



Biometan a vodík pro mladé



Obsah

1	Úvod	3
1.1	Co považujeme za nové plyny	3
1.2	Obnovitelné zdroje	3
1.3	Recyklovatelné zdroje	3
1.4	Neobnovitelné zdroje	4
1.5	Proč uvažujeme o nových plynech?	4
1.5.1	Důvody	4
1.5.2	Cíl	5
1.6	Jaké bude využití nových plynů?	5
1.6.1	Strategie	5
1.6.2.	Průmysl	5
1.6.3	Zákazníci	6
1.6.4	Doprava	7
2	Bioplyn	8
2.1	Vznik bioplynu	8
2.2	Bioplyn vs. biometan	8
2.3	Výroba bioplynu	9
2.4	Chemické složení bioplynu	9
2.4.1	Hlavní sloučeniny v bioplynu	9
2.4.2	Sloučeniny obsahující síru	9
2.4.3.	Křemík v bioplynu	9
2.5	Schéma bioplynové stanice	9
2.5.1	Čištění bioplynu pro použití v kogeneračních jednotkách	9
2.5.2	Výroba biometanu	9
2.5.3	Kvalita a měření kvality biometanu	10
2.5.4	Biometan nesplňující kvalitativní požadavky	10
2.5.5	Odorizace	10
2.5.6	Karburace	10
2.6	Technické podmínky	10
2.6.1	Kapacitní podmínky	10
2.6.2	Spalné teplo	11
2.7	Práce při připojování výroby biometanu	11
3	Vodík	12
3.1	K čemu vodík používáme?	12
3.2	Jak vodík vyrábíme?	13
3.2.1	Výroba z fosilních paliv	13
3.2.2	Výroba elektrolýzou	13
3.3	Jaká bude role vodíku v budoucnu?	14
3.3.1	Energetika	14
3.3.2	Doprava	16
3.3.3	Průmysl	16
3.4	Jaké problémy budeme muset vyřešit?	17
3.4.1	Nedostatečná výroba OZE	17
3.4.2	Skladování	17
4	Závěrečný kvíz	18

1 Úvod

1.1 Co považujeme za nové plyny

Nové plyny představují budoucnost energetiky z pohledu dlouhodobého rozložení rizik při zajištění dostupnosti, soběstačnosti a ekologické výhodnosti pro všechna odvětví lidských činností. Cílem je maximální využití obnovitelných a recyklovatelných zdrojů pro přeměnu a výrobu energie.

1.2 Obnovitelné zdroje

Jedná se o zdroje, které se v přírodě přirozeně obnovují. Jedná se o tyto uhlíkově neutrální zdroje:

- Sluneční záření
- Vítr
- Déšť
- Příliv
- Vlny a geotermální teplo
- Biomasa (dřevo)

1.3 Recyklovatelné zdroje

Jsou vhodné pro další energetické využití, jedná se zejména o biologický odpad ze zemědělství, komunální odpad, průmyslový odpad.

Tab. 1 Obnovitelné plyny podle typů

Typ	Zdroj	Způsob výroby	Způsob využití
Bioplyn	<ul style="list-style-type: none">• Biomasa• Bioodpad	Biologická fermentace (kvašení)	Kogenerační jednotka pro lokální výrobu el. energie a tepla
Biometan	<ul style="list-style-type: none">• Bioplyn	Čištění bioplynu → odstranění CO ₂	Přímé vtláčení do plynárenské soustavy; V dopravě BioCNG, BioLNG
Vodík	<ul style="list-style-type: none">• Voda• Fosilní zdroj (zemní plyn, odpad apod.)	Rozklad vody elektrolýzou na vodík a kyslík; Teplotní rozklad plynu nebo pevné látky (odpadu)	Vtláčení do plynárenské soustavy; Lokální přeměna na elektrickou energii; V dopravě
Syntetický metan	<ul style="list-style-type: none">• CO₂• Vodík	Metanizační jednotka	Vtláčení do plynárenské soustavy

OTÁZKA 1: Jaké plyny pocházejí z obnovitelných zdrojů energie?

- a) Oxid uhličitý, kyslík, dusík
- b) Bioplyn, biometan, vodík, syntetický metan
- c) Zemní plyn, acetylen, helium



Obr. 1 Obnovitelné zdroje energií



Obr. 2 Vitr



Obr. 3 Slunce



Obr. 4 Bioplyn



Obr. 5 Biopalivo

1.4 Neobnovitelné zdroje

Neobnovitelné zdroje energie jsou fosilní paliva, která se v přírodě neobnovují a jsou vyčerpateľná. Jedná se hlavně o uhlí, ropu, zemní plyn.

1.5 Proč uvažujeme o nových plynech?

1.5.1 Důvody

Vlivem průmyslové činnosti lidstva (od poloviny 19. století) dochází průběžně ke zvyšování emisí oxidu uhličitého v atmosféře. Výraznou příčinou tohoto zvýšení je intenzivní používání fosilních paliv, kácení lesů a rozvoj zemědělské výroby. Oxid uhličitý je odpovědný asi z 35 % za celkový přirozený skleníkový efekt atmosféry. Jeho koncentrace při spalování fosilních paliv zesiluje skleníkový jev nad přirozenou úroveň. Takto vzniklý oxid uhličitý není součástí přirozeného koloběhu uhlíku v přírodě.

Ostatních skleníkových plynů je v atmosféře sice podstatně méně, ale jejich koncentrace stoupají rychleji než obsah CO_2 , takže zejména metan je v budoucnu téměř stejně závažnou škodlivinou jako oxid uhličitý.



