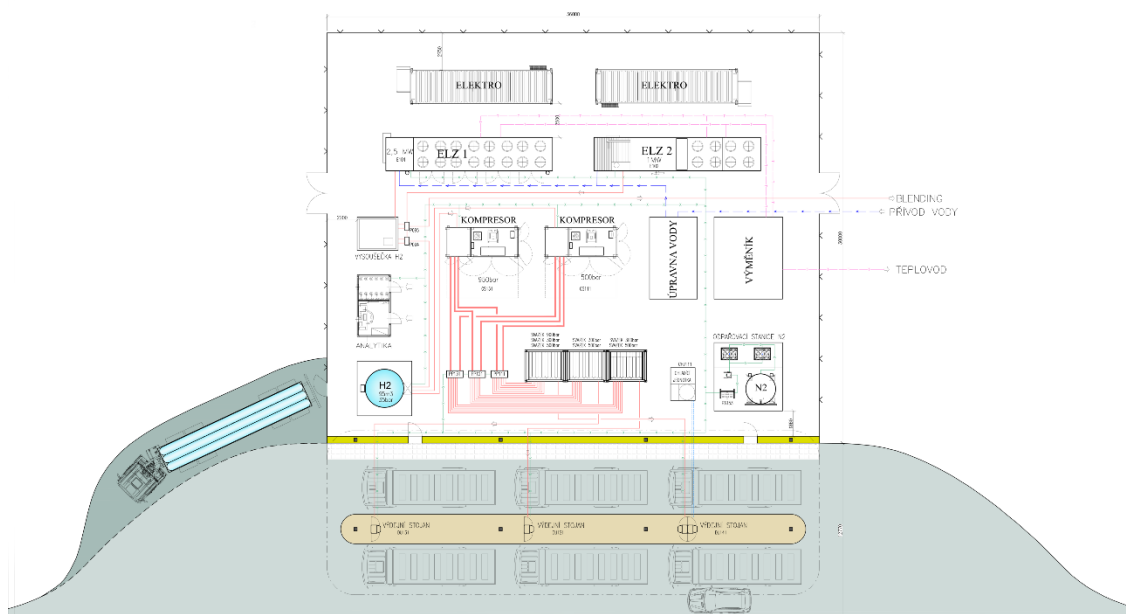


Optimalizace ostrovního vodíkového hospodářství v energetickém centru



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

NÁZEV VÝSLEDKU

Optimalizace ostrovního vodíkového hospodářství v energetickém centru

PROJEKT

Národní centrum vodíkové mobility (TN02000007)

NÁZEV DÍLČÍHO PROJEKTU

Metodika rozvoje ostrovních řešení pro akceleraci vodíkové mobility

ZPRACOVATEL

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

APT, spol. s r.o.

Česká vodíková technologická platforma

EGÚ Brno, a.s.

Západočeská univerzita

AUTORSKÝ TÝM

Bronislav Vahalík, Vojtěch Přikryl, Petr Polanský, Roman Smutný (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.)

Vladimír Dynda, Martin Levý, Luděk Mádle (APT, spol. s r.o.)

Jan Sochor (Česká vodíková technologická platforma)

Zdeněk Přibyl, Jakub Pelčák (EGÚ Brno, a.s.)

Jakub Ševčík, Jan Přikryl (Západočeská univerzita)

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Vstupní parametry	5
2.1	Zdroj elektrické energie a tepla	5
2.2	Vozový park v lokalitě	5
2.3	Nabíjecí hub	6
2.4	Předávací stanice VVTL	6
3	Koncept ostrovního řešení	6
3.1	Inženýrské sítě.....	8
4	Spotřebiče vodíku	8
4.1	Nákladní flotila	8
4.2	Veřejné plnění.....	9
4.3	Vtláčení do plynovodu	9
5	Výroba vodíku.....	10
5.1	Klasifikace vyrobeného vodíku.....	12
6	Využití odpadního tepla	13
7	Vodíková čerpací stanice	14
8	Vtláčecí jednotka	16
9	Vodíkovod	17
10	Vodíková nákladní vozidla na českém trhu	17
11	Ekonomické zhodnocení.....	18
11.1	Vstupní náklady.....	18
11.1.1	Výrobna vodíku	18
11.1.2	Úložiště.....	18
11.1.3	Vodíková čerpací stanice.....	19
11.1.4	Příslušenství.....	19
11.1.5	Vtláčecí jednotka.....	19
11.1.6	Vodíkovod.....	19
11.1.7	Horkovod a tepelné čerpadlo	19
11.1.8	Další náklady	20
11.2	Provozní náklady	20
11.2.1	Elektřina	20

11.2.2	Údržba	21
11.2.3	Spotřeba vody	21
11.2.4	Využití odpadního tepla	21
11.3	Výsledná cena	22
11.4	Rozdělení ceny	22
11.5	Varianta bez vtláčení.....	23
11.6	Vodíková nákladní vozidla.....	25
12	Dotace	25
13	Cena přepravy.....	27
14	Čistota vodíku	27
15	Závěr	28
16	Seznam příloh	29
17	Seznam obrázků.....	29
18	Seznam tabulek.....	29
19	Seznam literatury.....	30
20	Seznam zkratk.....	31

1 Úvod

Tento dokument se zabývá návrhem ostrovního vodíkového řešení, které propojuje výrobu vodíku s jeho využitím ve veřejné čerpací stanici. Představuje možnosti optimálního a maximálně kompatibilního začlenění takového ostrovního vodíkového řešení do stávajícího energetického centra, kde je možné předpokládat dostupnost výroby elektřiny fotovoltaickou elektrárnou v kombinaci s výrobou elektřiny spalováním biomasy. Uvažuje spotřebu vyrobeného vodíku především jako paliva pro flotilu nákladních vozidel, zároveň se zabývá i možnostmi vtláčení vodíku do plynárenské sítě a využití vodíku pro příležitostné plnění vozidel na veřejné vodíkové čerpací stanici (VČS). Zdůrazněme, že možnost vycházet z pevně parametricky definované a stabilní poptávky po vodíku se ukazuje v tomto dokumentu jako klíčová výhoda při optimalizaci návrhu vodíkového ostrovního řešení.

Kromě technických a ekonomických aspektů se dokument zaměřuje i na využití vedlejších produktů, například odpadního tepla, a hodnotí také legislativní i dotační podmínky projektu. Popsaný způsob možného optimalizovaného návrhu může sloužit jako model pro budoucí rozvoj české sítě vodíkových čerpacích stanic.

2 Vstupní parametry

Pro účely optimálního návrhu uvažovaného ostrovního řešení a ověření jeho proveditelnosti je nutné vycházet ze znalosti základní parametrizace uvažovaného energetického centra, tj. parametrizace zdrojů elektrické energie, stejně jako spotřebních charakteristik spotřebičů, popis uvažovaného vozového parku vodíkových vozidel, parametrizace další přítomných spotřebičů elektrické energie a parametrizace další relevantní infrastruktury v lokalitě. Uvažujeme proto v tomto dokumentu následující konkrétní vstupní předpoklady.

2.1 Zdroj elektrické energie a tepla

Zdroj energie pro plánované ostrovní řešení předpokládáme jako součást energetického centra napájející např. lokální distribuční síť (LDS). Uvažujeme dva dostupné druhy výroby elektrické energie:

1. Fotovoltaická elektrárna (FVE) o vyšším instalovaném výkonu, např. 30 MW_p. Uvažujeme, že vyrobená energie tímto zdrojem může být/je plně k dispozici pro navrhovanou výrobu vodíku.
2. Výrobní energie spalující biomasu, např. dřevní štěpku, o vyšším výkonu, který přesahuje potřeby ostrovního vodíkového řešení. Vyrobená elektrická energie spalováním biomasy bude sloužit k pokrytí spotřební křivky v době, kdy FVE vyrábí méně energie.

2.2 Vozový park v lokalitě

Uvažujeme, že v blízkosti energetického centra se nachází větší výrobní/zpracovatelský závod s parametricky daným vozovým parkem nákladních vozů, které slouží k převozu vstupních surovin a materiálů a vyrobeného zboží/polotovaru. Pro příklad budeme v tomto dokumentu uvažovat

zpracovatelský závod v jehož areálu operuje flotila 18 nákladních vozidel. 8 z těchto vozidel jsou cisternová vozidla s vlekem a zbylých 10 jsou tahače s návěsem přepravující hotové výrobky. Vozidla jsou v provozu 7 dní v týdnu, tahače jsou v provozu mezi 6:00 – 15:00, cisterny mezi 5:00 – 23:00.

Tato flotila se nabízí jako vhodný spotřebitel vodíku vyrobeného v ostrovním řešení. Vozidla by byla nahrazena vodíkovými nákladními vozy s palivovými články.

Dále uvažujeme, že v blízkosti energetického centra se nachází silnice/dálnice, která je součástí transevropské globální silniční sítě, a tedy předpokládáme zájem o využití veřejné VČS případně i o využití dobíjecí stanice bateriových vozidel.

2.3 Nabíjecí hub

Paralelně k plánům na vybudování vodíkového ostrovního řešení s VČS proto uvažujeme v blízkosti energetického centra výstavbu nabíjecího hubu pro elektrická bateriová vozidla. Předpokládáme, že nabíjecí hub může být určen i k nabíjení nákladních vozidel, a tedy předpokládáme výstavbu 10 nabíjecích bodů každý o maximálním nabíjecím výkonu např. 400 kW. Pro nabíjecí hub je vyhrazeno 2 MW energie vyrobené spalováním biomasy v uvedené výrobně el. energie. Dalších 1,6 MW výkonu zajistí bateriové úložiště o kapacitě 5 MWh. Předpokládáme, že většina bateriových vozidel se bude nabíjet v pracovní dny, o víkendu méně. Na základě expertního odhadu uvažujeme, že o víkendu bude využito max. 20 % nabíjecí kapacity.

2.4 Předávací stanice VVTL

Dále uvažujeme napojení energetického centra na velmi vysokotlaký (VVTL) plynovod, který slouží k tranzitu zemního plynu. Průtok plynu předpokládáme v průběhu roku proměnlivý v závislosti na spotřebě plynu, plnění plynových zásobníků apod. Předpokládáme pevně daný roční odhad těchto proměnlivých průtoků plynu za každý den v roce jako známý vstup pro optimalizovaný návrh ostrovního řešení.

3 Koncept ostrovního řešení

Na základě výše popsaných informací a vstupních předpokladů můžeme navrhnout koncept ostrovního řešení, jehož konkrétní příklad ukazuje Obrázek 1.



OBRAZEK 1 – PŘÍKLAD KONKRÉTNÍHO SCHÉMA OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ

- Žlutě je znázorněn areál energetického centra,
- tmavě modře je znázorněn areál výrobního/zpracovatelského závodu,
- světle modře je znázorněn pozemek určen pro stavbu výroby vodíku, plnicí stanice,
- tmavě zeleně je znázorněno umístění nabíjecího hubu,
- fialově je označena předávací stanice zemního plynu VVTL,
- oranžově je označena část vedení stávajícího horkovodu,
- červeně je návrh rozšíření horkovodu,
- světle zeleně je označen vodíkovod.

