HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR

KOLEKTIV AUTORŮ

Aktualizovaná Verze ke dni 24.7.2020

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

© **Česká vodíková technologická platforma,** Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec, Česká republika

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obsah

1 Úvod 4
2 Strategický přístup EU k využití vodíku 4
3 Současná pozice vodíkových technologií v ČR 7
3.1 Vodík v energetických strategiích a legislativě v ČR 8
4 Možnosti výroby a importu vodíku v ČR 10
4.1 Nízkoemisní vodík - výroba 10
4.2 Bezemisní „čistý“ vodík -výroba 11
4.3 Import vodíku do ČR 12
5 Potenciál využití vodíku v energetice ČR 12
6 Potenciál vodíkových technologií pro průmysl ČR 13
7 Potenciál vodíkových technologií pro vědu a výzkum ČR 15
8 Potenciál výroby vodíku z OZE v ČR 15
8.1 Flexibilita elektrizační soustavy, charakteristika P2G 15
8.2 Varianty rozvoje ES ČR 22
8.3 Uplatnění akumulace elektřiny ve výrobě vodíku 25
8.4 Bilance výroby vodíku 30
9 Dovoz vodíku ze zahraničí 32
9.1 Německo 32
9.2 Rozvoj plynárenské infrastruktury ostatních sousedních zemí 36
9.3 Potenciál dovozu vodíku z pohledu kapacity HPS 38
9.4 Kontext dovozu vodíku z hlediska provozování plynárenské soustavy 42
10 Vyčíslení ekonomických a environmentálních dopadů 48
10.1 Ekonomika výroby vodíku z OZE 48
10.2 Vyčíslení ekonomické náročnosti výroby vodíku v ČR 51
10.3 Vliv výroby vodíku z OZE na emise skleníkových plynů 52
11 Strategické cíle pro podporu využití vodíku v ČR 57

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

1 Úvod

Dokument byl zpracován Českou vodíkovou technologickou platformou v rámci projektu "Česká vodíková technologická platforma 2020" CZ.01.1.02/0.0/0.0/16_057/0010972 podpořeného z operačního programu OP PIK Spolupráce – technologické platforma II. výzva. Dokument byl zpracován na základě několika podkladových studií autorským kolektivem platformy v květnu 2020. Text byl v červenci 2020 aktualizován se zohledněním nově vydaných strategických dokumentů především pak Vodíkovou strategií pro klimaticky neutrální Evropu [1] a vznik Evropské aliance pro čistý vodík.

2 Strategický přístup EU k využití vodíku

Evropská komise v rámci svých dokumentů mj. Zelené dohody pro Evropu, (Green deal)[2] deklaruje výrazný zájem na tzv. dekarbonizaci evropské energetiky i průmyslu. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je přechod na masivní využití vodíku v sektou dopravy, budov a průmyslu. Vodík představuje univerzální energetický vektor, který proniká všemi sektory. Nicméně, jak uvádí Hydrogen Road map[3] v roce 2018 se vodík podílel na energetické spotřebě EU méně než 2% (325 TWh), kdy se jednalo především o vodík v rámci chemické výroby. Základem dekarbonizace je tak použití především bezemisního vodíku tj. vodíku vyprodukovaného bez emisní stopy CO_2. Kritérium emisní stopy následně určuje zařazení vodíku do kategorie bezemisní tzv. čistý (clean) nebo též zelený vodík (Green hydrogen), nízkoemisní tzv. modrý vodík (Blue hydrogen) a vodík bez prokázání původu tzv. šedý vodík (Grey hydrogen). Za nízkoemisní vodík je dle metodiky CertifHy[4] považován vodík jehož emisní CO_2 stopa je nižší než 36,4g CO_2eq/MJ H_2. Tato hodnota představuje cca 40% z emisní stopy vodíku produkovaného dnes převládající technologií parního reformingu zemního plynu (SMR).

Hlavní cíl EU je zaměřen na bezemisní nebo též čistý vodík produkovaný výhradně z obnovitelných zdrojů. Plán EU je dosáhnou do roku 2050 navýšení energetického využití

[1] Evropská komise A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe 2020 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN

[2] Evropská komise, Zelená dohoda pro Evropu 2019 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=CS

[3] FCH JU Hydrogen Roadmap Europe 2019 https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition

[4] CertifHy methodology 2019 https://www.fch.europa.eu/page/certifhy-designing-first-eu-wide-green-hydrogen-guarantee-origin-new-hydrogen-market

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

vodíku na 2251 TWh. Zmíněné množství energie bude rozděleno mezi již zmíněné sektory dopravy, budov a průmyslu rozšířené o stabilizaci energetické sítě viz. Obrázek 2.2. Za hlavní resp jediný zdroj vodíku je do budoucna považován bezemisní vodík produkovaný z obnovitelných zdrojů pomocí elektrolýzy vody[5]. K dosažení tohoto cíle EK předpokládá přechodové období (cca 25 let), kdy k vybudování chybějící infrastruktury a zavádění vodíkových technologií bude využíván též nízkoemisní (modrý) vodík.

Obrázek 2.1 Kategorizace vodíku dle CertifHy

Realizaci plánů na transformaci energetiky a průmyslu směrem k bezemisní vodíkové ekonomice má pomoci European Clean Hydrogen Alliance[6]. Kde jsou již prezentovány konkrétní plány v oblasti instalovaného výkonu elektrolyzéru k produkci zeleného vodíku. Vzhledem k energetickým nároků zemí EU je zřejmé, že nelze dosáhnout energetické soběstačnosti, proto i v rámci Clean Hydrogen Alinace je uvažována produkce zeleného vodíku mimo území EU, především v severní Africe a na Ukrajině (2x 40GW Initiative)[7]. Činnost Aliance má výrazně podpořit budování vodíkové infrastruktury pro dovoz vodíku do EU i jeho distribuci v rámci zemí EU. Preferované umístění elektrolyzérů je v oblastech s vysokou účinností obnovitelných zdrojů tj. větrné elektrárny na severním pobřeží a solární na jihu. Vedle výstavby zdrojů výrobu bezemisního vodíku jsou plánovány velké investice do

[5] Evropská komise A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN

[6] European Clean Hydrogen Alliance https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance_en

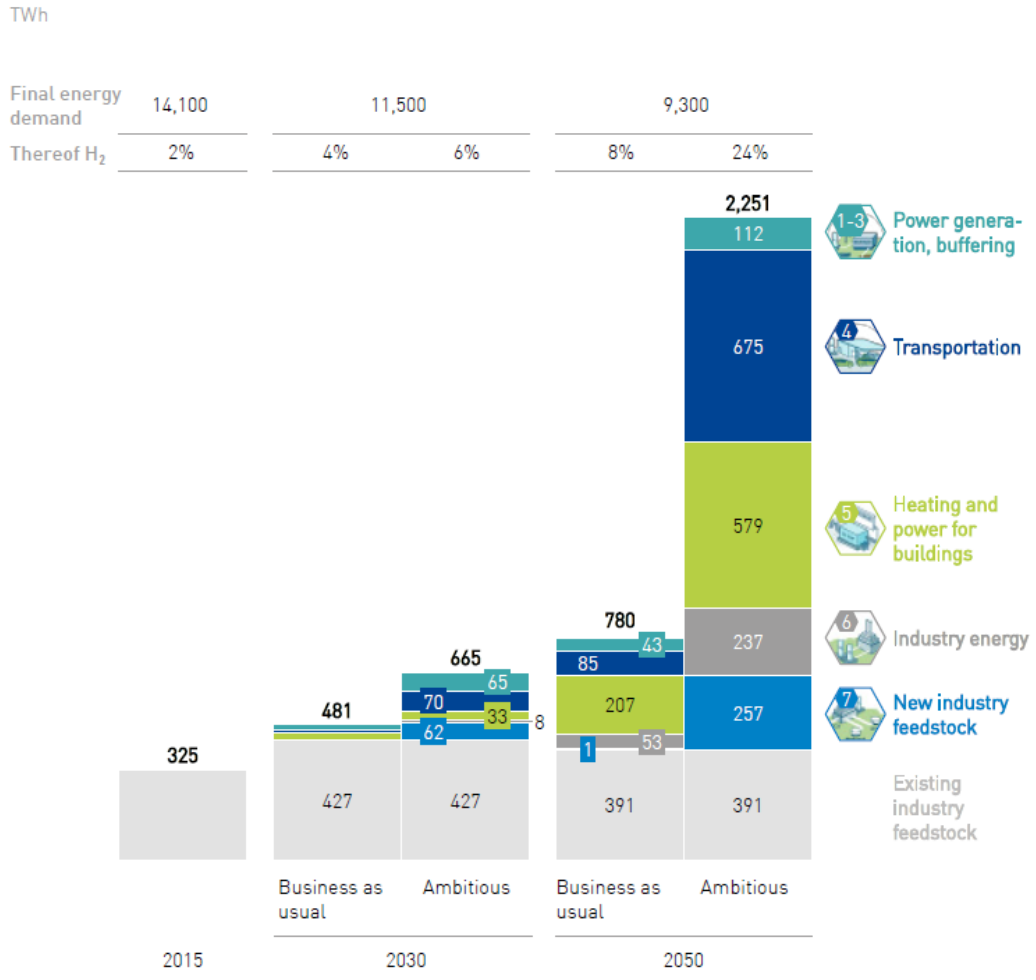
[7] 2x40 GW Green Hydrogen Initiative https://www.hydrogen4climateaction.eu/2x40gw-initiative

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

plnicích stanic pro mobilitu, potrubí pro transport vodíku, konverzi energeticky náročných technologií na využití vodíku společně s vývojem velkokapacitních elektrolyzérů vody a palivových článků. Orgány EU zdůrazňují potřebu větší spolupráce mezi státy EU v oblasti trhu s energiemi i vlastní distribuci vodíku. Lze tak očekávat, že energii exportující země se stanou jejími dovozci a naopak.

Obrázek 2.2 Roční produkce a využití vodíku v EU podle segmentů[8]



(FCH JU)

[8] FCH JU Hydrogen Roadmap Europe https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Transformace průmyslu EU [9] počítá s dekarbonizací průmyslu a především v hledání úspor ve spotřebě energie například zaváděním nízkoemisních řešení. K tomu lze dojít rozvojem nových technologií a přechodem na méně emisně zatěžující postupy ve stávajících provozech. Jako nejsnazší řešení je náhrada šedého vodíku u stávajících chemických výrob (amoniak a petrochemie). Nahrazení fosilních paliv vodíkem v energeticky náročných odvětvích (produkce oceli, cementu, základních chemických látek) pak bude vyžadovat modifikace stávajících technologií.

Je třeba si uvědomit, že prioritou orgánů EU je vyrovnaná energetická bilance celé EU a stejně tak i v oblasti zaměstnanosti a výroby. Specifika ČR nejsou pro orgány EU hlavním faktorem při plánování strategií.

3 Současná pozice vodíkových technologií v ČR

V České republice je dlouhodobě široce rozvinutý chemický průmysl, který je prakticky jediným producentem a zároveň i spotřebitelem vodíku. Vodík však v chemickém průmyslu představuje především vstupní chemickou surovinu pro výrobu požadovaných chemických látek a nikoliv palivo pro následné energetické využití. To je do značné míry dáno absencí možností jiného využití vodíku z důvodu chybějící infastruktury i legislativních omezení. Hlavním parametrem současných výrob je tak cena vyrobeného vodíku, případně požadavky na jeho kvalitu. Z uvedeného důvodu je dnes hlavní produkční technologií pro výrobu vodíku v ČR zpracování těžkých ropných frakcí metodou parciální oxidace (POX) a parní reforming zemního plynu (SMR). Elektrolýzou produkovaný vodík v ČR je vedlejším produktem chlor-alkalické výroby a jeho emisní stopa je odvozena od energetického mixu elektrické energie v ČR. Současná produkce vodíku v ČR je cca 126 kt/rok, kdy se však jedná výlučně o emisně zatížený vodík s průměrnou hodnotou 116g CO_2eq/MJ H_2 (viz. Tabulka 3.1).

V posledních cca 5 letech i díky dění v EU doznala v ČR situace značných změn v oblasti zájmu o vodíkové technologie za strany nejen výzkumných organizací, ale i průmyslových podniků a především státní správy. Vodík je již vnímán jako relevantní médium pro energetické aplikace především v mobilitě, ale i jako prostředek pro skladování energie. Největší aktivity probíhají v oblasti výzkumu, kdy vodíkové technologie představují jednu z úspěšných oblastí zapojení ČR do projektů Horizon 2020 i na národní scéně byla podpořena řada projektů zaměřených na aplikační využití vodíkových technologií. Díky tomu v ČR vzniká znalostní báze a příprava odborníků orientujících se v problematice vodíkových

[9] Evropská komise, Nová průmyslová strategie pro Evropu 2020 https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2020:0102:FIN:CS:PDF

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

technologií. Vysoké školy zároveň reflektují vodíkové technologie ve svých výukových aktivitách a v tématech závěrečných pracích. Na VŠCHT Praha byl akreditován studijní obor Vodíkové a membránové technologie.

Tabulka 3.1 Stávající kapacity výroby vodíku v ČR

Kapacita	emise CO_2	emise CO_2 (120MJ/kg H2)	Firma/ lokalita
t/rok	$kgCO_2/kg\ H_2$	$gCO_2/MJ\ H_2$	
98000	15	125	Unipetrol Litvínov
7000	13,15	110	Unipetrol Kralupy
2500	1,8	15	Synthos Kralupy
13650	9	75	BC-MCHZ Ostrava
1400	12	100	DEZA Valaské Meziříčí
3000	14,8	123	Spolchemie Ústí n. Labem
Σ 125550		ø 116,2	

V současné době je pozorován posun i ve státní správě, kdy především uhelné regiony tj. Moravsko-slezský a Ústecký kraj plánují významné zavedení vodíkových technologií.

Zavádění vodíku do energetiky si vynutí zásadní změny v provozu plynárenské infrastruktury, což si provozovatelé sítí uvědomují a začínají tuto problematiku řešit. Zavádění vodíkové mobility s sebou přináší na požadavky řešení produkce vodíku v požadované kvalitě a jeho distribuce. Malé firmy v ČR se orientují na tvorbu řešení konkrétních aplikací např. testovací stanice pro výkonné palivové články, mobilní dobíjecí stanice elektromobilů, plnicí stanice na vodík.

3.1 Vodík v energetických strategiích a legislativě v ČR

Většímu zájmu se dostává vodíku také na vládní úrovni ČR. Tuzemská situace se podobá evropské – novější dokumenty věnují vodíku stále větší prostor (rozdíl však panuje v tom, že je nutné zohlednit potřebný čas pro implementaci evropských směrnic na národní úroveň). Vládní strategie, příp. česká legislativa staršího data vodík vůbec neřeší, a pokud ano, tak jen

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

na velmi obecné úrovni. To platí například pro *Státní energetickou koncepci*, která byla schválená v roce 2015 – vodík je zde zmíněný naprosto okrajově. Jednou v kontextu dopravy a podruhé v souvislosti s výzkumem a inovacemi, kdy je uvedena možnost technologické podpory projektů na výrobu a energetické využití vodíku včetně palivových článků. Vzhledem k očekávané nové aktualizaci *Státní energetické koncepce* je vhodné, aby v ní byla detailně řešena problematika vodíku. Je také žádoucí, aby obecně národní strategie rychleji reagovaly na evropské tendence a řešily otázku integrace nových technologií.

Větší prostor již vodík dostává ve *Vnitrostátním plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu* (NKEP). Řešený je primárně vodík vyrobený z obnovitelných zdrojů (tedy zelený), ale není opomenutý ani modrý vodík (vyrobený v kombinaci s CCS), který má dle dokumentu potenciál přispět k plnění klimaticko-energetických cílů. NKEP plní funkci koncepčního materiálu, a proto je patrná snaha neuzavřít se před žádnou technologií. To dokazuje například tvrzení, že je vhodné ponechat plynárenskou infrastrukturu k budoucímu využití jak pro zemní plyn, tak i pro nové druhy plynů. Také v oblastech souvisejících s výzkumem a inovacemi jsou zmiňovány obnovitelné a dekarbonizované plyny společně (tedy vodík, syntetický metan a biometan), přičemž žádný z nich není výslovně preferován.

Při pominutí dopravy je vodík v NKEP řešený hlavně v souvislosti se sektorem plynárenství a jeho možném vstřikování do přepravní nebo distribuční infrastruktury. Mezi hlavní cíle plynárenství patří podpora zařízení na výrobu vodíku, včetně jejich připojení do plynárenské infrastruktury. Zároveň je zmíněno i riziko nedostatečné připravenosti některých částí infrastruktury pro vyšší obsah vodíku. Potenciální prostor pro uplatnění tohoto plynu lze vidět i při poskytování flexibility elektrizační soustavě. NKEP zmiňuje vodík také v otázce posílení energetické bezpečnosti a potenciálu snížit dovozní závislost – ovšem je nutné dodat, že toto je relevantní jen za předpokladu, že bude vyráběn v ČR.

V souvislosti s implementací evropského práva do národní legislativy se jeví jako příležitost pro vodík směrnice Evropského parlamentu a Rady 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Směrnice by měla být implementována do českého legislativy nejpozději do 30. června 2021 a je žádoucí, aby se implementace zabývala také vodíkem. Součástí by mělo být řešení záruk původu pro obnovitelné plyny a také by měl být připravený rámec a pravidla pro působení obnovitelných plynů, což usnadní jejich integraci.

V současnosti není v české legislativě vodík nijak formálně ukotvený. Energetický zákon (zákon č. 458/2000 Sb.) přesně definuje, co je to plyn a dle části první § 2, odstavce 2b) je uvedeno, že plynem se rozumí: *zemní plyn, koksárenský plyn čistý, degazační a generátorový plyn, biometan, propan, butan a jejich směsi, pokud nejsou používány pro pohon motorových vozidel*. Proto je do budoucna vhodné legislativně definovat vodík jako takový, včetně jeho kategorizace. Také je žádoucí, aby *vyhláška č. 108/2011 Sb. o měření plynu* stanovila

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

maximální povolený podíl vodíku v plynárenské infrastruktuře. Aktuálně platná podoba vyhlášky vodík nijak nereflektuje.

Bilance vydávané Energetickým regulačním úřadem nereflektují vodík jako palivo, což je do budoucna vhodné doplnit. Zároveň by měl být i Operátor trhu připravený na možnost rozšíření záruk původu na obnovitelné plyny – dnes vydává podle §44 a §45 zákona č. 165/2012 Sb. záruky původu elektřiny z obnovitelných zdrojů a z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla.

4 Možnosti výroby a importu vodíku v ČR

V současné době existuje mnoho technologií produkce vodíku, nicméně většina nezohledňuje množství CO_2 generované během výroby. Vzhledem k předpokládanému vývoji nelze očekávat navyšování kapacity produkce šedého vodíku z fosilních zdrojů pro účely energetiky ev. dekarbonizace průmyslu. Možností jak dosáhnout produkce nízkoemisního resp. bezemisního vodíku v ČR jsou omezené, nikoliv však nemožné.

4.1 Nízkoemisní vodík - výroba

Pro produkci nízkoemisního vodíku je třeba dosáhnout emise CO_2 na kg vodíku pod úroveň 36,4g CO_2eq/MJ H_2 ,Vodíková strategie EU přesně neuvádí konkrétní hodnotu, ale cituje CertifHy metodiku ze které uvedený údaj vychází. U současných technologií lze dosáhnout snížení emisí pomocí technologií záchytu a ukládání CO_2 (CCS) nebo záchytu a využití CO_2 (CCU). Možnosti CCS vyžadují vedle zachycení produkovaného CO_2 i jeho transport na místo uskladnění. V současnosti se pro uskladnění využívají vytěžená ložiska zemního plynu ev. ropy, solné kaverny a další geologicky vhodná prostředí. Samotná technologie SMR + CCS založená na separačních procesech dle Mezinárodní energetické agentury IEA[10] zvyšuje spotřebu zemního plynu o 10% a ekonomické náklady o 50%. Jedním z hlavních faktorů je dostupnost lokalit pro uskladnění CO_2. Bohužel v ČR jsou vhodné lokality již využity ke skladování strategických zásob zemního plynu a jejich konverze na skladování CO_2 nepředstavuje reálnou variantu. Budování plynovodů pro CO_2 na velké vzdálenosti je zcela nereálné. Zbývá tak zařazení technologie CCU, kdy pro ČR relevantní technologií může být produkce močoviny ($CO(NH_2)_2$), využití CO_2 v zemědělství ev. výroby metanolu. Žádný z uvedených způsobů však nepřináší dostatečné využití velikostí odbytu pro dekabonizaci současných výrob. Poslední možností pro současné způsoby výroby vodíku z fosilních paliv

[10] IEA The Future of Hydrogen 2019 https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

(POX a SMR) je použití suroviny bez emisní stopy tj. biohmoty. V případě SMR by se jednalo o biomethan, kdy záleží na vstupní surovině. Nicméně při použití biometanu, dřevní hmoty apod, je možné produkovat nízkoemisní vodík. Roční produkce bioplynu v ČR činila 1 319 Mm^3 v roce 2018[11]. Uvedené množství by téměř přesně nahradilo stávající výrobu vodíku v ČR. Vedle nereálnosti transportu veškerého bioplynu k výrobním provozům by se tato bilance negativně projevila na produkci elektrické energie z obnovitelných zdrojů i v dekarbonizaci dopravy.