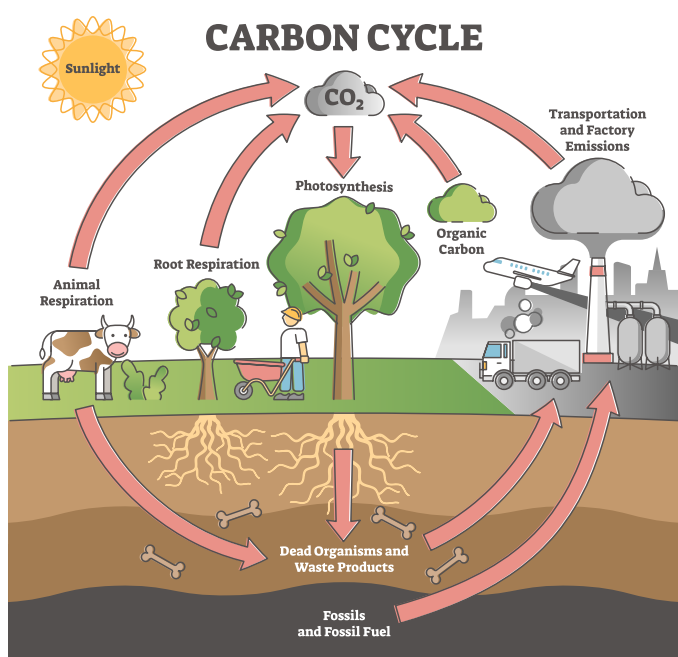
Obr. 6 Uhlí



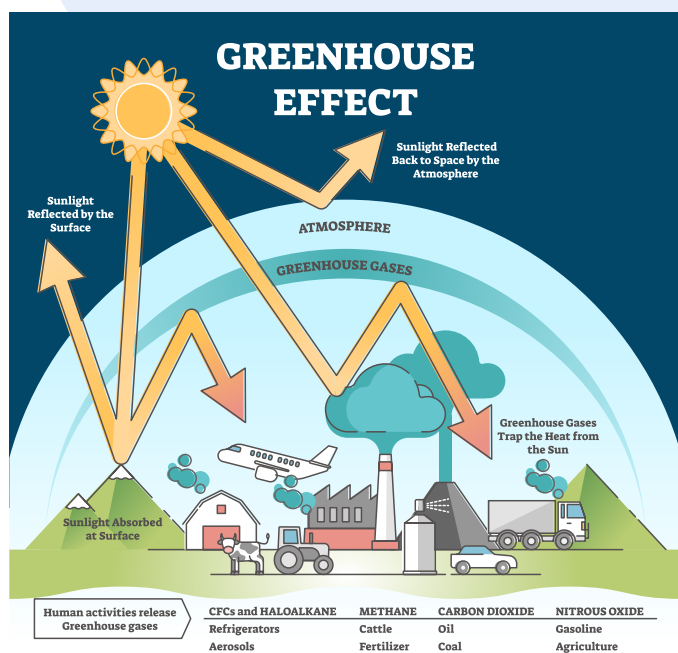
Obr. 7 Ropa



Obr. 8 Zemní plyn



Obr. 9 Koloběh uhlíku



Obr. 10 Skleníkový efekt

1.5.2 Cíl

Postupné ukončení těžby fosilních paliv a jejich náhrada novými plyny, ve všech odvětvích energetiky a života lidstva.

1.6 Jaké bude využití nových plynů?

1.6.1 Strategie

Využití stávající plynárenské infrastruktury (2025 – 2050)

- Plynovody (přeprava, distribuce, průmyslové a domovní plynovody)
- Zásobníky plynu (podzemní zásobníky, nadzemní zásobníky)
- Postupná úprava a výměna spotřebičů
- Segmentace zákazníků

- Skladování elektrické energie prostřednictvím nových plynů

1.6.2. Průmysl

Naplnění cílů (Taxonomie EU) pro transformaci energetiky a průmyslu (2023 – 2050)

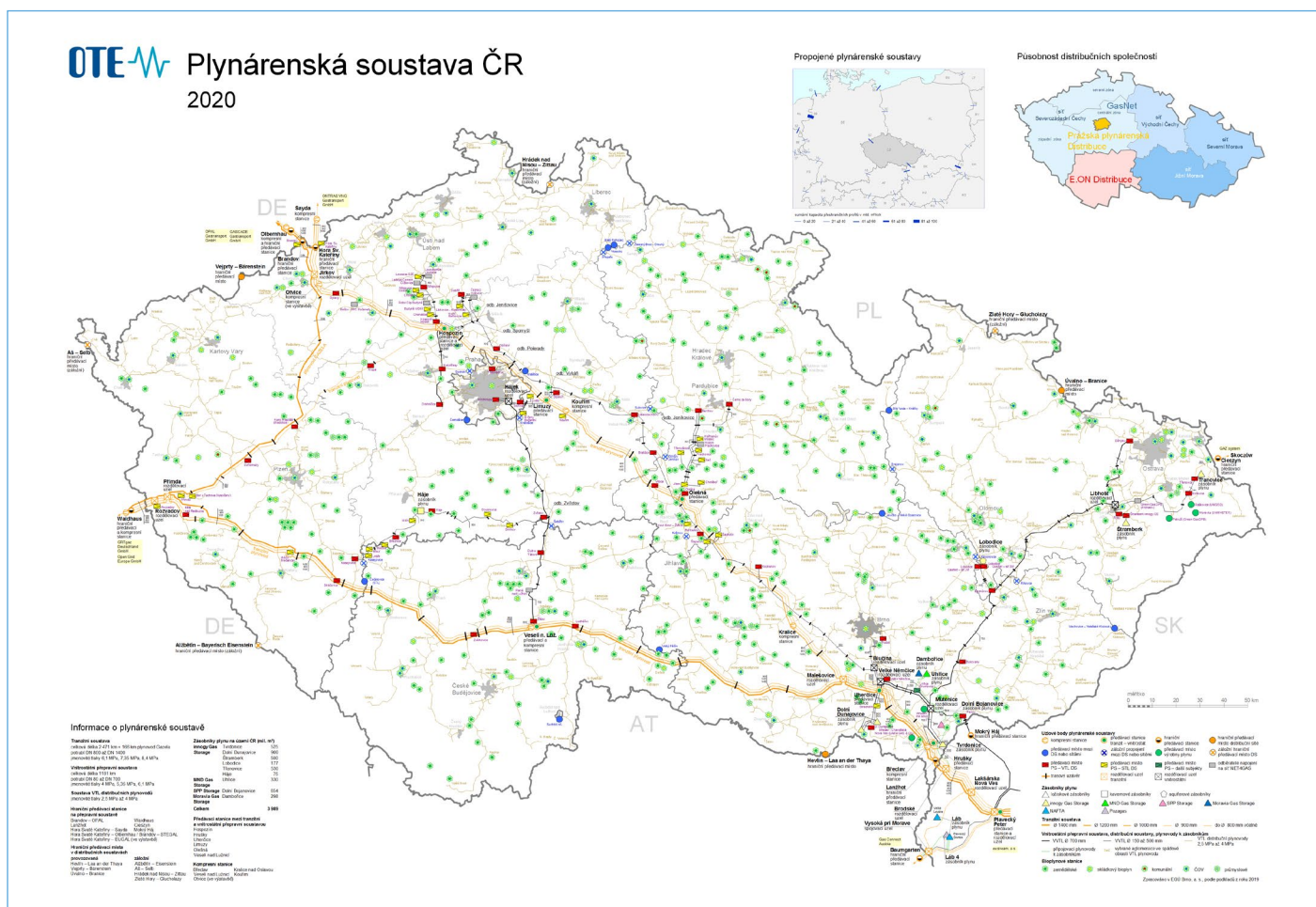
Taxonomie EU je legislativně ukotvena z června 2020. Obsahuje principy a cíle pro klasifikaci udržitelných hospodářských aktivit.

Cíle Taxonomie → finanční zapojení soukromého kapitálu do rozvoje bezemisní energetiky

- Vytvoření individuálních scénářů pro každé průmyslové odvětví
- Investice do výstavby obnovitelných zdrojů



Obr. 11 a 12 Příklad přechodu od fosilních zdrojů k obnovitelným energiím



Obr. 13 Plynárenská soustava ČR

- Adaptace na klimatické cíle (emise skleníkových plynů)
- Stabilizace energetického trhu z dlouhodobého časového horizontu (plánování konkrétních fází přechodu na nové plyny) nastavení pravidel trhu (výroba, obchodování s plynem, záruky stability a kvality, apod.)

1.6.3 Zákazníci

Posouzení stávající struktury zákazníků, nastavení pravidel pro přechod na nové plyny (2023–2050)

- Domácnosti
- Komerční objekty (malé provozovny, hotely, veřejné budovy, školy, nemocnice, apod.)

- Způsob využití topných plynů (ohřev, příprava pokrmů, energetická přeměna – palivový článek)
- Pravidla „chytré domácnosti“ (individuální výroba el. energie, kapacitní a bilanční model pro využití nových plynů jako záložních zdrojů)
- Zákaz použití fosilních zdrojů u nových staveb

Teplo bez plamene Vodíkový kotel je zařízení, kde v každé komoře je katalyzátor, který umožňuje spojení molekul vodíku a kyslíku v jednu molekulu vody, čímž se bezemisně uvolňuje teplo. To vše bez plamene a bez vzniku elektrické energie.

