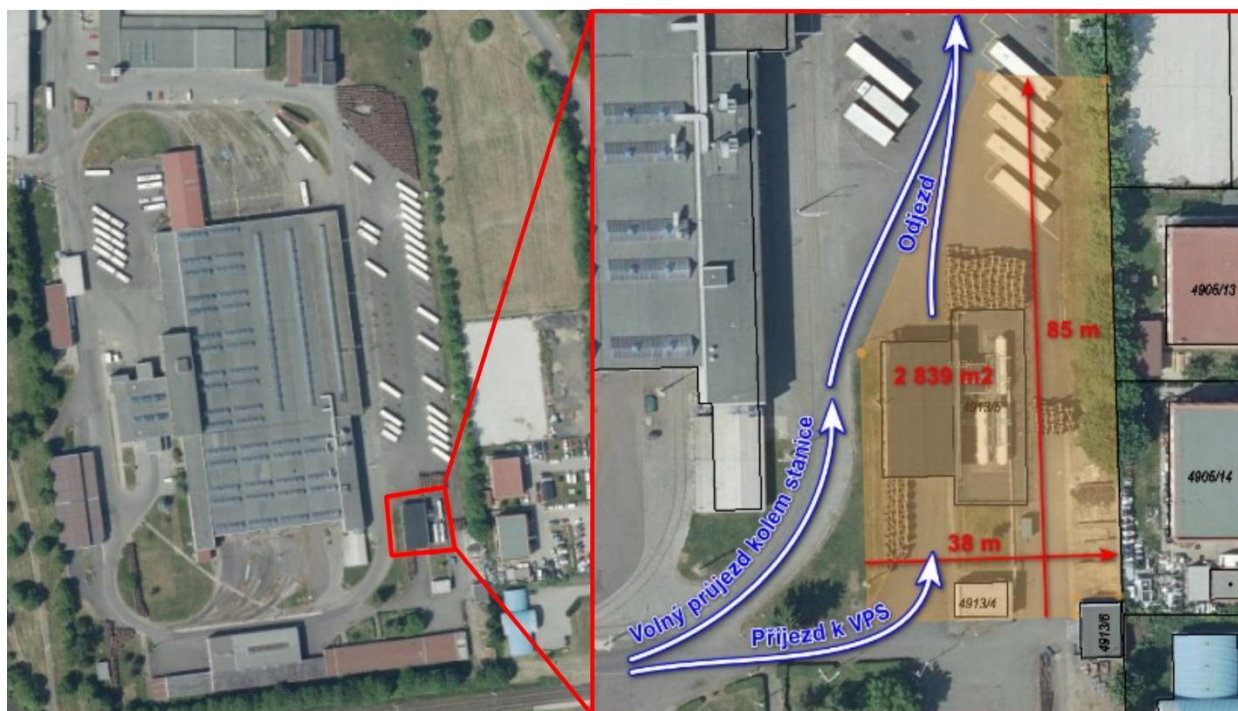


Optimalizace provozu ostrovní vodíkové čerpací stanice pro kombinovanou flotilu autobusů



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

NÁZEV VÝSLEDKU

Optimalizace provozu ostrovní vodíkové čerpací stanice pro kombinovanou flotilu autobusů

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 v Plzni

AUTORSKÝ TÝM

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

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

Jan Sochor (Česká vodíková technologická platforma)

Jan Poláček, Zdeněk Příbyl (EGÚ Brno, a.s.)

Jakub Ševčík, Jan Přikryl (Západočeská univerzita v Plzni)

Obsah

1	Úvod	5
2	Vstupní parametry	5
2.1	SWOT analýza – porovnání využití autobusů s alternativním pohonem v rámci MHD	5
2.2	Zdroj vodíku	6
3	Spotřebiče H ₂	6
3.1	Výběr vhodných vodíkových autobusů	6
3.2	Spotřeba H ₂	7
3.3	Harmonogramy čerpání	8
3.3.1	Alternativní režim čerpání	9
4	Vodíkové čerpací stanice	9
4.1	Umístění stanic	9
4.2	Inženýrské sítě	11
4.3	Provoz čerpacích stanic	12
5	Transport H ₂	13
5.1	Varianta 1 – Trajlery s kompozitními tlakovými nádobami	13
5.2	Varianta 2 – Trajlery s ocelovými tlakovými nádobami	13
6	Návrh VČS	13
7	Ekonomické zhodnocení ostrovního řešení	15
7.1	Cena vodíku	15
7.2	Vstupní náklady	15
7.2.1	Cena trajlerů – Varianta 1	15
7.2.2	Cena trajlerů – Varianta 2	15
7.2.3	Cena VČS	16
7.3	Provozní náklady	16
7.3.1	Elektřina	16
7.3.2	Údržba	16
7.4	Dotace	17
7.5	Autobusy	18
8	Čistota vodíku	18
9	Alternativní zdroj vodíku	19
9.1	Městská aglomerace – Oblast I	19

9.2	Městská aglomerace – Oblast II	19
10	Závěr.....	20
11	Seznam příloh.....	20
12	Seznam obrázků	20
13	Seznam tabulek.....	21
14	Seznam literatury	21
15	Seznam zkratk	22

1 Úvod

V současné době mnoho okresních či krajských měst v České republice zvažuje či připravuje přechod městské hromadné dopravy na bezemisní provoz. Zpravidla je provoz autobusové dopravy ve městech s populací typicky několik desítek tisíc obyvatel charakteristický snahou o minimalizaci prodlev mezi spoji, takže autobusy jsou celý den v permanenci pouze s krátkými pauzami mezi jízdami. V takovém případě se však mohou běžně dostupné elektrické autobusy potýkat s nedostatečným dojezdem pro obslužení některých energeticky náročnějších autobusových linek. Současně, stávající jízdní řády nemusí poskytovat dostatek času pro nabíjení během směn. Z těchto důvodů je pro některé linky vhodné uvažovat o využití vodíkových autobusů. Náhrada klasických autobusů se spalovacím motorem za jejich vodíkové protějšky se jeví jako výhodná především ve vybraných lokalitách s rozvinutým petrochemickým průmyslem, kde např. při provozu rafinérií dochází k přidružené výrobě vodíku parciální oxidací ropných zbytků. Předmětem tohoto dokumentu je ověření návrhu technologického řešení provozu (plnění) flotily vodíkových autobusů, které bude využívat H_2 z výroby takového petrochemického závodu formou zavážení vodíkových čerpacích stanic umístěných ve vozovných dopravních podniků.

2 Vstupní parametry

Tento dokument popisuje způsob ověření metody návrhu optimalizovaného provozu ostrovní vodíkové čerpací stanice pro flotilu vodíkových autobusů předpokládá:

1. existenci již provedené analýzy definující vhodné linky k přechodu na vodíkovou mobilitu a definující konkrétní počet pořizovaných vodíkových vozidel,
2. existující zdroj vodíku s dostatečnou roční, resp. denní výrobou H_2 .

Metody návrhu optimalizovaného provozu ostrovního řešení budeme demonstrovat na příkladu městské aglomerace sestávající z dvou oddělených oblastí. Předpokládáme, že v každé z oblastí je zavedena městská hromadná doprava čelící výzvám popsáným v kapitole 1. Celkový počet obyvatel žijící v těchto oblastech nepřevyšuje sto tisíc. Alternativně je tento příklad městské aglomerace možný považovat za dvě oddělená města v dojezdové vzdálenosti k rozvinuté oblasti petrochemického průmyslu.

V každém případě je předpokládána prvotní znalost linek MHD vhodných pro transfer k vodíkové mobilitě daná provedenými analýzami a znalost parametrů výroby/zdroje vodíku.

2.1 SWOT analýza – porovnání využití autobusů s alternativním pohonem v rámci MHD

Analýza definující vhodné linky k přechodu na vodíkovou mobilitu a definující konkrétní počet pořizovaných vodíkových vozidel může být např. SWOT analýza porovnávající využití autobusů s alternativním pohonem v rámci MHD vybraného města, např. [1,2]. Tato analýza by měla určovat, pro které linky provozované ve vybraném městě je vhodné využít bateriové elektrobusy, či právě vodíkové autobusy. Metoda výběru vhodných linek MHD a parametrů vozidel není předmětem tohoto dokumentu, závěry takové analýzy pro konkrétní příklad jsou diskutovány v kapitole 3.

2.2 Zdroj vodíku

Předpokládáme existenci dostatečného zdroje vodíku pro dodávky / závázky navrhovaných vodíkových čerpacích stanic (VČS) obsluhující flotilu vodíkových vozidel MHD. Takovým zdrojem může být např. závod petrochemického průmyslu – rafinérie, která v rámci běžného provozu vyrábí vodík parciální oxidací ropných zbytků. Vzhledem ke stabilitě a typickému rozsahu tradiční průmyslové výroby vodíku v řádu kt/rok uvažuje tento dokument zdroj vodíku, který pokryje poptávku ostrovního řešení. V této souvislosti je důležité upozornit na nutnost zajistit výrobu vodíku kategorie RFNBO (tedy plně obnovitelného dle pravidel EU) v pozdějších letech. VČS podpořeny investičně z dotačního programu se totiž zavazují k vydávání RFNBO vodíku od 1. 1. 2035. V případě dotační podpory se tedy jedná u uvažovaného vyráběného vodíku nespádajícího do kategorie RFNBO o dočasný zdroj paliva.

3 Spotřebiče H₂

3.1 Výběr vhodných vodíkových autobusů

Předpokládaná existující SWOT analýza definuje počet vodíkových vozidel nutných pro převod hromadné dopravy k bezemisní.

Pro námi diskutovanou městskou aglomeraci definuje celkově 32 možných vodíkových vozidel, konkrétně:

- oblast I: 22 vodíkových autobusů,
- oblast II: 10 vodíkových autobusů.

Provedené SWOT analýzy předpokládají nasazení vodíkových autobusů na všech linkách, pro které je dojezd uvažovaných (12metrových) bateriových elektrobusů s kapacitou baterie 300 kWh nedostatečný. Případné nasazení bateriových elektrobusů s vyšší kapacitou baterie, a tedy i zvýšeným dojezdem, které jsou na trhu již dostupné [3, 4], by umožnilo snížit počet směn autobusů provozovaných na vodík, a tím i snížit požadavky na kapacitu vodíkové infrastruktury. Konkrétně pro naše příklady by nasazení bateriových elektrobusů s vyšší kapacitou baterie vedlo ke snížení počtu kusů vodíkových vozidel z 32 na 28 (19 v oblasti I a 9 v oblasti II), respektive na 20 (12 v oblasti I a 8 v oblasti II) v závislosti na navýšené kapacitě baterií. Těchto výsledků bylo dosaženo prostým poměrovým porovnáním s původně uvažovaným autobusem. Dále předpokládáme nahrazení 18 m kloubových autobusů se spalovacím (dieselovým) motorem typově stejnými vozidly s vodíkovým pohonem, které jsou dnes již komerčně dostupné.

Pro informaci, k úplné eliminaci potřeby vodíkových autobusů souhrnně pro diskutovanou městskou aglomeraci při zachování současných jízdních řádů by bylo potřeba 23 elektrobusů s kapacitou 300 kWh, 6 elektrobusů s kapacitou 400 kWh, 7 elektrobusů s kapacitou 500 kWh, 12 elektrobusů s kapacitou 600 kWh a 7 elektrobusů s kapacitou 860 kWh (směna s dieselovým 18 m kloubovým autobusem pro tuto úvahu nebyla zohledněna). Potřebná kapacita baterií může být teoreticky také snížena průběžným nabíjením na trase, nicméně toto řešení by pravděpodobně vyžadovalo další úpravy mj. elektrické infrastruktury, které nejsou předmětem tohoto dokumentu.

Dále je v tomto dokumentu uvažováno, že budou pro hromadnou dopravu využity bateriové autobusy s kapacitou baterie alespoň 380 kWh tak, aby byly zohledněny plány dopravce dané

provedenou SWOT analýzou. Plánované vodíkové autobusy je tak možné dále uvažovat o počtu 28 ks:

- oblast I: 19 vodíkových autobusů,
- oblast II: 9 vodíkových autobusů.

Vodíkové autobusy jsou v našich diskutovaných případech vybrané městské aglomerace dle SWOT analýzy plánované mj. také k obsluze linek, které jsou vedeny na trase se sníženými průjezdnými profily. Konkrétně na vybraných úsecích trasy je omezena průjezdná výška na 3,3 m (směna projíždí pod železničním mostem). Pro výpočty uvedené dále se předpokládá, že všechny vodíkové autobusy v ostrovním řešení budou stejného typu, tudíž jsou uvažovány pouze autobusy s požadovanou výškou. Dostupné vodíkové autobusy na trhu, např. [5, 6], disponují dostatečným dojezdem pro obslužení všech vodíkových linek a jejich výška nepřesahuje 3,3 m. I z tohoto hlediska je tedy výběr konkrétního vodíkového autobusu technologicky neutrální a nejsou na vozy kladeny přílišné specifická kritéria.

3.2 Spotřeby H₂

Na základě denních nájezdů a spotřeby vodíku uvedené ve SWOT analýze – tedy 9 kg H₂ /100 km – byla určena spotřeba vodíkových autobusů pro jednotlivé směny. Pro kloubový 18 m autobus byla uvažována spotřeba 14,6 kg H₂ /100 km uváděná výrobcem. Tyto hodnoty ukazují průměrnou spotřebu, v praxi se ukazuje, že spotřeba se může značně lišit podle stylu řízení řidiče. Zaškolení řidičů a osvojení si základů energeticky efektivního stylu jízdy se jeví jako nutnost.

