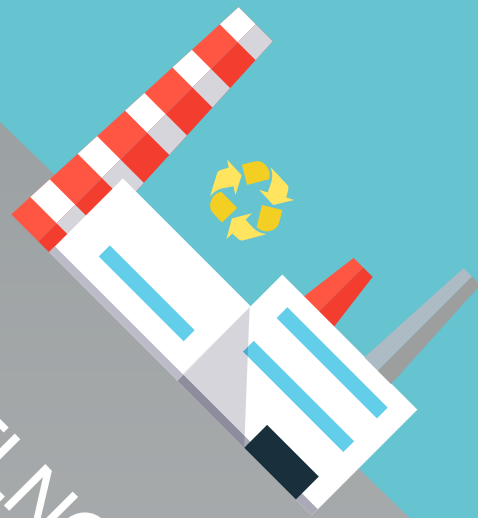


Okresní hospodářská
komora
v Chomutově



vydává

VODÍK

PRO UDRŽITELNOU BUDOUCNOST



Dílo bylo zpracováno za finanční podpory
Státního programu na podporu úspor energie
– Program EFEKT II pro rok 2021 –



VODÍK PRO UDRŽITELNOU BUDOUCNOST

1. část

 VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Obsah

1.	Úvod	2
2.	EU vize dekarbonizace společnosti	2
3.	Hodnocení uhlíkové stopy vodíku	3
4.	Vodíková ekonomika	4
5.	Bezpečnost vodíku a vodíkových aplikací	5
6.	Situace v České republice	6
7.	Výroba vodíku	6
7.1	Elektrolýza vody	6
7.2	Chlor-alkalická elektrolýza	7
7.3	Parní reforming zemního plynu	7
7.4	Parciální oxidace uhlovodíků	8
7.5	Zplynování uhlí	8
7.6	Vysokoteplotní rozklad	8
8.	Metody CCS a CCU	9

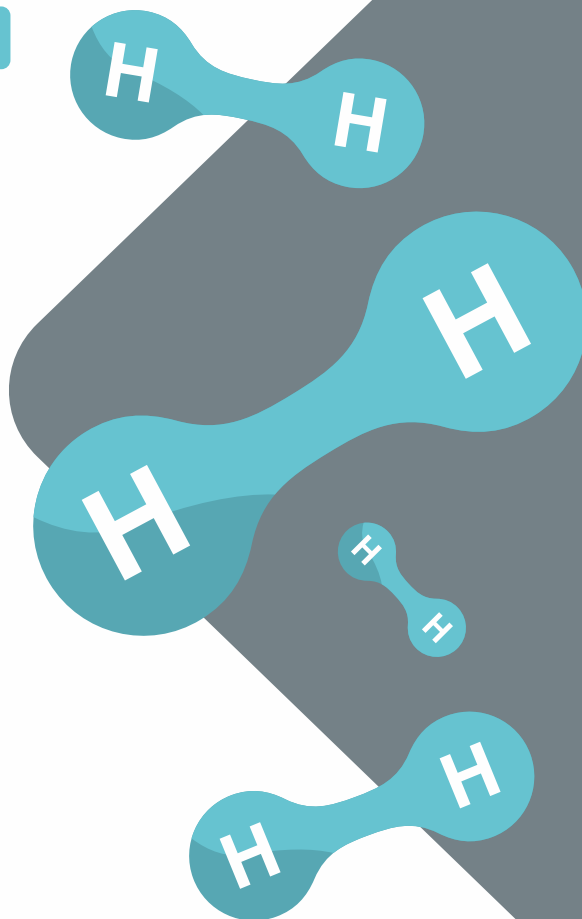
1. ÚVOD

Vodík představuje nejlehčí chemický prvek. Zároveň je ve vesmíru i nejvíce zastoupen. Za běžných podmínek je vodík plyn, který tvoří dvouatomární molekuly H_2 . Na Zemi se jako samotný prvek přirozeně téměř nevyskytuje, ale je součástí většiny látek klíčových pro existenci života.

Pro lidskou společnost je vodík významný prvek, bez něž by nebyla možná řada klíčových chemických postupů. Všeobecně je známé jeho historické použití, jako náplň pro vzducholoď, ale využití vodíku je dnes výrazně širší. Celosvětová produkce vodíku činí přes 70 Mt ročně. V České republice pak dosahuje roční objem výroby přibližně 120 kt. V současné době je vodík využíván především v chemickém průmyslu jako surovina při výrobě amoniaku, zpracování ropy a v potravinářství. V posledních letech však význam vodíku výrazně vzrostl v souvislosti s tím, že začal být vnímán jako médium vhodné pro energetické využití. Díky velké variabilitě možných způsobů výroby i možností využití lze vodík vnímat jako universální energetický vektor. Na rozdíl od uhlíkatých paliv spalováním vodíku vzniká voda a nedochází tak k emisím CO_2 , což je významné především pro snižování emisní stopy. Stále je však nutné držet na zřeteli původ vodíku a případnou emisní stopu spojenou s jeho výrobou.