1.6.4 Doprava

Vytvoření modelu nízkoemisní a uhlíkově neutrální dopravy

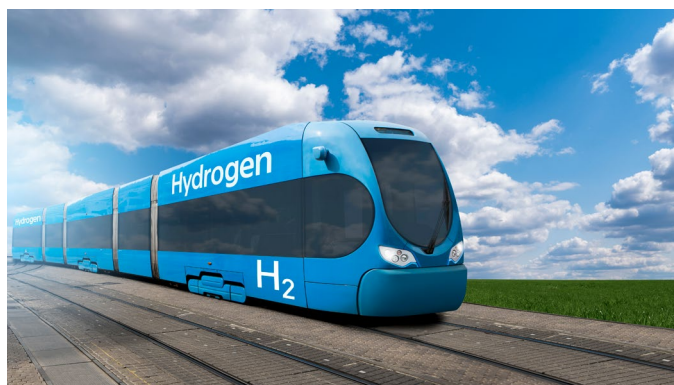
- Osobní doprava – využívání bio-CNG (stlačený biometan), vodík (spalování nebo palivový článek), syntetická paliva (bio-diesel apod.)
- Nákladní doprava – využívání bio-LNG (zkapalněný biometan), vodík (spalování nebo palivový článek), syntetická paliva (bio-diesel apod.)
- Vlák – využívání vodíku na tratích bez elektrifikace (palivový článek), náhrada dieslových lokomotiv
- Lodní doprava – vodík (palivový článek, zkapalněný), syntetická paliva (bio-diesel apod.)
- Letecká doprava – vodík (palivový článek)
- V budoucnu hrozí zákaz pro použití spalovacích motorů v dopravě (2035)



Obr. 14 Příklad využití vodíku pro energetické zásobování domácnosti pomocí vodíku



Obr. 15 – 19 Příklady využití vodíku v dopravě



2 Bioplyn

2.1 Vznik bioplynu

Bioplyn je plyn, který vzniká fermentací organických materiálů za pomoci bakterií (doma např. kvašení zelí). Konečnými produkty jsou organická hmota (zbytková biomasa, která se dále odváží na pole jako hnojivo) a plyn – bioplyn, který je tvořen převážně metanem a oxidem uhličitým.

2.2 Bioplyn vs. biometan

- **Bioplyn** = surový plyn produkovaný fermentací různými druhy bioplynových stanic a čistíren odpadních vod. Názvem bioplyn je obecně míněna plynná směs metanu a oxidu uhličitého. Bioplyn obsahuje 45-75 % metanu.
- **Biometan** = upravený bioplyn vhodný pro vtláčení do plynárenských sítí. Biometan vzniká vyčištěním bioplynu, zejména odstraněním oxidu uhličitého, vody a sirných sloučenin a obsahuje 95-99 % metanu. (1)

V současné době je bioplyn zejména spotřebováván na výrobu elektrické energie a tepla, přičemž použití tepla je poměrně problematické, a to zejména z důvodu umístění bioplynových stanic, které jsou budovány zejména na venkově, kde nejsou dostatečné

OTÁZKA 2: Lze využít bioplyn na výrobu elektrické energie a tepla?

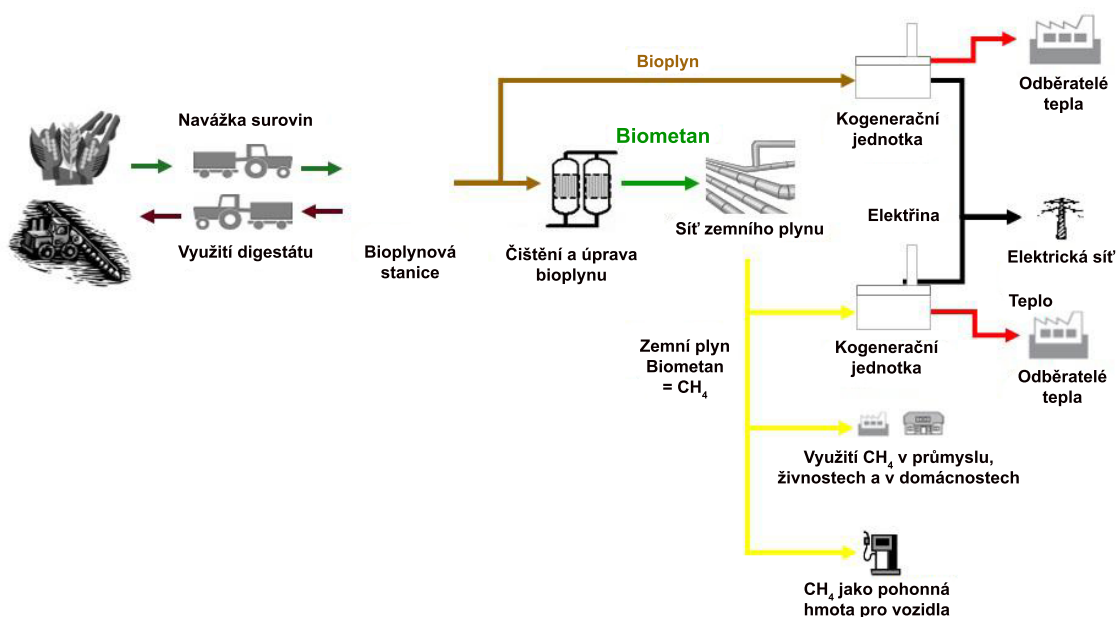
- a) Ano
- b) Ne, není to technicky možné
- c) Ano, ale pouze pro výrobu el. energie

OTÁZKA 3: Z čeho lze v bioplynové stanici vyrobit biometan?

- a) Hnůj, kukuřice, kaly z odpadních vod, odpady z výroby masa, mléka apod.
- b) Dřevo, korek, plast
- c) Odpady z chemické výroby

odběry pro teplo. Z pohledu energetické bilance je využití biometanu v plynárenských sítích výhodnější. Velmi diskutované jsou ztráty při kompresi, kdy z hlediska těchto ztrát je výhodnější vtláčení do potrubí s nižším tlakem.

Bioplyn a biometan mají široké spektrum použití téměř shodných s využitím zemního plynu. (2)



Obr. 20 Schéma výroby biometanu (3)

2.3 Výroba bioplynu

Bioplynová stanice se skládá z fermentoru (válcové nádrže), kde je rozkládána biomasa. Ve fermentoru je vyvíjen plyn, který je tvořen zejména metanem a oxidem uhličitým a dalšími látkami. Odpadní látkou je digestát, který je možné použít jako hnojivo.

Podle druhu biomasy rozlišujeme tři typy stanic: zemědělské, průmyslové čistírenské a ostatní. Zemědělská BPS zpracovává vstupy ze zemědělské prvovýroby (statková hnojiva a energetické plodiny). Čistírenská bioplynová stanice zužitkovává kaly z čistíček odpadních vod a ostatní zpracovávají např. odpady z výroby masa, zpracování ovoce, kaly z praní, odpady z mlékárenského průmyslu.

Druhy bioplynových stanic

- **Zemědělské bioplynové stanice**
Zemědělské bioplynové stanice jsou v ČR nejhojněji zastoupeny. Vstupy tvoří statková hnojiva (kejda, hnůj) a energetické plodiny (např. kukuřice).
- **Čistírenské BPS**
Čistírenské BPS zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod a jsou nedílnou součástí čistíren odpadních vod.
- **Ostatní BPS**
Bioplynové stanice zpracovávají ostatní vstupy, mohou zpracovávat bioodpady jako například: odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a z výroby a zpracování potravin (5)

2.4 Chemické složení bioplynu

2.4.1 Hlavní sloučeniny v bioplynu

Bioplyn se skládá ze dvou hlavních složek: metanu a oxidu uhličitého. Tyto složky jsou v bioplynu zastoupeny v různém poměru, který je závislý na faktorech a podmínkách tvorby biometanu, zejména substrátu.