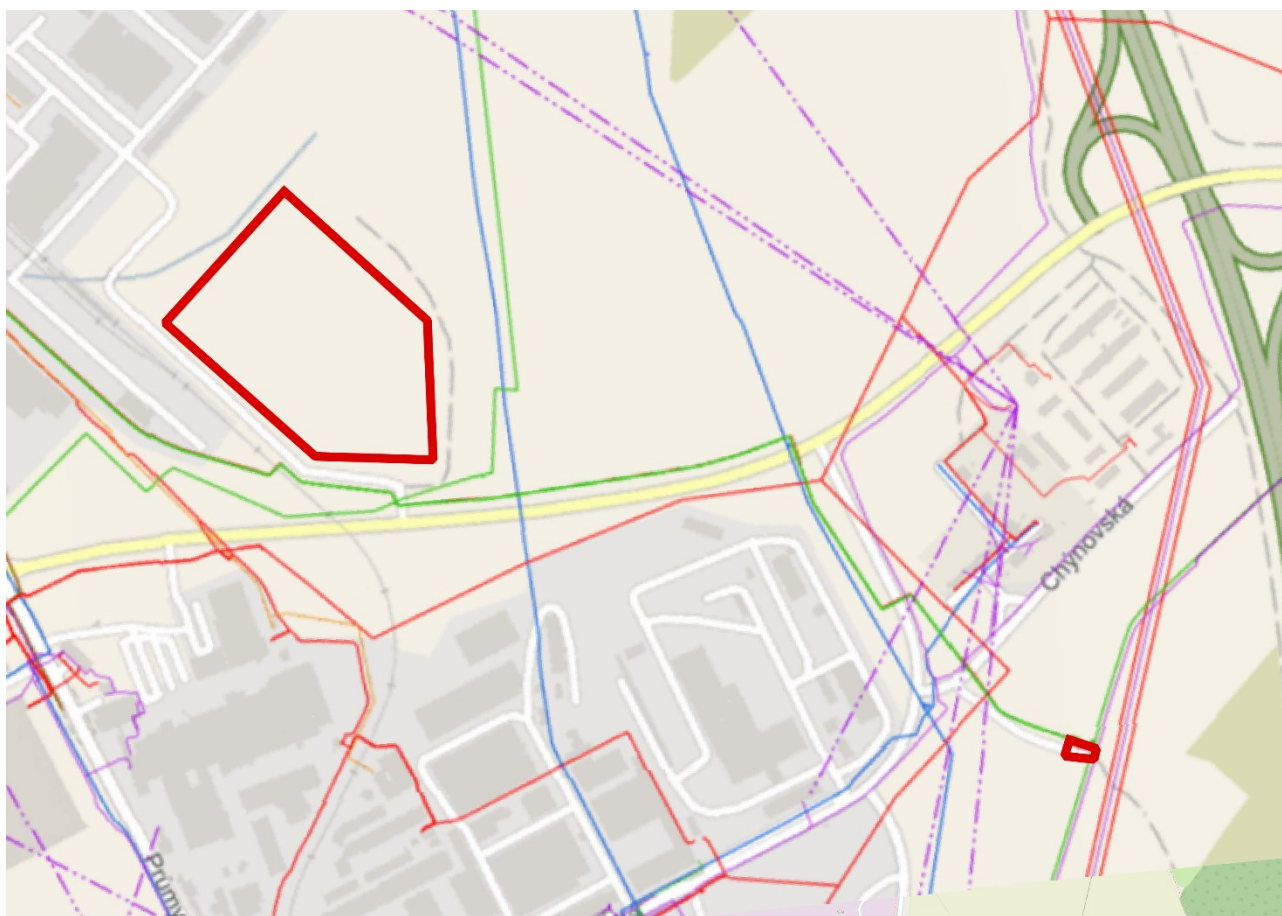
Na pozemku vyznačeném světle modrou barvou budou vybudovány výroba vodíku a vodíková čerpací stanice (VČS). Hlavním zdrojem elektrické energie pro elektrolyzátor bude 30 MW_p z předpokládané FVE. V době, kdy nebude FVE vyrábět dostatek elektřiny, bude křivka potřebné elektrické energie doplněna energií ze spalování biomasy. Vzhledem k přítomnosti silnice/dálnice, která je součástí transevropské globální silniční sítě bude stanice provozována jako veřejně přístupná.

Při optimálním návrhu ostrovní řešení můžeme také zvážit další možnosti spotřeby vodíku, případně při výrobě vodíku vznikajícího odpadního tepla. Je možné např. zvažovat provoz vtláčecí jednotky, která by vtláčela vyrobený vodík do tranzitní větve plynovodu tak, aby došlo k tvorbě směsi zemního plynu a vodíku s konstantním složením. Výroba elektrolyzátoru pak bude nastavena tak, aby byl

vyroben dostatek vodíku pro provoz VČS i vtláčecí jednotky. Odpadní teplo vzniklé provozem elektrolyzátoru může být využito k předehřevu vratky jedné z lokálních větví rozvodu centralizovaného zásobování teplem (CZT).

3.1 Inženýrské sítě

Obrázek 2 ukazuje umístění inženýrských sítí v konkrétní příkladové oblasti plánovaného ostrovního řešení. Uvažujeme, jak je také na obrázku zřejmé, že v červeně zvýrazněných oblastech – tj. především v oblastech realizace plánované VČS, výroby vodíku – se nenachází žádné inženýrské sítě, které by mohly komplikovat realizaci ostrovního řešení.



OBRÁZEK 2 – PŘÍKLAD ROZMÍSTĚNÍ INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ V LOKALITĚ

4 Spotřebiče vodíku

4.1 Nákladní flotila

Jak již bylo specifikováno v kapitole 2.2, jako primární spotřebič vyrobeného vodíku bude uvažována flotila nákladních vozidel, která může např. operovat v blízkém výrobním/zpracovatelském závodě. Předpokládáme flotilu 18 vozidel, z nichž 8 vozidel jsou svozové cisternové vozy s vlekem a 10 vozidel jsou soupravy tahačů s návěsy. Předpokládáme dále denní nájezd každého z vozidla do cca 300 km a jejich provoz 7 dní v týdnu. V případě, že by byl nájezd vozidel vyšší (např. nad 500 km denně, zpravidla způsoben např. dálkovou přepravou zboží), není zpravidla možné předpokládat

využití běžných vodíkových nákladních aut s nádržemi na tlaku 350 bar. Řešením by v takovém případě bylo nahrazení takových vozidel (s delším nájezdem) nákladními vozidly s nádržemi na tlaku 700 bar, nebo dotankování těchto vozidel mimo ostrovní řešení v rámci delší cesty. Pro ekonomicky optimální ostrovní řešení a za předpokladu nájezdu naprosté většiny vozidel do 300 km/den je uvažováno plnění ojedinělých vozidel s delším nájezdem v průběhu cesty kvůli investiční náročnosti vybudování vodíkové čerpací stanice schopné obsloužit příležitostně nákladní vůz s 700 bar nádrží. Dále uvažujeme spotřebu svozových vozidel o 20 % vyšší než spotřebu souprav. Na základě hodnot běžných pro vodíková nákladní vozidla na trhu [1] byla spotřeba souprav stanovena na 8,9 kg H₂ na 100 km a spotřeba svozových vozidel pak na 10,6 kg H₂ na 100 km. Celková spotřeba flotily vychází 520 kg H₂ denně.

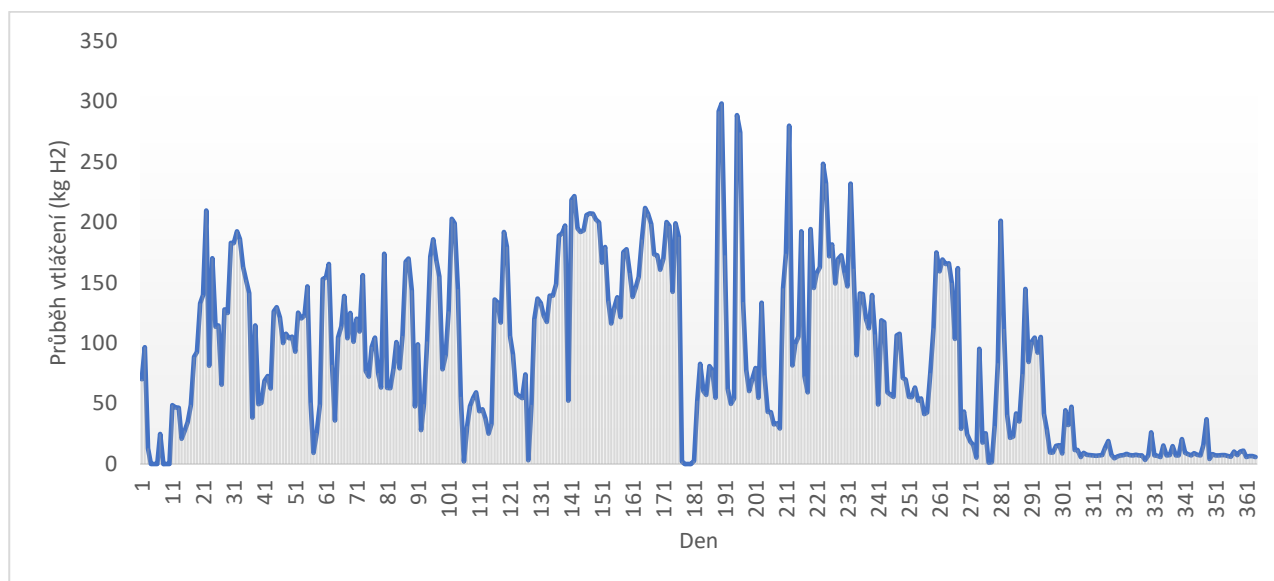
4.2 Veřejné plnění

Jelikož VČS je plánována s veřejným přístupem je nutné ke spotřebě nákladní flotily přičíst rezervu pro příležitostné plnění veřejností. Na základě expertního odhadu bylo množství vodíku nutného pro pokrytí veřejné poptávky stanoveno na 100-200 kg H₂. Ročně je tedy k naplnění spotřeby flotily i veřejnosti nutno vyrobit 220-256 t vodíku.

4.3 Vtláčení do plynovodu

Jak jsme již uvedli, dále předpokládáme blízkost navrhovaného ostrovního řešení k předávací stanici VVTL plynovodu. Z tohoto důvodu se nabízí možnost vybudování vtláčecí jednotky pro vtláčení vodíku do tranzitního plynovodu plynárenské sítě. Vodík může být vtláčen v takovém množství, aby byl poměr vodíku a zemního plynu ve směsi co nejvíce stabilní. Samotná regulace vtláčování probíhá na základě konstantního spalného tepla vzniklé směsi. Za předpokladu znalosti hodnot průtoků zemního plynu ve větvi VVTL napojené na předávací stanici (viz Obrázek 1 – fialově) je možné určit přesné množství možného vodíku určeného pro vtláčení.

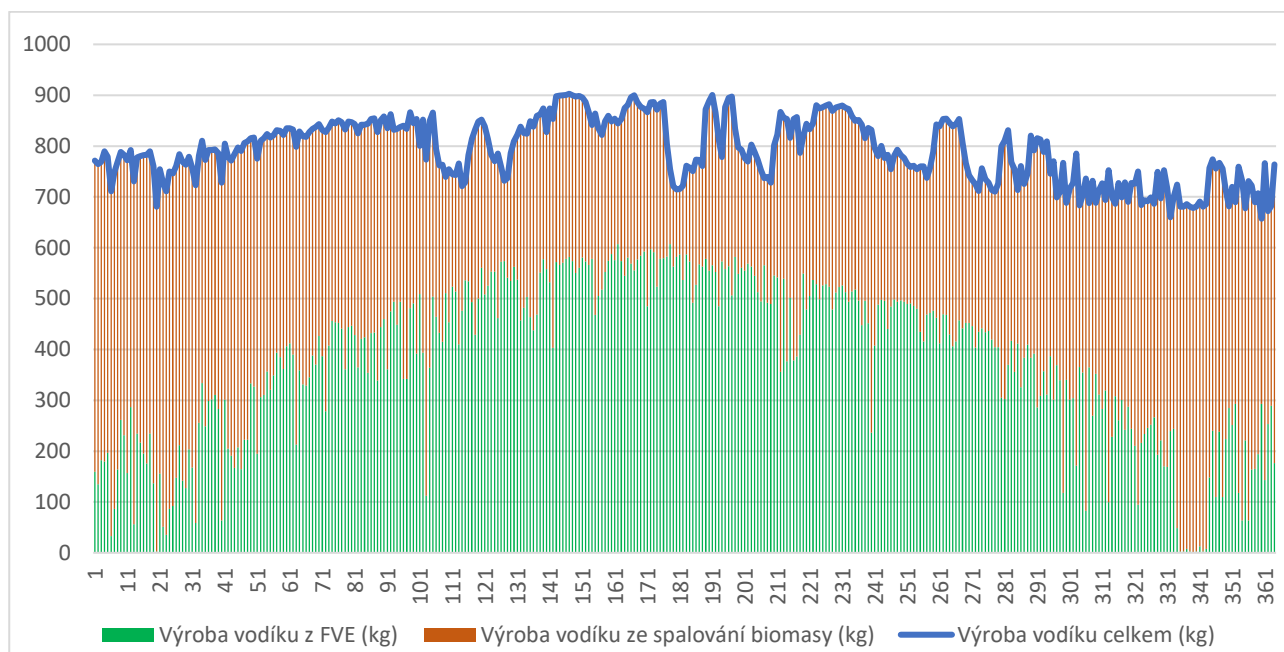
Uvažujme dále konkrétní příklad dat o denních průtocích zemního plynu ve větvi VVTL napojené na předávací stanici. Příklad průběhu vtláčení vodíku do plynové soustavy v průběhu roku ukazuje Obrázek 3. Při zachování největší možné míry stability dodávek je možné v navrhovaném ostrovním řešení vtláčet množství vodíku tvořící cca 0,06 % průtoku zemního plynu, tedy max. 300 kg H₂ denně. Uvedený příklad návrhu je konzervativní, pokud by bylo možné do plynové soustavy vtláčet kolísavé množství je možné tuto hodnotu značně navýšit.