TABULKA 1: PŘÍKLAD SLUŽEB OBSLUHOVANÝCH VODÍKOVÝMI AUTOBUSY V OBLASTI II

Označení služby	Pracovní den		Nepracovní den	
	Nájezd (km)	Spotřeba (kg H ₂)	Nájezd (km)	Spotřeba (kg H ₂)
1/1¹	X	X	246	22,1
2/1	252	22,7	225	20,3
3/1	282	25,4	293	26,4
4/1	286	25,8	219	19,7
5/1²	308	27,8	X	X
6/1²	292	26,3	X	X
7/1²	262	23,6	X	X
1/2	345	31,1	380	34,2
1/3	255	23,0	255	23,0
2/3²	213	19,2	X	X
Celkem	2 495	224,9	1 618	145,7

TABULKA 2: PŘÍKLAD SLUŽEB OBSLUHOVANÝCH VODÍKOVÝMI AUTOBUSY V OBLASTI I

Označení služby	Pracovní den		Nepracovní den	
	Nájezd (km)	Spotřeba (kg H ₂)	Nájezd (km)	Spotřeba (kg H ₂)
1/4	227	20,5	208	18,7
2/4	228	20,5	210	18,9
3/4	222	20,0	213	19,1
1/5	293	26,4	250	22,5
1/6	276	24,8	285	25,6
2/6²	258	23,2	X	X
1/7	202	18,2	228	20,5
2/7	214	19,3	242	21,8
1/8	246	22,1	275	24,8
1/9	258	23,2	249	22,4
10/10 + 1/11²	173	15,5	X	X
1/10	255	23,0	269	24,2
2/10	234	21,0	266	23,9
3/10	258	23,2	230	20,7
4/10	217	19,5	204	18,3
6/10 + 2/11²	179	16,1	X	X
7/10 + 10/10²	188	16,9	X	X
8/10²	194	17,5	X	X
11/10 + 5/10³	188	27,6	X	X
Celkem	4 310	398,5	3 129	281,4

¹Směna je v pracovní den kratší a může jí obsloužit bateriový autobus, tato směna neprojíždí v místech se sníženými průjezdovými profily.

²Směna se v nepracovní den neprovozuje.

³Směna je obsluhována 18 m kloubovým autobusem

TABULKA 3: PŘÍKLADY SPOTŘEBY H₂ (V KG) V OSTROVNÍCH ŘEŠENÍ

	Pracovní den	Nepracovní den
Oblast I	398,5	281,4
Oblast II	224,9	145,7
Celkem	623,4	427,1

Je zjevné, že výrobní kapacity uvažovaného výrobce (rafinerie definované v kapitole 2.2) značně převyšují poptávku po vodíku, neměl by tedy nikdy nastat nedostatek.

3.3 Harmonogramy čerpání

Na základě spotřeb vodíkových autobusů byly sestaveny harmonogramy čerpání pro konkrétní příklad uvažované městské aglomerace, resp. jejích nezávislých oblastí. Při sestavování harmonogramu byly stanoveny následující předpoklady:

- Každá oblast (oblast I a oblast II) má svou vlastní vodíkovou čerpací stanici.
- Manipulační doba autobusu, přistavení/odstavení od čerpací stanice je 5 min, tj. 10 min celkem pro jedno čerpání.
- Autobus by měl mít plnou nádrž nejpozději 15 min před začátkem další směny.

- Autobusy doplňují vodík každý den, tedy doplňuje se pouze tolik vodíku, kolik je denní spotřeba, a tedy vždy do plné nádrže.
- Dojezdový čas autobusu z konečné zastávky směny k čerpací stanici je stanoven na 10 min.

Podle výše uvedených předpokladů byla spočtena požadovaná minimální průměrná rychlost čerpání pro splnění všech výše uvedených podmínek. Pro VČS navrženou pro oblast II je rychlost min. 10 g/s, pro VČS v oblasti I je rychlost min. 15,5 g/s. Pro jednodušší návrh stanic byla tedy zvolena jednotná rychlost 16 g/s (tj. 1 kg/min). Vzhledem k velkému množství obsluhovaných autobusů v rychlém sledu bude nutné, aby vydávaný vodík byl chlazen. Je nutno mít na paměti, že teplota plněné nádrže vozidla nesmí v žádném případě přesáhnout teplotu 85°C. Energie potřebná na vydání 1 kg H₂ bude přibližně 4,5 kWh. Každá z obou stanic si vystačí s jedním výdejním stojanem H35 (umožňující plnění vodíkových vozidel na 350 bar).

Výsledné harmonogramy plnění jsou součástí Přílohy 2.

3.3.1 Alternativní režim čerpání

Jak bylo uvedeno výše, předpokládá se, že autobusy budou vždy doplňovány do plné nádrže o množství vodíku spotřebované během dokončené směny. Pro snížení energetické náročnosti přípravy vodíku, a tedy i jeho ceny, existuje možnost upravit režim čerpání následujícím způsobem:

- Autobusy nebudou doplňovány do plné nádrže, ale tak aby v nádrži po dokončení směny zbyla minimální rezerva ve výši 20 %.
- Autobusy na konci směny dočerpají pouze takové množství vodíku, které je nutné k obslužení směny následující.

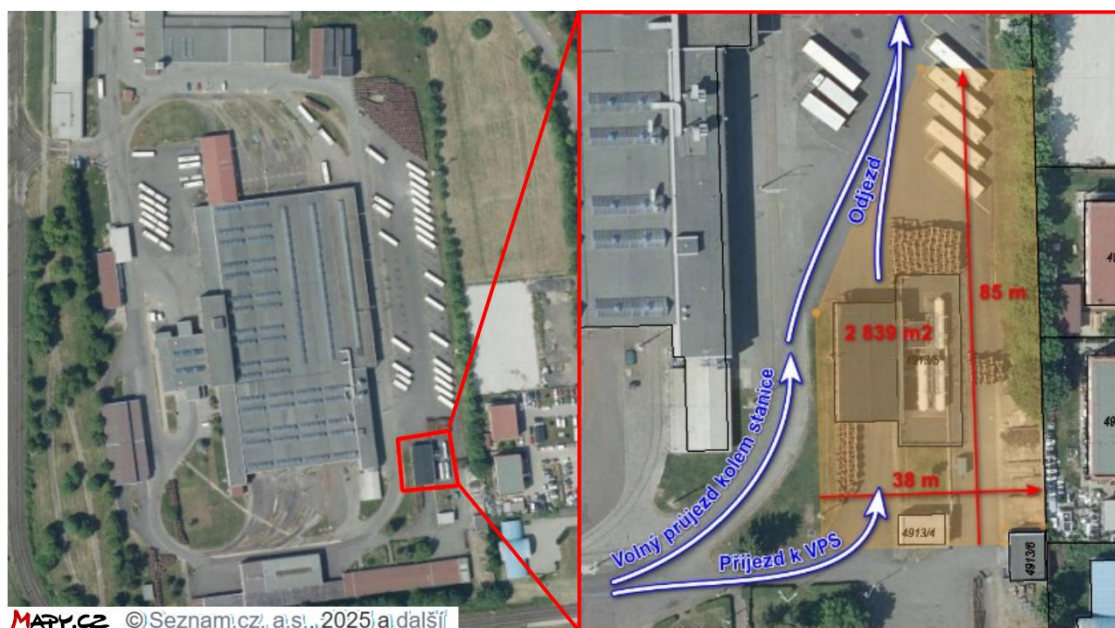
Pro ilustraci je uveden příklad směny označené 1/4 v oblasti I v pracovním dni. Tato směna má délku 227 km, což vede k denní spotřebě vodíku 20,5 kg. V případě standardního čerpání do plné nádrže by na konci směny zbývalo v nádrži 18,5 kg H₂ při cca 150 bar (nádrž vozidla je uvažována o kapacitě 39 kg H₂). Pro alternativní režim popsáný výše by na konci směny ve vozidle zůstalo 4,1 kg H₂ (tj. 20 % rezerva z denní spotřeby 20,5 kg) při cca 30 bar. Do nádrže autobusu by následně bylo doplněno 20,5 kg nutných k pokrytí směny následující. Alternativní režim čerpání tedy vede ke snížení zbytkového tlaku v nádrži o více než 100 bar, což umožní doplnit větší množství vodíku přímo z trajlerů, a tedy snížit množství vodíku doplňovaného do vyšších tlakových zádrží stanice (hladiny 500 a 700 bar). Kvalifikovaný odhad **úspory energie** na kompresi a chlazení je **přibližně 15 %**. Tato úspora je dosažena výměnou za zvýšené nároky na dispečink, který musí při plánování zajistit, že autobusy budou obsluhovat směny, pro které jim vystačí palivo.

4 Vodíkové čerpací stanice

4.1 Umístění stanic

Z důvodu úspory času, i neproduktivní dojezdové vzdálenosti je vhodnou variantou vybudovat 2 VČS, po jedné v každé z vozoven dopravního podniku obou diskutovaných oblastí (tj. 2 různé

vozovny v městské aglomeraci). Po konzultaci s dopravci byly předběžně zvoleno umístění zvýrazněné na Obrázek 1 a Obrázek 2.



OBRÁZEK 1: PŘÍKLAD UMÍSTĚNÍ VČS V OBLASTI I

Prostor pro umístění technologie stanice včetně dvou stání pro trajlery se zásobou vodíku je rovněž načrtnutý na Obrázek 1. Prostor má výměru téměř 2840 m², v nejširším místě délku 38 m a ve druhém směru max. 85 m. Podmínkou je zachování jednosměrného průjezdu autobusů, který je částečně veden po tramvajových kolejích po levé straně přiblíženého náčrtku.