V současné době jediným velkým provozem využívajícím elektrickou energii k produkci vodíku je chlor-alkalická technologie provozovaná v Ústí n. Labem, z důvodu složení energetického mixu produkce elektrické energie v ČR, je takto vyráběný vodík zatížen srovnatelnou emisní stopou, jako má proces POX. Za předpokladu, že by provozovatel nakupoval pouze elektrickou energii pocházející z OZE, tak by mohl produkovaný vodík být vykazován jako zelený.

Z uvedeného textu je zřejmé, že dekarbonizace v současnosti provozovaných technologií je velmi obtížná. Dle komunikací s provozovateli nelze očekávat masivní investice do jejich dekarbonizace, ale spíše útlum produkce v případě fosilních surovin a trvající závislost na energetickém mixu v případě chlor-alkalické elektrolýzy.

Pro produkci nízkoemisního vodíku je tak více pravděpodobné využití nově instalovaných výrobních kapacit. Za hlavní technologii produkce v ČR lze považovat elektrolýzu vody využívající nizkoemisní elektrickou energii mj. z jaderných elektráren.

Ve stádiu a pilotních realizací je vysokoteplotní plasmatický rozklad zemního plynu (metanu), kdy vzniká tuhý uhlík a vodík[12]. Je třeba si uvědomit, že na 1t H_2 připadá produkce 4t uhlíkových sazí, zatím co světový obchod s uhlíkem je 6x nižší. Proto je ekonomické využití generovaného uhlíku problematické a bude nutné jej skládkovat.

4.2 Bezemisní „čistý“ vodík -výroba

Bezemisní vodík je dle dokumentů EU možné produkovat pouze z elektrické energie pocházející z obnovitelných zdrojů s prioritou pro větrné a solární elektrárny. Lze uvažovat i vodní elektrárny a energii z biomasy, ale zde je třeba zohlednit původ této biomasy, což se projeví na výsledném emisním zatížení a nutností kombinace s technologií CCS ev. CCU.

[11] MPO Obnovitelné zdroje energie v roce 2018 https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2018--249170/

[12] IEA The Future of Hydrogen 2019 https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Prakticky jediná technologie vhodná pro výrobu čistého vodíku je tak elektrolýza vody. Jak již bylo zmíněno, emisní stopa vodíku produkovaného elektrolýzou zcela závisí na původu použité elektrické energie. Zdroj obnovitelné elektrické energie je možné propojit přímo s elektrolyzérem a tím 100% zaručit emisní čistotu produkovaného vodíku. Tato varianta však naráží na nízký stupeň využití solárních a větrných elektráren v ČR, který je méně než ½ ve srovnání s geograficky příznivějšími lokalitami v EU i mimo EU[13]. Pro ekonomický provoz elektrolyzérů na území ČR je tak zcela klíčová možnost využití přebytků elektrické energie v rozvodné síti včetně přetoků z okolních států. Pro produkci zeleného vodíku však chybí certifikační mechanismus, který umožní i takto generovaný vodík považovat za zelený. Jednou z priorit orgánů EU je zavedení certifikace původu nejen vodíku, ale i ostatních forem energie.[14] Potenciál produkce takto generovaného vodíku podrobně popisuje kapitola 8. Potenciál výroby vodíku z OZE v ČR.

4.3 Import vodíku do ČR

Plány transformace energetiky EU počítají s dopravou vodíku, jako universálního energetického média mezi jednotlivými státy. Pro přechodné období se počítá s využitím rozvodných sítí zemního plynu a následně vybudování rozvodů pro čistý vodík[12]. Páteřní sítě jsou zpravidla tvořené několika souběžně vedenými trubkami a je tak možné uvažovat o převedení části stávající kapacity na čistě vodíkovou. Transport vodíku jako příměsi k zemnímu plynu však vyžaduje adaptaci stávajících rozvodů na změnu složení transportovaného plynu. Provozovatelé plynárenské soustavy tak budou nuceni přizpůsobit stávající rozvody a v dlouhodobém výhledu se připravit na budování nových rozvodů pro čistý vodík ev. konverzi stávajících. Je plánovaná produkce vodíku na Ukrajině[13] a na pobřežích Baltského i Středozemního moře, takže lze očekávat příměs vodíku do zemního plynu nebo tlak na transport čistého vodíku ve všech transitních plynovodech vedoucích na území ČR. Detailněji je připravenost plynárenské soustavy rozvedena v kapitole 9. Dovoz vodíku ze zahraničí

5 Potenciál využití vodíku v energetice ČR

Vedle velkých centrálních zdrojů je v transformaci energetiky EU kladen důraz na decentralizaci zdrojů podporujících lokální produkci energie i její akumulaci. Decentralizace

[13] 2x40 GW Green Hydrogen Initiative https://www.hydrogen4climateaction.eu/2x40gw-initiative

[14] Evropská komise A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

produkce tepelné a elektrické energie klade větší nároky na účinnost malých zařízení. To v současné době splňují kogenerační jednotky. Mikrokogenerační jednotky (pro výrobu tepla a el. energie) pracující na principu palivových článků vykazují o 10% vyšší produkci elektrické energie než jednotky na principu spalovacích motorů[15]. Jako palivo využívají tyto jednotky vodík generovaný na místě ze zemního plynu, mohou tak, jako palivo využívat z rozvodů jak vodík, tak i zemní plyn ev. bioplyn.
Pro transformaci energetiky, průmyslu i dopravy je pro ČR jednou z priorit zajištění stabilní dodávky elektrické energie. S nárůstem podílů obnovitelných zdrojů nejen v ČR bude produkce elektrické energie více podléhat vlivům počasí. Produkce vodíku elektrolýzou vody je jedním z realizovatelných velkokapacitních řešení pro uskladnění přebytků elektrické energie. K tomu je však třeba nalézt lokality s dostatečně silnou rozvodnou sítí a prostory pro uskladnění stlačeného vodíku. Jednou z variant je využití prostor odstavených uhelných elektráren, kde je distribuční sít již zavedena a jsou zde dostupné prostory pro vybudování skladovacích kapacit v tlakových zásobnících. Ve větším měřítku jsou palivové články prostředkem pro výrobu elektrické energie s vysokou účinností, které lze využívat k regulaci sítě při použití jak obnovitelného vodíku, tak i zemního plynu (tj. pro zpětnou konverzi energie skladované ve formě vodíku).
U instalací nad cca 100 kW již uskladnění větších množství energie v bateriích představuje vysoké investiční nároky a je vhodnější využít kombinaci elektrolýzy vody a kogenerační jednotky na principu palivových článků. Toto řešení je vhodné i pro tzv. ostrovní řešení tam, kde není dostatečná kapacita rozvodné el. sítě. Následné propojení s okolní sítí může vytvářet lokální stabilizační prvek.

6 Potenciál vodíkových technologií pro průmysl ČR

ČR je zemí s rozvinutým průmyslem, kdy zásobování energií je pro výrobu klíčové. S tím souvisí i produkce emisí CO_2 spojená s výrobou a případně transportem surovin i produktů. Stávající provozy výroby vodíku mohou uvažovat nahrazení produkce vodíku ze zemního plynu (cca 22 kt H_2/rok) zeleným nebo modrým vodíkem. Ostatní provozy využívají k produkci vodík odpadní materiály (např. těžké ropné frakce) pro které nemají alternativní vhodné využití.
Vzhledem k limitovaným možnostem lokální produkce nízkoemisního vodíku je přechod na nízkoemisní ev. bezemisní vodík pravděpodobný při dodávkách tohoto vodíku ze zahraničí. Vodík tak bude mít pro podniky význam především, jako záložní zdroj energie, který je možné kombinovat se zdrojem paliva pro vodíkovou mobilitu.

[15] IEA Technology Roadmap - Hydrogen and Fuel Cells 2015 https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Přechod na vodíkové technologie představuje velkou příležitost pro výrobní sféru, kdy celosvětově lze očekávat rychle rostoucí poptávka nejen po palivových článcích a elektrolyzérech vody. Velkou oblastí se značným již existujícím know-how (např. z oblasti CNG) představují veškeré součásti regulačních, řídících a funkčních součástí systémů (tzv-BOP Balance of Plant). Pro vodíkové technologie je v současné době dostupné pouze omezené množství produktů majících certifikace na vodík. Existující průmyslová řešení jsou zpravidla velmi finančně nákladná, proto lze očekávat, že nejen pro automotiv sektor bude poptávka po výrobcích certifikovaných pro vodík intenzivně narůstat.

Tabulka 6.1 Možnosti využití vodíku v průmyslu

odvětví	současné využití vodíku	budoucí poptávka vodíku	potenciální omezení rozvoje
rafinerie	reakční složka pro hydrorafinaci ropy zušlechtění těžších ropných frakcí odstranění nežádoucích složek (např. síra) úprava kvality biopaliv	Protože spektrum produktů vyráběných v rafineriích směřuje stále více k produktům s nižším obsahem síry, aromátů a rovněž lehkým produktům, bude spotřeba vodíku v rafineriích v krátkém horizontu stoupat.	Výroba vodíku je důkladně provázána s celým provozem rafinerie, což komplikuje nahrazení současných výrobních kapacit. Účinnost získávání vodíku z vlastní produkce bude stoupat, zatímco poptávka po motorových palivech spíše klesat. Zvýšení nákladů na výrobu vodíku má z ekonomického hlediska velký dopad na ekonomiku výroby rafinérských produktů.
chemický průmysl	klíčový pro výrobu amoniaku a metanolu využíván v řadě menších chemických procesů	Využití obou surovin v průmyslových procesech by mělo kontiuálně růst, v případě hlavního využití amoniaku při výrobě hnojiv se čeká stagnace po roce 2030.	Propojení výroby amoniaku a močoviny v jedné průmyslové lokalitě umožňuje efektivně využít až 70 % emisí CO_2 z výroby vodíku parní reformací zemního plynu.
výroba železa a oceli	využíván při výrobě oceli metodou přímé redukce železa (DRI) vodík také vzniká jako vedlejší produkt při výrobě oceli ve vysokých pecích (součást koksárenského plynu), lze zpětně využít k redukci železa	Výroba oceli by měla celosvětově narůstat, podobně i využití vodíku při výrobě. Vodík z OZE může ve větší míře nahradit vodík vyráběný metodou parní reformace zemního plynu.	Potřeba vysoce nákladného posílení infrastruktury pro výrobu a distribuci elektřiny a vodíku z OZE.
vysokoteplotní procesy	v současnoti prakticky nevyužívaná oblast	poptávka omezena na lokální projekty	ekonomicky i energeticky velmi neefektivní

Zdroj: IEA, JRC

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

7 Potenciál vodíkových technologií pro vědu a výzkum ČR

Vysoká úroveň technického školství v ČR poskytuje potenciál pro realizaci výzkumných projektů v oblasti vodíkových technologií. Současné vzdělávací programy sice až na výjimky neposkytují specializované vzdělání v oblasti vodíkových technologií, ale s rostoucím zájmem o tuto specializaci lze očekávat zavádění této problematiky do stávajících studijních programů.
Pro státní správu, tak i pro průmysl je stěžejní tento potenciál umět využít. V ostatních státech EU je a bude o technicky zdatné odborníky na vodíkové technologie zájem a vysoká úroveň absolventů tuzemských vysokých a středních škol s technickým zaměřením jim umožňuje získat dobré uplatnění i mimo ČR. Je vysoce žádoucí udržet kvalifikované odborníky v ČR, což zaručí inovační potenciál pro výzkum i průmysl. Dle Hydrogen Roadmap Europe[3] bude v roce 2030 v EU pracovat ve vodíkovém průmyslu 1 milion zaměstnanců a do roku 2050 je očekáván nárůst na 5,4 milionu zaměstnanců. Při délce akreditačních mechanismů a délce studijního cyklu je tak nutné provádět nezbytné kroky co nejříve.
Pro výzkumné instituce je nezbytné zajištění dostatečných zdrojů financování ve formě vypisovaných výzkumných výzev zaměřených na vodíkové technologie, což opět umožní udržení odborníků, vznik znalostní báze i zavedení inovativních produktů do portfolia českých podniků.

8 Potenciál výroby vodíku z OZE v ČR

8.1 Flexibilita elektrizační soustavy, charakteristika P2G

Nástroje pro flexibilitu v elektrizační soustavě (regulační služby)

Za účelem udržení provozovatelnosti elektrizační soustavy (ES) je důležité, aby v ní byl vedle dostatku výkonu také dostatek flexibility. Flexibilita elektrizační soustavy[16] se chápe ve dvou rovinách:

- Statická flexibilita je schopnost plánovaně měnit dodávaný (odebíraný) výkon, nastavit nebo upravit svoji obchodní pozici, a tak zajistit obchodně rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektřiny v čase před jejich realizací.

[16] Terminologie u nových pojmů není dosud v elektroenergetice usazená. Proto je možno setkat se i s jiným významem. Pojmem flexibilita je někdy označována pouze dynamická flexibilita a statická flexibilita (pro oblast výroby vodíku ta důležitější) se ignoruje. Někdy se také pojem flexibilita zužuje pouze na schopnosti nových prvků anebo decentrálních prvků.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

- Dynamická flexibilita je schopnost měnit dodávaný (odebíraný) výkon v závislosti na okamžité nerovnováze již nastalé (nebo bezprostředně očekávané). Jde-li o nerovnováhu na úrovni celé ES, spadá pod dynamickou flexibilitu poskytování regulačních rezerv jako PpS, poskytování regulační energie na trhu s touto energií, záměrné vytváření vlastní protiodchylky. Pod pojem dynamické flexibility patří využívání regulace výkonu pro dodržení vlastního dohodnutého diagramu dodávky nebo odběru, pro nahrazení vlastního výpadku ve výrobě apod. (samoregulace u subjektů).

Historicky se pod pojmem flexibility rozuměla především regulační schopnost výrobních zdrojů, tedy možnost změny jejich dodávaného výkonu v čase. Za situace, kdy rozhodujícím typem zdrojů v ES byly klasické uhelné bloky, nebyly se zajišťováním regulace problémy. Regulační služby poskytují i vodní elektrárny akumulační a přečerpávací. Omezené regulační schopnosti mají i elektrárny jaderné.

Z hlediska dlouhodobého výhledu se předpokládá, že bude narůstat požadavek na objem regulačních služeb. Již v současnosti pracují v soustavě zdroje s omezenou schopností regulovat svůj vyráběný výkon, především fotovoltaické a větrné elektrárny. Taková situace je zde již více než 10 let. Tyto kategorie zdrojů mohou být regulovány pouze tak, že se jejich dodávaný výkon omezí. Jejich energie, vyplývající z přírodních podmínek, se proto nevyužije naplno. S rozvojem tohoto typu zdrojů, který může ve srovnání se současností být až několikanásobný, se výrazně změní tvar dodávky elektřiny (bude časově více rozkolísaný).

U uvedených obnovitelných zdrojů nebude žádný přírůstek v regulačních schopnostech. Protože ale množství těchto zdrojů významně ovlivní výrobní bilanci soustavy, budou přirozeně vytlačovány zdroje stávající. Ze soustavy tedy budou mizet zejména velké bloky, označované jako systémové – jedná se převážně o klasické uhelné bloky. Úbytek těchto zdrojů je navíc ovlivněn dalšími dvěma faktory – omezováním tuzemské produkce uhlí a požadavky na omezování emisí CO_2. S tím, jak tyto zdroje zmizí z ES, dojde i k úbytku dostupných regulačních služeb.

Pro zajištění dostatečné flexibility ES existuje řada nástrojů, které mohou být využity. Z principiálního hlediska existují tři skupiny regulačních nástrojů:

- Opatření na straně výrobních zdrojů, kdy se řízeně mění jejich dodávaný výkon.
- Opatření na straně spotřeby, kdy se v průběhu času mění velikost odebíraného výkonu, či dochází k jinému časovému rozložení spotřeby.
- Akumulace elektřiny, kdy se cíleně nemění ani výroba zdrojů ani časový průběh spotřeby, ale elektřina se v době přebytku výroby nad potřebami uloží do vhodných

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

technologických prostředků a později se z těchto zařízení odebere a dodá do elektrické sítě nebo využije jiným způsobem.

K opatřením na straně výrobních zdrojů patří:

- Omezování výroby elektřiny z OZE, především limitované nasazení výkonu z FVE. Předpokládá se, že by jednalo o zhruba 5% omezování výkonu FVE v oblasti jejich špičkové výroby. Tímto způsobem by se mohla omezovat i část špičkové výroby u malých FVE (střešní instalace u rodinných domů). S tímto opatřením se počítá až u nově budovaných instalací; u stávajících zařízení se obvykle neužívá.
- Nasazování vodních elektráren do provozu – jedná se o akumulační vodní elektrárny, kde lze jejich nasazení řídit v průběhu dne či týdne.
- Řízení provozu malých kogeneračních jednotek (KGJ), které jsou vybaveny zásobníky na horkou vodu. Při nižších hodnotách aktuální poptávky po teple se zásobníky naplní horkou vodou z KGJ v době bez přebytků elektřiny. V době přebytků elektřiny se produkce tepla (a současně elektřiny) z KGJ zastaví a teplo se odebírá ze zásobníků.

K opatřením na straně spotřeby patří[17]:

- Hromadné dálkové ovládání (HDO), což je nástroj ovládaný technickými prostředky provozovatelů distribučních soustav v elektroenergetice, kdy se spotřeba rozprostře do časů, kdy je to vhodné pro celou ES.
- Elektrokotle. Tento způsob regulace se už v současnosti prosadil u některých tepláren. Jedná se o takový styl regulace, kdy se v době přebytku elektřiny ohřeje voda v elektrickém kotli. Elektrokotle jako prostředek flexibility by mohly být využívány i u malospotřebitelů při přípravě TUV. Rozdíl od velkých elektrokotlů je ale v tom, že služba flexibility by byla realizována prostřednictvím agregátorů.
- Rozložení nabíjení elektromobilů – jde obdobně jako v předcházejícím bodě o řízenou organizaci nabíjecího procesu odběratelem, opět zde navíc může vzniknout ekonomický efekt nabíjením v době nízkého tarifu. Tento způsob regulace se týká jen časového posunu nabíjení. Nejedná se o případ aktivní spolupráce se sítí, kdy by se energie z elektromobilů mohla naopak uplatnit pro zpětnou dodávku do sítě.
- Přesuny spotřeby zejména v domácnostech, které zrealizují koncoví odběratelé společně s agregátory. Jedná se například o to, že provoz vybraných spotřebičů (pračky, myčky) se

[17] Vedle níže zmíněných si lze představit také opatření využívající nízkých cen elektřiny k intenzifikaci výroby, např. elektrochemická výroba chemických látek pro průmysl. Tento způsob regulace prozatím naráží na nedostatečné kapacity a komplikace s řízením kvality produktu, ale jedná se o intenzivně řešený způsob využití levné energie. V rámci regulace provozu ES však není zahrnut.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

časově posune do jiné části dne a tím dojde ke zrovnoměrnění odběru. Pro koncového odběratele to často má ekonomický přínos – spotřebitel zapíná takové spotřebiče přednostně v době, kdy je platný výhodnější tarif.

V oblasti akumulace:

- Akumulace elektřiny do velkých bateriových systémů – v současnosti se s touto cestou uvažuje jakožto s hlavním způsobem akumulačního procesu, kdy je zpětně dodávána opět elektřina. Účinnost těchto procesů je uvažována ve výši necelých 80 %. Jedná se o systémovou akumulaci, tj. proces regulace, který by byl cíleně řízen. Protože se jedná o akumulaci a zpětné využití v rámci denního cyklu, označuje se to jako denní systémová akumulace.
- Akumulace elektřiny u malých FVE. Jde o situaci, kdy by malé akumulační systémy na bázi baterií využívali i malí producenti, zejména v rodinných domech. Tyto bateriové systémy by si pořizovali sami producenti, aby se výroba FVE nemusela omezovat ve velké míře z důvodu ochrany sítí nízkého napětí a aby elektřinu mohli využít v pásmu nízké nebo nulové produkce své FVE. Tato akumulace by nebyla centrálně řízena a označuje se jako denní nesystémová akumulace.
- Akumulace prostřednictvím přečerpávacích vodních elektráren, kdy se elektrická energie dočasně přemění na potenciální energii vody a ta se pak zpětně využije jako elektrická energie. PVE v podmínkách ES ČR pracují převážně v denním cyklu, teoreticky lze však uvažovat částečně i s cyklem týdenním. Účinnost přečerpávacího cyklu se pohybuje kolem 75 %.
- Specifickým způsobem je akumulace s využitím přebytku elektřiny, u níž však ke zpětnému využití není uplatněna elektřina, ale jiné médium, především plyny. Tím dochází k propojení činností v sektorech elektroenergetiky a plynárenství, označovanému jako *sector coupling*. Samotný proces výroby energetických plynů s využitím elektrické energie je označován jako Power to Gas (P2G). Plyn získaný v procesu akumulace využitím elektřiny pak může být následně použit pro libovolné účely – nemusí jít nutně o výrobu elektřiny, ale i pro dopravu a pro průmyslové procesy. Tento druh akumulace je dále označován jako akumulace sezónní, neboť by se využívalo přebytků výroby elektřiny ve zdrojích se sezónním charakterem provozu, což jsou především fotovoltaické zdroje.

  V současnosti se v této oblasti uvažuje o produkci dvou druhů energetických plynů. Jde o buď o vodík nebo o syntetický metan. V první fázi přeměny se z elektřiny vyrobí vodík a až následně, ve druhé fázi přeměny, se z vodíku vyrobí syntetický metan. Příslušné procesy jsou uvedeny v dalším textu.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Proces výroby vodíku zde chápán jako nástroj akumulace pro řešení statické flexibility. Jde tedy v jistém smyslu o vynucenou produkci – soustava má nerovnoměrnost mezi výrobou a spotřebou a systém to řeší využitím této nerovnováhy pro výrobu vodíku. Vodík takto získaný je z hlediska klasifikace podle původu vodíkem zeleným. Současně je potřebné zdůraznit, že se nejedná o cílenou výrobu vodíku například pro účely pohonu automobilů.

