

Studie produkce a využití vodíku v Moravskoslezském kraji do roku 2030



Studie je spolufinancována se státní podporou Technologické agentury ČR (projekt TK02010187, Výzkum potenciálu využití vodíkových technologií pro transformaci energetického mixu Moravskoslezského kraje, nízkouhlíkové energetiky a rozvoj nízkoemisní dopravy) v rámci programu THÉTA.

V Ostravě dne 10. 3. 2022

Manažerské shrnutí

V rámci vyspělého světa je v posledních dekádách realizován proces postupné decentralizace energetiky, což souvisí se snahou o snížení emisí CO₂, ale také s celkovou dekarbonizací energetického sektoru. V souvislosti s tímto procesem byla zpracována řada strategických dokumentů, ve kterých jsou definovány dlouhodobé cíle, ale také postupy, jak takových cílů dosáhnout. Jako relevantní strategické dokumenty je potřeba uvažovat následující:

- Fit for 55 Strategy
- The European Green Deal
- Vodíková strategie České republiky
- Národní plán čisté mobility
- Územní energetická koncepce Moravskoslezského kraje na období 2020–2044
- Dopadová studie odchodu od energetického spalování uhlí v Moravskoslezském kraji
- Dopadová studie problematika odpojování konečných odběratelů a návrh optimalizace v soustavách centrálního zásobování teplem v Moravskoslezském kraji
- Studie vodík v Moravskoslezském kraji z roku 2020

S ohledem na rozsah výše uvedených strategických a koncepčních dokumentů nastala potřeba promítnout důsledky jednotlivých kroků v oblasti implementace vodíkových technologií do reality a specifik Moravskoslezského kraje. S ohledem na různou míru detailu jednotlivých dokumentů byla definována dvě hlavní nosná témata „Studie produkce a využití vodíku v Moravskoslezském kraji do roku 2030“. Prvním nosným tématem je implementace vodíkové strategie České republiky v Moravskoslezském kraji, druhé téma tvoří analýza podmínek pro uplatnění vodíkových technologií v Moravskoslezském kraji.

Z výše uvedených dokumentů a na základě znalosti lokálních podmínek a specifik Moravskoslezského kraje lze vyvodit následující závěry:

1. K usnadnění transformace průmyslu, dopravy a energetiky je potřeba hledat řešení, která umožní dosažení maximální efektivity. Není proto vhodné řešit jednotlivé sektory odděleně, ale je nutné hledat **synergické efekty** napříč všemi odvětvími.
2. Pro rychlejší implementaci vodíkových technologií existují zejména **legislativně-regulační bariéry** – stávající Státní energetická koncepce České republiky z roku 2015 s vodíkem nepracuje, chybějící legislativa, normy a bezpečnostní předpisy pro vtláčení, přepravu, distribuci a využívání vodíku. Nedostatečné je rovněž vzdělávání v oblasti vodíkových technologií, nedostatek měřících a laboratorních kapacit pro experimentální činnost s vodíkem.
3. Stejně negativně jako legislativně-regulační bariéry mají vliv i **technicko-ekonomické bariéry** – nepříznivé klimatické podmínky pro výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů energie, nedostatečná kapacita zdrojů pro výrobu nízkouhlíkového vodíku. Absence pilotních projektů pro získání know-how.
4. Jestliže by mělo dojít k nahrazení všech autobusů v **Ostravě** autobusy na vodíkový pohon, bylo by zapotřebí cca **1 650 t vodíku ročně** (při respektované spotřebě 10 kg na 100 km). Pro **celý Moravskoslezský kraj** by pak bylo potřebné množství vodíku více než trojnásobné, tj. okolo **5 400 t ročně**.