2.4.2 Sloučeniny obsahující síru

Nejzásadnější sloučeninou síry obsaženou v bioplynu je sulfan. Sulfan je hořlavý plyn se zápachem po shnilých vejcích, ve vysokých koncentracích však nepáchne. Sulfan je vysoce toxický a silně dráždí sliznice.

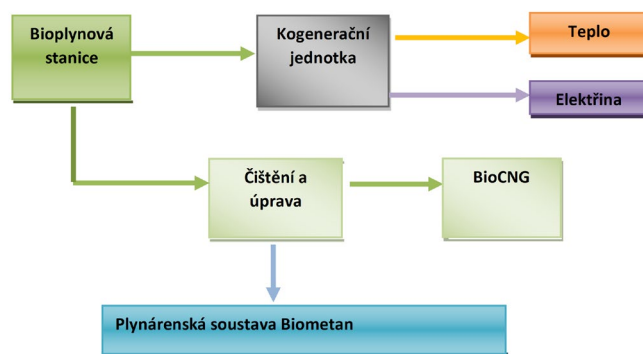
2.4.3. Křemík v bioplynu

Problematika se týká organokřemičitých sloučenin – siloxanů, které se vyskytují v komunálních odpadních vodách a tuhém komunálním odpadu. Původcem jsou výrobky, které se v současné době používají a jsou to zejména mazací, čisticí výrobky, avivážní prostředky a kosmetika.

Přítomnost organokřemičitých sloučenin v bioplynu má negativní vliv na životnost motorů spalujících bioplyn. Při spalování bioplynu ve spalovacích motorech kogeneračních jednotek vzniká oxidační siloxanů oxid křemičitý, který je abrazivní pro točivé části motoru. (1)

2.5 Schéma bioplynové stanice

Bioplynová stanice se skládá z vlastního reaktoru a ze separační části. Reaktory mohou být různých typů i uspořádání a stejně tak separace. Na následujícím obrázku je nakresleno schéma výroby tepla, elektřiny a biometanu.



Obr. 21 Schéma výstupů bioplynové stanice

2.5.1 Čištění bioplynu pro použití v kogeneračních jednotkách

Bioplyn produkovaný zplyňováním obsahuje kromě spalitelných složek také řadu nežádoucích složek, které je třeba odstranit.

V kogeneračních jednotkách je používán plyn, který vzniká například také spalováním odpadu.

2.5.2 Výroba biometanu

Biometan je vyráběn čištěním surového bioplynu produkovaného fermentací v různých druzích bioplynových stanic.

Nejprve dochází k výrobě bioplynu a následně jeho vyčištění na biometan a vysušení.

Dochází ke kompresi na tlak vyšší než v distribuční soustavě, aby mohlo dojít ke vtláčení biometanu. Dále jsou měřeny kvalitativní parametry biometanu, průtok, tlak a teplota plynu. Telemetricky jsou hodnoty kvality plynu přenášeny na dispečink distributora.

V případě, že biometan nesplňuje požadavky definované ve vyhlášce o kvalitě biometanu, pak není možná jeho dodávka do distribuční soustavy a musí být spálen v hořáku nebo v kogenerační jednotce.

Těžebním plynovodem je dále biometan dopraven do distribuční soustavy distributora.

2.5.2.1 Čištění bioplynu na biometan

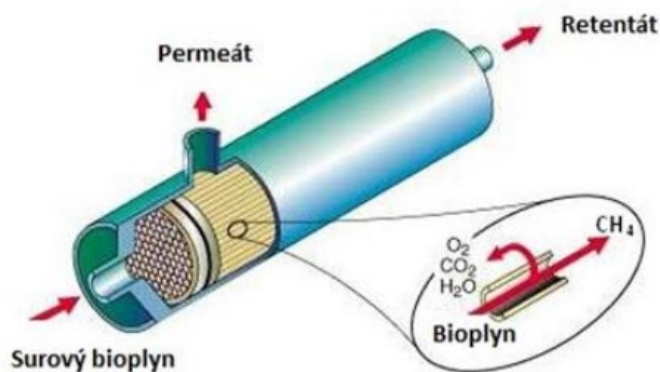
Biometan je výsledkem úpravy surového bioplynu některou z metod, která zaručí odstranění inertních složek (oxidu uhličitého) a dalších minoritních látek, jako je sulfan, amoniak a vodní pára. Principy odstraňování oxidu uhličitého a dalších nežádoucích látek rozdělujeme na čtyři druhy:

1. adsorpce - technologie pressure swing adsorption
2. absorpce - fyzikální vypírka, chemická vypírka
3. membránová separace
4. vymražování (6)

V ČR se nyní používá membránová separace:

Membránová separace

Princip membránové separace je založen na různé průchodnosti molekul jednotlivých složek plynu membránou, na různé velikosti molekul složek. Cílem je oddělit metan od ostatních látek, zejména oxidu uhličitého.



Obr. 22 Membránová separace (7)

2.5.2.2 Komprese

Vyrobený biometan je třeba komprimovat na tlak vyšší než je tlak v distribuční soustavě, to znamená, že je třeba, aby se proud biometanu prosadil vůči proudu plynu v distribuční soustavě. Výše kompresní práce záleží zejména na tom, zda je výrobná připojována do středotlakého systému nebo do vysokotlakého systému.

2.5.3 Kvalita a měření kvality biometanu

2.5.3.1 Měření kvality biometanu

Kvalitativní parametry biometanu je potřeba měřit z obchodních a provozních důvodů. Základním měřidlem pro měření kvality plynu je procesní plynový chromatograf.

2.5.4 Biometan nesplňující kvalitativní požadavky

V případě, že biometan nesplňuje kvalitativní požadavky, není možné dodávat tento plyn do distribuční soustavy. Plyn nesplňující požadavky je třeba spálit v hořáku, kogenerační jednotce nebo jej vést zpět obtokem k vyčištění.

2.5.5 Odorizace

Odorizace zajišťuje, aby odorizovaný plyn měl charakteristický zápach.

V případě, že je biometan vtláčen do plynárenské sítě s odorizovaným plynem, musí být před vstupem do sítě odorizován.

2.5.6 Karburace

Karburací je myšlen proces přidávání propanu k vyrobenému biometanu za účelem zvýšení hodnoty spalného tepla a jeho dorovnání na hodnotu spalného tepla plynu v distribuční soustavě. Propan je přidáván ze zásobníku, kde je odpařován z kapalné fáze. Používá se při připojení výrobní biometanu ke středotlaké části distribuční soustavy. (8)

2.6 Technické podmínky

2.6.1 Kapacitní podmínky

Plyn je dodáván většinou do vysokotlaké části distribuční soustavy, která je zpravidla zokruhovaná a celkové odběry v oblasti jsou velké.

Připojení ke středotlaké části je velmi problematické vzhledem k výši odběru za regulační stanicí.

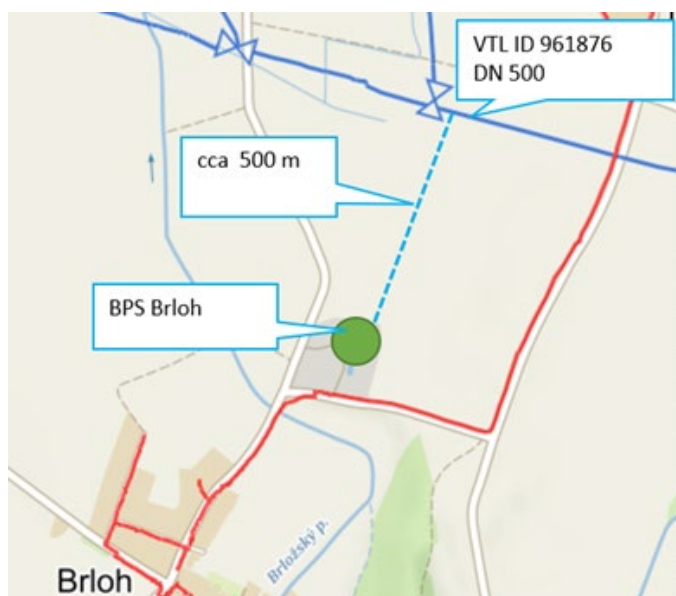
Veškerý dodaný plyn v místní síti (středotlak a vysokotlak za regulační stanicí) musí být spotřebován.

