

**ZÁKLADNÍ KONCEPT ROZVOJE OSTROVNÍCH ŘEŠENÍ
PRO AKCELERACI VODÍKOVÉ MOBILITY**

**Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR
v rámci Programu Národního centra kompetence**

ZPRACOVATEL

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Západočeská univerzita v Plzni
EGÚ Brno, a.s.
Česká vodíková technologická platforma z.s.
GREEN REMEDY, s.r.o.
APT, spol. s r.o.

AUTORSKÝ TÝM

Bronislav Vahalík, Vojtěch Přikryl, Roman Ličbínský, Petr Polanský (CDV)
Jan Přikryl (ZČU)
Petra Kostrhounová, Jakub Uher, Ján Poláčik, Zdeněk Přibyl, David Lauterbach, Michal Kocůrek (EGÚ)
Jan Sochor, Aleš Doucek (HYTEP)
David Řeháček (GREEN REMEDY)
Vladimír Dynda, Luděk Mádle (APT)

PROJEKT

Národní centrum vodíkové mobility (TN02000007)

NÁZEV DÍLČÍHO PROJEKTU

Metodika rozvoje ostrovních řešení pro akceleraci vodíkové mobility

OBSAH

Účel základního konceptu metodiky	1
Úvod	2
Vše je propojeno se vším.....	3
1. Definice spotřebičů v okolí.....	3
1.1. Autobusy městské hromadné dopravy	3
1.2. Autobusy příměstské hromadné dopravy.....	3
1.3. Nákladní vozidla	4
1.4. Osobní a dodávková vozidla	4
1.5. Vozidla komunální techniky.....	4
1.6. Jiné stroje.....	4
1.7. Stacionární spotřebiče	4
1.8. Prvotní odhad spotřeby	5
2. Výroba vodíku	6
2.1. Vhodný prostor pro výrobu.....	6
2.2. Vhodné zdroje energie.....	8
2.3., 2.4. Průběh výroby během roku	9
2.5. Detailní výpočet potřeby/spotřeby vodíku	9
2.6. Návrh hlavního skladu vyrobeného vodíku.....	9
2.7. Optimalizace spotřeby během roku.....	10
2.8., 2.9. Prodej/Nákup – Transport.....	10
2.10. Stanovení energetické a emisní náročnosti výroby 1 kg vodíku	11
3. Vodíková čerpací stanice	12
3.1. Vhodný prostor pro vodíkovou plnicí stanici	12
3.2. Způsob zásobování stanice	12
3.3. Stanovení harmonogramu plnění vozidel.....	12
3.4. Návrh parametrů stanice.....	13
3.5. Stanovení energetické a emisní náročnosti stanice na 1 kg vydaného vodíku.....	13
4. Energetická a emisní náročnost vodíku v celém řetězci	14
5. Analýza a garance čistoty vodíku	15
6. Přílohy	16
Seznam tabulek	16
Seznam obrázků	16
Seznam použitých zkratk	16
Seznam použité literatury	17

ÚČEL ZÁKLADNÍHO KONCEPTU METODIKY

Ostrovní řešení je dnes již zažitý pojem pro koncepci vodíkového hospodářství založené na maximální míře rovnováhy mezi poptávkou a výrobou. Stěžejním principem je minimalizace transportu vodíku v co možná největší míře. Ostrovní řešení přispěje k akceleraci zavádění vodíkového trhu a celého vodíkového ekosystému v regionu. Zároveň přispěje k resilienci a částečné soběstačnosti regionu pro mimořádné události. Tento základní koncept je podkladovým materiálem pro tvorbu studií proveditelnosti v mikroregionech.

ÚVOD

Vstupujeme do éry transformace energetických systémů, kde přechod k udržitelnější a nízkoemisní budoucnosti představuje, z hlediska ochrany zdraví obyvatel a zdravého životního prostředí, správný směr. V tomto rámci se vodíková mobilita stává významným prvkem cesty směrem k nízkoemisní dopravě. Koncept rozvoje ostrovních řešení pro akceleraci vodíkové mobility shrnuje možnosti principů propojení obnovitelných zdrojů energie s vodíkovými technologiemi a zdůrazňuje energeticko-ekonomický efekt provozu celého vodíkového systému.

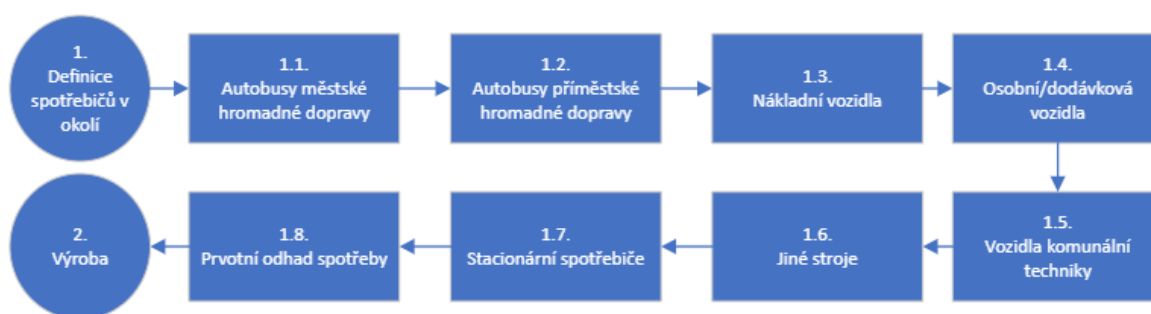
Tento koncept nepředstavuje pouhý návrh izolovaných technologií; spíše je to strategie, jak jednotlivé technologie vodíkového hospodářství kombinovat, jak je dimenzovat a jaký režim jejich provozu zvolit, aby energetická a ekonomická efektivita byla maximalizována. Ostrovní řešení se tak stane, v této rané fázi rozvoje infrastruktury, klíčem k využití vodíkové mobility jako prostředku k dosažení cílů pro snížení emisí z dopravy.