Při navazujících analýzách akumulace do vodíku se pracuje s podstatným předpokladem – tato zařízení by byla záležitostí větších instalovaných výkonů elektrolyzéru, a tedy záležitost velké energetiky. Nepředpokládá se, že by výroba vodíku z elektřiny byla součástí bytových instalací.

Postup uplatňování nástrojů statické flexibility (regulačních služeb)

Přehled jednotlivých kategorií statické flexibility je uveden na schématu na následující stránce s barevným rozlišením skupiny flexibility. Výše popsaná opatření jsou v levém sloupci schématu uvedena s tímto barevným značením:

nástroje na straně výroby elektřiny	nástroje na straně spotřeby elektřiny	akumulace

V pravém sloupci, s jiným barevným značením, je uvedena charakteristika jednotlivých opatření, která byla pro jejich pořadí v přehledu rozhodující. Světle šedou barvou jsou vyznačena opatření, jejichž případné nahrazení výrobou vodíku je technicky prakticky neproveditelné. Sytou okrovou barvou jsou vyznačena opatření, která v ES již dlouho existují a mohou být bez dalších investic nadále využívána. Světlejší okrová barva označuje opatření, která jsou investičně nenáročná. Příslušné investice by se totiž týkaly nikoliv výrobních nebo spotřebních zařízení samotných, ale pouze k nim připojených řídících prvků a přenosu dat. Investičně a provozně náročnější opatření jsou vyznačena tmavě šedou barvou.

Využití elektřiny pro výrobu energetických plynů stojí až na konci seznamu. Je to proto, že většina regulačních nástrojů nevyžaduje buď žádné, nebo jen relativně malé investice ve srovnání s vybudováním zařízení pro výrobu vodíku, případně pak pro následnou výrobu syntetického metanu.

HUSINEC-ŘEŽ 130 ▪ 250 68 HUSINEC-ŘEŽ ▪ +420 723 252 557 ▪ WWW.HYTEP.CZ

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 8.1 Postup uplatňování jednotlivých nástrojů pro regulaci výkonu

	nástroj statické flexibility	charakter opatření
1	omezování výroby FVE u nových instalací na hladině nn	nedostupné pro P2G z důvodu ochrany (propustnosti) sítí nn
2	lokální akumulace elektřiny u drobných instalací (rodinné domy) – tzv. denní nesystémová akumulace	
3	omezování výroby FVE u velkých farem jako záporná regulace na povel PPS	nevhodné, vysoké a krátké špičky
4	uplatnění akumulačních vodních elektráren	již existující, bez nových investic
5	uplatnění přečerpávacích vodních elektráren	
6	hromadné dálkové ovládání (HDO)	
7	malé kogenerace	téměř bez nových investic, 100% účinnost
8	odložení části spotřeby v domácnostech – myčky a pračky	
9	přesuny v nabíjení elektromobilů (nejde o proces odčerpávání energie z elektromobilů),	
10	elektrokotle	střední nutné investice, 100% účinnost
11	denní systémová akumulace – velké bateriové systémy	vysoké investice a nižší účinnost (70 až 80 %)
12	sezónní akumulace – elektřina uplatněná pro výrobu plynů (spotřeba pro technologii P2G)	

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Proces P2G – výroba vodíku

Proces Power To Gas slouží k transformaci elektrické energie na chemickou, vázanou v plynech, které pak jsou využitelné jako nosiče energie nebo jako vstupní surovina do jiných odvětví. Jde tedy o sector coupling, v tomto případě o propojení elektroenergetiky s plynárenstvím.

Principem transformace elektrické energie do chemické energie plynů je v prvním kroku získání vodíku na základě elektrolýzy vody ($2\ H_2O \rightarrow 2\ H_2 + O_2$). Dokumenty z projektu STORE&GO[18] uvádí očekávanou účinnost elektrolýzy v rozmezí od 69 % v současnosti po až 78 % v roce 2050. V navazujícím popisu bilance energií a objemů, respektive hmotnostních množství vodíku, je pro zjednodušení uvažováno s účinností procesu výroby H_2 v jednotce P2G jako celku ve výši 70 %. Touto hodnotou se rozumí poměr mezi energií v získaném vodíku (a to na úrovni spalného tepla) a elektrickou energií vloženou do procesu. To pak prakticky znamená:

Použitím 1 GWh elektřiny jako vstupu do elektrolýzy se vyrobí vodík o energetickém obsahu na úrovni spalného tepla 700 MWh. Při uvažovaném spalném teple vodíku při 0 °C ve výši 3,54 kWh/m^3 se tak z jedné GWh elektřiny získá 197 740 m^3 vodíku (normometry při 0 °C, 101,325 kPa). Při hustotě vodíku 0,0899 kg/m^3 při 0 °C je pak měrná produkce vodíku 17 777 kg z 1 GWh elektřiny.

Z poměrů molárních hmotností vyplývá, že k získání 17 777 kg vodíku je potřebné mít k dispozici 158 866 kg vody, na úrovni objemu tedy asi 159 m^3 vody. Tento údaj vyjadřuje netto spotřebu vody pro vlastní elektrochemický proces. Kromě toho se totiž v průběhu celého cyklu využívá další technologická voda (pro demineralizaci). Ta se následně po skončení procesu vrací zpět do okolního prostředí. 1 GWh spotřeby elektřiny odpovídá spotřebiči o výkonu 1 MW pracujícího po dobu 1 000 hodin, takže elektrolyzér o výkonu 1 MW spotřebuje 159 litrů vody za hodinu.

Druhým produktem při elektrolýze vody je kyslík. Obdobně jako u vodíku jde o produkt vysoké čistoty, který by měl teoreticky uplatnění v průmyslových procesech. V dalších analýzách se však s uplatněním produkce kyslíku z elektrolýzy neuvažuje, nejedná se o předmět řešeného úkolu.

[18] Výsledkem evropského projektu STORE&GO jsou desítky odborných studií na téma procesu P2G a tři demonstrační plně funkční provozy této technologie. Více na https://www.storeandgo.info/about-the-project/

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

8.2 Varianty rozvoje ES ČR

Pro posouzení produkce vodíku s využitím elektřiny z obnovitelných zdrojů bylo vybráno 5 variant rozvoje zdrojové základny ES ČR. Zdroje jsou navrhovány tak, aby byla zajištěna soběstačnost ČR v zásobování elektřinou.

Koncepční varianta je v souladu se Státní energetickou koncepcí. Všechny ostatní počítají s výraznějším rozvojem obnovitelných zdrojů, především fotovoltaikou a větrnými elektrárnami. Zejména tyto dvě kategorie OZE mají největší potenciál růstu, jejich provoz je kolísavý, a proto jsou předmětem hlavního zájmu, pokud jde o produkci vodíku.

Všechny varianty rozvoje pracují s různou cenou povolenky, a to vždy tak, aby docházelo k naplnění jejich cíle. Obecně lze konstatovat, že případové studie pracující s vysokým podílem OZE uvažují drahou povolenku, naopak je tomu u případových studií s vyšším podílem fosilních paliv. Za nejvyšší riziko představených variant lze z pohledu roku 2020 prohlásit zhoršenou ekonomickou situaci v Evropě, která by mohla vést k přehodnocení klimaticko-energetické politiky EU. Za lokální riziko lze označit výstavbu nového jaderného zdroje, případně i uvažovaný dlouhodobý provoz českých jaderných elektráren, nad rámec předpokládané výstavby či provozu v jednotlivých variantách.

- Koncepční varianta vychází z Optimalizovaného scénáře Státní energetické koncepce. Je zde počítáno s dlouhodobým provozem jaderné elektrárny Dukovany. S rozvojem OZE se počítá především ve FVE a VTE, bioplyn je využíván zejména pro výrobu elektřiny.
- Varianta Nové technologie analyzuje cestu k nízkouhlíkové energetice za významného využití nových technologií. Podstatným rysem je rozvoj OZE, který je na hranici technického potenciálu ČR, v pozdějších letech pak malé modulární jaderné reaktorů uvažované vedle výroby elektřiny i s částečným využitím pro dodávky tepla. Výrazně je omezováno spalování hnědého a černého uhlí.
- Varianta Maximální OZE navrhuje taková opatření, aby byla zachována soběstačnost České republiky v pokrývání poptávky po elektřině i v případě, že budou primárně rozvíjeny obnovitelné zdroje v extrémním rozsahu na samé hranici přírodních podmínek. Z provozních důvodů jsou do soustavy přidány plynové bloky jako paroplynové zdroje (které mají srovnatelnou účinnost, jako jednotky pracující na principu palivových článků), samostatné plynové turbíny pro regulaci a plynové motory, a ve značné míře také akumulační prostředky.
- Nízkoemisní varianta má za cíl navrhnout taková opatření, která umožní dosažení cílů Roadmap 2050 pro obnovitelné zdroje. Snaží se tohoto cíle dosáhnout primárně pomocí změny stávající výrobní základny na nízkoemisní. Varianta aplikuje úspory ve spotřebě,

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

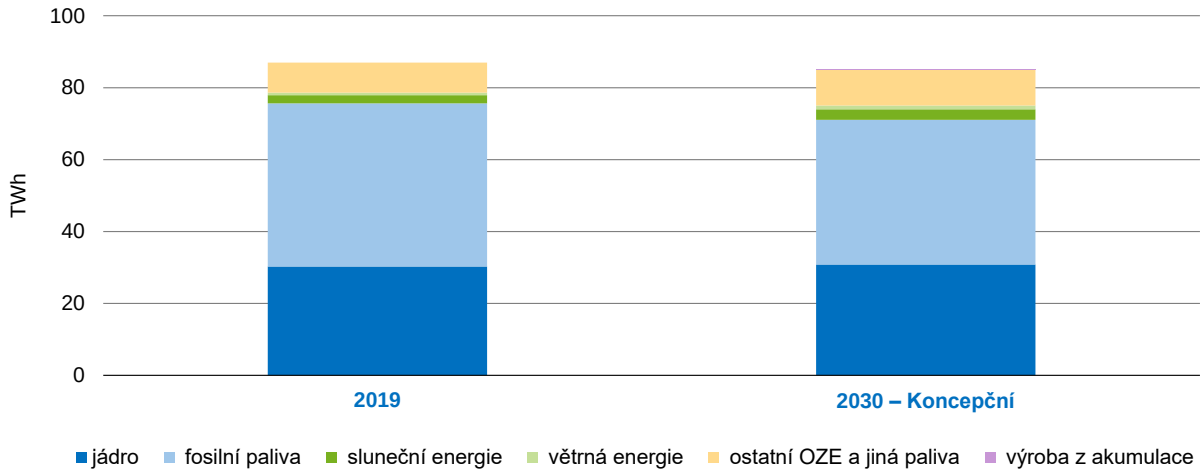
HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

výraznější elektromobilitu a nejvyšší příklon k decentralizovanému zásobování teplem. Přes vysoký rozvoj OZE musí v soustavě být i jaderné a plynové zdroje.

- Decentrální varianta prověřuje možnost maximální možné decentralizace energetiky. Je koncipována ve dvou krocích – nejprve je aplikováno maximální možné množství decentrálních zdrojů, a to i neobnovitelných. Ve druhém kroku je pro potřebu pokrytí nezbytné doplnit skladbu i centrálními zdroji.

Následující obrázky znázorňují specifické rysy jednotlivých variant. Základní charakteristikou je skladba výroby elektřiny za celou ES podle primárních zdrojů. Údaje jsou uvedeny pro rok 2019, kdy je použita zatím předběžná statistika. Dále je uvedena očekávaná situace pro rok 2030, a to pro Koncepční variantu. Skladba výroby u ostatních variant v roce 2030 není zásadně odlišná. Podrobnější informaci dává až druhý obrázek, který uvádí očekávanou situaci v roce 2040 pro všechny varianty. Mezi roky 2030 a 2040 jsou rozdíly významné, odehrávají se zejména v podílu obnovitelných zdrojů. Roste především úloha fotovoltaických a větrných elektráren. Význam ostatních obnovitelných zdrojů jako biomasa, bioplyn, vodní elektrárny a biologicky rozložitelná část komunálního odpadu je ve srovnání s FVE a VTE menší. U zdrojů na fosilní paliva jsou změny rovněž – na jedné straně se výrazně snižuje podíl uhlí, na straně druhé narůstá význam zemního plynu. Ani velký rozvoj OZE totiž nemůže plně zajistit rozvoj soustavy, a proto je potřebné instalovat zdroje spalující zemní plyn.

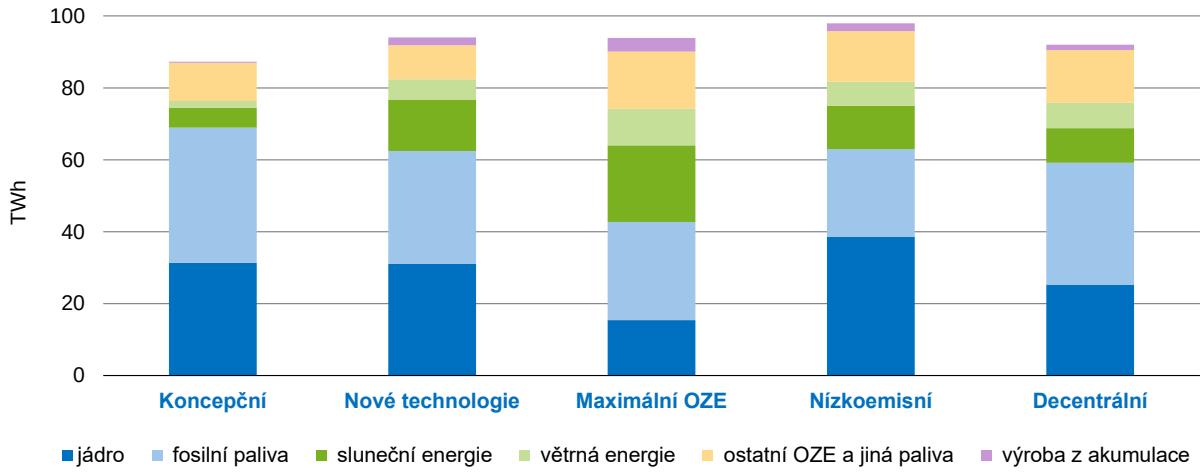
Obrázek 8.2 *Výroba elektřiny dle primárních zdrojů – Koncepční varianta*



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 8.3 Výroba elektřiny dle primárních zdrojů – rok 2040



Následující tabulka shrnuje údaje za rozhodující obnovitelné zdroje elektřiny, tedy FVE a VTE. Údaje jsou uvedeny za rok 2019, kde jde o předběžnou statistiku, a pak pro roky 2030 a 2040, kde jsou údaje uvedeny pro všech 5 variant. U FVE se počítá s ročním využitím 1 000 hodin, u VTE s 2 000 hodinami.

Z tabulky je zřejmé, že objem možné výroby elektřiny z OZE, respektive z FVE a VTE jakožto rozhodujících kategorií, je značný – v roce 2030 na úrovni přes 10 TWh, v roce 2040 pak více než 30 TWh. Mezi roky 2030 a 2040 lze tedy počítat s největšími nárůsty výroby z OZE a růstové trendy, byť o něco nižší, lze očekávat i za horizontem roku 2040. Tak vysoký podíl OZE vyvolá požadavky na výstavbu jiných kategorií výrobních zdrojů. Jejich provoz vlivem přírodních podmínek bude i nadále velmi volatilní a objem potřebné statické i dynamické flexibility proto bude narůstat. K regulaci je ovšem možné využívat řadu nástrojů, popsaných v předcházející dílčí kapitole. Proto nelze na celkovou výrobu FVE a VTE pohlížet tak, že jde o potenciál pro výrobu vodíku. K dispozici bude jen část, čemuž se věnuje následující dílčí kapitola.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Tabulka 8.1 Výkony a výroby rozhodujících obnovitelných zdrojů

rok	varianta	instalovaný výkon FVE (MW)	instalovaný výkon VTE (MW)	výroba FVE (GWh)	výroba VTE (GWh)	výroba FVE a VTE celkem (GWh)
2019	statistika	2 044	339	2 282	700	2 982
2030	Koncepční	2 883	533	2 883	1 066	3 949
	Nové technologie	7 822	1 234	7 822	2 468	10 290
	Maximální OZE	8 150	1 259	8 150	2 518	10 668
	Nízkoemisní	4 150	760	4 150	1 520	5 670
	Decentrální	2 150	1 910	2 150	3 820	5 970
2040	Koncepční	5 522	933	5 522	1 866	7 388
	Nové technologie	14 882	2 824	14 882	5 648	20 530
	Maximální OZE	21 300	4 620	21 300	9 240	30 540
	Nízkoemisní	12 350	3 350	12 350	6 700	19 050
	Decentrální	9 650	3 540	9 650	7 080	16 730

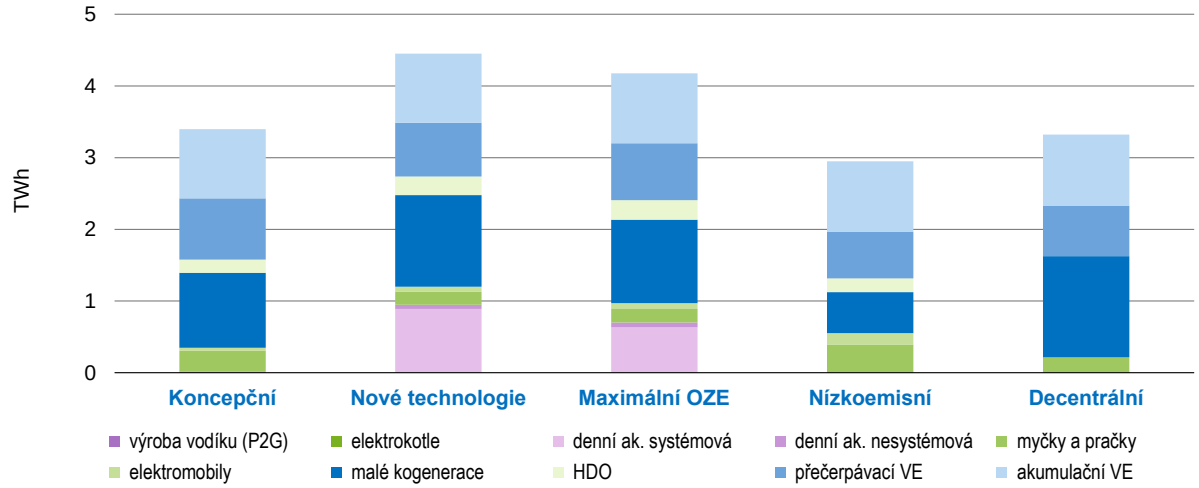
8.3 Uplatnění akumulace elektřiny ve výrobě vodíku

Při reálném provozování ES se využívá pro regulaci elektrických výkonů řada nástrojů, které byly výše popsány. V rámci analýz provozu v pěti variantách byly stanoveny objemy regulačních energií. Jedná se o energetická množství, která by měla být zajištěna jednotlivými technologickými nástroji flexibility. Jejich pořadí respektuje skutečnost, že některé nástroje dnes již existují, a že tedy mohou být využívány bez nutnosti investic. Z toho pohledu pak využívání přebytků elektřiny k výrobě vodíku stojí až na posledním místě. U Koncepční varianty, u níž se nepředpokládá tak výrazný nárůst OZE, se výroba vodíku neuplatňuje vůbec. Skladba energií podle jednotlivých nástrojů flexibility (statické) je uvedena na následujících obrázcích pro roky 2030 a 2040.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

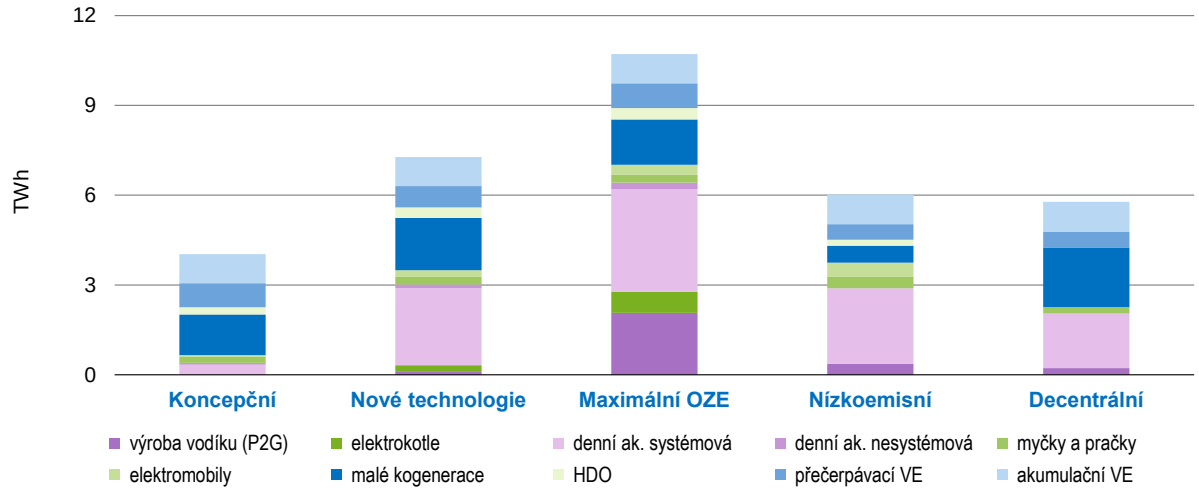
HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 8.4 *Regulační energie dle kategorií nástrojů flexibility – rok 2030*



Z obrázků je patrné, že v roce 2030 sice musí regulační nástroje odregulovat podle variant 3 až 4,5 TWh, ale vůbec se neuplatní použití elektřiny pro výrobu vodíku, a dokonce není použita další regulační technologie v pořadí – elektrokotle. Ty v elektrizační soustavě slouží jen pro dynamické služby. V roce 2040 je množství regulační energie výrazně vyšší než v roce 2030 a s výjimkou Koncepční varianty je elektřina využita pro výrobu vodíku ve všech dalších variantách. Největší uplatnění je ve variantě Maximální OZE.