**OBRAZEK 3 – PŘÍKLAD PRŮBĚHU VTLÁČENÍ VODÍKU**

5 Výroba vodíku

Z popisu předpokládaných spotřebičů v kapitole 4 je zřejmé, že pro potřeby ostrovního řešení je nutný elektrolyzátor o výrobní kapacitě přes 900 kg H₂ denně. Tato výrobní kapacita zhruba odpovídá elektrolyzátoru s výkonem přes 2 MW. Pro ostrovní řešení je vhodné využít elektrolyzátor s aniontovou membránou (AEM), který díky své vysoké účinnosti umožňuje vyrábět větší množství vodíku za nižší náklady než ostatní dostupné technologie [2]. Tento typ elektrolyzátorů je složen z několika menších celků, takže při poruše části je výroba stále zachována. Na trhu jsou tyto elektrolyzátory dostupné v 2,5 MW, 1 MW nebo 0,5 MW jednotkách, které jsou spojovány do větších celků. Pro ostrovní řešení lze využít 3 ks 1 MW elektrolyzátoru, nebo 1 ks 2,5 MW elektrolyzátoru a 1 ks 1 MW elektrolyzátoru. Řešení s dvěma elektrolyzátory je výhodnější z hlediska úspory prostoru i nákladů. Toto řešení umožní pokračovat ve výrobě vodíku za snížené kapacity v případě poruchy jednoho z elektrolyzátorů, a také umožní elektrolyzátory standardně provozovat průměrně na cca 50 % nominální kapacity (regulace výkonu elektrolyzátorů se pohybuje od 16 % do 70 %), což povede k vyšší energetické efektivitě výroby, delší životnosti, a v případě budoucího rozvinutí poptávky po vodíku v regionu i dostatečné kapacity pro zvýšení výroby bez výrazných dodatečných investičních nákladů.

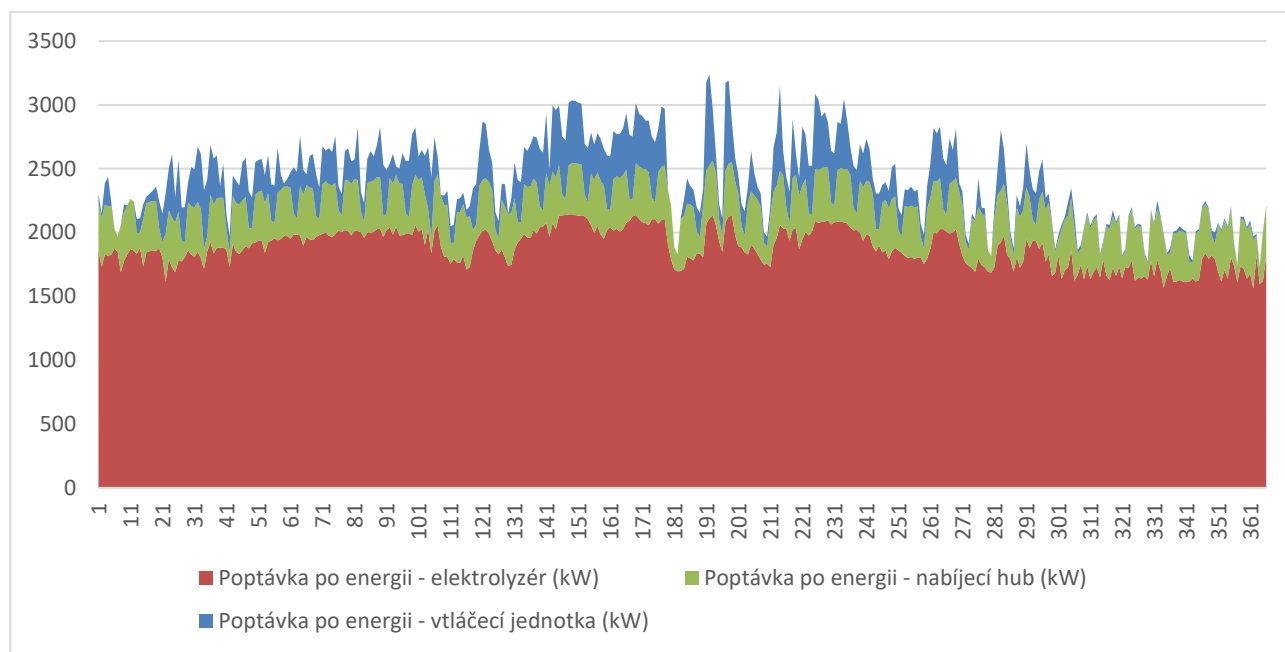
Zdrojem energie pro elektrolyzátor bude předpokládaná 30 MW_p FVE v době, kdy bude vyrábět, a předpokládané spalování biomasy v případech, kdy množství energie z FVE je nedostatečné. Příklad výrobní křivky elektrolyzátoru v průběhu roku zobrazuje Obrázek 4.

**OBRAZEK 4 – PŘÍKLAD VÝROBNÍ KŘIVKY ELEKTROLYZÉRU**

Celkem se v navrhovaném elektrolyzáru vyrobí 290 t H₂ ročně, z toho – při uvažování konkrétního příkladového výrobního profilu FVE – je 139 t H₂ vyrobeno z FVE elektřiny a 151 t H₂ z elektřiny vzniklé spalováním biomasy.

Součástí výroby vodíku by měla být kromě samotných elektrolyzáru také sušící jednotka zajišťující požadovanou čistotu vodíku pro použití v palivových článcích vozidel, vyrovnávací zásobník a demineralizační jednotka úpravy vody z vodovodního řádu. V návrhu výroby by se mělo také počítat také s prostorem vyhrazeným pro analyzační techniku pro základní kontrolu čistoty vodíku.

Obrázek 5 znázorňuje denní poptávku po elektrické energii. Řízení výkonu elektrolyzáru není jen s ohledem na požadované množství vodíku, ale rovněž s ohledem na spotřební křivku nabíjecího hubu elektrických vozidel, jak je popsán v kapitole 2.3 a vtláče jednotky popsané v kapitole 4.3. Cílem je dosáhnout co možná nejvíce vyrovnaný výkon na straně výroby elektřiny.

**OBRÁZEK 5 – PŘÍKLAD POPTÁVKY PO ENERGII V OSTROVNÍM ŘEŠENÍ**

5.1 Klasifikace vyrobeného vodíku

Klasifikace vodíku vyrobeného v ostrovním řešení je přímo navázaná na možnost získat dotační podporu. Legislativa Evropské unie rozlišuje mezi 3 druhy vodíku. RFNBO (Renewable fuel of nonbiological origin) vodík, který je považován za plně obnovitelný, LCH (Low carbon hydrogen) vodík, který je nízkouhlíkový a neobnovitelný vodík, který nepatří do předchozích dvou kategorií. Pravidla pro klasifikaci vodíku jsou specifikována v delegovaných aktech [3], které jsou součástí směrnice REDIII [4]. Dle současných pravidel je možné za RFNBO uznat výše zmíněných 139 t vodíku vyrobeného pomocí FVE. Zbylých 151 t je vyrobeno z biologického zdroje, a tedy nemůže být RFNBO. Pravidla pro klasifikaci LCH nejsou v době vzniku tohoto dokumentu oficiálně schválená, nicméně dle posledního (finálního) návrhu platí, že LCH je takový vodík, který má emisní stopu pod 3,38 kg CO₂ ekv. na výrobu 1 kg H₂.

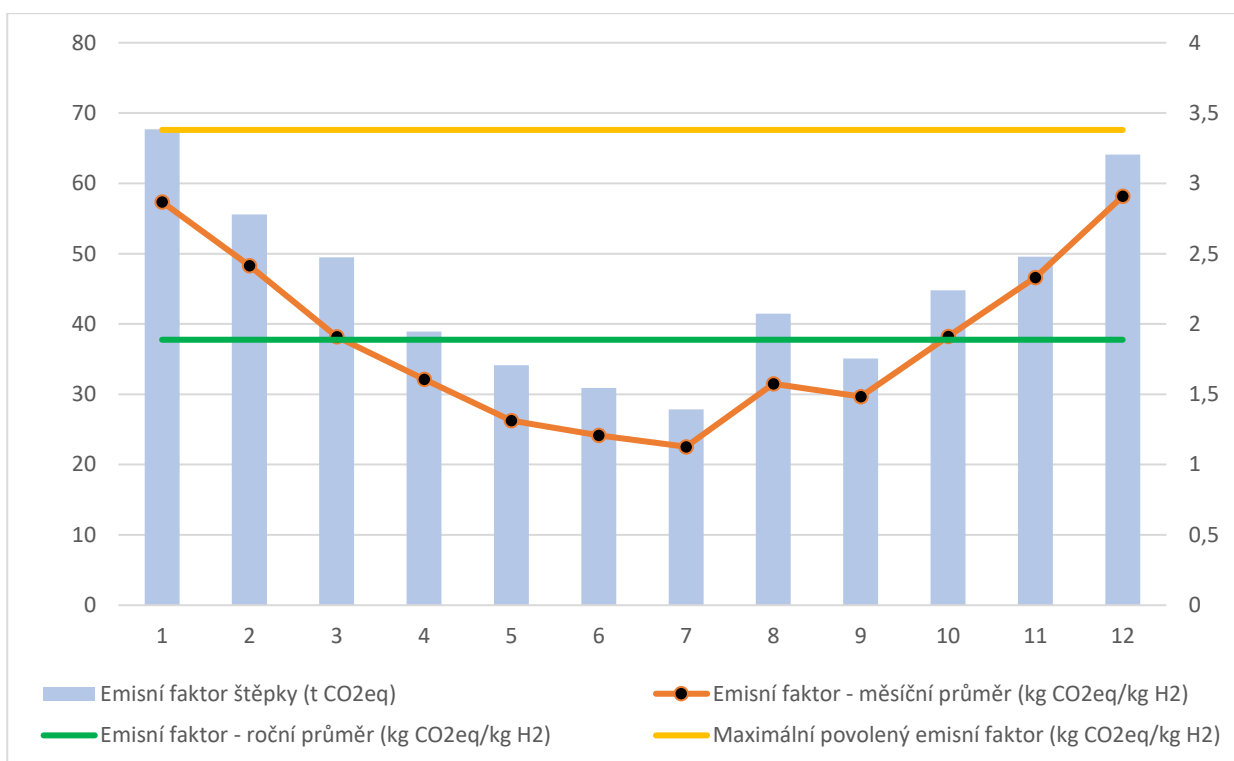
Využití kombinace elektřiny vyrobené spalováním biomasy a FVE pro výrobu LCH vodíku je bohužel v evropských pravidlech nejasně definované. Uvažujme dále pro konkrétní diskusi problematiky klasifikace, že spalováním biomasy se rozumí spalování dřevní štěpky. Existují dvě možnosti, jak na takovou výrobu el. energie ve vztahu k výrobě vodíku nahlížet.

První možností je se dívat na elektřinu ze štěpky jako na nízkoemisní elektřinu s vlastní emisní stopou. Do této emisní stopy se nepočítá samotné spalování dřevní štěpky, pouze „upstream“ emise, tedy zpracování štěpky, svoz atd. Dle dostupné literatury jsou tyto emise zhruba 17,44 g CO₂ ekv. na GJ vyrobené energie [5], což je ekvivalentní 3,58 kg CO₂ ekv. na kg H₂. Tato hodnota je tedy vyšší, než je přípustné dle finálního návrhu legislativy pro klasifikaci LCH. Evropská legislativa by v tomto případě nabízela 2 scénáře klasifikace vodíku vyrobeného v ostrovním řešení.