Přesto, že ostrovní řešení minimalizuje potřebu transportu vodíku, tento koncept se tématu nevyhýbá. S transportem je nutno počítat ať už v případech letní nadprodukce, nedostatečné zimní produkce, tak i pro případy výpadku výroby z důvodů neplánované odstávky.

VŠE JE PROPOJENO SE VŠÍM

Takto by se dalo charakterizovat vodíkové hospodářství ostrovního provozu. Množství disponibilní vhodné elektrické energie, prostor vhodný pro umístění výroby a skladu vodíku, prostor pro umístění stanice, požadavky na plnění a množství obsluhovaných vozidel. Nastavení všech výše uvedených prvků ostrova se navzájem ovlivňují. Optimálního nastavení technického řešení lze pravděpodobně docílit několika cykly návrhů a úprav.

1. Definice spotřebičů v okolí



Obrázek 1: Kroky pro správnou definici poptávky

1.1. Autobusy městské hromadné dopravy

Za primární motivaci postupného přechodu na provoz bezemisních vozidel lze jednoznačně předpokládat dopad Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU)2019/1161 [1], která definuje **Povinnost podílu nakupovaných čistých vozidel**. České vnitrostátní minimální cíle pro čistá vozidla představují: 41 % autobusů (kat. M3) od 2.8.2021 do 31.12.2025 a 60 % od 1. 1. 2026 do 31. 12. 2030 ze všech nově pořizovaných vozidel veřejnými dopravci. Polovina těchto cílů jsou autobusy s nulovými emisemi, aktuálně tedy baterie a vodík. Další významnou motivací je **Nižší produkce emisí a hluku** z dopravy na exponovaných místech husté zástavby.

Nasazení vodíkového autobusu je vhodné všude, kde bateriové autobusy svými provozními vlastnostmi nevyhovují. Hledáme delší linky s náročnějším profilem, linky, kde obraty autobusů na konečných zastávkách jsou kratší, než 20 min, nebo na nich nelze vybudovat rychlonabíjecí stanici.

Aktuálně komerčně dostupné modely vodíkových autobusů nabízejí většinu parametrů, které dopravci požadují a dojezd vyhovuje celodennímu provozu.

1.2. Autobusy příměstské hromadné dopravy

Disponibilní dojezd vodíkových autobusů umožňuje nasazení i v příměstském provozu. Spotřeba autobusů v tomto provozu je obdobná jako u těch městských. Vyšší spotřeba plynoucí z vyšší průměrné rychlosti je kompenzována menším počtem rozjezdů ze zastávek.

1.3. Nákladní vozidla

Tento sektor nabývá z hlediska využití vodíku v dopravě stále větší význam. Bateriová vozidla se sice souběžně vyvíjejí, ale jejich parametry stále ještě většině dopravců nevyhovují. Velký důraz je kladen na univerzálnost nasazení, což v tuto chvíli vodíkový pohon splňuje výrazně lépe než pohon bateriový. Komerčně dostupná vodíková vozidla, jejichž počet nabízených modelů a variant se neustále rozšiřuje, mají zpravidla tlakový systém 350 bar. Nejsou však ani výjimky z kategorie dálkových vozidel, kdy je tlak 700 bar nezbytným předpokladem pro splnění požadovaného dojezdu.

1.4. Osobní a dodávková vozidla

Optimismus predikcí využití vodíku pro pohon vozidel v sektoru osobních a dodávkových vozidel se v poslední době značně utlumil. Velký vliv na rozvoj tohoto sektoru mají baterie a jejich neustále se zlepšující parametry. Nicméně, stále se mezi provozovateli objevují požadavky na vlastnosti, kde bateriový pohon představuje nepřijatelný kompromis. Patří mezi ně stabilní dojezd, bez ohledu na roční sezónu, nezbytný čas pro doplnění energie, celková nosnost vozidla.

1.5. Vozidla komunální techniky

Pro provoz vozidel určených pro svoz odpadu ve městech zpravidla vyhovuje bateriový pohon, který je svými provozními náklady jednoznačně výhodnější. Vodíkové svozové vozy mají své uplatnění v méně osídlených oblastech, s delší denní nájezdovou trasou.

Další podmnožinou jsou menší víceúčelové užitkové vozy určené pro každodenní údržbu veřejných ploch měst a obcí. Nástavby těchto vozidel, určené například pro údržbu komunikací a chodníků, významně ukrajují množství disponibilní energie u bateriových verzí. Vodíkový pohon navyšuje využití na celou směnu provozu.