Obrázek 8.5 *Regulační energie dle kategorií nástrojů flexibility – rok 2040*

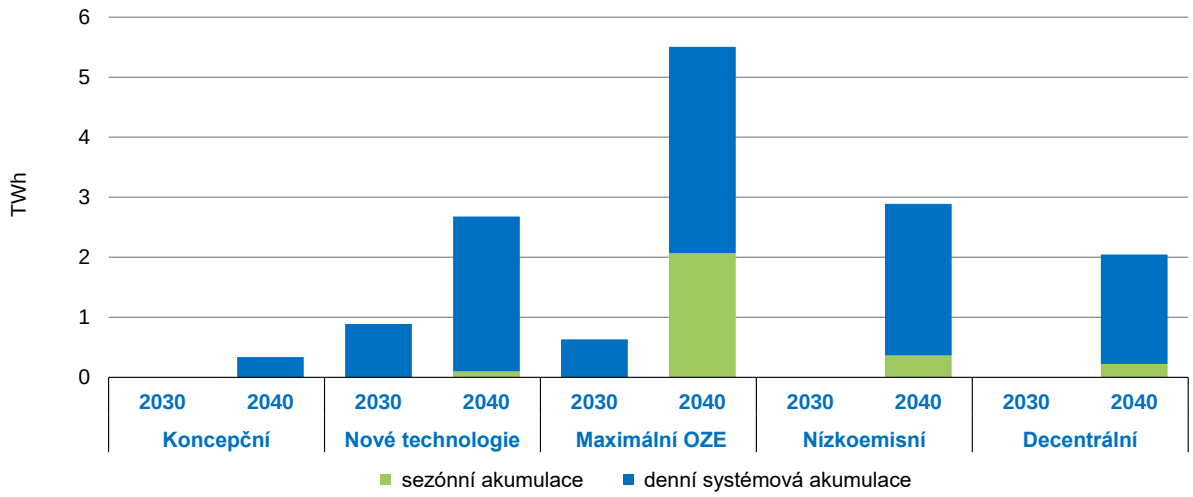


EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Navazující obrázky ukazují objem elektřiny pro výrobu vodíku v časových horizontech 2030 a 2040 pro jednotlivé varianty. Tato elektřina je rozdělena na dvě části. První z nich je elektřina vložená cíleně do výroby vodíku, tedy jako sezónní akumulace. Tento typ regulace je využíván až poté, co jsou využity všechny předcházející nástroje statické flexibility. Druhá část představuje elektřinu, která by se vložila do výroby vodíku namísto jejího použití do akumulace ve velkých bateriových systémech. Zde se jedná o systémovou denní akumulaci. Z obrázků je zřejmé, že výroba vodíku v režimu sezónní akumulace se v roce 2030 ještě nerealizuje. V roce 2040 se uplatní u všech kromě Koncepční varianty, kde se vzhledem ke skladbě zdrojové základny nepoužívá. V každém případě platí, že se jedná o využívání vodíku pro řešení regulace ES. Tato forma regulace je cílená, nejde však o systematickou produkci vodíku například pro dopravu.

Obrázek 8.6 Elektřina pro výrobu vodíku v roce 2030 a 2040



Pokud se z elektřiny vyrobí vodík v rámci toho, že půjde o sezónní akumulaci, tedy podle pořadí až o poslední regulační službu, je v bilanci elektřiny v celé ES již zohledněna skutečnost, že vodík je koncovým produktem. Do ES se tedy v podobě elektřiny už nevrací, ale může principiálně nahrazovat část spotřebovaného zemního plynu. V případě výroby vodíku namísto denní systémové akumulace je situace odlišná. U této akumulace se totiž v bilanci elektřiny počítá s tím, že energie se ve formě elektřiny vrací, byť s určitou ztrátou. Při náhradě vodíkem by k tomu ale už nedocházelo. Příslušný objem elektřiny by pak musely zajistit jiné zdroje a mohl by vzniknout požadavek na jejich výstavbu. Existuje i možnost, že by se vodík vyrobený v denní systémové akumulaci použil v palivových článcích pro zpětnou

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

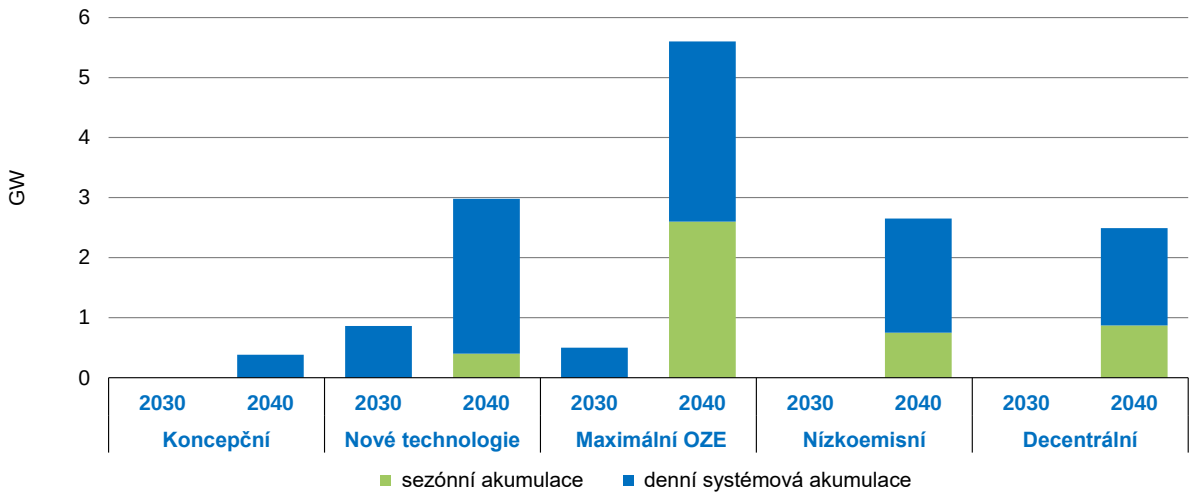
HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

výrobu elektřiny. Pokud se ale zohlední energetická náročnost výroby vodíku a následně účinnost palivového článku pro výrobu elektřiny, byla by celková účinnost cyklu pod 50 % a v takové situaci je pak 80% účinnost baterií výraznou výhodou.

Při porovnání variant v roce 2040 je zjevné, že celková elektřina pro výrobu vodíku (tedy sezónní i systémová denní akumulace) je napříč variantami velmi rozdílná. Možnost uplatnit elektřinu pro výrobu vodíku závisí nejen na rozsahu obnovitelných zdrojů, ale i na skladbě ostatních zdrojů a nástrojů flexibility.

Pro realizaci výroby vodíku musí být instalována příslušná zařízení – elektrolyzéry. Jejich instalované výkony uvádí následující obrázek, opět pro roky 2030 a 2040, shodně ve členění na akumulaci sezónní a denní systémovou.

Obrázek 8.7 Instalované elektrické výkony zdrojů pro akumulaci v roce 2030 a 2040

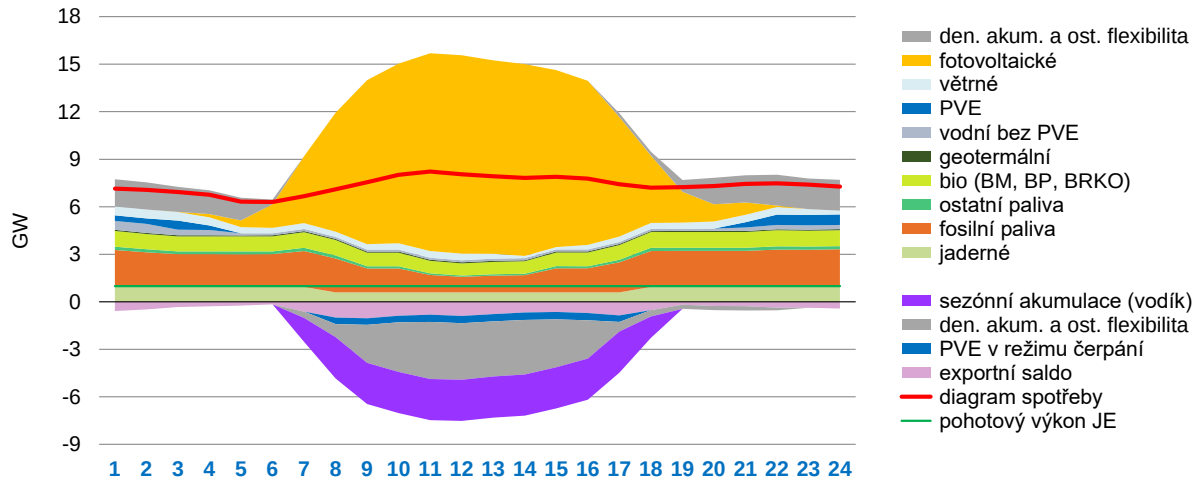


Následující obrázek ukazuje časové rozprostření provozu jednotlivých typů zdrojů v rámci dne. Je to dokumentováno na příkladu jednoho letního dne v roce 2040 ve variantě Maximální OZE. Na obrázku je dobře vidět mohutné uplatnění fotovoltaických elektráren – jejich maximální nasazený denní výkon je přes 12 500 MW – zatímco denní diagram zatížení má maximální hodnotu jen kolem 8 200 MW. Přesto se daří situaci zvládnout s nasazením sezónní akumulace (výroba vodíku jako regulační služba) ve výši 2 600 MW a dále s uplatněním jiných nástrojů flexibility ve výši kolem 3 600 MW. Tento výkon je ze dvou třetin tvořen systémovou denní akumulací. O zbylou třetinu se dělí nesystémová denní akumulace, elektrokotle a odložená spotřeba. Nasazený výkon systémové denní akumulace pak představuje, v souladu s výše uvedenými obrázky, prostor pro další uplatnění výroby vodíku.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 8.8 *Pokrývání denního diagramu zatížení (příklad letního dne 2040)*



K dokreslení situace v elektřině pro výrobu vodíku může posloužit následující obrázek. Ten uvádí pro variantu Maximální OZE rozložení elektřiny pro výrobu vodíku v sezónní akumulaci do týdenních energií. Tato situace dokumentuje to, že sezónní akumulace je až poslední z možných regulačních služeb a vykrývá nepravidelnosti v poměrech mezi výrobou a spotřebou.

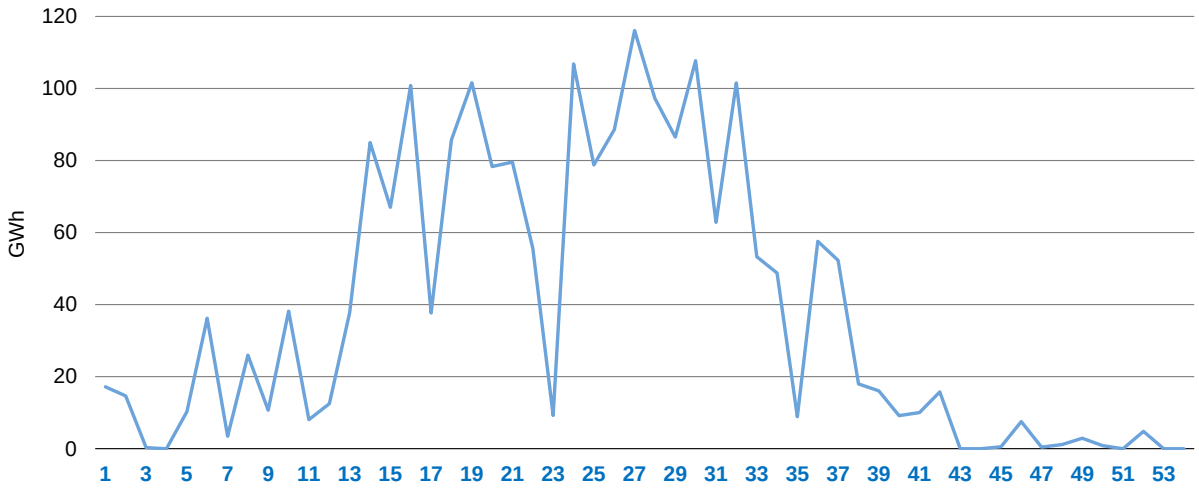
Jako vstup do analýz ES se používají diagramy FVE a VTE se zohledněním jejich nepravidelného provozu. Zobrazené týdenní energie pro výrobu vodíku v režimu sezónní akumulace proto vykazují velké rozdíly i poté, co vezmeme v úvahu (protisměrnou) roční periodicitu slunečního záření a spotřeby elektřiny. Uvnitř jednotlivých týdnů se pak zákonitě projeví nahodilost aktuálního osvitu FVE i výroby z VTE v kombinaci s tím, zda jde o pracovní nebo nepracovní den. Významný je i vliv disponibility všech ostatních složek statické flexibility. Příkladem vlivu všech těchto faktorů je pak zobrazená situace, kdy dochází k výraznému propadu u 23. nebo také 35. týdne.

HUSINEC-ŘEŽ 130 ▪ 250 68 HUSINEC-ŘEŽ ▪ +420 723 252 557 ▪ WWW.HYTEP.CZ

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

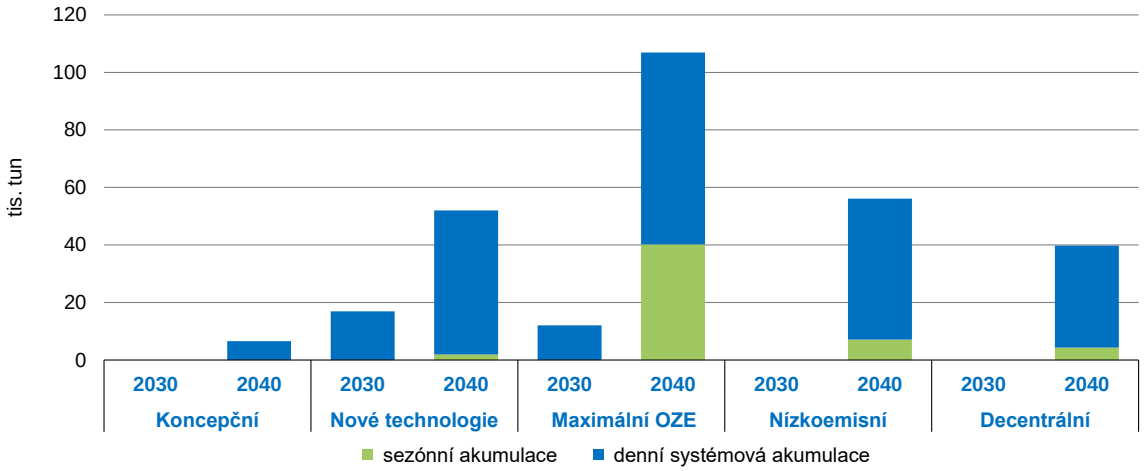
Obrázek 8.9 Roční rozložení energií pro výrobu vodíku v sezónní akumulaci (týdenní energie)



8.4 Bilance výroby vodíku

Na základě množství elektřiny, která může jako regulační energie vstupovat do produkce vodíku pomocí elektrolýzy, byly stanoveny objemy vodíku, který lze vyrobit. Množství jsou vyhodnocena pro výše uvedených 5 variant a pro různé alternativy uplatňování regulační energie – tedy odděleně pro sezónní a pro systémovou denní akumulaci.

Obrázek 8.10 Výroba vodíku v roce 2030 a 2040



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Z tabulky níže vyplývá, že významnější uplatnění elektřiny z OZE při výrobě vodíku formou elektrolýzy je spíše záležitostí pozdějších časových horizontů. Objemy vodíku jsou v horizontu roku 2040 výrazně vyšší než v roce 2030. Přitom klíčovou úlohu hraje produkce vodíku v režimu denní akumulace, tedy pro případ, že by výroba vodíku zásadním způsobem nahradila denní systémovou bateriovou akumulaci. Výroba vodíku v akumulaci sezónní je výrazně menší než v případě akumulace denní.

Největší objem výroby vodíku lze očekávat ve variantě Maximální OZE. Celková produkce vodíku by v roce 2040 mohla v této variantě dosáhnout 107 tis. tun ročně, z čehož by připadlo 40 tis. tun na akumulaci sezónní a 67 tis. tun na akumulaci denní.

Tabulka 8.2 Tabulka produkce vodíku z elektřiny z OZE

rok	varianta	výroba H_2 sezónní akumulace (tis. tun)	výroba H_2 denní systémová akumulace (tis. tun)	výroba H_2 celkem (tis. tun)
2030	Koncepční	0	0	0
	Nové technologie	0	17	17
	Maximální OZE	0	12	12
	Nízkoemisní	0	0	0
	Decentrální	0	0	0
2040	Koncepční	0	7	7
	Nové technologie	2	50	52
	Maximální OZE	40	67	107
	Nízkoemisní	7	49	56
	Decentrální	4	35	40

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

9 Dovoz vodíku ze zahraničí

Kromě tuzemské výroby vodíku je vhodné prozkoumat také možnosti dovozu vodíku ze zahraničí. Z tohoto důvodu byla provedena analýza desetiletých plánů rozvoje plynárenské infrastruktury a veřejně dohledatelných plánů na rozvoj výroby a spotřeby vodíku sousedních zemí, která umožňuje:

- zjistit množství teoreticky disponibilního vodíku pro import do ČR,
- identifikovat přepravní trasy, které by mohly vodík ve směsi se zemním plynem do ČR importovat.

V případě Německa, které patří mezi celoevropské průkopníky v otázce využívání vodíku v průmyslu a energetice, a zároveň disponuje nejambicióznějšími plány na rozvoj fotovoltaických a větrných zdrojů výroby elektrické energie v našem regionu, byla vypracována komplexnější analýza provozu tamní ES s cílem stanovit potenciál přebytků výroby OZE využitelných pro výrobu vodíku.

9.1 Německo

Výroba vodíku z přebytků elektřiny

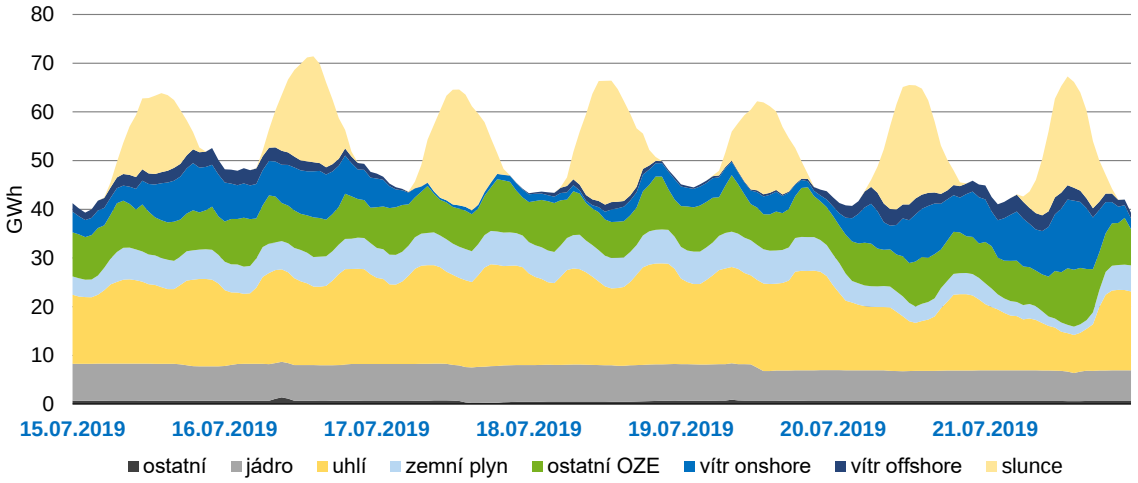
Hlavní zemí sousedící s ČR, odkud lze dovážet vodík ve směsi se zemním plynem, je Německo. Plynárenská infrastruktura propojující Česko a Německo je již dnes z hlediska kapacity dostačující, navíc bude docházet k jejími dalšímu rozvoji. Německo je zároveň evropský lídr v rozvoji obnovitelných zdrojů energie a hlásí se k ambiciózním dekarbonizačním cílům. Tyto snahy se označují termínem *Energiewende*, což vyjadřuje přechod od energie z fosilních a jaderných paliv na obnovitelné zdroje energie. Během roku 2020 by měla být zveřejněna také finální verze německé státní vodíkové strategie.

V Německu dochází již dnes k výstavbě pilotních projektů P2G. Provozovatel přenosové soustavy Amprion společně s největším německým provozovatelem plynárenské soustavy OGE představili investiční plán pro elektrolyzér o výkonu 100 MW a vodíkovou infrastrukturu na severozápadě země. Oba projekty mají být uvedeny do provozu do konce roku 2023 a počítá se s investicí 150 mil. EUR.