- 1) Všechny vodík vyrobený z FVE bude označen jako RFNBO a všechny vodík vyrobený z dřevní štěpky bude označen jako neobnovitelný. Vznikne 139 t RFNBO a 151 t neobnovitelného vodíku.
- 2) Emisní stopa obou skupin se zprůměruje v rámci období jednoho měsíce. Jelikož emisní stopa vodíku vyrobeného pomocí FVE je legislativně stanovena jako nulová, dojde ke snížení emisní stopy pod hladinu 3,38 kg CO₂ ekv. na kg H₂ (průměrná emisní stopa 1,89 kg CO₂ ekv. na kg H₂, nejvyšší emisní stopa 2,91 kg CO₂ ekv. na kg H₂). Vznikne 290 t LCH vodíku.

U scénáře 2 je třeba mít na paměti, že možnost průměrovat emise na měsíční bázi je v současnosti povolena pouze do roku 2030. Po začátku tohoto roku se budou emise počítat v období jedné hodiny a scénář 2 by se tím stal nepoužitelným. Nicméně před tímto rokem dojde k revizi legislativy a hodinová korelace emisí je v současnosti poměrně kontroverzní a může dojít k jejímu přehodnocení.

Příklad přehledu emisní stopy vodíku vyrobeného v ostrovním řešení v průběhu roku ukazuje Obrázek 6.



OBRAZEK 6 – EMISNÍ FAKTOR VYROBENÉHO VODÍKU V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH

6 Využití odpadního tepla

Elektrolyzéry popsané v kapitole 5 při svém provozu produkují značné množství tepla. Typicky je tepelný výkon až 30 % z celkového příkonu. V námi uváděném konkrétním příkladu ostrovního řešení to znamená, že je celkem k dispozici až 750 kW tepelného výkonu. Za předpokladu, že je z uvažovaného energetického centra taktéž dodáváno teplo pro blízké obce a/nebo lokální průmyslové areály, je výhodné možný tepelný výkon využít k ohřevu zpětného toku vody

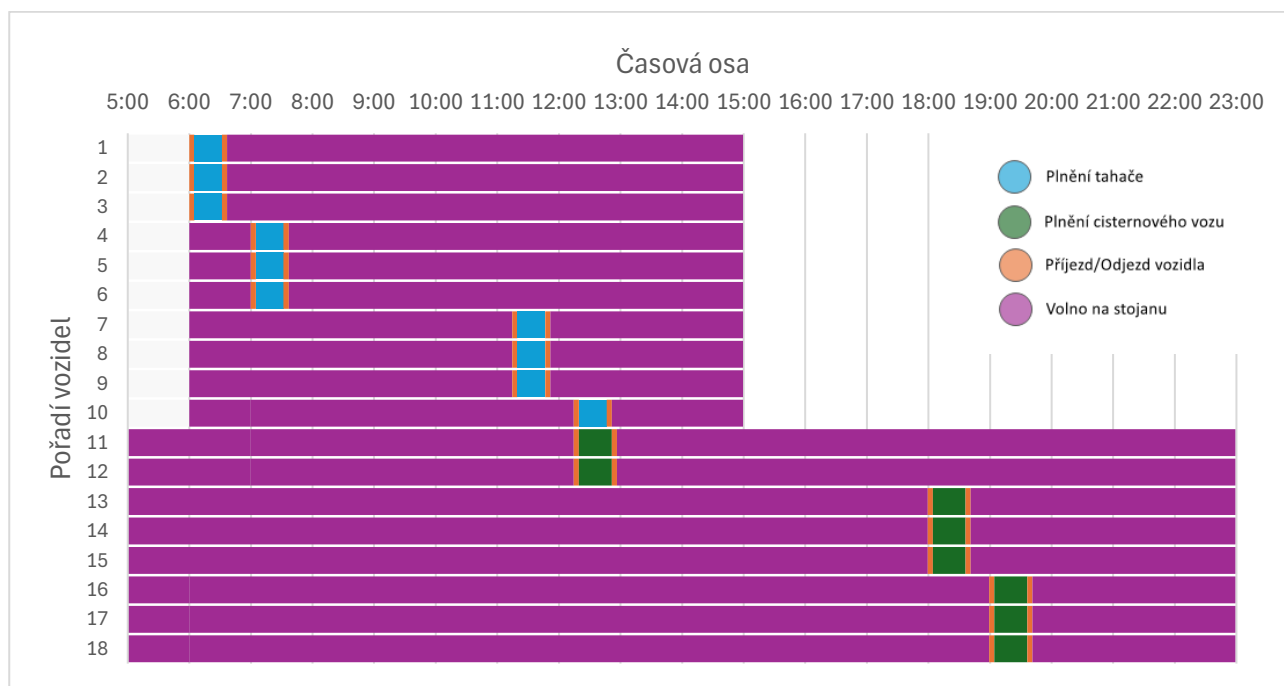
z horkovodu. Z tohoto důvodu by může být součástí optimálního návrhu výroby vodíku tepelný výměník, zvláště pak, nachází-li se v blízkosti navrhované instalace elektrolyzérů trasa horkovodů CZT. Pro příklad uvažujme situaci, kterou znázorňuje Obrázek 1, kde leží horkovod cca 150 m od místa instalace elektrolyzérů a je tak možné a vhodné uvažovat o propojení prodloužením vratné větve horkovodu. Pro efektivní využití odpadního tepla je optimální zvýšit jeho potenciál využitím tepelného čerpadla. Při využití čerpadla s 44 % účinností a topným faktorem 4,5 by čerpadlo mělo v námi uváděném příkladě elektrický příkon 300 kW a dodávalo by 8,8 GWh tepla ročně. Roční spotřeba čerpadla by byla cca 2 GWh, teplota na výstupu z tepelného čerpadla 85 °C.

V případě nemožnosti využití odpadního tepla pro ohřev vody v rozvodu CZT lze alternativně zvažovat využití odpadního tepla např. pro předehřev zemního plynu, který může být v uvažovaném energetickém centru spalován v kogenerační jednotce. I tato varianta pak zvyšuje účinnost navrhovaného optimalizovaného ostrovního řešení.

7 Vodíková čerpací stanice

Návrh vodíkové stanice vychází převážně z předpokládaného plnicího režimu parametricky definované flotily popsané v kapitole 4.1. Pro námi uváděný konkrétní příklad a na základě znalosti průběhu směn jednotlivých vozů flotily 18 nákladních vozidel, mohou být vytipována časová okna, ve kterých probíhá plnění vozidel. Plnění vozidel je nutné, v rámci možností, rozložit do pracovního dne tak, aby došlo k optimálnímu rozložení časových prodlev mezi jednotlivými plnicími okny. Tím se sníží náročnost plnění, a tedy požadavky na výkon stanice. 10 tahačů uvažujeme v provozu mezi 6:00 a 15:00 a jejich plnicí okna tedy mohou být stanovena na začátek směny mezi 6:00-8:00 a při polední pauze mezi 11:00 a 13:00. Uvažovaných 8 cisteren předpokládáme v provozu mezi 5:00-23:00 a jejich plnicí okna tedy mohou být stanovena rovněž mezi 11:00 a 13:00 a mezi 18:00 a 20:00.

Standardní výdejní rychlost VČS je 1 kg H₂ za min na jednom výdejním stojanu. Tímto tempem je možné celou uvažovanou flotilu nákladních vozidel naplnit pouze pokud bude současně plněno více vozidel. Čerpací stanice by tedy měla být navržena tak, aby umožnila plnění až tří nákladních vozidel současně plnicím tlakem 350 bar. Příklad harmonogramu plnění předpokládané vodíkové flotily ukazuje Obrázek 7.

**OBRÁZEK 7 – PŘÍKLAD HARMONOGRAMU PLNĚNÍ VODÍKOVÉ FLOTILY**

Fialově je v harmonogramu vyznačena uvažovaná délka směn jednotlivých vozidel, oranžově je vyznačena doba nutná k přistavení a odstavení vozidla od stanice (5 min), modře je označena doba plnění tahačů, zeleně je označena doba plnění cisteren.

Stanice je kromě flotily přístupná také veřejnosti. V případě, že bude zájem o naplnění nákladního vozidla, které není součástí uvažované flotily, bude stanice dostupná mimo výše popsaná plnicí okna. Pro naplnění osobních vozidel bude součástí stanice také plnicí stojan pro 700 bar plnění, který bude schopen vydat 20 kg H₂ za den (cca 4 plné nádrže). Příjezd k výdejním stojanům by měl být navržen obousměrně tak, aby nebylo znemožněno plnění vozidel s plnicím hrdlem na opačné straně.

Navrhovaná vodíková čerpací stanice, která splňuje výše popsaná kritéria a je schopna zajistit výše popsaná plnění, sestává z následujících prvků:

- 2 kompresorové jednotky s max. kompresním tlakem 500 bar a 900 bar – výkon při vstupu 30 bar: 26 kg/h – nominální elektrický příkon každé kompresorové jednotky je 90 kW.
- Vysokotlaké zásobníky s pracovním tlakem 300, 500 a 900 bar – vysokotlaké zásobníky mají vodní objem 3×8 700 l, 3×4 900 l a 1 260 l a jsou rozděleny do 2, 4 a 2 sekcí.
- Výdejní stojany – 2x 350 bar stojany a jeden duální 350/700 bar.
- Priority panely pro řízení toku vodíku.
- Chladicí systém pro 700 bar plnění – nominální elektrický příkon je 50 kW.
- Kompletní dusíkové hospodářství pro servisní a havarijní inertizaci systému.

Výrobna vodíku a vodíková stanice tvoří jeden integrovaný celek. Příklad umístění tohoto celku ukazuje Obrázek 8.



OBRÁZEK 8 – VÝROBNA VODÍKU A VODÍKOVÁ ČERPAČÍ STANICE

Příklad podrobného rozmístění jednotlivých prvků výroby vodíku a vodíkové stanice je uveden v Příloze 2 – Technická schémata ostrovního řešení ukazuje nákresy celku výroby vodíku a vodíkové stanice.

8 Vtláčecí jednotka

Návrh vtláčecí jednotky vychází z předpokladů uvedených v kapitole 4.3. Pro námi uvažovaný konkrétní příklad bylo z předpokládaného průtoku zemního plynu tranzitním VVTL plynovodem určeno, že do plynovodu bude pro zachování stálého složení směsi vodíku a zemního plynu nutné vtláčet mezi 13,5 až 300 kg H₂ denně. Pro účely vtláčení do plynárenské soustavy není nutné dodržovat tak přísné požadavky na složení vodíku jako při využití v palivových člancích, proto předpokládáme, že do soustavy bude vstupovat plyn o čistotě 99,95 %.

Vtláčecí jednotka je složená z 2 kompresorů, vysokotlakého zásobníku vodíku s pracovním tlakem 150 bar, měření průtoku zemního plynu, chromatografu k výpočtu spalného tepla jako regulovaného parametru, a kompletního systému měření a regulace propojeného s řídicím systémem výroby vodíku. Nominální příkon vtláčovací jednotky je přibližně 60 kW.

9 Vodíkovod

Pro příklad uvažujeme vzdálenost mezi výrobnou vodíku a vtláčecí jednotkou pevně danou, např. 1 200 m. Vodík bude mezi výrobnou a vtláčecí jednotkou dopravován pomocí podzemního vodíkovodu. Vodíkovod může být tvořen předizolovaným potrubím DN150 případně ocelovým předizolovaným potrubím DN300. Toto potrubí samo o sobě vytváří vyrovnávací zásobník a bude tedy sloužit pro stabilizaci přetlaku v případě výkyvů odběru – v případě potrubí DN150 se jedná o zásobník o vodním objemu cca 21 m³, u potrubí DN300 je vodní objem zásobníku cca 85 m³. Konkrétní dimenze potrubí, případně instalace samostatného vyrovnávacího zásobníku vodíku by měla být definována dalšími stupni projektové dokumentace v závislosti na konkrétních technologických zařízeních zdroje vodíku, případně vtláčecího zařízení.