1.6. Jiné stroje

Jak již bylo zmíněno, vodíkový pohon nachází uplatnění všude, kde trakční baterie nevyhovují. Jednou z oblastí je i manipulační technika. Například, u vysokozdvizné manipulační techniky je přechod z bateriového na vodíkový pohon ekonomicky výhodný u tří směnných provozů a flotily čítající více než 30-40 VZV. Snížením potřebného času pro doplnění energie na celo směnový provoz se zvyšuje využití techniky a snižuje se počet potřebných strojů a s tím i náklady na údržbu a prostorové nároky.

1.7. Stacionární spotřebiče

Vodík jako univerzální nosič energie nemusí nutně pohánět pouze vozidla. Jeho využití ve stacionárních energetických záložních systémech (palivových článcích) je smysluplné v napájení budov, serveroven, či kritické infrastruktury, jako jsou nemocnice, hasičské zbrojnice, policejní služebny, všude tam, kde elektrické síťové připojení je nyní zálohováno diesel-elektrickými agregáty. Při návrhu můžeme již od počátku počítat s využitím stacionárního spotřebiče i na pravidelné bázi. Otevře se tím i možnost využití odpadního tepla, které představuje přibližně 30 % nominálního elektrického výkonu palivového článku. Dle jeho množství, lze uplatnění najít v ohřevu TUV, vytápění budov, či výrobním procesu.

Zjednodušené pravidlo: Kde nestačí baterie, zkuste spočítat vodík.

1.8. Prvotní odhad spotřeby

- **Definujte množství vodíkových vozidel včetně předpokládaných časových milníků**

Příklad:

2030 – celkem 3 městské autobusy, 2 nákladní vozy N3, 1 osobní vůz

2035 – celkem 5 autobusů, 4 nákladní vozy N3, 4 osobní vozy

2040 - ...

Časový předpoklad rozšíření množiny spotřebičů je důležitý zejména pro zajištění dostatečného prostoru a zdrojů energie pro budoucí, méně komplikované, navýšení výrobní kapacity a výkonu plnicí stanice.

- **Denní požadavek vodíku jednotlivých spotřebičů**

Pro jednotlivé spotřebiče stanovte denní množství vodíku odhadem/ výpočtem/ simulací/ pilotním provozem.

Odhadem – na základě předpokládaného denního nájezdu vozidla a jeho spotřeby dle WLTP (WHVC), spotřeby deklarované výrobcem, či dat například z některých evropských projektů pilotních provozů obdobných/stejných vozidel

Výpočtem – energetickým přepočtem ekvivalentního spotřebiče s jiným pohonem (nafta, CNG, elektřina ...) s odhadem vlivů specifík vodíkového pohonu jako je možnost rekuperace kinetické energie, možnost dobíjení trakční baterie ze sítě, atd. Tato specifika se pro různá vozidla liší.

Simulací – pomocí specializovaného softwarového nástroje, který vypočítá energetickou náročnost parametrizovatelného vozidla na trase předpokládaného nasazení.

Pilotním provozem – Provozní data z nasazení zapůjčeného vozidla, které je ekvivalentem vozidla zvažovaného, umožní získat nejpřesnější odhad spotřeby na předpokládané trase.

elektrické energie pomocí PPA kontraktů. Nejvyšší cenu nabízí varianta síťového připojení, tedy se 100 % využitím obnovitelné elektrické energie z PPA kontraktů.

Prostor výroby vodíku pomocí elektrolyzáru

Společnost PwC Česká republika zpracovala pro Českou vodíkovou technologickou platformu studii zaměřenou na problematiku výstavby elektrolyzáru [2]. Posuzována byla tato hlediska povolování stavby: územní plánování, územní a stavební řízení, energetický zákona, zákon o EIA, zákon o IPPC, vodní zákon, sektorově specifické právní předpisy a bezpečnostní a technické předpisy. Dle těchto hledisek, lze problémovost posuzování záměru výstavby v dané pozemkové kategorii vizualizovat v Tabulce 1.

Tabulka 1: Problémovost posuzování záměru výstavby v dané pozemkové kategorii, převzato z: [2]

Aspekt / varianta	Varianta zelená louka	Varianta chemický provoz	Varianta čerpací stanice	Varianta logistické depo
Stavební zákon (územní plánování)				
Stavební zákon (územní a stavební řízení)				
Energetický zákon				
Zákon o EIA				
Zákon o IPPC				
Vodní zákon				
Sektorově specifické právní předpisy				
Bezpečnostní a technické předpisy				
Legenda:				
velmi problematická		zpravidla neproblematická		
zpravidla problematická		neproblematická		

Pozemkové parcely určené pro chemický provoz se jeví jako nejjednodušší, následují lokality logistického depa, varianta zelená louka a čerpací stanice vyžaduje změny v územní plánování, tedy podstatně větší úsilí, významnou podporu místní samosprávy, delší čas a navýšení finančních prostředků k získání povolení stavby.

2.2. Vhodné zdroje energie

Pro výrobu vodíku v ostrovním řešení v tomto textu uvažujeme pouze tzv. RFNBO (renewable fuel of non-biological origin) vodík. Jedná se o plně obnovitelný vodík podle pravidel Evropské unie. Takovýto vodík může být vyroben pouze elektrolýzou, využívající energii z obnovitelných zdrojů (OZE) jiných než biomasa. V prostředí České republiky se tedy jedná převážně o FVE, VTE a vodní energii. Výroba RFNBO také musí plnit kritéria uvedená v Delegovaném aktu o RFNBO, aby mohla být označena za plně obnovitelnou.