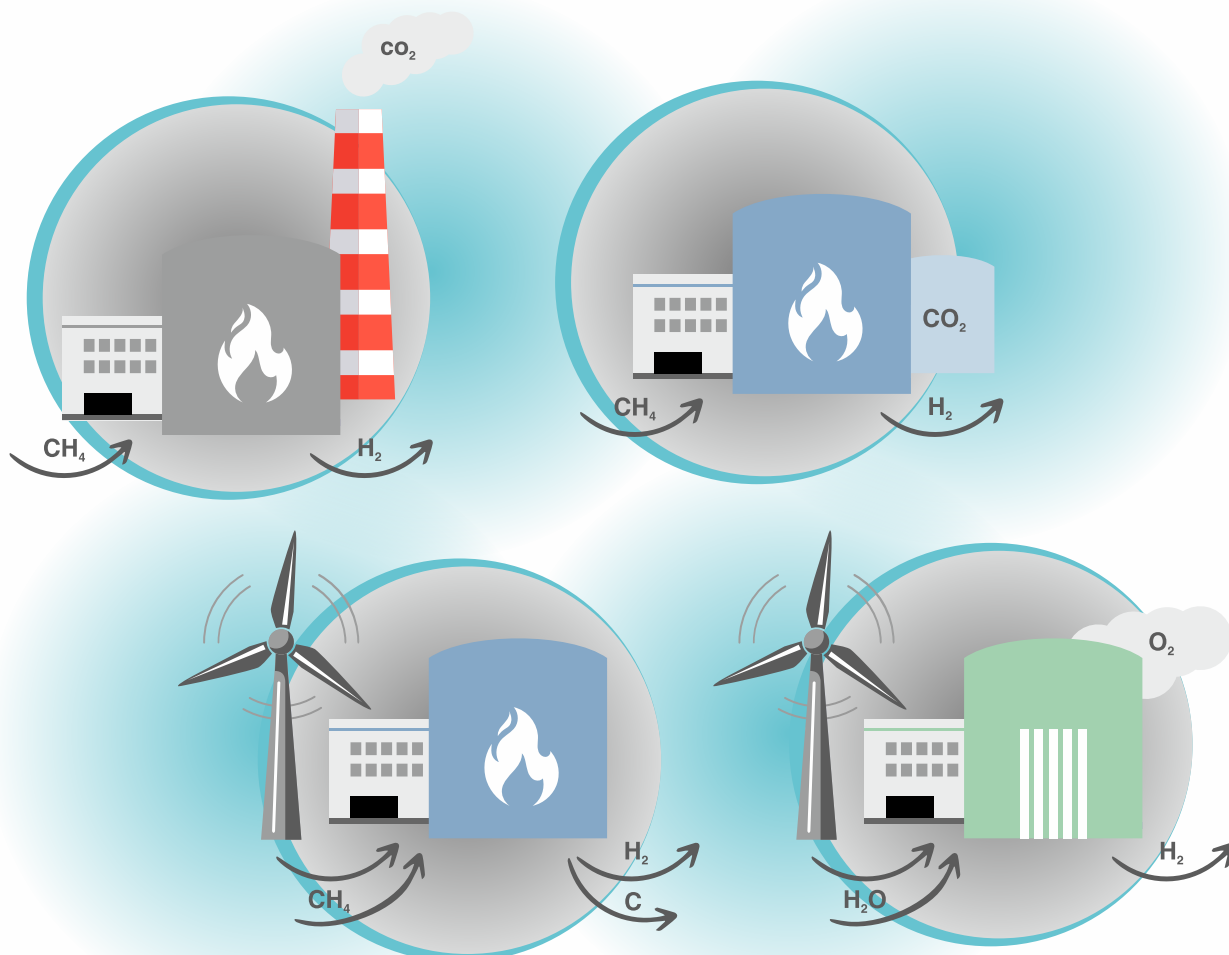
2. EU VIZE DEKARBONIZACE SPOLEČNOSTI

V posledních letech jsme svědky nárůstu frekvence výskytu extrémních výkyvů počasí. Je zjevné, že probíhající klimatická změna se s narůstající intenzitou dotýká způsobu našeho života bez ohledu na příčiny této změny. Rovněž lze považovat za prokázané, že nárůst obsahu CO_2 v atmosféře souvisí s klimatickou změnou. Z uvedených důvodů se nejen zástupci rozvinutých států rozhodli omezit produkci skleníkových plynů (především pak CO_2) (Pařížská dohoda 12.12.2015). Na základě této dohody Evropská komise přijala řadu opatření, které mají zajistit snížení emisí CO_2 . 11. prosince 2019 byl přijat soubor opatření Zelená dohoda pro Evropu, jež má za cíl transformovat ekonomiku na dlouhodobě ekologicky udržitelnou. Hlavními nástroji jsou úspory energií, zvyšování energetické účinnosti a zavádění nových technologií, jako jsou obnovitelné zdroje energie. Vodík má v tomto plánu významné postavení, což deklaruje Evropská komise v dokumentu Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu (Evropská komise 8.7.2020). Na tuto strategii pak navazuje Vodíková strategie České republiky (schválená vládou ČR 26.7.2021), která zohledňuje lokální specifika ČR. Je však třeba si uvědomit, že vodík nemůže poskytnout řešení všech problémů společnosti, nicméně může výrazně přispět k dekarbonizaci řady oblastí. Proto je v rámci EU plánováno zvýšení podílu vodíku v energetickém mixu z nynější hodnoty nižší než 2% na 13-14% v roce 2050. Základem je především využití vodíku s minimální emisní stopou, na což je kladen důraz v obou strategiích. Druhým významným cílem České vodíkové strategie je udržení stávající úrovně průmyslové výroby a to přechodem na nové technologie využívající nízkoemisní vodík. Podmínka nízké emisní stopy při výrobě vodíku je nezbytná pro splnění závazků ohledně ochrany klimatu. Jednotlivé státy EU však ke splnění těchto cílů přistupují různým způsobem. Evropská komise se kloní k variantě podporovat výstavbu vodíkové infrastruktury (vodíkové čerpací stanice, distribuce, výroba) pouze pro nízkoemisní vodík a stávající zdroje nevyužívat, pokud nesplní emisní kritéria. V ČR spíše převládá názor, že je vhodné stávající zdroje využít pro zavedení vodíkových technologií a následně přistoupit k dekarbonizaci zdrojů vodíku. Samostatnou kapitolou je pak zahrnutí či nezahrnutí jaderné energetiky do nízkoemisních zdrojů.



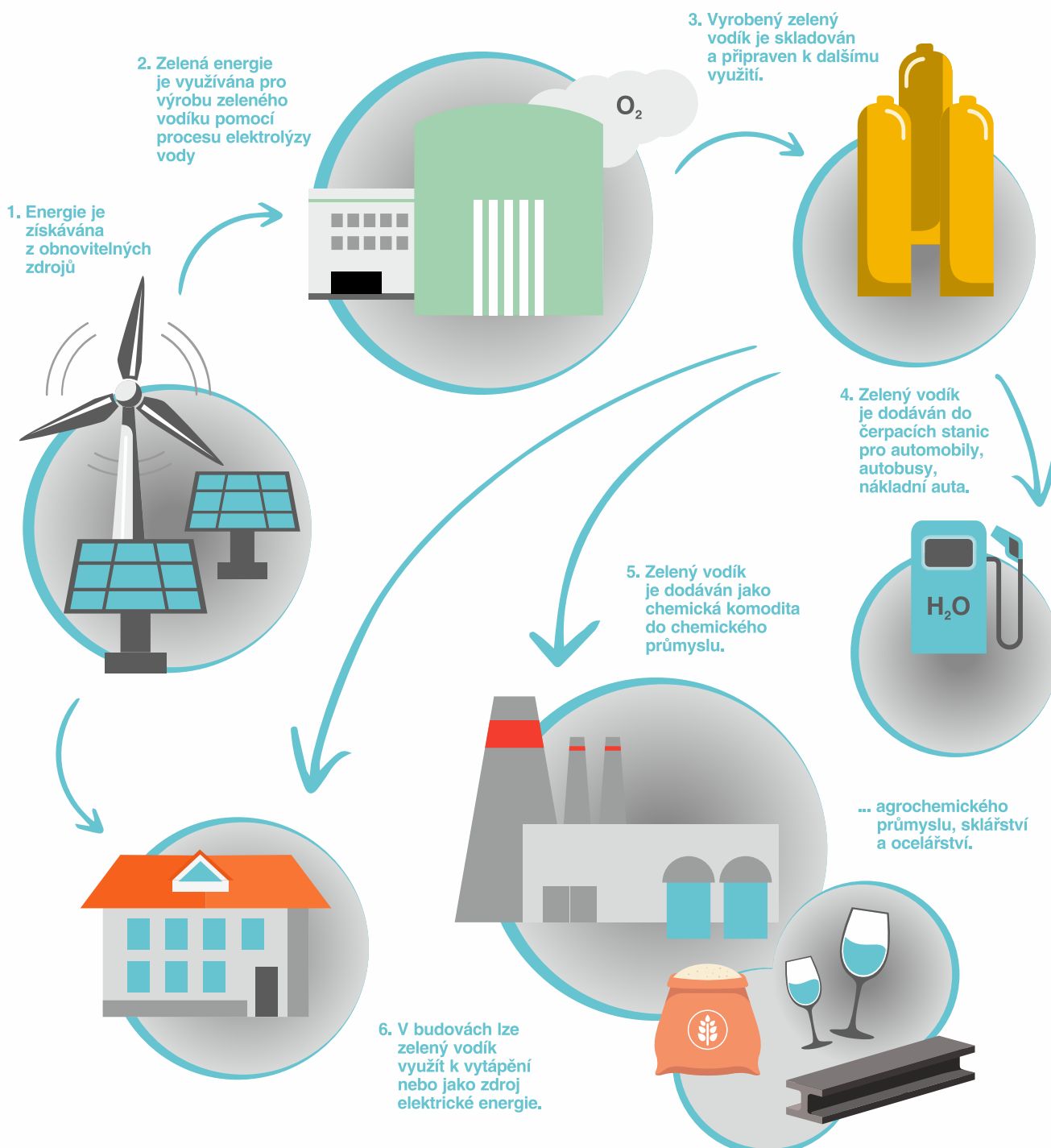
3. HODNOCENÍ UHLÍKOVÉ STOPY VODÍKU

Jak bylo uvedeno, určení emisní (uhlíkové) stopy vodíku (tj. jaké množství CO_2 bylo uvolněno do ovzduší při jeho výrobě), hraje zásadní roli při posuzování vodíkových technologií v rámci jejich zavádění do praxe. Jedná se primárně o administrativní záležitosti, u které je nezbytné dbát na soulad s technickou realitou. To představuje významné úskalí dekarbonizačních snah nejen u vodíkové ekonomiky. Do budoucna je nezbytné zavést systém záruk původu (certifikátů) na unijní úrovni založených na objektivní analýze životního cyklu vyrobeného vodíku. S touto certifikací počítá jak evropská, tak i Česká vodíková strategie. Pro ČR je obtížně akceptovatelná varianta uznávající pouze přímé propojení mezi obnovitelným zdrojem energie a výrobou vodíku. Obnovitelné zdroje, jako fotovoltaické a větrné elektrárny nejsou v klimatických podmínkách ČR konkurenceschopné s jižními státy, případně offshore elektrárnami na severu Evropy. Proto je pro ČR vhodnější varianta přenositelnosti. Typickým příkladem je elektrolyzátor pro výrobu vodíku lokalizovaný v místě plánované spotřeby a odebírající elektrickou energii ze sítě. Ta bude odpovídat množství certifikované obnovitelné elektřiny dodanému do sítě na jiném místě. Pro posouzení uhlíkové neutrality je nezbytné stanovit emisní stopu vodíku spojenou s jeho výrobou. Tato otázka je dnes řešena členěním vodíku do několika kategorií. Česká vodíková strategie kategorizuje vodík na nízkouhlíkový a ostatní vodík. Nízkouhlíkový vodík odpovídá v souladu s metodikou CertifHy vodíku, při jehož výrobě je do ovzduší uvolněno maximálně $36,4 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$. Vodík, který uvedené kritérium nespĺňuje je veden v kategorii ostatní. Vodíková strategie EU pracuje s mnohem širší kategorizací vodíku. Rozlišuje mezi vodíkem vyrobeným elektrolyzou vody; obnovitelným vodíkem resp. čistým vodíkem; vodíkem z fosilních zdrojů; vodíkem z fosilních zdrojů se zachytáváním CO_2 a vodíkem s nízkou emisní stopou. Pro lepší přehlednost je často využíván barevné označení vodíku, kdy jako zelený vodík (green hydrogen) je označován vodík z obnovitelných zdrojů bez emisí CO_2 . Modrý vodík (blue hydrogen) je vodík s nízkou emisní stopou tj. nízkouhlíkový. Jedná se například o vodík vyrobený z fosilních zdrojů s využitím technologie zachytu a uskladnění CO_2 nebo vodík vyrobený pomocí elektrolyzy s využitím energie jaderných elektráren. Šedý vodík (grey hydrogen) pak představuje vodík vyrobený konvenčními technologiemi z fosilních zdrojů, ale i vodík z elektrolyzy vody za využití elektrické energie vyrobené z převážné části spalováním fosilních paliv. Existují i další barevné varianty mající za cíl bližší specifikaci technologie výroby. Ty však nejsou příliš často používány.



4. VODÍKOVÁ EKONOMIKA

Vodíková ekonomika představuje soubor na sebe navazujících technologií, využívajících vodík jako universální médium pro dosažení požadovaného cíle. Obecně lze technologie rozlišovat podle toho, zda produkují vodík, řeší jeho zpracování, skladování, dopravu a na technologie, jež řeší samotné využití vodíku. Různé možnosti výroby vodíku z řady odlišných surovin v kombinaci s velmi variabilním způsobem využití vedou v důsledku k tomu, že vodík prostupuje celým schématem zásobování společnosti od chemických výrob, přes pohon dopravních prostředků a vytápění domácností, až po dlouhodobé skladování energie. Schématicky je vodíková ekonomika zobrazena na obrázku. S ohledem na dekarbonizaci mají v tomto schématu hlavní postavení metody produkce nízkoemisního vodíku tj. především elektrolýza vody a na stránce spotřeby pak technologie s vysokou účinností využití energie, jako jsou především palivové články. Nicméně by byla chyba se zaměřit pouze na uvedené technologie a nevyužívat celé spektrum možností produkce a využití vodíku. Jednotlivé technologie výroby a využití budou detailněji popsány v dalších kapitolách.



