérrov

MIERKA	2030 eur/kW	2040 eur/kW	CAPEX v 2030	CAPEX v 2040
1 MW	~4 200 eur/kW	~3 600 eur/kW	~4,2 mil. eur	~3,6 mil. eur
10 MW	~2 750 eur/kW	~2 400 eur/kW	~27,6 mil. eur	~23,9 mil. eur
100 MW	~1 800 eur/kW	~1 500 eur/kW	~184 mil. eur	~156 mil. eur

Základ pre výpočty: odhady DOE (Pathways to Commercial Liff: Clean Hydrogen), Úprava na menšie inštalácie: použitý „exponent škálovania“ $\beta \approx 0,18$ podľa rozdielov medzi 20 MW a 100 MW v analýze Lazard . Ramboll zdôrazňuje, že samotný stack je len 15 – 35 % CAPEX a väčšinu poklesu určujú elektrické systémy, BOP a pre rok 2030 inštalácia a uvádza ceny c rozsahu. Hydrogen Europe a ďalšie zdroje predpokladajú, že do 2050 sa cena stackov môže približovať k ~500 eur/kW, no reálne projekty (vrátane inštalácie) ostajú vyššie .

Uvedené investičné náklady sa vzťahujú na samotnú výrobu vodíka. **Nezahrňajú** náklady na externé pripojenie k elektrickej sieti, nadzemné a podzemné inžinierske siete, skladovanie vodíka ani potrubné rozvody mimo výrobné jednotky. V praxi tieto položky zvyčajne zvyšujú celkové investičné náklady o 10–40 % v závislosti od lokality a rozsahu projektu.

Ak sa podarí uplatniť všetky navrhnuté opatrenia ako uvádza Príloha 3, **náklady by sa mohli znížiť o viac ako 60 %**. Najväčší prínos prinesie technologický pokrok – najmä schopnosť elektrolyzérrov pracovať priamo s jednosmerným prúdom, menšie nároky na záložné a odolné elektrické systémy a menšia plocha potrebná pre pomocné zariadenia. Ramboll odporúča sústrediť investície práve do týchto oblastí.

VÝROBA VODÍKA ELEKTROLÝZOU

Tento dokument slúži na to, aby sa v kvantifikoval potenciál pre jednotlivé projekty a vybrali sa správne kombinácie a kapacity. Zároveň slúži na odhadnutie potenciálu výroby vodíka na Slovensku všeobecne. Prognózy sa opierajú o aktualizovaný INEKP v dvoch scenároch WEM a WAM. Ministerstvo hospodárstva SR uvádza zdroj na svojej stránke. ([INEKP – príloha I](#)).

Pri kvantifikácii výroby vodíka z domácich zdrojov elektrickej energie je možné využiť obnoviteľné zdroje nebiologického pôvodu, v slovenských podmienkach reálne z veternej, slnečnej a vodnej energie. Ak bude v roku 2028 schválený jadrový zdroj ako oprávnený pre výrobu nízkouhlíkové vodíka, potom by mohla byť využívaná elektrina na výrobu nízkouhlíkové vodíka množstvách ako uvádza Tabuľka 33.

Metodika vychádza z hrubej výroby elektriny v tabuľke, pričom pre optimistický, základný a pesimistický scenár uvažujeme s jej využívaním 2%, 5% alebo 10% z hrubej výroby elektriny z relevantných zdrojov. Celková výroba sa rozdelí na LCH (jadrová elektrina) a RHNBO (vietor, slnko, voda a každá alokácia sa vydela špecifickou spotrebou 55 kWh/kg, čím sa získa H_2 v kg pre LCH a RHNBO, hodnoty sa konvertujú na kilotony a sčítajú na „ H_2 spolu“, pričom ide o technický potenciál bez zohľadnenia vlastnej spotreby, sieťových strát, prevádzkových obmedzení a ekonomickej realizovateľnosti.

Tabuľka 33: Technický potenciál výroby vodíka z elektrickej energie v SR

Prognóza domácej výroby obnoviteľného (RHNBO) a nízkouhlíkového vodíka (LCH) – WEM podľa INEKP

Rok	Scenár	Hrubá výroba elektriny (GWh)	z toho jadrová pre LCH* (GWh)	z toho obnoviteľná pre RFNBO (GWh)	H ₂ z LCH (kt/rok)	H ₂ z RHNBO (kt/rok)	H ₂ spolu (kt/rok)
2030	Pesimistický (2 %)	34 678	22 862	6 070	8,3	2,2	10,5
2030	Základný (5 %)	34 678	22 862	6 070	20,8	5,5	26,3
2030	Optimistický (10 %)	34 678	22 862	6 070	41,6	11,0	52,6
2035	Pesimistický (2 %)	37 183	23 295	7 618	8,5	2,8	11,2
2035	Základný (5 %)	37 183	23 295	7 618	21,2	6,9	28,1
2035	Optimistický (10 %)	37 183	23 295	7 618	42,4	13,9	56,2
2040	Pesimistický (2 %)	38 535	23 295	9 410	8,5	3,4	11,9
2040	Základný (5 %)	38 535	23 295	9 410	21,2	8,6	29,7
2040	Optimistický (10 %)	38 535	23 295	9 410	42,4	17,1	59,5

Prognóza domácej výroby obnoviteľného (RHNBO) a nízkouhlíkového vodíka (LCH) – WAM podľa INEKP

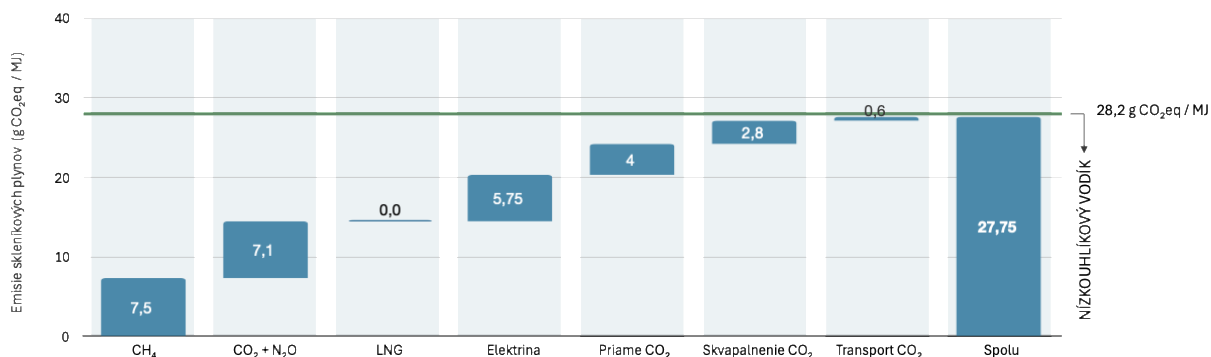
Rok	Scenár	Hrubá výroba elektriny (GWh)	z toho jadrová pre LCH* (GWh)	z toho obnoviteľná pre RFNBO (GWh)	H ₂ z LCH (kt/rok)	H ₂ z RHNBO (kt/rok)	H ₂ spolu (kt/rok)
2030	Pesimistický (2 %)	36 366	23 295	7 767	8,5	2,8	11,3
2030	Základný (5 %)	36 366	23 295	7 767	21,2	7,1	28,2
2030	Optimistický (10 %)	36 366	23 295	7 767	42,4	14,1	56,5
2035	Pesimistický (2 %)	43 559	25 545	14 800	9,3	5,4	14,7
2035	Základný (5 %)	43 559	25 545	14 800	23,2	13,5	36,7
2035	Optimistický (10 %)	43 559	25 545	14 800	46,4	26,9	73,4
2040	Pesimistický (2 %)	51 093	25 545	22 201	9,3	8,1	17,4
2040	Základný (5 %)	51 093	25 545	22 201	23,2	20,2	43,4
2040	Optimistický (10 %)	51 093	25 545	22 201	46,4	40,4	86,8

VÝROBA VODÍKA ZO ZEMNÉHO PLYNU

Výroba nízkouhlíkového vodíka (LCH) zo zemného plynu je v slovenských podmienkach realistická najmä pri technológii autotermálnej reformácii zemného plynu (ATR)⁴⁷ so zachytávaním 90 až 95 % CO₂. v porovnaní s nižšou účinnosťou zachytávania pri parnej reformácii ZP (SMR). Nasadenie technológií zachytávania a uloženia uhlíka (CCS z angl. Carbon Capture and Storage) limituje dostupnosť vhodných geologických úložísk CO₂, najmä vo vyťažených ložiskách zemného plynu a nutnosť potrubného prepojenia medzi zdrojom CO₂ a trvalým úložiskom vzdialeným desiatky až stovky kilometrov. Aj pri úspechu a dosiahnutí cenovo výhodnej výroby vodíka zo zemného plynu s CCS, zostane hlavným obmedzením disponibilná kapacita trvalých geologických úložísk CO₂ a reálne zníženie intenzity skleníkových plynov. CO₂ celoživotného cyklu výroby LCH musí klesnúť pod 28,2 g CO₂ / MJ. Potenciál ztrbvalého uloženia CO₂ zatiaľ nie je preskúmaný, preto ho nezaradujeme do prognóz. Neoficiálne predpoklady naznačujú výrobu až desiatok tisíc ton CO₂ ročne.

⁴⁷ Slovenský výrobca čpavku a rafinéria používa technológiu SMR.

Obrázok 20: Emisie pri výrobe LCH v podmienkach Slovenska s využitím najlepších technológií



Zdroj: NVAS s využitím podkladov Hydrogen Europe

PRÍRODNÝ VODÍK

Ide o významnú šancu získať nový a cenovo dostupný zdroj vodíka, preto sa jej venuje širší priestor v tomto dokumente.

Vodík (H₂) predstavuje jednu z alternatívnych možností zdrojov, ktorý má potenciál sa stať čistým, **cenovo dostupným** a bezpečným zdrojom energie v rámci prechodu na nízkouhlíkové hospodárstvo. Súčasné metódy výroby vodíka však často produkujú CO₂ alebo vyžadujú vysokú spotrebu energie, prípadne oboje. Preto je zásadnou výzvou pre výskumné inštitúcie objaviť spôsob výroby vodíka, ktorý bude bezemisný, nebude závislý od vzácnych materiálov a zároveň zabezpečí stabilnú a udržateľnú produkciu.

Jednou z perspektívnych možností získavania takéhoto vodíka, ktorá je zatiaľ len vo fáze vývoja, je prírodný (natívny) vodík, často označovaný ako „biely“, „zlatý“ alebo „geologický“ vodík. Ide o vodík vznikajúci prirodzenými geologickými procesmi v zemskej kôre. Táto forma predstavuje jednu z najčistejších a environmentálne najšetrnejších alternatív, pričom môže byť zároveň najlacnejším zdrojom vodíka. Najnovšie publikované údaje a poznatky naznačujú, že prírodný vodík **je dostupný v globálne významných objemoch**, pričom jeho získavanie môže byť technicky jednoduchšie, ekonomicky výhodnejšie a environmentálne priaznivejšie vďaka nižším emisiám skleníkových plynov. Tieto vlastnosti z neho robia potenciálne **klúčový primárny zdroj energie** pre nízkouhlíkovú budúcnosť.

Prírodný „**biely**“ vodík sa ostatné roky dostáva do popredia – najmä po objavoch v Afrike (Mali), Austrálii, USA a vo Francúzsku. EÚ aj IEA začínajú tento koncept rozvíjať, hoci stále ide o veľmi rannú fázu výskumu.

VÝSKYT

Výskyt prírodného vodíka na území Slovenskej republiky zatiaľ nebol systematicky zmapovaný. Existuje však niekoľko sľubných údajov z analýz plynov, odobratých z hlbokých vrtov realizovaných v 60. až 70. rokoch 20. storočia v juhozápadnej časti Slovenska, ktoré potvrdili prítomnosť vodíka až do výšky viac ako **60 %** vodíka z celkového objemu analyzovaného plynu. **Vo Viedenskej panve** (Záhorská nížina) bola v niektorých vrtoch prítomnosť vodíka potvrdená do hĺbky 1000 m v objeme získaného plynu až približne 70 %, a do hĺbky 4.5 km do 20 %. **V Dunajskej panve** (Podunajská nížina) bol potvrdený ojedinelý výskyt vodíka v objeme 10 – 70 % hlavne vo väčších hĺbkach (2000 – 3000 m)⁴⁸. Obsah vodíka vo Východoslovenskej panve (Východoslovenská nížina) je nižší, s doteraz zisteným maximom do 3.5 %. Z hľadiska sedimentárnych paniev je taktiež zaujímavá oblasť Hornej Nitry, kde bol v plynách z hlbších vrtov zaznamenaný obsah H₂ do 4 %. Vo vrtoch ktoré boli situované

⁴⁸ SAV, Ústav vied o Zemi

v sedimentárnych panvách na rôznych miestach severného Slovenska boli zaznamenané anomálne obsahy vodíka od 1 do viac ako 6 %.

PRIRODZENÁ GENERÁCIA A UMELÁ AKTIVÁCIA

Okrem týchto priamych dôkazov o výskyte vodíka v plynoch z podzemia má Slovensko veľmi pestré zastúpenie geologických formácií, hornín, vulkanitov a hlbokých tektonických zlomov, ktoré mohli v minulosti, ale aj v súčasnosti generovať vodík, prípadne ho privádzať z hĺbky na povrch, alebo do prirodzených pascí, kde sa vodík mohol akumulovať a vytvárať tak **ložiská podobné ložiskám zemného plynu**. Pre prirodzenú generáciu vodíka je podstatná prítomnosť určitého typu hornín ako **serpentinity, ultrabázické horniny, alebo horniny bohaté na rádioaktívne minerály, alebo minerály s obsahom železa**, ktoré za vhodných podmienok môžu **generovať H₂**. Produkcia vodíka v nich mohla prebiehať už v minulosti, alebo trvá až dodnes. Dokonca je teoreticky možné **umelo geochemicky, geotechnicky, alebo mikrobiálne stimulovať vodíkový systém**, a tým zvýšiť jeho efektívnosť a dosiahnuť zvýšenú produkciu tzv. oranžového vodíka.

Príklady:

Národné/výskumné linky na „oranžový H₂“: [CSIRO](#) (AU) rozvíja koncept Orange hydrogen (injektáž CO₂–bohatéj vody do reaktívnych formácií, zber H₂–sýtenej vody); v USA prebieha výskum cyklickej injektáže a riadenia serpentinizačných procesov ([Berkeley Lab](#)), plus federálna séria odborných seminárov ([H2IQ Hour](#)).¹¹

FORMY VÝSKYTU

Na základe doterajších poznatkov predpokladáme tri možné formy výskytu prírodného vodíka na území Slovenskej republiky:

1. Ložiskový vodík – akumulovaný v podzemných pasciach podobne ako ložiská zemného plynu);
2. Nepretržitý prítok vodíka – v geologicky aktívnych oblastiach, kde prebieha priebežná produkcia a dopĺňanie vodíka z hlbinných geologických procesov nepretržite;
3. Cielená geologická/geochemická stimulácia – nová technológia, ktorá umožňuje indukovanú produkciu vodíka prostredníctvom zásahu do prirodzeného geologického prostredia (napr. chemicko-fyzikálne procesy v horninovom masíve).

MEDZINÁRODNÝ ZÁUJEM O PRIESKUM

V uplynulých piatich až siedmich rokoch možno pozorovať rastúci medzinárodný záujem o prieskum prírodného vodíka – najmä v krajinách ako USA, Francúzsko, Austrália, Poľsko, Rakúsko, a ďalších, vrátane viacerých súkromných spoločností. Na Slovensku doteraz štát oficiálne neprejavil záujem o systematický prieskum prírodných zdrojov vodíka. To však neznamená, že v tejto oblasti absentuje aktivita. Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, v. v. i. (ďalej len „Ústav vied o Zemi“) aktuálne realizuje vedecký výskum zameraný na procesy tvorby vodíka v geologickom prostredí.

Zároveň možno pozorovať rastúci záujem zo strany rôznych zahraničných aktérov, najmä z krajín ako Rakúsko a Čína, o potenciálne prieskumné aktivity na území Slovenskej republiky. Existuje preto oprávnená obava, že v prípade absencie včasnej a koordinovanej štátnej politiky v tejto oblasti by mohlo v krátkodobom horizonte dôjsť k strate flexibility a kontroly štátu nad potenciálnou časťou strategických energetických zdrojov, a to aj v prípade, že prieskumy neprinesú okamžité ekonomické výnosy. Včasné nastavenie pravidiel a dohľad štátu sú preto kľúčové pre ochranu verejného záujmu a energetickej suverenity.

VÝSKUM A PRIESKUM

Ústav vied o Zemi je jedinou inštitúciou na Slovensku, ktorá sa systematicky zaoberá problematikou prírodného vodíka. Vyvíja nové metódy jeho prieskumu a aktívne spolupracuje so súkromným sektorom, ako aj s domácimi a zahraničnými výskumnými inštitúciami a univerzitami. V rámci tejto spolupráce realizuje geochemický výskum, výskum ložísk a zdrojov prírodného vodíka a zároveň vychováva doktorandov – odborníkov a špecialistov pre túto novú perspektívnu oblasť energetiky.

Na získanie relevantných poznatkov o výskyte a potenciálnom využití ložísk a zdrojov prírodného vodíka na území Slovenskej republiky je však nevyhnutné **zabezpečiť financovanie strategického geologického výskumu a prieskumu z verejných zdrojov** (Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky a Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky). Tento výskum by mal zahŕňať nasledovné etapy:

- 1. Vedecký výskum procesov tvorby vodíka**, jeho zdrojov a akumulácií v podmienkach na území Slovenskej republiky; (TRL 1–4)
- 2. Vývoj prieskumných metód** na základe zistených účinných mechanizmov produkcie prírodného vodíka zistených v etape vedeckého výskumu; (TRL 1–4)
- 3. Prieskum štruktúr s predpokladom výskytu akumulácií vodíka** ako aj oblastí **s nepretržitou produkciou** vodíka. (TRL 2–4)
- 4. Experimentálne výskumy** v laboratórnom prostredí zamerané na zistenie potenciálu stimulácie prírodných procesov pre produkciu geologického vodíka. (TRL 1–4)

V nadväzujúcich etapách by mal byť realizovaný detailný výskum a prieskum identifikovaných akumulácií a zdrojov vodíka, vrátane hodnotenia dynamiky, režimu, potenciálu ekonomického využitia, ako aj možného výskumu stimulácie prirodzenej produkcie vodíka priamo v prírodných podmienkach (TRL 5–6).

ÚPRAVA LEGISLATÍVY

Paralelne s prieskumnými aktivitami bude nevyhnutné kriticky **posúdiť platnú legislatívu**, najmä **zákon č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach** (geologický zákon) (ďalej len „geologický zákon“) a **zákon č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva** (banský zákon) (ďalej len „banský zákon“), s cieľom jasne definovať právne postavenie prírodného vodíka.

V súčasnosti geologický ani banský zákon explicitne **neuvádzajú prírodný vodík ako samostatnú kategóriu** nerastnej suroviny alebo ložiskového zdroja. Táto legislatívna absencia spôsobuje nejasnosti v právnom režime, ktorý by sa na prírodný vodík mal vzťahovať. Nie je zrejmé, či sa má považovať za plynne uhľovodíky (ako napríklad zemný plyn), alebo či si jeho výskyt a ťažba vyžaduje vytvorenie novej právnej kategórie s osobitným režimom. V dôsledku tohto stavu nie je jednoznačne určené, podľa akých právnych predpisov má subjekt postupovať pri podávaní žiadosti o povolenie na prieskum alebo ťažbu prírodného vodíka.

Preto je nevyhnutné iniciovať legislatívne zmeny, ktoré reflektujú špecifiká prírodného vodíka ako nerastnej suroviny. Takáto právna úprava by mala zabezpečiť jasné a predvídateľné pravidlá pre jeho prieskum, ťažbu a využitie, a zároveň vytvoriť podmienky na jeho efektívne začlenenie do štátnej energetickej politiky.

ODPORÚČANIA

V slovenských podmienkach ide stále o novú alternatívu možnosti získavania tejto strategickú suroviny a nie je pripravená všeobecná metodika, ktorá by zohľadňovala konkrétne regionálne geologické špecifiká. Preto je potrebné **zamerať sa v prvej etape na výskumno-vývojové aktivity**, ktoré budú zohľadňovať aj zapojenie iných subjektov. Slovenská akadémia vied v rámci jednotlivých ústavov disponuje vhodným materiálno – technickým a laboratórnym zabezpečením, ako aj odbornými kapacitami. V rámci geovied, geotechniky a fyzikálno–chemických procesov je ale

potrebné cielene využiť aj odborné a technické zázemie iných subjektov–univerzít a rezortných inštitúcií.

10 PROGNOZA DISTRIBÚCIE, PREPRAVY A SKLADOVANIA VODÍKA

Kapitola analyzuje technologicky dostupné formy prepravy, distribúcie a skladovania vodíka z ohľadom na pripravenosť na trhu, technicko–ekonomické aspekty, časové hľadisko uvádzania do praxe s uvedením bariér pre aplikačnú prax v SR.

10.1 POTENCIÁL PREPRAVY DISTRIBÚCIE A SKLADOVANIA VODÍKA V SR

POTRUBNÁ PREPRAVA STLAČENÉHO VODÍKA

(Eustream), distribúcia (SPP–D) a skladovanie čistého vodíka vs. premiešavanie do zemného plynu.

Slovensko má výhodu existujúcej tranzitnej plynárenskej sústavy a kompetencií prevádzkovateľa **prenosovej siete**.

Dňa 15. februára 2024 schválila Európska komisia podľa pravidiel EÚ o štátnej pomoci tretí zoznam dôležitých projektov spoločného európskeho záujmu (IPCEI), ktorého cieľom je podporiť rozvoj vodíkovej infraštruktúry, zvýšiť dodávky obnoviteľného vodíka, znížiť závislosť od zemného plynu a prispieť k naplneniu cieľov Európskeho zeleného dohovoru a plánu REPowerEU. V rámci tohto výberu uspel aj projekt H2I–TR (SK04) spoločnosti Eustream, slovenského prevádzkovateľa prepravnej siete, ktorý bol vybraný spomedzi 33 projektov zo siedmich členských štátov EÚ.

Eustream pripravuje projekt konverzie jednej z existujúcich tranzitných plynovodných línií spájajúcich Ukrajinu s rakúskou a českou sieťou, ktorého cieľom je vytvoriť nákladovo efektívny koridor pre prepravu 100 % vodíka z potenciálnych produkčných a skladovacích centier v Severnej Afrike, na Balkáne a na Ukrajine smerom k hlavným spotrebiteľským trhom v Európe, predovšetkým v Nemecku. Projekt zahŕňa vybudovanie dvoch nových kompresorových staníc a konverziu približne 500 km dlhého plynovodu na prepravu vodíka, pričom predpokladaná kapacita dosiahne 9,1 GW (2,02 Mt ročne) a plánovaný začiatok prevádzky je stanovený na rok 2030 .

Podľa projektových informácií ide o niekoľko fáz úpravy transportnej potrubnej línie s investičným odhadom na celý projekt približne 454,91 milióna eur. Z toho 18,7 milióna na prípravnú fázu, ktorá zahŕňa vykonanie pigging testov pomocou metód MFL a EMAT, spracovanie technickej štúdie, realizáciu skúšobnej prevádzky na úseku potrubia, zabezpečenie pozemkov, kompresorové a meracie stanice, ako aj inžinierske práce. Interné aktivity pozostávajú zo skúšobného testu na úseku potrubia a z personálneho zabezpečenia.

Náklady na vnútroštátne odovzdávacie stanice a prípojky ku koncovým užívateľom nie sú zahrnuté v nákladoch a budú musieť byť zohľadnené v rozpočte SPP-D. ([Eustream – Hy2Infra](#))

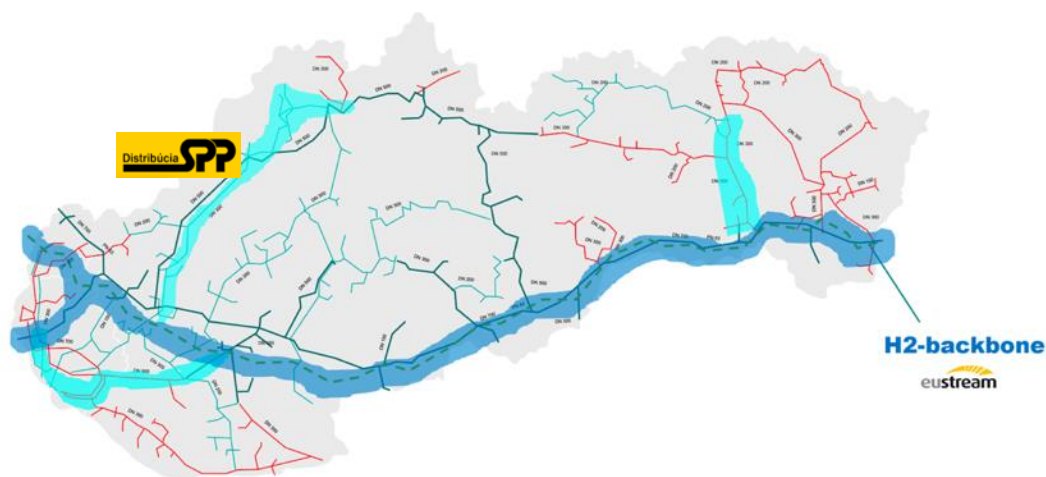


Obrázok 21: Mapa IPCEI projektu H2I-TR (SK04) koverzie existujúcej tranzitnej línie ZP na prepravu čistého vodíka

Zdroj: Eustream

Ekonomická konkurencieschopnosť potrubnej prepravy pri veľkých objemoch je podopretá európskymi benchmarkmi. Európska vodíková chrbtica EHB odhaduje **náklady na prenos po pevnine** pri repurposingu na 0,11 až 0,21 eur na kilogram na 1 000 kilometrov. Pri novej stavbe je to 0,17 až 0,32 eur na kilogram na 1 000 kilometrov. Hodnoty zahŕňajú kapitálové aj prevádzkové náklady a sú citlivé na prietok vodíka a využitie siete. (EHB 2022)

Distribučná sieť v správe SPP-Distribúcia bude musieť zabezpečiť buď odovzdanie čistého vodíka do distribučnej siete H₂-ready alebo dočasné primiešavanie vodíka do zemného plynu v nízkych podieloch. Primiešavanie je technicky uskutočniteľné do približne 5 až 10 objemových percent pri vhodných materiáloch, meradlách a bezpečnostných postupoch. Ide o prechodové riešenie s obmedzeným dekarbonizačným účinkom a s rizikom cezhraničnej nekompatibility. V dlhšom horizonte je vhodnejšie smerovať k oddelenej distribúcii čistého vodíka pre priemysel a mobilitu. (NREL 2022 – blending review) (Met4H2 2024). Rozvoj prenosovej a distribučnej potrubnej siete vodíka znázorňuje nasledovný obrázok:



Obrázok 22: Návrh budovania transportnej a distribučnej vodíkovej siete v SR do roku 2040

Zdroj: SPPd

Časové hľadisko je kritické. Pre projekt repurposingu alebo pre novú vodíkovú líniu treba rátať s prípravou štúdií, prieskumom, povoľovaním a realizáciou v horizonte približne päť až desať rokov v závislosti od cezhraničných prepojení, ochrany prírody a majetkovoprávneho vysporiadania. Európske rámce TEN-E a procesy TYNDP vedia niektoré kroky zrýchliť, no povoľovanie stavby ostáva dlhé a aj v Európe sa vyskytujú posuny oproti cieľom do roku 2030. ([Hydrogen Europe 2024 – Infrastructure report](#)) ([ENTSOG TYNDP 2024 – Annex D1](#)) ([Reuters 2025](#))

Z pohľadu celkových **investičných nákladov** do roku 2032 by prvá fáza chrbtice na čistý vodík na približne 500 kilometrov s dvoma kompresorovými stanicami a meracou stanicou mohla predstavovať približne 454,91 milióna eur na úrovni prenosu. V horizonte 2040 až 2050 sa súčet investícií môže zvýšiť v závislosti od podielu nových trás a od napojenia na európske koridory. Repurposing má nižšiu kapitálovú náročnosť než novostavba, no je limitovaný existujúcou štruktúrou siete. Novostavba zvyšuje flexibilitu trasovania a medzinárodnej konektivity za vyššiu cenu a za aktuálnych legislatívnych a stavebných podmienok. ([Eustream – Hy2Infra](#)) ([EHB 2022](#))

Pre zákazníkov je dôležitá transparentnosť **sieťových poplatkov**. Pri prenose čistého vodíka po repurposingu na 500 kilometrov by podľa benchmarkov EHB mohla variabilná zložka predstavovať približne 0,055 až 0,105 eur na kilogram. Pri ďalších 100 kilometroch lokálnej distribúcie možno rámcovo počítať s rádovo 0,011 až 0,021 eur na kilogram podľa využitia siete. Skladovanie v kaverne na jeden mesiac by pridalo orientačne 0,15 až 0,30 eur na kilogram. Výsledná suma by sa pohybovala okolo 0,22 až 0,43 eur na kilogram bez daní a iných odvodov. Skutočné tarify v distribúcii budú regulované a odvíjajú sa od investičného plánu SPP-D a vyťaženia siete. ([EHB 2022](#)) ([EWI 2024](#)). Pri konzervatívnom modelovaní vychádzame z benchmarkov EHB pre potrubnú prepravu vodíka 0,11 až 0,21 eur/kg na 1 000 km a z predpokladu tranzitnej vzdialenosti naprieč SR približne 450 km v sieti Eustream. Podľa vlastného prepočtu to implikuje tarifné pásmo 0,0495 až 0,0945 eur/kg. Pri objeme 2 mil. t H₂ ročne, by hrubé ročné príjmy z prepravných poplatkov dosiahli približne 99 až 189 mil. eur. Stredová hodnota pri 0,16 eur/kg/1 000 km predstavuje asi 144 mil. eur. Skutočné tarify budú závisieť od regulácie a zmluvne rezervovanej kapacity v režime entry–exit.

Primiešavanie vodíka do zemného plynu môže ako premostenie využiť existujúcu distribučnú infraštruktúru a rýchlo obmedziť emisie v niektorých segmentoch. Ide však o riešenie s nízkym podielom vodíka a tým aj s obmedzeným prínosom priemyselnej dekarbonizácie. Zhoršuje sa výhrevnosť zmesi a rastie komplexita merania a zúčtovania. Pri medzinárodných tokoch vzniká riziko rozdielných limitov zmesi a obchodných bariér. Z dlhodobého hľadiska je rozumné smerovať k oddelenej infraštruktúre pre čistý vodík v priemyselných uzloch a v koridoroch vysokej spotreby. ([NREL 2022 – blending review](#)) ([Met4H2 2024](#))

Záverom možno **odporučiť postupnú dvojkoľajnú stratégiu**. Do roku 2032 zrealizovať prvý úsek vodíkovej chrbtice a pripraviť jedno až dve úložiská v soľných kavernách, resp. vyťažených ložiskách zemného plynu pre sezónnu flexibilitu. Do roku 2040 rozšíriť chrbticu podľa dopytu a pripravenosti priemyselných odberov. V distribúcii krátkodobo overovať päť až desať percentné zmesi a súčasne prechádzať na H₂-ready alternatívu a meranie. V rokoch 2040 až 2050 škálovať štruktúru sústavy v súlade s európskymi koridormi a s pravidlami tarifikácie tak, aby sa minimalizovali celkové náklady na kilogram vodíka v bode odovzdania. ([EHB 2022](#)) ([Hydrogen Europe 2024 – Infrastructure report](#))

AMONIAK AKO NOSIČ VODÍKA: SKRÁTENÝ PREHLAD DO ROKU 2030 – NÁKLADY, TERMINÁLY, ŽELEZNIČNÁ LOGISTIKA, BEZPEČNOSŤ

Amoniak je praktický veľkoobjemový nosič vodíka pre zaoceánsky obchod vďaka existujúcej flotile, kódu IMO IGC a vybudovanej infraštruktúre pre chemický priemysel. Lodný „unit transportation cost“ na trase Austrália – Kórea dosahuje približne 20,14 až 36,61 eur/t NH₃, čo zodpovedá asi 0,11 až 0,21 eur/kg H₂ ekvivalentu len za oceánsky fracht. ([MDPI 2024](#)).