2.6.2 Spalné teplo

2.6.2.1 Spalné teplo a měření kvalitativních parametrů

Spalné teplo biometanu, který je do distribuční soustavy předáván výrobcem, je zjišťováno výrobcem a dále předáváno provozovateli distribuční soustavy. Spalné teplo je zjišťováno v měřicím místě stanoveným měřidlem kvalitativních parametrů plynu – procesním plynovým chromatografem. Proteklý objem plynu je měřen výrobcem v měřicím místě. Biometan je dále veden těžebním plynovodem k dělicímu místu mezi distributorem a výrobcem a dále tam dochází k mísení plynů.

2.6.2.2 Výrobna připojená k vysokotlakému plynovodu (VTL)



Obr. 23 Geografický informační systém GasNet, s.r.o.

2.6.2.3 Výrobna připojená ke středotlaké části distribuční soustavy



Obr. 24 Geografický informační systém GasNet, s.r.o.

2.7 Práce při připojování výroby biometanu

1. Projektová dokumentace – vyjadřování se k projektové dokumentaci
2. Stavba výroby biometanu – práce na samotné bioplynové stanici a na části čištění, měření, regulace, odorizace
3. Popisování pracovních postupů pro propoj plynovodu spojovacího výroby a distribuční soustavu
4. Propojovací práce výroby biometanu a plynovodu distribuční soustavy



Obr. 25 Bioplynová stanice Litomyšl připojena k distribuční soustavě, kruhové fermentory

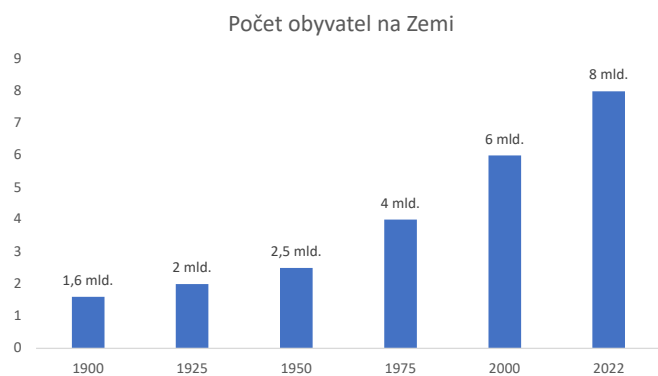


Obr. 26 Odorizační stanice Odetta GasNet (8)

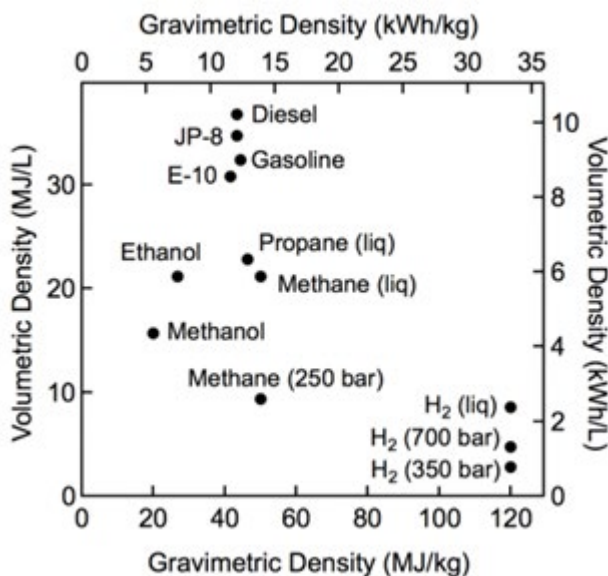
3 Vodík

3.1 K čemu vodík používáme?

Vodík dnes využíváme v mnoha chemických, průmyslových a energetických procesech. Nicméně jeden z nich, pro nás dodnes nenahraditelný, přišel s objevem tzv. Haber-Boschova procesu syntetické výroby amoniaku NH_3 (čpavku), který následně využíváme k výrobě dusíkatých hnojiv. To nám umožňuje vyprodukovat několikanásobně více zeleniny, ovoce a obilovin. Zejména díky tomu došlo k obrov-



Obr. 27 Počet obyvatel na Zemi



<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Obr. 28 Gravimetrická hustota

OTÁZKA 4: K čemu se v současnosti nejčastěji využívá vodík?

- V rafinaci ropy a v chemické výrobě například k výrobě čpavku a methanolu
- K výrobě polyesteru a jako palivo do letadel
- Ve zdravotnictví k léčení nemocí

OTÁZKA 5: Odkud vodík v současnosti nejčastěji získáváme?

- Z obnovitelných zdrojů energie
- Ze zemního plynu, z ropy a z uhlí
- Těžíme jej ze země podobně jako ropu

OTÁZKA 6: Jaké technologie jsou nejperspektivnější pro zelenou výrobu vodíku do budoucna?

- Parní reformování zemního plynu
- Parciální oxidace ropných zbytků a zplyňování uhlí
- Elektrolýza vody za použití obnovitelných zdrojů nebo elektřiny z jádra, parní reformování bioplynu, apod.

skému nárůstu počtu lidí na zemi ve 20. století z 2 miliardy lidí (v roce 1925) až na 8 miliardy lidí (v roce 2022). Podle řady studií by bez objevení tohoto procesu bylo aktuálně na světě možné uživit pouze 4 miliardy lidí. (9)

Kromě toho dnes vodík využíváme také při rafinaci ropy, tedy při výrobě ropných produktů, jakými jsou například nafta nebo benzin. Případně při výrobě methanolu, který používáme třeba jako přísadu do nemrznoucích směsí nebo jako rozpouštědlo.

Jedním ze specifických využití vodíku je jeho použití jako palivo pro vesmírné rakety, a to ve formě zkapalněného vodíku. Takto vodík doposud využívá

NASA i v rámci svých nejnovějších raket. Molekula vodíku je vůbec nejmenší a nejlehčí ze všech. Díky tomu poskytuje vodík dobré vlastnosti z hlediska množství uložené energie na 1 kg. To platí obzvláště pro zkapalněný vodík. Standardně ale vodík vidáme v jeho plynné formě. Naproti tomu je ale nutné podotknout, že vodík má za standardních podmínek specifické vlastnosti při uložení energie na objem. I z toho důvodu je jej nutné hodně stlačovat, a to až na 700 bar. V ten moment je například možné uložit 1 kg vodíku do nádrže o objemu asi 25 litrů.

To ale není zdaleka vše, k čemu můžeme vodík využít. V dalších kapitolách se dozvíme jakou roli může hrát v energetice, dopravě a také v průmyslu.

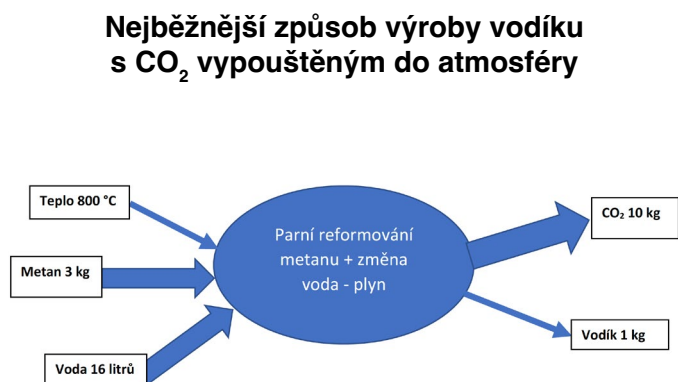
3.2 Jak vodík vyrábíme?