5. BEZPEČNOST VODÍKU A VODÍKOVÝCH APLIKACÍ

Vodík je často vnímán jako extrémně nebezpečný plyn, jehož použití je spojeno s vysokým rizikem havárie. Hlavní příčinou je známá havárie vzducholodi Hindenburg v roce 1937 v New Jersey. Tato havárie se odehrála přímo před zpravodajskými štáby a díky tomu byla velmi medializovaná. Je dobré připomenout, že vodík ve vzducholodi neexplodoval, ale shořel a že vzducholodí cestovalo 97 osob a havárie si vyžádala 36 obětí. Přes existenci srovnatelných nebo i tragičtějších havárií jiných dopravních prostředků, nikdy nedošlo k tak zásadnímu ovlivnění veřejného mínění. Realitou zůstává, že vodík je energeticky bohatou reaktivní látkou, jinak by nemohl plnit funkci paliva. Nicméně jeho nebezpečnost není zásadně odlišná od ostatních paliv. Srovnání vlastností paliv zobrazuje tabulka. Hlavní riziko spočívá ve vyšší reaktivitě a bezbarvém plameni o vysoké teplotě. Naopak velice nízká hustota způsobuje, že případné úniky vodíku jsou rychle rozptýlené a nedochází k akumulaci pod zařízením, jako je tomu v případě úniku kapalných paliv nebo LPG. Jeho spalováním nehrozí riziko vzniku jedovatého oxidu uhelnatého, jako u uhlíkatých paliv. Hydridové zásobníky na vodík jsou natolik bezpečné, že je lze brát na palubu letadel.

Tabulka: Základní vlastnosti používaných paliv

Vlastnost \ látka	Vodík H ₂	Metan CH ₄	Benzín C _n H _m
Molekulová hmotnost (g mol ⁻¹)	2,02	16,0	~107
Bod varu (při 1bar) (°C)	-253	-162	37 – 205
Skupenství 25°C, 1bar	plyn	plyn	kapalina
Výhřevnost LHV (kJ g ⁻¹) Spalné teplo HHV (kJ g ⁻¹)	120 142	50 55,5	44,5 48
Meze hoření (obj. % se vzduchem)	4,0 – 75	5,3 – 15	1,0 – 7,6
Teplota plamene na vzduchu (°C)	2045	1875	2200
Minimální iniciační energie (mJ)	0,02	0,29	0,24
Hustota (g L ⁻¹)	0,089	0,676	~700

Vodík a manipulace s ním je běžnou záležitostí pro chemický průmysl, který je dnes jeho dominantním výrobcem i spotřebitelem. Je pravdou, že nároky na zařízení obsluhované školeným personálem a laickým uživatelem budou značně odlišné, a je tak třeba bezpečnosti věnovat patřičnou pozornost. Toho si jsou vědomi výrobci i provozovatelé zařízení např. vodíkových plnicích stanic a spotřebičů. Vodíkem poháněné komerční automobily Toyota Mirai, Hyundai Nexa a Honda Clarity podstupují stejné crash testy, jako kterýkoliv běžný automobil a jejich bezpečnost je tak nezávisle ověřována. Stejně tak kogenerační jednotky v domácnostech jsou vybaveny detektory pro zamezení úniku vodíku. Pro běžného uživatele, ale i pro záchranné sbory představuje vodík nový typ paliva, jehož vlastnosti je třeba si osvojit a dodržovat základní bezpečnostní pravidla. Se zaváděním vodíkových technologií do běžného života jsou již dnes vytvořeny odpovídající technické normy definující bezpečný provoz těchto technologií.

6. SITUACE V ČESKÉ REPUBLICE

Česká republika má rozvinutý chemický průmysl a díky tomu je zde i řada výroby, kde je vodík buď přímo vyráběn nebo vzniká jako vedlejší produkt dané reakce. Produkovaný vodík je využíván v následujících výrobcích především pro zpracování ropy a při výrobě amoniaku (resp. kyseliny dusičné a dalších produktů). V případě, kdy vodík vzniká jako vedlejší produkt nebo nedosahuje požadované čistoty, je dnes využíván jako topný plyn. Celkové vyrobené množství vodíku v ČR kolísá okolo hodnoty 120 000 tun ročně. Je třeba si uvědomit, že veškerý vyrobený vodík je vyráběn pro následnou spotřebu s cílem ekonomického zisku. Pokud zde nebude garantovaná odběratelská základna, není ekonomické budovat nové výrobní kapacity. Cílem státu je tak v souladu s deklaracemi podporovat jak využití vodíku (především v sektoru dopravy), tak i výstavbu nových nízkoemisních zdrojů. Současní producenti vodíku si tento potenciál vodíku uvědomují a vedle snahy o snížení emisní stopy dnes vyráběného vodíku se podílejí i na budování spotřebitelské infrastruktury ve formě plnicích stanic, zavádění vodíků do městské hromadné dopravy apod. Nejvíce aktivní jsou v rozvoji vodíkové ekonomiky kraje Moravskoslezský a Ústecký, což je dáno mimo jiné rozvinutým chemickým průmyslem a dostupnými zdroji vodíku. Obecně pak subjekty aktivní v oblasti rozvoje vodíkových aktivit sdružuje Česká vodíková technologická platforma.

Česká republika jako průmyslový stát má velkou spotřebu energie. Její významná část je dovážena ve formě zemního plynu a ropy. Vzhledem k omezeným možnostem výroby energie z obnovitelných zdrojů v rámci ČR je nezbytné uvažovat i možnosti importu vodíku z okolních zemí. EU předpokládá výstavbu velkých výroben zeleného vodíku mimo EU (2x40 GW Initiative) a následný tranzit produktovody. Je zřejmé, že bude nutné řešit úpravu stávajících plynovodů a budování nových „vodíkovodů“. Na celoevropské úrovni tuto problematiku řeší iniciativa European Hydrogen Backbone.

Největší pokrok je v oblasti zavádění vodíkem poháněných vozidel, kdy je již v nějaké fázi realizace 7 plnicích stanic (2x v Praze, Brně, Litvínově, Plzni, Ostravě, Ústí nad Labem), rovněž je s hromadnou městskou dopravou na vodík počítáno v Ústí nad Labem a v Ostravě.

7. VÝROBA VODÍKU

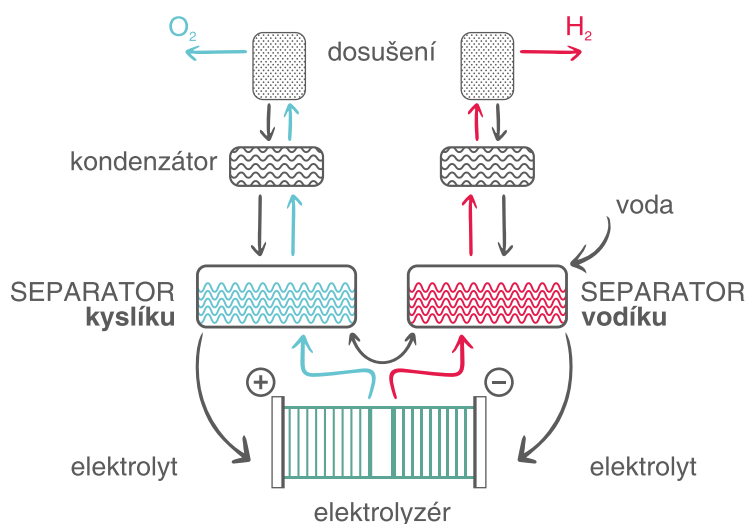
Technologie výroby vodíku jsou pro chemický průmysl známé více než 100 let. Jednotlivé procesy však byly vyvíjeny s ohledem na cenu produkovaného vodíku. Elektrolýza vody byla upozaděna levnějšími procesy založenými na fosilních palivech. Důležité je si uvědomit, že všechny tyto technologie jsou navrženy pro kontinuální produkci vodíku. Pro dekarbonizaci je nutné tyto technologie adaptovat na obnovitelné suroviny a obnovitelné zdroje energie. To znamená proměnlivou intenzitu výroby a suroviny o různé kvalitě (např. bioplyn). V principu základní suroviny, z nichž lze komerčně vyrábět vodík, jsou voda a uhlovodíky. Je však třeba rozštěpit molekulu vody, která je velmi stabilní. Energie pro štěpení může pocházet z oxidace uhlovodíků nebo externího zdroje.

7.1 Elektrolýza vody

Elektrolýza vody je proces průmyslově využívaný více než 100 let. Při elektrolýze vody je působením elektrické energie z vody vyráběn vodík a kyslík. K tomu postačuje konstrukčně jednoduchý elektrolyzátor pracující za teplot do 100 °C, což dělá tuto technologii velice flexibilní pro různé velké instalace. Vstupní surovinou je demineralizovaná voda. Díky tomu i vyráběný vodík a kyslík mají vysokou čistotu vhodnou i pro náročné vodíkové aplikace, jako jsou například PEM palivové články. Navíc většina elektrolyzátorů vody generuje vodík o tlaku cca 30 bar, takže není nutný první kompresní stupeň. Z uvedených důvodů je elektrolýza v kombinaci s obnovitelnými zdroji považována za hlavní způsob výroby zeleného vodíku v budoucnosti. K tomu je však nutný zdroj nízkoemisní elektrické energie, který určuje emisní stopu produkovaného vodíku.