2.2.1. Elektrolýzér s přímým připojením (Ostrovní režim)

Vzhledem k fluktuaci výroby elektřiny z OZE je pro tento režim vhodné využívat baterii k akumulaci přebytků. Vhodně zvolená kapacita předřazeného akumulátoru umožní snížit instalovaný výkon elektrolýzéry a prodloužit jeho roční provozní fond až o 1/3. Pro tento režim provozu je vhodnější PEM elektrolýzér, jehož rychlost adaptace na proměnlivý okamžitý výkon zdroje je dostačující.

Specifika režimu plynoucí z Delegovaného aktu k RFNBO

- Geografická korelace – z principu ji tento režim plní vždy
- Adicionalita – OZE nesmí být spuštěny dříve než 36 měsíců před elektrolýzérem – platí vždy, bez výjimky. Pokud je elektrolýzér spuštěn před 1. 1. 2028, pak má tato instalace do 1. 1. 2038 výjimku z adicionality a nemusí ji plnit. OZE mohou být podpořeny investičně i provozně
- Časová korelace – do 31. 12. 2029 platí měsíční korelace, poté hodinová

2.2.2. Elektrolýzér s PPA (Síťový režim)

V tomto režimu se předpokládá kontinuální výroba vodíku díky pravidelnosti a stabilitě nasmlouvané elektrické energie ze sítě. Z tohoto důvodu je také možné využít alkalického elektrolýzéry, který je zpravidla méně investičně náročný.

Specifika režimu plynoucí z Delegovaného aktu k RFNBO

- Geografická korelace – OZE, ze kterých je elektřina zasmluvněná se musí nacházet ve stejné nebo propojené nabídkové zóně (tj. ČR a sousední státy), cena elektřiny v sousedním státě musí být v čase spotřeby vyšší než v ČR
- Adicionalita – pokud je elektrolýzér spuštěn před 1. 1. 2028, pak má tato instalace do 1. 1. 2038 výjimku z adicionality a nemusí ji plnit. Výkon elektrolýzéry lze během tohoto 10. letého období kdykoliv navýšit. Elektrolýzéry spuštěné od roku 2028 smí odebírat elektřinu pouze z OZE, které byly spuštěny max. 36 měsíců před spuštěním elektrolýzéry, tyto OZE nesmí být investičně ani provozně podpořeny
- Časová korelace – do 31. 12. 2029 platí měsíční korelace, poté hodinová

2.2.3. Elektrolýzér s přímým připojením + PPA (Kombinovaný režim)

Kombinovaný režim předpokládá výrobu, která primárně kopíruje výrobu OZE. Zasmluvněná elektřina zvýší využitelnost elektrolýzéry, kdy se pokryje období nízké dodávky elektřiny z přímo připojeného zdroje. Pro tento režim je rovněž vhodný PEM elektrolýzér.

Specifika režimu plynoucí z Delegovaného aktu k RFNBO

- Pomocí chytrého měření musí být odlišena elektřina vyrobená přímo napojeným zdrojem a elektřina zasmluvněná ze sítě
- Geografická korelace – pro přímo napojené OZE je korelace vždy splněná, pro elektřinu z PPA kontraktů platí totéž, co v síťovém režimu
- Adicionalita – pro elektřinu z přímo napojených OZE platí stejná pravidla jako pro ostrovní režim, pro elektřinu z PPA kontraktů platí stejná pravidla jako pro síťový režim
- Časová korelace – do 31. 12. 2029 platí měsíční korelace, poté hodinová

Detailní informace k jednotlivým režimům provozu elektrolyzéro najdete v Příloze 1 - Varianty zapojení elektrolyzéro.

2.3., 2.4. Průběh výroby během roku

Rozložení výroby vodíku v průběhu roku je výrazně ovlivněno zvoleným režimem výroby a typem elektrolyzéro. Aby navrhované řešení co nejlépe odráželo realitu je třeba vypracovat co nejpřesnější odhad vodíkové výrobní křivky v průběhu roku pro vybranou lokalitu a zvolené technologie. Rozlišení křivky se odráží od spotřebičů přítomných v ostrovním řešení. Vyžaduje-li spotřebič kontinuální přísun vodíku (např. stacionární palivový článek) je třeba znát průběh výroby na hodinové bázi, pro dopravní spotřebiče je však pravděpodobné, že budou vodík doplňovat v pravidelných intervalech, příp. pravidelných časech na denní bázi. Např. autobusy hromadné dopravy typicky doplňují palivo jednou za směnu mimo dobu dopravní obsluhy a je pro ně plně dostačující znát denní výrobu vodíku.