„Delivered cost“ do Európy pri dovoze NH_3 s crackingom⁴⁹ v Rotterdame vychádza približne na 2,90 eur/kg H_2 pri 250 kt/rok a 1,79 eur/kg H_2 pri 10 Mt/rok. Skvapalnený vodík je vo väčšine scenárov drahší aj pre energetickú penalizáciu skvapalnenia približne 10 až 13 kWh/kg H_2 . ([CATF&KBR 2023](#), [DOE](#)).

Európske prístavy rozširujú prijímacie a skladovacie kapacity NH_3 a pripravujú cracking s napojením na vodíkovú sieť. V Lubmini sa komunikované ciele náklady po crackingu pohybujú okolo 2,56 až 2,99 eur/kg H_2 v druhej polovici dekády. IEA poukazuje na rastúcu pripravenosť prístavov na palivá na báze vodíka. ([Reuters 2025](#), [IEA 2025](#)).

Vnútrozemská distribúcia po železnici využíva cisternové vozne na bezvodý NH_3 podľa RID so štandardizovanými uzávermi a armatúrami. Postupy pre nakládku a vykládku sú detailne popísané v odborných usmerneniach a prax ukazuje vysokú úroveň bezpečnosti pri dodržaní štandardov. ([EFMA 2007](#)).

Kľúčové riziká sú toxicita a korozívnosť NH_3 a úzke rozpätie horľavosti. Moderné návrhové pravidlá pre námornú prepravu a bunkrovanie vyžadujú viacúrovňové bariéry, detekciu, ventiláciu a školenie, pričom rámec určuje IMO IGC Code a európske bezpečnostné štúdie. ([EMSA 2024](#), [IMO IGC Code](#)).

Selektívny rozbeh importu NH_3 a cielene umiestnených krakovacích uzlov je do roku 2030 uskutočniteľný, najmä tam, kde existuje priamy dopyt v chemickom priemysle a dostupná prístavná a železničná infraštruktúra.

LOHC – LIQUID ORGANIC HYDROGEN CARRIERS

LOHC sú kvapalné organické nosiče vodíka, ktoré viažu H_2 v chemickej väzbe a umožňujú prepravu pri okolitej teplote a tlaku. Najčastejšie páry sú toluén–metylcyklohexán a dibenzyltoluén–perhydrodibenzyltoluén. Výhodou je kompatibilita s existujúcou kvapalinovou infraštruktúrou a nízka prchavosť niektorých LOHC, čo zjednodušuje manipuláciu a skladovanie. ([CATF&KBR 2023](#), [Modisha 2023](#)).

Z hľadiska nákladov patria LOHC medzi technicky zvládnuteľné, no energeticky náročnejšie reťazce dodávky vodíka. Dehydrogenácia vyžaduje dodatočné teplo približne 10 až 12 kWh/kg H_2 pri teplotách okolo 300 °C, čo zvyšuje OPEX a emisie podľa zdroja tepla. Porovnávacie modely dovozu do Rotterdamu ukazujú, že pri rovnakých predpokladoch vychádza MCH spravidla drahšie než amoniak s crackingom. ([Hydrogenious 2025](#), [HySafe 2021](#), [CATF&KBR 2022](#)).

Typické gravimetrické ukladanie vodíka je približne 6,1 až 6,2 hmotnostného percenta a objemová hustota dosahuje približne 57 kg H_2/m^3 . LOHC zostávajú kvapalné v širokom rozsahu teplôt a tlakov, čo umožňuje využitie ropných terminálov, cisternových lodí a bežných skladovacích nádrží. ([Modisha 2023](#), [Lighthouse 2023](#)).

Importné terminály pre LOHC pozostávajú z nádrží, hydrogenačného a dehydrogenačného bloku, rekuperácie tepla a čistenia uvoľneného H_2 . Vnútrozemská logistika môže využívať existujúce ropné železničné a cestné cisterny, čím sa minimalizujú úpravy infraštruktúry. Hlavnou prevádzkovou výzvou je zabezpečiť stabilitu katalyzátorov a kvalitu LOHC po viacerých cykloch. ([CATF&KBR 2023](#)).

Bezpečnostný profil závisí od zvoleného nosiča. MCH a toluén sú horľavé a toxické látky s nižšími bodmi vzplanutia, vyžadujú prísne protipožiarne opatrenia. Dibenzyltoluénové zmesi používané ako LOHC majú vysoký bod vzplanutia, napríklad približne 137 °C pre Marlotherm LH a približne 200 °C až 212 °C pre niektoré formulácie Marlotherm SH, no nesú environmentálne a zdravotné riziká podľa

⁴⁹ Cracking amoniaku je proces termokatalytického rozkladu amoniaku (NH_3) na vodík (H_2) a dusík (N_2) pri vysokých teplotách zvyčajne 400 – 900 °C za prítomnosti katalyzátora, ktorý umožňuje efektívnu dekompozíciu na plyný vodík využiteľný ako energetický nosič. Na výrobu 1 kg H_2 krakovaním amoniaku je teoretické minimum tepla približne 15,3 MJ ($\approx 4,25$ kWh) a praktická potreba pri priemyselných reaktoroch vrátane ohrevu prúdu a čistenia býva zhruba 18–30 MJ ($\approx 5,0$ – $8,3$ kWh) podľa teploty, konverzie a miery rekuperácie.

kariet bezpečnostných údajov. Dizajn musí zahŕňať detekciu plynov, zachytávanie pár, inertizáciu a školenie obsluhy. ([SDS Marlotherm LH 2021](#), [SDS Marlotherm SH 2021–2023](#)).

Do roku 2030 je realistický selektívny rozbeh LOHC v prístavoch s pripravenou kvapalinovou infraštruktúrou a dopytom po H_2 s vyššou pridanou hodnotou. Komerčný rozsah bude závisieť od cien energie pre dehydrogenáciu a od dlhodobých kontraktov na odber vodíka. ([IEA 2025](#)).

CESTNÁ A ŽELEZNIČNÁ PREPRAVA STLAČENÉHO VODÍKA

Pri vzniku prvých vodíkových údolí sa bude dbať na to aby výrobné zdroje boli blízko spotreby a tým sa vyhlado nákladov na prepravu a distribúciu. Je to veľmi dôležité z toho dôvodu že cena vodíka v lokálnej výrobe pri malej mierke bude pravdepodobne nákladná a aby bola akceptovaná trhom nesmie výrazne prekročiť paritu fosílnym palivám. Aj pri tomto scenári sa však počíta v niektorých prípadoch s lokálnou prepravou vodíka najmä v podobe stlačeného vodíka na návesmi ťahačov. Prepravujú približne 500 až 1000 kg vodíka. Preprava je porne jednoduchá ale pridáva k cene vodíka 1 až 1,50 eur. Cena návesu pre stlačený H_2 – kompozitné MEGC moduly 500–635 bar, 800 kg H_2 , 40 ft. pre európsky trh je približne 0,7–1,0 mil. € za modu/náves.

Preprava stlačeného vodíka vlakmi je nerentabilná z hľadiska malého objemu prepraveného vodíka a súčasnosti sa s ňou neuvažuje pri rozvojových v plánoch, okrem špecifických projektov, kde vagón slúži ako mobilná čerpacia stanica.

Preprava kvapalného vodíka – komparatívna analýza k stlačenému vodíku – efektivita, ekonomika.

Preprava hlboko podchladeného kvapalného vodíka (LH_2) je perspektívna najmä pre námorný dovoz z tretích krajín, čo demonštroval projekt HySTRA s tankerom Kawasaki „Suiso Frontier“ ([HySTRA demo](#)). V roku 2022 prebehli prvé demonštračné plavby a existuje AiP pre veľkokapacitný nosič $\sim 160\,000\,m^3$, avšak plne komerčná flotila sa ešte len pripravuje. LH_2 dosahuje hustotu $\sim 70,8\,kg/m^3$ pri 20 K. Komprimovaný vodík pri 700 bar má $\sim 39\text{--}42\,kg/m^3$. Kvapalný vodík preto neprepraví „dvojnásobok“, ale približne 1,7–1,8-násobok hmotnosti H_2 na meter kubický oproti 700 bar ([H2Tools/NIST – hustoty](#)). Energetická náročnosť skvapalnenia je v dnešnej praxi približne 10–13 kWh/kg H_2 ([DOE Program Record 9013](#)) ([DOE Program Record 19001](#)). Najnovšie koncepcie procesov naznačujú možný pokles smerom k $\sim 6\text{--}8\,kWh/kg$, ide však skôr o optimalizované alebo konceptuálne riešenia.

Ekonomika diaľkového importu. Väčšina komparatívnych štúdií nachádza pri dlhých námorných vzdialenostiach výhodu pre amoniak ako nosič vodíka, pričom LH_2 môže byť konkurencieschopné pri kratších trasách alebo v špecifických reťazcoch ([NREL – Hydrogen Pathways](#)). „Cenová porovnateľnosť“ LH_2 s NH_3 preto nie je všeobecná téza a závisí od predpokladov cien elektriny, mier strát a mierky. Logistika a dosahy od terminálu. Boil-off pri veľkých nádržiach a na lodiach sa v literatúre uvádza rádovo 0,1–0,5 %/deň a klesá s mierkou. Z hľadiska cestnej distribúcie sa off-site zásobovanie čerpacích staníc kvapalným vodíkom javí výhodné najmä v rádiuse do $\sim 300\,km$, podobne ako pri plynových „tube-traileroch“ pre GH_2 ([NREL – Station CSS status](#)).

Čerpacie stanice a ťažká doprava. Pre ťahače s palivovými článkami a palubným skladovaním LH_2 sa preukázal dojazd $>1\,000\,km$, čo je hlavná prevádzková výhoda. Pre takéto aplikácie môžu byť stanice na LH_2 menej kapitálovo náročné než 700 bar GH_2 , keďže odpadá veľká časť vysokotlakovej kompresie a kľúčovým prvkom je kryo-čerpadlo. Celkové náklady však závisia od kapacity, vyťaženia a riadenia boil-off.

Komparatívna analýza: kvapalný vodík (LH_2) vs. stlačený vodík (GH_2 700 bar)

Stručné zhrnutie. LH_2 maximalizuje objemovú efektívnosť a logistiku pri vysokých prietokoch a dlhších trasách. GH_2 (700 bar) minimalizuje energetické náklady „well-to-pump“ a je výhodný pri menších/stredných dopytoch a kratších trasách. Celková ekonomika závisí od mierky, vyťaženia stanice a dostupnosti infraštruktúry skvapalňovania či kompresie.

Kľúčové parametre (referenčné hodnoty)

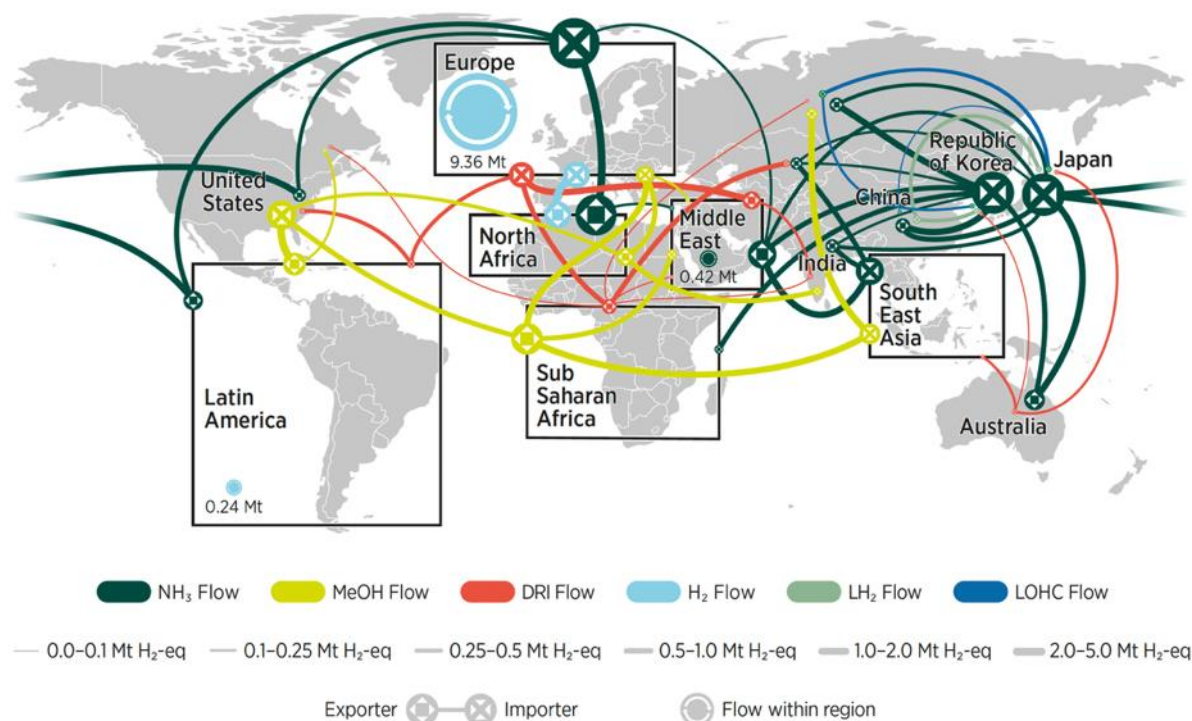
Tabuľka 34: Porovnanie charakteristík a použitia kvapalného a stlačeného vodíka

PARAMETER	LH ₂	GH ₂ 700 bar	Poznámka/zdroj
Energetická náročnosť predspracovania	Skvapalnenie ~10–13 kWh/kg (pokročilé návrhy ~6–8 kWh/kg)	Kompresia ~1,6–4 kWh/kg	(DOE 9013) (DOE 19001) (RSC 2022)
Hustota (objemová)	≈ 70,8 kg/m ³ (20 K)	≈ 39–42 kg/m ³ (20 °C, 700 bar)	(H2Tools/NIST – hustoty)
Straty pri skladovaní	Boil-off typicky desatiny %/deň (klesá s mierkou)	Minimálne; najmä pri prečerpávaní/únikoch	(NREL – Station CSS status)
Distribučná kapacita – cestná	Cisterna ≈ 2,1–4,2 t H ₂ /jazda	Tube-trailer ≈ 0,6–0,9 t H ₂ /jazda	(NREL – Hydrogen Pathways)
Náklady dodávky + výdaja na stanici	≈ 11 → 8 USD/kg (450 → 1000 kg/deň)	≈ 9,5 → 8 USD/kg (450 → 1000 kg/deň)	(DOE – HDSAM 2020)
Prevádzka stanice	Kryočerpadlo + manažment boil-off	Vysokotlaková kompresia + chladenie	(NREL – Station CSS status)
Prevádzkový dojazd HDV	> 1 000 km (demonštrácia GenH2)	Nižší pri rovnakej nádrži (objemovo)	(Daimler Truck 2023)

GLOBALNÝ OBCHOD

Budúci globálny obchod s obnoviteľným vodíkom sa podľa IRENA (formuje ako sieť prepojených regionálnych a medzikontinentálnych tokov, kde sa na dlhé vzdialenosti bude prevažne obchodovať s derivátmi – najmä amoniakom a e-metanolom –, zatiaľ čo priamy vodík (potrubím či v kvapalnej forme) zostane skôr regionálnym riešením pre priemyselné klastre a susediace trhy. Významnú úlohu získa aj priamo redukované železo (DRI) ako „vložený vodík“ pre oceliarstvo. Hlavnými dovoznými centrami budú Európa a východná Ázia, kým export sa sústreďí do regiónov s lacným OZE potenciálom (Severná Afrika, Blízky východ, subsaharská Afrika, Austrália, Latinská Amerika a čiastočne Severná Amerika). Výber nosiča bude závisieť od koncového použitia, logistiky a nákladov na konverziu, konverziu a skladovanie. Vizualizované toky sú vyjadrené v Mt H₂-ekv., čo umožňuje porovnať objem obchodovaných komodít naprieč vektormi. (IRENA 2025)

Obrázok 23: Vznikajúci globálny obchod vodíka a jeho derivátov



NH₃ = amoniak, H₂ = stlačený plyný vodík, MeOH = metanol, DRI = priamo redukované železo, LOHC = kvapalné organické, nosiče vodíka, LH₂ = kvapalný vodík. Hrúbka čiar znázorňuje objem tokov zelených komodít v Mt H₂-ekv. Kruh so štvorcom vo vnútri označuje pôvod ponuky. Kruh s krížom vo vnútri označuje dopyt. Väčšina krajín je prehľadne zoskupená do regiónov.

1 Mt H₂-ekv. = 5,67 Mt amoniaku, 8 Mt metanolu, 16 Mt DRI.

Zdroj (IRENA 2025) str. 16

Ako jeden z potenciálnych z dodávateľ vodíka alebo amoniaku do EÚ a Slovenska sa javí brazílsky GEP (Green Energy Park) Ako príklad uvádzame pripravovanú výrobu vodíka v brazílskom štáte Piauí:

Projekt Green Energy Park predstavuje rozsiahlu investíciu do výroby obnoviteľného vodíka a amoniaku v štáte Piauí v Brazílii s plánovanou inštalovanou kapacitou elektrolyzérů približne 10 GW, ročnou produkciou okolo 2,3 milióna ton vodíka a odhadovanými investičnými nákladmi na úrovni približne 13 miliárd eur, pričom približne štvrtina produkcie má byť využitá v brazílskom priemysle a zvyšok exportovaný do Európy, najmä cez terminál na ostrove Krk v Chorvátsku (GEP Global 2024).

SWOT

Čistý H₂ potrubím (Eustream – prenos, SPP-d – distribúcia).

S: Najnižšie eur/kg pri veľkých prietokoch; zrelé štandardy; prepojenie na európsku chrbticu.

W: Dlhé povoľovanie a investičný cyklus; závislosť od dopytu a cezhraničných prepojení.

O: IPCEI/TEN-E/TYNDP; priemyselné uzly v SR; potenciál sezónneho vyrovnávania.

T: Regulačná neistota tarifikácie; konkurencia alternatívnych nosičov.

Primiešavanie H₂ do zemného plynu.

S: Rýchle premostenie s využitím existujúcej distribučnej siete.

W: Limit nízkych podielov a nízky dekarbonizačný efekt; zložitý zúčtovanie.

O: Lokalizované piloty a príprava H₂-ready segmentov.

T: Rozdielne národné limity; riziko uzamknutia do plynových mixov.

Amoniak (import + cracking).

S: Existujúca flotila a terminály; dobrá logistická hustota; vysoká technologická pripravenosť.

W: Toxicita a korozívnosť; CAPEX a OPEX crackingových uzlov.

O: Rozširujúce sa prístavné projekty; škálovanie znižuje eur/kg.

T: Prísnejšie bezpečnostné požiadavky a akceptácia v mestských uzloch.

LOHC.

S: Kompatibilita s kvapalinovou infraštruktúrou; jednoduchá manipulácia pri okolitej teplote.

W: Vyšší energetický OPEX dehydrogenácie; potreba stabilných katalyzátorov.

O: Piloty v EÚ; integrácia odpadového tepla.

T: Environmentálne a zdravotné riziká niektorých nosičov; certifikácia kvality vodíka.

LH₂.

S: Vysoká logistická kompaktnosť; potenciálne nižší CAPEX HRS pre HDV než pri GH₂ 700 bar.

W: Energetická náročnosť skvapalnenia; potreba riadenia boil-off; skorá fáza flotily.

O: Huby pre ťažkú cestnú dopravu a železničné uzly; škálovanie terminálov.

T: Kryogénne riziká a špecifické požiadavky na bezpečnosť a obsluhu.

ILUSTRÁČNÝ PRÍKLAD

import 10 000 t vodíka (10 000 000 kg).

A) Čistý vodík potrubím cez SR. Predpoklad: tranzit 450 km chrbticou a 100 km lokálna distribúcia. Prenos: 0,11–0,21 eur/kg na 1 000 km $\Rightarrow$ 0,0495–0,0945 eur/kg. Distribúcia: + 0,011–0,021 eur/kg. Skladovanie: ak 20 % objemu držaných 1 mesiac, + 0,15–0,30 eur/kg na 2 t H₂. Výsledný prírastok pre 10 000 000 kg je približne 0,61–1,16 mil. eur, plus skladovanie 0,30–0,60 mil. eur pre 20 % zásob.

B) Amoniak $\rightarrow$ vodík v prístave EÚ + vnútrozemská logistika do SR. Ilustratívne „cracked NH₃ delivered“ pri strednej až veľkej mierke približne 1,8–3,4 eur/kg H₂ (bez vnútrozemských poplatkov). Pre 10 000 t H₂ je to 18,0–34,0 mil. eur.

C) LH₂ reťazec ťažkej dopravy. Energia skvapalnenia približne 9–13 kWh/kg. Cestná distribúcia LH₂ na 10–200 km približne 0,10–0,17 eur/kg. Stanice LH₂ pre vysoké prietoky môžu mať nižší CAPEX než GH₂ 700 bar pri rovnakej kapacite.

ZHRNUTIE

Pri veľkých objemoch a dlhých trasách vychádza potrubná preprava čistého vodíka po repurposingu najnižšie v eur/kg a je technologicky zrelá. Primiešavanie vodíka do zemného plynu je prechodné riešenie využiteľné len pri výrobe tepla s obmedzeným dekarbonizačným účinkom a rizikom nekompatibility medzi krajinami. Námorný import vo forme amoniaku je dnes najpripravenejší nosič. LOHC zjednodušujú logistiku využitím existujúcej infraštruktúry kvapalných palív, no zvyšujú energetický OPEX dehydrogenácie. Kvapalný vodík maximalizuje objemovú efektívnosť, ale vyžaduje energiu na skvapalnenie (nemusí byť problém ak je skvapalnenie realizované v mieste výroby v tretích krajinách) a má špecifické kryogénne požiadavky. Pre Slovensko je optimálne prioritne budovať čistú vodíkovú chrbticu a nadviazať na ňu dovozy (NH₃ $\rightarrow$ H₂, prípadne LH₂) v uzloch s vysokým dopytom.

Bezpečnosť a trhovú pripravenosť. Potrubia a kaverny: štandardy, známe riziká vodíka (úniky, krehkosť materiálov). Primiešavanie: zložité meranie a kvalita plynu, vhodné na krátkodobé premostenie. Amoniak: toxicita a korozívnosť, ale etablované pravidlá pre prepravu a terminály.

LOHC: požiarna bezpečnosť a stabilita katalyzátorov pri cykloch. LH₂: kryogénne riziká a riadenie boil-off; demonštrácie preukázali technickú uskutočniteľnosť, flotila sa však ešte škáluje.

Relevancia pre Slovensko – import. Slovensko má výhodu existujúcej tranzitnej sústavy a kompetencií prevádzkovateľov sietí. Prioritou je dedikovaná vodíková chrbtica s napojením na priemyselné uzly a sezónne zásobníky. Import je potrebné rozvíjať primárne cez amoniak (NH₃→H₂) s napojením na železničnú logistiku a chrbticu; LH₂ a LOHC cielene pre trhy s vysokými prietokmi. Primiešavanie ponechať na krátkodobé piloty a postupný prechod na H₂-ready distribúciu.

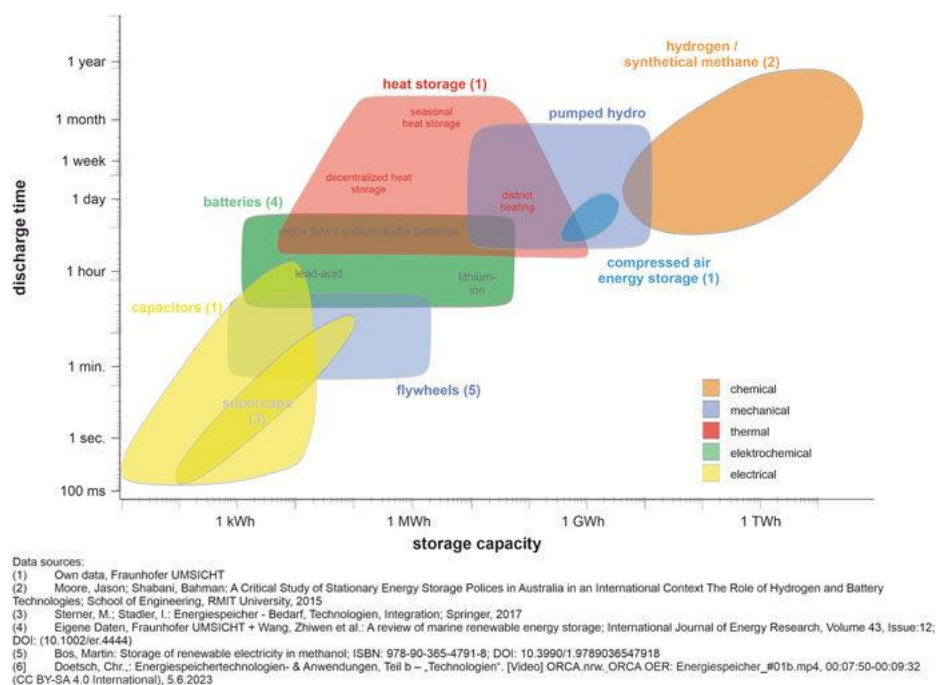
ODPORÚČANÁ POSTUPNOSŤ PRE SR

- Čo najrýchlejšie začať prípravu realizácie prvej etapy vodíkovej chrbtice, podľa dopytu realizovať časť alebo celú etapu do 2032 a nastaviť tarifikáciu s dlhodobými rezerváciami kapacity.
- Pripraviť aspoň jeden sezónny zásobník a prepojenie na priemyselné uzly.
- Rozbehnúť pilotný projekt prepravy amoniaku z morských terminálov pre slovenský priemysel, pripraviť železničnú logistiku a bezpečnosť prepravy.
- LH₂ a LOHC nasadzovať cielene tam, kde poskytujú logistickú alebo prevádzkovú výhodu.
- Primiešavanie ponechať na krátkodobé, lokalizované piloty s postupným prechodom na H₂-ready distribúciu.

10.2 POTENCIÁL SKLADOVANIA VODÍKA V SR

SEZÓNNE ÚLOŽISKÁ VODÍKA

Vodík predstavuje technológiu umožňujúcu sezónne skladovanie obnoviteľnej energie. Umožňuje presunúť prebytky elektriny z období vysokej výroby do období nedostatku v rámci ročných sezón. V požadovanom časovom a objemovom rozsahu to nedokážu zabezpečiť ani prečerpávacie vodné elektrárne ani batériové úložiská (Obrázok 24). Vyrovnávanie sústavy sa doteraz opiera o flexibilné zdroje prevažne na báze fosílnych palív. V súčasnosti sú preferované plynové elektrárne. V minulosti dominovali uhoľné zdroje. Pri nasadzovaní vysokých inštalovaných výkonov priemyselných OZE je vodík bez zohľadnenia dovozov prakticky jediným bezemisným riešením sezónnej akumulácie. Dovozené toky elektriny môžu sústavu vyvažovať len obmedzene. Počas obdobia bezvetria a s minimálnym slnečným žiarením, ktoré sa v zimných mesiacoch aj niekoľko týždňov pravidelne objavuje v celej strednej Európe, dochádza k nedostatku elektrickej energie aj v sústavách susedných bilančných skupín, pričom ceny na dennom trhu dosahujú rekordné úrovne. V takýchto podmienkach poskytuje vodík jediné bezemisné riešenie v potrebnom rozsahu, ktoré je však nákladnejšie než konvenčné riešenia na báze fosílnych palív.



Obrazok 24: Kapacity akumulácie a trvanie výdaja energie rôznych technológií ukladania.

Zdroj: *Handbook of Energy Storage*⁵⁰

Odporúčania:

- Budovať veľkokapacitné elektrolyzéry v blízkosti geologicky vhodných podzemných úložísk vodíka. Napríklad Záhorie, okolie Trnavy a Východoslovenská nížina.
- Pripájať elektrolyzéry priamo do elektrizačnej sústavy a súbežne pri nich rozvíjať OZE s priamym vedením k elektrolyzérovi. Cieľom je doplnenie výroby a zabezpečenie požadovaného podielu obnoviteľného vodíka pre dopravu a priemysel.
- Pripájať elektrolyzéry k distribučnej sieti zemného plynu/vodíka.
- Nasadiť elektrolyzéry na poskytovanie podporných služieb a vyrovňovanie odchýlok v bilančných skupinách.
- Zaviesť nástroje na pokrytie časti prevádzkových nákladov elektrolyzérovi príjmami z podporných služieb a trhov s odchýlkami. Týmto postupom sa minimalizuje dodatočné zaťaženie nákladov energetického sektora.

Záver: Pre výrobu vodíka je kľúčová maximalizácia využitia zariadenia. Prevádzka s prahom 100 eur/MWh a dynamickým obstarávaním prináša prudký pokles LCOH oproti prahu 60 eur/MWh. Pri 80 percentách investičnej podpory sa dostávajú približne k 5 eur/kg. Pri 50 percentách k približne 7 eur/kg. Pri prahu 60 eur/MWh sú výsledky bez veľmi vysokej podpory slabé pre nízky kapacitný faktor.

Odporúčanie: Optimalizovať stratégiu na viac hodín prevádzky a vrstviť príjmy z flexibility a podporných služieb. Zamerať sa na molekulové odberné miesta namiesto spätného premenenia na elektrinu. Pre ďalšiu optimalizáciu odporúčam otestovať prahové úrovne 80 a 120 eur/MWh a analyzovať citlivosť LCOH na kapacitný faktor, účinnosť a sieťové poplatky v rámci viacročného obdobia.

⁵⁰ Sterner, M.; Stadler, I. *Handbook of Energy Storage: Demand, Technologies, Integration*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; ISBN 978-3-662-55503-3

Projekt HENRI – referenčný európsky projekt podzemného skladovania vodíka spoločnosti nafta, a.s.

Projekt HENRI predstavuje pilotný výskumný program podzemného skladovania vodíka na Slovensku. Na základe komplexného skríningu pórovitých štruktúr a soľných ložísk bol identifikovaný najvhodnejší objekt pre pilotné testovanie – zásobník Láb (6. sarmatická štruktúra vo Viedenskej panve). Lokalita dosahuje vysokú pórovitosť (27 %), priepustnosť až 700 mD, priaznivé teplotné a hydrogeochemické podmienky a v hodnotení získala 70 %.

V rámci projektu sa uskutočnia laboratórne merania a numerické modelovanie správania vodíka v horninovom prostredí. V prípade pozitívnych výsledkov sa plánuje pilotná injeckcia vodíka. Tento krok umožní overiť technickú realizovateľnosť a bezpečnosť podzemného skladovania vodíka v podmienkach Slovenska.

Projekt HENRI vytvára predpoklady, aby sa Slovensko stalo **stredoeurópskym lídrom vo výskume a budúcej prevádzke podzemných úložísk vodíka**. Využíva dlhodobé skúsenosti s podzemným uskladňovaním zemného plynu a geologický potenciál sedimentárnych paniev. Pilotné riešenie v Lábe môže byť základom pre rozsiahlejšiu implementáciu infraštruktúry, ktorá posilní energetickú bezpečnosť a prispieje k plneniu klimatických cieľov EÚ.

Odporúčania

- **Podpora výskumu a pilotných projektov.** Zaviesť cielené grantové a programové schémy na financovanie laboratórnych testov, modelovania a prvých injeckcií vodíka.
- **Regulačný rámec.** Vytvoriť legislatívne podmienky pre podzemné skladovanie vodíka vrátane povoľovacích procesov, monitorovania bezpečnosti a integrácie do energetickej sústavy.
- **Finančné mechanizmy.** Zabezpečiť prístup k európskym fondom (Innovation Fund, CEF Energy, Horizon Europe) a vytvoriť národné mechanizmy spolufinancovania.
- **Integrácia do energetickej politiky.** Zahnúť podzemné skladovanie vodíka do strategických dokumentov (INEKP, vodíková stratégia, energetická bezpečnosť).
- **Regionálna spolupráca.** Prepojiť slovenský výskum a infraštruktúru s iniciatívami v Česku, Rakúsku, Maďarsku a Poľsku, čím sa Slovensko stane kľúčovým uzlom stredoeurópskej vodíkovej siete.

LOKÁLNE ÚLOŽISKÁ VODÍKA

Okrem veľkokapacitného podzemného skladovania v geologických štruktúrach majú zásadný význam aj lokálne úložiská vodíka, ktoré slúžia na vyrovnanie krátkodobých výkyvov výroby a spotreby alebo na zabezpečenie kontinuálnej dodávky v priemyselných, a energetických aplikáciách. Tieto technológie umožňujú decentralizované uskladnenie priamo v mieste výroby alebo spotreby.