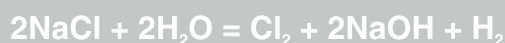
V praxi je dnes využívána alkalická elektrolýza a elektrolýza s protonově vodivou membránou (PEM elektrolýza). Alkalická elektrolýza je dlouhodobě průmyslově využívaný proces, který používá niklové elektrody,

porézní separátor vodíkového a kyslíkového prostoru. Jako elektrolyt zde cirkuluje koncentrovaný hydroxid. Nevýhodou tohoto typu elektrolyzy je pomalejší odezva na proměnlivý výkon (obnovitelných zdrojů) a nutnost cirkulace agresivního roztoku. PEM elektrolyza je novější proces využívající iontově vodivou membránu. To umožňuje cirkulovat pouze čistou vodu. Proces je schopen okamžité reagovat na náhlou změnu množství dodávané energie, které je typické pro obnovitelné zdroje. Na druhou stranu tento typ elektrolyzy potřebuje platinové kovy, což při masové produkci může být limitující faktor. Velmi dynamicky se dnes vyvíjí technologie vysokoteplotní elektrolyzy pracující za teploty kolem 800°C. Vysoká účinnost a dostupné materiály jsou zde hlavní výhodou. Nicméně konstrukční náročnost je příčinou, že zatím nejsou průmyslové instalace.



7.2 Chlor-alkalická elektrolyza

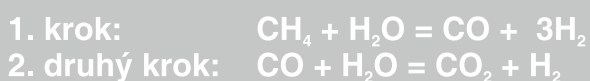
Elektrolyza solanky je průmyslová výroba, jejíž hlavní úkol je výroba chloru a hydroxidu (NaOH nebo KOH). V elektrolyzáru probíhá reakce, při které vzniká vodík, jako vedlejší produkt.



Tímto procesem je dnes generováno cca 4% světové produkce vodíku. Vyráběný vodík má vysokou čistotu. Chlor-alkalická technologie je kontinuálně pracující proces, kde náhlé změny výkonu vedou ke ztrátě kvality produktů. Nelze proto snadno napojit tuto technologii na elektřinu z větrných nebo solárních elektráren. Naopak je velmi výhodná v kombinaci s jadernou elektrárnou. Stejně, jako u elektrolyzy zde rozhoduje o emisní stopě vodíku „čistota“ použité elektrické energie. Tím, že vodík je vedlejším produktem, je však emisní stopa nižší, než v případě samostatné elektrolyzy vody.

7.3 Parní reforming zemního plynu

Parní reforming je dnes nejvíce využívanou technologií výroby vodíku na světě. Její princip je založen na reakci methanu (dominantní složky zemního plynu) s vodní parou. Proces probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku se za přítomnosti katalyzátoru do vodní páry přivádí methan. Pokud vstupní surovina obsahuje sloučeniny síry, je třeba provést odsíření, aby nedošlo k otravě katalyzátoru. Směs methanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého. Tento krok probíhá za vysoké teploty až 950°C a zvýšeného tlaku. Oxid uhelnatý je stále energeticky bohatá látka, kterou je možné využít pro následné navyšování množství produkovaného vodíku tzv. shift reakcí CO s další přidanou parou. Tato reakce je rovněž katalyzovaná a probíhá za nižších teplot (cca 300 °C).



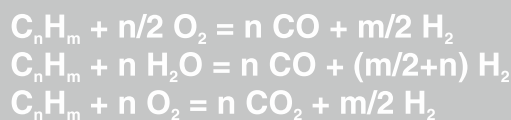
Následně je nutné separovat vodík ze směsi oxidu uhličitého a vodíku. Metody používané k odstranění oxidu uhličitého jsou založeny buď na jeho fyzikální absorpci nebo na chemické reakci s absorpčním roztokem. Pokud je obsah oxidu uhličitého v plynu vysoký, je používána kombinace obou metod. Dále je možné použít i adsorpční metody, zvláště pokud je nutné vyrobit velmi čistý vodík. Dále lze využít kryogenní procesy a membránové separace. Čistící proces pro dosažení požadované čistoty s sebou nese určité ztráty vodíku. Celkově z procesu vychází 7-10 kg CO₂ na produkci 1 kg H₂. Pro výrobu vodíku z fosilních surovin je tato hodnota nejnižší.

Procesem parního reformingu je možné zpracovávat i další uhlovodíky, jejichž bod varu nepřekračuje 220 °C. Dnešní výroby mají kapacitu řádově stovky tun za den. Pro zavedení vodíkové ekonomiky je třeba hledat zdroje uhlovodíků s minimální emisní stopou tj. především bioplyn ev. bioethanol. Pro možnost delokalizované produkce vodíku jsou dnes již dostupné kontejnerové jednotky pro nízkokapacitní výrobu, které lze umístit např. do blízkosti bioplynových stanic. Kapacita těchto jednotek se dnes typicky pohybuje od 50 do 150 Nm³/h (0,1 až 0,3 t/den).

Provoz této technologie vždy produkuje CO₂ a emisní stopa produkovaného vodíku je tak úzce spojena s emisní stopou použité suroviny. Bioplyn upravený na biomethan je hlavní nízkemisní surovinou pro produkci vodíku. V případě, že bude možné pomocí certifikátů původu transportovat biomethan rozvody zemního plynu, tak i současné velkokapacitní výroby budou moci generovat nízkemisní vodík.

7.4 Parciální oxidace uhlovodíků

Parciální oxidace je proces výroby vodíku, který je vhodný pro zpracování složitějších organických látek především těžké ropné frakce. Při tomto procesu se spaluje surovina s nedostatečným množstvím kyslíku za přítomnosti vodní páry. Díky vysoké teplotě až 1600 °C není v tomto procesu používán katalyzátor a nevádí tak přítomnost síry v surovině. Nevýhodou je potřeba zdroje čistého kyslíku. Díky vysoké teplotě reagují organické látky s vodou za vzniku vodíku a oxidů uhlíku, především oxidu uhelnatého dle reakcí.



Hlavními produkty parciální oxidace jsou oxid uhelnatý a vodík. V produktech jsou zastoupeny i další látky, jako je methan, sulfan (ze síry) a až 2 % uhlíku ve formě sazí. Obdobně, jako u parního reformingu zemního plynu, je možné oxid uhelnatý dále využít na katalyzovaný krok k další produkci vodíku. Nicméně je třeba ze vzniklé směsi plynů odstranit sirné sloučeniny. Rovněž identický je proces následného čištění vodíku. Vzhledem k povaze procesu má vodík výrazně větší emisní stopu, která odpovídá cca 12 kg CO₂ / 1 kg H₂. Pro snížení emisní stopy je možné i zde nahradit ropné frakce alternativním nízkemisním produktem např. použité rostlinné oleje. Z důvodu nutnosti používat čistý kyslík a vyšší emisní stopy nejsou jednotky parciální oxidace budovány v malém měřítku.

7.5 Zplynování uhlí

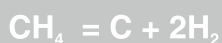
Proces zplynování uhlí není v Evropě rozšířený. Hlavní oblast produkce vodíku touto technologií je v Číně. Princip je velmi podobný jako parciální oxidace, kdy uhlí za vysoké teploty reaguje s vodní parou. Nicméně je nutné zohlednit, že vstupní surovina (uhlí) je tuhá. Vzhledem k výrazně vyšší emisní stopě cca 19 kg CO₂/ kg H₂. nelze očekávat rozšiřování této technologie.

7.6 Vysokoteplotní rozklad

Většinu materiálů s obsahem uhlovodíků lze rozložit za vysoké teploty na kapalné a plynné nízkomolekulární látky a tuhý zbytek. Rozklad musí probíhat bez přístupu vzduchu, aby nedošlo k hoření. Protože během rozkladu neprobíhá spalování, tak CO₂ vzniká pouze v minimální míře. Tím se tyto procesy stávají i přes vysokou energetickou náročnost velmi atraktivní s ohledem na snižování emisí. Podle způsobu ohřevu, lze procesy dělit

na pyrolýzní (do cca 1000 °C) a plazmové zplyňování (až 3500 °C). Vysokoteplotní rozklad byl využíván již ve starověku, kde uhlíři v milířích působením tepla vyráběli ze dřeva dřevěné uhlí. Vznikající energeticky bohaté a toxické odplyny však byly vypouštěny bez užitku do okolí. V moderní historii jsou již využívány všechny produkty rozkladu tj. plynné, kapalné i tuhé. Dnes je takto vyráběn koks. Dalším přínosem je možnost zpracování široké palety materiálů, jako je biomasa nebo organické odpady. Současné technologie jsou konstruované s ohledem na maximální využití energetického potenciálu suroviny. K dosažení vysoké teploty je nejčastěji využíváno spalování vzniklého pyrolýzního plynu. Pyrolýzní plyn se skládá z vodíku, methanu, oxidu uhlenatého a dalších příměsí, kdy vyšší teplota rozkladu vede k většímu podílu vodíku. Pro účely produkce nízkoemisního vodíku je tak nutné vést rozklad při vysoké teplotě, kdy teplota bude dosažena pomocí jiného zdroje (např. koncentrační solární ohřev, elektřina z obnovitelných zdrojů). Další technickou překážkou je separace vodíku ze vzniklého plynu. Stanovení emisní stopy takto vyrobeného vodíku je velmi individuální s ohledem na původ a složení vstupní suroviny a způsob ohřevu.

Nově vznikající je technologie pyrolýzního rozkladu methanu (zemního plynu). Tato technologie je na rozdíl od předcházejících tepelných rozkladů katalyzována. Produktem rozkladu by v ideálním případě měl být vodík a uhlík dle reakce:



Jak je patrné, množství získaného vodíku je poloviční ve srovnání s parním reformingem, ale druhým produktem je v tomto případě tuhý uhlík, který je možné dále využít nebo deponovat. Pokud by se podařilo dosáhnout produkce žádané formy uhlíku např. uhlíkových vláken, tak by ekonomický přínos mohl být značný. Zároveň není uvolňován CO₂ do ovzduší, takže je tak z fosilní suroviny produkován nízkoemisní (modrý vodík). Oproti zpracování odpadů, kde je surovina prakticky zdarma, odpadá při pyrolýze methanu řada komplikací s nežádoucími produkty např. chlorované sloučeniny, těžké kovy apod.