Obrázek 9.1 Výroba elektrické energie v Německu během jednoho týdne v červenci 2019

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007



Vlivem *Energiewende* má Německo poměrně jasnou strategii, co se týče odstavování zdrojů. Do roku 2022 dojde k odstavení všech jaderných zdrojů (v roce 2019 bylo z jádra vyrobeno 71 TWh) a nejpozději do roku 2038 budou odstaveny všechny uhelné zdroje (v roce 2019 bylo vyrobeno 102 TWh z hnědého uhlí a 50 TWh z černého uhlí). Tyto konvenční zdroje, vhodné pro fungování v základním zatížení budou nahrazeny obnovitelnými zdroji (hlavně větrnou a sluneční energií) v kombinaci se zemním plynem. Jak vypadá výroba dle konkrétních zdrojů v náhodně vybraném týdnu (jsou použité hodinové údaje z ENTSOE) ukazuje předchozí obrázek.

Horizontem pro analýzy je rok 2040 a právě rozvoj obnovitelných zdrojů bude klíčový. V roce 2019 měly všechny obnovitelné zdroje podíl na výrobě přibližně 46 %, což bylo okolo 240 TWh. Největší podíl měla větrná energie s výrobou přibližně 127 TWh (okolo 24 TWh bylo vyrobeno offshore) a za využití sluneční energie bylo vyrobeno necelých 47 TWh. Následující tabulka ukazuje současné instalované výkony s očekávaným výhledem rozvoje, včetně výhledu poptávky elektřiny.

Tabulka 9.1 Instalované výkony vybraných zdrojů a výhled poptávky (GW)

zdroj	instalovaný výkon 2019	instalovaný výkon 2040	meziroční růst	celkový nárůst (%)
fotovoltaika	49,2	133,2	4,0	171
vítr onshore	53,4	116,4	3,0	118
vítr offshore	7,5	33,5	1,2	346
	spotřeba 2018 (TWh)	poptávka 2040 (TWh)	meziroční růst (%)	celkový nárůst (%)
poptávka elektřiny	538,1	634	1 % (od 2022)	18

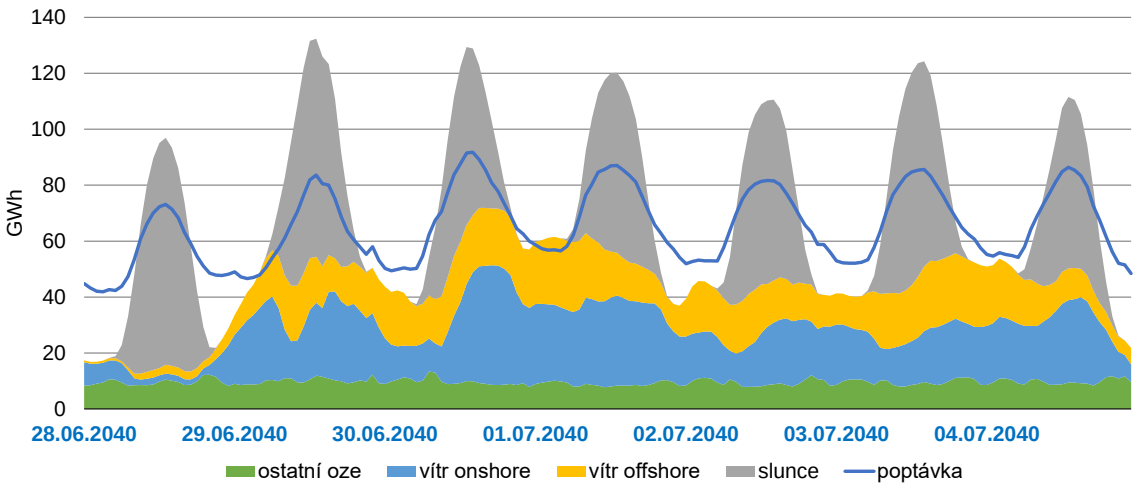
Zdroj: ENTSOE, vlastní výpočet

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Při rozvoji obnovitelných zdrojů je klíčový meziroční nárůst, který byl stanoven fixně pro všechny roky a je spíše mírně optimistický. Výrobě budou jako doposud dominovat větrné elektrárny, které v roce 2040 vyrobí okolo 330 TWh (za předpokladu, že zůstane zachována podobná doba využití), u fotovoltaiky lze očekávat výrobu přibližně 130 TWh. Pro zjednodušení ostatní obnovitelné zdroje jako biomasa nebo voda jsou uvažovány na stejné úrovni jako v roce 2019. Údaj o spotřebě elektřiny za rok 2018 je z ENTSOE a ve výhledu poptávky je zohledněna také ekonomická krize a pokles poptávky způsobený covid-19, nicméně od roku 2022 je očekáván meziroční růst o 1 %. Je nutné dodat, že nárůst poptávky je spíše mírnější, například jen elektromobilita u osobních vozidel může navýšit poptávku o 60 až 80 TWh. Následující obrázek již ilustruje vybraných sedm dní v roce 2040 a je patrné, kdy dochází k přebytkům výroby z OZE.

Obrázek 9.2 Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v roce 2040



Jak je vidno na předešlém obrázku, přebytky jsou hlavně podmíněné výrobou z fotovoltaiky. Přestože větrné zdroje mají tendenci působit v základním zatížení, jejich výroba však není většinou dostačující. Celkový přebytek elektřiny vhodné pro výrobu zeleného vodíku ve zvolených sedmi dnech je 1,7 TWh (tento týden je však nadprůměrný). Pro zajištění provozovatelnosti elektrizační soustavy bude nutné tyto zdroje doplnit ať už zemním plynem nebo jinou alternativou.

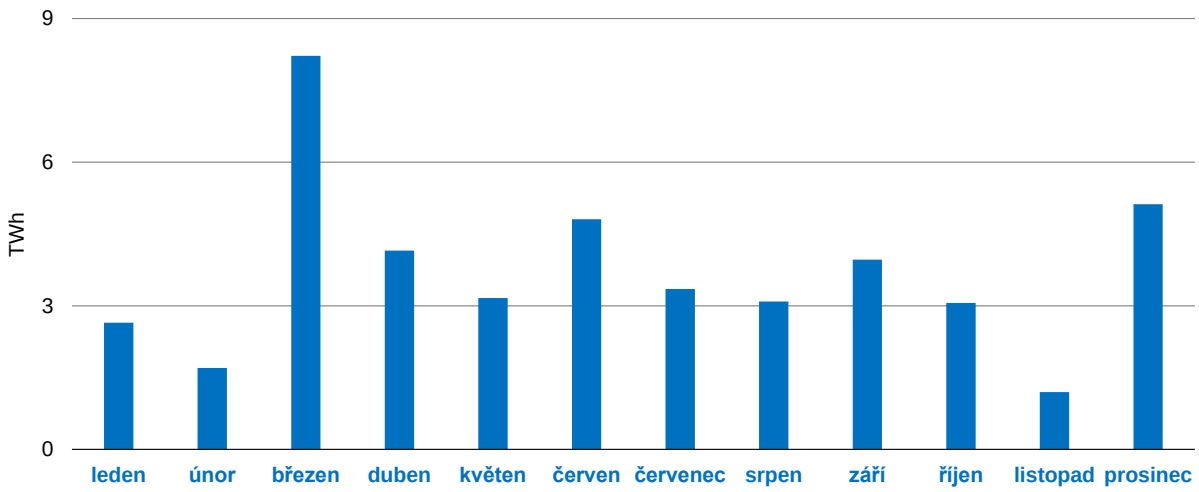
Za těchto zvolených předpokladů budou schopné obnovitelné zdroje energie samy o sobě pokrýt přibližně tři čtvrtiny celkové poptávky na roční bilanci, což bude necelých 500 TWh vyrobené elektřiny. Následující obrázek ukazuje přebytky výroby obnovitelných zdrojů energie za jednotlivé měsíce. Největší přebytek se objevuje v měsíci březnu, což je způsobeno vysokou výrobou větrných elektráren. Přebytky se většinou pohybují na úrovni 3 až 5 TWh.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Roční suma dosahuje hodnoty 44,5 TWh, což stanovuje čistě teoretický potenciál pro výrobu až 1,5 mil. tun zeleného vodíku, tedy přibližně dvanáctinásobku současné roční spotřeby vodíku v ČR. Jak bylo popsáno v kapitole 8.1 Flexibilita elektrizační soustavy, charakteristika P2G, většina této energie bude velmi pravděpodobně rozdělena mezi ostatní nástroje flexibility a pouze malá část se využije k výrobě vodíku.

Obrázek 9.3 Měsíční přebytky elektřiny vyrobené z OZE v Německu v roce 2040



Zdroj: ENTSOE

Rozvoj plynárenské infrastruktury

Německý plán rozvoje plynárenské soustavy pro roky 2020-2029 se soustřeďuje na téma obnovitelných plynů. Taktéž byly zahájeny práce na studii uplatnitelnosti jednotek P2G a jejich regionalizace. Zároveň byl spuštěn projekt konverze oblastí spalující L-plyn na H-plyn (*Marktraumumstellung*). V současné době je již možné při splnění určitých podmínek vtláčet do soustavy vodík v podílu do 10 % obj. Podle plánu by do roku 2030 mělo být umožněno vtláčet do 10 % obj. bez bariér, přitom by mohly být tyto podmínky posunuty pro objemové koncentrace od 10 do 20 % obj. Vzhledem k rostoucímu podílu vodíku v soustavě bude třeba postupně nahrazovat prvky v soustavě, přitom není ani vyloučena výstavba nových potrubí přepravujících čistý vodík. V březnu 2019 proběhlo dotazníkové šetření, kterým směrům přepravy vodíku by dali přednost účastníci trhu. Takovým úsekům bude věnována přednost při obnově aktiv. Poptávka trhu po připojení nových kapacit výroben vodíku byla stanovena na 1 071 MWh/h (238 tis. tun H_2 ročně), poptávka trhu na 3 306 MWh/h (735 tis. tun H_2 ročně). Instalovaný výkon elektrolyzérů subjektů trhu představoval 1,1 GW_e. Nicméně, diskutovaný návrh vodíkové strategie Německa počítá k roku 2030 s 3 až 5 GW_e. Německo

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

by ale v roce 2030 mělo pokrýt poptávku 1 054 TWh, z čehož tuzemská těžba plynu přispěje 36 TWh, biometan 10 TWh, technologie P2G 25 TWh čili 982 TWh plynu bude nutné zajistit z externích zdrojů.

Do roku 2030 by měly být zprovozněny nové výrobny elektrické energie (elektrárny, KGJ, motory) o instalovaném výkonu 12,1 GW_e. V plánuje se také rozšíření kapacity na PZP Nussdorf, výstavba LNG Brunsbüttel (až 8 mld. m^3 ročně), LNG Stade (až 4 mld. m^3 ročně), LNG Rostock (až 700 tis. m^3 ročně) a LNG Wilhemshaven (až 10 mld. m^3 ročně). Nad rámec rozvoje soustavy je plánováno sloučení tržních oblastí Gaspool a NCG k 1. říjnu 2021.

9.2 Rozvoj plynárenské infrastruktury ostatních sousedních zemí

Polsko

V rámci desetiletého plánu rozvoje soustavy se investiční záměry přepravce orientují na diverzifikaci dodávek zemního plynu do země. Kromě již fungujícího LNG terminálu Świnoujście (s plánovaným rozšířením roční kapacity z 5 na 7,5 až 10 mld. m^3 zemního plynu) je plánován další (FSRU) ve městě Gdańsk o kapacitě až 4 mld. m^3 ročně. Kromě toho, Polsko buduje propojení s Norskem přes Dánsko (tzv. *Baltic Pipe* DN 900, 10 mld. m^3 ročně). *Baltic Pipe* by měl být hotov v říjnu 2022. Polsko také rozvíjí projekty interkonektorů s okolními zeměmi (Litva – DN 700, Slovensko – DN 1000 v realizaci, ČR – DN 1000). V rámci TYNDP do roku 2029 však není uveden ani jeden projekt vedoucí k napojení jednotky P2G do přepravní soustavy. Otázkou tedy zůstává dekarbonizace sektoru plynárenství v Norsku a Rusku, odkud by do Polska mohl být dopravován vodík vyrobený ze zemního plynu. Problematika dovozu modrého vodíku do EU z Norska a Ruska je stále diskutována. Norsko má již zkušenosti s využitím technologie CCS, zároveň disponuje rozsáhlými prostory vhodnými pro ukládání CO_2. Nicméně, současná infrastruktura není na přepravu vodíku do EU připravena.

Realizace plynovodu STORK II, kterým by ČR mohla dovážet plyn z Polska, je ale nejistá – s ohledem na proces poptávky po přírůstkových kapacitách na profilu CZ/PL se zvažuje alternativní řešení v podobě vybudování paralelního plynovodu DN 500 Cieszyn–Libhošť, jehož kapacita nebyla blíže určena. Malé pravděpodobnosti realizace dovozu významnějšího množství vodíku z Polska do ČR nahrává i energetická koncepce Polska (*Polityka energetyczna Polski do 2040 roku)*, která předpokládá navýšení roční spotřeby plynu do roku 2040 o 7,6 mld. m^3 na téměř 28 mld. m^3. Jinými slovy, dekarbonizační záměry Polska (především odchod od uhlí) se patrně promítnou do navýšení spotřeby plynu.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

V roce 2015 Polska Grupa Energetyczna a Gaz-System podepsaly dohodu o záměru ohledně využití technologie skladování energie, spočívající v přeměně elektřiny na plyn. Byla zřízena pracovní skupina, do které byli zahrnuti zástupci obou společností. Výsledkem jejich práce bylo vytvoření studie proveditelnosti projektu instalace P2G *Studium wykonalności budowy instalacji Power-to-Gas*. Od té doby se práce na projektu de facto zastavily. Příštích deset let je pravděpodobnost dovozu vodíku z Polska do ČR velmi nízká.

Slovensko

Rozvoj přepravní soustavy Slovenska se soustřeďuje na udržení role významné tranzitní země v regionu. Po úpravě rusko-ukrajinského kontraktu ke konci roku 2019 se společnost eustream orientuje na posílení přepravních kapacit ve směru ČR-SK, a diverzifikaci přepravních kapacit směrem do Maďarska (HUSK) a Polska (DN 1000 o kapacitě 5-6 mld. m^3 ročně). Realizace plynovodu HUSK je přitom více než nejistá, neboť trh o přírůstkové kapacity SK-HU neprojevil zájem. Podobně nejspíše dopadne projekt plynovodu Eastring. Spotřeba plynu by přitom v zemi měla být přibližně konstantní, tj. přibližně 4-5 mld. m^3 ročně. V rozvojovém plánu taktéž není uveden žádný projekt technologie P2G. Fakt, že dodávky ruského plynu do EU budou přesměrovány přes Německo činí dovoz vodíku do ČR ze Slovenska jako málo pravděpodobný. Naopak, vzhledem k tradiční tržní orientaci směrem k hubu v Baumgartenu je pravděpodobnější poptávka po exportu plynu z ČR směrem na Slovensko. Situace se může změnit, pokud dojde na deklarovanou produkci zeleného vodíku na Ukrajině, tak je transit vodíku přes Slovensko očekávatelný.

Rakousko

Jedním z cílů plánu rozvoje do roku 2029 je navýšení investic do zajištění sezónních skladovacích kapacit, stejně jako posílení kapacit přepravní a distribuční soustavy v návaznosti na rozvoj výroby plynu z nekonvenčních zdrojů. Rakouský plán otevřeně již nyní hovoří o přechodu infrastruktury z konvenčního zemního plynu na nekonvenční; soustava musí být schopna akceptovat dodávku plynných paliv vyrobených z OZE (vodík, biometan). Nicméně, většina poptávky po plynu v roce 2040 by měla být kryta spíše zdroji biometanu (4,5 až 12,9 % obj.), než z technologie P2G (0 až 2,5 %, viz *TYNDP 2018, Scenario Report*). Rakousko v rozvojových scénářích předpokládá, že i do roku 2040 bude čistým dovozcem plynu. Plán rozvoje soustavy zatím neočekává připojení metanizační jednotky na přepravní soustavu, avšak společnost Gas Connect Austria v loňském roce zahájila studium připravenosti soustavy na vodík a je zainteresována na studiích implementace P2G do soustavy. V letošním roce by měl být v Pilbachu zprovozněn *Underground Sun Storage* – jde o projekt, při kterém vzniká zemní plyn z hydrolyticky vyrobeného vodíku a CO_2; oba plyny

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

se natlačí do ložiska plynu, kde prostřednictvím metanogenních organismů bude vodík metanizován.

V souvislosti s nízkým potenciálem výroby syntetických plynů a tržní orientací na hub v Baumgartenu je dovoz vodíku ze směru z Rakouska do ČR velmi nepravděpodobný. Podobně jako v případě Slovenska se jako reálnější (pokud bude postaven plynovod DN 800 BACI) jeví export plynu z ČR do Rakouska.

9.3 Potenciál dovozu vodíku z pohledu kapacity HPS

Souhrn očekávaných investičních činností dle desetiletého plánu 2020–2029 provozovatele přepravní soustavy ČR (NET4GAS) je představen v tabulce a obrázku níže. Soubor rozvojových projektů lze chápat jako snahu o posílení kapacit mezi SRN a Rakouskem – jde o zkapacitnění tras mezi těmito oblastmi projektem Capacity4Gas. V současné době se realizuje výstavba nové DN 1400 mezi Horou Svaté Kateřiny a Přimdou, výstavba nové KS Otvice a navýšení kapacit měřících tratí směrem na Slovensko na stanici Lanžhot. Poptávka trhu po přeshraničních kapacitách pak nad tento rámec uvažuje výstavbu plynovodu BACI mezi ČR a Rakouskem a dále vybudování nového propoje na Polsko (STORK II), na který navazují projekty plynovodů Moravia a Moravia Partial Loop. V neposlední řadě se jedná o pilotní projekt vtláčení H_2, anebo syntetického metanu, do přepravní soustavy. Projekt naráží na legislativní bariéru v oblasti unbundlingu (oddělení přepravce a výrobce plynu).

Kapacity soustavy závisejí na způsobu jejího provozu, a nelze tudíž stanovit přesnou hodnotu kapacity pro dovoz vodíku ve směsi zemního plynu z Německa do ČR. Velikost přepravních kapacit je určena:

- předávacím tlakem stanice: čím vyšší předávací tlak je, tím je zpravidla dosaženo vyšší přepravní kapacity;
- teplotou plynu: vyšší teplota přepravovaného plynu ponižuje disponibilní kapacity;
- kapacitou zařízení: zařízení hraničních předávacích stanic jsou patřičně dimenzována na dané tlakové a průtočné provozní podmínky (filtry, měřící řady, armatury),
- složením plynu: obecně platí, že čím je Wobbeho index přepravovaného plynu vyšší, přeprava plynu probíhá efektivněji a soustavou lze přepravit větší objemy plynu,
- minimálním provozním tlakem navazujících úseků: provozovatel soustavy odpovídá za dodržení provozní tlakové hladiny. S rostoucím průtokem se navyšuje tlakový spád, tedy čím je provozní hladina nižší, tím se navyšuje disponibilní kapacita pro přepravu,
- vzdáleností kompresní stanice: souvisí s předcházejícím bodem, kdy k zajištění provozního tlaku slouží radiální turbokompresory. Čím je průtok potrubím vedoucího ke

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

kompresní stanici vyšší, tedy i tlakový úbytek vyšší, je nutné provedení komprese v kratší vzdálenosti potrubí od HPS.

Vzhledem ke složitosti kapacitních výpočtů a jejich časové náročnosti je dále proveden slovní komentář možnosti přepravy vodíku ze SRN. K dovozu plynu do ČR slouží v současné době stanice Olbernhau, Hora Svaté Kateřiny, Brandov OPAL a Brandov STEGAL. V budoucnu přibude stanice Deutschneudorf. Předávací tlak na stanicích se běžně udržuje na dvou hladinách a to 51 a 74 bar. Přibližný přepravní scénář po roce 2021 je takový:

- HPS Deutschneudorf: část plynu převzatého do přepravy bude vedena do nové DN 1400 směr RU Přimda, další část bude přepuštěna do DN 1000 směr RU Malešovice. Plyn putující směrem k RU Přimda bude dále přepuštěn na tomto rozdělovacím uzlu do 3 linií jižní větve soustavy (DN 800, DN 1000 a DN 1400) směr KS Veselí n. Lužnicí. Protože plyn proudí dvěma směry, je dále hodnocen každý z obou směrů přepravy zvlášť:
  - DN 1400 směr RU Přimda a KS Veselí n. L: koncentrace vodíku v zemním plynu v tomto směru způsobí navýšení tlakového spádu oproti případu, kdy je přepravován pouze zemní plyn. Protože tlak potrubí před KS Veselí nesmí poklesnout pod 45 bar, budou negativně dotčeny kapacity přepravy v tomto směru, neboť KS se nachází ve velké vzdálenosti od HPS Deutschneudorf.
  - DN 1000 směr RU Malešovice: vodík v zemním plynu sice způsobí vyšší tlakový spád na potrubí, avšak vzhledem k relativní blízkostí KS Kouřim budou přepravní kapacity dotčeny méně (nebo vůbec), než v předchozím případě. Tlakový pokles lze příznivě kompenzovat právě provozem KS.
- HPS Olbernhau: zde bude přepravován plyn o tlaku 51 bar, který bude veden DN 1000 do uzlu Hora Svaté Kateřiny, kde bude přepuštěn do linií DN 900 I a DN 900 II směr KS Otvice. Provozní tlak potrubí nesmí poklesnout pod 41 bar. Důvodem výstavby KS Otvice je právě nízký předávací tlak plynu vstupujícího do ČR. Pokud by KS Otvice nebyla provozována, tlak plynu by poklesnul před KS Kouřim pod dovolenou mez. Blízkost KS Otvice proto ovlivní přepravní kapacity pouze nepatrně v negativním slova smyslu.
- HPS Brandov STEGAL: stanice slouží pro export plynu z ČR, není proto předmětem zájmu.
- HPS Brandov OPAL: plyn je do plynovodu Gazela převzat na tlakové hladině 74 bar a dále pokračuje směr RU Přimda, kde je přepuštěn do 3 linií jižní větve soustavy a pokračuje směr HPS Waidhaus. Na plynovodu není umístěna žádná KS, plyn do HPS Waidhaus doteče, aniž by tlak poklesnul pod dovolenou provozní mez. Při koncentraci

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

okolo 20 % obj. H_2 je při maximální poptávce po kapacitách tlakový spád takový, že provozovatel sítě není schopen zabezpečit provozní tlakovou hladinu.