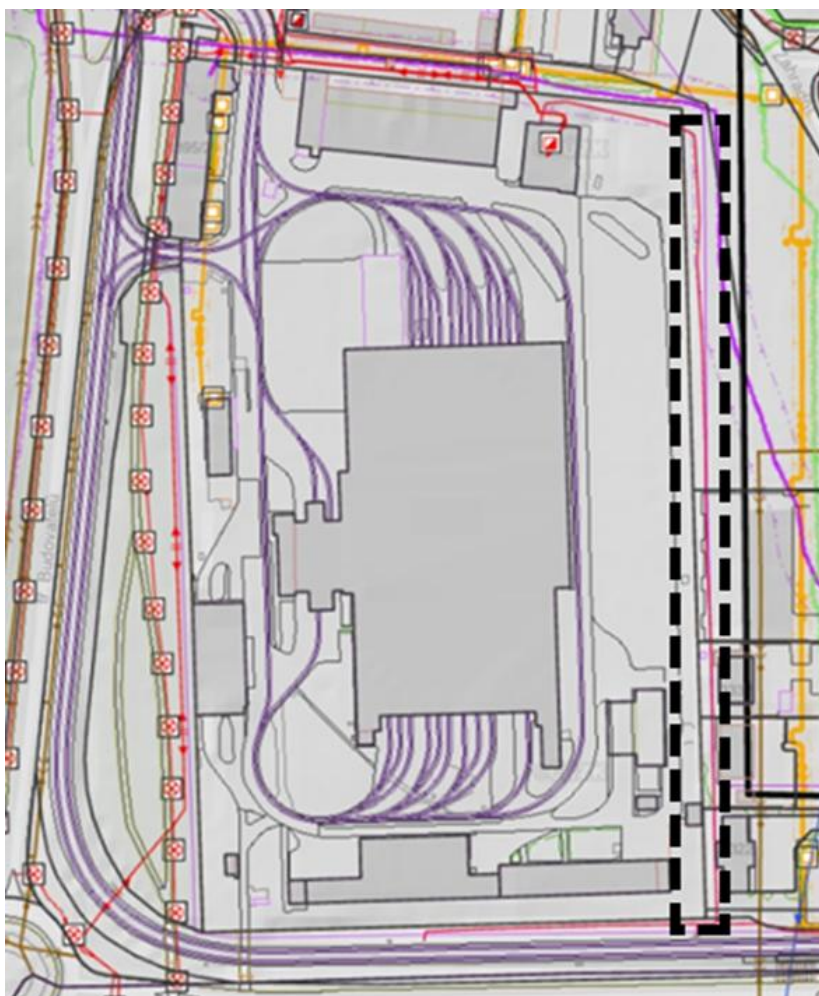
OBRÁZEK 2: PŘÍKLAD UMÍSTĚNÍ VČS V OBLASTI II

4.2 Inženýrské sítě

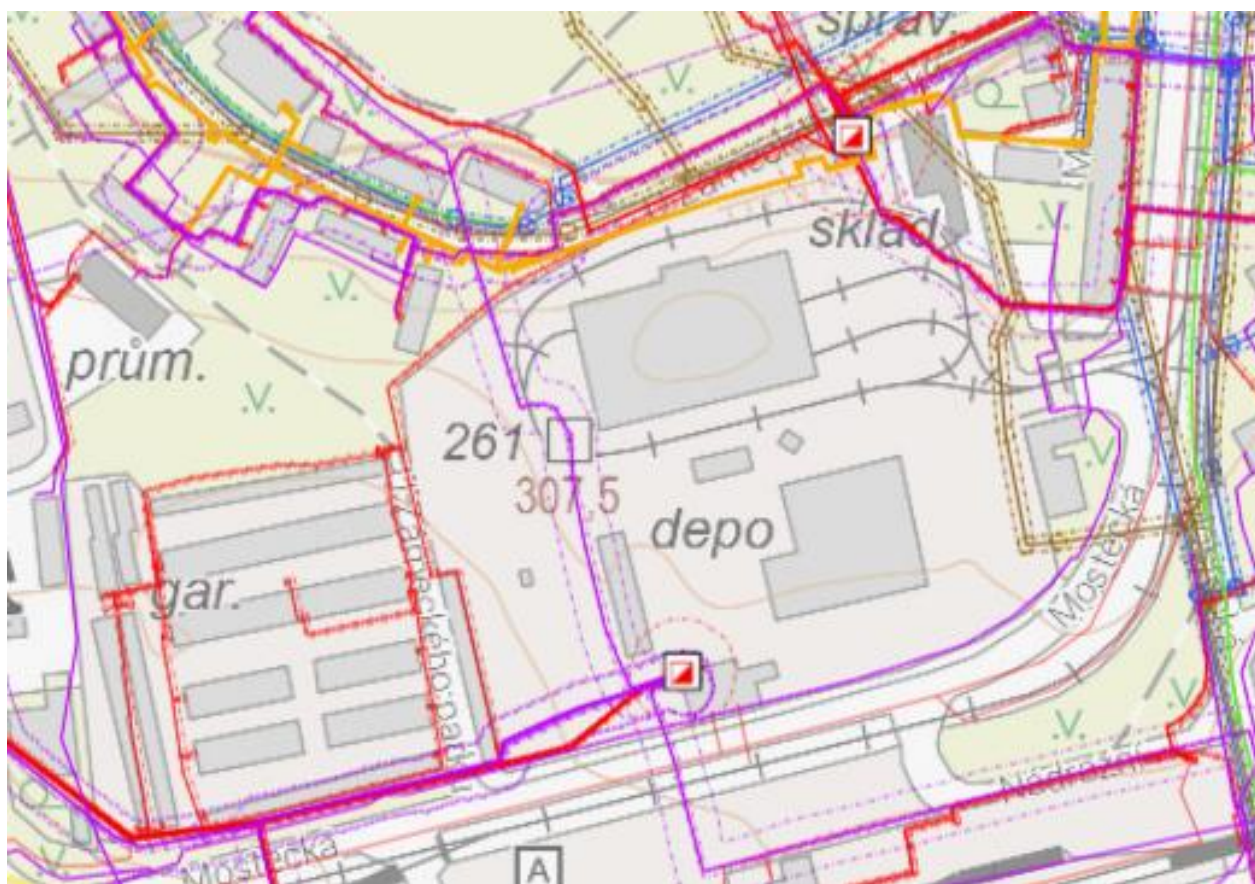
Při návrhu vodíkových čerpacích stanic je nutné zohlednit umístění existujících inženýrských sítí. Za tímto účelem je možné využít např. geoportály měst geoportály krajů, či získat sdělení o existenci sítí od správců distribučních soustav.

V navrhovaném příkladovém prostoru umístění stanice v oblasti I se nevyskytují žádné inženýrské sítě, na které by se musel brát při návrhu stanice ohled. Pouze na parcelách sousedících s předmětným místem se vyskytují telekomunikační vedení spolu s vedením elektrické sítě – nerozlišeno, pravděpodobně NN.

Podobně pro příklad diskutované oblasti II v rámci zvolené městské aglomerace se nachází vedení NN a telekomunikační vedení pouze na hranici navrhované parcely k umístění VČS.



OBRÁZEK 3: UKÁZKA MÍSTA ULOŽENÍ KOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ A ELEKTRICKÉHO VEDENÍ V OBLASTI I – ČERNÝ ČERCHOVANÝ OBDÉLNÍK, ZDROJ: [7]



OBRÁZEK 4: INŽENÝRSKÉ SÍTĚ V PLÁNOVANÉM MÍSTĚ STANICE V OBLASTI II, ZDROJ: [8]

4.3 Provoz čerpacích stanic

Vzhledem k využití obou stanic pouze k plnění vodíkových autobusů by obě stanice měly plnit vozidla pouze na tlak 350 bar a kvůli jejich umístěním s omezeným přístupem budou mít stanice charakter neveřejného provozu. Přístup ke spuštění plnění bude na základě identifikační karty, nebo čipu. Vzhledem k navrženému harmonogramu plnění během celé noční směny se nepředpokládá, že plnění bude zajišťováno samotnými řidiči, ale spíše pověřenou osobou. Identifikační karta zajistí pouze autorizované spuštění plnění. Dále budou stanicí evidována jednotlivá plněná vozidla pro následnou možnost hlubší analýzy spotřeb.

Je možné, že v blízkosti uvažovaných výroben vodíku se mohou vyskytovat další veřejné VČS. S takovými veřejnými VČS je možno počítat jako se zálohou v případě poruchy. Nicméně, v případě námi vybrané městské aglomerace, je výkon této veřejné stanice omezený. Po technologické úpravě se výkon takovéto veřejné VČS může přiblížit k max 30 kg H₂/h, což je pro naplnění požadovaných plnicích harmonogramů nedostatečné u obou zamýšlených flotil jak pro oblast I tak pro oblast II. V námi diskutovaném příkladě se tedy jedná o zálohu neplnohodnotnou.

5 Transport H₂

Vzhledem ke vzdálenosti navrhovaných VČS od výroby vodíku je třeba vodík přepravovat. Pro tento účel lze využít buď trajlery s ocelovými láhvemi (využitelná kapacita 300 kg @ 200 bar), nebo trajlery s kompozitními tlakovými láhvemi (využitelná kapacita 500 kg @ 300 bar).

5.1 Varianta 1 – Trajlery s kompozitními tlakovými nádobami

V této variantě je pro plnohodnotné obslužení stanic využito 3 trajlerů. Dva budou stát u VČS, třetí u plničky trajlerů v areálu výroby vodíku. Do oblasti I bude nutné zavážet vodík denně, do oblasti II, vzhledem k nižší spotřebě, stačí zavážet vodík každý druhý den.

Pro efektivní využití kapacity trajlerů by v této variantě bylo nutné vybudovat novou kompresní stanici s max. plnicím tlakem 300 bar. U této kompresní stanice se dle zástupců existujícího výrobce vodíku předpokládá rychlost plnění 380 kg H₂/h.

5.2 Varianta 2 – Trajlery s ocelovými tlakovými nádobami

V druhé variantě se počítá s využitím 4 trajlerů. Dva budou stát u VČS v diskutované oblasti I, jelikož denní spotřeba vodíku v pracovní den převyšuje kapacitu jednoho trajleru. Třetí trajler bude stát u VČS v diskutované oblasti II a čtvrtý u plničky trajlerů v areálu výroby vodíku. První trajler v oblasti I a jediný trajler v oblasti II bude nutné vyměnit za plný 6krát za týden (po-so), druhý trajler v oblasti I stačí vyměnit 3krát za týden. Dle připraveného harmonogramu by v neděli nebylo nutné zavážet vodík ani do jedné z VČS.

Varianta 2 počítá se standardní kompresní stanicí pro trajlery v areálu výroby vodíku, která má max. plnicí tlak 200 bar a rychlost plnění až 130 kg/hod. V případě vybudování výkonnější kompresní stanice, popsané v kapitole 5.1, by harmonogram zavážení byl podobný, pouze s kratší dobou plnění trajlerů.

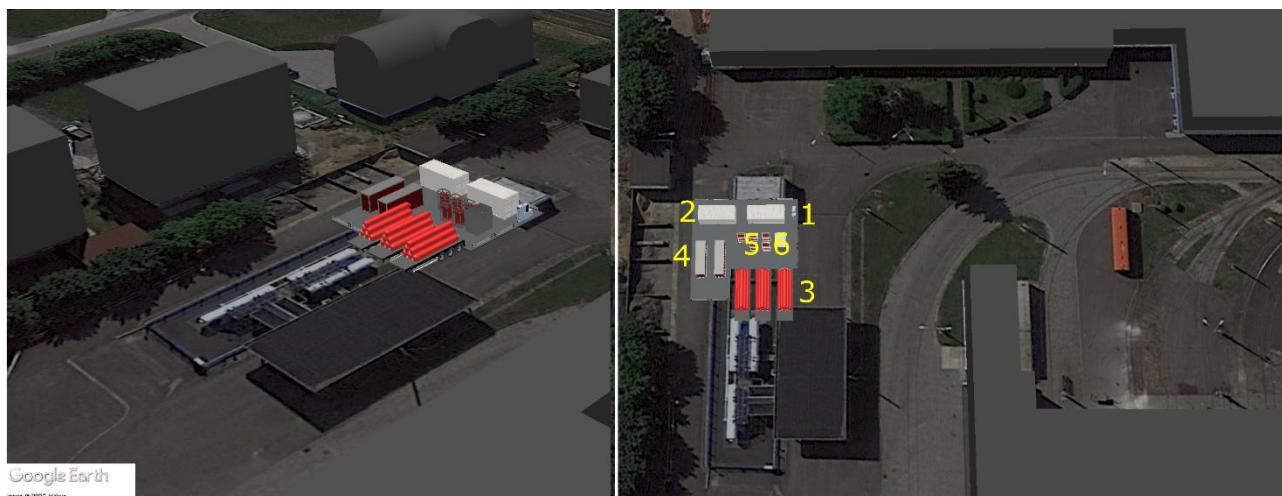
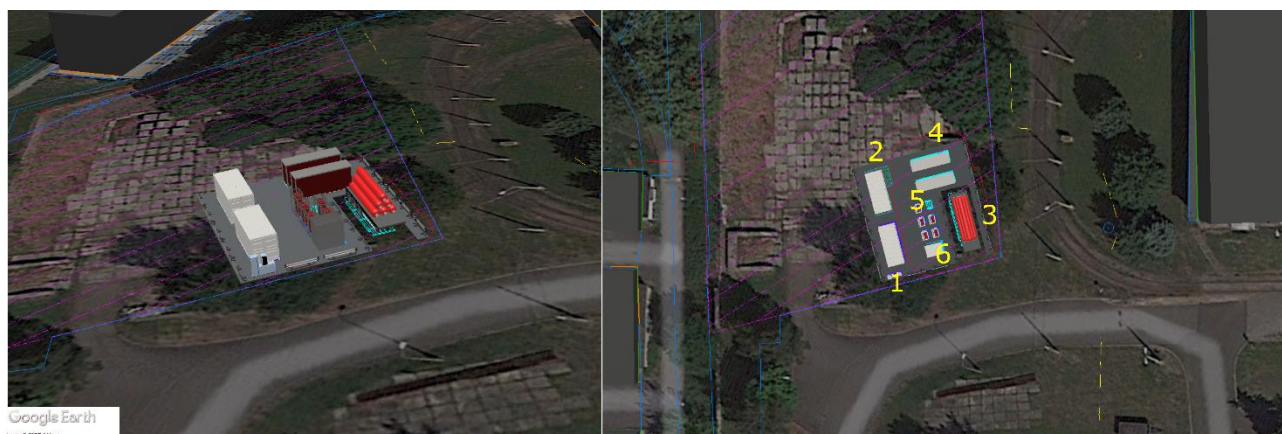
Podrobný harmonogram zavážení vodíku do stanic v obou variantách je uveden v Příloze 3.

V obou variantách platí, že trajler bude sloužit zároveň jako vstupní zásoba vodíku pro stanici a bude v provedení se 3-4 samostatnými výstupními porty pro připojení k priority panelu VČS. Jednotlivé sekce trajleru budou sloužit jako zdroj H₂ pro kompresor a zároveň jako tlakové stupně pro přímé přepouštění do vozidla v prvních fázích plnění.

Předpokládaným vlastníkem trajlerů je provozovatel VČS. Transport H₂ (řidič + tahač + plnění trajlerů) může být zpravidla zajištěn výrobcem H₂.

6 Návrh VČS

Na základě dat uvedených v předchozích kapitolách byla vypracována prostorová zástavba technologického návrhu VČS. Návrh vychází z předpokladu, že drtivá většina autobusů aktuálně na trhu má plnicí port na pravé straně nad přední nápravou. Způsob zásobování stanice vodíkem pomocí trajlerů vybízí k přímému využití energie již stlačeného vodíku. Přímým přepouštěním z trajleru do vozidla v první fázi plnění se významnou měrou ušetří na kapacitě kompresoru a úplně se eliminuje nutnost tlakové zádrže nejnižší úrovně (300 bar), která má však největší kapacitu.