8. METODY CCS A CCU

Pokud není možné vyrobit vodík bez vzniku CO₂ nebo z nízkoemisní suroviny, tak zbývá ještě možnost zamezit úniku CO₂ do ovzduší. K tomu slouží technologie zachytu a uskladnění (carbon capture and storage - CCS) a technologie dalšího využití (carbon capture and use - CCU). Tyto technologie jsou s ohledem na existující výroby vodíku možným řešením, jak z fosilních paliv získat nízkoemisní nebo též dekarbonizovaný vodík. Pokud je produktem nějaké technologie směs vodíku a CO₂ např. parní reforming a parciální oxidace, tak při následném procesu separace vodíku vzniká vysoce čistý CO₂, jako vedlejší produkt již nyní. Ten je možné dále využít jako chemickou surovinu. Asi nejznámější technologií CCU je využití CO₂ v potravinářství, ale i tam ve výsledku skončí v ovzduší. Další možností je využít CO₂ při výrobě chemických látek, jako je močovina (využívaná v zemědělství) a metanol (palivo nebo zdroj pro další syntézu). Všechny tyto procesy však vyžadují poměrně pokročilá technologická zařízení. V malém měřítku je možné CO₂ využít k pěstování rostlin kdy atmosféra s vyšším obsahem CO₂ urychluje růst. Podmínkou je, že plyn nesmí obsahovat žádné toxické látky. Další možností CCU je elektrolyza CO₂, kdy vzniká kyslík a CO, které je možné dále využívat např. k výrobě syntetických paliv. Tento proces však nedosáhl potřebné technologické zralosti.

Skladování CO₂ je založené především na využití bývalých ložisek zemního plynu a ropy (vtlačování CO₂ je dnes využíváno při těžbě ropy). Zde je však nutné zajistit transport a vtlačení. Ne každé ložisko je vhodné k uskladnění CO₂. Další možností je fixovat CO₂ v nějaké stabilní sloučenině např. v uhličitanech nebo organickém materiálu a následně skladování v tuhé formě.

Je důležité si uvědomit, že kromě pěstování rostlin jsou všechny technologie CCU i CCS spojené s další spotřebou energie a náklady na transport. O jejich konkurenceschopnosti tak rozhoduje uplatnitelnost produktu a ceny emisních povolenek. V případě CCS jde o procesy bez produkce ekonomicky využitelného produktu. To činí tyto technologie extrémně drahé a bez výrazné dotační podpory pravděpodobně nebude možné tyto technologie provozovat.

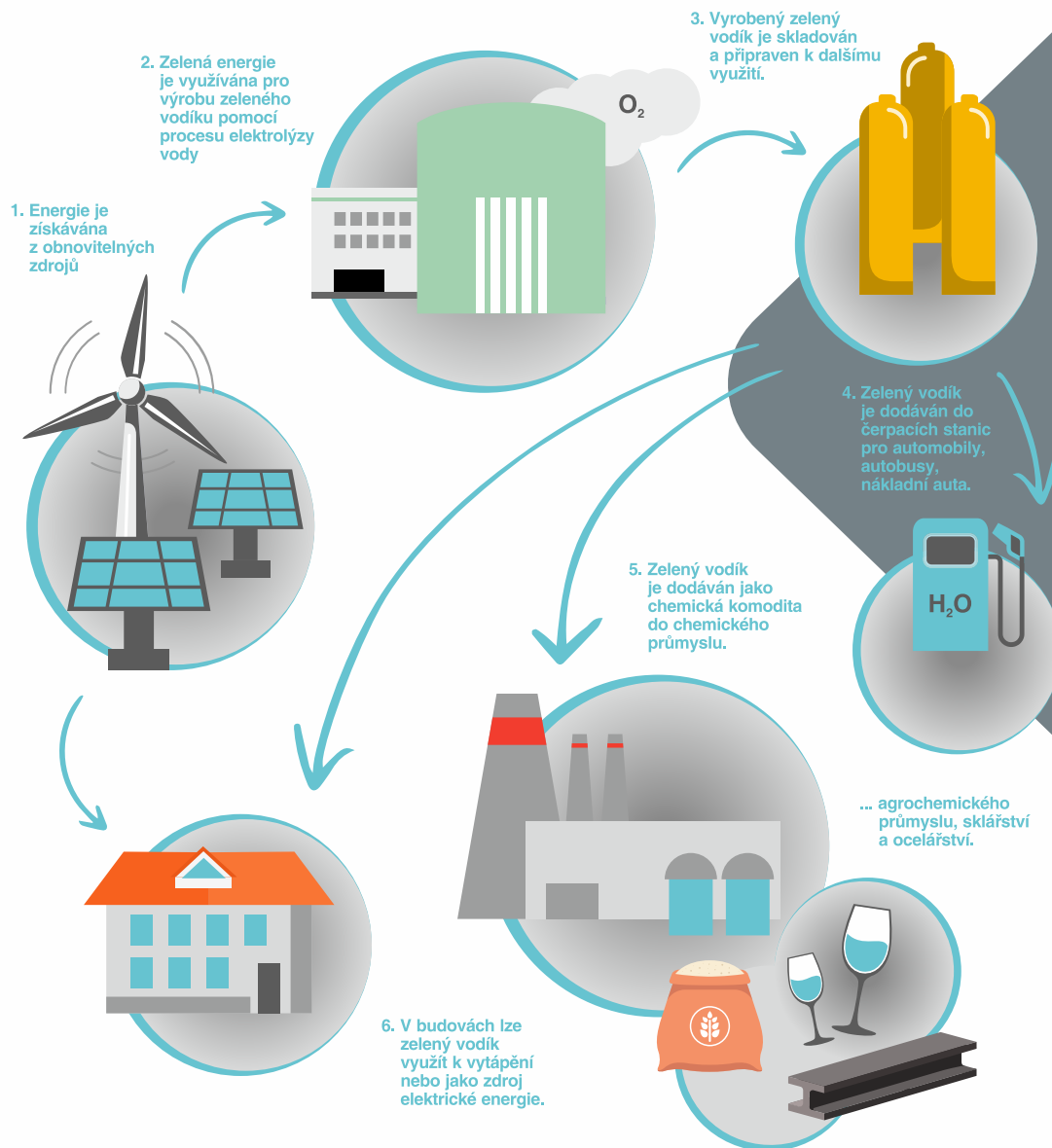
VODÍK PRO UDRŽITELNOU BUDOUCNOST

2. část

cheminvest 



1.	Palivo/energetický vektor	11
1.1	Domácnosti	12
1.2	Doprava	13
1.3	Průmysl	16
2.	Surovina	16
2.1	Chemická surovina	16
2.2	Hutnictví	17
2.3	Sklářství	17
3.	Zdroje	18



1. PALIVO/ENERGETICKÝ VEKTOR

Jak již bylo zmíněno, vodík je energetický vektor, neboli nosič. To znamená, že pro jeho výrobu byla využita jistá energie, ať už tepelná, elektrická apod. Tato energie je v molekule vodíku uskladněna ve formě chemické energie. Vodík je následně skladován, čímž je uchována rovněž i samotná energie pro další použití. V momentě, kdy dojde k energetickému deficitu a je nutné dodat elektrickou energii, přichází na řadu palivový článek. Vodík je v palivovém článku transformován zpět na elektrickou energii, která je již dodávána koncovému spotřebiteli. Samotný vodík tedy není přímo zdrojem energie, pouze slouží jako mobilní mezičlánek mezi vstupní a výstupní formou energie.

V současné době je velkou otázkou energetická bezpečnost budoucnosti. Stále se snižující zásoby fosilních paliv a snaha o rozsáhlou dekarbonizaci průmyslu jsou hlavními faktory, které pro mnoho vědců, ekonomů, politiků a dalších vytvářejí stále nové výzvy. Vodík se jeví jako ideální řešení, které umožní, jak vytvářet energii z nových zdrojů, tak i snížit emisní dopad na životní prostředí.

Rozsáhlá dekarbonizace s využitím vodíku se týká zejména sektorů, jako je průmysl, doprava a energetika. V průmyslu je vodík využíván v rafinérii, ocelářství, sklárství a k výrobě amoniaku, metanolu a dalších. V dopravě lze vodík využít jako palivo pro palivové články, které se nacházejí v automobilech, autobusech a nákladních autech. Energetika je sektorem, který nejen energii vyrábí, ale také ji distribuuje koncovým spotřebitelům. V tomto případě lze tedy dekarbonizovat jak emisně zatěžující produkci energie z fosilních paliv (spalování uhlí a zemního plynu), tak i ozelenit koncovou spotřebu.

Vodík, který je nezbytný pro optimální dekarbonizaci celé škály průmyslových odvětví, musí sám o sobě splňovat požadavky z hlediska nízkých uhlíkových emisí a nezávislosti na fosilních palivech. Typ vodíku, který tato kritéria splňuje, je zelený. Zelený vodík je vyráběn pomocí obnovitelných zdrojů energie, jako je solární, větrná, geotermální apod. Obnovitelné zdroje energie jsou ale vázány na parametry jako je lokalita nebo klimatické podmínky, které závažně omezují jejich využití. Z těchto důvodů je energie produkována většinou v době mimo energetickou špičku, kdy chybí kapacita pro její využití. Integrace vodíkového cyklu umožňuje přeměnit tuto obnovitelnou energii v elektrolyzérech na vodík, který je následně uskladněn a zpětně přeměněn na elektrickou energii v době energetického schodku.