5. Nahrazením černého uhlí, respektive koku vodíkem jako redukčním činidlem dojde k výraznému snížení emisí CO₂ z **hutní výroby**, čímž i samotná ocel již nebude zatěžována poplatky za emisní povolenky. Při roční výrobě 4 mil. tun v České republice (všechna výroba probíhá de facto v Moravskoslezském kraji) by bylo zapotřebí cca **360 tis. tun vodíku ročně**.
6. V případě náhrady energetického černého uhlí vodíkem vyrobeným pomocí elektrolyzérů, které by napájely fotovoltaické elektrárny, by byla potřeba cca **17 % objemu vodíku sezonně akumulovat na zimní období**. Potřeba akumulace může být snížena odložením spotřeby snadněji skladovatelných paliv (biomasa, metan, alternativní tuhá paliva). Plocha fotovoltaické elektrárny by zabrala cca 200 km² plochy – při vhodném rozložení na menší zdroje je toto možné na území Moravskoslezského kraje realizovat – brownfieldy, vodní plochy atd.
7. V případě náhrady energetického černého uhlí vodíkem vyrobeným jaderným zdrojem by byla potřeba instalovat **jadernou elektrárnu o výkonu 2,57 GW**. Vzhledem k v současnosti diskutovaným cenám výstavby 1 GW reaktoru v Dukovanech se dá předpokládat, že cena jaderného zdroje energie by byla výrazně vyšší než výše uvedený instalovaný výkon fotovoltaiky. Byla by zde ale zásadně menší potřeba instalovaného výkonu elektrolyzérů a akumulace vodíku.
8. Jadernou elektrárnu o výkonu 2,57 GW lze nahradit v budoucnu **malými modulárními reaktory**, které mohou být instalovány v lokalitách současných zdrojů tepelné a elektrické energie, nicméně je nutné připomenout, že zabezpečení malých modulárních reaktorů musí plnit stejné parametry, jako jaderné elektrárny s vysokým instalovaným výkonem.
9. Vysoký potenciál pro masivní rozšíření zejména pro vytápění má synergická **kombinace kogenerační jednotky a tepelných čerpadel**. Pokud by bylo teplo přímo spotřebováno a elektřina by byla využita k napájení tepelného čerpadla s průměrným sezónním topným faktorem 4, pak by zde docházelo k využití energie paliva s účinností 210 %.
10. V přípravné fázi jsou pilotní projekty využití vodíku v dopravě, jedná se o plnicí stanici v Ostravě Hranečnicku, studie využití vodíku v dopravě byla realizována v Třinci.
11. Změny technologií získávání a distribuce tepla v přechodové etapě lze realizovat kombinací několika technologií s **maximálním synergickým efektem**, pro ilustraci byly analyzovány 3 varianty **kombinace zdrojů** (kombinace kogeneračních jednotek a tepelných čerpadel, kombinace kogeneračních jednotek, tepelných čerpadel a fotovoltaických elektráren). Podobné kombinace technologií lze efektivně využít i pro zajištění tepla domácnostem.
12. Cílem musí být masivní podpora a výstavba nízkoemisních zdrojů – **lokálních obnovitelných zdrojů**, které umožní odstavení stávajících zdrojů s vysokou emisní zátěží.
13. Poměrně vysoký objem vodíku (2 %) lze efektivně vhnět do stávajících soustav rozvodu zemního plynu, některé technologie umožňují mix až do výše 20 %.
14. Obecně platí, že jakmile bude dostatečná kapacita lokálních obnovitelných zdrojů, je možné tuto elektrickou energii využít k výrobě vodíku pomocí elektrolyzérů a následně tento vodík využít v průmyslu a dalších aplikacích.

Seznam pojmů

Nízkouhlíkový vodík – nebo také nízkoemisní, je takový vodík, při jehož výrobě vznikne maximálně 36,4 g CO₂/MJ. Příkladem takového vodíku je vodík vyrobený elektrolýzou elektřinou z obnovitelných nebo jaderných zdrojů, případně vodík vyrobený z bioplynu nebo zemního plynu se zachytáváním CO₂.

Modrý vodík – vodík, při jehož výrobě vznikají emise CO₂ (například parní reforming zemního plynu), avšak tyto emise jsou zachytávány a ukládány. Vyprodukované emise tedy nepřispívají ke zvyšování obsahu CO₂ v atmosféře.

Zelený vodík – vodík vyrobený elektrolýzou pomocí elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů energie (solární, větrné a vodní elektrárny), do této kategorie lze zařadit i vodík vyráběním reformováním bioplynu.

Šedý vodík – vodík vyrobený z fosilních paliv a bez zachytávání CO₂. Tímto pojmem lze označit i vodík vyráběný elektrolýzou ze sítě (dáno energetickým mixem).