2.5. Detailní výpočet potřeby/spotřeby vodíku

Pro dimenzování navazujících komponentů ostrovního řešení je třeba znát rozdíl mezi výrobou a spotřebou v relevantním časovém období. Je tedy třeba odhadnout rozložení roční spotřeby podobně jako pro výrobu. Spotřeba dopravních prostředků bývá oproti výrobě konstantní v rámci měsíce, příp. roku v závislosti na jejich provozním režimu. Je vhodné vypracovat několik variant spotřební křivky pro možné alternativy provozu dopravních prostředků – např. autobusy hromadné dopravy mohou být flexibilně nasazovány na různé dopravní linky, což povede k jiným denním spotřebám paliva. Pro další kroky tohoto postupu je vhodné vybrat takovou spotřební křivku, která vede k co největší rovnováze mezi roční výrobou a spotřebou. Pokud dosažení rovnováhy není možné a není k dispozici další zdroj energie pro výrobu (při nedostatku vodíku), je třeba se zabývat nákupem vodíku z vnějšího zdroje, resp. prodejem vodíku mimo ostrovní řešení (podrobněji v kapitole 2.8, 2.9 níže).

2.6. Návrh hlavního skladu vyrobeného vodíku

Hlavní sklad musí být navržen tak, aby v něm vždy byl dostatek vodíku v době převisu spotřeby nad výrobou, a zároveň aby vždy dokázal pojmout přebytky v době převisu výroby nad spotřebou. Pro stanovení minimální velikosti skladu je nutné sestavit křivku, ukazující stav naplnění skladu v průběhu roku. Minimální velikost skladu H₂ je rovná rozdílu mezi minimem a maximem této křivky. Když je známa minimální velikost úložiště je třeba určit reálné rozměry skladu.

V prvním kroku návrhu je vhodné zaměřit se na standardizované tlakové nádoby, ze kterých sklad vodíku nakombinuje dle možností zamýšleného prostoru umístění. Rozměry těchto nádob závisí na tom, při jakém tlaku bude vodík skladován. Typickými skladovacími tlaky jsou 40 bar (výstupní tlak

elektrolyzáru) a 200 bar. Tlakové nádoby pro vyšší tlaky jsou investičně skokově náročnější a využití v hlavním skladu je proto nevhodné. Pokud využití vodíku spočívá pouze ve stacionárních spotřebičích, ekonomika investičního a provozního pohledu velí zvolit sklad @40 bar, pokud zvažovaný prostor pojme dané množství vodíku. Vstupní tlak pro palivové články je vyžadovaný v nižších jednotkách bar a předcházející komprese je energetickým mrháním neopodstatněně zvyšující cenu vodíku. Jsou-li spotřebiči vozidla, prvotní uskladnění při tlaku 200 bar se jeví jako vhodné i s ohledem na provozní charakteristiku kompresorů, které se nacházejí v následujícím kroku řetězce. Pokud při návrhu docílíme, že vstupní tlak pro kompresory nebude významně klesat pod úroveň 40 bar, jejich pracovní zatížení je energeticky efektivnější.

Při určování celkové plochy vyžadované k umístění skladu je třeba brát v úvahu také rozestupy mezi tlakovými nádobami. Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení [3] uvádí rozestupy mezi nádobami 1,5 m. Tato vzdálenost je však nedostatečná pro snadný přístup vysokozdvížné plošiny, nutné pro pravidelné inspekční úkony. Z tohoto důvodu je vhodné zvážit rozestupy mezi nádobami alespoň 4 m. Výše zmíněna metodika také stanovuje ochranné zóny kolem tlakových nádob na vodík – 5 m od zdrojů tepla a ohně, CNG a LNG technologií; 8 m od úložišť pohonných hmot, čerpacích stanic, staveb z hořlavých hmot, sání vzduchotechniky, veřejných komunikací a parkovišť.

2.7. Optimalizace spotřeby během roku

Je-li velikost hlavního skladu vyrobeného vodíku pro daný prostor nevyhovující lze ji snížit optimalizací spotřeby. Např. pro elektrolyzáru napájený energií z FVE je denní výroba vodíku typicky nejvyšší v letních měsících. Pokud by v tomto případě byla spotřeba vodíku rovnoměrně rozložena po celý rok, zastavěná plocha skladu vodíku by měla nepřipustně velké rozměry, nebo by docházelo k situaci, kdy je v létě vyrobeno přebytečné množství vodíku, který není, jak spotřebovat a zároveň v zimě by docházelo k převisu spotřeby nad výrobou, tedy pro požadovanou potřebu vodíku by letní zásoby byly nedostačující. Rozdíl mezi minimálním množstvím skladovaného vodíku dosaženého v době podvýroby a maximálním množstvím skladovaným v době přebytku přímo určuje minimální velikost hlavního skladu. Z tohoto důvodu je vhodné maximalizovat využití vodíku v době nadvýroby a zároveň utlumit spotřebu v době podvýroby. Jsou-li spotřebičem autobusy hromadné dopravy, lze např. vozidla v období nadvýroby nasadit na energeticky náročnější linky (delší, s častějším stoupáním apod.), případně, je-li to možné, uvést do provozu více vozidel. Naopak během podvýroby mohou vozidla obsluhovat energeticky méně náročné linky, příp. být nahrazena záložními vozidly s jiným pohonem. Případy, kdy měníme počet nasazených vodíkových vozidel nejsou ovšem z ekonomického hlediska provozu žádoucí.