1.1 Domácnosti

Domácnosti jsou velkým odběratelem jak energie elektrické, tak i tepelné. Z toho důvodu se z velké části podílí na spotřebě fosilních paliv a rovněž i na produkci uhlíkových emisí. Dekarbonizace domácností napomůže lepší integraci vodíku a vodíkové ekonomiky obecně. Pro domácnosti je uvažován vodík v souvislosti s vytápěním domácností a jako záložní zdroj elektrické energie.

Vodík může být do domácností dodáván v různých formách, jako jsou tlakové lahve se stlačeným vodíkem, zkapalněným vodíkem nebo může být dodáván pomocí již existující plynárenské rozvodné sítě. Zelený vodík může být rovněž vyráběn přímo v blízké lokalitě, kdy stačí mít funkční systém obsahující: obnovitelný zdroj energie – elektrolyzátor – palivový článek. Tento systém umožňuje uživateli regulovat emisní dopad své domácnosti. Dojde-li k nečekanému výpadku dodávky elektrického proudu, bude uživatel moci využít uskladněný vodík, který pomocí palivového článku přemění na elektrickou energii.



Palivový článek funguje na jednoduchém principu. Obsahuje dvě elektrody a separátor na bázi polymeru, který je umístěn mezi nimi. Vodík je přiváděn na jednu elektrodu-anodu, kde je jeho molekula rozštěpena na základní částice: elektrony a protony. Elektrony nemohou projít skrze separátor, který je elektricky nevodivý, a jsou nuceny procházet skrze vnější elektrický obvod. Tok elektronů v tomto obvodu vytváří elektrický proud. Protony naopak mohou procházet skrze separátor a na druhé elektrodě-katodě se setkávají s prošlými elektrony a přiváděným kyslíkem. Na této straně palivového článku následně vzniká pomocí chemické reakce voda, jakožto jediný vedlejší produkt.

V současné době jsou palivočlánkové a elektrolytické technologie dodávány ve formě kontejnerů, které jsou jednoduché na instalaci a manipulaci. Provoz těchto kontejnerů je velmi tichý a bezemisní. Naběhnutí palivového článku, jako záložního zdroje, je rychlý proces, který uživatele nezatěžuje zbytečnou časovou prodlevou v případě výpadku proudu.

Pro efektivní systém přepravy vodíku ve velkém množství po celém území České republiky a mimo něj, je nutné vybudovat stabilní a funkční rozvodnou síť. Vodík dodávaný do již existující plynárenské sítě se jeví jako vhodné řešení, které umožní udržet krok se zahraničními sousedy a vodíkovým trendem obecně.

Vodík může být do plynárenské sítě dodáván dvojím způsobem. První z nich počítá s vodíkem dodávaným ze sousedních zemí, které by projevily snahu o dekarbonizaci své exportní plynárenské sítě. Tímto způsobem by vodík mohl být dotován například z Německa, které se o vtačování vodíku do rozvodné sítě velmi zajímá. Druhým způsobem je využívání lokálních, domácích zdrojů vodíku z obnovitelných zdrojů.

Při vzpomínce na éru svítiplynu není pro domácí plynárenskou síť vodík žádnou novinkou. Svítiplyn obsahoval 50-60 % vodíku, přičemž zbytek tvořil převážně oxid uhelnatý. Provozovatelé plynárenské infrastruktury v ČR zkoumají míru bezpečného obohacení zemního plynu vodíkem. Tato opatrnost vyplývá z možnosti využít stávající materiály a komponenty distribuční sítě. Rozvoj nové plynárenské sítě a rekonstrukce té stávající je dlouhodobý proces, a z toho důvodu je nezbytné začít s jeho transformací v co nejbližší době.

Vtačování vodíku do zemního plynu by se nemělo nic měnit pro koncového spotřebitele. Nepředpokládá se, že současný plynový kotel a plynový vaříč bude muset koncový klient upravovat pro nové složení energetického plynu obsahující vodík.

1.2 Doprava

Sektor dopravy je dnes jedním z největších znečišťovatelů ovzduší na světě. Většina dopravních prostředků je v současnosti poháněna pohonnými hmotami na bázi fosilních paliv, nejčastěji benzínem či naftou, a to zejména díky jejich nízké ceně a snadné dostupnosti. Dlouhodobý historický vývoj pohonů vozidel je však vykupován zhruba 185 000 předčasnými úmrtími ročně způsobených emisemi, jejichž zdrojem jsou právě spalovací motory. Přesto však dochází ke každoročnímu nárůstu spotřeby ropy, a to především kvůli stále se zvyšujícímu významu mobility v uspokojování osobních i profesních potřeb světové populace.

Nyní však dochází k dramatickému převratu v pojetí mobility jako takové. V důsledku stále vážnějších dopadů klimatických změn na planetu a společnost se zavádějí stále ambicióznější opatření pro jejich zmírnění a alternativní pohony pro dopravu jsou vnímány jako nedílná součást přechodu na zelenou ekonomiku. Vodík je v těchto rozpravách skloňován čím dál častěji díky jeho potenciálu toto problematické odvětví dekarbonizovat při relativním zachování pohodlí a efektivity pro uživatele dopravních prostředků.

Využití vodíku v dopravě není úplnou novinkou. Poprvé byl tímto způsobem využit již v roce 1959, kdy se prvním palivočlánkovým vozidlem poháněným vodíkem v USA stal traktor Allis Chalmers Comp. Dále byl například v rámci vesmírné mise programu Apollo v 60. letech 20. století vodík využíván jako palivo pro vesmírné rakety. Do povědomí široké veřejnosti se však vodík jako pohon pro osobní, autobusovou, nákladní, vlakovou, lodní či leteckou dopravu dostává teprve nyní, a to zejména jako bezemisní či nízkoemisní alternativa k benzínu a naftě a hlavní konkurent bateriových elektromobilů.

Elektroauta nebo například elektrokola se stávají ve společnosti poměrně oblíbeným fenoménem. Nejen, že neprodukují výfukové plyny, ale jsou také tichá a účinná. Za předpokladu, že elektřina, která je nabíjí, pochází z obnovitelných zdrojů, lze uvažovat o jejich 100% šetrnosti k životnímu prostředí. V případě baterií na bázi lithia je zde velké množství „ale,“ která nelze ignorovat. Za zmínku stojí minimálně skutečnost, že baterie nedokážou uchovat srovnatelné množství energie na kilogram jako ostatní paliva, což významně omezuje jejich dojezd. Nepříznivou vlastností baterií je rovněž dlouhá dobíjecí doba. V neposlední řadě je nutné vzít v potaz, že k výrobě



baterií je zapotřebí jak velké množství energie, tak minerálů, jako např. lithia, či kobaltu, jejichž světové zásoby jsou omezené a těžba náročná.

Vodíkové automobily jsou ve své podstatě elektromobily. Jejich součástí je baterie, elektromotor, palivový článek a nádrž na vodík. Na rozdíl od bateriových elektromobilů však k výrobě energie využívají právě zmiňovaný palivový článek, jehož účinnost převyšuje účinnost diesellových spalovacích motorů. Ve srovnání s bateriovou alternativou se nabízí řada praktických výhod, jako delší dojezd (600 km +), krátká doba plnění (3–5 minut) nebo lepší fungování při nízkých okolních teplotách.

Vodíkové palivočlánkové automobily byly oficiálně uvedeny na českém trhu v první polovině roku 2021, konkrétně představením Toyoty Mirai druhé generace a Hyundai Nexu. Jsou tedy pro běžného českého spotřebitele poměrně novým fenoménem, s čímž se logicky pojí i obavy uživatelů z radikální změny dopravního sektoru a bezpečnosti využívání vodíku. Klíčovou překážkou pro rozvoj vodíkové mobility je však i stále vysoká pořizovací cena vozidel a chybějící infrastruktura. Postupný pokles pořizovací ceny se očekává, jako důsledek snížení výrobních nákladů při masové výrobě hlavních komponentů vodíkových vozidel.

Vodíková vozidla se tankují u standardizovaných pohonných stanic, které jsou podobné stanicím pro konvenční vozidla. Nedostatečně vyvinutá infrastruktura v České republice představuje další bariéru pro rozmach vodíkové mobility. Bariéry vysoké pořizovací ceny a infrastruktury jsou navzájem provázané. Pokud nejsou vodíkové automobily, není důvod stavět vodíkové plnicí stanice. Pokud nejsou postavené vodíkové plnicí stanice, není možné pořizovat auta, protože je nelze natankovat. Vodíková strategie České republiky stanovuje program budování vodíkové infrastruktury včetně plnicích stanic a řeší tak jednu z podmínek rozvoje vodíkové mobility v České republice. Pro optimální pokrytí České republiky předpokládá Národní akční plán čisté mobility výstavbu 80 plnicích stanic do roku 2030.

Můžeme říci, že elektromobilita a vodíková mobilita mají slibnou budoucnost. Evropská unie zamýšlí od roku 2035 výrazně omezit prodej aut se spalovacím motorem, je proto nutností prosazovat zavádění alternativních pohonů, a to neprodleně. Předpokládáme, že bateriové a vodíkové automobily budou zaváděny souběžně a budou na trhu i silnicích koexistovat. Národní akční plán čisté mobility cílí na dosažení 40-50 tisíc vozidel do roku 2030, což odpovídá zhruba čtvrtině očekávaného počtu elektromobilů.