Vodík v stlačenom stave (Compressed Hydrogen, CGH₂)

Najrozšírenejšia forma lokálneho skladovania. Vodík je stláčaný do tlaku 200 – 700 bar a uskladnený v oceľových alebo kompozitných nádržiach. Výhodou je technologická jednoduchosť a okamžitá dostupnosť. Nevýhodou sú vyššie energetické náklady na kompresiu a obmedzená energetická hustota. Vhodné pre mobilitu, priemyselné odbery a menšie energetické prevádzky.

Vodík v derivátoch (NH₃, metanol, syntetické palivá)

Chemická väzba vodíka do derivátov umožňuje vyššiu hustotu energie a jednoduchšiu manipuláciu. Amoniak alebo metanol sa skladujú a transportujú pri bežných tlakoch a teplotách. Ich uvoľnenie vyžaduje konverziu, ktorá znižuje celkovú účinnosť. Vhodné pre veľké priemyselné centrá a ako medzinárodné nosiče energie.

LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers)

Kvapalné organické zlúčeniny schopné reverzibilne viazať vodík. Výhodou je skladovanie pri bežnom tlaku a teplote, bezpečná manipulácia a využitie existujúcej ropnej infraštruktúry. Nevýhodou sú energetické straty pri hydrogenácii a dehydrogenácii. Vhodné pre stacionárne aplikácie a logistické centrá.

Metalhydridy

Niektoré kovy a zliatiny dokážu chemicky viazať vodík a uvoľňovať ho pri kontrolovaných podmienkach. Poskytujú vysokú objemovú hustotu a bezpečnosť. Obmedzením je hmotnosť materiálu a náklady. Vhodné pre aplikácie s požiadavkou na kompaktné a bezpečné úložisko, napríklad mobilné zariadenia alebo záložné zdroje.

Porézne materiály (MOF, uhlíkové nanomateriály, zeolity)

Moderné materiály s vysokou vnútornou plochou dokážu fyzikálne adsorbovať vodík. Výskum sa zameriava na zlepšenie adsorpčnej kapacity pri vyšších teplotách a miernom tlaku. Perspektívne riešenie pre budúce generácie lokálnych úložísk, aktuálne však vo fáze výskumu a pilotných aplikácií.

ZHRNUTIE

Lokálne technológie skladovania vodíka ponúkajú riešenia pre flexibilitu a stabilitu energetických systémov v menšom meradle. Využívajú sa tam, kde nie je ekonomicky alebo technicky možné napojiť sa na veľkokapacitné podzemné úložiská. Ich rozvoj je kľúčový pre rozšírenie vodíkových aplikácií v doprave, priemysle a decentralizovanej energetike.

Nasledovná tabuľka porovnáva jednotlivé spôsoby uskladnenia vodíka. Niektoré z technológií sú ešte len vo fáze výskumu, respektíve demonštračných projektov, iní sú už prístupné na trhu.

Tabuľka 35: Porovnanie technológií uskladnenia vodíka

TECHNOLÓGIA	Energetická hustota (objemová)	Účinnosť cyklu	Prevádzkové podmienky	TRL (úroveň zrelosti)	Vhodné aplikácie
Stlačený H ₂	nízka	65–75 %	200–700 bar	vysoká (9)	mobilita, priemysel
Skvapalnený H ₂	stredná	60–70 %	–253 °C	vysoká (8–9)	transport, letectvo
Deriváty (NH ₃ , MeOH)	vysoká	40–55 %	bežný tlak/teplota	stredná (7–8)	priemysel, export
LOHC	stredná	30–50 %	bežný tlak/teplota	stredná (6–7)	logistika, rafinérie
Metalhydridy	vysoká	60–70 %	20–300 °C	stredná (5–6)	špeciálne aplikácie
Porézne materiály	perspektívna	<40 % zatiaľ	nízky tlak, kryo	nízka (3–4)	výskum, piloty
Podzemné úložiská	veľmi vysoká	70–90 %	geologické podmienky	vysoká (7–8, piloty)	sezónne úložisko

Zdroj: A review of hydrogen storage and transport technologies ⁵¹

10.3 VNÚTROŠTÁTNA DISTRIBÚCIA VODÍKA

Prioritou pre prvú fázu rozvoja je **prepájať lokálnu výrobu a spotrebu krátkymi úsekmi potrubí a doplnkovo cestnou dopravou stlačeného H₂** a LOHC. Výhodou sú nízke straty, vyššia prevádzková

⁵¹ Miao Yang, Ralf Hunger, Stefano Berrettoni, Bernd Sprecher, Baodong Wang, A review of hydrogen storage and transport technologies, Clean Energy, Volume 7, Issue 1, February 2023, Pages 190–216, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad021>

flexibilita a možnosť postupnej expanzie, kým nevýhody zahŕňajú povoľovania, záber územia, bezpečnostné štandardy, riziko nízkeho vyťaženia a pri LOHC aj penalizáciu účinnosti dehydrogenáciou. Plán rozvoja počíta do roku 2032 realizovať pilotné úseky a klastrové prepojenia s dominantnou cestnou distribúciou, 2030–2035 prvé dedikované alebo upravené potrubia medzi priemyselnými uzlami, 2035–2040 napojenie údolí na národnú chrbticu, 2040+ integrácia s európskou sieťou, investične sa odporúča preferovať úpravu existujúcich plynovodov pred novostavbami a pri klastrových vzdialenostiach udržať CAPEX v rozsahu rádovo desiatok miliónov eur na desiatky kilometrov podľa profilu trasy a priemeru potrubia.

Pre SR je racionálne **postupovať „pipeline–first“ v priemyselných koridoroch a „truck–first“ pri ranom rozvoji automobilovej dopravy vo vodíkových údoliach**. LOHC sa odporúča zvažovať pre stredné vzdialenosti tam, kde potrubie nie je realizovateľné.

10.4 EURÓPSKA VODÍKOVÁ SIEŤ (EHB)

Strategická poloha Slovenska a existujúca tranzitná plynárenská sieť vytvárajú predpoklady na návrat k úlohe tranzitnej krajiny aj v ére vodíka. Úlohou spol. eustream, a.s, prevádzkovateľa tranzitu, je upraviť vybrané potrubné línie a vytvoriť Slovak Hydrogen Backbone ako súčasť PCI 10.4 – Stredoeurópskeho vodíkoveho koridoru (Obrázok 22: EHB – Európska vodíková sieť) na prenos vodíka z Ukrajiny cez Slovensko do Česka, Rakúska a Nemecka, s prípravou technickej a regulačnej dokumentácie a prepojeniami na Lanžhot, Baumgarten a Veľké Zlievce. ([EUSTREAM – Energy Transformation Projects](#), [CINEA – PCI 10.4 Fiche \(2025\)](#)).

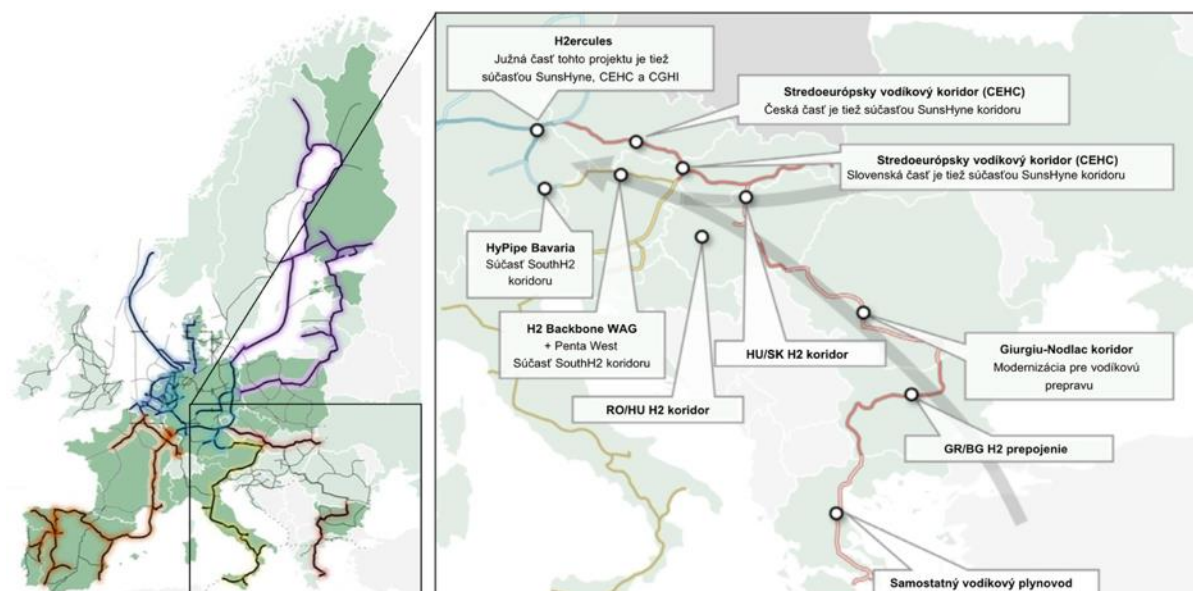
Partneri koridorov pre strednú Európu zahŕňajú GTSOU (Ukrajina), EUSTREAM (Slovensko), NET4GAS (Česko), OGE (Nemecko), FGSZ (Maďarsko), Gas Connect Austria/AGGM (Rakúsko) a prevádzkovateľov juhovýchodného SEEHyC z Grécka, Bulharska a Rumunska, čo umožní viacnásobné zdrojové vetvy a lepšie rozloženie kapacity. ([OGE – South-East European Hydrogen Corridor \(SEEHyC\)](#), [AGGM – H2 Roadmap 2.0](#)).

Časový horizont: PCI 10.4 uvádza orientačné uvedenie do prevádzky k 31.12.2029, CEHC a SEEHyC komunikujú spustenie okolo roku 2030, no pri celoeurópskej sieti sa počíta s oneskoreniami 2–3 roky, takže realizmus pre úplné prepojenie stredoeurópskych uzlov je 2029–2032. ([CINEA – PCI 10.4 Fiche \(2025\)](#), [SEEHyC – capacity & COD](#), [Reuters – EU hydrogen infrastructure delay \(07/2025\)](#)).

Napojenie naorské terminály: Jadranský uzol Krk a H2Med/BarMar prepojenie Stredozemného mora poskytujú vstupné body pre potrubné toky do strednej Európy. Terminál Krk sa plánuje dokončiť v rokoch 2031–2032 a H2Med smeruje k roku 2030 s FID po roku 2027–2028. ([Reuters – Barmar/H2Med JV \(07/2025\)](#)).

Zhodnotenie prínosov: tranzit vodíka by priniesol diverzifikáciu príjmov po poklese tranzitu zemného plynu, posilnil by bezpečnosť dodávok pre región a umožnil by domácim odberateľom prístup k potrubnému vodíku. Kľúčovými rizikami sú neistý dopyt, cezhraničná koordinácia, načasovanie FID a potenciálne oneskorenia celoeurópskych projektov. ([Reuters – EU hydrogen infrastructure delay \(07/2025\)](#)).

Obrázok 25: EHB – Európska vodíková sieť



Zdroj: EHB

11 FÁZOVANIE VÝSTAVBY VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU A MODEL FINANCOVANIA

Prvou fázou je budovanie povedomia o vodíku a zoznamovanie sa budúcich spotrebiteľov v sektore dopravy s vodíkovým pohonom a všetkými súvisiacimi požiadavkami. Prevádzkovatelia flotíl mestských a regionálnych autobusov, nákladných vozidiel, kamiónov a regionálnych vlakových súprav by si mali otestované technológie, aby mohli plánovať obnovu svojich flotíl na roky 2030 až 2035. Aktualizácia Národnej vodíkovej stratégie a Akčného plánu 2027–2035 sú základnou podmienkou pre koordinovaný rozvoj a akceleráciu vodíkoveho ekosystému na Slovensku. Financovanie pilotných testovacích projektov by sa dalo realizovať z Programu Slovensko, pričom časový horizont je 2026 až 2028.

Po vytvorení dopytu v sektore dopravy začne **druhá fáza** – fáza pilotných projektov 2028 a 2029, ktorá by mala byť zároveň aj míľnikom pre splnenie cieľov v doprave – spotreby RFNBO v podiele 1 % z energetickej spotreby v doprave. K tomu je potrebné dostať do premávky nasledovný vozový park:

Tabuľka 36: Počet FCEV pre splnenie cieľa RFNBO v doprave do roku 2030

Druh vozidla	Počet 2030
Osobné automobily	30
Dodávky a vany N1	10
Mestské autobusy kat. I a kat. A	50
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	50
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0
Nákladné vozidlá N2 a N3	50
Ťahače návesu alebo prívesu	80
Železničná doprava – DMU 861 dieselmotorová jednotka	2

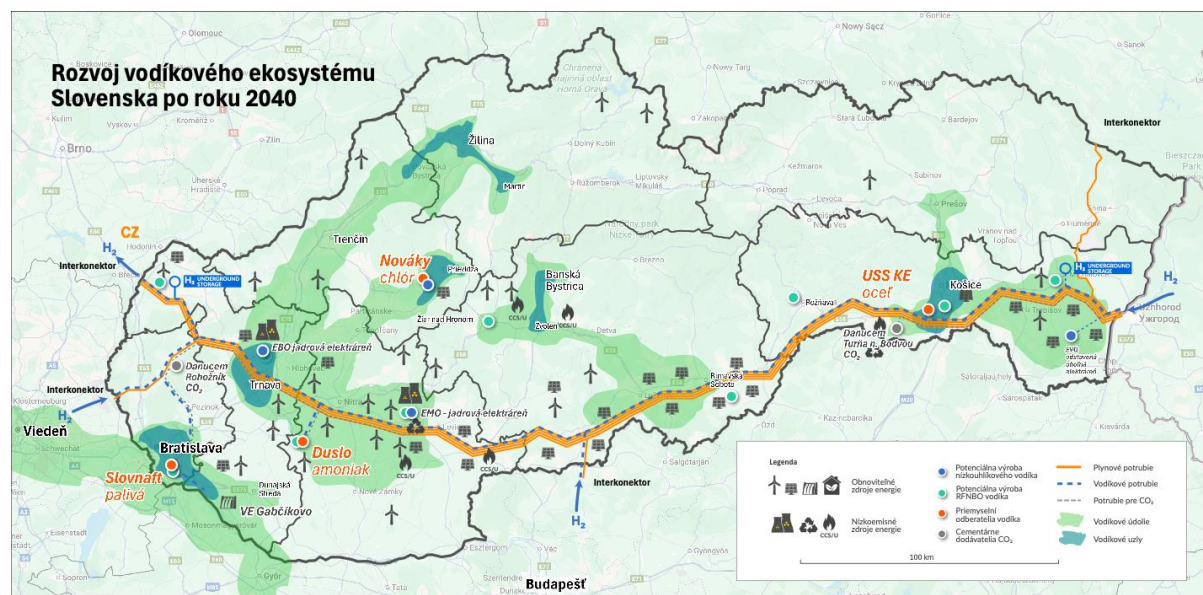
Zdroj: vlastné výpočty

Dopravné podniky a samosprávy, ktoré sa rozhodnú zaradiť do svojho vozového parku vodíkové vozidlá, by mali najprv zhodnotiť potenciál svojho regiónu na zriadenie vodíkoveho uzla či údolia. Takéto projekty už vznikajú. Medzi najvýznamnejšie patrí vodíkové údolie **Košického samosprávneho kraja EastGateH2V** a pripravované medzinárodné údolie v trojuholníku **Bratislava – Viedeň – Győr HyHope**. Vysoký potenciál má aj vodíkový uzol na hornej Nitre v oblasti **Nováky – Prievidza**, ďalej v okolí **Dunajskej Stredy, Trnavy, Zvolena a na strednom Považí**. Každý vozový park bude potrebovať dodávateľa obnoviteľného vodíka a čerpaciu infraštruktúru, ktorú je vhodné umiestňovať v intermodálnych uzloch s využitím viacerých sektorov dopravy. Štát by mal v rámci prvej testovacej fázy zabezpečiť aj **mobilnú čerpaciu stanicu ako zálohu** pri poruche stabilnej stanice v uzle. Počas tohto rozvoja musí dopyt napĺňať aj priemysel, ako bolo podrobne vysvetlené v predošlých kapitolách. V prípade priemyslu je vhodné uvažovať o vybudovaní časti vodíkoveho potrubia spájajúceho centrálnu výrobu s priemyselnými odberateľmi.

Tretou fázou, v rokoch 2030 – 2034, je budovanie zdrojov RHNBO a LCH a prepájanie už existujúcich častí potrubí do súvislého celku s prepojením na okolité krajiny s potenciálom veľkokapacitného transportu, keď by mal začať prúdiť vodík pre slovenských spotrebiteľov aj zo zahraničia vrátane tretích krajín. Očakáva sa **nárast počtu vozidiel** vo všetkých kategóriách, najmä medzi autobusmi a ťahačmi návesov.

Štvrtá fáza, v rokoch 2035 – 2039, je fázou akcelerácie, keď už nebudú dostupné voľné povolenky EU ETS a plne sa prejaví EU ETS II. Hlavným faktorom spotreby bude doprava s postupným nástupom energetiky, výroby **syntetických palív** a využívania vodíka v ďalších odvetviach hospodárstva, pričom v tomto období by už mali byť jasné **stratégie transformácie hutníctva** a z toho vyplývajúce požiadavky na dodávku vodíka.

Piatu fázu, od roku 2040 do 2050, prinesie široké nasadenie vodíkových technológií vo všetkých sektoroch s cieľom znížiť emisie a dosiahnuť uhlíkovo neutrálnu spoločnosť.

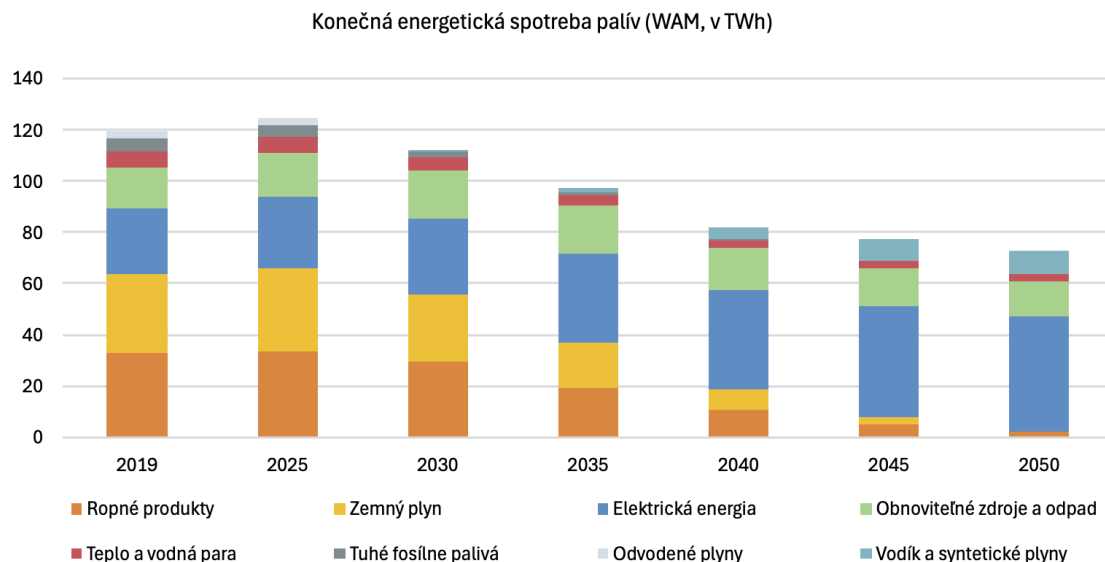


Obrázok 26: Mapa rozvoja vodíkoveho ekosystému 2040+

Zdroj: NVAS

11.1 SCENÁRE ROZVOJA VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU SR

Prognóza konečnej spotreby palív podľa INEKP a scenára WAM⁵² po realizovaní dodatočných opatrení má nasledovnú podobu:



Obrázok 27: Odhad konečnej spotreby palív do roku 2050 (INEKP)

Zdroj: MH SR (2025)

Pre účely tohto materiálu je za základný a odporúčaný scenár rozvoja vodíkového ekosystému Slovenska do roku 2050 považovaný variant WAM. Analýza zahŕňa aj pesimistický scenár WEM s minimálnym rozvojom pri zachovaní súčasných trendov a obmedzenom zásahu štátu. Ďalej hodnotí optimistický scenár NZE smerujúci k uhlíkovo neutrálnej spoločnosti do roku 2050. Výpočty výroby a spotreby vodíka zohľadňujú dva varianty inštalovaného výkonu potrebných zdrojov elektriny a elektrolyzéro: Prvým je dosiahnutie úplnej energetickej sebestačnosti Slovenska. Druhým je kombinácia importu vodíka s domácou výrobou.

SCENÁRE

Pesimistický (WEM)

Minimálny rozvoj pri zachovaní aktuálnych trendov a obmedzenom zásahu štátu.

Základný (WAM)

Cielená podpora rozvoja ekosystému pri súčinnosti verejného a súkromného sektora.

Optimistický (NZE)

Zrýchlený rozvoj, uhlíkovo neutrálna spoločnosť 2050

Výpočty výroby a spotreby vodíka zohľadňujú 2 varianty inštalovaného výkonu potrebných zdrojov elektriny a inštalovaného výkonu elektrolyzéro:

A. dosiahnutie úplnej sebestačnosti Slovenska

⁵² pre účely INEKP je WAM scenár ambicióznym, uhlíkovo neutrálnym scenárom. WAM scenár v tomto materiáli sa považuje za základný scenár

B. import vodíka doplnený domácou výrobou

Pre hodnotenie oboch variantov bude použitý scenár WAM.

Variant A hodnotí úplnú sebestačnosť Slovenska vo výrobe vodíka, čo znamená pokrytie celkovej domácej spotreby výhradne z domácich zdrojov elektriny a elektrolytickej výroby bez potreby importu. Tabuľka 37 uvádza nárast potrebného inštalovaného výkonu pre zdroje aj elektrolyzéry od roku 2030 až po rok 2050. Do roku 2050 by si tento prístup vyžadoval inštalovaný výkon obnoviteľných zdrojov 3,2 GW a jadrových zdrojov 2,6 GW. Na výrobu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka by bolo potrebné zriadiť elektrolyzéry s celkovou kapacitou $2 \times 2,3$ GW. Prechodné ciele zahŕňajú už v roku 2030 nasadenie 242 MW obnoviteľných zdrojov a 192 MW jadrových zdrojov. Na tento výkon by nadväzovala výstavba elektrolyzérovo s kapacitou 87 MW pre obnoviteľný vodík a 79 MW pre nízkouhlíkový vodík. Variant A, zameraný na tento cieľ, sa pri súčasných podmienkach javí ako technicky aj ekonomicky nerealizovateľný.

Tabuľka 37: Inštalovaný výkon zdrojov elektriny a elektrolyzérův – výlučne domáca výroba vodíka

Rok	Scenár	Domáci dopyt po H2 (tis. t H2)		Inštalovaný výkon OZE a ELY (MW)				Inštalovaný výkon jadrových zdrojův a ELY (MW)	
		RHNBO	LHC	80%		20%		JE	ELY
				hybrid1*	ELY	VE	ELY		
				130%	42%	110%	40%	100%	66%
2030	NZE	25,1	0,0	391	301	87	79	0	0
	WAM	12,7	0,0	198	152	44	40	0	0
	WEM	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
2035	NZE	79,4	69,4	1 234	949	274	249	660	660
	WAM	75,9	55,8	1 180	908	262	238	531	531
	WEM	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
2040	NZE	107,6	133,4	1 673	1 287	372	338	1 269	1 269
	WAM	101,1	85,0	1 572	1 209	349	317	809	809
	WEM	8,4	9,2	131	101	29	26	88	88
2045	NZE	273,0	201,2	4 245	3 265	943	857	1 914	1 914
	WAM	140,3	142,6	2 181	1 678	485	440	1 356	1 356
	WEM	31,6	24,2	491	378	109	99	230	230
2050	NZE	320,6	257,2	4 984	3 834	1 107	1 006	2 446	2 446
	WAM	169,5	183,1	2 634	2 027	585	532	1 741	1 741
	WEM	48,2	38,9	749	576	166	151	371	371

* kombinácia OZE vietor+solar v pomere 2:1

Inštalovaný výkon – sebestačnosť		OZE		Elektrolyzéry	
Rok	Scenár	RHNBO	LHC	RHNBO	LHC
2030	NZE	478	379	87	79
	WAM	242	192	44	40
	WEM	0	0	0	0
2035	NZE	1508	1199	934	909
	WAM	1442	1146	793	769
	WEM	0	0	0	0
2040	NZE	2045	1625	1640	1607
	WAM	1921	1527	1158	1126
	WEM	160	127	117	114
2045	NZE	5188	4122	2857	2771
	WAM	2666	2119	1841	1797
	WEM	600	477	339	330
2050	NZE	6091	4840	3553	3453
	WAM	3220	2558	2327	2273
	WEM	915	727	537	522

Variant B hodnotí reálne možnosti nasadenia obnoviteľných zdrojův a elektrolyzérův a pritom vychádza z prognóz INEKP, kde sa uvažuje s približne 10 percentným využitím vyrobenej elektriny v SR na výrobu vodíka v scenári NZE. Scenár WAM uvažuje s postupným budovaním elektrolyzérův do roku 2050 až k hranici 5% využitia domácej elektrickej energie. Zvyšok vodíka by sa dovážal najmä potrubným systémom zo zahraničia, z morských terminálov vodíka. Celkové potrebné objemy importu vodíka sú detailne rozpracované a ilustruje ich Tabuľka 38.

Tabuľka 38: Inštalovaný výkon zdrojov elektriny a elektrolyzéro – import doplnený domácou výrobou

Rok	Scenár	Domáci dopyt po H ₂ (tis. t H ₂)		Inštalovaný výkon OZE a ELY (MW)				Inštalovaný výkon jadrových zdrojov a ELY (MW)	
		RHNBO	LHC	80%		20%		JE	ELY
				hybrid1*	ELY	VE	ELY		
				130%	42%	110%	40%	100%	66%
2030	NZE	5,6	0,0	87	67	19	17	0	0
	WAM	2,8	0,0	43	33	10	9	0	0
	WEM	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
2035	NZE	16,0	16,9	249	192	55	50	161	161
	WAM	5,3	4,2	83	64	18	17	40	40
	WEM	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
2040	NZE	32,1	25,4	500	384	111	101	242	242
	WAM	12,1	12,7	187	144	42	38	121	121
	WEM	1,7	3,9	26	20	6	5	37	37
2045	NZE	49,4	45,8	769	591	171	155	436	436
	WAM	19,8	22,9	307	236	68	62	218	218
	WEM	1,9	4,0	30	23	7	6	38	38
2050	NZE	68,6	57,2	1 066	820	237	215	545	545
	WAM	28,6	28,6	444	342	99	90	272	272
	WEM	4,7	8,1	74	57	16	15	77	77

* kombinácia OZE vietor+solar v pomere 2:1

Inštalovaný výkon – reálny potenciál		OZE		elektrolyzéry	
Rok	Scenár	RHNBO	LHC	RHNBO	LHC
2030	NZE	106	84	19	17
	WAM	53	42	10	9
	WEM	0	0	0	0
2035	NZE	305	242	216	211
	WAM	102	81	59	57
	WEM	0	0	0	0
2040	NZE	611	485	353	343
	WAM	229	182	162	159
	WEM	32	26	43	42
2045	NZE	939	746	606	591
	WAM	376	299	286	280
	WEM	37	29	45	44
2050	NZE	1303	1035	781	760
	WAM	543	431	371	362
	WEM	90	72	93	92

Ako sumarizuje Tabuľka 39, v scenári WAM bude v roku 2050 potrebné zabezpečiť až 80 % vodíka formou dovozu. Prepojenie európskej vodíkovej siete a prvé zahraničné dodávky do Slovenska sa očakávajú až po roku 2030, preto sa v prvej fáze rozvoja kladie dôraz na domácu výrobu do roku 2030. Na pokrytie priemyselných potrieb pri výrobe amoniaku to však nebude stačiť a vyžadovalo by ďalších približne 10 000 t. Odporúča sa od roku 2030 postupne zvyšovať kapacity importu a pripraviť infraštruktúru na napojenie Slovenska na európsku vodíkovú sieť. Najväčšou výzvou sú úpravy v priemysle na výrobu amoniaku, ktoré by bolo nutné urobiť pre náhradu zemného plynu vodíkom (42%), čo by si vyžadovalo výstavbu novej technológie, ktorá ešte nie je vo svete k dispozícii a reálna výstavba by trvala niekoľko desiatok rokov.

Tabuľka 39: Zhodnotenie importu vodíka (tis. t)

Rok	Scenár	OZE			Jadrové zdroje			Domáca výroba H2		Domáca spotreba H2		Import		
		OZE spolu (GWhe)	PtH2	PtH2 (GWhe)	OZE spolu (GWhe)	PtH2	PtH2 (GWhe)	RHNBO (tis. t)	LCH (tis. t)	RHNBO (tis. t)	LCH (tis. t)	RHNBO (tis. t)	RHNBO / LCH (tis. t)	Spolu (tis. t)
2030	NZE	7659	4%	306	21244	0%	0	6	0	25	0	20	0	20
	WAM	7659	2%	153	21244	0%	0	3	0	13	0	10	0	10
	WEM	5962	0%	0	20858	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
2035	NZE	14692	6%	882	23292	4%	932	16	17	79	69	63	52	116
	WAM	14692	2%	294	23292	1%	233	5	4	76	56	71	52	122
	WEM	7511	0%	0	21244	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
2040	NZE	22093	8%	1767	23292	6%	1398	32	25	108	133	75	108	183
	WAM	22093	3%	663	23292	3%	699	12	13	101	85	89	72	161
	WEM	9303	1%	93	21244	1%	212	2	4	8	9	7	5	12
2045	NZE	27188	10%	2719	31482	8%	2519	49	46	273	201	224	155	379
	WAM	27188	4%	1088	31482	4%	1259	20	23	140	143	121	120	240
	WEM	10707	1%	107	22123	1%	221	2	4	32	24	30	20	50
2050	NZE	31430	12%	3772	31482	10%	3148	69	57	321	257	252	200	452
	WAM	31430	5%	1572	31482	5%	1574	29	29	169	183	141	154	295
	WEM	13061	2%	261	22256	2%	445	5	8	48	39	43	31	74

11.2 SWOT ANALÝZA SCENÁROV

SCENÁR WEM – MINIMÁLNY ROZVOJ PRI ZACHOVANÍ AKTUÁLNYCH TRENDOV A OBMEDZENOM ZÁSAHU ŠTÁTU

Silné stránky. Nízka fiškálna náročnosť a menšie požiadavky na verejnú podporu. Postupná adaptácia regulačného rámca bez unáhlených rozhodnutí. Priestor na piloty a demonštračné projekty. Vývoj technológií na výrobu amoniaku z obnoviteľného vodíka, ktorá v súčasnosti nie je k dispozícii v celom procesnom rozsahu a realizácia sa odhaduje na niekoľko desiatok rokov

Slabé stránky. Nedostatočná výrobná a distribučná kapacita vodíka do roku 2035. Nesplnenie cieľov v priemysle a pravdepodobné nesplnenie cieľov v doprave pre chýbajúce H₂ stanice a logistiku a nedostatok RHNBO. Slabá investičná dôvera a únik projektov do zahraničia. Riziko uzamknutia energetiky vo fosílnych palivách a odklad dekarbonizácie. Obmedzený rozvoj domáceho hodnotového reťazca a pracovných miest.

Príležitosti. Postupné overovanie technológií v malom meradle. Príprava štandardov, bezpečnostných noriem a metrológie. Štúdie repurposingu plynovodov a príprava na prepojenia. Koordinácia s jadrovou energetikou v demonštračnej prevádzke a testy flexibilného odberu.

Hrozby. Strata konkurencieschopnosti v chemickom priemysle a oceliarske. Rast nákladov ETS a CBAM pre výrobcov s vysokou uhlíkovou stopou. Závislosť na dovoze energií a vodíkových derivátov. Sankcie a reputačné riziká pri nesplnení európskych cieľov. Posun rozvoja o jednu dekádu.