Vodík pro PEM palivové články – tento vodík vyžaduje nejvyšší chemickou čistotu, aby se zamezilo degradaci a poškození palivových článků.

Vodík pro ostatní použití – na čistotu takového vodíku nejsou kladeny příliš vysoké požadavky. Tento vodík se používá pro výrobu tepla spalováním a pro chemické reakce.

Seznam zkratk

Tento seznam zkratk je platný v rozsahu této studie.

	Význam
CCS	Carbon Capture and Storage – zachytávání a ukládání oxidu uhličitého
CCU	Carbon Capture and Utilization – zachytávání a využití oxidu uhličitého
CGH₂	Compressed Gas Hydrogen – stlačený plynný vodík
CNG	Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn
CO₂	oxid uhličitý
CZT	centrální zásobování teplem
ČR	Česká republika
DPH	daň z přidané hodnoty
DPO	Dopravní podnik Ostrava
DS I	Dopadová studie odchodu od energetického spalování uhlí v Moravskoslezském kraji
DS II	Dopadová studie problematika odpojování konečných odběratelů a návrh optimalizace v soustavách centrálního zásobování teplem v Moravskoslezském kraji
ERÚ	Energetický regulační úřad
EUR	jednotka evropské měny
FVE	fotovoltaická elektrárna
GJ	gigajoule
GWh	gigawatthodina
H₂	vodík
CHKO	chráněná krajinná oblast
KGJ	kogenerační jednotka
km	kilometr
kWh	kilowattthodina
LH₂	Liquid Hydrogen – zkapalněný vodík
MHD	městská hromadná doprava
MSK	Moravskoslezský kraj
MVE	malá vodní elektrárna
MW_e	megawatt elektrický
MW_p	megawatt peak – instalovaný výkon FVE
NAP ČM	Národní akční plán čisté mobility
OZE	obnovitelný zdroj energie
PtL	Power-to-Liquids – ukládání energie ve formě kapalných syntetických paliv
PV GIS	Photovoltaic Geographical Information System
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance – sezónní topný faktor
SCZT	system centrálního zásobování teplem
SEK ČR	Státní energetická koncepce České republiky

SMR	Small Modular Reactor – malý modulární reaktor
SNG	Synthetic Natural Gas – syntetický zemní plyn
t	tuna
TAČR	Technologická agentura České republiky
TČ	tepelné čerpadlo
TJ	terajoule
ÚEK MSK	Územní energetická koncepce Moravskoslezského kraje na období 2020–2044
VS ČR	Vodíková strategie České republiky
ZP	zemní plyn

Obsah

Manažerské shrnutí	2
Seznam pojmů.....	4
Seznam zkratk	5
Úvod.....	9
1. Interpretace Vodíkové strategie ČR pro využití vodíku v MSK	10
Přehled účinností využití vodíku:	10
Dílčí kroky postupného zavádění vodíku	13
Bariéry brzdící rozvoj vodíkových technologií.....	14
1.1 Vliv Vodíkové strategie ČR na ÚEK MSK a na verzi NAP ČM z hlediska MSK	15
1.1.1 Možnosti výroby bezemisního vodíku v MSK.....	15
1.1.2 Oblasti využití vodíku v rámci MSK	15
1.1.3 Současnost a potenciál obnovitelných zdrojů v MSK.....	15
1.2 Specifikace očekávané potřeby vodíku k využití v MSK.....	19
1.2.1 Využití vodíku v přepravě osob	19
1.2.2 Vodíková elektromobilita v silniční dopravě.....	22
1.2.3 Využití vodíku v průmyslu MSK	23
1.3 Odhad cenového rozpětí (Kč/GJ) pro H ₂ a teplo a trendy vývoje jejich cen	25
1.3.1 Cena tepelné energie	25
1.3.2 Cena vodíku.....	27
2. Podmínky pro uplatnění vodíku v MSK	28
2.1 Návaznost na projekt TK02010187 v rámci TAČR: V2 (2.1)	29
2.2 Aktualizace souvisejících výstupů DS I.	29
2.2.1 Spotřeba fosilních paliv v MSK.....	29
2.2.2 Předpokládaný průběh útlumu uhlí v MSK a přechodné náhrady zemním plynem	31
2.2.3 Adaptace propojení účinného SCZT Ostrava s jinými účinnými SCZT, region Ostrava .	33
2.2.4 Náhrada zemního plynu vodíkem	35
2.2.5 Možnosti propojení teplárenských soustav	35
3. Záměr užití H ₂ v MHD s výhledem pro ostatní segmenty dopravy v Ostravě	37
3.1 Návrh FV výroby elektřiny pro plné pokrytí vodíkové dopravy MSK v roce 2024	38
3.2 Návrh FV výroby elektřiny pro plné pokrytí vodíkové dopravy MSK v roce 2030	39
4. Specifikace změny technologií získávání a distribuce tepla v přechodové etapě.....	42
4.1 Předpokládaný vývoj potřeby tepla v regionu Ostrava.....	42
4.2 Modelové příklady řešení SCZT.....	42
4.2.1 Modelový příklad výroby tepla, scénář 1	43
4.2.2 Modelový příklad výroby tepla, scénář 2.....	44
4.2.3 Modelový příklad napájení teplárenské soustavy kogeneračními jednotkami	45
4.3 Modelové příklady řešení zásobování domácností MSK teplem	45