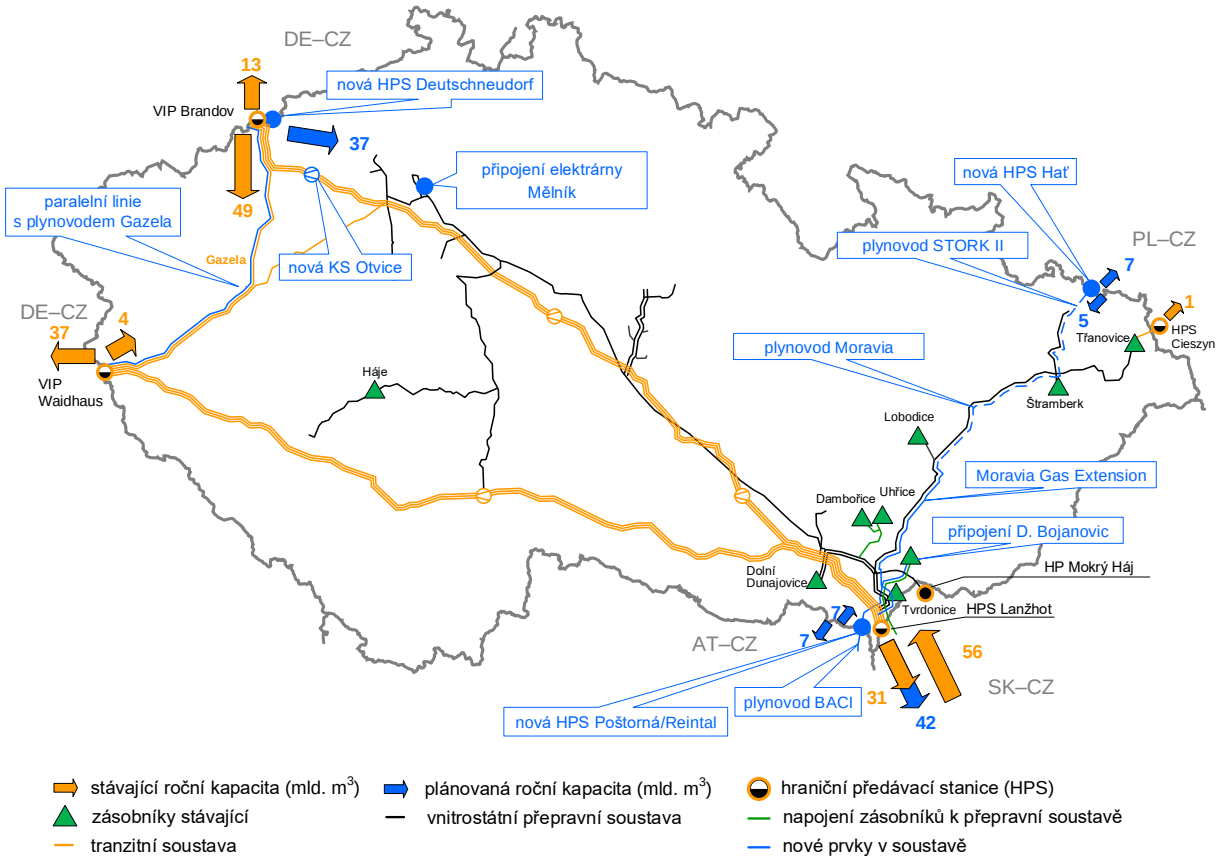
Tabulka 9.2 Přehled rozvojových plánů dle NET4GAS v letech 2020 až 2029

skupina záměrů	statut	specifikace	navýšení kapacity (mil. m^3/den) E = vstup, X = výstup	časový horizont	PCI statut
připojení elektrárny	FID	připojení elektrárny Mělník	X 0,5	2023	ne
nová linie přepravní soustavy	non FID	plynovod Moravia	X 12,0 až 14,0	2023	ano
nová linie přepravní soustavy	non FID	Moravia Capacity Extension	X 14,2	2022	ne
připojení zákazníka	FID	bez místa určení	X 0,03	2020	ne
připojení zákazníka	FID	bez místa určení	X 0,06	2023	ne
zásobník plynu	FID	připojení zásobníku Dolní Bojanovice	E 8,4, X 6,5	2022	ne
mezinárodní propojení	non FID	nové propojení na PL (STORK II)	E 13,7, X 19,6	2023	ne
mezinárodní propojení	non FID	propojení na AT HPS Reinthal (BACI)	E, X nejméně 18,0	2024	ne
mezinárodní propojení	FID	navýšení kapacity HPS Lanžhot	X 29,8	2020	ne
mezinárodní propojení	FID	nová HPS, DN 1400 a kompresní stanice	E 100,3; v 1. etapě E 59,6	2019, 2021	ne
R&D Innovation	non FID	jednotka P2G	X 0,0	2023	ne

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 9.4 Možnosti rozvoje soustavy dle NET4GAS



Výše uvedené slovní hodnocení se vždy vztahuje na úseky mezi HPS a první kompresní stanicí nebo návazným předacím bodem. Validní výsledky však může poskytnout jedině komplexní analýza celé přepravní soustavy. Nicméně z výše uvedeného textu vyplývá, že provozovatelé přepravních soustav sousedících zemí s ČR kromě Německa ve svých desetiletých výhledech nepředpokládají významné zapojení (nebo vůbec žádné) jednotek P2G do provozu soustavy. ČR rozvojovými projekty posiluje roli tranzitní země regionu, která předpokládá majoritní směr toků severozápad-jihozápad (Německo) a severozápad-jihovýchod (Slovensko, Rakousko). Potenciál dovozu vodíku z okolních států, s výjimkou Německa, je ze současného pohledu velmi nepravděpodobný. Zmiňované plány však vznikaly před vyhlášením Německé a Evropské vodíkové strategie

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

9.4 Kontext dovozu vodíku z hlediska provozování plynárenské soustavy

Problematika provozování plynárenské soustavy, pokud má absorbovat vodík, se týká okruhů:

- dopady koncentrace H_2 na používané potrubní materiály v plynárenské soustavě,
- dopady koncentrace H_2 na provozní parametry plynárenské soustavy,
- úniky H_2 ze soustavy potrubní, ale i v kolektorech zásobníků plynu,
- dopady koncentrace H_2 na kvalitu plynu,
- vliv na armatury a koncové zákazníky.

Dovoz, ale i injektáž vodíku pro využití v ČR se tak v případě plynárenské soustavy omezuje na stanovení intervalů ohraničených čísly s kritickými koncentracemi, které vyvolávají další přidané investice. V dalším textu je proto výše uvedeným bodům věnována bližší pozornost.

Vliv na potrubní materiály

Používanými materiály pro potrubí přepravující plyn jsou oceli, pro distribuční středotlaká a nízkotlaká potrubí především polyetylén.

Přepravní soustava

V ČR se pro potřeby přepravy využívají výlučně plynovody z legovaných ocelí různých pevností. První používaná potrubí tranzitního plynovodu na území ČSSR byla východoněmecká potrubí DN 900 o normované pevnosti X52, jejichž provozní tlak činí 61 bar. Potrubí tranzitní soustavy o vyšších dimenzích (vč. DN 800 jižní větve) jsou z ocelí normované pevnosti X60 (provozní tlak do 75 bar) až X80 (provozní tlak do 85 bar). Potrubí jsou izolována asfaltovou izolací.

V rámci projektu NATURALHY[19] byl zkoumán vliv H_2 na oceli X52 a X70. Cílem bylo zjistit, jakým podílem se na stárnutí a haváriích může podílet vodík vtláčený do systému. Naměřená data vypovídala o snižující se pevnosti oceli v rozmezí 30-50 % s rostoucím tlakem vtláčeného vodíku, nebyla však pozorována ztráta duktility. Za přítomnosti vodíku v zemním plynu se zvýšilo mechanické namáhání a únava oceli, snížila se hranice meze únavy, nicméně pozorované jevy byly silně závislé na tlaku vodíku i na metodách a podmínkách testu. Na základě výsledků byly doporučeny hranice:

Maximální poměr koncentrace vodík:zemní plyn by neměla překročit hodnotu 75:25 obj. v potrubí vyrobených z oceli X70.

[19] Projekt NATURALHY zkoumal potenciál využití a možnosti využití stávající plynárenské soustavy pro přepravu a distribuci vodíku. Více o projektu zde: https://cordis.europa.eu/project/id/502661

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Maximální poměr koncentrace vodík:zemní plyn by neměla překročit hodnotu 50:50 obj. v potrubí vyrobených z oceli X52.

Dodržením výše doporučených limitů by neměl být urychlen proces únavy materiálu. Vliv vodíku na tvorbu a charakter závad (narušení celistvosti potrubí, rychlejší únik plynu) se ukázal být výraznější od objemové koncentrace 50 % obj. H_2.

Dalšími předními limitujícími prvky v otázce přepravy vodíku jsou spalovací turbíny (poháněj ící kompresory), samotné turbokompresory a kulové uzávěry. Naopak, na redukčních stanicích bylo experimentálně pozorováno, že při koncentraci 25 % obj. H_2 paradoxně dochází ke snížení tvorby kondenzátu uhlovodíků. Nutno dodat, že v současné době chromatografy provozované v plynárenské soustavě za účelem zjištění kvality přepravovaného plynu nejsou kalibrovány na vodík. K tomu je mj. nutné aktualizovat vyhlášku č. 108/2011 Sb. *O měření plynu*. Diskuze ohledně legitimní hranice objemové koncentrace vodíku v zemním plynu směřují ke 2 % obj.

Distribuční soustavy

V soustavách o nižším provozním tlaku se kromě ocelových potrubí využívá polyetylénových potrubí. V roce 1968 byl na území ČSSR (v Klatovech) poprvé položen nízkotlaký plynovod z lineárního polyetylénu, postupně přibývaly další. V současné době se však využívá vysokohustotní polyetylen, jenž má oproti nízkohustotnímu polyetylénu mnohem menší úniky metanu přes stěny potrubí (až cca 4x). Více o únikŭ plynu z potrubí je pojednáno níže. Projekt PolHYtube zkoumal využití různých polymerů při distribuci vodíku ke koncovým spotřebitelům. Tahové vlastnosti polyetylénu nebyly vlivem H_2 ovlivněny až do tlaku 100 bar. Nebyl pozorován nepříznivý vliv vodíku na velikost meze kluzu ani duktilitu.

Vliv na provozní parametry

Pro provozovatele plynárenských zařízení je důležité plnění požadavků na kvalitu plynu (viz níže), která se promítá do chemicko-fyzikálních vlastností plynné směsi. Její složení pak více či méně ovlivňuje provozní parametry soustavy. Při zpracování orientačního výpočtu, jaký vliv má koncentrace H_2 na provoz soustavy, byly zavedeny jednoduché předpoklady:

- byl zachován energetický tok v plynu (tj. energetický ekvivalent dodávky),
- nezměnila se dimenze plynovodu, ani jeho geometrické a mechanické parametry,
- vliv převýšení a nadmořské výšky byl zanedbán,
- provozní parametry plynů byly uvažovány konstantní na daném úseku potrubí.

V takovém případě lze vyvodit následující závěry:

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

- S rostoucí koncentrací vodíku ve směsi zemního plynu se mírně navyšuje tlakový spád. Nelze přitom říci přesněji, o kolik procent, neboť závisí na vzdálenosti přepravy. Čím je vzdálenost vyšší, tím se procento odchylky navyšuje, neboť křivka tlakového spádu je nelineární. Fakt, že se tlakový spád nepatrně navyšuje, není v globálním měřítku zásadní překážkou při zavádění H_2 do soustavy.
- S navyšující se koncentrací H_2 klesá akumulační schopnost potrubí (jednotky až desítky procent v případě záměny na 100 % obj. H_2). Tento nepříznivý fakt by mohl mít dopad na meze dovolené odchylky, které provozovatel přepravní soustavy toleruje v rámci trhu s plynem.
- S rostoucí koncentrací H_2 ve směsi zemního plynu roste významněji rychlost toku plynu v potrubí (při úplné záměně za 100 % obj. H_2 o stovky procent). Jde o nepříznivý vliv, v jehož důsledku se navyšuje mechanické namáhání potrubí (šíření vibrací pláštěm, namáhaní svarů), čímž se zkracuje jeho životnost. Mez erozní rychlosti je u přepravní soustavy stanovena na 10 m/s, v potrubních dvorech a na tomu dimenzovaných úsecích až na 20 m/s.

Úniky vodíku do okolí

Otázka úniků plynu z potrubí se dotýká spíše polymerních potrubí, která se používají na distribučních soustavách. Co se týče polyetylénových potrubí užívaných ve středotlakých a nízkotlakých systémech, pak při injektáži vodíku do zemního plynu nevytvoří vodík se zemním plynem homogenní směs. Pokusy bylo prokázáno, že při určité teplotě si molekuly zemního plynu a vodíku zachovávají původní permeabilitu. Nicméně testy také ukázaly, že prostupnost vodíku vůči polyetylénu způsobovala pouze velmi malé úniky molekul vodíku ve srovnání s poruchovými stavy, kdy byla porušena celistvost potrubí.

Projekt PolHYtube zkoumal také permeaci vodíku přes strukturu polymerů. Zkoušky ukázaly, že koeficient permeace vodíku z potrubí vzrůstá s jeho teplotou (s tlakem mírně) a je vždy vyšší než permeace metanu. Směsi vodíku a zemního plynu neměly vliv na míru permeaci u obou plynů – koeficienty zůstaly totožné. Orientační hodnoty koeficientu permeability v případě metanu činí u vysokohustotního polyethylénu při 40 °C okolo $0{,}9 \cdot 10^{-7}$ $cm^3/(cm \cdot s \cdot MPa)$, u vodíku $2{,}1 \cdot 10^{-7}$ $cm^3/(cm \cdot s \cdot MPa)$. Jako nadějný materiál pro snížení úniků H_2 z polyetylénových potrubí se jeví polyamid, u kterého vodík dosáhnul hodnot okolo $0{,}8 \cdot 10^{-7}$ $cm^3/(cm \cdot s \cdot MPa)$.

Provoz polyetylénových potrubí je s ohledem na úniky velmi spolehlivý. Například Pražská plynárenská Distribuce, a. s., v roce 2018 registrovala 1 602 podzemních úniků plynu, z toho 85 případů nastalo u polyetylénových plynovodů.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

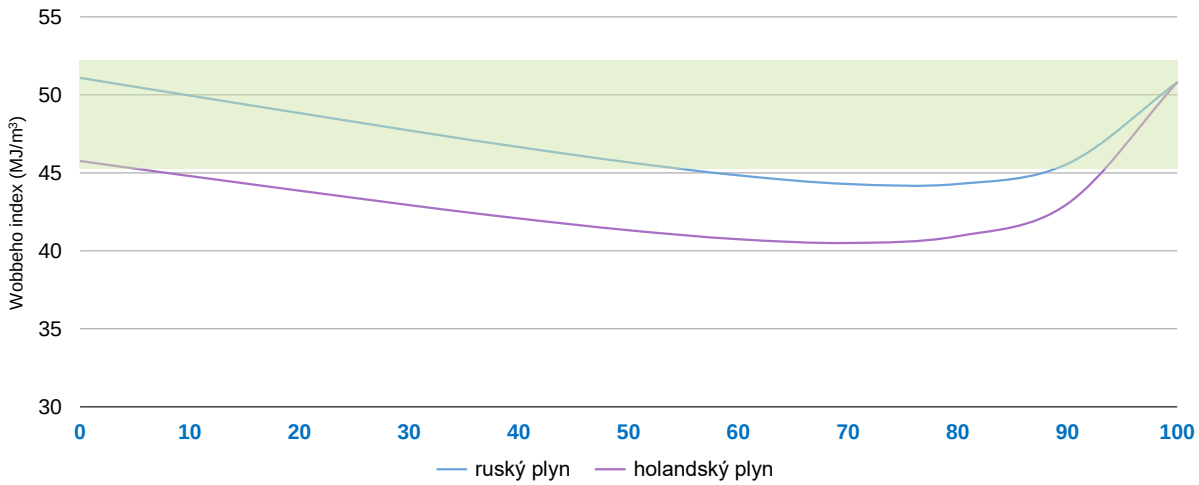
Vliv na kvalitu plynu

Spalovací zařízení, která byla konstruována na určitý typ paliva o daných parametrech, mohou být více či méně náchylná ke změně kvalitativních parametrů paliva. Proto jsou někdy vyčíslována záměnná čísla. Nejvíce používaným záměnným číslem je pak Wobbeho index, který dává do poměru spalné teplo a měrnou hmotnost plynu (hutnotu), porovná tak hodnotu získané energie spálením na základě různého složení paliva při daném tlaku. Pro zemní plyn se hodnoty Wobbeho indexu nacházejí v mezích daných normou EN437 mezi 39–45 $MJ•m^{-3}$ pro plyn typu L, 46–55 $MJ•m^{-3}$ pro plyn typu H.

Protože spalovací zařízení podléhají degradaci, jsou národními předpisy limity pro Wobbeho index často dodatečně zúženy. Hodnota Wobbeho čísla plynu spalovaného v ČR se nachází v rozmezí 45,7 až 52,2 $MJ•m^{-3}$. S ohledem na plnění limitů Wobbeho čísla se liší i dovolené množství vtlačeného H_2 do zemního plynu, resp. závisí na složení zemního plynu. Čím vyšší poměr spalného tepla a měrné hmotnosti molekul zemního plynu, tím více H_2 je možné do zemního plynu vtlačit.

Níže uvedený obrázek porovnává hodnoty Wobbeho čísla v závislosti na molárním zlomku vodíku v zemním plynu ruském (38,23 $MJ•m^{-3}$), který je v ČR převážně spalován, a nízkovýhřevného nizozemského plynu (34,72 $MJ•m^{-3}$). V holandském plynu je vyšší výskyt inertního dusíku N_2. Jak je vidět, v případě ČR Wobbeho číslo klesá pod dovolenou mez při zastoupení okolo 50 % obj. H_2 se zemním plynem, následně se nad dovolenou mez vrací při molárním zlomku nad 90 % obj. H_2. Hranici 50 % obj. lze posunou dále injektáží vyšších uhlovodíků do zemního plynu.

Obrázek 9.5 Hodnoty Wobbeho indexu na koncentraci H_2 v ZP (% obj.)



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

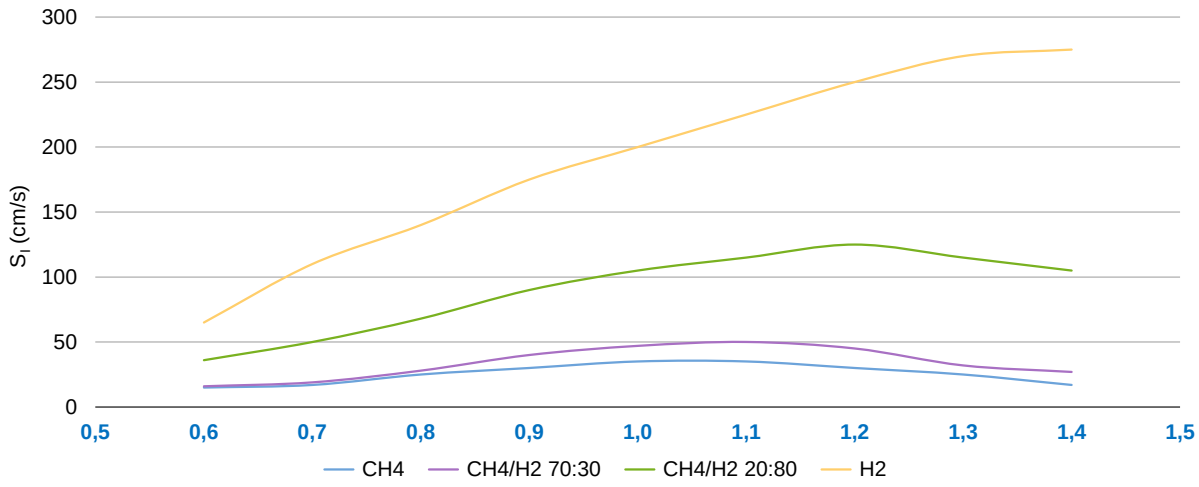
HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Vliv na koncové zákazníky

V rámci projektu NATURALHY byla provedena řada analýz a experimentálních pokusů na spalovacích zařízeních spalujících zemní plyn, či směs zemního plynu a H_2. V dalších úvahách je neměnný i objemový průtok vzduchu do hořáku pracujícím v režimu plamenného spalování, který je běžný u koncových odběratelů plynu. Podstatný rozdíl lze ale nalézt ve způsobu přípravy paliva, kdy některá zařízení připravují chudou směs, a některá bohatou směs. Pakliže je směs bohatá, na hranici plamene je ke spálení směsi použit sekundární vzduch z okolí. U chudé směsi je tomu naopak a není potřeba sekundárního vzduchu.