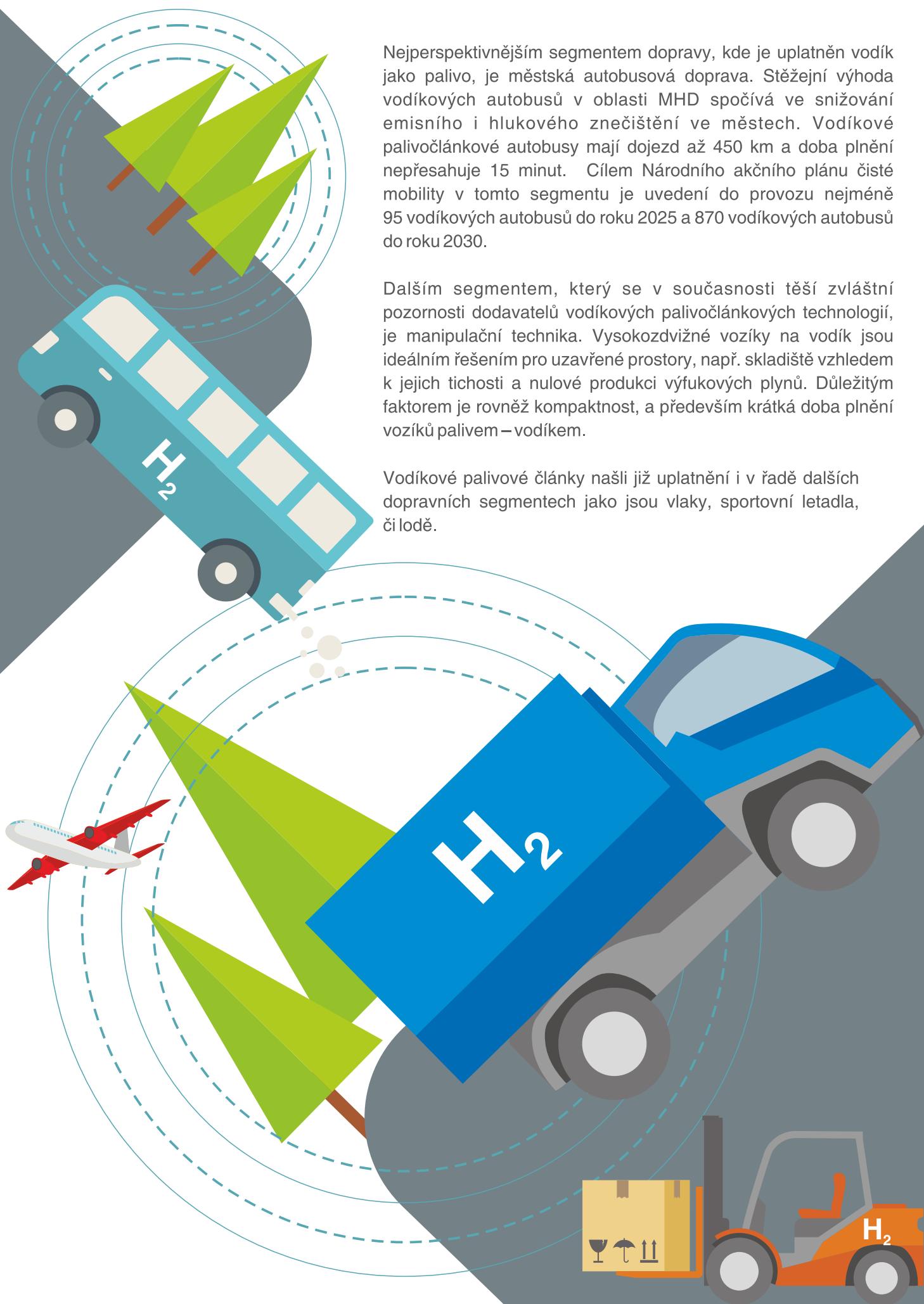
Pro některé segmenty dopravy představuje vodík snadnější cestu již nyní. Jedná se zejména o nákladní dopravu, která vyžaduje dlouhý dojezd a krátkou dobu plnění palivem. Vodík je pro nákladní automobily v tomto ohledu vhodnějším řešením, a to proto, že zajišťuje dlouhý dojezd a krátkou dobu plnění paliva (~ 15 minut) srovnatelnou s naftovými motory. Národní akční plán čisté mobility předpokládá zavádění vodíkové nákladní dopravy ve střednědobém a dlouhodobém horizontu, nicméně nepředpokládá tak rychlé uplatnění nákladních vozidel do roku 2030, jako v případě autobusové dopravy.



Nejperspektivnějším segmentem dopravy, kde je uplatněn vodík jako palivo, je městská autobusová doprava. Stěžejní výhoda vodíkových autobusů v oblasti MHD spočívá ve snižování emisního i hlukového znečištění ve městech. Vodíkové palivočlánkové autobusy mají dojezd až 450 km a doba plnění nepřesahuje 15 minut. Cílem Národního akčního plánu čisté mobility v tomto segmentu je uvedení do provozu nejméně 95 vodíkových autobusů do roku 2025 a 870 vodíkových autobusů do roku 2030.

Dalším segmentem, který se v současnosti těší zvláštní pozornosti dodavatelů vodíkových palivočlánkových technologií, je manipulační technika. Vysokozdvíhné vozíky na vodík jsou ideálním řešením pro uzavřené prostory, např. skladiště vzhledem k jejich tichosti a nulové produkci výfukových plynů. Důležitým faktorem je rovněž kompaktnost, a především krátká doba plnění vozíků palivem – vodíkem.

Vodíkové palivové články našli již uplatnění i v řadě dalších dopravních segmentech jako jsou vlaky, sportovní letadla, či lodě.



1.3 Průmysl

Vodík může být, stejně jako do domácností, dodáván do průmyslu jako náhrada za zemní plyn, čímž napomůže dekarbonizaci řady různých odvětví. Spotřeba fosilních paliv (zemního plynu, černého uhlí, hnědého uhlí...) a biomasy v průmyslu je dána zejména jejich spalováním pro výrobu tepla. Z toho důvodu je pozornost věnována těm průmyslovým odvětvím, která jsou energeticky nejnáročnější, a mohou očekávat zásadní energetickou transformaci z hlediska využívání paliv.

V současné době se uvažuje o využití vodíku například v pecích s vodíkovými hořáky. Toto je aktuální u pecních systémů užívaných pro výrobu keramiky, cementu, stavebních cihel či páleného vápna.

Pro získání energie nemusí být vodík v průmyslu pouze spalován, ale rovněž se může využívat jako energetický vektor pro bezemisní výrobu elektrické energie v místě potřeby. Palivové články a jejich využívání je možné v řadě dalších průmyslových odvětví s nižší elektrickou spotřebou, kterou by bylo možné pomocí palivočlánkové technologie pokrýt. Tato transformace poskytne prostor pro nová technická řešení a vývoj nových technologií.

2. SUROVINA

Vodík není jenom plynem pro energetiku budoucnosti, ale i významnou surovinou pro různá průmyslová odvětví. Tato odvětví z řad rafinérie, ocelářství, sklářství, cementářství, papírnictví, potravinářství a nespočet dalších jsou významným producentem nejenom uhlíkových emisí. Výrobní emise silně zatěžují okolní životní prostředí a mají celkově výrazný dopad na životní komfort. Právě těmto oblastem v průmyslu je věnována velká pozornost z hlediska možnosti dekarbonizace pomocí vodíkových technologií.

Výrobny, které používají vodík jako vstupní surovinu mohou současně využívat dodávky zejména šedého vodíku. Nahradí-li se tento šedý vodík za zelený, dojde k významné dekarbonizaci výrobních procesů a k velkému snížení emisí.

2.1 Chemická surovina

Největším odběratelem vodíku k jeho dalšímu zpracování je výroba amoniaku. Amoniak se celosvětově ročně vyrábí přes 190 milionů tun a je jednou z nejobemněji vyráběných anorganických surovin. Amoniak je jednoduchá čtyř atomová molekula, která obsahuje vysoké množství vodíku a žádný uhlík. Výroba amoniaku je úzce propojena s výrobou umělých amoniakálních hnojiv, které tvoří většinu agrochemického trhu. V případě, kdy je pro výrobu využit zelený vodík, je vzniklý amoniak rovněž označován jako zelený, přičemž si svoji nízkouhlíkovou stopu nese i do dalšího zpracování na nízkouhlíková hnojiva.

Amoniak se může použít také jako obdoba dočasného skladování energie, kdy je zpětně získáván vodík a využíván jako palivo. Může tak sloužit jako bezpečnější forma přepravy a skladování energie, nežli je tomu v případě samotného vodíku.

Další možností využití vodíku je výroba syntetického metanu. Tato možnost umožňuje přebytky energie z různých sektorů využít k výrobě energetického plynného média, které je možno vtačovat do plynárenské sítě. Využití syntetického metanu v plynárenství je bez omezení a není nutná rekonstrukce současné plynárenské sítě.



2.2 Hutnictví

Ocel je klíčová surovina, která je potřebná v řadě průmyslových odvětví, a jejíž poptávka celosvětově stále stoupá. Se stoupající poptávkou stoupá výroba oceli a rovněž i produkce uhlíkových emisí. Emise vznikají zejména ze spalování redukčních činidel, které se ke zpracování železa a oceli používají, a těmi je koks a uhlí. V České republice se ročně vyrobí přes 5 milionů tun oceli a každá náhrada těchto činidel na bázi uhlíku vodíkem dojde k rozsáhlé dekarbonizaci tohoto odvětví a snížení dopadů na životní prostředí.

Cílem je, aby vodík nahradil koks a uhlí v hutnictví zcela. V současné době jsou ověřovány nové technologie umožňující tuto transformaci na prvních pilotních zařízeních. Tyto technologie použití koksu a uhlí pro produkci oceli vylučují, čímž vzniká čistá jako produkt zelená ocel (HYBRIT-fossilfritt stál).