4.3.1	Vytápění zemním plynem	45
4.3.2	Plynové kogenerační jednotky a tepelná čerpadla	45
4.3.3	Fotovoltaické elektrárny, vodíkové kotle, elektrokotle	46
4.3.4	Fotovoltaické elektrárny, vodíková kogenerace, tepelná čerpadla	46
5.	Aspekty strategie MSK pro získávání a užití H ₂ v přechodovém období.....	48
5.1	Strategie zavádění vodíkových technologií v MSK.....	49
5.1.1	Výhled nasazení vodíkových technologií do roku 2030	50
6.	Závěr.....	52
	Reference	55
	Seznam obrázků	58
	Seznam tabulek.....	59

Úvod

V současné době probíhá celosvětově transformace energetiky, tato změna se týká i Moravskoslezského kraje (MSK). Motivací tohoto procesu jsou jednak mezinárodní dohody o snižování emisí CO₂, ale také pokles zásob fosilních paliv a potřeba snížení závislosti na dovozu paliv z okolí.

Cílem této studie je doplnit a navázat na dříve vytvořené dokumenty, kterými jsou Dopadová studie odchodu od energetického spalování uhlí v Moravskoslezském kraji (DS I), Dopadová studie problematika odpojování konečných odběratelů a návrh optimalizace v soustavách centrálního zásobování teplem v Moravskoslezském kraji (DS II), Územní energetická koncepce Moravskoslezského kraje na období 2020 – 2044 (ÚEK MSK), Vodíková strategie České republiky (VS ČR), Národní plán čisté mobility (NAP ČM), Studie vodík v Moravskoslezském kraji z roku 2020.

Průmyslové zaměření MSK má vliv na výši a rozložení spotřeby energií. Při řešení nelehkého úkolu transformace energetiky je potřeba se zaměřit zejména na budování nových čistých zdrojů, ale také na způsob a možnosti jejich využití. Zde může sehrát důležitou roli vodík využívaný přímo v průmyslových procesech, nebo jako médium k akumulaci energie. Samotné využívání vodíku tedy není cílem, ale jen prostředkem k technické realizaci některých řešení nové bezemisní energetiky, a je třeba zdůraznit, že vodík není klasické palivo, ale energetický vektor neboli nosič energie. V praxi to znamená, že jej nelze levně a energeticky efektivně těžit (už proto, že se vodík v elementární formě na zemi prakticky nevyskytuje) a využívat k produkci primární energie, ale naopak jej musíme pracně a s nemalými ztrátami energie vyrábět. Vodíkové technologie jsou tedy pouze maximálně tak ekologicky čisté, jak čisté jsou primární zdroje energie a suroviny, které jsou při výrobě vodíku využity [1].