SCENÁR WAM – ZRÝCHLENÝ ROZVOJ SO SÚČINNOSŤOU VEREJNÉHO A SÚKROMNÉHO SEKTORA

Silné stránky. Optimálny scenár pre SR. Ciele v doprave sa vedľa splniť v plnom rozsahu ak 25 % spotreby vodíka pôjde priamo do dopravy a 75 % do výroby palív. Priemyselný cieľ vedľa naplniť malí odberatelia a s vysokou pravdepodobnosťou aj rafinéria pri využití kapacity VE Gabčíkovo a externých kontraktov CfD, alebo národnej aukcie na RHNBO. Predpokladáme vznik

bankovateľného zásobníka projektov v uzloch s dopytom. Rozvíja sa domáci dodávateľský reťazec a servis.

Slabé stránky. Závislosť na rýchlej implementácii CfD a štátnej pomoci. Riziko meškania povoľovania a posilňovania sietí. Limity domácich OZE a potreba stabilných PPA projektov. Finančná medzera v prvých vlnách vodíkových staníc a lokálnej distribúcie. Koncentrácia odberu u jedného až dvoch kľúčových zákazníkov. Nedoriešené dlhodobé skladovanie.

Príležitosti. Využitie nízkej sezónnej ceny elektriny z VE Gabčíkovo pre elektrolýzu. Mobilizácia Modernizačného fondu, Inovačného fondu a aukcií EU Hydrogen Bank. Repurposing častí siete Eustream po roku 2030. Prepojenie na cezhraničné koridory a prístavy na Dunaji. Rozvoj e–palív pre letectvo a námornú dopravu. Vzdelávanie a certifikácia pracovnej sily. Spolupráca s jadrovou energetikou.

Hrozby. Volatilita cien elektriny a vody pre elektrolýzu. Nie je k dispozícii technológia výroby amoniaku z obnoviteľného vodíka (spĺňanie adicionality, časovej a geografickej korelácie), čo spôsobí úplné odstavenie výroby amoniaku a následne hnojív. Náhrada zemného plynu obnoviteľným vodíkom spôsobí nedostatok CO₂ pre výrobu močoviny a následne AdBlue. Tlak lacnejšieho dovozu amoniaku a metanolu. Neistota v európskej metodike a v aktualizácii delegovaných aktov. Nejasná perspektíva pre uznanie jadrového zdroja pre výrobu LCH. Verejná akceptácia ekosystému vodíka a požiadavky na bezpečnosť. Preťaženie dodávateľských reťazcov elektrolýz a kompresnej techniky.

SCENÁR NZE – AMBICIÓZNY PRE UHLÍKOVO NEUTRÁLNU SPOLOČNOSŤ 2050

Silné stránky. Plná kompatibilita s cieľmi klimateckej politiky EÚ. Komplexná dekarbonizácia rafinérie, chemického priemyslu a oceliarskeho vrátane DRI. Posilnenie energetickej bezpečnosti a zníženie dovoznej závislosti. Vznik regionálnych centier excelentnosti a nových priemyselných odvetví. Silná integrácia s jadrovou energetikou a OZE s využitím nízkouhlíkovej elektriny z výrobného mixu SR.

Slabé stránky. Veľmi vysoké investičné nároky a potreba dlhodobých záruk. Významné zásahy do sietí a potreba nových vedení a transformačných staníc. Nároky na vodné zdroje a chladenie. Vysoké implementačné riziko a tlak na kapacity štátnej správy.

Príležitosti. Masívny repurposing a výstavba vodíkovodov s prepojením na susedné trhy. Rozvoj dunajských terminálov pre dovoz a export vodíkových komodít. Vznik národného klastru palivových článkov, kompresie a skladovania. Prťahovanie zahraničných investícií do výroby komponentov. Dlhodobé kontrakty pre e–palivá a obnoviteľné produkty s vysokou pridanou hodnotou.

Hrozby. Politická reverzia a nestabilita podpory. Nedostatok európskeho financovania v kritických rokoch. Riziká výstavby a oneskorenia veľkých projektov. Globálna konkurencia a presun priemyslu do regiónov s nižšími nákladmi.

Kritické predpoklady pre scenár NZE a úspešný WAM v horizonte 24 mesiacov

1. Úplná transpozícia RED III, plynového balíčka a metodiky RFNBO a LCF do národného práva vrátane funkčných systémov záruk pôvodu a evidencie uhlíkovej stopy.
2. Zavedenie rámca CfD pre RHNBO a e–palivá s jasnými aukčnými pravidlami a limitmi podpory.
3. PPA a regulačné podmienky pre využitie kapacity VE Gabčíkovo a ďalších obnoviteľných nízkouhlíkových zdrojov pre elektrolýzu.
4. Národný plán infraštruktúry H₂ so scenármi repurposingu siete eustream a dizajnom distribúcie v režii SPP–D.

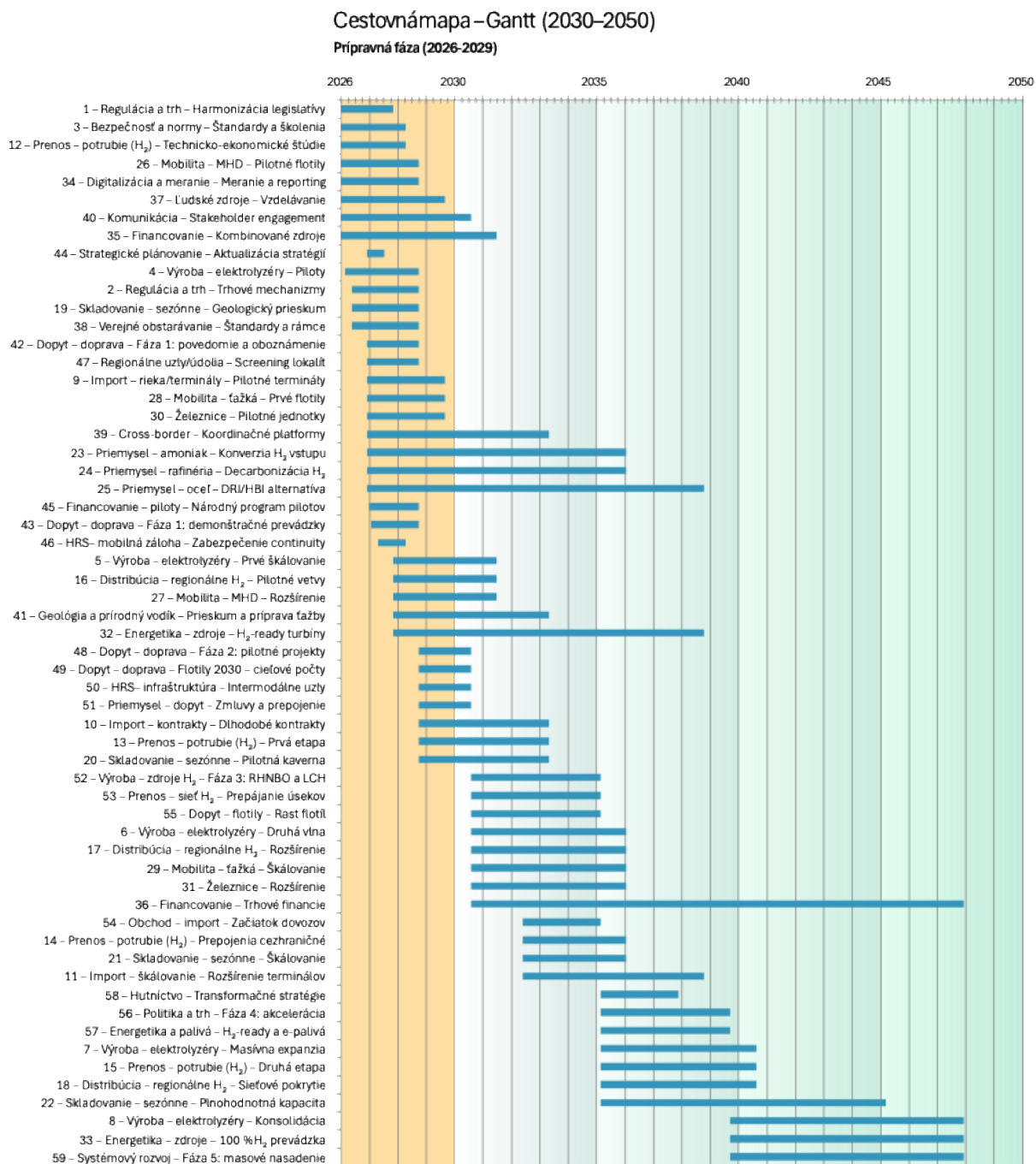
5. Program výstavby do roku 2035 na minimálne 400 MW až 800 MW elektrolyzéro v uzloch s dopytom.
6. Tendre a spolufinancovanie siete H₂ staníc v súlade s AFIR a dopravnými koridormi.
7. Jednotné povoľovanie s garantovanými lehotami a dopracovanie technických noriem pre skladovanie a bezpečnosť.
8. Finančná architektúra pre kombináciu verejných zdrojov a súkromného kapitálu.
9. Program vzdelávania a rekvalifikácie pre prevádzku, údržbu a bezpečnosť.
10. Mechanizmus priebežného monitoringu a revízie scenárov.

Zhrnutie a odporúčanie

WAM je optimálny scenár pre roky 2030 až 2035 (v prípravnej fáze od 2027), ktorý umožní splniť ciele v doprave 2030, ale nie v chemickom priemysle na výrobu amoniaku. Pre zachovanie chemického priemyslu je skôr optimálny scenár WEM, ktorý zabezpečí dostatok času na vývoj potrebných výrobných technológií a technologických riešení a zabezpečí kontinualitu výroby hnojív v Európe.

11.3 ČASOVÁ OS DEKARBONIZÁCIE – CESTOVNÁ MAPA

Cestovnej mape vodíka 2030 – 2050 predchádza prípravná fáza 2026 – 2029. Príloha 14 obsahuje podrobné vysvetlenie cestovnej mapy.



Obrázok 28: Ganttov graf cestovnej mapy vodíka do roku 2050

Zdroj: NVAS

12 SPOLOČENSKÉ A EKONOMICKÉ DOPADY

12.1 ZAMESTNANOSŤ A VZDELÁVANIE

Rozvoj vodíkových technológií v spoločnosti znamená vytvorenie predpokladov na **nové druhy profesií** a tým aj na rozvoj zamestnanosti. Aj keď sa v podstate nejedná o nové oblasti v energetickom hospodárstve, je potrebné doplnenie vedomostí a znalostí predovšetkým v nových technológiách a manipulácie s vodíkom. Ide predovšetkým o oblasti dopravy a skladovania vodíka, kde je potrebné upriamiť pozornosť na bezpečnosť a využitie vodíka a je nutné zohľadniť výbušnosť vodíka pri zmiešaní so vzduchom.

V súvislosti s prípravou odborníkov pre projektovanie a využívanie vodíkových technológií bude nutné na druhom a treťom stupni vzdelávania doplniť študijné plány v študijných odboroch energetického charakteru o relevantné oblasti. Je pravdepodobné, že nebude potrebné zriaďovať nové odbory. Pôjde predovšetkým o to aby sa mladej generácii na rôznych stupňoch vzdelávania (stredoškolské a vysokoškolské) pre ich uplatnenie na pracovnom trhu sprostredkovali vedomosti a znalosti, charakterizujúce vlastnosti vodíka. Dôležitou oblasťou musí byť zdôraznenie jeho miesta pri zabezpečení nízkoemisnej príp. bez emisnej spoločnosti, definovanie oblasti priemyslu, kde je možné v tomto kontexte výhodne použiť vodík. Súčasne je potrebné sprostredkovať informácie aj o tendenciách využívania vodíka v iných oblastiach napr. v medicíne.

VZDELÁVANIE

V oblasti vzdelávania je vhodné upriamiť pozornosť aj na možnosti **kontinuálneho vzdelávania** a tým vytvoriť predpoklady pre **rekvalifikácie** súčasných odborníkov v oblasti energetiky. V tejto súvislosti sa javí ako efektívna možnosť vytvorenie ponuky kurzov zo strany vysokých škôl v spolupráci s Národnou vodíkovou asociáciou (NVAS). Možnosť zapojenia do systému ďalšieho vzdelávania je v Slovenskej republike predovšetkým na Technickej univerzite v Košiciach, Žilinskej univerzite v Žiline a na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave. Pre túto oblasť vzdelávania je možné vytvárať aj kolektívy lektorov z praxe /úspešné prípadové štúdie/ a to aj zo zahraničia v rámci spolupráce s Hydrogen Európe a NVAS.

Spoločenský dopad môže mať synergický efekt práve s efektívnym vzdelávaním, a to nielen v hlavnej úlohe z technickými univerzitami, ale aj s už teraz pripravovanými VOC tréningami na stredných odborných školách v spolupráci so zahraničnými inštitúciami, dominujúcimi v EU v smart energetike (Španielsko, Portugalsko, Poľsko). Tu je dôležitá podpora nielen na úrovni štátu, ale hlavne regionálnych samospráv, ktoré majú pod záštitou práve stredné školy a vedia participovať na EU projektoch (napr. Košický samosprávny kraj a Vodíkové údolie s investíciou do 40 mil. Eur). K tomu sa radi pridajú smart investori (zväčša zahraniční, ale aj lokálne naviazaní na reťazec subdodávateľov), pretože opäť je to synergický efekt a dobrá reklama pre nich a hlavne viditeľné pre verejnosť (vodíková loď na Zemplínskej Šírave, smetiarske auto na H2 pohon, doprava H2 autobusom na letisko atď.). Tu ľudia reálne pocítia zmenu k lepšiemu (nehlukná loď, autobus bez exhalátov a pod.)

Vo vzdelávaní budú dominovať výskumné univerzity, väčšinou technického zamerania, ktoré majú dostatočné kapacity na úrovni senior odborníkov z dlhoročnou praxou s vodíkovými technológiami a ktoré by participovali na vzdelávaní formou praktických tréningov s garanciou. Tie vedia zapojiť aj mladých výskumných pracovníkov a PhD študentov, už teraz rastie ich počet, ale nepresiahne 100 odborníkov na celom Slovensku do 2030.

Cieľom nie je ani tak vytvoriť kvantitu v počte pracovných miest, ale **využiť efektívne nástroje a moderné prístupy** (AI, VR, AR, IoT, senzory atď.) tak aby prevádzka vodíkových technológií bolo hlavne bezpečná. Príklad za všetky výroba obnoviteľného vodíka v dedine [Gösgen](#) vo Švajčiarsku, kde ju obsluhuje 1 dôchodca – technik a 1 mladý výskumný pracovník (súčasťou je kontajnerová nádrž pre uskladnenie vodíka pre tankovanie 30 kamiónov).

Nástupom IT technológií a automatizácie, AI dôjde k zániku niektorých profesií, a tu je príležitosť ich rekvalifikácie. V budúcom roku napr. projekt SkillBill on-line vzdelávania v kombinácii s prednáškami na odborných školách vyučí minimálne po 15 študentov vo vodíkových technológiách na minimálne 2 odborných školách. Ten istý počet možno očakávať v nasledovných 2–3 rokoch. Celé nové študijné odbory pre vodíkové technológie budú vznikať len raritne, skôr pôjde o ciele doktorandské štúdium v špecifickej oblasti vodíkových technológií s odhadom počtu jemne presahujúceho okolo 20 PhD. pre celé Slovensko v najbližšom 4 ročnom období. U bakalárskeho a inžinierskeho štúdia pôjde skôr o jednotlivé predmety, ktoré budú inkorporované do študijných programov týkajúcich sa smart energetiky alebo iného tematického zastrešenia.

ZAMESTNANOSŤ

Rozvoj vodíkového hospodárstva predstavuje nielen technologickú a energetickú transformáciu, ale aj významnú príležitosť pre trh práce. Sektor vodíka sa stáva novým zdrojom zamestnanosti, ktorý prepája výrobu, distribúciu, výskum a aplikácie v priemysle a doprave. Postupná industrializácia a implementácia vodíkových riešení si vyžiada rastúci počet kvalifikovaných odborníkov, nové profesie a rozsiahlu rekvalifikáciu pracovnej sily.

Perspektíva zamestnanosti vo vodíkovom sektore je úzko spojená s transformáciou automobilového priemyslu, výrobou zariadení a komponentov, vývojom infraštruktúry a rozvojom dodávateľsko–odberateľských reťazcov. V horizonte do roku 2040 má vodíkový sektor na Slovensku potenciál vytvoriť viac než 2300 pracovných miest, a to nielen vo výrobe, ale aj v oblasti výskumu, vzdelávania, verejnej správy a tretieho sektora.

Dopyt po pracovnej sile bude najmä:

- a) pri výstavbe a obsluhu všetkých článkov dodávateľského reťazca vodíka – rekvalifikácia a nové pozície
- b) vo výrobných závodoch zariadení a komponentov pre vodíkový sektor – spočiatku ide o malé a stredné firmy

Súčasný stav:

Dopyt po pracovnej sile vo vodíkovom sektore sa sústreďuje na výstavbu a obsluhu všetkých článkov dodávateľského reťazca, čo si vyžaduje rekvalifikáciu a nové pracovné pozície. Významný je aj segment výroby zariadení a komponentov, kde v súčasnosti dominujú malé a stredné podniky. Existujú pilotné projekty s výskumno–vývojovými tímami, napríklad:

- **Tomark Proton** – výroba H₂ VTOL a vysokotlakových nádob pre letectvo (> 15 zamestnancov).
- **Rosero** – výroba midi autobusov (> 3 zamestnanci).
- **Mobility and Innovation Production** (> 10 zamestnancov).
- **Veolia** – projekt v Žiari nad Hronom (> 5 zamestnancov).
- **Slovnaft** – projekt dekarbonizácie výroby palív (kumulované funkcie viacerých zamestnancov)
- **Duslo** – projekt dekarbonizácie výroby minerálnych hnojív a močoviny (kumulované funkcie viacerých zamestnancov)
- a ďalšie

Okrem toho sú približne 4 projekty vo fáze prípravy a povoľovania, pričom každý zamestnáva minimálne 3 pracovníkov.

Dopyt:

Rastúce požiadavky na kvalifikovanú pracovnú silu vo výrobe, montáži a údržbe vodíkových technológií, ako aj v oblasti výskumu a vývoja.

Vízia:

Vytvoriť podmienky pre veľkosériovú produkciu vodíkových zariadení a komponentov, prepojenú s transformáciou automobilového priemyslu na Slovensku. Príkladom je potenciál spoločnosti **Kia Slovakia**, kde by mohla vzniknúť výroba palivových článkov pre európske automobilky Kia–Hyundai.

Cieľ:

Podpora vytvárania pracovných miest v strategických segmentoch vodíkového hospodárstva s potenciálom viac ako 300 pracovníkov v nových výrobných kapacitách.

Potenciál do roku 2040:

Počet pracovných miest bude závisieť od intenzity rozvoja vodíkového ekosystému a do roku 2040 sa môže pohybovať od stoviek po tisíce s orientačným potenciálom približne 2 000 až 2 500, a to najmä v oblastiach dodávateľsko–odberateľského reťazca, výroby zariadení a komponentov, výskumu a vzdelávania, štátnej správy a samosprávy a tretieho sektora a podporných služieb.

Odporúčania:

1. **Vzdelávanie a rekvalifikácia** – rozvoj špecializovaných študijných programov a kurzov v oblasti vodíkových technológií, prepojenie univerzít s priemyslom. Podporiť na úrovni MŠVaV, MIRRI a MH SR šírenie existujúcich iniciatív školení v čistých technológiách vrátane vodíka v rámci „vacational“ tréningov, preškolení (napr. pod už existujúcimi STEM aktivitami na Stredných školách) a pri Inovačných centrách samospráv
2. **Podpora malých a stredných podnikov** – grantové schémy a investičné stimuly pre výrobcov zariadení a komponentov.
3. **Integrácia do automobilového priemyslu** – vytvoriť podmienky pre lokalizáciu výroby palivových článkov a komponentov na Slovensku.
4. **Podpora výskumu a inovácií** – financovanie pilotných projektov, najmä IPCEI a technologických centier.
5. **Spolupráca so samosprávami** – príprava regionálnych stratégií zamestnanosti pre sektor vodíka.
6. **Budovanie kompetencií v štátnej správe** – odborné školenia pre implementáciu legislatívy a koordináciu projektov.
7. **Rozvoj tretieho sektora** – posilniť úlohu združení a neziskových organizácií v oblasti osvetovej činnosti a spolupráce s priemyslom.

12.2 REGIONÁLNA SPRAVODLIVOSŤ A TRANSFORMAČNÝ POTENCIÁL

VYUŽITIE VODÍKOVÝCH PROJEKTOV A KONCEPT VODÍKOVÝCH ÚDOLÍ V REGIONÁLNOHOM ROZVOJI A TRANSFORMÁCII PRIEMYSLU

Implementácia vodíkových projektov môže predstavovať významný nástroj transformácie hospodárstva, pričom osobitný dôraz by mal byť kladený na bývalé uhoľné regióny a územia s vhodnými prírodnými a technickými podmienkami. Ide predovšetkým o oblasti s výdatným zdrojom vody a súčasne prístupom k lacnej čistej energii, ako sú Gabčíkovo, Liptovská Mara alebo Zemplínska Šírava. Tieto lokality môžu poskytnúť stabilné zázemie pre rozvoj výroby zeleného vodíka a jeho derivátov, čím sa vytvorí základ pre nové investície a udržateľný regionálny rozvoj.

Rozvoj vodíkových projektov by mal byť postavený na synergii s ostatnými priemyselnými a energetickými odvetvami. Významné príležitosti poskytujú solárne parky inštalované na

priemyselných, poľnohospodárskych a obecných budovách, ktoré umožňujú decentralizovanú výrobu energie. Ďalší potenciál je vo veterných parkoch, pričom ich plné využitie si vyžaduje legislatívne uvoľnenie v oblasti povoľovacích procesov a priestorového plánovania. Mimoriadne perspektívne sú aj existujúce vodné elektrárne, ktoré pri minimálnych dodatočných investíciách môžu zabezpečiť stabilný a prakticky nevyčerpatelný zdroj obnoviteľnej energie na dennej báze.

Pre úspech transformácie je potrebné nadviazať na už realizované investície v regiónoch, ako sú nové fabriky na výrobu tepelných čerpadiel, batérií a iných zariadení pre čisté technológie. Tieto projekty už vytvorili infraštruktúru, pracovné príležitosti a spoločenskú akceptáciu, pričom verejnosť, a osobitne mladí ľudia, prešli školeniami a odbornou prípravou v oblasti udržateľných technológií. Tento pozitívny kontext predstavuje strategickú výhodu pri zavádzaní vodíkových iniciatív, keďže je možné stavať na existujúcich skúsenostiach, dôvere obyvateľstva a pripravenosti pracovnej sily.

Koncept vodíkových údolí môže vytvoriť pevný základ pre transformáciu regiónov, miest a obcí, a to prostredníctvom budovania kompletných dodávateľsko–odberateľských reťazcov vodíka. Primárne využitie sa bude orientovať na sektor dopravy, pričom s postupným technologickým a infraštruktúrnym rozvojom sa otvoria možnosti aj pre jeho širšie uplatnenie v energetike.

TRANSFORMAČNÝ POTENCIÁL PRE STAGNUJÚCE SEKTORY:

Vodík môže zohrať kľúčovú úlohu pri modernizácii a dekarbonizácii sektorov, ktoré čelia stagnácii v dôsledku externých vplyvov:

- **Ťažký priemysel (hutníctvo, chemický priemysel, rafinérie):** využitie vodíka ako redukčného činidla v hutníckych procesoch, ako suroviny v chemickom priemysle a ako náhrady fosílnych palív v rafinérskych procesoch umožní výrobu nízkoemisných produktov pre nové trhy.
- **Automobilový sektor:** vodík umožní transformáciu výroby smerom k nízkoemisným komponentom a vozidlám, vrátane integrácie palivových článkov a výroby pre nové odberateľské sektory.

Transformácia týchto odvetví je investične mimoriadne náročná, preto je nevyhnutné využiť všetky dostupné nástroje, najmä finančné prostriedky Európskej únie, aby si slovenský priemysel zachoval konkurencieschopnosť aj v nasledujúcich dekádach pri súčasnom znížení environmentálneho vplyvu.

VÝZNAM PRE REGIÓNY:

Udržanie a transformácia veľkých priemyselných prevádzok majú zásadný dopad na kvalitu života v regiónoch. Tieto závody sú väčšinou situované na okrajoch miest a obcí a predstavujú kľúčových zamestnávateľov a zdroje príjmov pre miestnu ekonomiku. Investície do ich modernizácie prostredníctvom vodíkových technológií tak nielen znižujú emisie, ale zároveň posilňujú sociálnu a hospodársku stabilitu regiónov.

ŠIRŠIE PRÍNOSY KONCEPTU VODÍKOVÝCH ÚDOLÍ:

- Akcelerácia infraštruktúry: rozvoj vnútroštátnej a cezhraničnej distribučnej siete.
- Integrácia OZE: flexibilné zapájanie solárnej, veternej a vodnej energie.
- Lokálna elektrifikácia: zníženie nákladov na rozvoj prenosových sietí a zvýšenie energetickej sebestačnosti.
- Synergie: prepojenie dopravy, priemyslu a energetiky do funkčných ekosystémov.

ODPORÚČANIA PRE REGIONÁLNU A PRIEMYSELNÚ POLITIKU:

1. Identifikovať a prioritne podporovať regióny s vhodnými podmienkami pre rozvoj vodíkových údolí a transformáciu ťažkého priemyslu.
2. Vytvoriť mechanizmy pre systematické čerpanie prostriedkov z fondov EÚ na dekarbonizáciu investične náročných prevádzok.
3. Integrovať vodíkové riešenia do transformačných plánov hutníctva, chemického priemyslu a rafinérií.
4. Podporiť automobilový priemysel pri lokalizácii výroby palivových článkov a komponentov pre európske trhy.
5. Posilniť klastre priemyselných podnikov a technologických centier, ktoré umožnia spoločné využívanie infraštruktúry a znalostí.
6. Zabezpečiť komunikáciu s verejnosťou a samosprávami, aby sa zvýšila akceptácia a pochopenie transformačných projektov.

12.3 VPLYV NA ZDRAVIE A KVALITU ŽIVOTA

Rozvoj vodíkových technológií má priamy dosah na zlepšenie životných podmienok obyvateľstva a kvalitu životného prostredia. Zmena energetického a priemyselného mixu smerom k využívaniu vodíka ako bezemisného paliva prináša pozitívne efekty nielen v oblasti klimateckej politiky, ale aj v každodennom živote občanov.

ZLEPŠENIE KVALITY OVZDUŠIA

Najväčší prínos prináša zníženie priamych emisií z dopravy, najmä v mestskom prostredí. Nahradenie spaľovacích motorov autobusov, nákladných vozidiel a komunálnej techniky vodíkovými pohonmi eliminuje lokálne emisie oxidu dusíka (NO_x), oxidu siričitého (SO₂) a pevných častíc (PM), ktoré sú významným zdrojom zdravotných problémov ako astma, kardiovaskulárne ochorenia či chronické respiračné choroby. Čistejšie ovzdušie sa premieta do nižšej chorobnosti, predĺženia strednej dĺžky života a zníženia nákladov na zdravotnú starostlivosť.

REDUKCIA HLUČNOSTI A VIBRÁCIÍ

Vodíkové autobusy, vlaky a komunálne vozidlá generujú výrazne nižšiu hlučnosť a prakticky zanedbateľné vibrácie v porovnaní s dieselovými motormi. To má pozitívny vplyv na kvalitu života v mestách – znižuje stres obyvateľov, zlepšuje spánok a celkový komfort. Tiché a čisté dopravné prostriedky prispievajú k atraktívnejšiemu mestskému prostrediu a zvyšujú jeho obývateľnosť.

ZNÍŽENIE EMISIÍ V PRIEMYSELE

Vodík zohráva významnú úlohu aj pri transformácii ťažkého priemyslu, hutníctva, chemického priemyslu a rafinérií. Nahradenie uhlia a zemného plynu vodíkom v technologických procesoch umožní výrazne znížiť emisie CO₂ a ďalších škodlivín. Dekarbonizovaný priemysel bude menej zaťažovať lokálne prostredie a prispeje k zlepšeniu životných podmienok v priemyselných regiónoch, ktoré sú dnes vystavené zvýšenej environmentálnej záťaži.

PRECHOD NA ZNALOSTNÚ EKONOMIKU A ZAMESTNANOSŤ

Postupné preorientovanie sa na znalostnú ekonomiku vďaka rozvoju výskumu, vývoja a inovácií v oblasti vodíkových technológií zvýši hodnotu práce a zamestnanosť v profesiách s vyššou kvalifikáciou. Vodíkový ekosystém ponúkne nové príležitosti pre mladých absolventov technických a

prírodovedných odborov, čím zmierni odliv talentov do zahraničia. Zároveň má potenciál prilákať späť špičkových odborníkov, ktorí už pôsobia v zahraničí – príkladom je spoločnosť **Tomark Proton**, ktorá dokázala integrovať odborníkov s medzinárodnými skúsenosťami do svojich inovatívnych projektov.

ZMIERNENIE KLIMATICKÝCH ZMIEN A KVALITA ŽIVOTA

Vodík ako bezemisné palivo prispieva k znižovaniu skleníkových plynov a tým aj k zmierneniu dôsledkov klimatických zmien. Zníženie extrémnych teplôt, zlepšenie kvality pôdy a vody či nižšie riziko prírodných katastrof sú priamymi environmentálnymi benefitmi, ktoré majú sekundárne pozitívny vplyv na zdravie a život obyvateľstva.

ZHRNUTIE

Rozvoj vodíkového hospodárstva predstavuje komplexný prínos pre zdravie a kvalitu života. V mestách prinesie čistejšie ovzdušie, nižší hluk a komfortnejšie prostredie, v priemyselných regiónoch dekarbonizáciu a zníženie environmentálnych záťaží. Zároveň ponúkne príležitosti pre mladých ľudí a vytvorí podmienky pre návrat slovenských odborníkov zo zahraničia, čím posilní ľudský kapitál krajiny. Na národnej úrovni podporí znalostnú ekonomiku a priamo prispeje k zmierneniu klimatických zmien, čím zlepší životné podmienky súčasných i budúcich generácií.

13 NÁVRHY A ODPORÚČANIA

13.1 NÁRODNÉ PRIORITY

Odporúčanie hlavných priorít rozvoja vodíkového ekosystému v podmienkach Slovenskej republiky pri zohľadnení scenára WAM a pre chemický priemysel WEM.

ODPORÚČANIE HLAVNÝCH PRIORÍT ROZVOJA VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY PRI ZOHLADNENÍ SCENÁRA WAM.

POLITICKÉ PRIORITY:

1. **Domáca politika: Budovaním domácej výroby vodíka zabezpečiť zníženie závislosti na dovoze fosílnych palív, ktoré sa stávajú kriticky nepredvídateľné z hľadiska ceny a dostupnosti.** Diverzifikovať importné kanály obnoviteľných palív.
2. **Vytváranie výhodných podmienok pre investorov v oblasti výroby zariadení a komponentov pre vodíkové hospodárstvo.**
3. **Zahraničná politika: Podpora budovania výrobných klastrov vodíka v tretích krajinách a podporiť dovoz čistých energetických vektorov a polotovarov:** Nadviazať partnerskú spoluprácu v tretích krajinách pre vybudovanie výrobných klastrov vodíka a jeho derivátov aj s možnosťou výroby polotovarov pre transformáciu ťažkého priemyslu na priemysel finalizácie výrobkov s vyššou pridanou hodnotou. Zabezpečiť tak cenovo dostupný vodík pre transformáciu priemyslu dopravy a tepelného hospodárstva na bezuhlíkové.
4. **Budovať importné kanály vodíka do SR.**
5. Na úrovni EÚ **navrhnuť revíziu smernice RED III**, ktorá zrealizuje ciele využívania obnoviteľného vodíka. Prehodnotiť ciele pre strategický priemysel v EÚ – chemický, oceliarsky a petrochemický v nadväznosti aj na obranný priemysel a jeho ciele.