3.2.1 Výroba z fosilních paliv

V dnešní době vyrábíme drtivou většinu světového vodíku z fosilních paliv, a to nejčastěji ze zemního plynu (62 %), případně z uhlí (19 %) nebo ropných zbytků a dalších vedlejších produktů vzniklých při průmyslové výrobě (18 %). (10)

V podstatě vždy jde o proces zahřátí tohoto uhlíkatého paliva v přítomnosti s nějakým katalyzátorem, přičemž během reakce dojde k jeho chemickému rozkladu a následné reakci se vzduchem. Nejběžnější způsob výroby vodíku ze zemního plynu vypadá následovně:

Jak můžeme vidět na obrázku, při tomto procesu vzniká poměrně velké množství oxidu uhličitého. Na každý 1 kg vodíku je vyprodukováno až 10 kg CO_2 . Takto vyrobený vodík má velký dopad na životní pro-



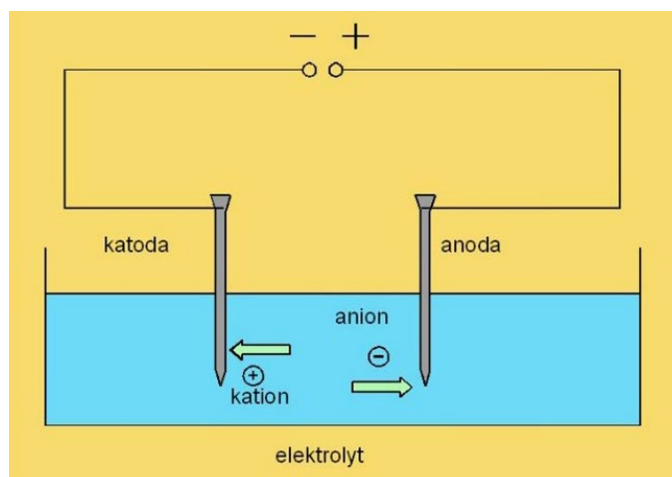
Obr. 29 Parní rozklad zemního plynu

středí, a proto ho nazýváme šedý vodík. Proč ale pořád slyšíme o tom, že je vodík zeleným palivem budoucnosti? Jedním ze způsobů, jak snížit množství emisí skleníkových plynů, je vzniklý oxid uhličitý zachytávat. Tomuto procesu říkáme CCS (Carbon Capture System – systém na zachytávání uhlíku). Nicméně ještě lepším řešením je vyrábět vodík bez přímé produkce skleníkových plynů. Takový proces dnes již velmi dobře známe a nazýváme ho elektrolýzou vody.

3.2.2 Výroba elektrolýzou

Jak jsme zmínili na začátku, výroba vodíku z fosilních paliv je dodnes zdaleka nejvyužívanější metodou, a to především z důvodu nízkých nákladů. Nicméně v době rostoucích cen ropy, uhlí, a především zemního plynu se situace mění. Přidejme k tomu v Evropě cenu emisních povolenek, které musí většina průmyslu zaplatit za každou 1 tunu vyprodukovaného oxidu uhličitého, a máme zaděláno na to, aby výsledná cena vodíku z fosilních zdrojů trvale rostla. Dalším argumentem je evropská ambice dlouhodobého snižování emisí a odklonu od fosilních paliv.

Elektrolýza je jednoduchý chemický proces, který si můžeme vyzkoušet i doma. Stačí nám k tomu sklenice vody (ideálně s trochou citronové šťávy), dva hřebíky, nějaký vodič a 9V baterie. Poté už jen ponoříme oba hřebíky do vody a pomocí vodičů každý z nich připojíme na jeden pól baterie. V tu chvíli začne roztokem proudit slabý proud, kterým dojde k rozkladu vody (H_2O) na ionty H_2^+ a O_2^- . Vodík nám začne probublávat u katody a bublinky kyslíku uvidíme u anody. Takto jednoduchý je proces elektrolýzy. Stačí pouze voda a elektřina,



Obr. 30 Vlastní výroba vodíku

a můžeme tak získat vodík bez jakýchkoli přímých emisí. Na výrobu 1 kg vodíku v realitě potřebujeme okolo 55–60 kWh elektrické energie a přes 10 litrů vody.

Elektrolýza jako nástroj pro výrobu vodíku je tedy velmi jednoduchá a praktická. Kde ale vzít elektřinu? V dnešní době máme spoustu možností – jaderné elektrárny, uhelné elektrárny, solární a větrné elektrárny a mnoho dalšího. Je nutné si ale uvědomit, že 1 kWh vyrobená spalováním uhlí má mnohem větší dopad na životní prostředí, než 1 kWh vyrobená solární elektrárnou. Abychom jasně rozdělili „čistou“ elektřinu od „špinavé“ elektřiny dělíme ji na emisní, nízkoemisní a bezemisní. Pokud k výrobě vodíku využijeme elektřinu z obnovitelných zdrojů energie nebo jaderné elektrárny, výsledné emise skleníkových plynů při výrobě vodíku budou takřka nulové.

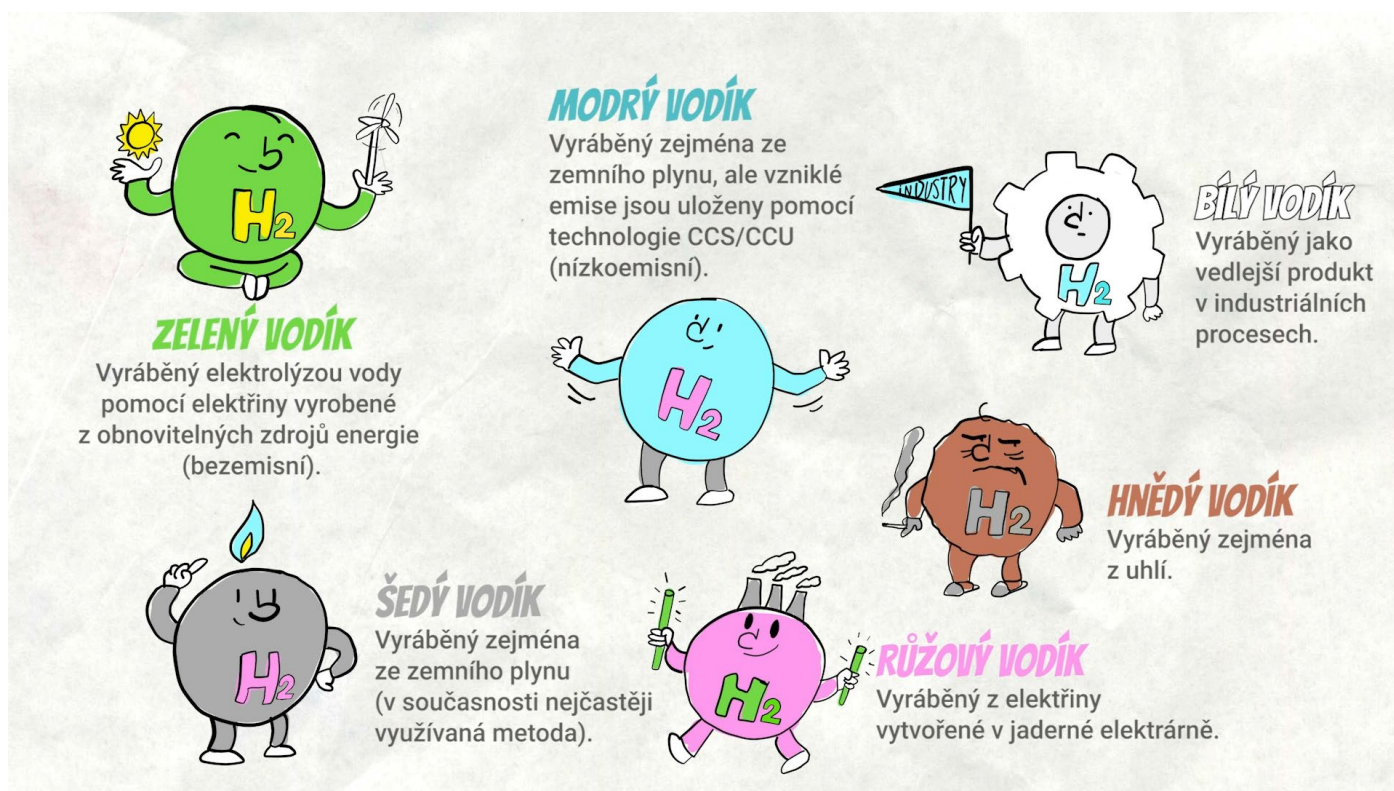
Vodík je ale plyn, který má sám o sobě fixní vlastnosti. V konečném důsledku se vodík z fosilních zdrojů využívaný například v dopravě výrazně neliší od toho vyráběného elektrolýzou vody. Hlavním rozdílem je množství emisí vyprodukovaných na výrobu 1 kg vodíku. Z toho důvodu laická veřejnost dělí vodík podle barev, které znázorňují emisní náročnost dané výroby.