Z těchto důvodů je potřeba upřednostnit technologie, které umožní dosažení maximální účinnosti využití vodíku. Z této úvahy také vychází aktuální vodíková strategie Evropské unie, kde jsou upřednostňovány technologie s maximální efektivitou anebo takové, kde není jiné uspokojivé řešení, v oblasti dopravy to je například letecká nebo lodní doprava na velké vzdálenosti [2].

Hlavní motivací pro zpracování studie je zejména specifikace jednotlivých dopadů a důsledků, které přináší výše uvedené strategické dokumenty do specifických podmínek MSK v kontextu průmyslové aglomerace s vysokou spotřebou elektrické energie v průmyslu, dopravě, ale i v ostatních oblastech spotřeby elektrické a tepelné energie (např. vytápění). Druhou stěžejní částí studie je prvotní analýza podmínek pro uplatnění vodíku, potažmo vodíkových technologií ve specifických podmínkách MSK. Ve studii jsou prezentovány zjednodušené výpočty množství vodíku, který bude potřeba při implementaci vodíkových technologií v jednotlivých průmyslových aplikacích, v dopravě a v dalších oblastech možného využití vodíkových technologií.

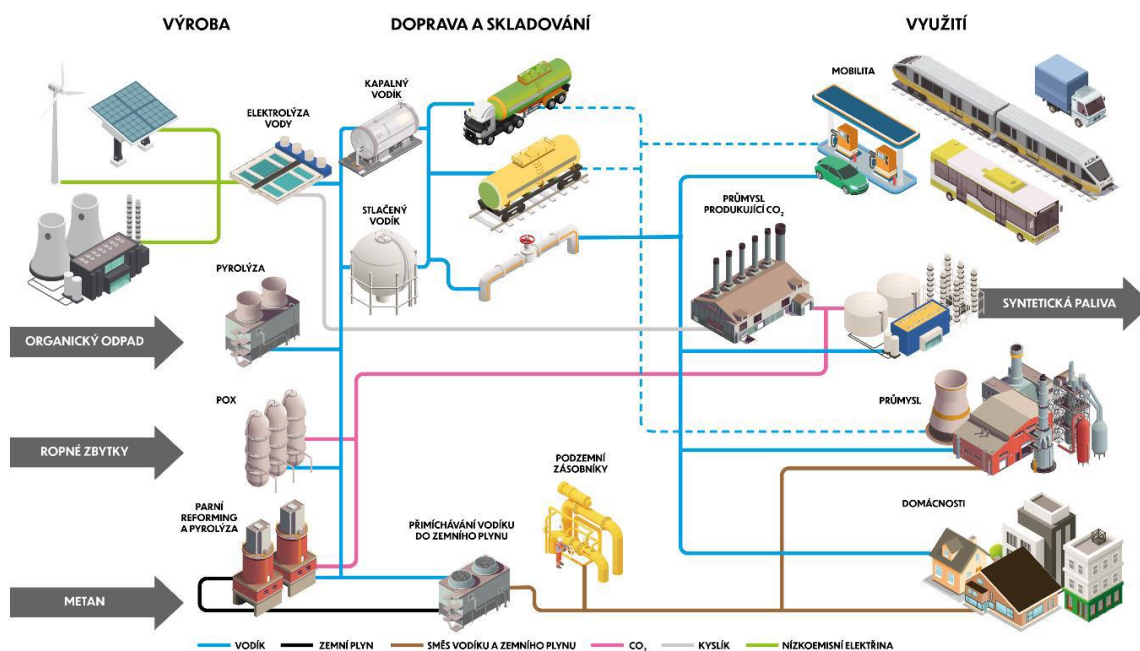
1. Interpretace Vodíkové strategie ČR pro využití vodíku v MSK

VS ČR byla schválena dne 26. 7. 2021 vládou ČR. Jedná se o dokument, který navazuje na evropskou vodíkovou strategii.

Cílem VS ČR je, aby mezi lety 2021–2050 došlo k redukci skleníkových plynů a současně s tím k hladkému přechodu k nízkouhlíkovým technologiím. Cílem Evropské unie, respektive její Zelené dohody (Green Deal), je dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2050. Z toho důvodu vznikla VS ČR, jenž stojí na čtyřech pilířích:

- Výroba nízkouhlíkového vodíku
- Využití nízkouhlíkového vodíku
- Doprava a skladování vodíku
- Vodíkové technologie

Tyto čtyři pilíře lze vyjádřit graficky na následujícím schématu.