PRE ROZVOJOVÚ FÁZU 1 A 2 (2026 –2029)

1. Vytvoriť komplexný **legislatívny a regulačný rámec pre podporu vodíkových technológií**.
2. **Realizovať národný projekt** pre budovanie povedomia o benefitoch vodíkových technológií pre spoločnosť. Vypracovanie a implementovanie komunikačnej stratégie v SR pre akceptáciu vodíkového ekosystému vo verejnosti. Zriadenie koordinačného pracoviska vodíkových technológií na MH SR. Úlohou pracoviska bude koordinovať a monitorovať realizáciu opatrení v celom hodnotovom reťazci vodíka ako aj komunikácia s partnermi v zahraničí. Realizovať projekt testovania ťažkej FC dopravy v dopravných podnikoch. Autobus, ťahač, vlaková súprava, mobilná čerpacia stanica, zdroj vodíka, obsluha, zaškolenie a servisné zázemie. Vypracovať štúdie nasadenia vodíkovej mobility na cestnú a železničnú sieť.
3. Definovať a zabezpečiť **realizáciu podporných opatrení** rôzneho typu formou konkrétnych projektových schém. Medzi zásadné patrí finančná podpora a tvorba podporných schém na vybudovanie vodíkových uzlov a údolí. napr. Prioritne podporovať **komplexné projekty** formou výhod, najmä v prípade **synergických efektov** (využitie odpadového tepla z elektrolyzéra pri výrobe vodíka, uľahčiť povoľovanie výroby vodíka z odpadu). Vypracovať finančné mechanizmy na splnenie cieľov EÚ, využívať formu rozdielových zmlúv (CfD).
4. **Umožniť dofinancovať všetky projekty IPCEI** a zamerať sa najmä povoľovací proces úpravy potrubnej infraštruktúry transportného potrubia na vodíkové.
5. Vytvoriť podmienky pre **transformáciu súčasných dodávateľských reťazcov** automotive na vodíkové komponenty a zariadenia (tlakové nádoby, kompresory, čerpadlá, chladiče, potrubné systémy, senzory, FC a ELY bez vzácnych kovov...
6. **Zabezpečiť financovanie pre základnú čerpaciu infraštruktúru vodíka podľa nariadenia AFIR – 7 čerpacích staníc** (Program Slovensko, Modernizačný fond) a verejnú dopravu a čiastočne výrobu vodíka a nákladnú dopravu.
7. V spolupráci s brokerskými centrami na SAV (napr. Promatech – Centrum pre pokročilé materiály a technológie, CEMEA), Inovačnými centrami v samosprávnych krajoch (KE, BB, BA, ZA, TN, TT, PO), Vedeckými parkami pri univerzitách za mentoringu profesných asociácií a priemyselných partnerov **vytipovať TOP 5 inovačných nápadov** z oblasti vodíkových technológií vo fáze TRL4–5 a na základe EU Start-up and Scale-up stratégie EK podporiť špeciálnym fondom tak, aby výsledkom bolo rozvinutie technológie do TRL8 a priemyselnej aplikácie s tvorbou pracovných miest s vysokou pridanou hodnotou.

PRE ROZVOJOVÚ FÁZU 3 – 4 (2030 AŽ 2039)

8. **Realizovať komplexnú dekarbonizáciu chemického priemyslu a oceliarskeho priemyslu.** Pri kompletnej dekarbonizácii môže ale prísť k odstaveniu výroby močoviny a tým pádom aj výroby Adblue. Výroba amoniaku sa dostupnou technológiou nebude vedieť v časovom horizonte ešte prispôsobiť potrebám dekarbonizácie a môže prísť k jej odstaveniu. Návrh pre tento sektor je určite scenár WEM.
9. Realizovať schému širokého nasadenia bezemisných vodíkových autobusov a vlakov na základe vhodnosti nasadenia podľa výsledkov komparatívnych analýz bezemisných pohonov v jednotlivých druhoch dopravy.
10. Vytvoriť podmienky pre opatrenia znižovania emisií v letectve.
11. **Investovať do veľkých a komplexných vodíkových projektov tam, kde je najväčší potenciál** – t.j. dostupnosť lacnej vodnej, solárnej, veternej energie, dostatočné rezervy vody, zároveň prítomnosť odborných kapacít (Univerzita, SAV) a podpory regionálnej samosprávy, t.j. celého „quadruple helix“

12. Zamerať sa **sektor vykurovania a chladenia budov a náhradu zemného plynu za vodík** alebo zmes vodíka so ZP. V oblasti využívania vodíka sa ukazuje ako možná oblasť **tepelné hospodárstvo** pre jednotlivé regióny SR, kde sa v súčasnosti využíva fosílna palivo.
13. V rámci mobilných vodíkových technológií sa javí ako efektívna **železničná doprava** hlavne pre regióny, kde je elektrifikácia nemožná príp. neefektívna – smery zo Severu na Juh Vrútky–Nitra alebo z Východu na Západ južnou trasou Margecany – Červená Skala – Zvolen. Súčasne s tým sa musí projektovať plniaca vodíková štruktúra tak, aby bolo možné zvažovať aj systémy vodíkovej integrovanej dopravy, ktorá zahŕňa železničnú dopravu, autobusovú diaľkovú dopravu, prepravu pomocou kamiónov a účelové dopravné prostriedky z oblasti komunálnych aktivít.

PRE ROZVOJOVÚ FÁZU 5 (2040 AŽ 2050)

14. Podľa geopolitického vývoja a technologického napredovania alternatívnych bezemisných riešení zdôrazniť, alebo zastabilizovať rozvoj vodíkového ekosystému pre dosiahnutie NZE scenára.

13.2 ZEFEKTÍVNENIE POVOĽOVACÍCH PROCESOV

Identifikácia úzkych miest a návrh opatrení na urýchlenie výstavby. Odporúčania pre úspešnú implementáciu projektov.

OZE A VODÍK

V minulosti patrili medzi najväčšie **obmedzenia rozvoja obnoviteľných zdrojov energie** a tým aj potenciálnej výroby RFNBO na Slovensku **komplikované a zdĺhavé povoľacie procesy**, spôsobené predovšetkým kombináciou environmentálneho posudzovania a stavebného konania, nedostatočnou koordináciou medzi úradmi a nízkou úrovňou digitalizácie, čo viedlo k viacročnej príprave projektov a odradzovalo investorov. Od 1. apríla 2025 však vstúpila do platnosti nová legislatíva – stavebný zákon č. 25/2025 Z. z. a novela zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie účinná od 1. apríla 2025 ([zákon č. 25/2025 Z. z.](#), [zákon č. 24/2006 Z. z.](#)), ktorá prináša zásadnú reformu povoľovacích procesov. Nový právny rámec zavádza **digitalizované a integrované povoľovanie, v ktorom sa spájajú územné, stavebné a environmentálne procesy do jedného konania** s cieľom znížiť administratívnu záťaž, urýchliť rozhodovanie a zvýšiť právnu istotu investorov. Zákon zároveň stanovuje presné lehoty pre rozhodovanie orgánov verejnej správy a umožňuje elektronické podanie a sledovanie žiadostí prostredníctvom centrálného informačného systému výstavby. Reforma má zásadný význam pre rozvoj energetickej infraštruktúry vrátane zariadení na výrobu, skladovanie a distribúciu vodíka, pretože umožní efektívnejšiu koordináciu medzi úradmi a potenciálne aj vytváranie akceleračných zón, v ktorých sa výstavba OZE a vodíkových zariadení realizuje v zrýchlenom povoľovacom režime. Zároveň však ostáva nevyhnutné doriešiť otázky certifikácie a bezpečnostných požiadaviek pre vodík, najmä v súvislosti s jeho výrobou, skladovaním a dopravou. Povoľovacie procesy musia reflektovať osobitné požiadavky protipožiarnej bezpečnosti, keďže vodík ako horľavá a výbušná látka predstavuje špecifické riziká vyžadujúce jasné technické normy, postupy hodnotenia rizík a preškolenie príslušných orgánov a záchranných zložiek. Dôležitou súčasťou nového rámca ostáva aj transparentná komunikácia s verejnosťou a včasné zapojenie obyvateľov dotknutých území, ktoré sú kľúčové pre akceptáciu a stabilitu investícií do dekarbonizačných projektov.

13.3 FINANČNÉ NÁSTROJE A PODPORNÉ MECHANIZMY

Táto kapitola poskytuje prehľad o existujúcich finančných mechanizmoch EÚ, rámcov štátnej pomoci pre podporu a financovanie a navrhuje metódy efektívnejšej a implementácie EÚ podporných mechanizmov a rámcov štátnej pomoci pre vodíkové projekty v podmienkach SR

PREHĽAD EXISTUJÚCICH FINANČNÝCH MECHANIZMOV EÚ FINANCUJÚCE VODÍKOVÉ PROJEKTY

Rozvoj OZE, výroby RFNBO a celého vodíkoveho reťazca je neoddeliteľne spätý s dostupnosťou finančných zdrojov a stabilným rámcom podpory. Slovensko má k dispozícii európske zdroje, predovšetkým Modernizačný fond, Plán obnovy a odolnosti, Kohézne fondy a Európsky fond regionálneho rozvoja. Tieto finančné nástroje sú doplniteľné národnými podpornými schémami, ktoré musia byť nastavené tak, aby vytvorili predvídateľné a dlhodobé prostredie pre investorov.

Zásadným opatrením by malo byť **zavedenie aukcií na dvojsmerné zmluvy typu contracts for difference (CfD)**, ktoré predstavujú moderný a transparentný trhovo orientovaný mechanizmus podpory. Tento prístup minimalizuje riziká pre investorov, zaručuje im stabilitu príjmov, a zároveň chráni koncových odberateľov pred nadmernými nákladmi v období vysokých trhových cien. Národná podpora by mala zahŕňať aj daňové zvýhodnenia pre investície do odbytu vodíka, akumulácie a decentralizovanej výroby, ako aj špecifické programy pre samosprávy a energetické komunity.

Súčasťou tejto podpory by malo byť aj vyčlenenie finančných prostriedkov na tvorbu **legislatívy, technických noriem a výskumných projektov** zameraných na návrh požiadaviek **protipožiarnej bezpečnosti** vodíkových technológií. Pri príprave legislatívy a noriem je nevyhnutné zabezpečiť aktívnu účasť odborníkov z praxe, vedeckých inštitúcií a bezpečnostných zložiek, aby sa dosiahla vysoká úroveň technickej a prevádzkovej bezpečnosti v súlade s európskymi štandardmi.

Inovačný fond

Grantová podpora projektov prvého industriálneho nasadenia, demonštračných projektov zeleného vodíka v oblasti výroby, prepravy, uskladnenia a využitia v priemysle.

- Hydrogen Bank/Hydrogen Auction spravovaný DG Clima – súťaž o fixnú prémiiu za kg vyrobeného zeleného vodíka

Horizon Europe – Klíma, Energia a Mobilita

Podpora vývoja, testovania a pilotných inštalácií vodíkových technológií, vrátane distribučnej infraštruktúry vodíka.

- Clean Hydrogen Joint Undertaking – spoločná iniciatíva EK, priemyslu a výskumných inštitúcií na podporu výskumu, vývoja a pilotných projektov od výroby po skladovanie a distribúciu vodíka.

Ten-E a CEF (Connecting Europe Facility) – Energy

- Projekty prepravy a skladovania vodíka zaradené do zoznamu PCI (Projects of Common Interest) alebo PMI (Projects of Mutual Interest)
- Budovanie európskej energetickej infraštruktúry vrátane vodíkových trás, potrubných trás a prepojovacích bodov naprieč štátmi EÚ

REEPower EU & Just Transition Fund (JTF)

- Podpora dekarbonizačných projektov v energetike, ktorá zahŕňa financovanie výroby zeleného vodíka v regiónoch, kde prebieha transformácia.

European Investment Bank (EIB) + InvestEU

- Poskytovanie výhodných úverov a garancií pre veľké infraštruktúrne a priemyselné investície, pričom InvestEU aj pre inovatívne projekty.

IPCEI on Hydrogen (Important Project of Common European Interest)

Koordinované projekty viacerých členských štátov, schvaľované EK podľa pravidiel štátnej pomoci s možnosťou priebežného pristupovania partnerov do schválených projektov:

- IPCEI Hy2Tech (vodíkové technológie a komponenty)
- IPCEI Hy2Use (priemyselné využitie vodíka a infraštruktúra)
- IPCEI Hy2Infra (vodíkové infraštruktúrne projekty a potrebné trasy)
- IPCEI Hy2Move (vodíkové technológie v oblasti mobility)

PREHLAD RÁMCOV ŠTÁTNEJ POMOCI PRE PODPORU A FINANCOVANIE VODÍKOVÝCH PROJEKTOV

CISAF (Clean Industry State Aid Framework)

- Rámec štátnej pomoci pre priemyselné podniky na investície do čistých technológií a dekarbonizácie výroby (podpora výroby a využitia najmä zeleného alebo nízkouhlíkového vodíka)
- Podpora určená na zníženie nákladov vo forme dotácií, daňových úľav a iných foriem pomoci.
- Podpora sa poskytuje prostredníctvom výziev/schém alebo ako individuálna pomoc schválená EK.

CEEAG (Consolidated energy and environmental Aid guidelines) a GBER (General Block Exemption Regulation)

- Rámec štátnej pomoci pre podporu projektov výroby, prepravy, uskladnenia a využitia zeleného alebo nízkouhlíkového vodíka.
- Pomoc sa poskytuje z národných zdrojov alebo ESIF prostredníctvom schém pomoci alebo ako individuálna pomoc cez GBER alebo ad hoc pomoc cez CEEAG schválená EK.

NÁVRH VYUŽITIA A IMPLEMENTÁCIE EÚ PODPORNÝCH MECHANIZMOV A RÁMCOV ŠTÁTNEJ POMOCI PRE VODÍKOVÉ PROJEKTY V PODMIENKACH SR

- Koordinácia na národnej úrovni, strategické plánovanie a mapovanie potenciálnych projektov v SR
- Znalosť a prístup k programom a rámcom štátnej pomoci za účelom väčšieho využívania programov EU
- Podpora prípravy a predkladania projektov a medzinárodnej spolupráce firiem a výskumných tímov

13.4 REGULAČNÉ NÁSTROJE

Odporúčania zmien regulačného prostredia

Regulačné prostredie je jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich tempo rozvoja nových OZE a budúcich projektov od výroby, cez distribúciu a skladovanie až po využívanie vodíka. Súčasný stav regulačného prostredia na Slovensku sa vyznačuje častými zásahmi úradu do predpisov a zmeny najmä v cenovej regulácii pripojenia a prístupu do siete, čo odrádza investorov a komplikuje plánovanie nových projektov.

Nové OZE

Problémom je v súčasnosti najmä spôsob stanovenia pripojovacieho poplatku, ktorý je neprimerane vysoký vzhľadom na náklady prevádzkovateľa sústavy na jej úpravu alebo rozšírenie. Druhou a ešte väčšou prekážkou rozvoja je existencia poplatku za prístup do sústavy pre komerčné utility-scale zdroje, ktorý sa odvíja od rezervovanej kapacity na dodávku do siete. V praxi tento poplatok

predstavuje pre projekty OZE významný finančný záväzok, keďže ide o opakujúce sa náklady, ktoré je potrebné uhrádzať počas celej prevádzky zariadenia, a to bez ohľadu na to, či dané zariadenia aktuálne vyrába a dodáva elektrinu do distribučnej sústavy (prípadne v akom množstve) alebo nie. Ak sa výška tohto poplatku zvyšuje, priamo to ovplyvňuje čistú ziskovosť projektov a tým aj celkovú ekonomickú udržateľnosť. Nedostatočná transparentnosť pri metodike stanovovania tohto poplatku komplikuje finančné plánovanie a môže viesť k nepredvídateľným výkyvom v celkových prevádzkových nákladoch projektu.

Pre podporu OZE je preto potrebné reformovať cenovú reguláciu pripojenia a prístupu, ktorá musí byť transparentná a predvídateľná. Stabilita cien a sieťových taríf je nevyhnutná nielen pre investorov, ale aj pre spotrebiteľov, ktorí musia mať istotu férových podmienok. Dôležitou úlohou regulácie je aj podpora flexibility – batériové úložiská, inteligentné riadenie spotreby a demand-side management by mali byť legislatívne ukotvené a podporované. Z pohľadu možností využívania elektriny z OZE je tiež dôležité posilniť právne postavenie energetických komunít a umožniť peer-to-peer obchodovanie so zelenou elektrinou.

V súvislosti so začleňovaním existujúcich OZE po skončení ich podpory je potrebné posilniť možnosti ich rekonštrukcie alebo modernizácie (repowering). Ak repowering nepredstavuje problém napr. pre distribučné spoločnosti z pohľadu pripojenia a celkového inštalovaného výkonu, je vhodné zvážiť úpravu súvisiacej legislatívy tak, aby nebránila výrobcovi investovať do technického zlepšovania ich zariadení. Ekonomicky oprávnené náklady by mali zahŕňať aj rekonštrukciu a modernizáciu, resp. posudzovať takéto situácie osobitne a vo svetle EÚ legislatívy, ktorá sa usiluje o zvýhodnenie podmienok pre OZE a ich modernizáciu. Zároveň je možné uvažovať napr. o určitých kritériách, za ktorých by bola zmena technických parametrov/navýšenie výkonu akceptovateľné.

13.5 BEZPEČNOSTNÉ A TECHNICKÉ ŠTANDARDY

Strategickou oblasťou pre efektívne zavádzanie a rozvoj vodíkových technológií v Slovenskej republike je vytvorenie zodpovedajúceho legislatívneho rámca. V tejto súvislosti je dôležité oboznámenie sa s legislatívnym prostredím v rámci EÚ 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.

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 k 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.

Legislatívne úpravy budú potrebné vo viacerých oblastiach, najmä na urýchlenie povoľovacích procesov, ujasnenie regulácií a redukciu administratívnej záťaže pri realizácii vodíkových projektov.

Legislatívny rámec bude zohľadňovať všetky oblasti vodíkového reťazca od jeho výroby, cez prepravu, skladovanie až po jeho využitie.

V súčasnej dobe bola vykonaná v spolupráci s UNMS podrobná analýza nezáväznej legislatívy – noriem pre aplikácie vodíkového ekosystému v SR, ktorá definuje viac ako 950 noriem. V súvislosti so systematickým sledovaním aktuálnosti noriem zriadil UNMS Technickú komisiu pre vodík.

Doterajšie analýzy pre oblasť záväznej legislatívy identifikovali vykonanie zmien príp. doplnení v 46 dokumentoch. Implementácia Európskych smerníc RED III a Smernice o plynach sa v podmienkach Ministerstva hospodárstva SR v súčasnej dobe realizuje.

Pre širší rozvoj OZE v súčasnosti chýba jednotná stratégia, ktorá by zabezpečila koordinovaný rozvoj štandardov v súlade s európskymi referenčnými rámcami. Je potrebné doplniť a pravidelne aktualizovať slovenské technické normy (STN) najmä v oblasti veterných elektrární, akumulácie, bioplynu a biometánu, ako aj v oblasti inteligentných sietí a kybernetickej bezpečnosti. Revízie zákonov by mali reflektovať nové technologické možnosti, napríklad v oblasti integrácie batériových úložísk a systémov riadenia spotreby. Dôležitou súčasťou je aj včasné zosúladenie národnej legislatívy s európskymi predpismi, kde pravidelne dochádza k omeškaniu. Bezpečnostné predpisy na úrovni SEPS a distribučných spoločností zároveň musia reagovať na narastajúci podiel variabilných zdrojov a stanoviť jasné pravidlá pre stabilitu a ochranu elektrizačnej sústavy.

BEZPEČNOSTNÉ ŠTANDARDY A PROTIPOŽIARNE POSTUPY

Využívanie technológií na výrobu a spotrebu vodíka má za sebou niekoľko desaťročí vývoja, predovšetkým v rámci riadených priemyselných procesov s presne definovanými technickými štandardmi a bezpečnostnými, vrátane protipožiarneho, postupmi. Manipulácia s vodíkom bola doteraz výlučne v rukách kvalifikovaného odborného personálu. V súčasnosti však dochádza k rozširovaniu výroby a využívania vodíka aj do oblastí bežnej spotreby, čo so sebou prináša nové požiadavky na bezpečnostné riadenie rizík. Za účelom predchádzania incidentom a minimalizácie rizík spojených s touto zmenou je nevyhnutné aktualizovať existujúce štandardy a zaviesť adekvátne protipožiarne a bezpečnostné opatrenia pre manipuláciu s vodíkom aj mimo priemyselného prostredia.

1. VÝROBA VODÍKA A JEJ POŽIARNE RIZIKÁ

Jednou z hlavných výziev je hodnotenie požiarneho a výbuchového rizika pri rôznych metódach výroby vodíka. V súčasnosti sa globálne využívajú najmä technológie ako parná reformácia zemného plynu (SMR), elektrolýza vody, termochemické a biologické procesy. Každá z týchto metód so sebou prináša špecifické riziká z pohľadu požiarnej ochrany a ochrany pred výbuchmi. Do budúcnosti sa predpokladá preferencia nízkoemisných a bezemisných technológií (najmä elektrolýza z obnoviteľných zdrojov), čo si vyžiada nové alebo upravené bezpečnostné požiadavky.

Odporúčanie: Vypracovať kategorizáciu výrobných technológií z hľadiska požiarnej a výbuchovej nebezpečnosti a stanoviť pre každú z nich minimálne požiadavky na technické a organizačné opatrenia.

2. POUŽÍVANIE VODÍKA V TECHNOLOGICKÝCH ZARIADENIACH A INÝCH SEKTOROCH

S rozširujúcim sa spektrom využitia vodíka v priemysle, doprave, energetike či budovách rastie význam identifikácie špecifických nebezpečenstiev spojených s fyzikálno-chemickými vlastnosťami vodíka. Vzhľadom na jeho vysokú horľavosť, široký rozsah zápalnosti a schopnosť difundovať cez materiály predstavuje vodík významné riziko, najmä pri únikoch a neplánovaných prevádzkových stavoch. Osobitnú pozornosť si zaslúžia už dnes prevádzkované technológie, v ktorých je vodík využívaný vo väčšom rozsahu – ako sú napríklad rafinérie, chemický priemysel či vodíkové palivové články v mobilite.

Odporúčanie: Spracovať rizikovú analýzu pre jednotlivé sektory používania vodíka a vypracovať pre ne odporúčané preventívne opatrenia a scenáre havarijnej pripravenosti.

3. LEGISLATÍVA A TECHNICKÉ NORMY

V tejto súvislosti je potrebné posúdiť súčasnú legislatívu a technické normy upravujúce požiadavky na požiaru bezpečnosť a ochranu pred výbuchmi. Relevantné sú najmä právne predpisy EÚ (napr. smernica ATEX), národné predpisy členských štátov a medzinárodné normy (napr. ISO, IEC, NFPA). Identifikácia regulačných nedostatkov a rozdielov medzi jednotlivými prístupmi môže prispieť k návrhu harmonizovaného a efektívneho rámca.

Odporúčanie: Vypracovať prehľadnú komparatívnu analýzu existujúcich predpisov a noriem týkajúcich sa požiarnej bezpečnosti vodíkových technológií s cieľom identifikovať legislatívne medzery a potreby harmonizácie.

4. POŽIARNA BEZPEČNOSŤ VODÍKOVÝCH PLNIACICH STANÍC

Z praktického hľadiska je významnou oblasťou aj požiaru bezpečnosť vodíkových plniacich staníc. Ide o objekty s vysokou koncentráciou rizík, ktoré si vyžadujú špecifické požiadavky na umiestnenie, konštrukčné riešenie, technické zabezpečenie, skúšanie a prevádzku. Tieto požiadavky musia byť v súlade s aktuálnymi poznatkami v oblasti bezpečnostného inžinierstva.

Odporúčanie: Vypracovať jednotné technické usmernenie pre navrhovanie a protipožiaru ochranu vodíkových plniacich staníc s prihliadnutím na ich typ (stacionárna/mobilná) a lokalizáciu (mestská/vidiecka zástavba).

5. POVOĽOVANIE VODÍKOVÝCH PLNIACICH STANÍC

Proces povoľovania vodíkových plniacich staníc je upravený zákonom č. 25/2025 Z. z. Stavebný zákon, ktorý stanovuje záväzné lehoty pre dotknuté orgány aj pre stavebné úrady. Prioritou pri povoľovaní stavieb s vysokým požiaru rizikom musí byť vždy bezpečnosť, ktorá nesmie byť obetovaná v prospech urýchlenia konania. Z tohto dôvodu je potrebné zamerať sa najmä na zjednotenie metodického výkladu a zlepšenie odborného posudzovania požiarnej a výbuchovej bezpečnosti v rámci existujúceho povoľovacieho rámca.

Odporúčanie: Vypracovať metodické usmernenie pre stavebné úrady, projektantov a dotknuté orgány, ktoré by zjednotilo požiadavky a postupy pri povoľovaní vodíkových plniacich staníc, najmä z pohľadu požiarnej ochrany a posudzovania rizík.

6. SKLADOVANIE VODÍKA – POŽIARNA BEZPEČNOSŤ A VÝVOJ TECHNOLÓGIÍ

Skladovanie vodíka predstavuje ďalšiu kľúčovú oblasť. Rôzne formy skladovania – stlačený, skvapalnený alebo viazaný vodík – prinášajú odlišné technické aj bezpečnostné výzvy. Tieto sa líšia v závislosti od toho, či ide o stacionárne zásobníky alebo o mobilné zásobníky integrované vo vozidlách. Rýchly technologický vývoj v tejto oblasti si vyžaduje priebežnú aktualizáciu predpisov týkajúcich sa požiarnej ochrany, najmä v kontexte plánovaného masového rozšírenia vodíkových technológií.

Odporúčanie: Revidovať existujúce požiadavky na skladovanie vodíka a doplniť ich o špecifiká jednotlivých foriem skladovania a ich interakcie s okolitou infraštruktúrou.

7. GARÁŽE A PARKOVANIE VODÍKOVÝCH VOZIDIEL

Je potrebné riešiť aj požiadavky na požiaru bezpečnosť garážových a parkovacích priestorov určených pre vozidlá s vodíkovým pohonom. Tieto priestory musia byť navrhnuté s ohľadom na špecifiká vodíkových systémov, detekciu únikov, odvetranie a zvládanie požiarov. S rastúcim podielom takýchto vozidiel bude potrebné upraviť normy a predpisy pre novostavby aj existujúce objekty.

Odporúčanie: Vypracovať špecifické technické a prevádzkové požiadavky pre garáže a parkovacie priestory pre vodíkové vozidlá, vrátane systémov včasnej detekcie únikov a požiarov.

Celkovo možno konštatovať, že rozvoj vodíkového hospodárstva prináša celý rad otvorených regulačných otázok v oblasti protipožiarnej ochrany, ktoré si vyžadujú koordinovaný a odborne podložený prístup všetkých zainteresovaných aktérov.

Spločné odporúčanie:

Je nevyhnutné jasne a jednotne zadefinovať spôsob zakotvenia požiadaviek na protipožiarnu a protivýbuchovú bezpečnosť, a to určením, či budú tieto požiadavky implementované prostredníctvom všeobecne záväzného právneho predpisu alebo formou záväzných technických noriem. Vypracovanie dokumentov s preventívnym alebo iba odporúčacím charakterom bez právnej záväznosti by bolo neefektívne a neprinieslo by požadovanú úroveň bezpečnosti. V každej oblasti výroby, skladovania, distribúcie a používania vodíka, ktorá je v dokumente popísaná, musí byť spracovaný materiál legislatívneho charakteru, ktorého tvorba zabezpečí jeho prijatie a jednotné uplatňovanie v rámci vedeckej obce, výrobcov zariadení, priemyselných prevádzok a orgánov štátnej správy.

13.6 NÁVRH POSTUPOV PRE ROZVOJ A UDRŽANIE VODÍKOVÉHO EKOSYSTÉMU.

Jednotlivé oblasti odporúčaných Národných priorít v kap. 11.1 vytvárajú predpoklady pre aktivity v rámci štátnej správy v spolupráci s verejným, spoločenským a priemyselným zázemím Slovenskej republiky.

Strategicky významné je vytvoriť systém priorít v rámci vodíkového ekosystému tak, aby boli v súlade s finančnými možnosťami, pri zohľadnení zdrojov financovania tak z národných zdrojov ako aj zdrojov EU a efektívneho záujmu užívateľov vodíka v rôznych odvetviach priemyslu a verejného sektora.

VÝSKUM A VODÍK

Dôležitou oblasťou pre udržanie a rozvoj konkurencieschopnosti vodíkového ekosystému Slovenska je kvalita aplikovaného výskumu a inovácii. S rozvojom a aplikáciami vodíkových technológií v ich celom životnom cykle sa bude stále intenzívnejšie rozvíjať aj oblasť výskumu. V tejto súvislosti bude potrebné vytvoriť zo strany štátu podporné mechanizmy pre výskumné aktivity, či už v akademickom prostredí (univerzita a ústavy SAV) alebo v prostredí priemyselného výskumu. Efektívnou možnosťou pre rozvoj aplikovaného výskumu je medzinárodná spolupráca s inštitúciami, kde je vodíkový výskum dlhodobo podporovaný. Vytváranie medzinárodných konzorcií otvára dvere k zrýchleniu cyklu aplikácie výsledkov aplikovaného výskumu do praxe. Slovenská výskumná základňa pre vytváranie nových smerov pre realizáciu vodíkového ekosystému nie je tak rozvinutá aby mohla fungovať bez zapojenia sa do medzinárodných konzorcií. Na zvýšenie efektívnosti slovenského výskumu, aj v kontexte potenciálu zapájania sa do zahraničnej spolupráce, je potrebné vytvoriť finančné predpoklady tým, že v rámci vedeckej politiky štátu by mal mať vodíkový ekosystém miesto **medzi prioritami štátu**. Takto vytvorenie prostredie pre oblasť aplikovaného výskumu vytvorí podmienky pre zapájanie sa do medzinárodnej spolupráce formou účasti vo výskumných tímoch s cieľom uchádzania sa o podporu v rámci európskych projektových schém na podporu vedy, výskumu a inovácii. V podmienkach SR bude účelné aby v rámci vznikajúcich vodíkových údolí boli aktívnymi členmi aj výskumné pracoviska, ktoré pôsobia ako zdroj nových poznatkov ako aj akcelerátor prenosu získaných výsledkov do praxe. Spolupráca s externým prostredím vodíkového údolia reflektuje skutočné potreby riešenia tých oblastí aplikovaného výskumu, kde sa prejaví „slabá stránka“ projektu. Je možné predpokladať, že rozvoj vodíkového ekosystému SR sa bude realizovať v kontexte smerov, definovaných v krajinách EU, ako súčasť spoločenstva HYDROGEN EUROPE, v ktorom sú zastúpené aj výskumné inštitúcie krajín EU.

OZE A VODÍK

Štát zohráva kľúčovú úlohu v procese transformácie energetiky a jej kapacity by mali byť posilnené, ak má Slovensko splniť svoje klimatické záväzky. V prvom rade je potrebné vytvoriť **jednotné kontaktné miesto** („one-stop-shop“) pre povoľovanie projektov, ktoré odstráni súčasnú fragmentáciu kompetencií. Vláda SR by mala identifikovať a legislatívne definovať akceleračné zóny pre výstavbu OZE, v ktorých budú procesy rýchlejšie a predvídateľnejšie. V súlade so smernicou REDIII by malo byť do legislatívy jednoznačne ustanovené, že výstavba **obnoviteľných energetických zariadení** je nadradeným verejným záujmom.

Pre dlhodobé udržanie rozvoja je kľúčové prijať **zákon o klimatickej neutralite**, ktorý zakotví cieľ nulových emisií do roku 2050 a zabezpečí vypracovanie sektorových klimatických plánov. Ministerstvo hospodárstva spolu s ÚRSO a distribučnými spoločnosťami by mali spoločne pripraviť legislatívny rámec pre **integráciu decentralizovaných zdrojov**, vrátane zdieľania energie a rozvoja energetických komunít a využívanie vodíka v domácnostiach ako **preneseného prebytku energie z leta do odberovej zimnej špičky**.

Praktickým krokom je tiež **systematické vzdelávanie úradníkov a odborníkov štátnej správy**, ktorí sa venujú energetickým politikám a povoľovacím procesom súvisiacim s výstavbou OZE a vodíkoveho ekosystému. Inštitúcie ako Slovenská inovačná a energetická agentúra by mali posilniť svoju úlohu metodického a informačného centra v oblasti výstavby a využívania energie z OZE. Na úrovni regiónov by štát mal podporovať **verejno-súkromné partnerstvá**, motivovať samosprávy k realizácii komunitných projektov a potreby väčšieho využívania OZE aj ako primárneho zdroja pre výrobu RHNBO a jeho využitie v mestách a regiónoch, čo by malo pozitívny vplyv aj na ich sociálnu akceptovateľnosť.