**OBRÁZEK 5: TECHNOLOGICKÝ NÁVRH VČS PRO OBLAST I****OBRÁZEK 6: TECHNOLOGICKÝ NÁVRH VČS PRO OBLAST II**

Stanice zobrazené na Obrázek 5 a Obrázek 6 se skládají z následujících prvků:

- 1) Výdejní stojan – standardní výdejní stojan H35, umožňující plnění vodíkových vozidel na 350 bar a komunikaci VČS s vozidlem.
- 2) Kompresory – vzhledem k vysokým požadavkům na výdej vodíku se počítá s umístěním dvou kompresorů. Půdorys je pro obě stanice stejný, ale kompresory použité v oblasti II mohou být výkonově nižší úrovně, protože je zde menší počet autobusů, a tedy výdej menšího množství vodíku.
- 3) Místo pro přistavení trajleru – v diskutované oblasti I jsou ve Variantě 1 nutná parkovací místa pro 2 trajlery, ve Variantě 2 místa pro 3 trajlery. V diskutované oblasti II v obou variantách stačí 2 parkovací místa. Je předpokládáno, že všechna místa budou mít flexibilní připojovací body pro zapojení trajleru do VČS, aby se předešlo zbytečným manipulačním úkonům při zavážení stanice.
- 4) Vysokotlaké úložiště na 500 bar – slouží jako druhý tlakový stupeň pro plnění vozidel. Kapacita úložiště v diskutované oblasti II je podobně jako v případě kompresoru o něco nižší.

5) Vysokotlaké úložiště na 700 bar – slouží jako konečný tlakový stupeň pro plnění vozidel. Komprese na 700 bar je nutná k dosažení dostatečné rychlosti plnění.

6) Chladicí jednotka – slouží ke zchlazení vydávaného vodíku na cca -20 °C pro zrychlení plnění vozidel.

Při návrhu obou VČS byl kladen důraz na to, aby obě stanice sdílely co nejvíce komponentů, což vede k úspoře nákladů nejen při zpracovávání projektu, ale i samotné realizaci. Typizované komponenty stanice mají pozitivní vliv na výši nákladů na údržbu či rychlost odstranění nenadálé závady.

7 Ekonomické zhodnocení ostrovního řešení

Tato sekce se zabývá vyhodnocením předpokládané hodnoty vodíku na výdejním stojanu VČS. Cena je kombinací investičních nákladů rozložených do předpokládané životnosti ostrovního řešení a provozních nákladů. Předpokládaná doba životnosti pro komponenty uvažované v ostrovním řešení je 20 let. Níže uvedené náklady jsou vztaheny na 10 let, aby ostrovní řešení mohlo v druhé polovině životnosti generovat zisk pro případné pozdější obnovení technologií. Ceny uvedené v této sekci vycházejí z údajů platných v době zhotovení dokumentu, predikce jejich budoucích vývoje není předmětem tohoto dokumentu. Pro následující výpočty jsou uvažovány kurzy 1 € = 25,46 Kč, 1 \$ = 23,51 Kč.

7.1 Cena vodíku

Cena za 1 kg vodíku poskytnutého výrobcem bude předmětem smluvní dohody mezi provozovatelem VČS a výrobcem. Podle předběžného odhadu od zástupce výrobce vodíku by v tomto množství měla být cena za 1 kg H₂ cca 160 Kč. Cena za dopravu a přidružené náklady (mzdy, tahač, pojištění, ...) je dle odhadu cca 22 Kč/kg H₂. Lze tedy uvažovat celkovou cenu za dodávku vodíku 182 Kč/kg H₂. Fixní náklad za 1 kg dodaného vodíku je třeba přičíst k ceně vzniklé realizací ostrovního řešení. Je třeba vzít v potaz, že Varianta 2, tedy využití ocelových kontejnerů vyžaduje větší množství jízd mezi výrobnou vodíku a VČS. V této variantě tedy bude cena za dodávku vodíku o něco vyšší. Nicméně dle podkladů poskytnutých uvažovaným výrobcem vodíku by cena dopravy ve Variantě 2 měla být pouze o 1,6 Kč vyšší než ve Variantě 1.

7.2 Vstupní náklady

Vzhledem k pokrytí výroby a dopravy vodíku formou služby zbývají z ostrovního řešení pouze náklady na přepravní trajlery a samotnou VČS.

7.2.1 Cena trajlerů – Varianta 1

Tato varianta počítá s využitím tří trajlerů s kompozitními tlakovými láhvemi. Dle informací nejmenovaného výrobce, je přibližná cena za 1 jejich trajler (40' ISO, jmenovitá kapacita 647 kg H₂ @ 300 bar) 12 000 000 Kč. Celková cena za 3 kusy je tedy 36 000 000 Kč. Lze očekávat, že trajlery s obdobnými parametry od jiných výrobců budou mít podobnou cenu. Dle dosavadních zkušeností je vhodné už do podmínek výběrového řízení zanést požadavek na vyčištění, vysušení a zavodíkování trajleru.

7.2.2 Cena trajlerů – Varianta 2

Tato varianta počítá s využitím čtyř trajlerů s ocelovými tlakovými nádobami. Dle informací nejmenovaného výrobce tohoto typu trajlerů, je cena trajleru s ocelovými tlakovými láhvemi

přibližně 6 400 000 Kč (jmenovitá kapacita 500 kg @ 200 bar), včetně ceny za vyčištění, vysušení a zavodíkování trajleru. Celková cena za všechny 4 trajlery je cca 25 600 000 Kč.

7.2.3 Cena VČS

Investiční odhad nejmenovaného dodavatele VČS by se cena navrhovaných stanic pohybovala kolem úrovně 100 000 000 Kč pro navrhovanou VČS pro diskutovanou oblast I a 70 000 000 Kč pro VČS v oblasti II. Tyto ceny zahrnují všechny prvky popsané v kap. 6.

K cenám všech vstupů uvedených výše je přičteno 10 % na pokrytí dodatečných výdajů a financování navýšení v důsledku nepřesné kalkulace ceny. Vzhledem k zahájení výstavby ostrovního řešení nejdříve v roce 2025 je cena všech vstupů navýšena o 2 %, což je očekávaná meziroční inflace [9].

TABULKA 4: VSTUPNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ

	Varianta 1	Varianta 2	Jednotky
CAPEX celkem¹	231 132 000	219 469 000	Kč
Trajlery	36 000 000	25 604 800	Kč
VČS	170 000 000	170 000 000	Kč
Promítnutí CAPEX do ceny H₂	113	107	Kč/kg H₂

¹ Jedná se o součet položek včetně 2% meziroční inflace a 10 % navýšení jako rezervy

7.3 Provozní náklady

7.3.1 Elektřina

Vzhledem k vysokým požadavkům na výdej vodíku v navrhovaném řešení je nutné, aby byl vydávaný vodík chlazen a komprimován na vyšší tlakovou úroveň. Hlavními spotřebiči elektřiny jsou tedy kompresor a chladicí jednotka. Celková spotřeba elektrické energie stanice se pohybuje kolem hodnoty 4,5 kWh na 1 kg vydaného vodíku. Jedná se o konzervativní údaj, který nebude překročen. Ve výpočtu je předpokládán odběr elektřiny z rozvodné sítě, cena elektřiny pro dopravní podnik je dle informací poskytnutých jeho zástupcem cca 6,5 Kč/kWh.

7.3.2 Údržba

Náklady na údržbu vodíkových trajlerů se běžně předpokládají na 2 % nákupní ceny každý rok provozu [10]. Pro Variantu 1 je to 720 000 Kč/rok, pro Variantu 2 jde o 512 000 Kč/rok.

Náklady na údržbu VČS jsou dle informací od dodavatele VČS 1 % z investičních nákladů ročně. Pro VČS v oblasti I jde o 1 000 000 Kč a pro VČS v oblasti II jde o 700 000 Kč.

TABULKA 5: PROVOZNÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO ŘEŠENÍ

	Varianta 1	Varianta 2	Jednotky
OPEX celkem²	8 584 000	8 372 000	Kč/rok
Elektřina – VČS + kompresor	5 995 270	5 995 270	Kč/rok
Údržba VČS	1 700 000	1 700 000	Kč/rok
Údržba Trajlerů	720 000	512 000	Kč/rok
Promítnutí OPEX do ceny H₂	42	41	Kč/kg H₂

² Jedná se o součet položek včetně 2% meziroční inflace

Jak ukazuje Tabulka 4 a Tabulka 5 cena vodíku na pistoli VČS je dle navrhovaného řešení:

- Celková cena ve Variantě 1: $182 + 155 = 337$ Kč.
- Celková cena ve Variantě 2: $182 + 148 = 330$ Kč.

V případě, že by byl zvolen alternativní režim čerpání popsany v kap. 3.3.1 dojde k úspoře cca 5 Kč/kg H₂ v obou variantách.

7.4 Dotace

Pro výstavbu vodíkového hospodářství je v České republice k dispozici několik dotačních výzev. Pro výstavbu VČS jsou k dispozici programy OP Doprava a IROP. Pro oba programy platí, že příjemce dotace se zavazuje, že na podpořené VČS bude od roku 2035 vydávat pouze RFNBO vodík.

U výzev z OP Doprava je míra dotace až 70 % nákladů. Výzvy z roku 2024 byly rozděleny především na čerpací stanice na hlavní síti TEN-T, čerpací stanice v městských uzlech (do kterých diskutovaná městská aglomerace nespadá) a ostatní čerpací stanice. Výzva k ostatním čerpacím stanicím se souhrnnou alokací 120 milionů korun, tj. výzva č. 25 [11], umožňuje oproti dalším výzvám vystavět čerpací stanici s libovolným tlakem na výdeji, čerpací stanice nicméně **musí být veřejná**. Výzva č. 25 byla uzavřena na konci června 2024, z vyjádření Ministerstva dopravy nicméně vyplývá, že se budou do budoucna podobné výzvy opakovat.

Alternativou k programu OP Doprava jsou výzvy, které spravuje Ministerstvo pro místní rozvoj v rámci Integrovaného regionálního operačního programu (IROP). Konkrétně v horizontu za rok 2025, kdy některé z výzev (výzva č. 106, končí již 31. 1. 2025) je potenciálně využitelná výzva č. 108 IROP – Plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI) [12], ve které je možné požádat o dotaci na čerpací stanici ve 3 metropolitních oblastech ČR a vybraných (11) aglomeracích ČR, kdy většina okresních měst spadá do právě jedné z definovaných aglomerací. Souhrnná alokace je pro méně rozvinuté regiony stanovena na 208 milionů korun, pro přechodové regiony 213 milionů korun. Minimální výše podpory je 5 milionů a maximální 200 milionů. Značnou komplikací je fakt, že **o dotaci na čerpací stanici smí požádat pouze dopravce**, který musí čerpací stanici sám spravovat a provozovat, další komplikací je nižší podpora oproti OP Doprava ve výši 35 % na způsobilé výdaje v případě méně rozvinutých regionů (tento příklad bude dále uvažován v konkrétních výpočtech) a 25 % v případě přechodových regionů. Čerpací stanice dále nesmí být veřejně přístupná. Čerpací stanice může být využívána i jinými typy silničních vozidel provozovanými příjemcem, nebo vozidla provozovanými osobou ovládanou příjemcem či osobou ovládající příjemce dotace. Za osobu ovládající příjemce, kterým je organizace zřizovaná nebo zakládaná krajem nebo obcí, nelze považovat jinou organizaci zřizovanou. Podobně jako u OP Doprava i zde by měla být možnost v rámci programu podpořit skladování a kompresorovou stanici vodíku. Vzhledem k navrhovanému umístění stanic v areálech dopravních podniků a k vysoké vytíženosti stanic se jeví velmi nepravděpodobné, že by stanice byly provozovány jako veřejné, tudíž **v současnosti připadá v úvahu pouze využití programu IROP**.

Pokud jde o investiční podporu nákupu vodíkových trajlerů je do budoucna počítáno s podporou infrastruktury pro skladování a distribuci vodíku v rámci programu GREENGAS v Modernizačním fondu. Podle předběžných informací získaných od SFŽP by v první výzvě tohoto programu měla být k dispozici investiční podpora 45 % uznatelných nákladů (65 % pro malé a 55 % pro středně velké

podniky) s maximální mírou podpory 30 miliónů € na projekt. Tato výzva umožní nákup zařízení k výrobě, distribuci a skladování vodíku, nicméně neumožňuje podpořit nákup VČS. První výzva by měla být zahájena v lednu 2025 a jelikož se jedná o průběžnou nesoutěžní výzvu je možné podávat projekty do jara 2026. Nicméně podle předběžných informací by se tato výzva měla týkat pouze projektů využívajících plně obnovitelný vodík (RFNBO), a tedy není navrhované ostrovní řešení způsobilé pro tuto výzvu.

Za předpokladu využití dotační programy z programu IROP by došlo ke snížení ceny vodíku na pistoli VČS až na:

- ve Variantě 1: $182 + 122 = 304$ Kč.
- ve Variantě 2: $182 + 115 = 297$ Kč.

7.5 Autobusy

Cena autobusu je uvedena samostatně, neboť se předpokládá, že nákup autobusu bude zajištěn provozovatelem hromadné dopravy. Při obdobných hromadných dodávkách vysoutěžená cena možných uvažovaných 12 m vodíkových autobusů dosahuje (jako příklad z praxe) 15 184 400 Kč [13] a lze předpokládat, že ostatní vozidla podobných parametrů budou mít srovnatelnou nákupní cenu. Při nákupu 28 autobusů by tedy cena byla 425 163 200 Kč. V otázce nákupu lokálně bezemisních vodíkových autobusů je možné využít výzvu č. 39 programu IROP, kde je oprávněným žadatelem kraj, obce či dopravce na základě smlouvy o veřejných službách v přepravě cestujících. Pro méně rozvinuté regiony je míra financování až 85 %, pro přechodové regiony 70 %, na výzvu jsou alokovány 3 miliardy a je otevřena do 31. 12. 2027 nebo do vyčerpání alokace. V roce 2025 až 2026 je chystán další program na podporu nákupu bezemisních vozidel, a to konkrétně v rámci programu TransGov Modernizačního fondu, konkrétní podoba programu, a tedy i zahrnutí autobusů třídy M2, ale zatím není známa. V případě využití výše zmíněné dotace (pro méně rozvinuté regiony) by byla nákupní cena jednoho uvažovaného autobusu cca 2 277 660 Kč (63 774 480 Kč za 28 vozidel).