2.8., 2.9. Prodej/Nákup – Transport

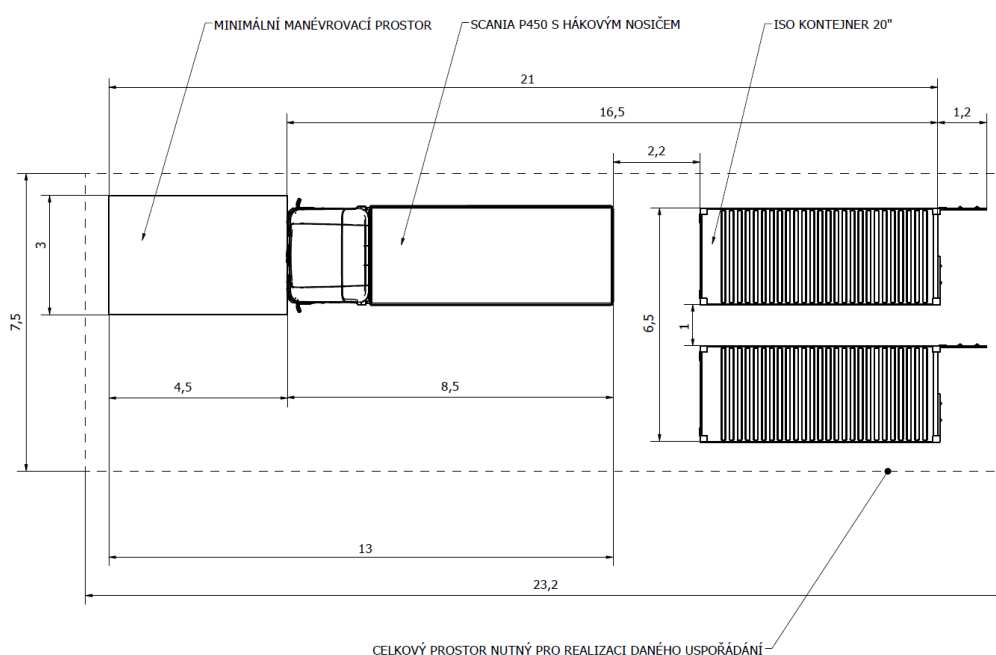
Část skladu je možné už při návrhu koncipovat jako mobilní. Komerčně dostupné 20' ISO kontejnery, kontejnery vybavené AB-Roll systémem či trajlery. Mobilní část skladu hraje svou roli i při volbě vhodného způsobu zásobování vlastní vodíkové čerpací stanice (viz. kapitola 3.2.).

Mezi nesporné výhody kontejnerů na vodík vybavených systémem AB-Roll je jednoduchá manipulace. Tento systém je značně zaběhnutý v sektoru odpadového hospodářství a naložení/složení zvládne sám řidič nákladního vozu s hákovým nakladačem během 5 minut a odpadá tak nutnost použití jeřábového

nakladače. Takové nákladní vozy, stejně jako železniční vagóny pro přepravu kontejnerů AB-Roll jsou běžným vybavením dopravců.

Obdobnou jednoduchost při manipulaci nabízí trajlery pro přepravu vodíku. V případech, kdy nastavení vodíkového hospodářství ostrova bude využívat transportu vodíku častěji, může být využití vodíkových trajlerů pro svou vyšší přepravní kapacitu výhodnější. Předpokladem je, že trajler nezůstane na jednom místě déle, než cca 2 dny. Ekonomické posouzení takového řešení je nutné pro každou lokalitu zvlášť.

Během návrhu dispozice hlavního skladu s předpokládaným transportem vodíku je nutno počítat i s potřebným manipulačním prostorem pro kontejnery. Modelový příklad pro 20' ISO kontejner je na následujícím obrázku, případně více detailů a několik variant najdete v Příloze 2 – ScaniaP450 Abroll



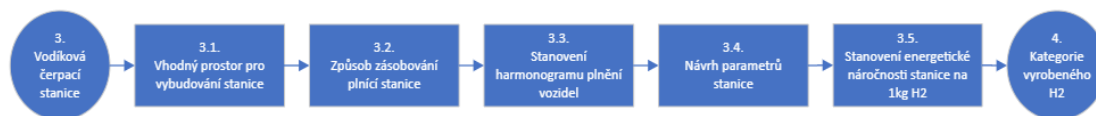
Obrázek 3: Situační plán pro manipulaci s 20' ISO/AB-Roll kontejnery pro přepravu vodíku

Bližší informace ke komerčně dostupným kontejnerům a trajlerům, včetně jejich technických parametrů jsou v Příloze 3 - Kontejnery a trajlery pro přepravu vodíku.

2.10. Stanovení energetické a emisní náročnosti výroby 1 kg vodíku

Důvody a podstata tohoto kroku jsou rozebrány v kapitole 4.

3. Vodíková čerpací stanice



Obrázek 4: Klíčové kroky pro návrh stanice

3.1. Vhodný prostor pro vodíkovou plnicí stanici

Vybavení vodíkové čerpací stanice se skládá z výdejního stojanu, vysokotlakých úložišť pro kaskádové plnění, kompresoru a dalších technologických částí nutných pro její bezpečný provoz.