Vzhledem k uvažovanému vedení potrubí pod zemí je možno předpokládat, že na výstupu potrubí do vtláčecí stanice bude mít vodík následující parametry:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| • průtok vodíku | 13,5 až 300 kg/den |
| • přetlak vodíku na výstupu potrubí | 25-35 bar |
| • teplota vodíku na vstupu potrubí | -10 °C až +55 °C |
| • čistota vodíku | 99,95 %, obsah vody <500 ppm |
| • odezva na plynulou změnu průtoku | cca 2-4 minuty (dle objemu vodíkovodu). |

Za výstupem elektrolyzérů bude pro optimalizaci navrhovaného celku instalován přepojovací panel, který umožní propojení se zdrojem vodíku pro plnicí stanici – v případě potřeby je možno vodík z tohoto elektrolyzérů vést přes dodatečné čištění do plnicí stanice vodíku nebo naopak v případě výpadku tohoto elektrolyzérů zásobovat vtláčecí jednotku z elektrolyzérů určeného pro plnicí stanici. Přepojovací panel zároveň umožní připojení prostředku náhradního zásobování vodíkem v případě výpadku zdroje vodíku – náhradním vozem může být například bateriový vůz vodíku s příslušným redukčním ventilem pro snížení přetlaku na potřebnou hodnotu.

10 Vodíková nákladní vozidla na českém trhu

V České republice až na ojedinělé testovací jízdy neexistují zkušenosti s provozem vodíkových nákladních vozidel. Také ve zbytku Evropy jsou zkušenosti omezené a některá vozidla nejsou dostupná na evropském trhu. Jako příklad zavedení vodíkových nákladních vozidel na evropském trhu uvádíme Švýcarsko, kde je v současnosti již několik let provozována flotila vozidel Hyundai Xcient [6]. Vozidla jsou zde provozována ve verzi s 350 bar nádrží (dojezd cca 400 km).

Vodíková vozidla jsou dostupná i ve verzi tahač s volbou mezi 350 bar a 700 bar nádrží (dojezd cca 700 km), a tedy jsou využitelná pro všech 18 vozidel předpokládané flotily popsané v kapitole 4.1.

Dle informací získaných od prodejce vodíkových nákladních vozidel nejsou vozy momentálně na českém trhu oficiálně nabízeny. V případě zájmu o zavedení flotily, je možné domluvit jejich dodání. Minimální velikost flotily, pro kterou se vyplácí v současnosti do ČR zavést vodíková vozidla je 10 ks vozidel, což uvažovaný příklad návrhu ostrovního řešení splňuje. Toto omezení je dáno především kvůli nákladnému zřízení servisního zázemí.

11 Ekonomické zhodnocení

Tato část se věnuje odhadu předpokládané ceny vodíku na výdejním stojanu VČS a při vtláčení do plynárenské sítě. Cena vzniká kombinací investičních nákladů rozložených do plánované životnosti ostrovního řešení a průběžných provozních nákladů. Uvedené ceny vycházejí z dat platných ke dni zpracování dokumentu, přičemž predikce jejich budoucího vývoje není součástí tohoto dokumentu.

Životnost většiny prvků ostrovního řešení je odhadována na 20 let. Nicméně, náklady a odpisy zařízení jsou zde rozpočítány na období 10 let, aby druhá polovina životnosti mohla přinášet zisk a umožnila tak případnou obnovu technologií. K cenám všech vstupních nákladů je navíc připočteno 10 % pro pokrytí neočekávaných výdajů a možných nepřesností v kalkulaci.

Pokud není uvedeno, ceny uvedené v této kapitole jsou určeny na základě cenových nabídek od dodavatelů.

11.1 Vstupní náklady

11.1.1 Výroba vodíku

V rámci ostrovního řešení je plánováno využití dvou elektrolyzérů s výkony 1 MW a 2,5 MW, které používají aniontovou výměnnou membránu (AEM). Do ceny elektrolyzérů jsou kromě samotného výrobního zařízení zahrnuty také rekuperátory tepelné energie a armaturní panely. Cena elektrolyzérů je 52 800 000 Kč za 1 MW elektrolyzér a 95 050 000 Kč za 2,5 MW elektrolyzér.

Vodík vyrobený v 2,5 MW elektrolyzérů je určen pro vodíkové palivové články, a proto je součástí výroby také sušící jednotka, která odstraňuje zbytkovou vodu z elektrolytické výroby a zajišťuje dostatečnou čistotu vodíku. Cena sušící jednotky je 2 400 000 Kč.

Voda na vstupu do obou elektrolyzérů je rovněž čištěna, pomocí demineralizační jednotky, která zajišťuje potřebné parametry pro provoz. Cena za úpravnu vody je 820 000 Kč.

Během životnosti AEM elektrolyzérů se počítá s pravidelnou výměnou opotřebovaných komponent přibližně každých 7 let. Náklady na tuto výměnu jsou odhadovány na 20 % z pořizovací ceny elektrolyzérů.

11.1.2 Úložiště

Úložiště vodíku je vyrovnávací zásobník tvořený dvěma tlakovými nádobami o objemu 95 m³. Jedná se o vyrovnávací buffer o max. pracovním tlaku 50 bar, který zajišťuje plynulé propojení výroby vodíku a vodíkové čerpací stanice. Náklady na toto úložiště jsou odhadovány na 12 600 000 Kč. Do ceny úložiště jsou započteny pořizovací náklady na priority panely a panely povinné výbavy tlakových nádob v ceně 8 000 000 Kč.

Součástí VČS jsou vysokotlaké kaskády z tlakových láhví. Jedná se o 3 zásobníky s pracovním tlakem 300 bar, 3 zásobníky s pracovním tlakem 500 bar a 1 zásobník s pracovním tlakem 900 bar. Cena za výstavbu těchto tlakových stupňů je zahrnuta v ceně čerpací stanice.

11.1.3 Vodíková čerpací stanice

Vodíková čerpací stanice zahrnuje několik klíčových technologických prvků. Mezi tyto komponenty patří výše zmíněné vysokotlaké kaskády, 2 kompresorové jednotky s pracovním tlakem 500 bar a 900 bar, 2 výdejní stojany pro plnění 350 bar a 1 výdejní stojan umožňující duální plnění 350 nebo 700 bar. Podle odhadu dodavatele se celkové náklady na výstavbu stanice popsané v tomto dokumentu pohybují okolo 78 400 000 Kč.

11.1.4 Příslušenství

V návrhu ostrovního řešení je možné počítat také s výstavbou laboratoře kontroly kvality, která by průběžně analyzovala kvalitu vodíku vyrobeného v ostrovním řešení. Může se jednat pouze o základní kontrolu, zda-li nenastala porucha výroby, spíše než o plnohodnotné akreditované měření odpovídající normě ISO 14687 pro použití vodíku v palivových článcích.

Pro provoz ostrovního řešení jsou dále nutné tyto komponenty: kompletní dusíkové hospodářství (sloužící k inertizaci vodíkových systémů a ovládání pneumatických systémů), centrální řídicí systém a potrubní a kabelové rozvody. Tyto komponenty spolu s analytickou laboratoř dosahují pořizovací ceny cca 16 000 000 Kč.

11.1.5 Vtláčecí jednotka

Expertní odhad ceny vtláčecí jednotky popsané v kapitole 8 říká, že pořizovací cena včetně jejího uvedení do provozu bude zhruba 110 000 000 Kč. Nicméně u této hodnoty je třeba poznamenat, že s vtláčením vodíku do plynárenské sítě jsou zatím pouze omezené zkušenosti a jedná se tedy o orientační cenu.

Zařízení by bylo vybaveno vlastní zdvojenou kompresorovou jednotkou s maximálním pracovním přetlakem 150 bar a výkonem přibližně 15 kg/h při vstupním tlaku 25 bar, 15 m³ vysokotlakým zásobníkem, turbínovým měřením průtoku zemního plynu, chromatografickým analyzátozem pro výpočet spalného tepla plynu, regulační jednotkou vtláčování a komplexním řídicím systémem s propojením do řízení výroby vodíku. Celkový nominální příkon systému vtláčování by byl přibližně 60 kW.

11.1.6 Vodíkovod

Vodíkovod zahrnuje potrubní propojení výroby vodíku a vtláčecí jednotky o předpokládané délce 1,2 km, tvořené potrubím s pracovním tlakem 40 bar, DN300. Náklady na výstavbu zahrnují nejen samotné potrubí, ale také práce spojené s jeho instalací, jako je protlak trubek, montáž, zemní práce a další stavební úpravy. Celková cena vodíkovodu pro ostrovní řešení činí přibližně 12 000 000 Kč.

11.1.7 Horkovod a tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo nutné pro využití odpadního tepla z elektrolyzátorů v teplotěrenské síti (viz kapitola 6) má cenu přibližně 11 400 000 Kč.

Uvažované prodloužení horkovodu o 150 m nutných k napojení ostrovního řešení na teplotěrenskou soustavu by při ceně 20 000 Kč za metr spojení tvořilo pořizovací náklady 3 000 000 Kč.

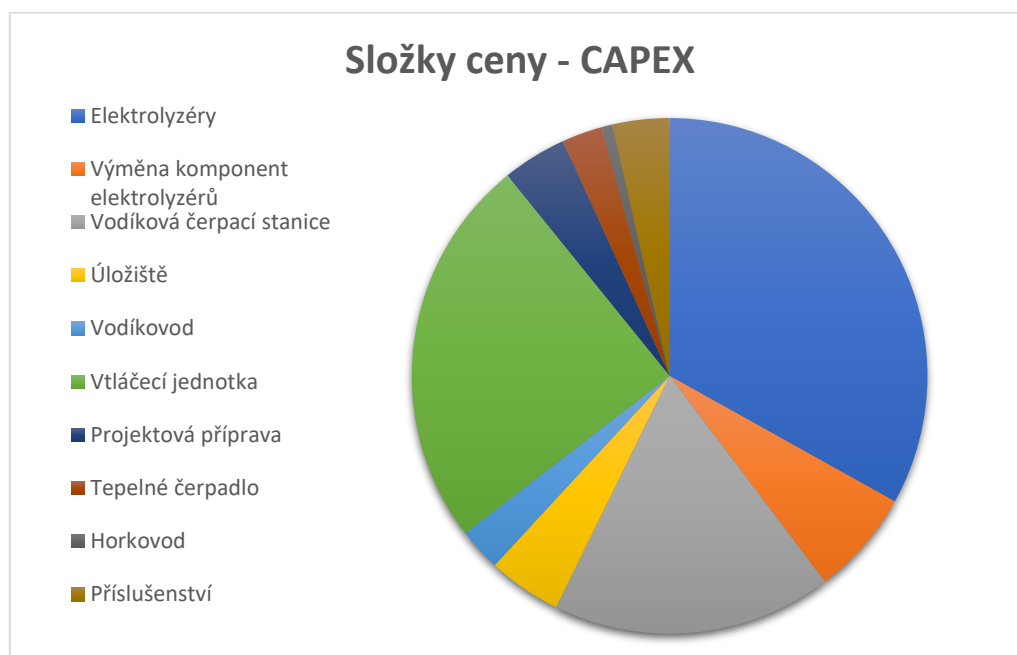
11.1.8 Další náklady

Kromě výše uvedených investic je nutné počítat také s náklady na projektovou přípravu ostrovního řešení. Tyto přípravné náklady byly vyčísleny na 18 000 000 Kč.

TABULKA 1 – VSTUPNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ

CAPEX celkem ¹	491 600 000	Kč
Elektrolyzéry	147 900 000	Kč
Výměna komponent elektrolyzérů	29 600 000	Kč
Vodíková čerpací stanice	78 400 000	Kč
Úložiště	20 600 000	Kč
Vodíkovod	12 000 000	Kč
Vtláčecí jednotka	110 000 000	Kč
Projektová příprava	18 000 000	Kč
Tepelné čerpadlo	11 400 000	Kč
Horkovod	3 000 000	Kč
Příslušenství	16 000 000	Kč
Promítnutí CAPEX do nákladu H₂	170	Kč/kg H₂

¹Suma obsahuje 10 % navýšení na pokrytí dodatečných výdajů a financování navýšení v důsledku možného budoucího zvýšení cen.