Možná nám už v tuto chvíli došlo, že vodík není další volně dostupný zdroj energie. Na rozdíl od zemního plynu ho nemůžeme vytěžit ze země ani zachytit ze vzduchu, ale musíme ho vyrobit jedním ze způsobů, které jsme si ukázali. Proto o vodíku mluvíme jako o nosiči energie. Pokud ale není zdrojem elektřiny, jak nám může pomoci dekarbonizovat energetiku, dopravu a průmysl?

3.3 Jaká bude role vodíku v budoucnu?

3.3.1 Energetika

Doposud jsme si ukázali, jak vodík využíváme dnes. Nicméně jeho použití do budoucna můžeme rozšířit hned do několika oblastí. Díky možnosti bezemisní výroby dnes mluvíme o postupném nahrazování zemního plynu zeleným vodíkem. Vodík je ale podobně jako zemní plyn nutné dostat z bodu A do bodu B. Již v tomto desetiletí by proto mělo dojít k přimíchávání vodíku do plynovodního potrubí distribuční a přepravní sítě v ČR. To bude představovat hned několik technických problémů, kterých si musíme být vědomi. Vodík je méně viskózní, takže plyn v potrubí rychleji „poteče“. To může způsobit nechtěné vibrace při jejich provozu. Vodík je také



<https://youtu.be/sQqsGU7Vvn8>

Obr. 31 Typy vodíku podle dopadu na životní prostředí

Tab. 2 Rozdíly ve fyzikálně chemických vlastnostech zemního plynu a vodíku

Chemický vzorec	Metan	Jednotky	Vodík
Molekulová hmotnost	16	g/mol	2
Bod tání (při tlaku 101,3 kPa)	-182,5	°C	-259,2
Bod varu (při tlaku 101,3 kPa)	-161,6	°C	-252,7
Kritická teplota	-82,7	°C	-239,9
Kritický tlak	4,596	MPa	1,29
Hustota plynu (při 0 °C, 101,3 kPa)	0,68	kg/m ³	0,09
Relativní hustota plynu (vzduch=1)	0,55	-	0,07
Teplota vznícení cca.	600	°C	520
Dolní mez výbušnosti se vzduchem	5	obj. %	4
Horní mez výbušnosti se vzduchem	15	obj. %	75
Výhřevnost	35,9	MJ/m ³	10,8
Spalné teplo	38,8	MJ/m ³	12,8
Barva	Bezbarvý	-	bezbarvý
Zápach	Bez zápachu	-	bez zápachu

Zdroj: Tomáš Galík



https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_embrittlement#/media/File:Steel-with-Hydrogen-Induced-Cracks-01.jpg

Obr. 32 Trhliny vznikající působením vodíku na ocelový materiál vlivem vodíkové křehkosti

objemově méně energeticky hustý. Při přepravě daného množství energie budeme tedy muset fyzicky přepravit větší množství plynu. Rozsáhle zkoumaným problémem je také vodíkové křehnutí, což je fyzikální jev působící na ocelové materiály v kontaktu s vodíkem převážně při vysokých tlacích >10 bar. Tento jev, při kterém molekuly vodíku pronikají do krystalické mřížky materiálu, může vyústit v křehnutí a následně až v tvorbě trhliny v potrubí.

Tato charakteristika molekulárního vodíku – tedy jeho malá velikost – je zásadním bezpečnostním rizikem také z pohledu úniků plynu. Obecně řečeno nároky na těsnost (vůli) u technologií operujících s vodíkem jsou mnohem větší než u zemního plynu. V neposlední řadě je problémem i strana koncového zákazníka. Přece jen charakteristika hoření zemního plynu, vodíku, nebo jejich směsi se může velmi lišit. Ať už se jedná o domácí sporák, kotel, vozidlo na zemní plyn nebo průmyslovou kogenerační jednotku, musíme se ujistit, že jejich provoz je při použití dané směsi bezpečný.

Přesto se o vodíku do budoucna uvažuje jako o bezemisním energetickém nosiči, který bude schopen nahradit zemní plyn zejména v dobách, kdy slunce nesvítí a vítr nefouká. Vodík umožňuje sezónní skladování energie ve světě, který bude stále častěji využívat obnovitelné zdroje energie, a které jsou charakteristické méně stálou výrobou než konvenční zdroje.

Pro srovnání, pojďme se podívat na jednotlivé rozdíly v fyzikálně chemických vlastnostech zemního plynu a vodíku a pokusme se zamyslet nad dalšími technickými limity a nebo možným využitím. Viz tabulka č. 2

3.3.2 Doprava

V dopravě je vodík hlavním konkurentem bateriových elektromobilů (BEV). Vodíkové osobní automobily (FCEV) mají delší dojezd (600 km a víc), krátkou dobu plnění (cca 5 minut), fungují lépe za chladných podmínek, kdy dochází k výrazně menším ztrátám dojezdu. Vodíkové osobní automobily mají dostatečné dojezdy i při dálničních rychlostech, například Hyundai Nexu ujede na jedno naplnění při rychlosti 130 km/h až 450 km. Oproti bateriím je upřednostnění vodíku předpokládáno zejména u těžké nákladní dopravy, autobusové dopravy a dalších typů přepravy na delší vzdálenosti. Pro ukládání paliva se využívají převážně systémy stlačeného vodíku, standardně na 700 bar pro osobní



Obr. 33 První veřejná samoobslužná vodíková stanice ORLEN Benzina



Obr. 34 Vodíkový autobus

automobily a na 350 bar pro větší vozidla. Vodíková mobilita dnes funguje na principu palivových článků, které vyrábí elektřinu přímou elektrochemickou reakcí vodíku a kyslíku na vodu. Jako odpadní látka tak vzniká pouze demineralizovaná voda a vzduch, který je pročištěn filtry. S trochou nadsázky tak lze říct, že vodíkové automobily čistí planetu. Vodík lze ale také spalovat ve spalovacím motoru. Masovému rozvoji FCEV brání pouze vysoká pořizovací cena a nedostatečná infrastruktura plnicích stanic. V Ostravě došlo v roce 2022 k otevření první menší veřejné plnicí stanice na vodík pro osobní automobily v České republice.