8 Čistota vodíku

Pro provoz vodíkových autobusů s palivovými články je třeba zajistit čistotu palivového vodíku 5.0 (99,999 %) akreditovaným měřením čistoty. Požadovanou čistotu vodíku pro použití v mobilitě dále specifikuje norma ČSN ISO 14687 (656520) [14], která stanovuje maximální přípustné koncentrace nečistot v palivu. Odběrné místo pro kontrolu čistoty by mělo být na hadici VČS. Kontrola čistoty paliva výdejním zařízením je běžná praxe v zahraničních VČS, a i v České republice probíhá snaha o standardizaci tohoto procesu. Pro navrhované ostrovní řešení jsou kontroly obzvlášť důležité, protože využívaný vodík bude vyroben z fosilních paliv, tedy existuje větší riziko výskytu nečistot.

V době vzniku tohoto dokumentu není v ČR legislativa, která by specifikovala, jak často musí být měření čistoty prováděno. Nicméně je velmi pravděpodobné, že s rozšířením stanic vydávajících vodík budou stanovena jasná pravidla. Nastavení pravidel kontroly čistoty vodíku je v tuto chvíli pouze na dohodě mezi odběratelem a dodavatelem/výrobcem vodíku. Významným prvkem pro nastavení dohody jsou i požadavky výrobce vozidel pro zachování záručních podmínek. Pro příklad, stát Kalifornie vyžaduje kontroly čistoty bezprostředně před spuštěním stanice, každých 6 měsíců od spuštění a po každé, když dojde k zásahu do systému, při kterém by mohlo dojít ke kontaminaci – míněna výměna komponentů systému nebo údržba [15]. Kontrola čistoty před spuštěním a po

zásahu je bezesporu nezbytně nutná a měla by probíhat i v našich podmínkách. Pravidelné kontroly jsou pak vhodné, ale pravděpodobně časově i finančně náročné, tudíž jejich frekvence záleží na provozovateli stanice, dokud nedojde k upřesnění ze strany státní správy.

9 Alternativní zdroj vodíku

Jak bylo zmíněno v kapitole 7.4, příjemci dotace na výstavbu vodíkové stanice se zavazují od roku 2035 vydávat na VČS pouze RFNBO vodík. Tudíž je k tomuto datu třeba zajistit zdroj plně obnovitelného vodíku. Tato sekce se zabývá návrhem výroby RFNBO vodíku, která by plnohodnotně nahradila vodík od stávajícího výrobce využívajícího pro výrobu parciální oxidaci ropných zbytků. Jedná se o orientační návrh, jelikož je možné potřebné množství vodíku vyrobit vhodnou kombinací zdroje elektřiny, výkonu elektrolyzátoru a kapacity skladu, příp. bateriového úložiště.

Návrh vychází z následujících předpokladů:

- Výroba RFNBO vodíku musí pokrýt celoroční spotřebu ostrovního řešení, tedy v oblasti I 134 t H₂ a v oblasti II 75 t H₂.
- Součástí výrobní technologie je sklad, do kterého lze uložit množství vodíku odpovídající spotřebě autobusů za 2 pracovní dny.
- Využití bateriového úložiště není uvažováno.

Na základě těchto předpokladů bylo vypočteno několik variant výroby RFNBO vodíku.

9.1 Městská aglomerace – Oblast I

Pro 100 % pokrytí výroby vodíku v uvažované oblasti I za využití pouze FVE bez jakékoliv akumulace energie je potřeba více než 1,4 GW zdroj pro pokrytí nároků 2 MW elektrolyzátoru i za snížené světelné intenzity (např. v zimním období). Pokud by bylo možné zajistit stálý zdroj obnovitelné energie umožňující nepřetržitý provoz elektrolyzátoru, pak by stačil 850 kW zdroj obnovitelné energie pohánějící 850 kW elektrolyzátor.

9.2 Městská aglomerace – Oblast II

Pro 100 % pokrytí výroby vodíku v uvažované oblasti II za využití pouze FVE bez jakékoliv akumulace energie je potřeba více než 3 GW zdroj pro pokrytí nároků 1 MW elektrolyzátoru i za snížené světelné intenzity (např. v zimním období). Pokud by bylo možné zajistit stálý zdroj obnovitelné energie umožňující nepřetržitý provoz elektrolyzátoru, pak by stačil 500 kW zdroj obnovitelné energie pohánějící 500 kW elektrolyzátor.

Všechny varianty pro diskutovanou městskou aglomeraci, tj. pro oblast I a oblast II, včetně alternativních návrhů výroby jsou uvedeny v Příloze 1 – Návrh výroby RFNBO vodíku. V případě využití některé z výše popsaných variant alternativní výroby vodíku lze dosáhnout dle současných cen výrobní ceny 250–458 Kč/kg H₂ – viz Příloha 1. Tato cena nahradí cenu 182 Kč za kg šedého vodíku zvažovanou v kapitole 7.

10 Závěr

Tento dokument ověřuje metody návrhu optimalizovaného infrastruktury pro plnění vodíkových autobusů MHD na konkrétním příkladu městské aglomerace sestávající z dvou nezávislých oblastí z pohledu provozování MHD. Metoda návrhu předpokládá existenci např. počáteční analýzy, která definuje konkrétní linky MHD vhodné k transferu na vodíkovou mobilitu. V tomto dokumentu ověřujeme návrh infrastruktury pro plnění flotily celkově 28 vodíkových autobusů, 19 operujících v příkladové oblasti I a 9 v oblasti II. Dokument obsahuje také ukázkový návrh harmonogramu pro plnění autobusů v době mimo provozní dobu.

Zdrojem vodíku pro ostrovní řešení je uvažován vodík z existujícího petrochemického závodu, který má dostatečné kapacity pro zásobování čerpacích stanic v obou uvažovaných lokalitách. Tento vodík je transportován do VČS po silnici pomocí několika trajlerů. Byly vypracovány 2 varianty transportu vodíku, ve Variantě 1 se počítá s využitím 3 trajlerů s kompozitními tlakovými nádobami, ve Variantě 2 se počítá s využitím 4 trajlerů s ocelovými tlakovými nádobami.

Dále byl vypracován návrh dvou VČS v areálech dopravních podniků diskutované městské aglomerace. Návrh je přizpůsoben výše zmíněnému harmonogramu plnění a umožňuje zajistit doplnění paliva pro všechny uvažované autobusy v hodinách mimo provozní dobu autobusů.

Tento dokument obsahuje také ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení ve formě ceny za 1 kg H₂ na výdejní pistoli VČS. Je zde rozveden vliv jednotlivých variant na výslednou cenu a také možnosti snížení výsledné ceny pomocí současných dotačních programů. Ekonomické zhodnocení ukazuje, že Varianta 2 je finančně výhodnější vzhledem k výrazně nižší pořizovací ceně trajlerů s ocelovými tlakovými nádobami. Na základě této skutečnosti doporučují autoři zvolit k případné realizaci pro diskutovanou městskou aglomeraci Variantu 2.

Dokument taktéž popisuje požadavky na čistotu vodíku pro použití v dopravě a doporučení k zajištění této čistoty. Taktéž je v závěru dokumentu krátce diskutován základní návrh infrastruktury nutné pro zajištění plně obnovitelného vodíku pro potřeby obou navrhovaných VČS.

11 Seznam příloh

Příloha 1 – Návrh výroby RFNBO vodíku

Příloha 2 – Harmonogramy plnění autobusů

Příloha 3 – Harmonogram plnění trajlerů – příklad městské aglomerace

12 Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad umístění VČS v oblasti I.....10

Obrázek 2: Příklad umístění VČS v oblasti II.....10

Obrázek 3: Ukázka místa uložení komunikačního vedení a elektrického vedení v oblasti I – černý
čerchovaný obdélník, zdroj [7].....11

Obrázek 4: Inženýrské sítě v plánovaném místě stanice v oblasti II, zdroj [8]12

Obrázek 5: Technologický návrh VČS pro oblast I.....14

Obrázek 6: Technologický návrh VČS pro oblast II.....14

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklad služeb obsluhovaných vodíkovými autobusy v oblasti II	7
Tabulka 2: Příklad služeb obsluhovaných vodíkovými autobusy v oblasti I.....	8
Tabulka 3: Příklad spotřeby H ₂ (v kg) v ostrovních řešení.....	8
Tabulka 4: Vstupní náklady ostrovního řešení.....	16
Tabulka 5: Provozní náklady ostrovního řešení	16

14 Seznam literatury

- [1] Ondřej Smíšek (2022) SWOT analýza – porovnání využití autobusů s alternativním pohonem v rámci MHD v Mostě a Litvínově
- [2] ÚJV Řež (2020) Technicko-ekonomické posouzení implementace vodíkového pohonu v Ústeckém kraji
- [3] Solaris Bus & Coach [online technický list]. (2024) [cit. 2024-07-29]. Technical details – Solaris Urbino 12 electric. Dostupné z: https://www.solarisbus.com/public/assets/Biuo_prasowe/2022_10_12_Transexpo/Technical_Details_Urbino_12_electric_Transexpo_EN.pdf
- [4] Iveco Bus [online technický list]. (2024) [cit. 2024-07-29]. E-WAY FULL ELECTRIC – 12m. Dostupné z: https://www.iveco.com/ivecobus/cz-cz/collections/technical_sheets/Documents/2022/E-WAY/CZ_Eway_12m.pdf
- [5] Československý dopravák. (2023) [cit. 2024-07-29]. SOR NSF 12 – vodíkový autobus z Libchav. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/sor-nsf-12-vodikovy-autobus-z-libchav/>
- [6] Solaris Bus & Coach [produktový katalog]. (2022) [cit. 2024-07-29]. Zero emissions powertrains. Dostupné z: https://www.solarisbus.com/public/assets/content/pojazdy/katalogi_2022/EN_Zeroemisyjne_1920_x_1080_-_2022_02.pdf
- [7] mapy.mesto-most.cz (2024) [cit. 2024-07-29]. Technická infrastruktura v Mostě (ÚAP). Dostupné z: <https://mapy.mesto-most.cz/app/technicka-infrastruktura-uap/>
- [8] ags.kr-ustecky.cz (2024) [cit. 2024-07-29]. Vizualizovaná data ÚAP. Dostupné z: <https://ags.kr-ustecky.cz/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=2643a9b8f1904e398465f19375b4aed9>
- [9] cnb.cz (2024) [cit. 2024-08-05]. Prognóza ČNB – léto 2024. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza>
- [10] Solomon, M. D. et al (2024) Cost Optimization of Compressed Hydrogen GasTransport via Trucks and Pipelines. *Energy Technology*, Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ente.202300785>.
- [11] opd3.opd.cz. (2021) [cit. 2024-07-08]. Program Doprava 2021-2027. Dostupné z: <https://opd3.opd.cz/stranka/vyzva-25>

- [12] irop.gov.cz. (2024) [cit. 2024-07-08]. 108. výzva IROP – Plnicí a dobíjecí stanice pro veřejnou dopravu – SC 6.1 (ITI). Dostupné z: <https://irop.gov.cz/cs/vyzvy-2021-2027/vyzvy/108vyzvairop>
- [13] busportal.cz (2021) [cit. 2024-07-29]. V Ústí nad Labem budou jezdit Solaris Urbina na vodík. Dostupné z: <https://www.busportal.cz/clanek/v-usti-nad-labem-budou-jezdit-solaris-urbina-na-vodik-17734>
- [14] ČSN ISO 14687 (656520) Kvalita vodíkového paliva – Specifikace produktu, Česká agentura pro standardizaci, publikováno září 2020
- [15] Transportation and Toxics Division California Air Resources Board (2020); Appendix C – Hydrogen refueling station requirements. Dostupné z: https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-08/fy1920_ccssolicitation_appc_h2fuelingstation.pdf

15 Seznam zkratk

VČS – vodíková čerpací stanice

DPH – daň z přidané hodnoty

FD ČVUT – Fakulta dopravní Českého vysokého učení technického

OZE – Obnovitelné zdroje elektřiny

RFNBO – Obnovitelná paliva nebiologického původu (Renewable fuels of non-biological origin)

NN – Nízké napětí

OP – Operační program

IROP – Integrovaný regionální operační program

Příloha 1 – Návrh výroby RFNBO vodíku

1 Oblast II

Vstupní data:

TABULKA 6: SPOTŘEBA H₂ V OBLASTI II (KG/DEN)

	Pracovní den	Nepracovní den
Oblast II	224,9	145,7

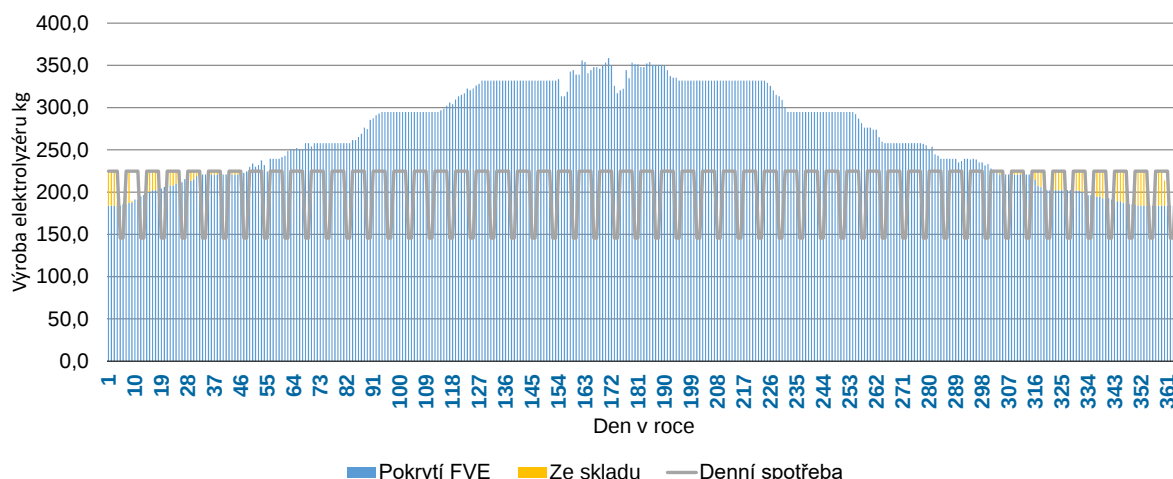
- Výroba během celého roku: **75 tun H₂**.
- **Sklad: 460 kg H₂**, pro pokrytí 2 pracovních dnů. Předpokládá se start s plným zásobníkem.
- Baterie se nepředpokládá

1.1 Varianta: Elektrolyzátor vyrábí jenom když svítí a FVE vyrábí dostatek energie

Dodávka elektrické energie kopíruje výrobu FVE.