V případě vtláčení H_2 do soustavy se stává směs chudou. Aby byla zajištěna bezpečnost spalovacího procesu, je třeba zajistit stabilní polohu hranice plamene, která vyžaduje dodržení určité rychlosti přísunu paliva na hořák (rychlost hoření by měla být stejná jako rychlost přísunu paliva). Pokud je rychlost vyšší, dojde k odfuku plamene, v opačném případě dochází k zpětnému zažehnutí a plamen prohořívá proti směru přísunu paliva. Rychlost hoření S_l je funkcí bohatosti směsi, tedy i míry koncentrace H_2 v zemním plynu. V případě hodnot koncentrace H_2 do 30 % obj. roste laminární rychlost hoření pozvolna. Poté se rychlost hoření výrazně navyšuje, a to i s vyšší bohatostí směsi. Je zřejmé, že i při malé změně složení paliva může výrazněji rychlost hoření ovlivnit právě bohatost/chudost směsi. Pro moderní zařízení spalující chudou směs s rostoucí koncentrací H_2 v palivu je nutné směs více ochudit, aby bylo dosaženo stabilní rychlosti hoření. Níže uvedený obrázek ukazuje, jak se rychlost hoření mění v závislosti na koncentraci H_2 v zemním plynu.

Obrázek 9.6 *Závislost rychlosti hoření a bohatosti směsi na koncentraci H_2*



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Atmosférické hořáky pracující s bohatou směsí (vařiče, karmy) jsou náchylnější ke zpětnému vznícení. S rostoucí koncentrací H_2 u nich roste i rychlost hoření a již při koncentraci do 10 % obj. H_2 mohou nastat nebezpečné provozní stavy související se zpětným vznícením. Jako řešení se jeví snížení bohatosti směsi (záměna trysky), zatímco je posléze možné navýšit koncentraci H_2 až k hranici 30 % obj. Lépe jsou na tom přetlakové hořáky spalující chudou směs – riziko zpětného vzplanutí se jeví jako nízké do hodnot koncentrace 50 % obj. H_2, jako vážné při zastoupení nad 70–80 % obj. U oběhů plynových turbín, které jsou obecně na složení paliva velmi citlivé, bylo s prototypovými hořáky dosaženo stabilního spalovacího procesu při velké koncentraci vodíku v palivu, pokud byla směs extrémně ochuzena. Míra dovolené koncentrace vodíku v palivu určeného pro plynové turbíny se liší podle parametrů udaných výrobcem.

Z historických zkušeností přechodu plynárenství ze svítiplynu (který obsahoval okolo 48 % obj. H_2) na zemní plyn by bylo nutné u domácích odběratelů:

- Přenastavit regulátory tlaku. Přetlak přívodního svítiplynu vůči atmosférickému tlaku u zákazníků s atmosférickými hořáky byl regulován na nižší přetlak (asi 0,008 bar), u zemního plynu je v současnosti tlak regulován výše na cca 0,018 bar.
- Vyměnit trysky na hořácích, aby byla stabilizována rychlost plamene, tedy i bohatost směsi.

Další významnou a nepříznivou vlastností vodíku je nulové metanové číslo, tedy náchylnost k samovznícení (klepání motoru). Proto se uvádí horní hranici podílu H_2 v zemním plynu na 2 % obj. V níže uvedeném grafu jsou uvedeny orientační hodnoty bezpečných koncentrací H_2 v zemním plynu pro různé oblasti přepravy, distribuce, spotřeby a skladování zemního plynu s vodíkem.

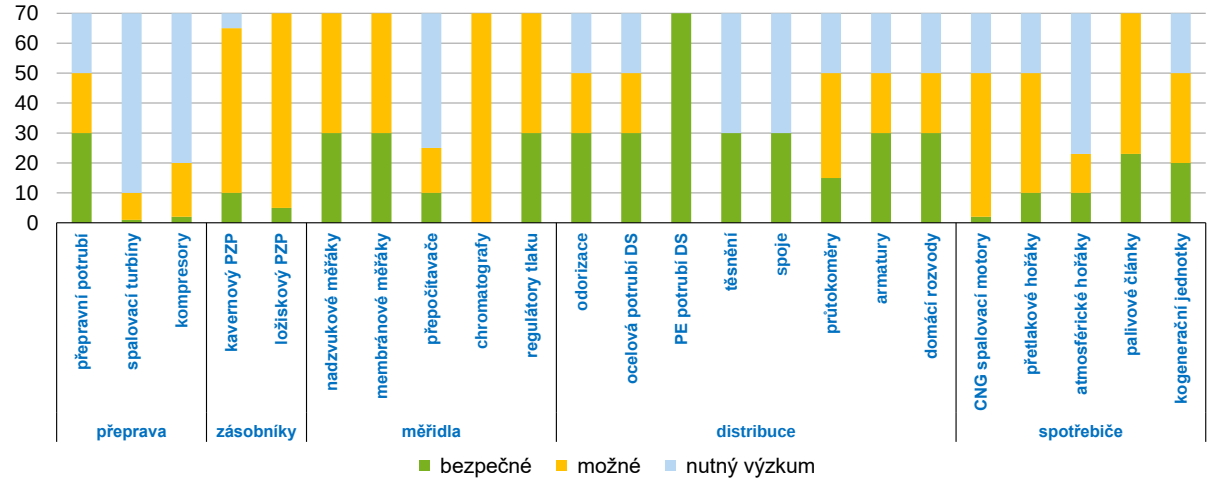
Provozovatelé plynárenských infrastruktur v ČR dosud nestanovili limitní koncentraci vodíku v zemním plynu, aniž by tím byla technicky dotčena zařízení na soustavě. Vzhledem k tomu, že dle platné legislativy není vodík považován za složku zemního plynu, není jeho koncentrace měřena na žádném obchodním ani jiném bodě. Pakliže by se vodík v soustavě vyskytnul a měřící chromatografy by jej již dokázaly zaznamenat, lze odhadovat, že limitní koncentrace vodíku v zemním plynu by byla nastavena na hodnotu 2 % obj. A to především s ohledem na spalovací turbíny a turbokompresory na přepravní soustavě, ale také vlivem nepříznivého spalování ve spalovacích motorech CNG vozů.

HUSINEC-ŘEŽ 130 ▪ 250 68 HUSINEC-ŘEŽ ▪ +420 723 252 557 ▪ WWW.HYTEP.CZ

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 9.7 Limity využití H_2 u plynárenských zařízení



10 Vyčíslení ekonomických a environmentálních dopadů

10.1 Ekonomika výroby vodíku z OZE

Výrobní náklady vodíku vyráběného PEM elektrolýzou vody s využitím elektřiny pocházející z obnovitelných zdrojů jsou klíčovým faktorem pro rozvoj vodíkového hospodářství a také pro snahy využít vodík k dekarbonizaci některých částí energetiky a průmyslu. Vzhledem k tomu, že dosavadní produkce PEM elektrolyzačních jednotek se nachází ve fázi pokročilého vývoje a jejich instalace probíhá z velké části u pilotních či nekomerčních projektů, můžeme se setkat s velkými rozptyly nákladových položek, které výslednou cenu vyrobeného vodíku zásadním způsobem ovlivňují. Abychom se vyhnuli vyhodnocování jednotlivých případů, využíváme pro naše účely data k výrobním nákladům shromážděna v rámci projektu STORE&GO, který byl ukončen v únoru roku 2020. Výsledkem projektu jsou desítky vědeckých článků věnujících se technologii P2G a zároveň tři demonstrační plně funkční projekty produkující touto technologií syntetický metan.

Shromážděná data také nemají sloužit k přípravě podnikatelského záměru na výrobu vodíku v konkrétní lokalitě. Vstupní parametry zde mají sloužit pro výpočet nákladů výroby vodíku u široké škály projektů. Jsou proto redukovány na minimum, které by mělo být pro každý projekt společné. Je pravděpodobné, že projekty budou vznikat v různých lokalitách, kde

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

nebude třeba budovat vše od nuly (např. v průmyslových parcích, u podzemních zásobníků plynu, v areálu bioplynových stanic apod.).

Tabulka 1010.1 Vstupní parametry pro výpočet nákladů na výrobu H_2 elektrolýzou vody

		2020		2030				2040			
PEM elektrolyzér	MW	1	5	1	5	10	50	1	5	10	50
CAPEX	mil. eur/MW_{el}	1,00	0,97	0,67	0,53	0,47	0,42	0,51	0,41	0,36	0,32
OPEX	% CAPEX	4			3				2,5		
energetická náročnost	kWh_{el}/m^3_{H2}	5,09			4,72				4,63		

zdroj: STORE&GO

Do výpočtu nákladů na výrobu vodíku nebyly zahrnuty náklady na kapitál, neboť se zpočátku bude jednat pravděpodobně o pilotní projekty, kde výnos z investice nebude považován za podstatný. U projektů po roce 2030 však již zahrnujeme úrokovou sazbou 5 %. Životní cyklus instalace je předpokládán na 20 let.

CAPEX – zahrnuje pouze výdaje na pořízení elektrolyzéru. Tato část kapitálových výdajů by se v různých projektech neměla výrazně lišit. Nejsou zde započítány náklady na další prvky celého systému jako např. transformační stanice pro připojení k síti elektrizační soustavy či zdroji elektrické energie, zásobník na vodík, zařízení měřící kvalitu plynu apod. Zahrnuty nejsou ani náklady na zpracování studie, návrh technologie, podobně jako stavební a instalační práce.

OPEX – roční náklady nezávislé na produkci vodíku (např. náklady na mzdy zaměstnanců, pojištění projektu, nájem, údržbu apod.). Položka OPEX nezahrnuje variabilní náklady, které se přímo odvíjejí od objemu produkce vodíku. Takovými jsou zejména náklady na palivo – elektřina a voda.

Do následného výpočtu měrných nákladů výroby vodíku je zakalkulována jednotná cena vody potřebné pro elektrolýzu během celého zkoumaného období. Cena vstupní elektřiny byla navržena ve třech variantách (více v následující podkapitole). Naopak ve výpočtu není zahrnuta energie nutná pro udržování elektrolytické jednotky v hot a cold stand-by režimu (teplo a elektřina). Tyto hodnoty ovlivňují celkovou cenu vyrobeného vodíku pouze minimálně.

Při výpočtu nákladů na výrobu vodíku lze dosáhnout výrazně odlišných výsledků. Od ceny přesahujících násobky současné ceny vodíku vyráběného parním reformingem ze zemního plynu po ceny jdoucí do záporných úrovní. Citlivostní analýza provedená v rámci projektu

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

STORE&GO dokládá, že cena elektřiny, doba využití, účinnost jednotky a výše CAPEX mají největší vliv na výslednou cenu produktu, zatímco OPEX, či životnost ovlivňují výslednou cenu pouze minimálně.

Na obrázcích níže lze dokumentovat, jakých cen vodíku dosáhneme při jistých kombinacích dvou klíčových proměnných – ceny vstupní elektřiny a doby využití. Hranice rentability výroby vodíku z PEM elektrolýzy je dána bílými oblastmi, které označují 10% rozdíl teoretické ceny vodíku vyrobeného technologií SMR[20]. Čím modřeji je oblast vyznačená, tím vyšší jsou měrné náklady, zatímco zelená oblast prezentuje náklady klesající pod úroveň tržní ceny. Dodávka využitelné elektřiny z OZE pro výrobu vodíku v ČR vzhledem ke geografickým a klimatickým podmínkám ČR (převážná část využitelné elektřiny z OZE bude pocházet z fotovoltaických elektráren, mnohem méně pak z větrných elektráren) a rozsahu dalších nástrojů regulace ES se bude pohybovat okolo 1 000 hodin za rok.

Obrázek 10.1 Vliv ceny elektřiny a doby využití na cenu výroby vodíku (1 MW elektrolyzér, v EUR/kg) v roce 2020

cena elektřiny v EUR/MWh

doba využití v h/rok	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
500	3,32	3,75	4,18	4,61	5,04	5,47	5,90	6,33	6,76	7,19	7,62
1000	0,61	1,04	1,47	1,91	2,34	2,77	3,20	3,63	4,06	4,49	4,92
1500	-0,29	0,14	0,57	1,00	1,43	1,87	2,30	2,73	3,16	3,59	4,02
2000	-0,74	-0,31	0,12	0,55	0,98	1,41	1,85	2,28	2,71	3,14	3,57
2500	-1,01	-0,58	-0,15	0,28	0,71	1,14	1,57	2,01	2,44	2,87	3,30
3000	-1,19	-0,76	-0,33	0,10	0,53	0,96	1,39	1,83	2,26	2,69	3,12
3500	-1,32	-0,89	-0,46	-0,03	0,40	0,83	1,27	1,70	2,13	2,56	2,99
4000	-1,42	-0,98	-0,55	-0,12	0,31	0,74	1,17	1,60	2,03	2,46	2,89
4500	-1,49	-1,06	-0,63	-0,20	0,23	0,66	1,09	1,52	1,96	2,39	2,82

Vzhledem k předpokládanému poklesu investičních i provozních nákladů technologie PEM elektrolyzéru po roce 2020 a dalšímu snížení nákladů spojených s instalací vyšší kapacity než 1MW jednotky, předkládáme analýzu výrobních nákladů pro rok 2040 v 10MW verzi. V tomto případě je již započítána 5% diskontní sazba.

[20] Vychází z průměrné ceny zemního plynu na v nizozemském obchodním bodě TTF v období únor a březen 2020 a z tržní ceny CO_2 podle systému EU ETS v daném období.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Obrázek 10.2 Vliv ceny elektřiny a doby využití na cenu výroby vodíku (10 MW elektrolyzér, v EUR/kg) v roce 2040

doba využití v h/rok \ cena elektřiny v EUR/MWh	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
500	0,36	0,75	1,14	1,54	1,93	2,32	2,71	3,10	3,50	3,89	4,28
1000	-0,77	-0,38	0,01	0,41	0,80	1,19	1,58	1,98	2,37	2,76	3,15
1500	-1,15	-0,75	-0,36	0,03	0,42	0,81	1,21	1,60	1,99	2,38	2,78
2000	-1,33	-0,94	-0,55	-0,16	0,23	0,63	1,02	1,41	1,80	2,20	2,59
2500	-1,45	-1,05	-0,66	-0,27	0,12	0,51	0,91	1,30	1,69	2,08	2,47
3000	-1,52	-1,13	-0,74	-0,35	0,05	0,44	0,83	1,22	1,61	2,01	2,40
3500	-1,58	-1,18	-0,79	-0,40	-0,01	0,38	0,78	1,17	1,56	1,95	2,35
4000	-1,62	-1,22	-0,83	-0,44	-0,05	0,34	0,74	1,13	1,52	1,91	2,31
4500	-1,65	-1,26	-0,86	-0,47	-0,08	0,31	0,71	1,10	1,49	1,88	2,27

Při pohledu na obě tabulky je patrné rozšíření zeleného pole na úkor modrého v roce 2040. Rentabilita elektrolytického vodíku se projevuje již při ceně 0 EUR/MWh a 1 000 hodinách využití, zatímco v roce 2020 je třeba dosáhnout dvojnásobné doby využití. Naopak při tomto využití (2 000 h za rok) v roce 2040 lze elektrolytický vodík považovat za teoreticky konkurenceschopný i při cenách elektřiny dosahujících 10 až 20 EUR/MWh.

Vzhledem k různým variantám řešení jednotlivých projektů je velmi složité určit nejvíce pravděpodobnou verzi nákladových parametrů, které vstupují do výsledné ceny produktu. Oproti výše představeným parametrům, které počítají pouze s investičními náklady na samotnou technologii PEM elektrolýzy (CAPEX), nulovou či 5% úrokovou sazbou a provozními náklady, se u reálných projektů lze setkat se situací, která zahrnuje mnohem více prvků celého systému (rozšířený CAPEX) a navíc předpokládá vtláčení vodíku do plynárenské distribuční soustavy. Kapitálové výdaje pak mohou vzrůst až několikanásobně, a tím adekvátně vzroste také výsledná cena vodíku oproti cenám výše zobrazeným.

10.2 Vyčíslení ekonomické náročnosti výroby vodíku v ČR

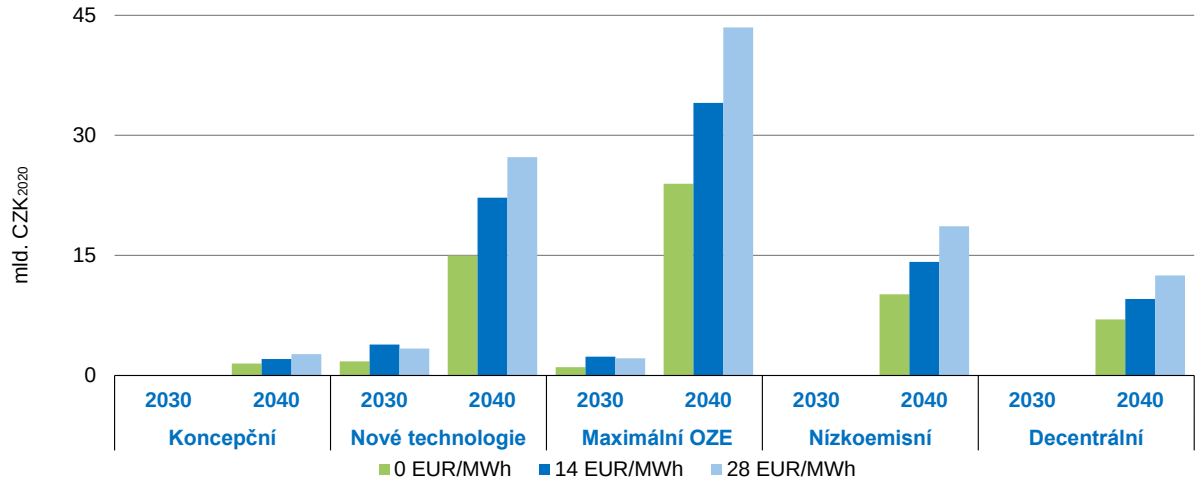
Celkové náklady na výrobu vodíku, jak bylo popsáno v předchozí podkapitole, odrážejí celou řadu proměnných. Jednou z klíčových proměnných je cena elektřiny, která vstupuje do procesu elektrolýzy, a jejíž energie se transformuje do vodíku. Jelikož předpokládáme, že nástroje pro regulaci elektrizační soustavy v podobě sezónní a denní systémové akumulace budou spouštěny v časech, kdy výroba elektřiny přesahuje její poptávku, měla by cena elektřiny využitelné pro elektrolyzéry být zásadně nižší, než je průměrná hodinová cena na vnitrodenním trhu.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

V roce 2019 dosáhla průměrná cena elektřiny na vnitrodenním trhu v ČR 40 EUR/MWh. Průměrná cena obstarané záporné regulační energie na vyrovnávacím trhu v čase špiček, tedy v čase, kdy se otevírá prostor pro využití akumulace energie, dosáhla výše 14 EUR/MWh. Z důvodu velmi obtížné predikovatelnosti budoucích cen záporné regulační energie uvádíme na obrázku níže celkové náklady na výrobu vodíku z OZE ve třech situacích. Při ceně elektřiny 0, 14 a 28 EUR/MWh.

Obrázek 10.3 Celkové kumulované náklady na výrobu vodíku z OZE



Nejvyšších kumulativních nákladů na výrobu vodíku z OZE v rozmezí 24 až 43,5 mld. CZK dosahuje varianta s největším nasazením obnovitelných zdrojů (Maximální OZE) a nejvyšší výrobou vodíku (dohromady 642 tis. tun). Naopak nejnižších nákladů se dosáhne ve variantě Koncepční, která díky velmi omezené výrobě vodíku (38 tis. tun) nepřekročí 3 mld. CZK ani při ceně elektřiny 28 EUR/MWh. Pro srovnání, všechny ostatní varianty vyžadují pouze v roce 2040 vyšší náklady, než dosáhne varianta Koncepční za celé období dohromady, tedy od roku 2031, kdy dochází k první produkci vodíku.

10.3 Vliv výroby vodíku z OZE na emise skleníkových plynů

Produkce zeleného vodíku z přebytků výroby elektřiny z OZE může mít příznivý dopad na poměry v oblasti emisí znečišťujících látek. Pokud by se tento vodík použil pro výrobu elektřiny, znamenalo by to, že příslušné množství elektřiny by nemuselo být vyrobeno z jiných primárních zdrojů, v případě České republiky zejména z uhlí nebo ze zemního plynu.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

Výroba elektřiny z fosilních paliv přináší produkci CO_2, v případě paliv uhelných také oxidy síry nebo tuhé znečišťující látky. Použití zeleného vodíku ze sezónní akumulace k výrobě elektřiny může všechny uvedené kategorie emisí eliminovat.