JADRO A VODÍK

Slovensko s približne 65 % podielom jadrovej energie na výrobe elektriny vynakladá značné zdroje na zvyšovanie flexibility sústavy a integráciu nových obnoviteľných zdrojov. Prepojenie jadrovej energetiky s výrobou vodíka umožní efektívne využitie prebytočnej elektriny, ktorá by inak bola exportovaná alebo by si vyžadovala aktiváciu podporných služieb na vyvažovanie sústavy. Jadrové zdroje s vysokým kapacitným faktorom v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi predstavujú ideálny základ pre produkciu obnoviteľného a nízkouhlíkového vodíka za prijateľných cenových podmienok. Na realizáciu tohto konceptu je **nevyhnutná široká diskusia všetkých zainteresovaných, vrátane regulátora zástupcov jadrovej energetiky, prevádzkovateľov prenosovej a distribučnej sústavy elektriny a plynu aj zástupcov obnoviteľných zdrojov**, keďže vodík prepája jednotlivé energetické sektory.

SPOTREBA A VODÍK

Navrhované opatrenia vytvárajú rámec pre riadenie dopytu a efektívne využívanie vodíka s cieľom dosiahnuť vysoký klimatický prínos, posilniť konkurencieschopnosť priemyslu a podporiť integráciu obnoviteľných zdrojov energie.

- **Hierarchia dopytu** – uprednostniť ťažko elektrifikovateľné odvetvia s vysokou pridanou hodnotou a najväčším klimatickým prínosom (chemikálie, rafinárske medziprodukty, DRI oceľ, ťažká cestná doprava, námorná a letecká výroba e-palív).
- **Sektorové trajektórie a limity** – nastaviť ročné limity spotreby podľa princípu „efficiency-first“ a zásady kaskádového využitia energie.
- **Finančné mechanizmy** – uplatniť kontrakty na rozdiel a uhlíkové CfD viazané na preukázanú intenzitu emisií v celom životnom cykle paliva a na percento obnoviteľnej elektriny pri výrobe.
- **Certifikácia pôvodu** – zaviesť povinné záruky pôvodu a skleníkových plynov (GoO, hmotnostná bilancia, harmonizovaná LCA metodika) s auditorským dohľadom a transparentným zverejňovaním ukazovateľa kg CO₂e/kg H₂.

- **Cenové a regulačné signály** – smerovať spotrebu do hodín s nízkou uhlíkovou intenzitou elektriny prostredníctvom dynamických taríf, flexibilných prenosových poplatkov a zliav pre elektrolyzéry poskytujúce služby siete.
- **Infraštruktúra** – rozvíjať „no-regret“ infraštruktúru v priemyselných huboch a pozdĺž koridorov TEN-T s preferenciou čistého H₂ a s časovo obmedzeným, technicky limitovaným premiešavaním do zemného plynu.
- **Zásobníky a flexibilita** – podporiť špičkové a sezónne zásobníky vodíka a trhové mechanizmy kapacity na konverziu prebytkov OZE.
- **Zelené verejné obstarávanie** – zaviesť záväzné podiely v MHD, regionálnej autobusovej a nákladnej doprave ako dopytové istoty.
- **Rámec pre MSP a samosprávy** – pripraviť štandardizované PPA, záruky pôvodu a modelové zmluvy.
- **Investičná transparentnosť** – zverejňovať referenčné indexy LCOH a metodiky parít voči naftu, plynu a uhlíku na podporu racionálnych investičných rozhodnutí.
- **Bezpečnosť a recyklácia** – posilniť normy, školenia a procesy recyklácie zariadení.
- **Monitoring a KPI** – zriadiť systém sledovania s ukazovateľmi (ročná spotreba podľa sektorov, intenzita emisií, podiel OZE, faktor kapacity elektrolyzér, vyrovnávacie služby, lokálny obsah) vrátane milníkov pre roky 2030, 2035, 2040 a 2050.

14 ZÁVER

Dokument potvrdzuje, že vodík má na Slovensku plniť doplnkovú úlohu k priamej elektrifikácii, so zameraním na ťažko elektrifikovateľné odvetvia priemyslu, ťažkú cestnú dopravu a časť železničnej dopravy. Zároveň ho je možné využiť pre vybrané aplikácie v teplárstve, pričom rozvoj musí byť zosúladený s európskym regulačným rámcom a domácimi energetickými východiskami.

Sú definované tri scenáre rozvoja: WEM (status quo), WAM (zrýchlený rozvoj s dodatočnými opatreniami) a NZE (ambícia klimatickej neutrality do roku 2050). V scenári WAM môže konečná spotreba vodíka do roku 2050 dosiahnuť približne 353 tis. t, v scenári NZE približne 768 tis. t, čo ilustruje výrazné rozpätie dopytu v závislosti od rýchlosti dekarbonizačných investícií a technologickej adopcie. Pre naplnenie NZE by boli potrebné domáce zdroje elektriny v rádovo desiatkach gigawattov nad rámec reálnych možností, čo znamená vysoký podiel dovozu čistých energetických vektorov ako je obnoviteľný vodík RHNBO, alebo jeho deriváty, ako napríklad amoniak.

Aj pri odporúčanom scenári WAM bude SR v roku 2050 pokrývať z dovozu približne 80 % potreby vodíka. Na zabezpečenie približne 20 % domácej výroby do roku 2050 sa odhaduje potreba inštalovať okolo 543 MW OZE a 431 MW nízkoemisných zdrojov pre napájanie elektrolyzér s celkovým výkonom okolo 733 MW. Táto trajektória znižuje riziko jednostrannej závislosti a podporuje lokálne hodnotové reťazce, no rozhodujúca zostáva budúca dostupnosť dovozných trás a trhov.

Modelové výpočty ukazujú potenciál úspory emisií CO₂ približne 6,65 Mt ročne do roku 2050 pri kombinácii zásahov v amoniaku, oceliarní, cestnej doprave a teplote, čo potvrdzuje, že vodík môže tvoriť významnú časť portfólia dekarbonizačných opatrení Slovenska.

V doprave je pre rok 2030 kľúčové splnenie cieľa RFNBO. Dokument kvantifikuje efektívnu trajektóriu: nasmerovať štvrtinu z 1 % energetického cieľa sektora do priamej spotreby vodíka s uplatnením násobiteľa 2. Prepočítané objemy predstavujú približne 5 061 t vodíka, z toho 1 265 t pre priamu spotrebu a 3 796 t pre výrobu fosílnych palív v súlade s pravidlami započítavania.

Rozvoj infraštruktúry HRS do roku 2030 je navrhnutý v súlade s AFIR, s pokrytím koridorov a mestských uzlov siete TEN-T a kolokáciou s rýchlonabíjaním BEV, čo umožňuje synergie v povoleniach, pripojeniach a prevádzke. Návrh do roku 2030 obsahuje 5 staníc na TEN-T a 2 doplnkové stanice vo

vodíkových uzloch, pričom AFIR stanovuje minimálnu kapacitu 1 t H₂/deň s 700 bar a sieťové rozstupy, ktoré SR musí dosiahnuť. Orientačné investičné náklady referenčnej HRS ~1 t/deň sa pohybujú okolo 4 mil. eur s trendom pod 3 mil. eur do roku 2030.

Ekonomická realizovateľnosť domácej výroby je hodnotená cez LCOH, s dôrazom na CAPEX elektrolyzéro, cenu a emisnú stopu elektriny a faktor vyťaženia, čo je kľúčové pre nastavovanie podpory a aukčných schém.

Vývoj je zaťažený neistotami v oblasti technológií, cien energií a regulačných premenných, preto dokument odporúča fázovanie, pilotné implementácie a priebežnú aktualizáciu parametrov NVS a akčného plánu podľa trhových signálov a dostupnosti financovania EÚ.

14.1 KLÚČOVÉ STRATEGICKÉ ODPORÚČANIA

1. **Zvoliť kombináciu WAM a WEM pre chemický priemysel ako referenčnú trajektóriu a zapracovať ju v NVS a AP 2026–2030.** Premietnuť kvantifikované ciele pre dopyt, dovoz a domácu výrobu, fázovať kapacity elektrolyzéro do ~0,7 GW do roku 2050 a nastaviť jasné míľniky pre priemysel, dopravu a teplo.
2. **Zabezpečiť dovozné trasy a prepojenie na európsku sieť, paralelne budovať primeranú domácu výrobu.** Implementovať stratégiu „import + vlastná výroba“, rozpracovanú v dokumente, a pripraviť technické, regulačné a komerčné podmienky pre potrubné prepojenia a logistiku z morských terminálov vodíka a derivátov.
3. **Cielená priemyselná dekarbonizácia s istotou odbytu.** Prioritizovať odvetvia s najväčším potenciálom na zníženie emisii a pre zachovanie konkurencieschopnosti (amoniak, oceľ) a vytvoriť dlhodobé odberové rámce pre RHNBO a nízkouhlíkový vodík, ideálne cez CfD, PPA a indexované zmluvy, aby sa premosť rozdiel medzi nákladom a cenou.
4. **Doprava 2030:** splniť RFNBO cieľ nákladovo efektívne. Alokovať ~5 061 t H₂ do cieľa 1 % s dôrazom na priamu spotrebu a výrobu palív podľa započítavania, podporiť pilotné flotily ťahačov a obnovu MHD autobusov na vodík v mestských uzloch, čo vytvorí stabilný dopyt pre domácich producentov.
5. **Infraštruktúra čerpacích staníc na vodík podľa AFIR a TEN-T.** Realizovať do roku 2030 minimálne 5 HRS v navrhovanej sieti a 3 vo vodíkových údoliach, s preferenciou kolokácie s rýchlonabíjaním a s jasnými pravidlami pripojenia do sietí a k lokálnym OZE. Zabezpečiť kompatibilitu s technickými a dátovými požiadavkami AFIR, vrátane štandardov tlakov, platieb a zverejňovania údajov.
6. **Finančné a regulačné nástroje „fit-for-purpose“.** Využiť rámce EÚ (napr. nové pravidlá štátnej pomoci pre dekarbonizáciu priemyslu, NZIA–kompatibilné obstarávanie) na CAPEX aj OPEX, spúšťať pilotné aukcie na RFNBO, nasadiť mechanizmy znižujúce riziko dopytu a ceny pre prvé projekty a akcelerovať povoľovanie v súlade s odporúčaniami dokumentu.
7. **Jasná správa trhu a „one-stop-shop“.** Zriadiť jednotné kontaktné miesto pre investorov, zosúladiť a spriehľadniť pravidlá pripojenia do elektrických a plynárenských sietí a zaviesť štandardizované metodiky merania a certifikácie, čo zníži transakčné náklady prvých projektov.
8. **Monitorovanie, scenáre a iterácia.** Zaviesť merateľné KPI pre dopyt, výrobu, dovoz, emisie a infraštruktúru, každoročne vyhodnocovať plnenie a aktualizovať parametre NVS a AP podľa vývoja cien energií, technologického pokroku a regulácie EÚ.
9. **Ľudské zdroje a regionálny rozmer.** Podporiť rozvoj zručností a regionálnu spravodlivosť transformácie, aby nové investície do vodíkoveho reťazca priniesli zamestnanosť a inovačný potenciál v priemyselných regiónoch SR.

Tento záver syntetizuje kvantifikované zistenia a odporúčania dokumentu do koherentnej trajektórie WAM, ktorá kombinuje realistickú domácu výrobu so strategicky riadeným dovozom, smeruje k plneniu cieľov do roku 2030 a 2035 a vytvára podmienky na dlhodobú konkurencieschopnosť a uhlíkovú neutralitu po roku 2050.

VŠEOBECNÉ ODPORÚČANIA

1. **Domáca politika:** Rozvojom domácej výroby vodíka znížiť závislosť od dovozu fosílnych palív, ktorých cena a dostupnosť sú čoraz menej predvídateľné, a zároveň diverzifikovať dovozné trasy obnoviteľných palív.
2. **Investičné prostredie:** Vytvoriť stabilné a motivačné podmienky pre investorov do výroby zariadení a komponentov pre vodíkové hospodárstvo.
3. **Dopravné uzly:** Pripraviť stabilné a motivačné podmienky na vybudovanie komplexných vodíkových uzlov zameraných na verejnú osobnú a nákladnú dopravu.
4. **Zahraničná politika:** Nadviazať a rozvíjať partnerskú spoluprácu v tretích krajinách pre dovoz čistých energetických vektorov a polotovarov, vrátane výroby surovín pre transformáciu ťažkého priemyslu na produkciu s vyššou pridanou hodnotou, čím sa zabezpečí cenovo dostupný vodík pre priemysel, dopravu a teplárstvo.
5. **Technologická neutralita:** Presadzovanie prístupu technologickej neutrality aj v prípade výroby vodíka.
6. **Dovozná infraštruktúra:** Priorizovať výrobné trasy podľa potrieb priemyslu a následne systematicky budovať podľa potrieb širokého trhu.

Ciele a dopyt (doprava, priemysel)

- Stanoviť cieľ priamej spotreby RFNBO v doprave (odporúčanie 0,25 %) popri plnení „fuel-neutral“ cieľov, aby sa predišlo spoliehaniu sa len na multiplikátory a štatistické plnenie.
- Zvýhodniť bezemisné vozidlá formou úľav na daniach a poplatkoch a penalizovať súčasné vozidlá na konvenčné fosílné palivá. Penalizovať subjekty, ktoré nedosahujú nízke, resp. nulové emisie.
- Zohľadniť rastúce náklady priemyslu v súvislosti so znižovaním kvót voľných povoleniek 2026–2034, ktoré sa bez dekarbonizácie eskalujú o desiatky miliónov eur ročne.

Bilancia výroba – dovoz a kapacity

- Priorizovať domácu výrobu ale reálne pracovať s rámcom „import doplnený domácou výrobou“ a s tým súvisiacou dovoznou prevahou okolo 80 % v roku 2050; domáce kapacity elektrolyzérovo a zdrojov el. energie sa majú dimenzovať na ekonomicky racionálnu menšinovú zložku dopytu.

Infraštruktúra HRS a dáta

- Implementovať AFIR-kompatibilnú sieť H₂ čerpacích staníc (tlak 700 bar, kapacita ≥ 1 t/deň, napojenie na TEN-T, pokrytie koridorov) s rámcom tendrov a spolufinancovania, vrátane plánu min. 5 + 4 lokalít do 2030 a povinného zverejňovania prevádzkových dát.

Prenos, distribúcia a skladovanie

- Realizovať „pipeline-first“ v priemyselných koridoroch a „truck-first“ pri raných údoliach; LOHC cielene pre stredné vzdialenosti, primiešavanie len dočasne.
- Rozpracovať Slovak Hydrogen Backbone ako súčasť PCI 10.4 – stredoeurópsky koridor s napojením na Lanžhot, Baumgarten a Veľké Zlievce; realistický horizont pre prepojenie uzlov 2029–2032.

- Kvantifikovať orientačné sieťové poplatky podľa benchmarkov EHB (repurposing ~0,11–0,21 eur/kg/1000 km) a ich implikácie pre TCO odberateľov.
- Sezónne úložiská: pripraviť aspoň jeden pilot v spolupráci s prevádzkovateľmi podzemných zásobníkov, s lokalizačnými preferenciami (Záhorie, okolie Trnavy, Východoslovenská nížina).

Financovanie a podporné mechanizmy

- Preferovať Contracts for Difference ako hlavný nástroj pre CAPEX/OPEX medzeru v priemysle a doprave a nadviazať na výsledky aukcií European Hydrogen Bank/Inovačný fond, intenzívne aj Modernizačný fond.
- Využiť dostupné zdroje a realizovať výskumnú projekt posúdenia existujúcej transportnej potrubnej siete pre prenos čistého vodíka a následne využiť IPCEI/Hy2Infra/CEF a kohezné zdroje na úpravu hlavnej potrubnej chrbtice s regionálnymi prípojkami
- Dofinancovať existujúce domáce IPCEI projekty a pripraviť výzvu na druhé kolo za účelom plnenia cieľov EU v spotrebe vodíka.

Regulácia a riadenie

- Dopracovať vodíkovú legislatívu s jednotným povoľovaním, jasnými bezpečnostnými normami a sandboxami; zriadiť koordinačné pracovisko pre certifikáciu a nastaviť monitoring KPI s pravidelnou revíziou scenárov.
- Nadviazať na TEN-E/TEN-T, AFIR, ReFuelEU Aviation, CBAM, RED III, Plynový balíček ako rámec, ktorý riadi tempo a smer alokácií v SR.

Riziká a mitigácia

- Zdôrazniť hrozbu odchodu chemického priemyslu zo Slovenska, z dôvodu prísnych kritérií výroby RFNBO a LCH, volatility cien elektriny, NIMBY efektu.
- Podchytiť riziká kybernetickej bezpečnosti a vyčleniť investície do odolnosti vodíkoveho hodnotového reťazca.

Ľudský kapitál a regionálna dimenzia

- Zahnúť program vzdelávania a rekvalifikácie pre projektovanie, prevádzku a bezpečnosť vodíkových technológií a využiť vodíkové údolia pre rozvoj transformujúcich sa regiónov.

Prírodný (geologický) vodík

- Spustiť etapu prieskumu (seizmický prieskum, vrtý, testy prietokov) s cieľom potvrdiť zásoby prírodného vodíka a realizovať demonštračný projekt vo vybranej lokalite.

15 PRÍLOHY

Príloha 1: Ciele AFIR pre vodíkové čerpacie stanice (HRS)

- Do **31. 12. 2030** musia byť na **základnej sieti TEN-T** HRS s **minimálnou kapacitou 1 t H₂/deň** a **aspoň jedným 700-bar výdajom** v maximálnych rozstupoch **200 km**. Zároveň **aspoň jedna HRS v každom urban node**. Stanice sa môžu započítať aj v rámci urban node, ak splnia kapacitný cieľ.
- HRS pozdĺž TEN-T môžu stáť **na sieti alebo do 10 km** od najbližšieho výjazdu.
- **Derogácia kapacity** HRS 0,5 t H₂/deň je možná na cestách základnej siete s < **2000 ťažkých vozidiel**, a to najviac o **50 %**, pri zachovaní 200 km rozstupov a 700 bar.
- Komisia má **prehodnotiť** parametre HRS vrátane prípadného **zvýšenia kapacity**, určenia cieľov pre **kvapalný vodík** a načasovania **rozšírenia na komplexnú TEN-T**.

Technické špecifikácie HRS

Interoperabilita a kvalita paliva sú viazané na európske normy uvedené v **Prílohe II AFIR**:

- algoritmus plnenia a HMI podľa **EN 17127:2020**
- kvalita vodíka podľa **EN 17124:2022**
- **konektory** pre vozidlá podľa **EN ISO 17268:2020** po ukončení certifikačného procesu
- špecifikácie pre konektory ťažkých vozidiel sú súčasťou rámca Prílohy II.

Užívateľské a platobné požiadavky

- **Ad-hoc tankovanie** musí byť možné na všetkých verejne prístupných HRS s použitím v EÚ bežne rozšíreného **elektronického platobného nástroja**. Pre HRS uvedené do prevádzky po **13. 4. 2024** platí okamžite, pre staršie od **14. 10. 2024**. Prevádzkovateľ musí zverejniť **cenu za kg** ešte pred začiatkom tankovania a ceny musia byť **transparentné a nediskriminačné**.

Dátové povinnosti a dostupnosť informácií

- Prevádzkovatelia musia poskytovať **statické a dynamické dáta** o infraštruktúre cez **národné prístupové body (NAP)** podľa vykonávacieho aktu **2025/655**. Definuje formát, frekvenciu a kvalitu údajov.
- Delegovaný akt **2025/671** rozširuje povinné dáta. Pre HRS sa vyžaduje **stav prevádzky, dostupnosť, ad-hoc cena** a špecifický údaj o „**obmedzenom množstve dostupného H₂**“. Účinnosť od **14. 4. 2025**.

Národné plánovanie a reportovanie

- Členské štáty musia vypracovať **národný politický rámec** pre alternatívne palivá. **Návrh do 31. 12. 2024, finálna verzia do 31. 12. 2025**. **Národné správy o pokroku** sa zasielajú **od 31. 12. 2027** každé dva roky. Komisia poskytuje šablóny a vykoná **hodnotenie koherencie do 31. 12. 2026**.

Implikácie pre modelovanie dopytu, výrobu a logistiku H₂

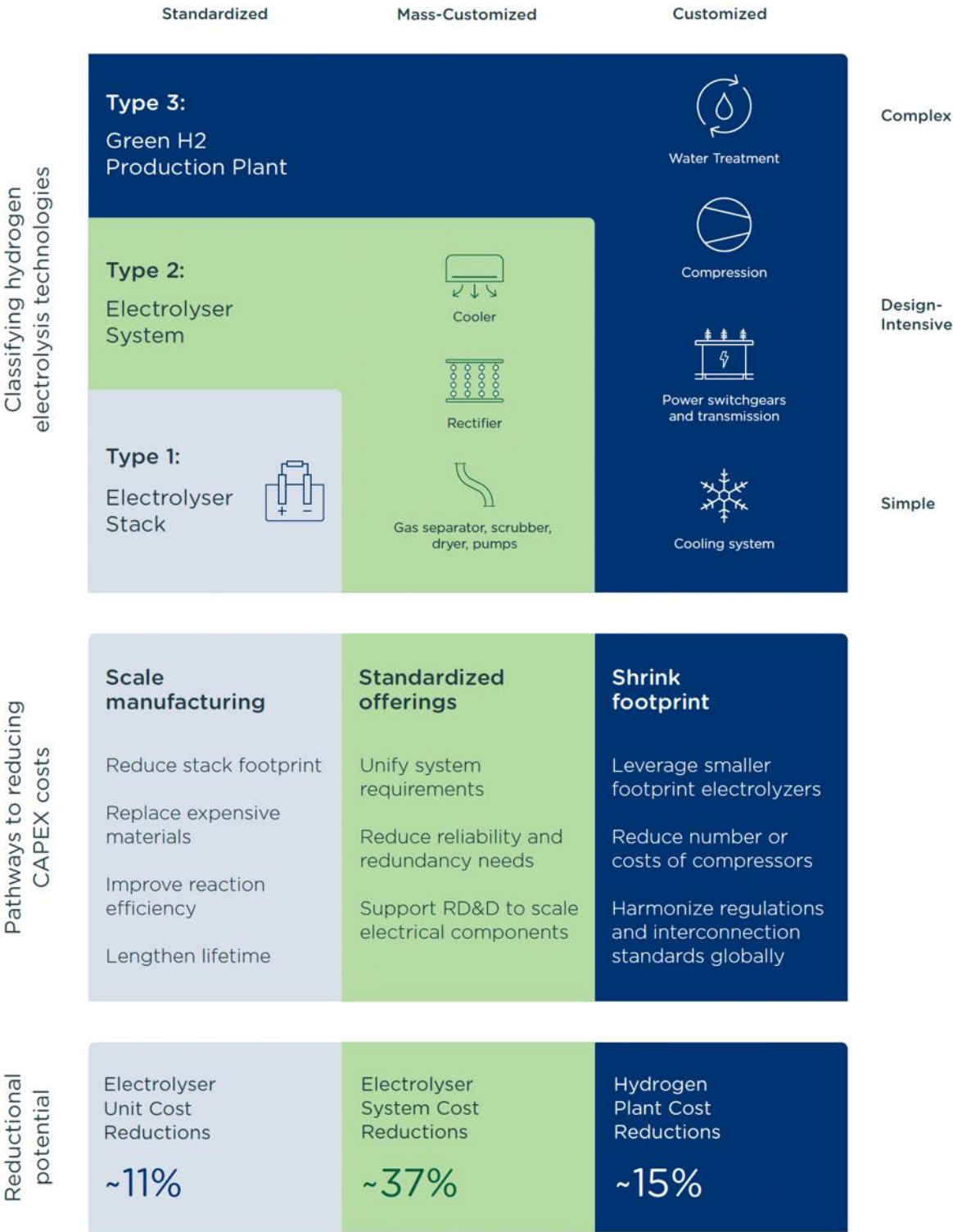
- Ciele AFIR stanovujú **minimálnu priestorovú hustotu a kapacitu HRS**, čím definujú **spodnú hranicu dopytu** po plynnom vodíku v cestnej doprave v koridoroch TEN-T a v urban nodes. To je priama vstupná podmienka pre **dimenzovanie primárnej výroby H₂ a logistiky**.
- **Umiestnenie HRS do 10 km od TEN-T** a preferencia **multimodálnych uzlov** v urban nodes uľahčuje **nadviazanie na budúcu prepravnú a distribučnú sústavu H₂** a na **prístupy k železnici a vnútrozemskej plavbe**, ktoré AFIR explicitne zohľadňuje.
- V praxi to podporuje **postupnú integráciu HRS** s plánovaným **repurposingom plynárenskej siete** na vodík a s terminálmi v mestských a logistických uzloch, ako uvádzate vo vašom „PDV“ modeli. AFIR dáva **minimálne povinné parametre a dátovú transparentnosť**, ktoré umožňujú kalibrovať scenáre investícií a prevádzky.

Príloha 2: Rámec štátnej pomoci na podporu Dohody o čistom priemysle „CISAF“ z angl. Clean Industrial State Aid Framework

Oblasť	Podopatrenie / téma	Spôsob prideľovania	Intenzita / limity	Podmienky a poznámky	Bonusy pre MSP
Nízko-uhlíkové palivá (vrátane nízkouhlíkového H ₂)	Investičná pomoc	Schéma (mimo súťaže)	20 % oprávnených nákladov (CAPEX)	Podpora výroby nízkouhlíkových palív; relevantné pre nízkouhlíkový H ₂ .	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Nízko-uhlíkové palivá (vrátane nízkouhlíkového H ₂)	Priama cenová podpora	Povinné tendre	Až do 100 % oprávnených nákladov (d podľa výsledku tendra)	Cenová podpora len prostredníctvom súťaží.	–
Dekarbonizácia priemyslu	Investície umožňujúce používanie H ₂ /H ₂ -palív s RFNBO ≥ 40 %	Súťaž (tender)	60 % CAPEX	Vyššia intenzita pri vysokom podiele RFNBO; vhodné pre konverziu zariadení na H ₂ .	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	Investície umožňujúce používanie nízkouhlíkových palív	Súťaž (tender)	35 % CAPEX	Prechody na nízkouhlíkové palivá (ne-RFNBO).	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	Výroba nízkouhlíkových palív	Súťaž (tender)	20 % CAPEX	Nevzťahuje sa na RFNBO; osobitne výroba nízkouhlíkového H ₂ .	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	OZE, úložiská, flexibilná elektrifikácia, CCS (podporné pre H ₂)	Súťaž (tender)	45 % CAPEX	Nepriama podpora H ₂ – napájanie elektrolyzér, stabilita siete.	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Dekarbonizácia priemyslu	Ostatné technológie	Súťaž (tender)	30 % CAPEX	Všeobecná kategória mimo špecificky vymenovaných technológií.	+10 % malé, +5 % stredné podniky
Výroba technológií čistého priemyslu (napr. elektrolyzéry, komponenty) – kapitola 6.1	Mimo podporovaných oblastí	Investičná schéma	15 % CAPEX; limit 150 mil. eur / projekt	Podpora výrobných kapacít technológií.	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Výroba technológií čistého priemyslu (napr. elektrolyzéry, komponenty) – kapitola 6.1	Oblasti „c“	Investičná schéma	20 % CAPEX; limit 200 mil. eur / projekt	Regionálna pomoc v oblastiach „c“.	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Výroba technológií čistého priemyslu (napr. elektrolyzéry, komponenty) – kapitola 6.1	Oblasti „a“	Investičná schéma	35 % CAPEX; limit 350 mil. eur / projekt	Regionálna pomoc v oblastiach „a“.	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Inovačný fond (IF) – kombinácia s CISAF (alternatívna metodika)	Mimo podporovaných oblastí	IF metodika podľa nariadenia (EÚ) 2019/856	25 % CAPEX; limit 150 mil. eur / projekt	Možné použiť namiesto režimu 6.1; pre výrobu technológií (napr. elektrolyzéry).	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Inovačný fond (IF) – kombinácia s CISAF (alternatívna metodika)	Oblasti „c“	IF metodika podľa nariadenia (EÚ) 2019/856	40 % CAPEX; limit 200 mil. eur / projekt	Možné použiť namiesto režimu 6.1; pre výrobu technológií (napr. elektrolyzéry).	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Inovačný fond (IF) – kombinácia s CISAF (alternatívna metodika)	Oblasti „a“	IF metodika podľa nariadenia (EÚ) 2019/856	55 % CAPEX; limit 350 mil. eur / projekt	Možné použiť namiesto režimu 6.1; pre výrobu technológií (napr. elektrolyzéry).	+20 % malé, +10 % stredné podniky
Dočasná úľava z ceny elektriny pre energeticky náročných odberateľov	Úľava zo spotreby elektriny	Schéma	Do 50 % ročnej spotreby; podlahová cena 50 eur/MWh	Min. 50 % pomoci na dekarbonizačné investície; +10 % bonus pri dodatočných investíciách do flexibility dopytu.	–
Dekarbonizácia priemyslu (pravidlá pre veľké projekty)	Notifikácia a claw-back	–	–	Individuálna notifikácia projektov >200 mil. eur alebo >10 % rozpočtu schémy; claw-back pri funding gap >30 mil. eur na podnik/projekt.	–

Príloha 3: Potenciál zníženia nákladov na výrobu vodíka

Zdroj: Ramboll 2023



Príloha 4: Porovnanie aktuálnych investičných nákladov na výrobu vodíka

PEM Comparison vs Public Data Sources

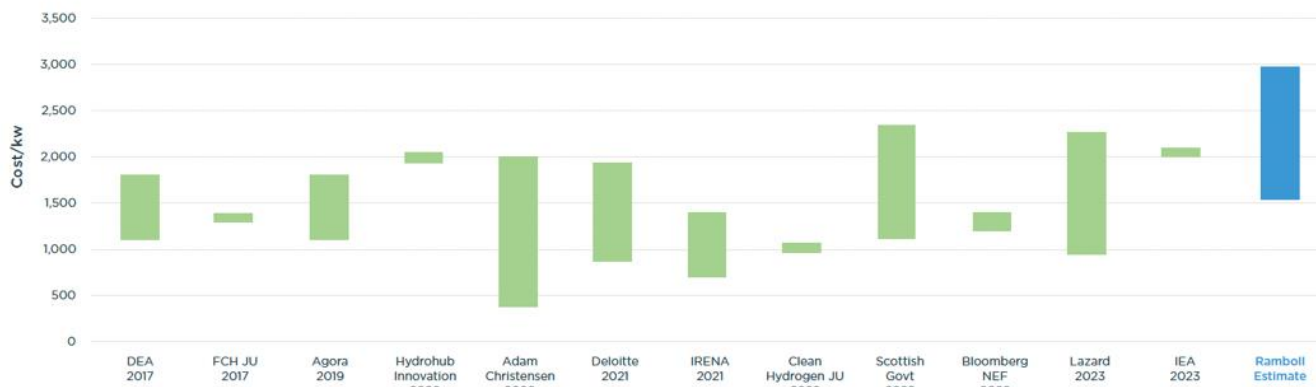


Figure 8: Ramboll estimates for PEM electrolyzers hydrogen production plant CAPEX from estimates of system sizes 10MW - 1GW

AE Comparison vs Public Data Sources

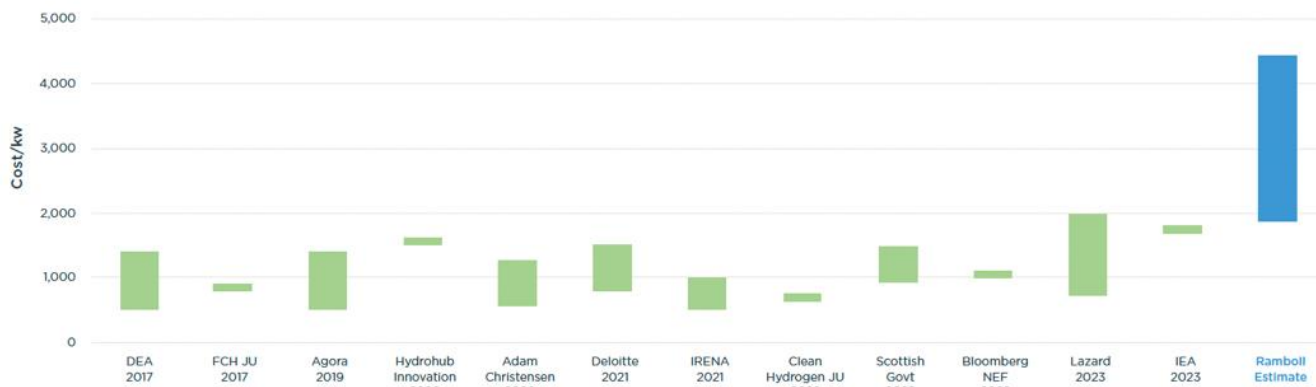


Figure 9: Ramboll estimates for AE electrolyzers hydrogen production plant CAPEX from estimates of system sizes 10MW - 1GW

SOEC Comparison vs Public Data Sources

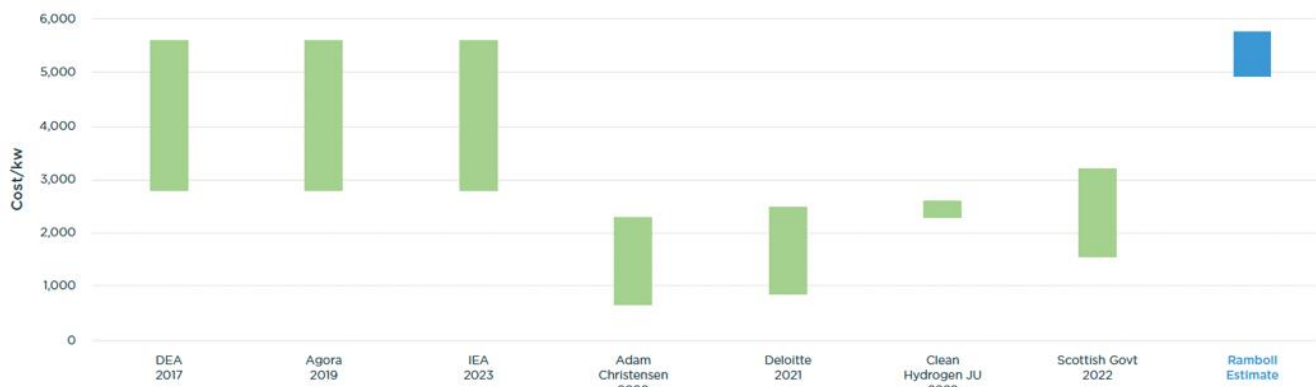


Figure 10: Ramboll estimates for SOEC electrolyzers hydrogen production plant CAPEX from estimates of system sizes 10MW

Note: Ramboll Estimate assumes low-saline water input, ample electrical at battery limit, and compression to 50 bar; high includes; electrolyzer building and gas-insulated switchgear; low assumes outdoor and air-insulated switchgear; all exclude storage

Príloha 5: Prieskum trhu

Plánovaná výroba vodíka	ZÁKLADNÝ SCENÁR				
Ročná výroba (t/rok) – spôsob výroby	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Elektrolyza s využitím obnoviteľnej elektriny (RFNBO) (obnoviteľný vodík)		477	935	935	1 724

bez Slovnaftu a
Dusla

Ročná spotreba vodíka (t/rok) podľa spôsobu spotreby	2 024	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Proces 1* (na účely koncovkej energie a neenergetické účely) Cieľ RED3 42% / 60%	138 000	140 080	140 144	144	144
Proces 2* (ako medziprodukt na výrobu konvenčných dopravných palív a biopalív)	39 000	37 000	37 000		

Dodanie podľa spôsobu prepravy (t /rok)	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Cestná preprava		300	564	564	1 064
Potrubná preprava / distribúcia		80	200 080	200 080	400 080

Import zo zahraničia (t /rok)	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Vodík spĺňajúci kritériá RFNBO			665 000	1 330 000	2 000 000

Export do zahraničia (t/rok)	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Vodík spĺňajúci kritériá RFNBO		300	465 300	1 030 200	1 600 200

Skladovanie vodíka (kapacita v t)	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Denný buffer (hodiny – dni)		0,2	0,2	0,2	0,2

OPTIMISTICKÝ SCENÁR**

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
	871	935	1 725	2 122

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
	600	664	1 064	1 564
	80	200 080	300 080	600 080

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
		1 330 000	1 330 000	2 000 000

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
	500	1 130 500	1 030 800	1 601 000

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050

PESIMISTICKÝ SCENÁR**

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
		394	788	788

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
		300	500	500
		8	20	40

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
		665 000	1 330 000	2 000 000

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
		465 200	1 030 200	1 600 200

2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050

Rozvoj vodíkového ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050.