Výsledek:

- A)** Výkon elektrolyzátoru (určen): 1 MW znamená **velikost FVE 2,1 GW** (i tak nejsou pokryty některé dny v zimě, pro úplný pokrytí je potřeba více než 3 GW)
- Reálný provoz elektrolyzátoru (využití): 5 321 hod.
 - Výroba H₂ za rok: 99 490 kg/rok (přebytek: 99,49-75= 24,49 tun H₂/rok)
 - Spotřeba el. energie za rok: 5 472 MWh/rok (pro 75 tun: 4 125 MWh)
 - Cena roční rezervované kapacity (pro rok 2024, ČEZ, pro 1,1 MW příkon a spotřebu elektřiny: 5 500 MWh/rok): **6 732 975 CZK/rok (bez DPH)**.

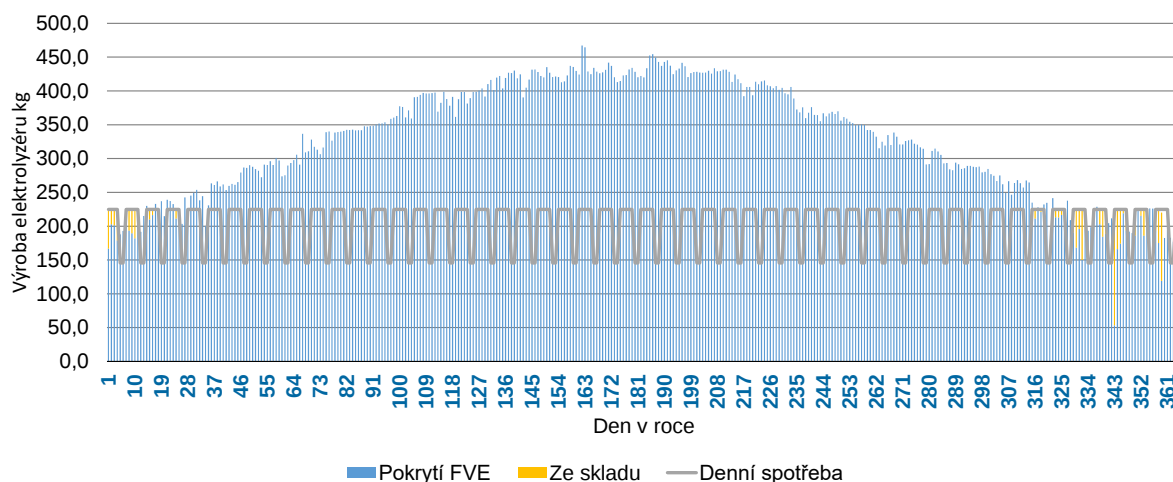


OBRÁZEK 7: GRAF VÝROBY VODÍKU VE VARIANTĚ 1.1 A

- Výrobní cena vodíku vychází v této variantě 312 Kč/kg H₂

B) Když se výkon elektrolyzáru zvýší na 1,5 MW, dochází ke značné redukci potřebné velikosti FVE – a to na **80 MW** (což je více než 25krát méně):

- Reálný provoz elektrolyzáru (využití): 4 376 hod.
- Výroba H₂ za rok: 122 524 kg/rok (přebytek: 122,52-75= 47,52 tun H₂/rok)
- Spotřeba el. energie za rok: 6 739 MWh/rok (pro 75 tun: 4 125 MWh)
- Cena roční rezervované kapacity (pro rok 2024, ČEZ, pro 1,55 MW a spotřebu elektřiny: 6 800 MWh/rok): **8 953 122 CZK/rok (bez DPH)**.



OBRÁZEK 8: GRAF VÝROBY VODÍKU VE VARIANTĚ 1.1 B

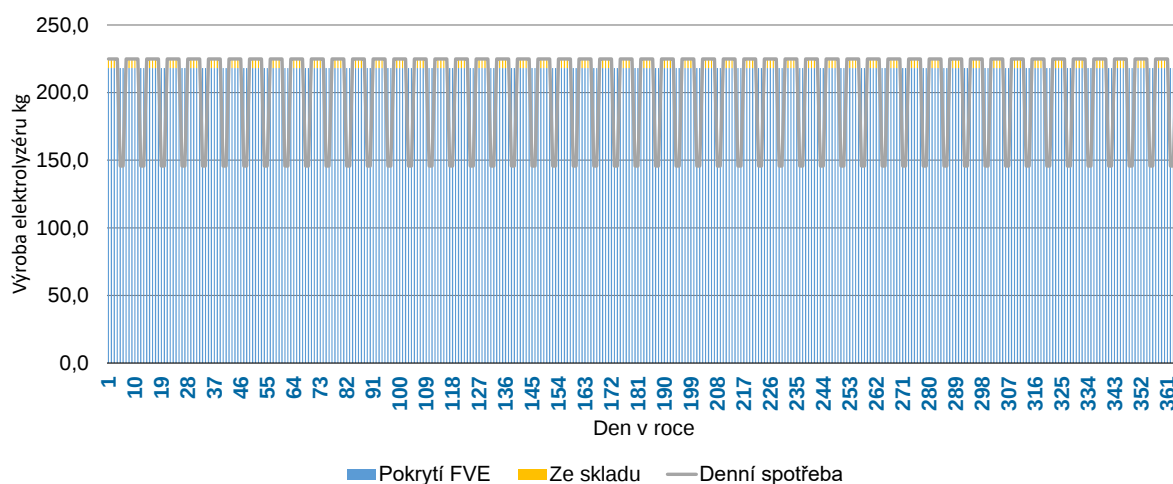
- Výrobní cena vodíku vychází v této variantě 375 Kč/kg H₂

1.2 Varianta: Elektrolýzér vyrábí na čáře konstantně

- Konstantní zdroj PPA
- Výkon elektrolýzérů: 500 kW

Výsledek:

- Stačí 500 kW instalovaný výkon zdroje (FVE / VTE / jiný zdroj PPA)**
- Reálný provoz elektrolýzérů (využití): 7 500 hod.
- Cena roční rezervované kapacity (pro rok 2024, ČEZ, pro 0,6 MW a spotřebu elektřiny: 4 500 MWh/rok): **4 502 555 CZK/rok (bez DPH)**.
- Roční přebytek H₂: 6,8 tun



OBRÁZEK 9: GRAF VÝROBY VODÍKU VE VARIANTĚ 1.2

- Výrobní cena vodíku vychází v této variantě 250 Kč/kg H₂

2 Oblast I

Vstupní data:

TABULKA 7: SPOTŘEBA H₂ V OBLAST I (KG/DEN)

	Pracovní den	Nepracovní den
Oblast I	398,5	281,4

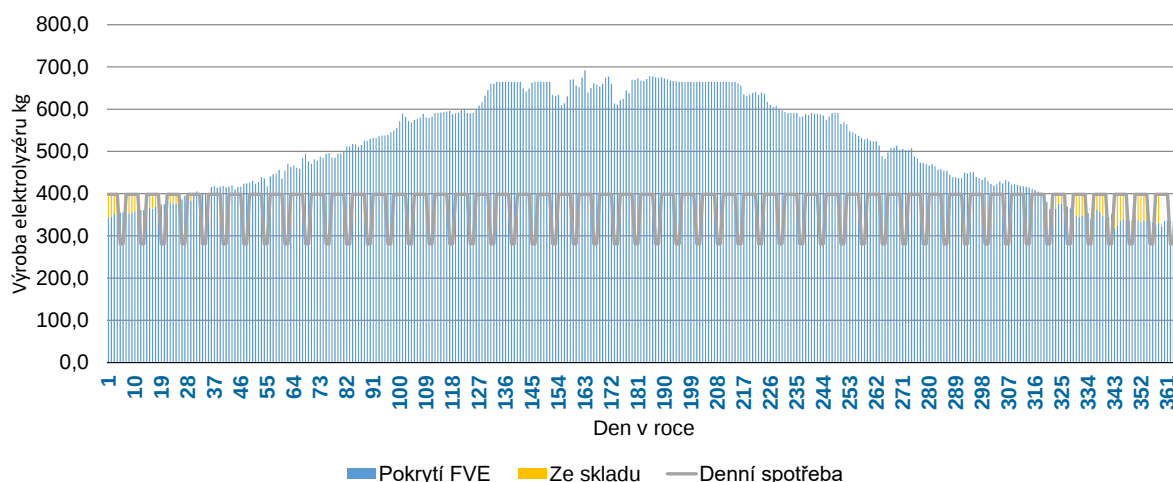
- Výroba během celého roku: **134 tun H₂**.
- Sklad: 800 kg H₂**, pro pokrytí 2 pracovních dnů. Předpokládá se start s plným zásobníkem.
- Baterie se nepředpokládá

2.1 Varianta: Elektrolýzér vyrábí jenom když svítí a FVE vyrábí dostatek energie

Dodávka elektrické energie kopíruje výrobu FVE.

Výsledek:

- Výkon elektrolyzáru (určen): 2 MW znamená **velikost FVE 950 MW** (i tak nejsou pokryty některé dny v zimě, pro úplný pokrytí je potřeba více než 1,4 GW)
- Reálný provoz elektrolyzáru (využití): 5 200 hod.
- Výroba H₂ za rok: 190 500 kg/rok (přebytek: 190,5-134= 56,5 tun H₂/rok)
- Spotřeba el. energie za rok: 10 477 MWh/rok (pro 134 tun: 7 370 MWh)
- Cena roční rezervované kapacity (pro rok 2024, ČEZ, pro 2,1 MW a spotřebu elektřiny: 10 477 MWh/rok): **12 717 527 CZK/rok (bez DPH).**

**OBRÁZEK 10: GRAF VÝROBY VODÍKU VE VARIANTĚ 2.1**

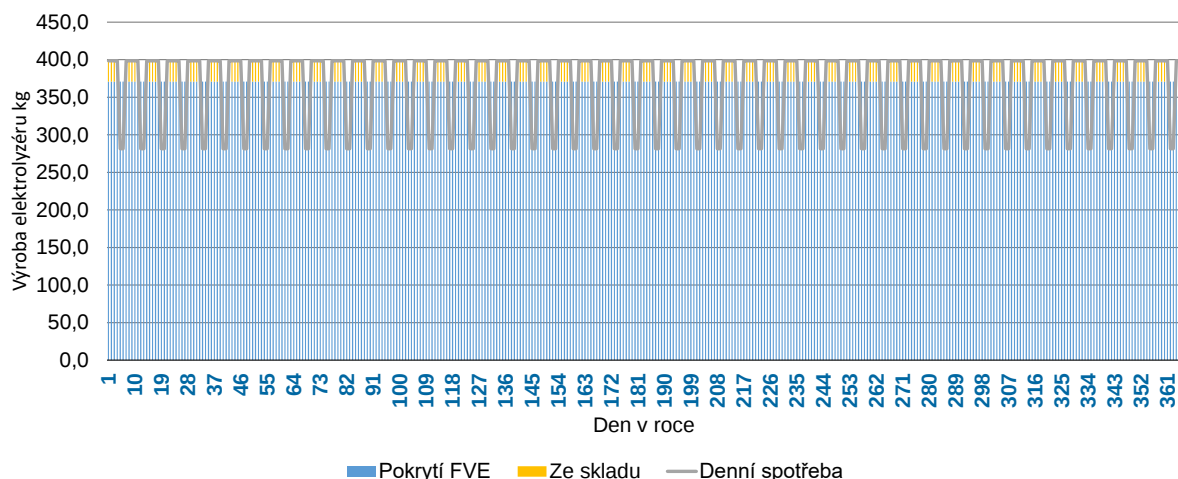
- Výrobní cena vodíku vychází v této variantě 458 Kč/kg H₂