Pokud by se zelený vodík ze sezónní akumulace elektřiny použil jako palivo pro výrobu elektřiny, lze z hlediska emisí provést následující úvahu:

- V bilanci se pracuje s výhřevností vodíku 119,584 MJ/kg. S využitím tepelného rozdílu mezi výhřevností a spalným teplem se neuvažuje. Počítá se totiž s tím, že vodík by byl spoluspalován ve velkých zařízeních, kde nelze využít chladné spaliny jako u domácího kondenzačního kotle.
- S ohledem na známé stávající technologie lze v energetice vodík použít především jako příměs do zemního plynu. Přesné poměry mezi zemním plynem a vodíkem nejsou v současnosti stanoveny, v odborných kruzích se však obvykle hovoří o objemovém podílu vodíku ve směsi se zemním plynem v rozmezí od 2 do 10 %.
- Jako nejvhodnější možnost se jeví použití zemního plynu s příměsí vodíku ve spalovacích turbínách – buď v jednoduchém nebo v paroplynovém cyklu.
- Zatím se neuvažuje o tom, že by se samostatný vodík spaloval například ve velkých pístových spalovacích motorech. Obdobně se nepředpokládá, že by vodík mohl být použit jako doplňující palivo v uhelných kotlích.
- Úspora emisí CO_2 vzniklá spalováním vodíku závisí vždy na tom, jak by byla srovnatelná energie (například elektřina) získána s využitím jiného paliva a v jiném druhu zařízení. Pokud bude vodík spalován ve stejném technologickém zařízení jako alternativní palivo, je emisní úspora závislá jen na emisivitě CO_2 tohoto alternativního paliva. Pokud ale bude vodík spalován v jiném technologickém zařízení, musí se pro stanovení úspory emisí zohlednit i rozdílné účinnosti těchto zařízení.
- Uvažované měrné emisivity CO_2 (kg CO_2 vzhledem k energii v palivu) jsou 55,8 kg CO_2/1 GJ u zemního plynu, 101,7 kg CO_2/1 GJ pro hnědé uhlí, 95,2 kg CO_2/1 GJ pro černé uhlí a 76,6 kg CO_2/1 GJ pro topné oleje.
- Z výše uvedených hodnot vyplývá, že spálením 1 kg vodíku (119,584 MJ) ve stejném technologickém zařízení, v jakém se spálí alternativní palivo, se ušetří v případě zemního plynu 6,67 kg CO_2, v případě hnědého uhlí pak 12,2 kg CO_2.
- Vyhodnocená emisní úspora platí pro vodík obecně, ale pouze při využití zeleného vodíku tato úspora nastává reálně. Pokud by se totiž jednalo o vodík modrý nebo šedý, musela by se do bilance promítnout naopak produkce CO_2 při výrobě vodíku, což by bilanci zhoršilo.

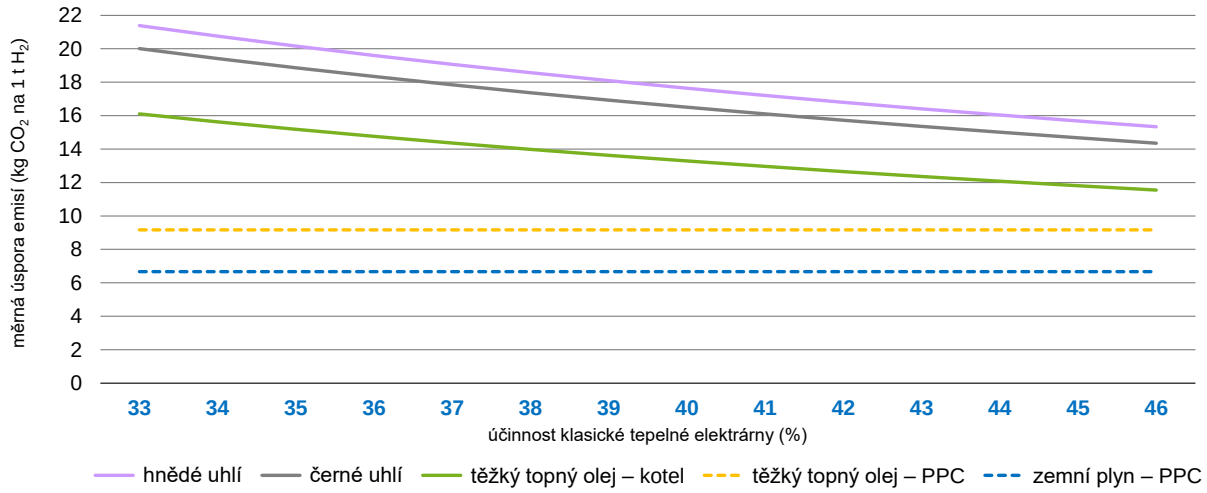
HUSINEC-ŘEŽ 130 ▪ 250 68 HUSINEC-ŘEŽ ▪ +420 723 252 557 ▪ WWW.HYTEP.CZ

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Následující obrázek uvádí měrnou úsporu emisí pro různá paliva při jejich spalování v tepelném cyklu v klasické parní elektrárně. Je zobrazena úspora emisí v závislosti na účinnosti tepelné elektrárny v rozpětí obvyklých hodnot – asi 33 % u starších kondenzačních elektráren až po 46 % u nadkritických parních bloků. Úspora je vyhodnocena oproti případu, kdy se spálí 1 kg vodíku v paroplynovém cyklu s účinností 58 %. Čárkovanými průběhy je pro porovnání uvedena emisní úspora při spalování zemního plynu a těžkého topného oleje při jejich spalování v témže paroplynovém cyklu jako vodík. Tato úspora pak není závislá na účinnosti.

Obrázek 10.4 Měrná emisní úspora CO_2 při spalování vodíku v paroplynovém cyklu[21]



Pro lepší orientaci může sloužit následující tabulka, kde jsou pro úplnost uvedeny měrné emisní úspory pro různé kombinace zařízení a pro různá paliva. Úsporu emisí tedy ovlivňuje nejen to, jaký je druh alternativního paliva, ale také technologické uspořádání zařízení, v němž je toto alternativní palivo spalováno. Z hodnot v tabulce vyplývá, že největší emisní úspora CO_2 vzniká tehdy, když se přejde od spalování hnědého uhlí v klasické tepelné elektrárně ke spalování vodíku v paroplynovém cyklu.

[21] paroplynový cyklus vykazuje obdobné účinnosti, jako jednotky s palivovými články,

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

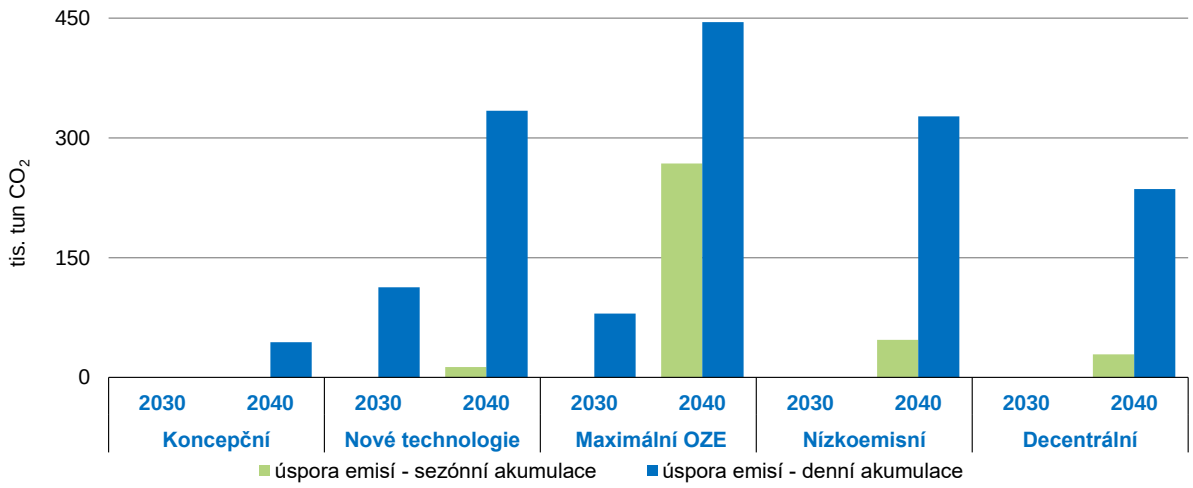
HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Tabulka 10.2 Měrná emisní úspora CO_2 pro různá paliva a různé technologie spalování

alternativní palivo	technologie spalování alternativního paliva	technologie spalování vodíku	emisní úspora kg CO_2 na 1 kg spáleného H_2
hnědé uhlí	klasická parní elektrárna	paroplyn	21,38 až 15,34
černé uhlí	klasická parní elektrárna	paroplyn	20,01 až 14,35
těžký topný olej	klasická parní elektrárna	paroplyn	16,10 až 11,55
zemní plyn	klasická parní elektrárna	paroplyn	11,73 až 8,41
hnědé uhlí	shodné zařízení		12,17
černé uhlí			11,38
těžký topný olej			9,16
zemní plyn			6,67

Na následujícím obrázku je uveden pokles (úspora) emisí CO_2 v případě, kdy vodík bude spalován v paroplynovém cyklu namísto toho, že by v tomto zařízení byl spalován zemní plyn. Bilance je uvedena samostatně pro vodík ze sezónní akumulace a pak pro vodík, který by byl případně vyroben v denní systémové akumulaci. Nejvyšších celkových úspor CO_2 (tedy za sezónní plus denní systémovou akumulaci) ve výši 713 tis. tun CO_2 lze dosáhnout ve variantě Maximální OZE v roce 2040. Naopak nejmenší příspěvek k úsporám nabízí varianta Koncepční, která vzhledem ke své skladbě zdrojů ES a nejslabšímu rozvoji OZE dosahuje úspor CO_2 teprve v druhé polovině zkoumaného období. V roce 2040 se v této variantě dosáhne na úspory ve výši 44 tis. tun CO_2. Ve zbylých případech se možnost snížit emise CO_2 pohybuje v rozmezí 265 a 374 tis. tun CO_2.

Obrázek 10.5 Snížení emisí CO_2 – vodík jako náhrada zemního plynu v paroplynovém cyklu

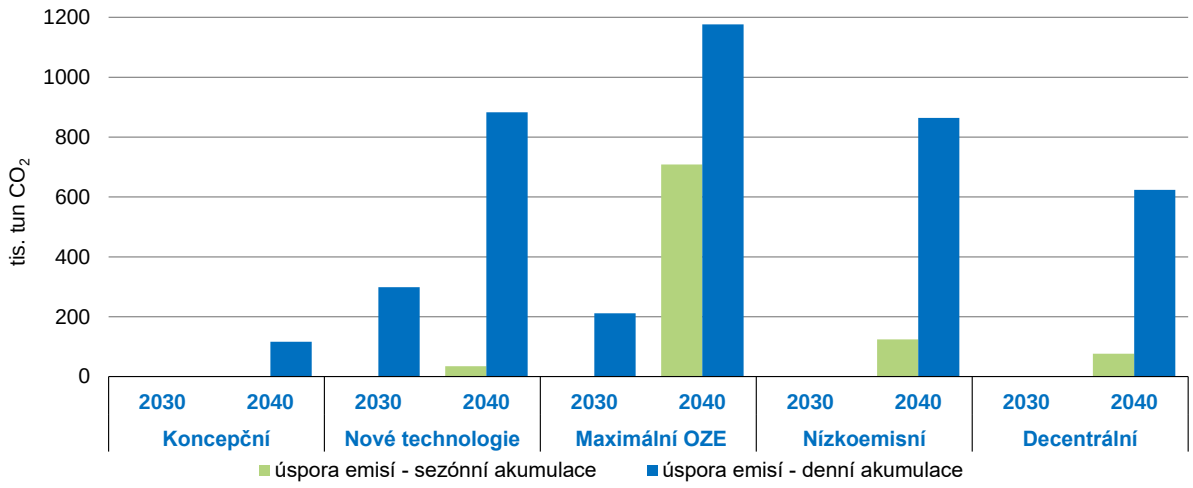


EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

V souladu s výše uvedeným se úspora emisí změní v případě, že ji budeme vyhodnocovat nikoliv ve vztahu k zemnímu plynu, ale ve vztahu k uhlí. Zde je pak nutné vedle měrné emisivity zohlednit i různé účinnosti zařízení. Následující obrázek uvádí snížení emisí CO_2 pro případ, kdy se přejde od spalování hnědého uhlí v klasické tepelné elektrárně (zvolená účinnost tepelného cyklu 40 %) ke spalování vodíku v paroplynovém cyklu o účinnosti 58 %. Údaje za oba případy úspory emisí jsou shrnuty v tabulce níže.

Obrázek 10.6 Snížení emisí CO_2 – vodík v PPC jako náhrada hnědého uhlí v tepelné elektrárně



V roce 2019 bylo v rámci české energetiky vyprodukováno okolo 52 mil. tun CO_2 a pro variantu Maximální OZE, která disponuje výrazně nízkoemisní skladbou zdrojů se v roce 2040 očekává 26,5 mil. tun CO_2. Celková úspora z obou druhů akumulace ve výši 713 tisíc tun CO_2 znamená 2,7% snížení emisí celé energetiky. V případě, že by výroba elektřiny ze zeleného vodíku vytěsnila výrobu z hnědého uhlí v tepelné elektrárně s účinností 40 %, představovalo by to snížení emisí o 7,1 %.

Pokud jde o emisní úsporu v případě, že by namísto systémové denní akumulace do baterií byla elektřina použita pro výrobu vodíku, je nutno upozornit na podstatnou souvislost. Zatímco při bateriové akumulaci by se elektřina navracela do soustavy, u výroby vodíku by se ekvivalentní množství energie muselo vyrobit v jiných zdrojích. Příslušné emisní zatížení takové výroby by ve výsledku nepříznivě ovlivnilo celkovou bilanci emisí.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

Tabulka 10.3 Vliv výroby vodíku z OZE na množství emisí CO_2 (v tis. tun)

rok	varianta	úspora emisí CO_2 při sezónní akumulaci (tis. tun)		úspora emisí CO_2 při denní systémové akumulaci (tis. tun)		celková úspora emisí CO_2 (tis. tun)	
		náhrada zemního plynu v PPC	náhrada hnědého uhlí v tepelné elektrárně (η = 40 %)	náhrada zemního plynu v PPC	náhrada hnědého uhlí v tepelné elektrárně (η = 40 %)	náhrada zemního plynu v PPC	náhrada hnědého uhlí v tepelné elektrárně (η = 40 %)
2030	Koncepční	0	0	0	0	0	0
	Nové technologie	0	0	113	299	113	299
	Maximální OZE	0	0	80	212	80	212
	Nízkoemisní	0	0	0	0	0	0
	Decentrální	0	0	0	0	0	0
2040	Koncepční	0	0	44	116	44	116
	Nové technologie	13	33	334	883	347	917
	Maximální OZE	268	709	445	1 176	713	1 885
	Nízkoemisní	47	125	327	864	374	989
	Decentrální	29	76	236	625	265	701

11 Strategické cíle pro podporu využití vodíku v ČR

Pro ČR je v plánované transformaci energetiky a průmyslu EU zcela zásadní vytvořit legislativně regulatorní prostředí v maximální možné míře podporující zavádění vodíkových technologií do praxe. V opačném případě bude nemožné pro provozovatele sítí v ČR i průmyslové podniky se podílet na transformaci EU energetiky. K tomu je potřeba především:

- Zavedení certifikačních mechanismů původu vodíku v souladu s připravovanou legislativou EU
- Úprava legislativy a norem pro distribuce a využívání vodíku i pro běžné spotřebitele – analogicky k současnému stavu zemního plynu.
- Podpora skladování energie ve formě vodíku.
- Podpora a zjednodušení zavedení mikrokogeneračních jednotek pro domácnosti
- Podpora výzkumu a vývoje vodíkových technologií, jež umožní výrobcům v ČR získat technologické know-how a možnost tvorby produktového portfolia pro vznikající trh.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

- Podpora vzdělání a osvěty v oblasti vodíkových technologií je nezbytnou podmínkou pro vznik kvalifikovaných pracovníků nezbytných pro implementaci vodíkových technologií.

Konkrétní kroky pak jsou:

Příprava a aktualizace strategických dokumentů, legislativy, výkaznictví

Státní energetická koncepce ČR z roku 2015 prakticky s vodíkem nepracuje, což odpovídá datu její přípravy a podílu obnovitelných zdrojů, který SEK navrhuje. Při sestavování nové energetické koncepce je nutné zahrnout roli vodíku jako nástroje sezonní akumulace.

Pro praktické využití vodíku i provádění návazných analýz je nutné mít kvalitní data. Proto je třeba vodík zařadit mezi komodity sledované Českým statistickým úřadem a Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) z důvodu včasného podchycení nových trendů ve využívání vodíku – v případě ERÚ jde především o měsíční i roční zprávy o provozu elektrizační i plynárenské soustavy či o vydávání licencí. Uvedené kroky by měly mj. směřovat k návrhu řešení pro usnadnění vstupu vodíkových technologií na trh. Důležitým partnerem by měl být také operátor trhu (OTE, a.s.) s ohledem na možné vydávání záruk původu pro zelený vodík ev. jiná certifikační autorita vycházející ze směrnic EU.

Energetický zákon, jehož novelizace se nyní připravuje, definuje pojem *plyn*. Dle nynější definice uvedené v zákoně 458/2000, § 2 odst. b9 se plynem rozumí *zemní plyn, koksárenský plyn čistý, degazační a generátorový plyn, biometan, propan, butan a jejich směsi, pokud nejsou používány pro pohon motorových vozidel*. Vodík pod energetický zákon nespadá, není ani zahrnut v bilancích ERÚ, které je zpracovává na základě zmocnění v energetickém zákoně, ani v klíčových vyhláškách[22].

Zahraniční spolupráce

Ekonomika výroby vodíku z obnovitelných zdrojů souvisí s počtem hodin, po který jsou tyto zdroje ročně v provozu, což je dáno přírodními podmínkami. Tato doba využití činí v ČR přibližně 2 000 hodin ročně pro větrné elektrárny a 1 000 hodin pro fotovoltaiku. Z tohoto důvodu bude vodík vyrobený z OZE instalovaných v ČR za čistě tržních podmínek obtížně konkurenceschopný vodíku vyrobenému z větrných mořských farem v Polsku či Německu (využití 3 200 hodin) nebo vodíku vyrobenému z fotovoltaiky v jižních státech Evropy

[22] Např. vyhláška 108/2011 o měření plynu, která udává požadavky na kvalitu plynu, vyhlášky 344/2012 Sb. o stavech nouze v plynárenství a o bezpečnostním standardu dodávky plynu, 365/2009 Sb. o pravidlech trhu s plynem, 396/2011 Sb. o kvalitě dodávek plynu a souvisejících služeb v plynárenství, 108/2011 Sb. o měření plynu a o stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, 210/2011 Sb. o rozsahu, náležitostech a termínech vyúčtování dodávek elektřiny, plynu nebo tepelné energie a souvisejících služeb.

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

(využití 1 400 hodin). Možnost podílet se na realizaci pilotních projektů v zemích s vysokým využitím tamních OZE, a tedy s vyšší efektivitou investice do pilotních projektů je pro české instituce a podniky vysoce žádoucí. Zároveň možnost přeshraniční certifikace elektřiny z OZE výrazně zvýší stupeň využití elektrolyzéru instalovaných v ČR.

Spolupráce v rámci ČR

Stejně jako jsou známy cíle EU pro podíl OZE na spotřebě všech energií pro jednotlivé státy, případně dílčí cíle pro sektory, budou velmi pravděpodobně zavedeny i cíle pro podíl obnovitelných a dekarbonizovaných plynů na celkové spotřebě plynu. Vedle vodíku jde o biometan či syntetický metan. Pro tvorbu klíčových strategií a dokumentů je třeba postupovat v úzké spolupráci s dotčenými zájmovými sdruženími (ČPS, CZBA, CZ BIOM) a koordinovaný postup vůči státní správě v této oblasti – jednotlivé zelené plyny spolu budou soutěžit, což platí jak pro oblast plynárenství, tak i elektroenergetiky a dopravy. Důležité je prosadit rovný přístup, protože pro dosažení dekarbonizace bude nutné využít všechny dostupné kapacity.

Technicko-ekonomická analýza výroby modrého vodíku

Zvýšení výroby vodíku v ČR navzdory přírodním podmínkám, je využití energie produkované zdroji s nízkými emisemi CO_2 k výrobě modrého vodíku. Kdy nejvíce perspektivní řešení je využití elektrické energie z jaderných elektráren. Tento typ vodíku by při výhodných provozních podmínkách elektrolyzéru a existující poptávce našel uplatnění v průmyslu mnohem snadněji než zelený vodík vyrobený z přebytků OZE. Podmínkou pro cílenou výrobu tohoto nízkoemisního vodíku je však dostatečná poptávka u odběratelů. Pro cílenou výrobu vodíku je vhodné komplexněji zpracovat potenciál poptávky (doprava, zušlechťování bioplynu na biometan, ocelárny apod.) a provést analýzu různých poměrů českého energetického mixu s ohledem na dosažení hranice 36,4 g CO_2/MJ_{H2}.

Analýza provozu elektrizační a plynárenské soustavy pro výrobu a skladování vodíku

Využití vodíku k akumulaci energie spojuje provozu elektrizační a plynárenské soustavy. Proto je vhodné provést sestavení a provedení hodinových výpočtů aktuálních scénářů rozvoje české elektrizační soustavy ve vazbě na rozvoj OZE a klimatické cíle EU – jejich nastavení bude pro uplatnění vodíku určující. Rovněž není znám potenciál akumulace elektrické energie pomocí konverze na vodík za přispění lokálních elektrolyzérů ve firmách či domácnostech. V případě, že by vodík nahradil i denní akumulaci, kde původně nedocházelo k transformaci energie (vstup i výstup byla elektřina), je nutné zohlednit fakt, že z elektroenergetické bilance „zmizí“ část energie a tu bude potřeba vyrobit – což bude mít

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

HYTEP
ČESKÁ VODÍKOVÁ
TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
JIŽ OD 2007

dopad do emisí. Tento dopad je nutné analyzovat s ohledem na zdrojový mix, který bude náhradu zajišťovat.

HUSINEC-ŘEŽ 130 ▪ 250 68 HUSINEC-ŘEŽ ▪ +420 723 252 557 ▪ WWW.HYTEP.CZ