OBRÁZEK 9 – SLOŽENÍ CENY ZA KG H₂ – CAPEX

11.2 Provozní náklady

11.2.1 Elektřina

AEM elektrolyzéry spotřebují dle výrobce 51,3 kWh na výrobu 1 kg H₂. Vodík vyrobený ve větším 2,5 MW elektrolyzéru je určen pro spotřebu ve vodíkových palivových článcích. Kromě spotřeby na

samotnou výrobu vodíku je tedy nutné započítat také spotřebu na čištění a sušení vyrobeného vodíku – 2,0 kWh/kg H₂ a spotřebu samotné vodíkové stanice – 5,4 kWh/kg H₂.

Vodík určený pro vtláčení do plynárenské sítě není nutné dočišťovat, ale samotná vtláčecí jednotka má dle odhadu spotřebu cca 4 kWh/kg H₂.

Pro výpočet ceny elektřiny využívané v ostrovním řešení je možné počítat s údaji dodanými provozovatelem uvažovaného energetického centra. Dále budeme uvažovat cenu elektřiny vyrobené ze spalování biomasy (dřevní štěpky) o hodnotě 2 000 Kč/MWh. Cena elektřiny vyrobené z FVE může kvůli zatížení poplatky za využití přenosové sítě být vyšší – uvažujeme dále cenu 2 200 Kč/MWh.

11.2.2 Údržba

Údržba všech technologických komponent ostrovního řešení je spojena s každoročními výdaji. Na základě zkušeností a běžné praxe byly tyto náklady odhadnuty jako procentní podíl z pořizovací ceny jednotlivých zařízení:

- Elektrolyzéry: 1,5 % z pořizovací ceny.
- Vodíková čerpací stanice: 2 % z pořizovací ceny.
- Úložiště a kompresory: 1 % z pořizovací ceny.

Navíc se u elektrolyzérů počítá s pravidelnou výměnou KOH elektrolytu, což představuje každoroční náklad přibližně 300 000 Kč.

11.2.3 Spotřeba vody

Při výrobě 1 kg vodíku elektrolyzér spotřebuje přibližně 9 kg demineralizované vody. Procesní úprava vykazuje reálnou spotřebu pitné vody až 13 kg na kilogram vodíku [7].

Cenu vody (vodné a stočné) uvažujeme na hodnotě 80 Kč za m³. K této ceně je nutné připočítat přibližně 25 % nákladů na provoz demineralizační technologie. Tento odhad vychází z konzultací s výrobcí zařízení pro reverzní osmózu a byl stanoven na základě zkušeností s menšími systémy.

Vzhledem k tomu, že náklady na úpravu vody mají jen zanedbatelný vliv na celkovou cenu vyrobeného vodíku, není nutné tyto náklady stanovovat s vyšší přesností.

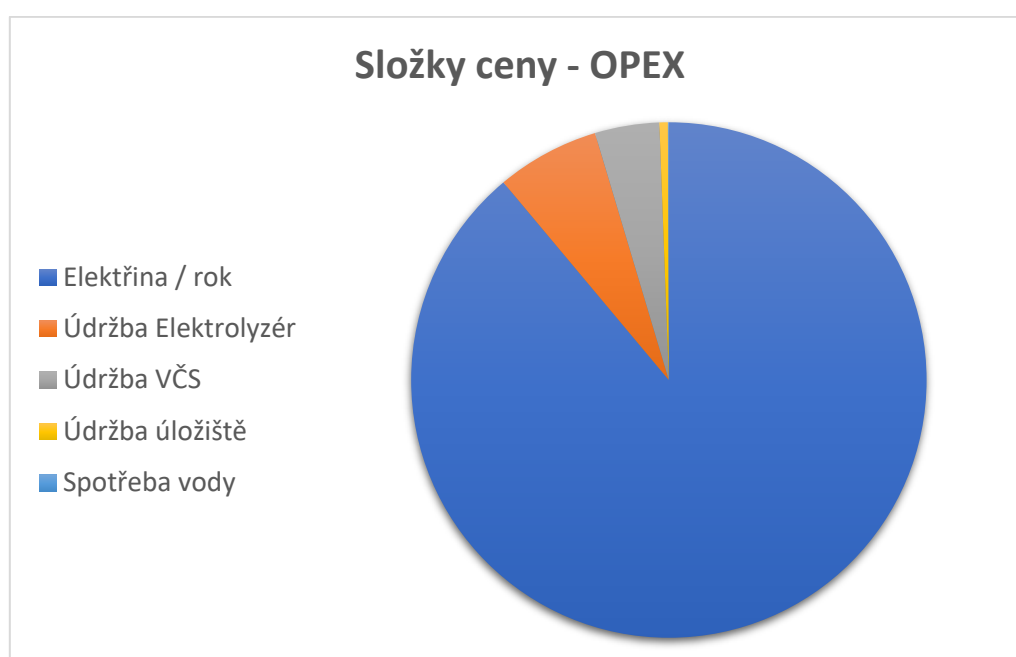
11.2.4 Využití odpadního tepla

Tepelné čerpadlo popsané v kapitole 6 má ročně spotřebu přibližně 2 MWh elektrické energie. Čerpadlo musí být také servisováno, náklady na údržbu byly stanoveny na 0,5 % z pořizovací ceny ročně.

Využitím odpadního tepla z ostrovního řešení je možné získat cca 8,8 MWh tepelné energie ročně. Při ceně tepla 600 Kč/MWh tedy vychází rozdíl mezi náklady na údržbu a čerpadla a prodejem tepla na cca 1 300 000 Kč. Jedná se o zisk, tedy je o tuto částku možné snížit provozní náklady ostrovního řešení.

TABULKA 2 – PROVOZNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ

OPEX celkem	37 529 000	Kč/rok
Elektřina / rok	34 500 000	Kč/rok
Údržba Elektrolyzérů	2 500 000	Kč/rok
Údržba VČS	1 600 000	Kč/rok
Údržba úložiště	206 000	Kč/rok
Spotřeba vody	23 000	Kč/rok
Využití odpadního tepla	-1 300 000	Kč/rok
Promítnutí OPEX do nákladu H₂	130	Kč/kg H₂

**OBRÁZEK 10 – SLOŽENÍ CENY ZA KG H₂ – OPEX**

11.3 Výsledná cena

TABULKA 3 – CENA VODÍKU V OSTROVNÍM ŘEŠENÍ

Promítnutí CAPEX do nákladu H₂	Promítnutí OPEX do nákladu H₂	Celková cena H₂
170 Kč/kg H ₂	130 Kč/kg H ₂	300 Kč/kg H ₂

11.4 Rozdělení ceny

Výše uvedené ekonomické zhodnocení předpokládá, že ostrovní řešení je jedním celkem, a tedy je nutné promítnout všechny prvky ostrovního řešení do koncové ceny za 1 kg H₂. Tato kapitola uvádí druhý přístup, ve kterém se cena vodíku rozdělí na cenu vodíku na vodíkové stanici a cenu vodíku pro vtláčení. Jednotlivé komponenty ostrovního řešení budou započteny pouze do té části ceny, do které aktivně přispívají.

Prvky ostrovního řešení spadají do tří kategorií:

- 1) Prvky využívané pouze pro plnění vodíku na VČS
 - 2,5 MW elektrolyzér
 - Vodíková čerpací stanice
- 2) Prvky využívané pouze pro vtláčení vodíku do VVTL plynovodu
 - 1 MW elektrolyzér
 - Vodíkovod
 - Vtláčecí jednotka
- 3) Prvky sdílené
 - Všechny prvky ostrovního řešení nezmíněné v kategoriích 1) a 2).

Cena sdílených prvků byla rozdělena poměrově podle množství vodíku náležící vtláčení či plnění (11,3 % vodíku je určeno pouze k vtláčení). Cenu vodíku podle konečného využití uvádí Tabulka 4.

TABULKA 4 – ROZDĚLENÍ CENY VODÍKU PODLE KONEČNÉHO VYUŽITÍ

Cena vodíku pro VČS	Cena vodíku pro vtláčení
237 Kč/kg H ₂	785 Kč/kg H ₂

Pozn.: Při hodnocení cen v tabulce je nutné mít na paměti, že některé prvky ostrovního řešení určené pro jedno využití lze v případě nutnosti použít pro druhé využití, např. elektrolyzéry.

11.5 Varianta bez vtláčení

Jelikož vtláčení vodíku do plynárenské sítě je v současné době v České republice provozováno pouze v jednom pilotním provozu uvádíme zde i variantu ostrovního řešení pro případ, že by bylo vtláčení z projektu vynecháno.

V tomto případě by byl návrh ostrovního řešení do značné míry podobný s následujícími změnami:

- 1) 1 MW elektrolyzér by byl z návrhu odstraněn a výrobu vodíku pro VČS by zajišťoval pouze 1 2,5 MW elektrolyzér.
- 2) Vtláčecí jednotka by byla z návrhu kompletně odstraněna.
- 3) Vodíkovod mezi výrobnou a vtláčecí jednotkou by byl rovněž odstraněn.
- 4) Je pravděpodobné, že některé náklady na přípravu projektu a stavbu ostrovního řešení by byly v této variantě nižší, nicméně pro lepší srovnání s variantou s vtláčením je necháváme nezměněné.

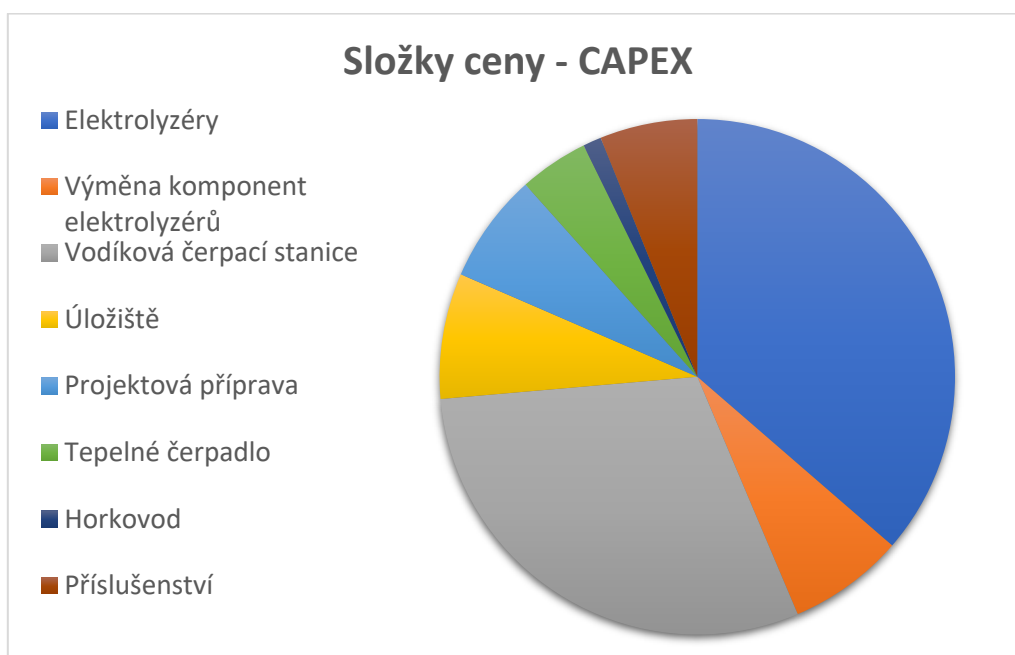
Ekonomické zhodnocení uvedené výše v této kapitole je třeba modifikovat následujícím způsobem:

TABULKA 5 – VSTUPNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ BEZ VTLÁČENÍ

CAPEX celkem ¹	287 500 000	Kč
Elektrolyzéry	95 000 000	Kč
Výměna komponent elektrolyzérů	19 000 000	Kč
Vodíková čerpací stanice	78 400 000	Kč
Úložiště	20 600 000	Kč

Vodíkovod	-	Kč
Vtláčecí jednotka	-	Kč
Projektová příprava	18 000 000	Kč
Tepelné čerpadlo	11 400 000	Kč
Horkovod	3 000 000	Kč
Příslušenství	16 000 000	Kč
Promítnutí CAPEX do nákladu H₂	112	Kč/kg H₂