Při výběru vhodného prostoru zohledňujeme následující kritéria:

- Druh vozidel, které bude stanice obsluhovat (autobusy a nákladní vozy vyžadují jiný manipulační prostor než vozy osobní)
- Dojezdová vzdálenost největší množiny vozidel (tzv. mrtvé kilometry)
- Způsob zásobování stanice a vzdálenost k výrobně vodíku
- Zvýšený provoz nákladních vozidel a jeho dopad na okolní životní prostředí
- Veřejný/neveřejný přístup ke stanici
- Dosah přípojky VN DS elektrické energie
- Majetkové poměry zvažovaných parcel

Tato kritéria velmi často zvýhodňují stávající čerpací stanice PHM.

3.2. Způsob zásobování stanice

Vhodné zásobování stanice závisí hlavně na vzdálenosti plnicí stanice od hlavního skladu výroby vodíku. Přímé připojení stanice pomocí vodíkovodu je pro její provoz sice ideální, nicméně nemusí být z pohledu na celý systém ten nejvhodnější.

Vhodný způsob zásobování navrhujeme s ohledem na následující kritéria:

- Vzdálenost k výrobně vodíku.
- Umožňuje charakter pozemků na trase bezproblémové podzemní uložení vodíkovodu?
- Charakter hlavního skladu výroby vodíku. Např. pokud sklad tvoří i kontejnery pro přepravu @300 bar, či trajler. Kontejnery mohou být využity nejen jako sklad stanice, ale částečně i jako první vysokotlaká sekce, bez nutnosti přepouštění vodíku do stacionárního zásobníku.

3.3. Stanovení harmonogramu plnění vozidel

Klíčovým krokem pro správný návrh stanice je vytvoření harmonogramu plnění jednotlivých spotřebičů během dne.

Důležité je mít na paměti kompromisní přístup ve srovnání s plněním vozidel fosilními palivy, kde jsme si přivykli vysokému standardu této služby. Cílem je „naladit“ harmonogram plnění vodíkem tak, aby

byl v rámci možností co možná maximálně rovnoměrně rozložen do celého dne. Delší doba využití kompresorů snižuje nároky na jejich výkon i objem plněných vysokotlakých sekcí stanice. Opodstatněně nepředimenzovaná stanice se v důsledku výrazně projeví nižším požadavkem na rezervovaný příkon, na objem tlakových sekcí i na velikost zástavby.

Vozidla s tlakovým systémem 700 bar (OV a některá NV) lze plnit i tlakem 350 bar. Je ovšem nutno počítat s dojezdem cca 60 % proti plně 700 bar nádrži. Pokud takto obsluhovaná vozidla nemají denní nájezd přesahující 60 % nominálního dojezdu, zvažte pravidelné plnění pouze na 350 bar.

Příklad záznamu harmonogramu plnění ukazuje Tabulka 2.

Tabulka 2: Příklad záznamu požadovaného harmonogramu plnění

Spotřebič	Čas přistavení	Čas odjezdu	Množství H ₂ [kg]	Tlak [bar]
Autobus 1	20:10	20:30	15	350
Autobus 2	19:50	21:10	18	350
OV 1	7:00	7:15	5	700
NV 1	22:15	5:00	30	350
OV 2	16:30	6:00	4	700
NV 2	18:00	6:00	20	350
...				

3.4. Návrh parametrů stanice

Vodíkové stanice standardně plní vozidla na maximálně 350 bar (autobusy, nákladní vozy) a na 700 bar (osobní a některé nákladní vozy). Absence výdejního tlaku 700 bar na plnicí stanici, vede k velmi výraznému snížení investičních a provozních nákladů.

Prvotní návrh stanice, vycházející z požadovaného harmonogramu plnění, bude obsahovat:

- počet výdejních stojanů jednotlivých tlakových úrovní
- kapacity vysokotlakých sekcí
- výkon kompresorů
- požadovaný rezervovaný příkon připojení nutný pro provoz
- zástavbový prostor stanice

Bude zahrnuta kapacitní rezerva stanice cca 20 % tak, aby mohl vzniknout dostatečný prostor pro případné změny v harmonogramu plnění na základě reálného provozu a nově vzniklých požadavků.

Základem pro návrh by měly tvořit standardní modulární prvky, nezřídka dodavateli drženy skladem. Výhodou jsou rychlé dodací termíny, či krátké časy nepředvídaných oprav. Přehled modulárních vodíkových čerpacích stanic je v Příloze 4 - Modulární vodíkové plnicí stanice.

3.5. Stanovení energetické a emisní náročnosti stanice na 1 kg vydaného vodíku

Důvody důležitosti tohoto kroku jsou podrobně rozebrány v kapitole 4.

4. Energetická a emisní náročnost vodíku v celém řetězci

Akt v přenesené pravomoci k výrobě obnovitelných paliv nebiologického původu jednoznačně definuje podmínky, za kterých vodík spadá do kategorie RFNBO. Musí být vyráběn elektrolýzou za použití tzv. „plně obnovitelné“ elektřiny. Takto vyrobený vodík má povolenou maximální emisní stopu 3,38 kg CO₂/1 kg vyrobeného vodíku (70 % redukce CO₂ oproti fosilnímu komparátoru). Pokud je ale k výrobě využita plně obnovitelná elektřina, je emisní stopa obnovitelného vodíku 0 g CO₂.

Emisní stopa vodíku se hodnotí v celém jeho hodnotovém řetězci od výroby, přes kompresi, transport, plnicí stanici, tedy až po trysku výdejní pistole.

Každý segment řetězce by měl být schopen vydat k vodíku certifikát, kde bude jasně uvedena hodnota emisní stopy.