ZÁKLADNÝ SCENÁR						OPTIMISTICKÝ SCENÁR**					PESIMISTICKÝ SCENÁR**				
Odhadovaný počet vozidiel s vodíkovým pohonom	2 028	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Osobné vozidlá M1		1	2	3	5		1	2	4	6			1	2	3
Úžitkové vozidlá N1		1	2	2	3		1	2	3	5				1	2
Úžitkové vozidlá N2 a N3			1	1	1		1	1	2	2					1
Plánovaný počet rušňov, vlakov s vodíkovým pohonom	2 028	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Železničná doprava															
Regionálne vlaky				12	24										
Posunovacie rušne				2	6										
Letecké palivo – spotreba (t/rok)	2 028	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 028	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Vodík	3	53	104	108	315	3	205	206	413	628				100	200
Čerpacie stanice na stlačený vodík s výdajným stojanom 350 aj 700 bar						2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050	2 025	2 030	2 035	odhad 2040	odhad 2050
Verejná		1	1	2	4		1	2	3	5				1	2
Stredná do 1500 kg H2 / deň (počet)		1	1	1	2		1	1	2	3				1	2
Veľká nad 1500 kg H2 / deň (počet)				1	2			1	1	2					
Privátna	1	1	1	2	3	1	1	2	4	6	0	0	0	0	0
Malá do 500 kg H2 / deň (počet)	1	1	1	2	3	1	1	2	4	6					
Denná kapacita spolu za všetky čerpacie stanice (kg)		1 500	1 500	3 000	6 000		1 500	3 000	4 500	7 500	0	0	0	1 500	3 000

Príloha 6: Porovnanie počtu vodíkových čerpacích staníc podľa AFIR, (Zdroj: Hydrogen Europe)

Krajina	V mestských uzloch	Na TEN-T	Spolu	Počet súčasných čerpacích staníc
Belgicko	11	4	15	3 085
Bulharsko	7	8	15	4 600
Česko	7	5	12	4 008
Chorvátsko	5	6	11	Na
Cyprus	3	1	4	315
Dánsko	6	4	10	2 051
Estónsko	2	2	4	495
Fínsko	7	5	12	1 869
Francúzsko	42	26	68	11 160
Grécko	17	9	26	6 100
Holansko	24	3	27	4 142
Írsko	3	2	5	1 850
Litva	5	3	8	718
Lotyšsko	1	4	5	612
Luxembursko	1	1	2	238
Maďarsko	9	5	14	2 014
Malta	1	1	2	69
Nemecko	77	32	109	14 459
Poľsko	30	19	49	7 739
Portugalsko	13	5	18	3 418
Rakúsko	9	5	14	2 733
Rumunsko	22	12	34	1 615
Slovensko	4	4	8	973
Slovinsko	2	2	4	Na
Španielsko	49	29	78	11 650
Švédsko	18	15	33	2 701
Taliansko	49	21	70	21 750
<i>SPOLU</i>	<i>357</i>	<i>197</i>	<i>554</i>	<i>85 913</i>

Príloha 7: Výpočet spotreby vodíka v sektore dopravy WAM

WAM

Vývoj počtu evidovaných vozidiel	SKUTOČNOSŤ	PROGNÓZA			HRUBÝ ODHAD	
Druh dopravy / typ vozidiel	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	0	3100000	3200000	3100000	2700000	2500000
Dodávky a vany N1	266000	280000	280000	280000	280000	280000
Mestské autobusy kat. I a kat. A	0	1430	1430	1430	1430	1430
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	0	4300	4300	4300	4300	4300
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0	2000	1500	1300	1300	1300
Nákladné vozidlá N2 a N3	80000	81000	81000	81000	81000	81000
Ťahače návesu alebo prívesu	0	26000	26000	26000	26000	26000
Železničná doprava – DMU 861 dízelmotorová jednotka	53	53	53	53	53	53
Vnútroštátna letecká doprava	0	0	0	0	0	0
Vnútrozemské vodné cesty a vnútroštátna námorná doprava	2	2	2	2	2	2
Medzinárodná letecká doprava – 8000 pravidelných letov v roku						
Medzinárodná námorná doprava	0	0	0	0	0	0
<i>z toho Ľahká doprava (M1a N1)</i>	<i>266000</i>	<i>3380000</i>	<i>3480000</i>	<i>3380000</i>	<i>2980000</i>	<i>2780000</i>
<i>z toho Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)</i>	<i>80055</i>	<i>114785</i>	<i>114285</i>	<i>114085</i>	<i>114085</i>	<i>114085</i>
Spolu	346055	3494785	3594285	3494085	3094085	2894085

ZÁKLADNÝ WAM

Podiel vozidiel s vodíkovým pohonom v evidencii MV SR

Druh dopravy / typ vozidiel	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	0,00%	0,0097%	0,10%	0,50%	1,00%	1,80%
Dodávky a vany N1	0,00%	0,09%	0,20%	1,00%	2,00%	4,00%
Mestské autobusy kat. I a kat. A	0,30%	3,00%	12,00%	20,00%	25,00%	30,00%
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	0,00%	1,00%	8,00%	20,00%	25,00%	30,00%
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0,00%	0,00%	3,00%	25,00%	20,00%	40,00%
Nákladné vozidlá N2 a N3	0,00%	0,05%	2,00%	5,00%	20,00%	25,00%
Ťahače návesu alebo prívesu	0,00%	0,30%	5,00%	20,00%	30,00%	45,00%
Železničná doprava – DMU 861 dízelmotorová jednotka	0,00%	4,00%	16,00%	24,00%	42,00%	42,00%
Vnútroštátna letecká doprava	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	20,00%	25,00%
Vnútrozemské vodné cesty a vnútroštátna námorná doprava	0,00%	0,00%	0,00%	25,00%	25,00%	25,00%
Medzinárodná letecká doprava – 8000 pravidelných letov v roku	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	20,00%	30,00%
Medzinárodná námorná doprava						
<i>Ľahká doprava (M1a N1)</i>	<i>0,00%</i>	<i>0,02%</i>	<i>0,11%</i>	<i>0,54%</i>	<i>1,09%</i>	<i>2,02%</i>
<i>Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)</i>	<i>0,01%</i>	<i>0,18%</i>	<i>3,05%</i>	<i>9,41%</i>	<i>22,54%</i>	<i>29,99%</i>

Počet vozidiel / železničných súprav / lodí / letov s vodíkovým pohonom

Druh dopravy / typ vozidiel	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily	3	300	3200	15500	27000	45000
Dodávky a vany N1	0	250	560	2800	5600	11200
Autobusy spolu	4	86	561	1471	1693	2239
Mestské autobusy kat. I a kat. A	4	43	172	286	358	429
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II	0	43	344	860	1075	1290
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B	0	0	45	325	260	520
Nákladné vozidlá N2 a N3	0	40	1620	4050	16200	20250
Ťahače návesu alebo prívesu	0	78	1300	5200	7800	11700
Železničná doprava – DMU 861 dízelmotorová jednotka	0	2	8	13	22	22
Vnútroštátna letecká doprava	0	0	0	0	0	0
Vnútrozemské vodné cesty a vnútroštátna námorná doprava	0	0	0	1	1	1
Medzinárodná letecká doprava – 8000 pravidelných letov v roku	0	0	0	1600	1600	2400
Medzinárodná námorná doprava	0	0	0	0	0	0
<i>Ľahká doprava (M1a N1)</i>	<i>3</i>	<i>550</i>	<i>3760</i>	<i>18300</i>	<i>32600</i>	<i>56200</i>
<i>Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)</i>	<i>4</i>	<i>206</i>	<i>3489</i>	<i>12335</i>	<i>27316</i>	<i>36612</i>
Spolu	7	756	7249	30635	59916	92812

Priemerná spotreba vodíka na 100 km

Doprava (spotreba H2 kg/100 km v r. 2030)	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Ročný nájazd
Osobné automobily (1, 12000)	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	12000
Dodávky a vany N1 (1,2, 30000)	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	30000
Mestské autobusy kat. I a kat. A (7, 66000)	6,9	6,7	6,4	6,2	5,9	5,7	66000
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II (6,5, 82500)	6,4	6,2	6,0	5,7	5,5	5,3	82500
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B (7, 132000)	6,9	6,7	6,4	6,2	5,9	5,7	132000
Nákladné vozidlá N2 aj N3 (6, 80000)	6,1	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	80000
Ťahače návesu alebo prívesu (7, 120000)	6,9	6,7	6,4	6,2	5,9	5,7	120000
Železničná doprava – dvojčlánková mot. jednotka (28, 120000)	26,9	25,9	24,9	23,9	23,0	22,1	120000
Vnútroštátna letecká doprava	96,2	92,5	88,9	85,5	82,2	79,0	
Vnútrozemské vodné cesty a vnútroštátna námorná doprava (trajekt BA – Viedeň, 120, 140000)	144,2	138,7	133,3	128,2	123,3	118,5	140000
Medzinárodná letecká doprava (150 osôb, max 800 km let, 130, 1 mil. km)	125,0	120,2	115,6	111,1	106,9	102,7	1000000
Medzinárodná námorná doprava	–	–	–	–	–	–	

Účinnosť Tank to Wheel

Doprava	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Účinnosť ICE (Tank-to-Wheel)	20,3%	20,6%	20,9%	21,2%	21,5%	21,9%
Účinnosť FCEV (Tank-to-Wheel)	34,3%	35,7%	37,1%	38,6%	40,1%	41,8%
Účinnosť BEV (Tank-to-Wheel)	78%	78%	79%	79%	80%	81%

Spotreba vodíka (t/rok)

Doprava (spotreba H2 kg/100 km v r. 2030, ročný nájazd km)	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Osobné automobily (1, 12000)	0	35	355	1654	2770	4438
Dodávky a vany N1 (1,2, 30000)	0	86	185	890	1712	3293
Mestské autobusy kat. I a kat. A (7, 66000)	18	189	727	1162	1398	1611
Medzimestské, prímestské autobusy kat. II (6,5, 82500)	0	220	1690	4063	4884	5635
Diaľkové autobusy kat. III a kat. B (7, 132000)	0	0	380	2640	2031	3906
Nákladné vozidlá (6, 80000)	0	186	7258	17448	67109	80660
Ťahače návesu alebo prívesu (7, 120000)	0	623	9985	38405	55391	79891
Železničná doprava – dvojčlánková mot. jednotka (28, 120000)	0	62	239	373	608	584
Vnútroštátna letecká doprava	0	0	0	0	0	0
Vnútrozemské vodné cesty a vnútroštátna námorná doprava (trajekt BA – Viedeň, 120, 140000)	0	0	0	180	173	166
Medzinárodná letecká doprava (150 osôb, max 800 km let, 130, 1 mil. km)	0	0	0	1200	1200	1800
Osobné automobily	0	35	355	1654	2770	4438
Dodávky a vany	0	86	185	890	1712	3293
Autobusy	18	409	2797	7865	8313	11152
Nákladné vozidlá	0	809	17244	55853	122500	160551
Železničná doprava	0	9	36	56	91	88
Riečna doprava	0	0	0	180	173	166
Letecká doprava	0	0	0	1200	1200	1800
Ostatná doprava – komunálna lesnícka, poľnohosp., vojenská	0	19	73	116	140	161
Lahká doprava (M1a N1)	0	121	540	2544	4482	7731
Ťažká doprava (ostatné kategórie a letectvo)	18	1246	20149	65270	132417	173918
Spolu t H2	19	1367	20690	67814	136899	181649
Spolu t H2 podľa INEKP WAM		11679	50413	91052	133184	169746
Spolu energie vo vodíku GWh	1	46	690	2260	4563	6054
Spolu energie vo vodíku ktoe	0	4	59	194	392	521

Ciele v spotrebe vodíka WAM

Celková spotreba energie v doprave (INEKP WAM)(GWh)	34718	33737	28272	22399	18389	16584
Cieľ RFNBO v doprave		1,0%	2,5%	8,0%	22,0%	33,0%
Spotreba v doprave podľa cieľa (t H2)		10122	21205	53760	121370	164185
Použitie multiplikátora 2 len v roku 2030		5061	bez multiplikátora			
z toho 1/4 v priamej spotrebe vodíka v doprave		1265				
z toho 3/4 pri výrobe fosílnych palív		3796				

Rozvoj vodíkoveho ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050.

Príloha 8: Ciele spotreby RFNBO pre výrobu minerálnych hnojív a močoviny.

Výroba amoniaku - spotreba zem. plynu a vodíkove hospodárstvo v súčasnosti				Technická flexibilita výroby hnojív	20%
Flexibilita výrobného procesu (SMR a Haber-Bosch)				podiel	80%
Spotreba zemného plynu				mil. m³ ZP	100%
z toho ako vstupná surovina				mil. m³ ZP	80%
z toho so spotrebnými účtami				mil. m³ ZP	20%
z toho na iné účely				mil. m³ ZP	-
Minimálna spotreba / maximálna spotreba (t/rok)				t H ₂ / rok	0% 102 000 81 600

Plnenie cieľov RFNBO 2030 - chemický priemysel		Dekarbonizácia výroby minerálnych hnojív a močoviny								
		A) Čistota			B) Čistota			C) Úplná		
		42% RFNBO 58% fosilný vodík			33,6% RFNBO + 43,4% LCH 23% fosilný vodík			33,6% RFNBO + 66,4% LCH bez fosilného vodíka		
Parameter		podiel/CF	100%	80%	podiel/CF	100%	80%	podiel/CF	100%	80%
H ₂ RFNBO (podiel, objem)	t H ₂ / rok	42%	42 840	34 272	33,6%	34 272	27 438	33,6%	34 272	27 418
LCH (podiel, objem)	t H ₂ / rok	0,0%	-	-	43,4%	44 268	35 434	66,4%	67 728	54 182
súčet RFNBO a LCH	t H ₂ / rok					78 540	62 832		102 000	81 600
Fosilný H ₂ (podiel, objem)	t H ₂ / rok	58%	59 160	47 328	23%	23 460	18 788	0%	-	-
OZE Elektrolýza - ročná spotreba elektriny (účinnosť: 68% ALC)	GWh / rok	68%	2 236	1 813	68%	1 813	1 451	68%	1 813	1 451
JE Elektrolýza - ročná spotreba elektriny na výrobu H ₂ RFNBO (účinnosť: 65% ALC)	GWh / rok	65%	-	-	65%	2 342	1 874	65%	2 385	2 067
Kapacitný faktor ELY - výroba RFNBO	%					33%	42%	28%	28%	28%
Kapacitný faktor ELY - výroba LCH a JE	%					45%	38%	54%	54%	54%
Inštalovaný výkon elektrolýzy pri kapacitnom faktore	%	58%	620	500	80%	710	560	82%	900	720
Príbližné investičné náklady elektrolýzy (1400 EUR / kW)	mil. EUR		868	700		1 260	1 260		1 260	1 008
OZE - potrebný inštalovaný výkon k ELY (pomerný vektor - solar 2:1)	MW	200%	1 240	1 000	325%	888	700	100%	900	720
Inštalovaný výkon vetenej elektrárne	MW		837	667		592	467		600	480
Počet vetenných turbín (výkon jednej turbíny 6 MW)	ks		138	111		99	78		100	80
Vetenné turbíny - záber územia (vzdušný odstup stožiarov 500 m)	ha		3 444	2 778		2 495	1 944		2 500	2 000
Vetenné turbíny - záber územia - štvorc o dĺžke strany	km		5,9	5,3		5,0	4,4		5,0	4,5
Príbližné investičné náklady vetenej elektrárne**	mil. EUR		2 322	1 867		847	747		960	768
Inštalovaný výkon fotovoltaickej elektrárne	MW		413	333		298	239		300	240
Wmerna fotovoltaickej elektrárne (1,2 ha / MW)	ha		496	400		355	280		360	288
Fotovoltaická elektrárne - záber územia (1,2 ha / MW) v tvare štvorca o dĺžke strany	km		2,2	2,0		1,8	1,7		1,9	1,7
Príbližné investičné náklady fotovoltaickej elektrárne	mil. EUR		289	233		207	183		210	168
Barierové (okolo) na vytváranie špičiek - pomer BE3 k ELY (CAP EX 150 EUR / Wh)	MW	25%	135	125	33%	178	149	25%	225	180
Príbližné investičné náklady BE3	mil. EUR		29	19		27	21		34	27
Príbližné investičné náklady na potrebné pripojenie (SPP-d 22 km, eastroom 28 km)	mil. EUR		-	-		45	45		45	45
Spolu investičné náklady na výrobu vodíka	mil. EUR		2 509	2 019		2 485	2 191		2 509	1 971

Scenár LCOW na základe investičných nákladov na výrobu vodíka (systém elektrolýzy)		Špecifické investičné náklady na vodíkové elektrárne (elektrolýza + komplet zariadenia systému)								
Scenár účinnosti		2 200	1 800	1 400	2 200	1 800	1 400	2 200	1 800	1 400
LCOW bez dotácie CAPEX (cena elektriny z JE 90 EUR/MWh)	EUR / kgH ₂	8,97	7,70	6,88	7,51	7,82	6,54	7,78	7,26	6,73
LCOW s dotáciou 50% CAPEX ELY + OZE (cena elektriny z JE 90 EUR/MWh)	EUR / kgH ₂	4,60	4,18	3,79	5,56	5,30	5,81	5,81	5,82	5,26
LCOW bez dotácie CAPEX (cena elektriny z JE 60 EUR/MWh)	EUR / kgH ₂				6,43	5,94	5,46	6,62	6,09	5,57
LCOW s dotáciou 50% CAPEX ELY + OZE (cena elektriny z JE 60 EUR/MWh)	EUR / kgH ₂				4,49	4,22	5,97	4,65	4,57	4,10
		technicky neuskutočniteľné			technicky neuskutočniteľné			uskutočniteľné v úplnej investícii v prevádzke výroby amoniaku		

Plnenie cieľov RFNBO 2035 - chemický priemysel		Dekarbonizácia výroby minerálnych hnojív a močoviny								
		A) Čistota			B) Čistota			C) Úplná		
		60% RFNBO 40% fosilný vodík			48% RFNBO + 32% LCH 20% fosilný vodík			48% RFNBO + 52% LCH bez fosilného vodíka		
Parameter		podiel/CF	100%	80%	podiel/CF	100%	80%	podiel/CF	100%	80%
H ₂ RFNBO (podiel, objem)	t H ₂ / rok	60%	61 200	48 960	48,8%	48 960	39 168	48,0%	48 960	39 168
LCH (podiel, objem)	t H ₂ / rok	0,0%	-	-	52,0%	52 640	26 312	52,0%	53 040	42 432
súčet RFNBO a LCH	t H ₂ / rok					81 600	65 280		102 000	81 600
Fosilný H ₂ (podiel, objem)	t H ₂ / rok	40%	40 800	32 640	20%	20 400	16 320	0%	-	-
OZE Elektrolýza - ročná spotreba elektriny (účinnosť: 68%)	GWh / rok	68%	2 236	1 813	68%	1 813	1 451	68%	1 813	1 451
JE Elektrolýza - ročná spotreba elektriny na výrobu H ₂ RFNBO (účinnosť: 65%)	GWh / rok	65%	-	-	65%	1 727	1 381	65%	2 006	2 245
Kapacitný faktor ELY - výroba RFNBO	%					50%	42%	39%		
Kapacitný faktor ELY - výroba LCH a JE	%					33%	38%	45%		
Inštalovaný výkon elektrolýzy pri kapacitnom faktore	%	58%	960	730	83%	710	560	82%	900	720
Príbližné investičné náklady elektrolýzy (1400 EUR / kW)	mil. EUR		1 260	1 008		1 008	817		1 260	1 008
OZE - potrebný inštalovaný výkon k ELY (pomerný vektor - solar 2:1)	MW	200%	1 800	1 440	200%	1 440	1 150	140%	1 200	1 008
Inštalovaný výkon vetenej elektrárne	MW		1 200	960		880	773		840	672
Počet vetenných turbín (výkon jednej turbíny 6 MW)	ks		200	160		140	128		140	112
Vetenné turbíny - záber územia (vzdušný odstup stožiarov 500 m)	ha		5 000	4 000		4 000	3 222		3 500	2 800
Vetenné turbíny - záber územia - štvorc o dĺžke strany	km		7,1	5,3		6,3	5,7		5,9	5,3
Príbližné investičné náklady vetenej elektrárne**	mil. EUR		2 920	2 336		2 536	2 237		3 344	2 675
Inštalovaný výkon fotovoltaickej elektrárne	MW		600	480		480	387		420	336
Wmerna fotovoltaickej elektrárne (1,2 ha / MW)	ha		720	576		576	464		504	403
Fotovoltaická elektrárne - záber územia (1,2 ha / MW) v tvare štvorca o dĺžke strany	km		2,7	2,4		2,4	2,2		2,2	2,0
Príbližné investičné náklady fotovoltaickej elektrárne	mil. EUR		420	336		336	273		294	235
Barierové (okolo) na vytváranie špičiek - pomer BE3 k ELY (CAP EX 150 EUR / Wh)	MW	25%	225	180	33%	189	145	25%	225	180
Príbližné investičné náklady BE3	mil. EUR		34	27		27	22		34	27
Príbližné investičné náklady na potrebné pripojenie (SPP-d 22 km, eastroom 28 km)	mil. EUR		-	-		45	45		45	45
Spolu investičné náklady na výrobu vodíka	mil. EUR		2 694	2 207		2 852	2 342		2 977	2 345

Scenár LCOW na základe investičných nákladov na výrobu vodíka (systém elektrolýzy)		Špecifické investičné náklady na vodíkové elektrárne (elektrolýza + komplet zariadenia systému)								
Scenár účinnosti		2 200	1 800	1 400	2 200	1 800	1 400	2 200	1 800	1 400
LCOW bez dotácie CAPEX (Scenár B a C: cena elektriny z JE 90 EUR / MWh)	EUR / kgH ₂	8,98	7,71	6,89	7,39	6,89	6,34	7,58	7,06	6,53
LCOW s dotáciou 50% CAPEX ELY + OZE (Scenár B a C: cena elektriny z JE 90 EUR / MWh)	EUR / kgH ₂	4,65	4,19	3,79	5,60	4,73	4,45	5,39	5,12	4,84
LCOW bez dotácie CAPEX (Scenár B a C: cena elektriny z JE 60 EUR / MWh)	EUR / kgH ₂				6,68	6,15	5,63	6,64	6,13	5,61
LCOW s dotáciou 50% CAPEX ELY + OZE (Scenár B a C: cena elektriny z JE 60 EUR / MWh)	EUR / kgH ₂				4,29	4,01	5,74	4,48	4,19	5,81
		technicky neuskutočniteľné			technicky neuskutočniteľné			uskutočniteľné v úplnej investícii v prevádzke výroby amoniaku		
								OZPORUČANÉ pod podmienkou***		

* podiel vodíka alebo jeho derivátov vyrobených z fosilných palív, ktorý sa v danom bariere môže spotrebovať, nepresahuje 20 % v roku 2030 a nepresahuje 20 % v roku 2035.
**Bac, C., Müller, P., Szepietowski, J., Fluri, V., & Thompson, I. (2024, July). Levelized cost of electricity - Assessment of electrolysis technologies. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems IFF.
METODIKA VÝPOČTU: WACC 7,5%, úhrnné vodíkové elektrárne: 63%, špecifické náklady 1400 EUR/kWh, 20% nadrozdelenie vodíka, BE35 - rozdelenie špičiek OZE kapacita = 25% ELY, distribúcia, aWb: 12 EUR/kWh, distribúcia, potrebné pripojenie: Mošnica - plynovod Euro gas 28 km - distribúcia, pripojenie k ELY - Busko: 50 km
*** Realizácia Úprav na integrovanú prevádzku v o výrobe amoniaku, uvoľnenie jadrovej energie pri výrobe LCH, uvoľnenie podporných systémov ELY a OZE

Príloha 9: Technické parametre FC motorovej jednotky Coradia iLint

Technické parametre ALSTOM Coradia iLint

Usage profile¹⁾ for TCO model

- > **Passenger** operation in regional transport – **Medium-sized operator** assumed purchasing and operating a batch of **15 FCH trains**
- > **Typical daily mileage of 800 km** per train and **8 h to 10 h** in operation – Refuelling overnight at **central depot**
- > **Flat topography** with about **8 stops per hour** and **10 stops per 100 km**
- > Average **seat load factor of 50%**, **availability of 97%** (incl. planned maint.)



Power rating 800-1,000 kW > Typical power rating²⁾ ranges from 800 to 1,600 kW	Tractive effort 90 kN Pass. capacity 120 seats (2 units) > Typical seating capacity²⁾ ranges from 100 to 270	Max. speed 140 km/hour > Typical maximum speed²⁾ ranges from 100 to 160 km/hour > Over longer distances usually higher speed	Hydrogen tank ~250 kg > Typical tank volume²⁾ for a 2-car MU approx. 1,600 l of diesel Consumption 0.25-0.3 kg/km	Max. range 1,000 km > Typical range^{2),3)} of approximately 1,000 km > Depends e.g. on passengers on board, stops and topography	Price EUR 4.0-5.5 m > Typical price²⁾ ranges from EUR 2.0 to 9.6 m Lifetime 30 years⁴⁾
--	---	--	--	--	--

1) Duty cycle data from FINE D3.1 based on EN 50591 considered speed; 0.25 liters of fuel per kilowatt hour
Source: Expert interviews; Market research; Roland Berger

2) For diesel Multiple Units recently purchased in main European markets

3) Based on tank volumes and average

4) Potentially replacement/refurbishment of fuel cells or parts of it necessary after certain period

Príloha 10: Vysvetlenie doplnkovosti

Podrobný výklad článku 4 ods. 4, prvý pododsek a písmená a)–b) Delegovaného nariadenia Komisie (EÚ) 2023/1184

(kritérium „dodatočnosti“ pre obnoviteľnú elektrinu použitú na výrobu palív z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu – RFNBO)

1. Základná zásada

Výrobcovia RFNBO (napr. vodík z elektrolyzéra) musia preukázať, že **množstvo elektriny deklarované ako „obnoviteľné“** zodpovedá:

- elektrine vyrobenej **vo vlastnom zariadení** výrobcu paliva, alebo
- elektrine dodanej na základe **jednej alebo viacerých zmlúv o nákupe elektriny (PPA)** s nezávislým výrobcom z OZE, a to **v objeme minimálne rovnajúcom sa** deklarovanému množstvu spotrebovanej elektriny. Inými slovami, každý MWh elektriny, ktorú výrobca RFNBO označí ako obnoviteľnú, musí byť „pokrytá“ zodpovedajúcou MWh zo zdroja spĺňajúceho ďalšie kritériá.

2. Kritérium a) –

Časové nadväzovanie (novosť zdroja)

- **Nový zdroj:** zariadenie OZE musí byť uvedené do prevádzky **najskôr 36 mesiacov pred spustením elektrolyzéra**. – Zmysel: zabezpečiť, že elektrolyzér vytvára *dodatočný* dopyt a nepoužíva starú kapacitu určenú na iný odber.
- **Obnovená PPA:** ak po skončení pôvodnej zmluvy o nákupe elektriny uzavrie výrobca RFNBO **novú PPA s tým istým zdrojom**, považuje sa zdroj za uvedený do prevádzky **v čase začiatku novej zmluvy**, nie pôvodného spustenia. – Umožňuje to pokračovanie spolupráce so starším zdrojom, ak sa uzavrie nová zmluva priamo motivovaná dopytom elektrolyzéra.
- **Rozšírenie kapacity elektrolyzéra:** ak výrobca **pridá výrobnú kapacitu** na rovnakom mieste do 36 mesiacov od spustenia pôvodného zariadenia, táto pridaná časť sa považuje za uvedenú do prevádzky **spolu s pôvodnou**. – Prakticky: rozšírenie do troch rokov sa posudzuje ako súčasť pôvodného projektu.