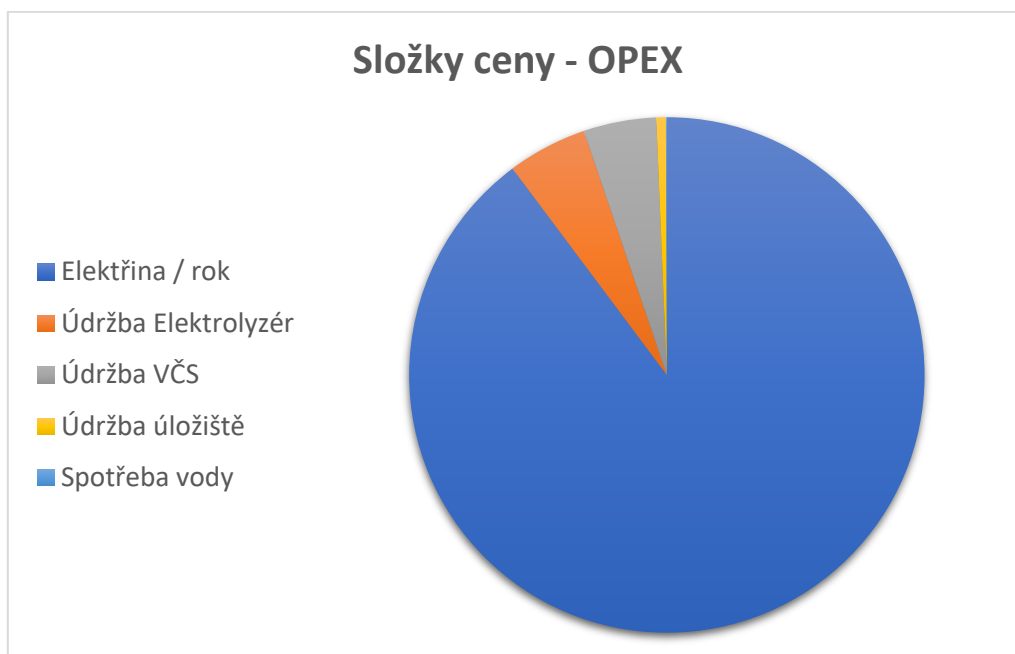
¹Suma obsahuje 10 % navýšení na pokrytí dodatečných výdajů a financování navýšení v důsledku možného budoucího zvýšení cen.



OBRÁZEK 11 – SLOŽENÍ CENY ZA KG H₂ – CAPEX, BEZ VTLÁČENÍ

TABULKA 6 – PROVOZNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ BEZ VTLÁČENÍ

OPEX celkem	33 326 000	Kč/rok
Elektřina / rok	30 900 000	Kč/rok
Údržba Elektrolyzérů	1 700 000	Kč/rok
Údržba VČS	1 600 000	Kč/rok
Údržba úložiště	206 000	Kč/rok
Spotřeba vody	20 000	Kč/rok
Využití odpadního tepla	-1 100 000	Kč/rok
Promítnutí OPEX do nákladu H₂	130	Kč/kg H₂

**OBRÁZEK 12 – SLOŽENÍ CENY ZA KG H₂ – OPEX, BEZ VTLÁČENÍ****TABULKA 7 – CENA VODÍKU V OSTROVNÍM ŘEŠENÍ BEZ VTLÁČENÍ**

Promítnutí CAPEX do nákladu H ₂	Promítnutí OPEX do nákladu H ₂	Celková cena H ₂
112 Kč/kg H ₂	130 Kč/kg H ₂	242 Kč/kg H ₂

V této variantě tedy dojde výměnou za ztrátu unikátního projektu vtláčování vodíku ke snížení ceny vodíku na výdeji čerpací stanice o 58 Kč/kg H₂.

11.6 Vodíková nákladní vozidla

Data o pořizovacích cenách vodíkových nákladních vozidel jsou v současnosti značně omezená. Např. nejvýznamnější evropský projekt s vodíkovými nákladními vozidly – flotily vozů Xcient ve Švýcarsku – má svá vozidla v pronájmu v režimu doprava jako služba. Pořizovací ceny vozidel jsou tedy pouze orientační. Dle konzultací s výrobcí je odhadovaná cena za kus cca 12,5 mil. Kč.

12 Dotace

Dotační tituly, které byly doposud vypsány v České republice jsou zaměřené primárně na výrobu RFNBO vodíku. Jak bylo popsáno v kapitole 5.1 jako RFNBO vodík by bylo možné uznat pouze část vodíku vyrobeného v ostrovním řešení. Dotace na výstavbu elektrolyzérů z programu GREENGAS jsou určené pouze pro výrobní produkující jen RFNBO vodík a na výrobu LCH vodíku doposud nebyly výzvy vypsány, kvůli absenci evropských pravidel pro jeho výrobu.

Pro výstavbu VČS je možné dotační podporu získat, nicméně podmínkou všech dotačních „vodíkových“ titulů vypsáných k datu tvorby tohoto dokumentu je, že se příjemce dotace zavazuje vydávat od roku 2035 pouze RFNBO vodík (podmínka platí pouze pokud doba udržitelnosti projektu končí po roce 2035). Tato podmínka přináší nejistotu ohledně zdroje vodíku po tomto roce a ukazuje

se jako významná překážka k realizaci vodíkových dopravních projektů v České republice. Z tohoto důvodu se pro navržené ostrovní řešení neuvažuje s běžnou dotační podporou na VČS.

Jako příklad alternativní cesty uvádíme podporu v rámci programu OP TAK Služby infrastruktury [8] (Možnost podání žádostí této výzvy vyprší 17. října 2025. Předpokládá se, že jiná, vhodná výzva pro projekty tohoto charakteru bude rovněž v budoucnu vypsána.), který je zaměřen na vytvoření výzkumné infrastruktury (zařízení sloužící pro výzkum – sběr provozních dat a možnost provádět výzkum, vývoj a inovace a zároveň je potřeba reálné využívání a provozní uplatnění, aby data vznikala). Tento program nabízí vytvoření výzkumné infrastruktury – experimentální pracoviště pro inovace v oblasti vodíkových a bateriových vozidel ve spojitosti s lokální výrobou elektrické energie a vodíku. Míra dotační podpory na vědeckou infrastrukturu je 25 % a zahrnuje všechny prvky ostrovního řešení (výroba, uskladnění, vodíkovod, plnění, vtláčení). Výhodou je možnost dotační podpory, a hlavně přístup výzkumným organizacím k této unikátní infrastruktuře, což povede k posunu znalostí v rámci ČR. Dotace je také na rozdíl od ostatních vypsáných titulů komplexní, tedy umožní podporu všech prvků ostrovního řešení. Nevýhodou zůstává poměrně větší administrativní náročnost.

V případě využití dotační podpory ve výši 25 % investičních nákladů, dojde ke snížení ceny vodíku v ostrovním řešení způsobem, který ukazuje Tabulka 8.

TABULKA 8 – CENA VODÍKU S DOTAČNÍ PODPOROU

	Varianta s vtláčením	Varianta bez vtláčení
Celková cena bez dotací	300 Kč/kg H ₂	242 Kč/kg H ₂
Celková cena s investiční dotací 25 %	254 Kč/kg H ₂	210 Kč/kg H ₂

Uvedené ceny počítají s investiční dotací na všechny prvky ostrovního řešení, které uvádí Tabulka 1 a Tabulka 5 kromě výměny komponent elektrolyzérů. Výpočet předpokládá, že všechny náklady uvedené v těchto tabulkách budou kompletně uznatelné, ve skutečnosti může být efektivní míra dotace o něco nižší.

Alternativou výzkumného pojetí řešení a podnikových inovací je nástroj daňových odpočtů, případně odpočty na smluvní výzkum. Daňové odpočty na výzkum, vývoj a inovace (podle § 34 zákona o daních z příjmů) jsou klíčovým nástrojem podpory výzkumných a vývojových aktivit v podnikovém sektoru, a to včetně spolupráce s výzkumnými organizacemi a centry typu Národní centrum vodíkové mobility. Zde je celkový dopad výraznější s menší administrativní náročností.

Dotace na pořízení vodíkových nákladních vozidel nejsou v současné době v České republice dostupné. Důvodem je, že státní správa nepozoruje dostatečný zájem o provoz vodíkových nákladních vozidel v podmínkách České republiky. V případě, že se objeví vážný zájemce o jejich provozování je možné, že vodíková vozidla budou zahrnuta do výzev typu TransCom podporujících pořízení bezemisních vozidel.

13 Cena přepravy

Pro lepší představu toho, jak se přechod na vodíkovou mobilitu promítne do ceny přepravy výrobků uvádíme srovnání s předpokládaným současným stavem – tj. přeprava nákladními vozidly s naftovým spalovacím motorem. Seznam položek vstupujících do cenotvorby byl získán od provozovatele nákladní dopravy. Náklady zahrnují pohonné hmoty, oleje, pneumatiky, ostatní přímý materiál, mzdy, odpisy, leasing, opravy (materiál, dílna, dodavatelské), cestovné, sociální zabezpečení, silniční daň, ostatní služby, pojistné, poplatky, ostatní náklady a režie. Tabulka 9 také předpokládá 20 % marži při prodeji vodíkového paliva.

TABULKA 9 – SROVNÁNÍ CENY NA 1 KM PŘEPRAVY

Cena na 1 km	Svozové vozy	Tahače s návěsy
Naftové vozidlo	36 Kč	34 Kč
Vodíkové vozidlo	75-86 Kč	68-78 Kč

Předpokládáme, že tahač s návěsy uveze 22 t nákladu a svozový vůz uveze 32 t nákladu. Budeme-li uvažovat délku jedné přepravní cesty 300 km, pak se přechod na vodíkovou mobilitu promítne do ceny za 1 kg přepraveného produktu 0,4-0,5 Kč/kg v případě svozového vozu a 0,5-0,6 Kč/kg v případě tahače.

14 Čistota vodíku

V případě využití vodíku ve vozidlech s palivovými články je nezbytné zajistit jeho čistotu na úrovni 5.0 (99,999 %), a hlavně složení vyhovující normám ČSN ISO 14687 [9] a ČSN EN 17124 [10], které definují maximální přípustné koncentrace nečistot ve vodíku jako palivu pro výše uvedený typ vozidel. Návrh ostrovního řešení obsahuje zařízení pro sušení a dočištění vodíku, což znamená, že vodík produkovaný tímto zařízením splňuje požadovanou čistotu. V návrhu je také analytická laboratoř, která upozorní na výrazné odchylky od požadované kvality. Čistota však musí být garantována i na koncovém bodě vodíkového řetězce, což vyžaduje akreditovanou analýzu vzorků.

Prvotní odběr vzorku vodíku pro kontrolu čistoty by měl proběhnout přímo na výdejní pistoli čerpací stanice. Toto místo odběru je klíčové, protože představuje poslední bod řetězce před spotřebou, a tedy zajišťuje, že vodík splňuje všechny požadavky na čistotu. V případě zjištění nečistot mimo povolený rozsah je nutné analyzovat další odběrové body v systému a identifikovat zdroj znečištění.

V České republice aktuálně neexistuje legislativa stanovující frekvenci měření čistoty vodíku, ale je pravděpodobné, že s rozvojem vodíkové infrastruktury budou tyto standardy zavedeny. Například v Kalifornii se kontrola provádí před spuštěním stanice, každých šest měsíců a po každém zásahu do systému [11]. Podobný přístup lze doporučit i v ČR, a to zejména kontrola při spuštění a po některých úkonech údržby, které mohou způsobit kontaminaci.

Nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) 2023/1804 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (AFIR) [4] již specifikuje, že nové nebo rekonstruované vodíkové čerpací stanice musí splňovat následující požadavky:

- Dodržení interoperability a palivového algoritmu podle normy EN 17127:2020 (ČSN EN 17127 [12]).
- Zajištění kvality vodíku podle normy EN 17124:2020 (ČSN EN 17124) [10]).
- Použití spojovacího zařízení pro doplňování paliva odpovídajících normě EN ISO 17268:2020 (ČSN EN ISO 17268) [13]).

Je nezbytné, aby plánovaná čerpací stanice již v projektové fázi zohlednila tyto požadavky.