2.2 Varianta: Elektrolyzáru vyrábí na čáře konstantně

- Konstantní zdroj PPA
- Výkon elektrolyzáru: 850 kW

Výsledek:

- **Stačí 850 kW instalovaný výkon zdroje (FVE / VTE / jiný zdroj PPA)**
- Reálný provoz elektrolyzáru (využití): 7 400 hod.
- Cena roční rezervované kapacity (pro rok 2024, ČEZ, pro 0,9 MW a spotřebu elektřiny: 8 040 MWh/rok): **6 984 213 CZK/rok (bez DPH).**
- Roční přebytek H₂: 12,15 tun

**OBRÁZEK 11: GRAF VÝROBY VODÍKU VE VARIANTĚ 2.2**

- Výrobní cena vodíku vychází v této variantě 306 Kč/kg H₂

3 Seznam obrázků

Obrázek 7: Graf výroby vodíku ve Variantě 1.1 A	23
Obrázek 8: Graf výroby vodíku ve Variantě 1.1 B	24
Obrázek 9: Graf výroby vodíku ve Variantě 1.2	25
Obrázek 10: Graf výroby vodíku ve Variantě 2.1	26
Obrázek 11: Graf výroby vodíku ve Variantě 2.2	27

4 Seznam tabulek

Tabulka 6: SPOTŘEBA H ₂ V OBLASTI II (Kg/DEN)	23
Tabulka 7: SPOTŘEBA H ₂ V OBLASTI I (KG/DEN)	25

5 Seznam zkratk

RFNBO – Obnovitelná paliva nebiologického původu (Renewable fuels of non-biological origin)

DPH – daň z přidané hodnoty

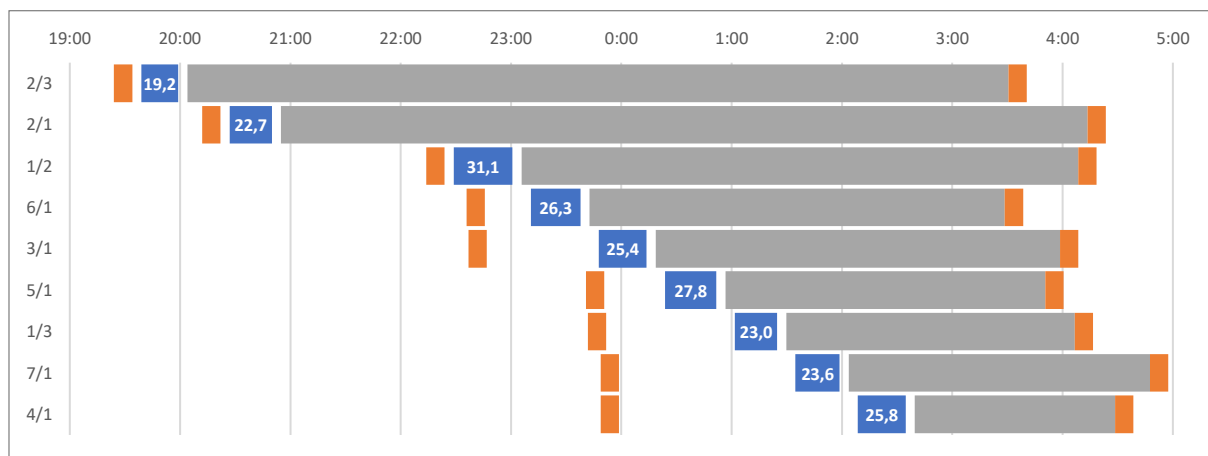
PPA – Smlouva o dodávce obnovitelné energie (Power purchase agreement)

FVE – Fotovoltaická elektrárna

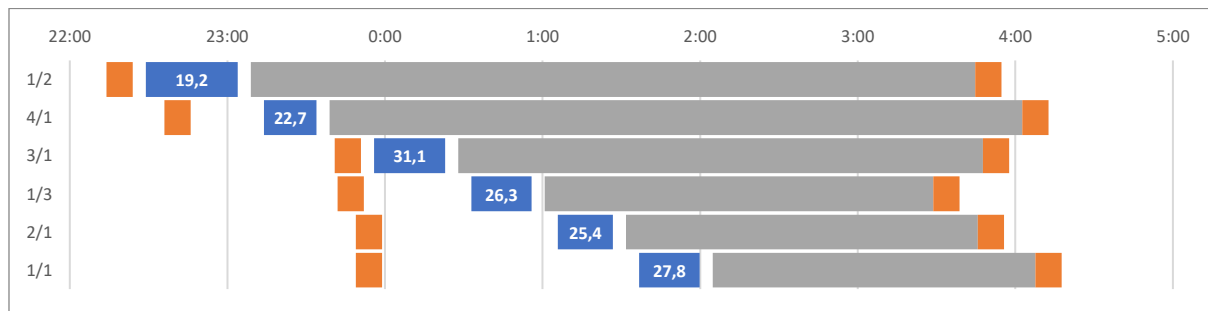
VTE – Větrná elektrárna

Příloha 2 – Harmonogramy plnění autobusů

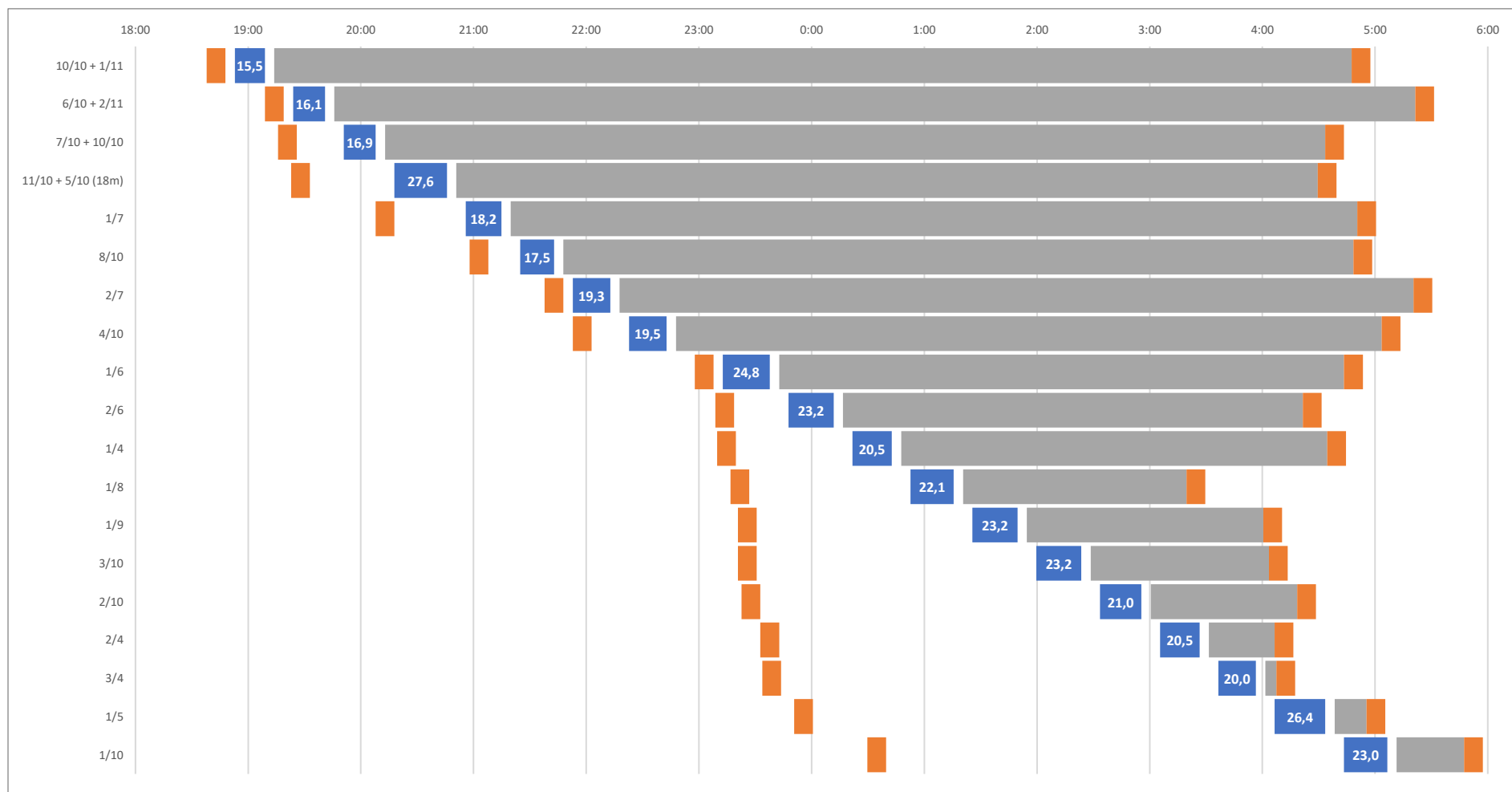
Na Obrázcích 12 až 15 jsou graficky znázorněny harmonogramy čerpání pro Oblast I a II v pracovní a nepracovní dny. Oranžově je vyznačena doba přesunu z a do vozovny z konečné zastávky, modře je vyznačena doba plnění, šedě volný čas vozidla a bíle je uvedena hmotnost doplňovaného vodíku v kg. Volná mezera před a po době plnění značí časový prostor pro manipulaci s autobusem k a z VČS.



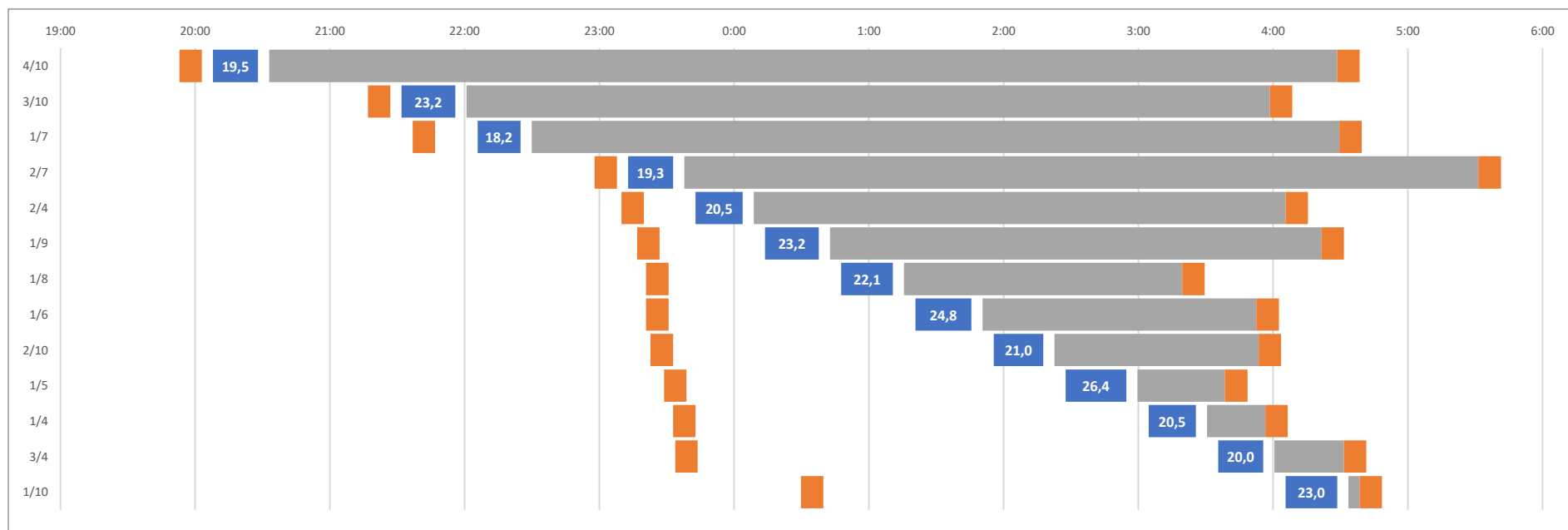
OBRÁZEK 12: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST II, PRACOVNÍ DEN



OBRÁZEK 13: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST II, NEPRACOVNÍ DEN



OBRÁZEK 14: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST I, PRACOVNÍ DEN



OBRÁZEK 15: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST I, NEPRACOVNÍ DEN

Grafické harmonogramy vycházejí z hodnot uvedených v tabulkách 8–11.