3. Kritérium b) –

Obmedzenie podpory (štátna pomoc)

Zariadenie OZE nesmie mať **aktívnu verejnú podporu**, ktorá by deformovala trh.

Zakázané sú:

- **Prevádzkové dotácie** (garantované výkupné ceny, feed-in tarify).
- **Investičné dotácie**, okrem nižšie uvedených výnimiek.

Povolené výnimky:

1. **Modernizácia:** podpora poskytnutá **pred modernizáciou** zdroja nebráni uznaniu (týka sa napr. repoweringu).
2. **Podpora na pozemok alebo pripojenie:** finančný príspevok na kúpu pozemku či pripojenie do siete sa nepovažuje za prevádzkovú pomoc.
3. **Podpora bez čistej dotácie:** ak bola podpora **plne splatená** (napr. vratná pôžička).
4. **Výskum a demonštrácia:** zdroje dodávajúce elektrinu **výhradne pre výskum, testovanie a demonštráciu** elektrolyzéra.

Výslovne teda platí, že **investičná dotácia do 30 % oprávnených nákladov** (typická hranica schválená podľa pravidiel štátnej pomoci) je prípustná, ak spadá do vyššie uvedených výnimiek a neznamena trvalú prevádzkovú podporu.

4. Praktický dopad

- **Výrobca RFNBO** musí mať uzatvorenú **PPA alebo vlastný zdroj** tak, aby každá deklarovaná MWh bola krytá *novou* alebo novou zmluvou motivovanou kapacitou OZE.
- **Staršie zdroje** môže využiť iba vtedy, ak podpíše **novú PPA** po uplynutí pôvodnej a ak zdroj spĺňa ostatné podmienky.

Zhrnutie:

Článok 4 ods. 4 v praxi zabezpečuje, že elektrolyzéry využívajú elektrinu z **nových alebo zmluvne „znovuaktivovaných“** obnoviteľných zdrojov, bez kontinuálnej verejnej prevádzkovej podpory, čím sa garantuje skutočná *dodatočnosť* výroby a nedochádza k prepočítaniu už existujúcej zelenej elektriny na účely plnenia cieľov RED III.

Príloha 11: Vysvetlenie výnimiek z podmienky „doplňkovosti“

Nižšie je dôkladný výklad **výnimiek** spod zákazu „prevádzkovej alebo investičnej pomoci“ pri kritériu dodatočnosti podľa čl. 5 písm. b) DA (EÚ) 2023/1184, doplnený o modelové príklady.

Východisková zásada

Inštalácia OZE, ktorá „kryje“ RFNBO cez vlastnú výrobu alebo PPA, **nesmie** dostávať prevádzkovú ani investičnú pomoc. **Platí však súbor výnimiek**, pri ktorých sa takáto podpora **nepočíta** a dodatočnosť zostáva splnená.

1) Podpora poskytnutá pred modernizáciou alebo repoweringom zdroja

Čo sa toleruje. Historická podpora, ktorú zdroj OZE dostal **pred svojou modernizáciou (repoweringom)**, nebráni uznaniu dodatočnosti po modernizácii.

Prečo. Cieľom je nepenalizovať staršiu, dnes už neaktívnu schému, ak zdroj prešiel repoweringom a plní nové PPA pre RFNBO.

Príklad. Veterný park mal v rokoch 2014–2021 feed-in tarifu. V roku 2029 prebehne repowering a uzavrie sa nová PPA s elektrolyzérom. Historická podpora spred repoweringu sa **ignoruje**.

2) Finančná podpora len na pozemok alebo pripojenie do siete

Čo sa toleruje. Príspevky na kúpu pozemku či **náklady pripojenia** (napr. trafostanica, prípojka VN) sa nepovažujú za prevádzkovú ani investičnú pomoc v zmysle tohto článku.

Príklad. PV elektrárňu dostane od distribútora refundáciu časti nákladov na pripojenie. Elektrina z nej sa môže použiť na RFNBO (pri splnení ostatných kritérií).

3) Podpora, ktorá nepredstavuje čistú podporu (napr. plne splatená pomoc)

Čo sa toleruje. Finančný nástroj bez „netto“ dotácie, typicky **vratná pôžička** alebo návratná preddavková pomoc, **úplne splatená** podľa podmienok.

Príklad. Štátna bezúročná pôžička na výstavbu veternej farmy je do termínu splatená v plnej výške. Keď je pôžička splatená, nejde o čistú podporu a zdroj možno použiť pre RFNBO.

4) Zdroje OZE zásobujúce výskum, testovanie a demonštráciu RFNBO

Čo sa toleruje. Ak zdroj OZE napája **výlučne** zariadenie RFNBO používané na **výskum, testovanie alebo demonštráciu**, podpora zdroja nebráni dodatočnosti.

Príklad. 2 MW pilotný elektrolyzér v testovacom centre napájaný z dedikovanej 3 MW PV, financovanej z výskumnej grantovej schémy. Elektrina sa môže počítať ako dodatočná na účely overenia RFNBO.

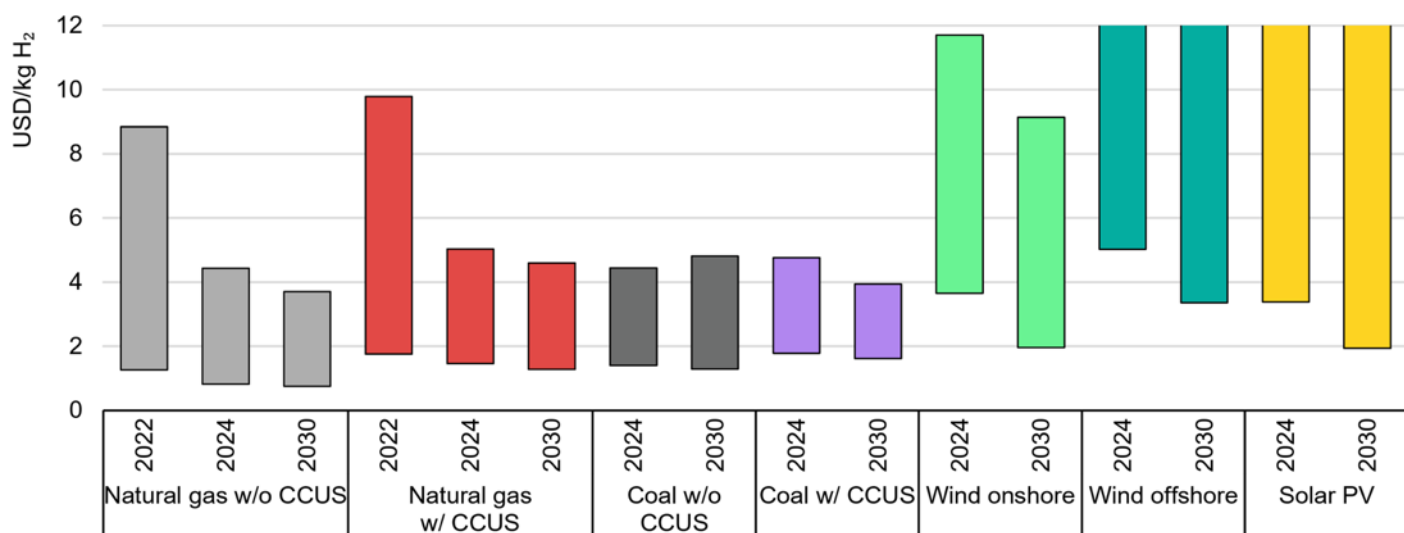
Dôležité poznámky k aplikácii

- Výnimky **neuvoľňujú** ostatné podmienky. Stále musíte spĺňať **časovú a geografickú koreláciu** a pravidlá z čl. 4 a 6–7.
- „Repowering“ nie je v texte detailne definovaný, používa sa v bežnom zmysle modernizácie/obnovy kapacity zdroja. Podpora **pred** repoweringom sa toleruje, nie však **aktuálna prevádzková** dotácia.
- Percentuálne limity investičnej intenzity **nie sú** v DA 2023/1184 stanovené. Akékoľvek percentá vyplývajú z pravidiel štátnej pomoci mimo tohto aktu a neposudzujú sa v čl. 5 písm. b).

Dokumentácia a dôkazné bremeno

Prevádzkovateľ RFNBO musí viesť dôkazy podľa čl. 8, vrátane hodinových údajov, typov zdrojov, PPA a podporných schém, a môže sa opierať o uznané dobrovoľné schémy.

Príloha 12: IEA Global Hydrogen Review 2025 – Hydrogen production cost by pathway, 2024, and in the Stated Policies



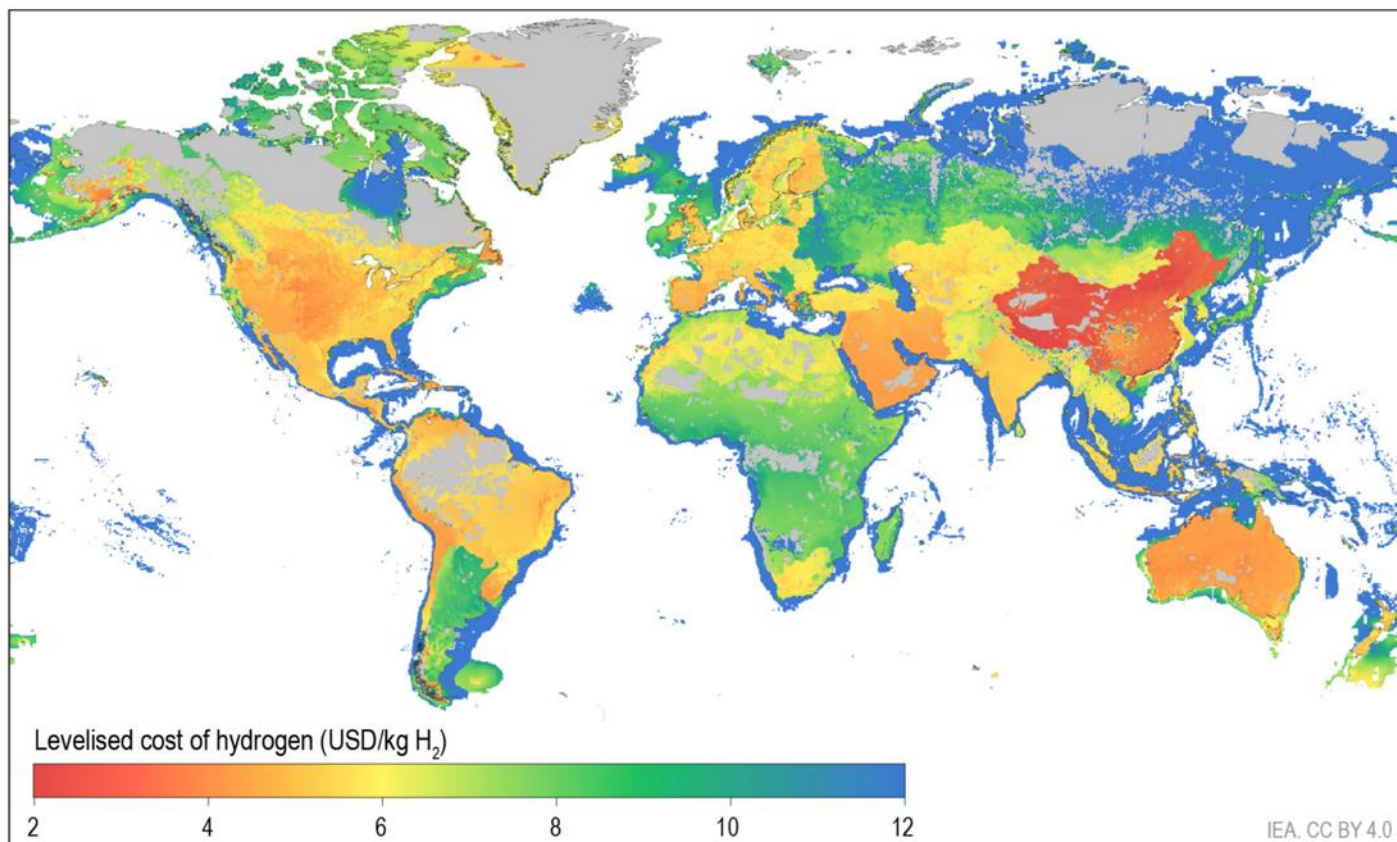
Notes: CCUS = carbon capture, utilisation and storage; w/ = with; w/o = without. Cost ranges reflect regional differences in fossil fuel prices, renewable costs, CO₂ prices, technology CAPEX and OPEX as well as cost of capital. Natural gas price is USD 5.7–50/MBtu for 2022, USD 1.7–25/MBtu for 2024 and USD 1.6–21/MBtu in the Stated Policies Scenario (STEPS) in 2030. Coal price is USD 21–260/t for 2024 and USD 22–200/t for the STEPS in 2030. CO₂ price is USD 0–90/t CO₂ for 2022, USD 0–70/t CO₂ for 2024 and USD 0–106/t CO₂ for the STEPS in 2030. The levelised production cost of solar PV electricity is USD 20–110/MWh for 2024 and USD 13–85/MWh for the STEPS in 2030, with a capacity factor of 12–35%. The levelised production cost of onshore wind electricity is USD 25–100/MWh for 2024, USD 23–90/MWh for the STEPS in 2030, with a capacity factor of 30–53%. The offshore wind electricity levelised production cost is USD 52–270/MWh for 2024, USD 40–165/MWh for the STEPS in 2030, with a capacity factor of 30–67%. For China, electrolyser CAPEX is USD 900/kW in 2024 and USD 675/kW for the STEPS in 2030, whereas for the rest of the world, it is USD 2 300/kW in 2024 and USD 1 600/kW for the STEPS in 2030. Electrolyser CAPEX includes the electrolyser system, balance of plant, engineering, procurement and construction (EPC) and contingencies; electrolyser capacity factor is assumed to be the same as the renewable power plant. The cost of capital is 6–20%. Figure capped at USD 12/kg H₂, although some production routes reach higher values. Water cost is not included. More details on the cost of producing low-emissions hydrogen using different technologies and in different regions can be found in the new [Hydrogen Tracker](#) available on the IEA website. Sources: IEA analysis based on data collected through a survey to original equipment manufacturers, EPC companies and project developers, data from McKinsey & Company and the Hydrogen Council; [BloombergNEF](#), [Argus Media Group](#), All rights reserved, [NETL \(2022\)](#); [IEA GHG \(2017\)](#).

The recent drop in fossil fuel prices has increased the cost gap between low-emissions hydrogen production and unabated fossil-based routes.

Zdroj: IEA. (2025). *Global Hydrogen Review 2025*. International Energy Agency, page 93.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/12d92ecc-e960-40f3-aff5-b2de6690ab6b/GlobalHydrogenReview2025.pdf>

Príloha 13: IEA Global Hydrogen Review 2025 – Hydrogen production cost from electrolysis using hybrid solar PV and onshore wind, and from offshore wind, in the Stated Policies Scenario, 2030



Notes: Assuming optimal oversizing of the renewable plant in each location to minimise the levelised cost of hydrogen production. Solar PV CAPEX is USD 400–1 250/kW, Onshore Wind CAPEX is USD 950–2 300/kW, Offshore Wind CAPEX is USD 1 720–4 850/kW. The cost of capital is assumed to be between 6–20% across different locations in this map. Water cost is not included. More details on the cost of producing low-emissions hydrogen using different technologies and in different regions can be found in the new [Hydrogen Tracker](#) available on the IEA website. Source: Analysis by Jülich Systems Analysis at Forschungszentrum Jülich using the [ETHOS model suite](#).

Regions with large renewable resources and low costs for electrolyzers and renewable energy technologies, plus a low cost of capital, could achieve competitive production of renewable hydrogen by 2030.

Zdroj: IEA. (2025). *Global Hydrogen Review 2025*. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/12d92ecc-e960-40f3-aff5-b2de6690ab6b/GlobalHydrogenReview2025.pdf>

Príloha 14: Cestovná mapa – detaily

ID	Doména	Fáza	Aktivita	Začiatok	Koniec	KPI/miľník	Súvislosti	Poznámka
1	Regulácia a trh	Harmonizácia legislatívy	Transpozícia RED III, implementácia DA RFNBO/LCH, záruky pôvodu pre H ₂	1/1/26	31/12/27	Účinnosť transpozície, register GoO v prevádzke	Koordinácia s EÚ, ÚRSO, MH SR	Základ pre trhovú likviditu
2	Regulácia a trh	Trhové mechanizmy	Spustenie CfD pre RFNBO, schémy štátnej pomoci, aukcie H ₂	1/6/26	30/12/28	1. kolo CfD uzavreté, kontrakty > 0,1 GW _{el}	Rozpočtové zdroje, pravidlá štátnej pomoci	Podporí skoré projekty
3	Bezpečnosť a normy	Štandardy a školenia	Aktualizácia TPG/STS, školenia IZS, bezpečnostné protokoly	1/1/26	29/6/28	Národné metodiky a tréningy hotové	Spolupráca MV SR, HaZZ	Zníženie rizík
4	Výroba – elektrolyzéry	Piloty	10–50 MW projekty s prepojením na OZE/jadro	1/3/26	30/12/28	≥ 100 MW v prevádzke	Zmluvy PPA/CfD, sieťové pripojenie	Overenie CAPEX/OPEX
5	Výroba – elektrolyzéry	Prvé škálovanie	100–400 MW portfólio, modulárne bloky	1/1/28	31/12/31	≥ 0,6 GW inštalované	Povolenia, financovanie	Pripravenosť na dopyt
6	Výroba – elektrolyzéry	Druhá vlna	0,6–1,0 GW národná kapacita	1/1/31	30/12/36	≥ 1,0 GW v prevádzke	Dlhodobé kontrakty	Stabilizácia nákladov
7	Výroba – elektrolyzéry	Masívna expanzia	1,5–2,0 GW s optimalizáciou CAPEX	1/1/36	31/12/41	≥ 2,0 GW	Skladovanie, prenos	Synergia so sieťou
8	Výroba – elektrolyzéry	Konsolidácia	≥ 3,0 GW podľa dopytu	31/12/40	31/12/49	≥ 3,0 GW	Rozvoj exportu/importu	Flexibilita systému
9	Import – rieka/terminály	Pilotné terminály	Pilotný príjem NH ₃ /LOHC/LH ₂ (Dunaj)	1/1/27	31/12/29	1 pilotný terminál	Povolenia, bezpečnosť	Testovanie reťazca
10	Import – kontrakty	Dlhodobé kontrakty	10–15 rokov CfD/SPA s dodávateľmi	31/12/28	31/12/33	≥ 20 kt/rok kontrahované	Finančné nástroje	Zníženie cenového rizika
11	Import – škálovanie	Rozšírenie terminálov	Kapacity pre ≥ 100 kt/rok	31/12/32	31/12/39	≥ 100 kt/rok príjem	Prepojenie na potrubia	Diverzifikácia trás
12	Prenos – potrubie (H ₂)	Technicko–ekonomické štúdie	Feasibility retrofitu a novostavieb, H ₂ -ready	1/1/26	29/6/28	Štúdie a mapovanie trasy	Koordinácia s Eustream	Vstup pre investície
13	Prenos – potrubie (H ₂)	Prvá etapa	Retrofit 100–200 km, prepojenie uzlov	31/12/28	31/12/33	≥ 150 km v prevádzke	Povolenia, kompresory	Jadrom siete
14	Prenos – potrubie (H ₂)	Prepojenia cezhraničné	Napojenie na regionálne koridory	31/12/32	30/12/36	2 cezhraničné body	Medzinárodné dohody	Zvyšuje bezpečnosť
15	Prenos – potrubie (H ₂)	Druhá etapa	300–500 km chrbtice	1/1/36	31/12/41	≥ 400 km	Dopyt, skladovanie	Pokrytie priemyslu
16	Distribúcia – regionálne H ₂	Pilotné vetvy	50–100 km regionálnych vetiev	1/1/28	31/12/31	≥ 80 km	Mestá, priemysel	Napájanie HRS
17	Distribúcia – regionálne H ₂	Rozšírenie	200–400 km	1/1/31	30/12/36	≥ 250 km	Prenosná sieť	Vyššia hustota
18	Distribúcia – regionálne H ₂	Sieťové pokrytie	600–800 km	1/1/36	31/12/41	≥ 600 km	Dopyt, financie	Redukcia LCOH
19	Skladovanie – sezónne	Geologický prieskum	Štúdie kavernových úložísk	1/6/26	30/12/28	Vytypované lokality	Geológia, EIA	Výber variantu
20	Skladovanie – sezónne	Pilotná kaverna	5–10 kt H ₂	31/12/28	31/12/33	≥ 5 kt	Bezpečnostné testy	Škálovateľnosť
21	Skladovanie – sezónne	Škálovanie	30–50 kt	31/12/32	30/12/36	≥ 30 kt	Sieť, dopyt	Vyrovňovanie sezón
22	Skladovanie – sezónne	Plnohodnotná kapacita	100–200 kt	1/1/36	31/12/46	≥ 100 kt	Prenos, výroba	Stabilita ES
23	Priemysel – amoniak	Konverzia H ₂ vstupu	Postupná náhrada H ₂ v NH ₃	1/1/27	30/12/36	≥ 50 % H ₂ do 2035	Dostupnosť H ₂ , NH ₃ trh	Fázovaná integrácia
24	Priemysel – rafinéria	Decarbonizácia H ₂	Náhrada H ₂ v procesoch	1/1/27	30/12/36	≥ 50 % nízkouhlíkový H ₂	Kontinuálny dopyt	Zníženie emisií
25	Priemysel – oceľ	DRI/HBI alternatíva	FEED, pilotné linky, import HBI	1/1/27	31/12/39	Pilot v prevádzke	Energetické vstupy	Cesta k nízkym emisiám
26	Mobilita – MHD	Pilotné flotily	50–100 autobusov, 3–5 HRS	1/1/26	30/12/28	≥ 100 bus, ≥ 5 HRS	Dotácie, HRS	Prevádzkové dáta
27	Mobilita – MHD	Rozšírenie	300–500 autobusov, 15–25 HRS	1/1/28	31/12/31	≥ 300 bus, ≥ 15 HRS	Mestá, dopyt	Zníženie NO _x

28	Mobilita – ťažká	Prvé flotily	100–200 ťahačov, koridory HRS	1/1/27	31/12/29	≥ 100 HDV	HRS 700 bar/LH ₂	Medzimestské trasy
29	Mobilita – ťažká	Škálovanie	2 000–3 000 vozidiel	1/1/31	30/12/36	≥ 2 000 HDV	TCO parita	Logistické uzly
30	Železnice	Pilotné jednotky	2–4 FCH vlaky neelektr. trate	1/1/27	31/12/29	≥ 2 súpravy	Depá, tankovanie	Náhrada diesla
31	Železnice	Rozšírenie	20–40 súprav	1/1/31	30/12/36	≥ 20	HRS/LH ₂ infra	Alternatíva k elektrifikácii
32	Energetika – zdroje	H ₂ -ready turbíny	100–200 MW, 20–50 % blend	1/1/28	31/12/39	≥ 200 MW	Palivová logistika	Špičkové krytie
33	Energetika – zdroje	100 % H ₂ prevádzka	0,5–1,0 GW inštalované	31/12/40	31/12/49	≥ 0,5 GW	Skladovanie, sieť	Bezemisná flexibilita
34	Digitalizácia a meranie	Meranie a reporting	MRV, emisné účtovníctvo, mass-balance	1/1/26	30/12/28	MRV systém v prevádzke	Regulácia, IT	Podmienka certifikácie
35	Financovanie	Kombinované zdroje	Modernizačný fond, IF, H ₂ Bank	1/1/26	31/12/31	≥ 1,0 mld. € mobilizované	Projekty pripravené	Multiplikácia investícií
36	Financovanie	Trhové financie	Projektové financovanie, zelené dlhopisy	1/1/31	31/12/49	Stabilný deal-flow	Banky, fondy	Znižovanie WACC
37	Ľudské zdroje	Vzdelávanie	Kurikulum H ₂ , rekvifikácie	1/1/26	31/12/29	Programy spustené	Ministerstvá, VŠ	Kapacity pre projekty
38	Verejné obstarávanie	Štandardy a rámce	Katalógové listy, rámcové zmluvy	1/6/26	30/12/28	Štandardy hotové	DP, mestá	Urýchlenie nákupu
39	Cross-border	Koordinačné platformy	Spoločné projekty a aukcie	1/1/27	31/12/33	2–3 MoU podpísané	Susedné štáty	Optimalizácia tokov
40	Komunikácia	Stakeholder engagement	Roadshow, konzultácie, NIMBY manažment	1/1/26	31/12/30	Akceptácia > 60 %	Transparentnosť	Skrátenie povoľovania
41	Geológia a prírodný vodík	Prieskum a príprava ťažby	Regionálny geologický prieskum, seizmika, vrty, testy prietokov, EIA a povolenia	1/1/28	31/12/33	2–3 prieskumné vrty, potvrdené zásoby a povolenia	Geologické dáta, financovanie, EIA	Vstup do pilotnej ťažby po 2032
42	Dopyt – doprava	Fáza 1: povedomie a oboznámenie	Národná kampaň a workshopy pre MHD, regionálnych dopravcov, logistiku a železnice	1/1/27	30/12/28	≥ 30 podujatí, ≥ 300 účastníkov	Komunikácia, ministerstvá, asociácie	Základ pre adopciu
43	Dopyt – doprava	Fáza 1: demonštračné prevádzky	Demonštračné jazdy a testy technológií s flotilami MHD, HDV a DMU 861	1/3/27	30/12/28	≥ 10 operátorov s pilotnou prevádzkou	HRS infra, výroba H ₂	Dáta pre TCO
44	Strategické plánovanie	Aktualizácia stratégií	Aktualizácia Národnej vodíkovej stratégie a Akčného plánu 2027–2035	1/1/26	31/8/26	Schválené dokumenty	Medzirezortné pripomienky	Rámec pre financie
45	Financovanie – piloty	Národný program pilotov	Návrh, spustenie a implementácia národného programu financovania pilotných projektov	1/2/27	30/12/28	Program spustený, 1. výzva uzavretá	MF SR, agentúry, asociácie	Multiplikácia zdrojov
46	HRS – mobilná záloha	Zabezpečenie continuity	Obstaranie a nasadenie mobilnej čerpacej stanice ako zálohy	1/6/27	29/6/28	1 mobilná HRS v prevádzke	Verejné obstarávanie	Zníženie rizík
47	Regionálne uzly/údolia	Screening lokalít	Posúdenie potenciálu a výber lokalít: KSK EastGateH2V, HyHope, Horná Nitra, DS, Trnava, Zvolen, stredné Považie	1/1/27	30/12/28	≥ 6 lokalít s konceptom projektu	Samosprávy, priemysel	Intermodálne napojenie
48	Dopyt – doprava	Fáza 2: pilotné projekty	Nasadenie flotíl na splnenie 1 % RFNBO v doprave	31/12/28	31/12/30	Splnenie 1 % RFNBO v doprave	Program pilotov, HRS	Míľnik 2030
49	Dopyt – doprava	Flotily 2030 – cieľové počty	300 osobných áut, 250 N1, 72 MHD, 60 prímestských, 0 diaľkových, 40 N2/N3, 78 ťahačov, 2 DMU 861	31/12/28	31/12/30	Flotila pripravená do 2030	Obstarávanie, servis	Podľa Tab. 36
50	HRS – infraštruktúra	Intermodálne uzly	Výstavba HRS s využitím pre viacero módov dopravy a nasadenie záložnej mobilnej HRS	31/12/28	31/12/30	≥ 8 HRS v uzloch	Regionálne projekty	Zdieľaná infraštruktúra
51	Priemysel – dopyt	Zmluvy a prepojenie	Kontrakty s rafinériou a výrobou amoniaku o a FEED na úseky potrebujúce k odberateľom	31/12/28	31/12/30	2 dlhodobé kontrakty, FEED hotové	Výroba H ₂ , regulácia	Koordinácia s dopravou

Rozvoj vodíkového ekosystému na Slovensku spolu so strednodobými a dlhodobými produkčnými scenármi až do roku 2050.

52	Výroba – zdroje H ₂	Fáza 3: RHNBO a LCH	Výstavba zdrojov RHNBO a LCH, commissioning a ramp-up	1/1/31	31/12/35	≥ 1,0 GW elektrolyzéry, LCH kapacity	PPA/CfD, investori	Diverzifikácia mixu
53	Prenos – sieť H ₂	Prepájanie úsekov	Prepojenie existujúcich úsekov do súvislého celku a cezhraničné napojenia	1/1/31	31/12/35	≥ 2 prepojenia so susedmi	Medzinárodné dohody	Zvýšenie bezpečnosti
54	Obchod – import	Začiatok dovozov	Začiatok tokov vodíka zo zahraničia vrátane tretích krajín	31/12/32	31/12/35	≥ 20 kt/rok import	Terminály, kontrakty	Likvidita trhu
55	Dopyt – flotily	Rast flotíl	Nárast vozidiel najmä v MHD a ťahačoch návesov	1/1/31	31/12/35	≥ 1 500 vozidiel navyše	HRS, dodávky vozidiel	Efekt siete
56	Politika a trh	Fáza 4: akcelerácia	Plný efekt EU ETS II a ukončenie bezplatných povolení, stimul vyššieho dopytu	1/1/36	30/12/40	Cenové signály internalizované	EU ETS, regulácia	Zrýchlený dopyt
57	Energetika a palivá	H ₂ -ready a e-palivá	Nástup energetiky, výroby syntetických palív a ďalších odvetví	1/1/36	30/12/40	≥ 200 MW H ₂ -ready, 1 linka e-palív	Zdroje H ₂ , investori	Diverzifikácia odberu
58	Hutníctvo	Transformačné stratégie	Finalizácia stratégií transformácie hutníctva a kontraktácia H ₂ dodávok	1/1/36	31/12/38	Schválené stratégie, rámcové zmluvy	Priemysel, vláda	Predpoklad DRI/HBI
59	Systémový rozvoj	Fáza 5: masové nasadenie	Široké nasadenie vodíkových technológií vo všetkých sektoroch	31/12/40	31/12/49	Uhlíková neutralita 2050 – príspevok H ₂	Sieť, skladovanie, výroba	Stabilné dodávky

Ostatné referencie

-
- ¹ European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (COM(2020) 301 final). Publications Office of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0301>
- ² European Court of Auditors. (2024, July 17). Special report 11/2024: The EU's industrial policy on renewable hydrogen – Legal framework has mostly been adopted – Time for a reality check. <https://www.eca.europa.eu/en/publications/SR-2024-11>
- ³ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). (2023). National Hydrogen Strategy – Update 2023. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/national-hydrogen-strategy-update.pdf>
- ⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). (2024, July 22). Import Strategy for hydrogen and hydrogen derivatives. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/importstrategy-hydrogen.pdf>
- ⁵ Bundesnetzagentur. (n.d.). Hydrogen core network (Wasserstoff-Kernnetz). Retrieved August 15, 2025, from <https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Areas/Energy/HydrogenCoreNetwork/start.html>
- ⁶ Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky. (2024, July 17). Vodíková strategie ČR – aktualizace 2024. <https://mpo.gov.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2024/7/Vodikova-strategie-CR-aktualizace-2024.pdf>
- ⁷ Ministerstwo Klimatu i Środowiska. (2021). Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. <https://www.gov.pl/attachment/4c261e63-f57d-48e3-b451-10b235aa2de8>
- ⁸ European Commission. (n.d.). Hydrogen – Energy. https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen_en (accessed Aug 15, 2025).
- ⁹ Daimler Truck AG. (2023, September 26). Daimler Truck #HydrogenRecordRun: Mercedes-Benz GenH2 Truck cracks 1,000 kilometer mark with one fill of liquid hydrogen. <https://www.daimlertruck.com/en/newsroom/pressrelease/daimler-truck-hydrogenrecordrun-mercedes-benz-genh2-truck-cracks-1000-kilometer-mark-with-one-fill-of-liquid-hydrogen-52369346>.
- ¹⁰ Medzinárodná energetická agentúra (IEA). (2024, 13. novembra). Levelised Cost of Hydrogen Maps (dátový nástroj). IEA. Dostupné z <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/levelised-cost-of-hydrogen-maps>
- ¹¹ Zdroje: <https://research.csiro.au/ugre/orange-hydrogen/> , <https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-05/h2iqhour-04242025.pdf> , <https://green.simpliflying.com/p/how-vemas-orange-hydrogen-could-transform>