15 Závěr

Tento dokument ukazuje, jakým způsobem je možné postupovat při návrhu ostrovního vodíkového řešení v existujícím energetickém centru, ukazuje technickou proveditelnost řešení a nabízí reálné možnosti zapojení vodíkových technologií do regionální energetiky a dopravy. Na konkrétním příkladu ukazuje možnost instalace elektrolyzérů o celkovém výkonu 3,5 MW, které umožní výrobu přibližně 290 t vodíku ročně, přičemž 139 t bude pocházet z fotovoltaické elektrárny a 151 t ze spalování biomasy (např. dřevní štěpky). Kapacita výroby je nastavena tak, aby pokryla potřeby provozu flotily 18 nákladních vozidel, veřejné vodíkové čerpací stanice i vtláčení do tranzitního plynovodu.

Součástí optimalizace návrhu řešení je rovněž využití odpadního tepla z provozu elektrolyzérů. Při vhodném zapojení tepelného čerpadla může být v dokumentu diskutovaném příkladu do teplárenské soustavy dodáno až 8,8 GWh tepla ročně, což zlepšuje celkovou energetickou a ekonomickou efektivitu příkladového vodíkového řešení.

Ekonomické vyhodnocení ukazuje, že celková cena vodíku vyrobeného v takovémto konkrétním ostrovním řešení se pohybuje kolem hodnoty 300 Kč/kg H₂ v případě plného zapojení vtláčecí jednotky. V alternativní variantě bez vtláčení do plynovodu cena klesá na cca 242 Kč/kg H₂, přičemž zůstává zachována funkčnost veřejné stanice i flotilového využití.

V případě, že by ostrovní řešení bylo klasifikováno jako výzkumná infrastruktura, je možné na jeho výstavbu získat až 25 % dotační podporu, díky které klesne cena vodíku na 254 Kč/kg H₂ v případě plného zapojení vtláčecí jednotky, resp. na 210 Kč/kg H₂ v alternativní variantě bez vtláčení.

Pokud by došlo k přechodu modelové flotily nákladních vozidel na vodíkový pohon, pak by se náklady na přepravu 1 kg výrobku touto flotilou zvýšily o 0,4-0,6 Kč/kg.

16 Seznam příloh

Příloha 1 – Technická schémata ostrovního řešení

17 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Příklad konkrétního schéma ostrovního řešení	7
Obrázek 2 – Příklad rozmístění inženýrských sítí v lokalitě	8
Obrázek 3 – Příklad průběhu vtláčení vodíku	10
Obrázek 4 – Příklad výrobní křivky elektrolyzátoru	11
Obrázek 5 – Příklad poptávky po energii v ostrovním řešení	12
Obrázek 6 – Emisní faktor vyrobeného vodíku v jednotlivých měsících	13
Obrázek 7 – Příklad harmonogramu plnění vodíkové flotily	15
Obrázek 8 – Výrobna vodíku a vodíková čerpací stanice	16
Obrázek 9 – Složení ceny za kg H ₂ – CAPEX	20
Obrázek 10 – Složení ceny za kg H ₂ – OPEX	22
Obrázek 11 – Složení ceny za kg H ₂ – CAPEX, bez vtláčení	24
Obrázek 12 – Složení ceny za kg H ₂ – OPEX, bez vtláčení	25

18 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vstupní náklady ostrovního řešení	20
Tabulka 2 – Provozní náklady ostrovního řešení	22
Tabulka 3 – Cena vodíku v ostrovním řešení	22
Tabulka 4 – Rozdělení ceny vodíku podle konečného využití	23
Tabulka 5 – Vstupní náklady ostrovního řešení bez vtláčení	23
Tabulka 6 – Provozní náklady ostrovního řešení bez vtláčení	24
Tabulka 7 – Cena vodíku v ostrovním řešení bez vtláčení	25
Tabulka 8 – Cena vodíku s dotační podporou	26
Tabulka 9 – Srovnání ceny na 1 km přepravy	27

19 Seznam literatury

- [1] BASMA, Hussein a Felipe RODRÍGUEZ. Fuel cell electric tractor-trailers: Technology overview and fuel economy [online]. 2022. Dostupné z: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/07/fuel-cell-tractor-trailer-tech-fuel-1-jul22.pdf>
- [2] BRONISLAV VAHALÍK, VOJTĚCH PŘIKRYL, ROMAN SMUTNÝ, VLADIMÍR DYNDÁ, MARTIN LEVÝ, LUDĚK MÁDLE, JAN SOCHOR, ZDENĚK PŘIBYL, JAKUB PELČÁK, JAKUB ŠEVČÍK, a JAN PŘIKRYL. *Optimalizace ostrovního vodíkového hospodářství v zařízení pro energetické využití odpadů* [online]. květen 2025. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/files/nahyc-dp001-v05-o-optimalizace-ostrovního-vodíkového-hospodářství-v-zarizení-pro-energetické-využití-odpadů.pdf>
- [3] EVROPSKÁ KOMISE. *Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184 ze dne 10. února 2023, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 stanovením unijní metodiky, v níž jsou vymezena podrobná pravidla pro výrobu kapalných a plyných paliv z obnovitelných zdrojů nebiologického původu používaných v odvětví dopravy* [online]. [vid. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1184>
- [4] THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU (Text with EEA relevance)*. 13. září 2023
- [5] ILARI, Alessio, Daniele DUCA, Kofi Armah BOAKYE-YIADOM, Thomas GASPERINI a Giuseppe TOSCANO. Carbon Footprint and Feedstock Quality of a Real Biomass Power Plant Fed with Forestry and Agricultural Residues. *Resources* [online]. 2022, **11**(2), 7. ISSN 2079-9276. Dostupné z: [doi:10.3390/resources11020007](https://doi.org/10.3390/resources11020007)
- [6] Hyundai Motor's XCIENT Fuel Cell Trucks Achieve Record of 10 Million km Total Driving Distance in Switzerland. *Hyundai Electrified Commercial Vehicles* [online]. 14. červen 2024 [vid. 2025-10-06]. Dostupné z: <https://ecv.hyundai.com/global/en/newsroom/press-releases/hyundai-motors-xcient-fuel-cell-trucks-achieve-record-of-10-million-km-total-driving-distance-in-switzerland-BL00200524>
- [7] HENRIK TÆKKER MADSEN. Water treatment for green hydrogen: what you need to know. <https://hydrogentechworld.com> [online]. 27. říjen 2022 [vid. 2025-05-15]. Dostupné z: <https://hydrogentechworld.com/water-treatment-for-green-hydrogen-what-you-need-to-know>
- [8] Služby infrastruktury - výzva II. *OP TAK* [online]. 17. duben 2025 [vid. 2025-10-20]. Dostupné z: <https://www.optak.cz/sluzby-infrastruktury-vyzva-ii/a-522/>
- [9] ČSN ISO 14687 (656520) *Kvalita vodíkového paliva - Specifikace produktu*. září 2020

- [10] ČSN EN 17124 (697281) *Vodíkové palivo - Specifikace produktu a zajištění kvality pro čerpací stanice s výdejem plynného vodíku - Aplikace palivových článků s protonvýměnnou membránou (PEM) pro vozidla*. září 2022
- [11] TRANSPORTATION AND TOXICS DIVISION CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. *Appendix C Hydrogen refueling station requirements* [online]. 2. září 2020 [vid. 2025-03-06]. Dostupné z: https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-08/fy1920_ccssolicitation_appc_h2fuelingstation.pdf
- [12] ČSN ISO 17127 (697280) *Venkovní výdejní vodíkové čerpací stanice na plynný vodík s plnicími protokoly*. srpen 2024
- [13] ČSN EN ISO 17268 (656521) *Plynný vodík - Spojovací zařízení pro doplňování paliva pro pozemní vozidla na plynný vodík*. červenec 2022

20 Seznam zkratk

LDS – Lokální distribuční síť

FVE – Fotovoltaická elektrárna

VVTL – Velmi vysokotlaký (plynovod)

VČS – Vodíková čerpací stanice

CZT – Centralizované zásobování teplem

RFNBO – Renewable fuel of non-biological origin (Obnovitelné palivo nebiologického původu)

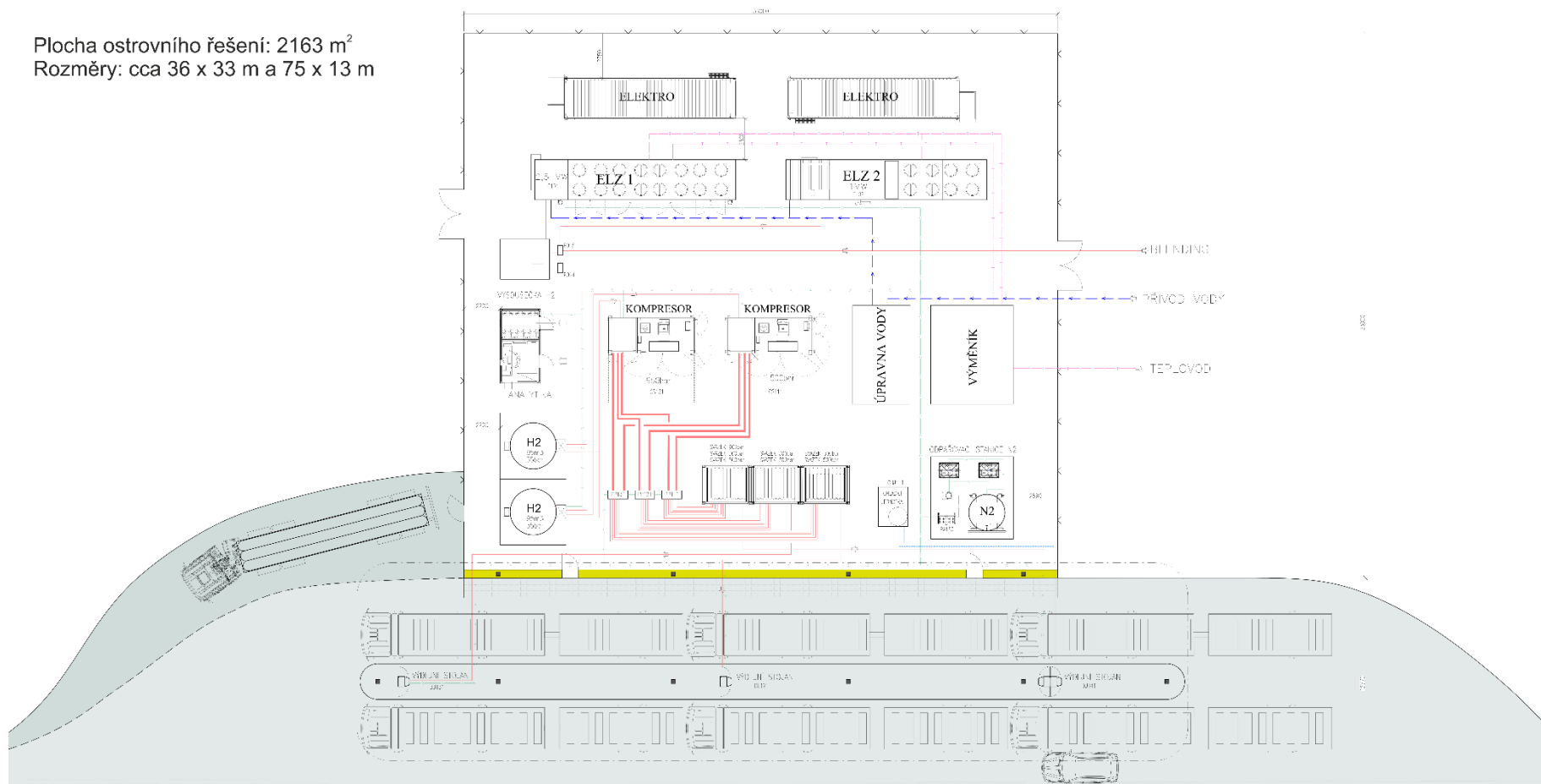
LCH – Low carbon hydrogen (Nízkouhlíkový/nízkoemisní vodík)

DN – Diameter nominal (jmenovitá světlost)

AEM – Anion exchange membrane (Aniontová výměnná membrána)

Příloha 1 – Technická schémata ostrovního řešení

Plocha ostrovního řešení: 2163 m²
Rozměry: cca 36 x 33 m a 75 x 13 m



VODÍKOVÁ PLNICÍ STANICE