TABULKA 8: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST II, PRACOVNÍ DEN

Označení služby ¹	Konec provozu	Začátek plnění	Konec plnění	Začátek provozu	Doplňovaný H ₂ (kg)
2/23	19:24	19:39	19:59	3:41	19,2
2/13	20:12	20:27	20:50	4:24	22,7
1/14	22:14	22:29	23:01	4:19	31,1
6/13	22:36	23:11	23:38	3:39	26,3
3/13	23:37	23:48	0:14	4:09	25,4
5/13	22:41	0:24	0:52	4:01	27,8
1/23	23:42	1:02	1:25	4:17	23,0
7/13	23:49	1:35	1:59	4:58	23,6
4/13	23:49	2:09	2:35	4:39	25,8

¹Pro přehlednost je používáno označení směny, jedná se však o autobus, který danou směnu v den čerpání obsluhoval

TABULKA 9: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST II, NEPRACOVNÍ DEN

Označení služby ¹	Konec provozu	Začátek plnění	Konec plnění	Začátek provozu	Doplňovaný H ₂ (kg)
1/14	22:14	22:29	23:04	3:55	34,2
4/13	22:36	23:14	23:34	4:13	19,7
3/13	23:41	23:56	0:23	3:58	26,4
1/23	23:42	0:33	0:56	3:39	23,0
2/13	23:49	1:06	1:27	3:56	20,3
1/13	23:49	1:37	2:00	4:18	22,1

TABULKA 10: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST I, PRACOVNÍ DEN

Označení služby ¹	Konec provozu	Začátek plnění	Konec plnění	Začátek provozu	Doplňovaný H ₂ (kg)
10/30 + 1/25	18:38	18:53	19:09	4:58	15,5
6/30 + 2/25	19:09	19:24	19:41	5:32	16,1
7/30 + 10/30	19:16	19:51	20:08	4:44	16,9
11/30 + 5/30²	19:23	20:18	20:46	4:40	27,6
1/17	20:08	20:56	21:15	5:01	18,2
8/30³	20:58	21:25	21:43	4:59	17,5
2/17	21:38	21:53	22:13	5:31	19,3
4/30	21:53	22:23	22:43	5:14	19,5
1/16	22:58	23:13	23:38	4:54	24,8
2/16	23:09	23:48	0:12	4:32	23,2
1/5	23:10	0:22	0:43	4:45	20,5
1/20	23:17	0:53	1:16	3:30	22,1
1/22	23:21	1:26	1:50	4:11	23,2
3/30	23:21	2:00	2:24	4:14	23,2
2/30	23:23	2:34	2:56	4:29	21,0
2/5	23:33	3:06	3:27	4:17	20,5

3/5	23:34	3:37	3:57	4:18	20,0
1/10	23:51	4:07	4:34	5:06	26,4
1/30³	0:40	4:44	5:07	5:58	23,0

²18 m kloubový autobus, ³začátek provozu u směn 1/30 a 8/30 je z prohozený, protože je z časových důvodů potřeba, aby si v následujícím dni vozidla prohodily směny

TABULKA 11: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST I, NEPRACOVNÍ DEN

Označení služby ¹	Konec provozu	Začátek plnění	Konec plnění	Začátek provozu	Doplňovaný H ₂ (kg)
4/30	19:53	20:08	20:28	4:39	19,5
3/30	21:17	21:32	21:56	4:09	23,2
1/17	21:37	22:06	22:25	4:40	18,2
2/17	22:58	23:13	23:33	5:42	19,3
2/5	23:10	23:43	0:04	4:16	20,5
1/22	23:17	0:14	0:38	4:32	23,2
1/20	23:21	0:48	1:11	3:30	22,1
1/16	23:21	1:21	1:46	4:03	24,8
2/30	23:23	1:56	2:18	4:04	21,0
1/10	23:29	2:28	2:55	3:49	26,4
1/5	23:33	3:05	3:26	4:07	20,5
3/5	23:34	3:36	3:56	4:42	20,0
1/30	0:30	4:06	4:29	4:49	23,0

6 Seznam obrázků

Obrázek 12: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST II, PRACOVNÍ DEN	28
Obrázek 13: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST II, NEPRACOVNÍ DEN	28
Obrázek 14: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST I, PRACOVNÍ DEN	29
Obrázek 15: GRAFICKÝ HARMONOGRAM, OBLAST I, NEPRACOVNÍ DEN	30

7 Seznam tabulek

Tabulka 8: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST II, PRACOVNÍ DEN	31
Tabulka 9: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST II, NEPRACOVNÍ DEN	31
Tabulka 10: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST I, PRACOVNÍ DEN	31
Tabulka 11: HARMONOGRAM ČERPÁNÍ, OBLAST I, NEPRACOVNÍ DEN	32

8 Seznam zkratk

VČS – Vodíková čerpací stanice

Příloha 3 – Harmonogram plnění trajlerů – příklad městské aglomerace

Umístění trajleru	Oblast II		Oblast I		Výrobní		Počet plnění
-------------------	-----------	--	----------	--	---------	--	--------------

Stav trajleru (kg)	Ráno	Odpoledne	Ráno	Odpoledne	Ráno	Odpoledne	
Pondělí	500	500	500	500	500	500	První týden je zaváděcí
Úterý	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	
Středa	50,2	500	101,5	500	500	50,2	
Čtvrtek	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	
Pátek	50,2	500	101,5	500	500	50,2	
Sobota	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	
Neděle	129,4	500	218,6	500	500	129,4	
Pondělí	354,3	354,3	218,6	500	500	218,6	1
Úterý	129,4	500	101,5	500	500	101,5	2
Středa	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Čtvrtek	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Pátek	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Sobota	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Neděle	354,3	354,3	218,6	500	500	218,6	1
Pondělí	208,6	500	218,6	500	500	208,6	2
Úterý	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Středa	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Čtvrtek	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Pátek	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Sobota	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Neděle	129,4	500	218,6	500	500	129,4	2
Pondělí	354,3	354,3	218,6	500	500	218,6	1
Úterý	129,4	500	101,5	500	500	101,5	2
Středa	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Čtvrtek	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Pátek	275,1	275,1	101,5	500	500	101,5	1
Sobota	50,2	500	101,5	500	500	50,2	2
Neděle	354,3	354,3	218,6	500	500	218,6	1
Pondělí	208,6	500	218,6	500	500	208,6	2

Časová osa	V - Výrobní, OI - Oblast I, OII - Oblast II															
A:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny							
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:30	10:45	16:30							
B:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:48	11:03	11:18	11:33	11:48	12:03	12:18	13:17	13:32	16:30
C:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny							
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:48	11:03	16:30							
D:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:48	11:03	11:18	11:33	11:48	12:03	12:18	13:30	13:45	16:30
E:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:47	13:02	16:30
F:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	ZNAČENÍ prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:59	13:14	16:30

Disponibilní kapacita trajleru (kg) 500
Rychlost plnění (kg/h) 380

Přehled spotřeby H2 (v kg) v ostrovním řešení

	Pracovní den	Nepracovní den
Oblast II	224,9	145,7
Oblast I	398,5	281,4
Celkem	623,4	427,1

Vysvětlivky

A: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 281,4 kg za 45 min

B: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 398,5 kg za 63 min, tento plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 370,6 kg za 59 min

C: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 398,5 kg za 63 min

D: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 398,5 kg za 63 min, tento plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 449,8 kg za 72 min

E: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 281,4 kg za 45 min, tento plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 291,4 kg za 47 min

F: Plný trajler z Výrobní se vymění za poloprázdný z Oblasti I, doplní se 281,4 kg za 45 min, tento plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 370,6 kg za 59 min

Doplňované množství H2 (kg)	Doba plnění (min)	Začátek směny:	8:00
281,4	0:45	Konec směny:	16:30
370,6	0:59	Cesta Oblast II - Výrobní:	0:15 5 km
398,5	1:03	Cesta Oblast I - Výrobní:	0:30 10 km
449,8	1:12	Pauza:	0:30
291,4	0:47	Připojení/odpojení trajleru:	0:15

Jelikož se pauza dá stihnout během plnění trajleru, tak je zbytečné ji do harmonogramu uvádět

Volný čas	Doba strávená plněním	Výskyt směny za 2 týdny	Ujetá vzdálenost (km)
5:45	0:45	2	20
2:58	2:02	1	30
5:27	1:03	5	20
2:45	2:15	4	30
3:28	1:32	1	30
3:16	1:44	1	30
Za 2 týdny:			350





Umístění trajleru	Oblast II		Oblast I/1		Oblast I/2		Výrobní		Počet plnění	
Stav trajleru (kg)	Ráno	Odpoledne	Ráno	Odpoledne	Ráno	Odpoledne	Ráno	Odpoledne		
Pondělí	300	300	300	300	300	300	300	300	0	První týden (nebo spíš den) je zaváděcí
Úterý	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Středa	75,1	300,0	0,0	300	103,0	103,0	300	0	2	
Čtvrtek	75,1	300,0	0,0	300	4,5	300	300	0	3	
Pátek	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Sobota	75,1	300,0	0,0	300	103,0	300	300	0	3	
Neděle	154,3	154,3	18,6	18,6	300,0	300,0	300	18,6	0	
Pondělí	8,6	300,0	18,6	300	18,6	300	300	8,6	3	Perioda harmonogramu je 1 týden
Úterý	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Středa	75,1	300,0	0,0	300	103,0	103,0	300	0	2	
Čtvrtek	75,1	300,0	0,0	300	4,5	300	300	0	3	
Pátek	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Sobota	75,1	300,0	0,0	300	103,0	300	300	0	3	
Neděle	154,3	154,3	18,6	18,6	300,0	300,0	300	18,6	0	
Pondělí	8,6	300,0	18,6	300	18,6	300	300	8,6	3	
Úterý	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Středa	75,1	300,0	0,0	300	103,0	103,0	300	0	2	
Čtvrtek	75,1	300,0	0,0	300	4,5	300	300	0	3	
Pátek	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Sobota	75,1	300,0	0,0	300	103,0	300	300	0	3	
Neděle	154,3	154,3	18,6	18,6	300,0	300,0	300	18,6	0	
Pondělí	8,6	300,0	18,6	300	18,6	300	300	8,6	3	
Úterý	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Středa	75,1	300,0	0,0	300	103,0	103,0	300	0	2	
Čtvrtek	75,1	300,0	0,0	300	4,5	300	300	0	3	
Pátek	75,1	300,0	0,0	300	201,5	201,5	300	0	2	
Sobota	75,1	300,0	0,0	300	103,0	300	300	0	3	
Neděle	154,3	154,3	18,6	18,6	300,0	300,0	300	18,6	0	
Pondělí	8,6	300,0	18,6	300	18,6	300	300	8,6	3	

Disponibilní kapacita trajleru (kg) 300
Rychlost plnění (kg/h) 130

Přehled spotřeby H₂ (v kg) v ostrovním řešení

	Pracovní den	Nepracovní den
Oblast II	224,9	145,7
Oblast I	398,5	281,4
Celkem	623,4	427,1

Vysvětlivky

- A: Plný trajler z Výrobní se vymění za skoroprázdný z Oblasti I/1, doplní se 281,4 kg za 130 min, plný trajler se vymění za skoroprázdný z Oblasti I/2, doplní se 281,4 kg za 130 min, plný trajler se vymění za skoroprázdný z Oblasti II, doplní se 291,4 kg za 13 min
B: Plný trajler z Výrobní se vymění za prázdný z Oblasti I/1, doplní se 300 kg za 139 min, trajler Oblast I 2 se nepřesouvá, plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 224,9 kg za 104 min
C: Plný trajler z Výrobní se vymění za prázdný z Oblasti I/1, doplní se 300 kg za 139 min, plný trajler se vymění za skoroprázdný z Oblasti I/2, doplní se 295,5 kg za 137 min, plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 224,9 kg za 104 min
D: Plný trajler z Výrobní se vymění za prázdný z Oblasti I/2, doplní se 300 kg za 139 min, plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti I/2, doplní se 197 kg za 91 min, plný trajler se vymění za poloprázdný z Oblasti II, doplní se 224,9 kg za 104 min
E: Všechny trajlery mají dostatečnou zbytkovou kapacitu, takže v neděli je volno

Doplňované množství H ₂ (kg)	Doba plnění (min)	Začátek směny:	Konec směny:
300	2:19	8:00	20:30
291,4	2:15	Cesta Oblast II - Výrobní:	0:15 5 km
224,9	1:44	Cesta Oblast I - Výrobní:	0:30 10 km
281,4	2:10	Pauza:	0:30 Je-li se pauza dá stihnout během plnění trajleru, tak je zbytečné ji do harmonogramu uvádět
295,5	2:17	Připojení/odpojení trajleru	0:15
197	1:31		

Časová osa V - Výrobní, OI - Oblast I, OII - Oblast II

	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
A:	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	11:55	12:10	12:40	12:55	13:10	13:40	13:55	16:05	16:20	16:35	16:50	17:05	17:20	17:35	19:50	20:05	20:30
B:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	12:04	12:19	12:34	12:49	13:04	13:19	13:34	15:18	15:33								20:30
C:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	12:04	12:19	12:49	13:04	13:19	13:49	14:04	16:21	16:36	16:51	17:06	17:21	17:36	17:51	19:35	19:50	20:30
D:	Začátek směny	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OI	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OI	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru / Odjezd z V	Příjezd OII	Složení plného trajleru	Naložení prázdného trajleru / Odjezd z OII	Příjezd V	Složení prázdného trajleru	Plnění	Naložení plného trajleru	Konec směny
	8:00	8:30	8:45	9:00	9:30	9:45	11:29	11:44	12:14	12:29	12:44	13:14	13:29	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	18:14	18:29	20:30

Volný čas	Doba strávená plněním	Výskyt směny za týden	Ujetá vzdálenost (km)
0:25	6:35	1	50
4:57	4:03	3	30
0:40	6:20	1	50
2:01	5:34	1	50

Za týden:

240