3.3.3 Průmysl

Kromě syntézy amoniaku, ke které dnes spotřebujeme téměř 34 milionů tun vodíku ročně, najde v budoucnu vodík uplatnění také například ve sklářství, ocelářství a v betonárnách. Jedná se obecně o procesy, které vyžadují vysoké provozní teploty

a lze je těžko elektrifikovat. Další možné využití je při výrobě polymerů, výbušnin, ale i v potravinářství pro ztužování tuků při výrobě margarínů.

Zejména v oblasti ocelářství bude s velkou pravděpodobností vodík do budoucna využíván jako redukční činidlo pro železnou rudu. Vodík poskytuje jednu z cest, jak výrazně zmenšit emise skleníkových plynů z výroby oceli, které jsou dnes zodpovědné za asi 7 % veškerých emisí skleníkových plynů na světě.

3.4 Jaké problémy budeme muset vyřešit?

3.4.1 Nedostatečná výroba OZE

Česká republika má kvůli svému specifickému postavení v srdci Evropy relativně malý potenciál pro výrobu tzv. zeleného vodíku. Koeficient využití větrných elektráren (cca lehce nad 20 %) je u nás nižší než v sousedních přímořských státech, kde na pobřežích moří vanou silné a stabilní větry (cca nad 30 %). V současnosti v České republice neexistuje žádný velký elektrolyzátor, který by byl určen k výrobě zeleného vodíku na komerční bázi. 1 kWp fotovoltaické elektrárny v ČR naproti tomu vyrobí ročně asi 1000 kWh elektrické energie. Je nutné si navíc uvědomit, že tato výroba není celoroční, ale značně sezónní. Právě z důvodu nedostatečných podmínek pro obnovitelné zdroje bude Česká republika závislá na importu vodíku ze zahraničí.

3.4.2 Skladování

V současnosti se jako nejslibnější a také jako komerčně nejvyspělejší technologie pro skladování vodíku uvádí stlačování vodíku v plynném skupenství, a to standardně na 350 nebo 700 bar. Pro stlačení na 350 bar je potřeba mezi 5 – 10 % energie paliva. Pro stlačení na 700 bar už je to okolo 15 %. Samotné skladování je také velmi náročné a vyžaduje vysoké investiční nároky. K problému nepřispívá ani fakt, že podle nejnovějších zjištění jsou dnešní zásobníky zemního plynu (v ČR pokrývající až třetinu roční spotřeby) nevhodné pro ukládání vodíku.

Z tohoto pohledu se nabízí možnost využít přírodní solné kaverny (solné jeskyně), která jsou svou strukturou schopny skladovat vodík v plynném stavu. Těch ale v České republice není dostatek.

Další z možností je vybudovat podzemní zásobník vodíku pomocí technologie Lined Rock Cavern (LRC). Tato technologie umožňuje pomocí ocelového a betonového obložení zajistit dostatečnou těsnost širokého spektra geologického podloží. Výhodou je instalace do menších hloubek.

Druhou možností je převádět vodík do kapalného skupenství. Nevýhodou tohoto postupu nicméně je, že je potřeba vodík v této formě udržovat při teplotě $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ v kryogenních skladovacích zásobnících. Při jeho manipulaci a využívání následně dochází k únikům, které se dějí následkem vypařování vodíku, který se takto chová při vyšší teplotě než $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pouze na samotné zkapalnění je potřeba asi 30 % celkově obsažené energie v palivu. Tyto systémy můžeme v praxi na první pohled rozeznat jejich charakteristickým kulatým tvarem, podobně jako u kapalného zemního plynu.



Obr. 34 Přeprava vodíku

V ojedinělých případech můžeme využít také vodík vázaný ve sloučeninách, například ve formě zmíněného zkapalněného amoniaku, který je stabilní a nevyžaduje skladování pod tlakem ani při extrémních teplotách. Případně je uvažováno i o přepravě vodíku vázaného do formy metanolu.

Vodík představuje zajímavou příležitost dekarbonizovat celou řadu procesů napříč energetikou, dopravou i průmyslem. Nicméně bychom neměli zapomínat na úskalí, která se s jeho využíváním spojují. Dostatečná výroba OZE, náročná distribuce a bezpečnostní rizika. To vše jsou velmi komplexní, ale nesmírně zajímavé problémy, které musíme v příštích několika letech vyřešit, aby bylo možné dekarbonizovat naši společnost.

4 Závěrečný kvíz

OTÁZKA 1

Jaké plyny pocházejí z obnovitelných zdrojů energie?

- a) Oxid uhličitý, kyslík, dusík
- b) Bioplyn, biometan, vodík, syntetický metan
- c) Zemní plyn, acetylen, helium

OTÁZKA 2

Lze využít bioplyn na výrobu elektrické energie a tepla?

- a) Ano
- b) Ne, není to technicky možné
- c) Ano, ale pouze pro výrobu el. energie

OTÁZKA 3

Z čeho lze v bioplynové stanici vyrobit biometan?

- a) Hnůj, kukuřice, kaly z odpadních vod, odpady z výroby masa, mléka apod.
- b) Dřevo, korek, plast
- c) Odpady z chemické výroby

OTÁZKA 4

K čemu se v současnosti nejčastěji využívá vodík?

- a) V rafinaci ropy a v chemické výrobě například k výrobě čpavku a methanolu
- b) K výrobě polyesteru a jako palivo do letadel
- c) Ve zdravotnictví k léčení nemocí

OTÁZKA 5

Odkud vodík v současnosti nejčastěji získáváme?

- a) Z obnovitelných zdrojů energie
- b) Ze zemního plynu, z ropy a z uhlí
- c) Těžíme jej ze země podobně jako ropu

OTÁZKA 6

Jaké technologie jsou nejperspektivnější pro zelenou výrobu vodíku do budoucna?

- a) Parní reformování zemního plynu
- b) Parciální oxidace ropných zbytků a zplyňování uhlí
- c) Elektrolýza vody za použití obnovitelných zdrojů nebo elektřiny z jádra, parní reformování bioplynu, apod.





Literatura:

1. Straka, František. Bioplyn. Praha: GAS, s.r.o., 2006. ISBN-80-7328-090-6.
2. Čermáková Jiřina, Tenkrát Daniel. Efektivní zhodnocení biometanu. 2012. ISSN: 1801-2655.
3. Žákovec, Jan. Biometan – Hospodárné využití obnovitelných zdrojů energie, edice GAS č. 58, GAS s.r.o., ISBN 978-80-7328-276-9
4. Brandejsová Eliška, Příbyla Zdeněk. Bioplynové stanice. Praha: GAS, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-7328-192-2.
5. Ryckebosh E, Drouillon M, Vervearen H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. místo neznámé : Biomass and bioenergy 35, 2011.
6. Vrbová Veronika, Ciahotný Karel, Hádková Kristýna. Testování membránových modulů pro separaci CO₂ z bioplynu. Praha : VŠCHT, Paliva 6, 2014.
7. Pasková, Ilona. Vtláčení biometanu do plynárenské distribuční soustavy, dizertační práce. Praha : VŠCHT Praha, 2014.
8. GasNet, s.r.o. Odorizační stanice Odetta.
9. Smil, Václav, Jak svět opravdu funguje, <https://www.knihydobrovsky.cz/kniha/jak-svet-dopravdy-funguje-515173838>
10. Mezinárodní energetická agentura, Global Hydrogen Review 2022 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>



Autoři: Libor Čagala, Ilona Pasková, Tomáš Galík, Jan Sochor

Český plynárenský svaz,
U Plynárny 223/42, 140 00 Praha 4
www.cgoa.cz