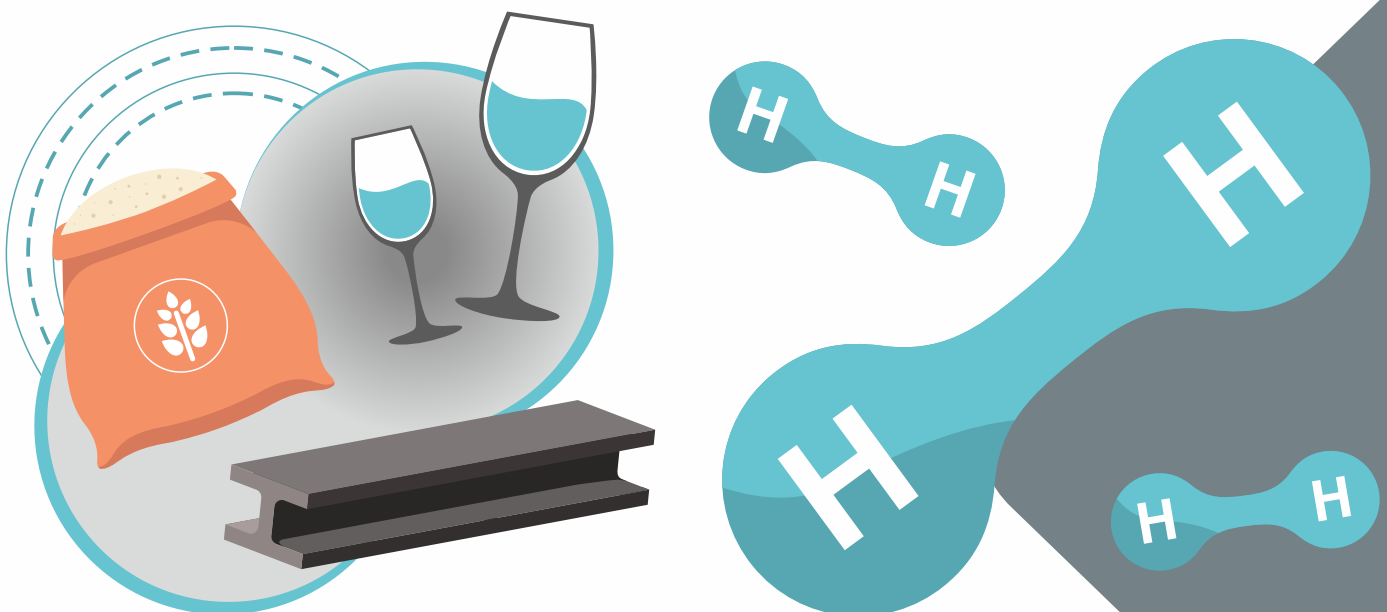
Mimo spotřebu redukčních činidel na bázi uhlíku pro redukci je hutnická výroba zatížena i velkou spotřebou elektrické energie. Ta se v průběhu výrobního procesu používá pro tavení a ohřev. Tato energie může být zcela nebo částečně rovněž nahrazena ze zdroje obnovitelné zelené energie či přímo z palivových článků. Využitím zelené energie dojde k dekarbonizaci hutnických závodů zase o další krok.

2.3 Sklářství

I sklářský průmysl se musí v následujících letech zaměřit na snižování své uhlíkové stopy. V této oblasti lze vodík využít dvojnásobným způsobem, a to buď jako zdroj energie pro pece, nebo jako součást ochranné atmosféry cínových lázní při výrobě plochého skla. Vodík jako zdroj energie může být využit buď přímo ke spalování ve speciálních pecích, nebo jako zdroj pro výrobu zelené energie.

Ploché sklo je vyráběno na kontinuální výrobní lince. Na počátku jsou vstupní suroviny roztaveny spolu se zbytky skel. Tato tavenina je kontinuálně nalévána na cínovou lázeň, na které se tvoří hladké a ploché sklo. Tyto vlastnosti mohou být narušeny v momentě, kdy dojde k oxidaci cínu vzdušným kyslíkem. Z toho důvodu je nad vrstvou skla řízená atmosféra skládající se z 90 % z dusíku a 10 % z vodíku. Tato atmosféra zabráňuje oxidaci cínu a znehodnocení jak vyráběného skla, tak i cínové lázně.

Úspěšné zavedení zeleného vodíku na místo vodíku vyráběného z fosilních surovin je podmíněno masivním rozvojem všech technologií užitých pro výrobu bezemisní energie a vodíku, tak i rozvodných a infrastrukturních soustav pro bezemisní vodík. Rovněž je nezbytné zřídit podporu jak finanční, tak i legislativní, které stát pro dekarbonizaci života a vodíkovou ekonomiku poskytne.



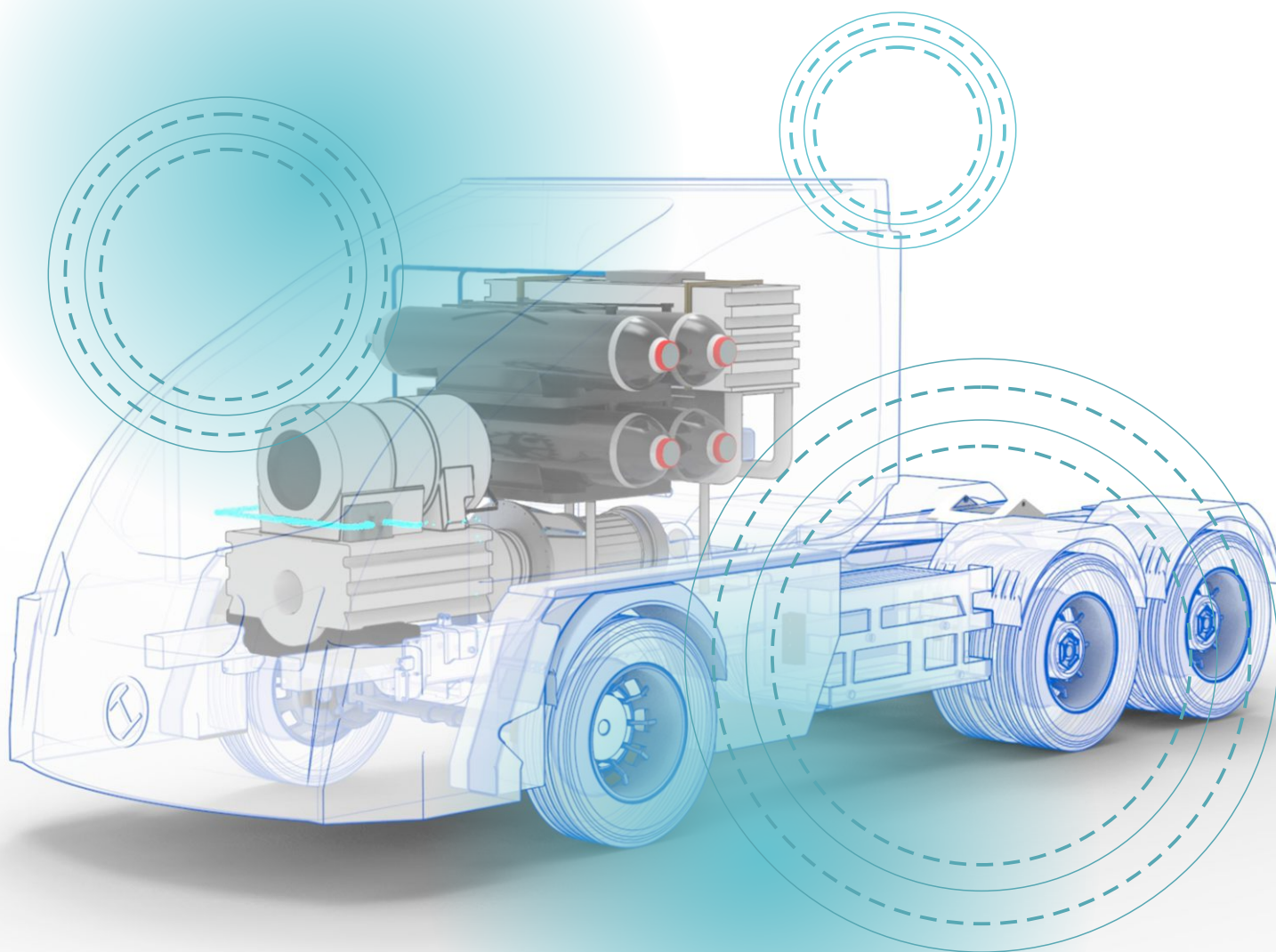
3. ZDROJE

Použité podklady - 1. část

1. MPO, „Vodíková strategie České republiky“, (2021)
2. Evropská komise, Zelená dohoda pro Evropu (2019)
3. CertifHy methodology (2019)
4. Evropská komise A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (2020)
5. 2x40 GW Green Hydrogen Initiative (2020)
6. IEA, The Future of Hydrogen, IEA, Paris, (2019)
7. European Hydrogen Backbone (2020)
8. HYTEP, Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR (2020)

Použité podklady - 2. část

1. MPO, „Vodíková strategie České republiky“, MPO.
2. MPO, „Národní akční plán čisté mobility“, 2015.
3. NEL HYDROGEN: On-site tin bath atmosphere generation improves float glass production“, 2020



Děkujeme všem Partnerům
za spolupráci.



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

VŠCHT Praha
Technická 5, 166 28 Praha 6

Kolektiv autorů
VŠCHT Praha:

Prof. Dr. Ing. Karel Bouzek,
doc. Ing. Martin Páidar, Ph.D.

cheminvest



Cheminvest s.r.o.
Gorkého 1613, 436 01 Litvínov

Kolektiv autorů
Cheminvest s.r.o.:

Vladimír Zemánek, MSc.,
Ing. Veronika Matková