Hodnoty každého segmentu se sčítají.

Pokud konečný prodejce chce vykázt vydaný vodík jako RFNBO a přispět tím k naplnění cíle 29 % podílu obnovitelné energie v sektoru dopravy v roce 2030, nesmí jeho celková emisní stopa přesáhnout výše zmíněných 3,38 kg CO₂/1 kg.

Příklad:

Výrobce prodá 200 kg vyrobeného vodíku provozovateli sítě vodíkových čerpacích stanic a vydá k němu certifikát s hodnotou 0,5 kg CO₂/1 kg.

Provozovatel sítě spočítá emisní stopu transportu ke konkrétní stanici (1,5 kg CO₂/1 kg).

Vodíková čerpací stanice je napájena z energetického mixu a přidá svou část emisní stopy v hodnotě 0,7 kg CO₂/1 kg).

Provozovatel může vykázt vydaný vodík jako RFNBO, protože celková emisní stopa je 2,7 kg CO₂ /1 kg.

Podrobná analýza unijní legislativy vztahující se na výrobu vodíku je v Příloze 5 - Analýza Unijní Legislativy.

5. Analýza a garance čistoty vodíku

Je-li vodík vyrobený za účelem použití jako paliva, je nutné jeho čistotu kontrolovat. Úroveň čistoty se pro různé typy spotřebičů liší. Využití vodíku v PEM palivových článcích vyžaduje vyšší úroveň čistoty nežli při spalování v motorech vozidel, či kogeneračních jednotek. Je to z toho důvodu, že membrána v palivových článcích vlivem nečistot degraduje a snižuje se celková účinnost, elektrický výkon a významně se zkracuje celková životnost systému.

Každý spotřebič má výrobcem definovanou potřebnou čistotu vodíku tzv. Indexem vodíkového paliva. Ten je určen hodnotou celkového množství plynů odpovídajícího součtu hodnot nevodíkových složek vedených jako sledované nečistoty vyjma částic. Index nabývá hodnot 99,97 % - 50 % dle kategorie a použití spotřebiče. Maximální úroveň zastoupení nečistot pro jednotlivé Indexy vodíkového paliva definuje norma ČSN ISO 14687 [4] – Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu.

Čistota vodíku je pro spolehlivý provoz palivových článků klíčová. Garance čistoty dodaného vodíku bude provozovateli vodíkových čerpacích stanic vyžadována. Již při zadání zpracování projektové dokumentace ostrova je potřeba myslet na místa v technologickém řetězci výroby a event. transportu, kde je nutné a možné bezpečně odebírat vzorky pro následnou analýzu čistoty. Určitým vodítkem může být norma ISO 19880-8 [5] (65 6525) Plyný vodík – Čerpací stanice – Část 8: Kontrola kvality paliva, která popisuje nejen vliv jednotlivých nečistot na palivové články, ale i možné příčiny kontaminace jednotlivými nečistotami v procesu výroby a transportu.

6. Přílohy

- Příloha 1: Varianty zapojení elektrolyzéro
- Příloha 2: ScaniaP450 Abroll
- Příloha 3: Kontejnery a trajlery pro přepravu vodíku
- Příloha 4: Modulární vodíkové plnicí stanice
- Příloha 5: Analýza Unijní Legislativy

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Problémovost posuzování záměru výstavby v dané pozemkové kategorii	7
Tabulka 2: Příklad záznamu požadovaného harmonogramu plnění	13

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Kroky pro správnou definici poptávky	3
Obrázek 2: Klíčové prvky ovlivňující návrh výroby	6
Obrázek 3: Situační plán pro manipulaci s 20' ISO/AB-Roll kontejnery pro přepravu vodíku	11
Obrázek 4: Klíčové kroky pro návrh stanice	12

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CNG: compressed natural gas
DS: distribuční soustava
EU: Evropská Unie
FVE: fotovoltaická elektrárna
LNG: liquified natural gas
N3: kategorie vozidla pro přepravu nákladů nad 12 t
NV: nákladní vozidlo
OV: osobní vozidlo
OZE: obnovitelný zdroje energie
PEM: proton výměnná membrána (Proton Exchange Membrane)
PHM: pohonných hmot
PPA: Power Purchase Agreement, kontrakt pro nákup energie
RFNBO: obnovitelné palivo nebiologického původu
TUV: teplá užitková voda
VN: vysoké napětí, zpravidla 22 kV
VTE: větrná elektrárna
VZV: vysokozdvíhový vozík
WHVC: World Harmonized Vehicle Cycle
WLTP: Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure, jednotná procedura stanovení spotřeby vozidla

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1161 ze dne 20. června 2019, kterou se mění směrnice 2009/33/ES o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel [2019] OJ L 188.
- [2] PwC Česká republika, „Případová studie výstavby elektrolyzérů v několika režimech výroby v České republice“, PwC Česká republika, Praha, Česká republika, březen 2023.
- [3] V. Dynda, Mádle Luděk, a Doucek Aleš, „Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení“, 7. března 2019.
- [4] ČSN ISO 14687. *Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, Třídící znak 656520
- [5] ČSN ISO 19880-8. *Plynný vodík – Čerpací stanice – Část 8: Kontrola kvality paliva*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, Třídící znak 656525