Obr. 1 – Vize budoucího využití vodíku [3]

VS ČR se zaměřuje zejména na oblasti dopravy, chemického průmyslu, energetiky, ale také na přepravu, distribuci a skladování vodíku.

Přehled účinností využití vodíku:

Předpokládáme výrobu vodíku pomocí elektřiny z obnovitelných zdrojů (OZE) pomocí elektrolyzérů. Elektrolyzér za pomoci elektřiny a čisté vody vyrábí vodík. Účinnost výroby vodíku pomocí nízkoteplotních elektrolyzérů se pohybuje v rozmezí 62–82 % [4]. Účinnost elektrolyzy v podstatě vyjadřuje poměr mezi vstupní elektřinou a spalným teplem vyrobeného vodíku.

Energetickou účinnost elektrolyzérů je možné dále zvýšit využitím vznikajícího tepla. Aby bylo možné porovnat jednotlivé možnosti využití energie OZE, bude zvolena jednotná účinnost elektrolyzérů **72 %**.

Lokální vytápění

Při lokálním nízkoteplotním vytápění kondenzačním kotlem na vodík je možné uvažovat s účinností využití energie vodíku 100 %. Celková účinnost využití obnovitelné elektřiny se pak rovná účinnosti zdroje vodíku, v tomto uvažovaném případě to bude **72 %**. Při stacionárním využití vodíku se dá předpokládat, že při skladování vodíku nebude potřeba tak vysokých tlaků jako při mobilním využití, a proto nejsou uvažovány ztráty kompresí.

Kogenerace

Zde je možné využít řešení s palivovými články, pístovými motory, nebo turbínou. Klíčová je vysoká dynamika regulace výkonu, která umožní spolupráci s OZE a využití tepla, které při provozu těchto technologií z principu vzniká. Zde je celková účinnost využití vodíku okolo 90 % velkou výhodou pro stabilizaci sítě. Při uvážení účinnosti výroby vodíku je zde celková účinnost využití obnovitelné elektřiny **65 %**.

Kogenerace v kombinaci s tepelnými čerpadly

Předpokládejme účinnost obecné kogenerace 40 % elektřina a 50 % teplo. Pokud by bylo teplo přímo využito a elektřina by byla využita k napájení tepelného čerpadla (TČ) s průměrným ročním topným faktorem SCOP = 4, pak zde dochází k využití energie vodíku s účinností 210 %. Při započtení účinnosti výroby vodíku účinnost klesá na **151 %**. Při kombinaci těchto technologií může být TČ provozováno přímo v době, kdy vyrábí OZE. Účinnost využití elektřiny pak stoupne na 400 %.

Příklad výpočtu účinnosti využití obecného paliva pomocí kombinace kogenerace a TČ:

$$(0,4 \times 4) + 0,5 = 2,1$$

Pokud je palivem vodík, který byl vyroben elektrolyzou s účinností 72 %, pak se účinnost sníží:

$$2,1 \times 0,72 = 1,51$$

Vtláčení vodíku do rozvodů zemního plynu

Vodík je možné řízeně pouštět do rozvodů zemního plynu, ovšem ale pouze v takovém množství, které nevyžaduje úpravy na straně spotřeby, nebo plynové infrastruktury. Přijatelná koncentrace se uvádí od velmi konzervativních 2 % až po 20 %. Účinnost využití obnovitelné elektřiny je zde opět dána účinnosti výroby vodíku **72 %**

Do roku 2030 se v ČR nepředpokládá významné vtláčení vodíku do plynárenské soustavy a zahájení úpravy na dedikovanou infrastrukturu pro vodík se neočekává v dekadě do 2030. Přidávání 2 % vodíku do zemního plynu nepředstavuje podle studií technický problém.

Průmysl – náhrada současné spotřeby vodíku

Vodík je využíván pro některé chemické procesy. V současnosti se převážná většina vodíku vyrábí z fosilních zdrojů. Zde je možná přímá náhrada zeleným vodíkem, který je v tomto modelovém případě vyráběný s účinností **72 %**.

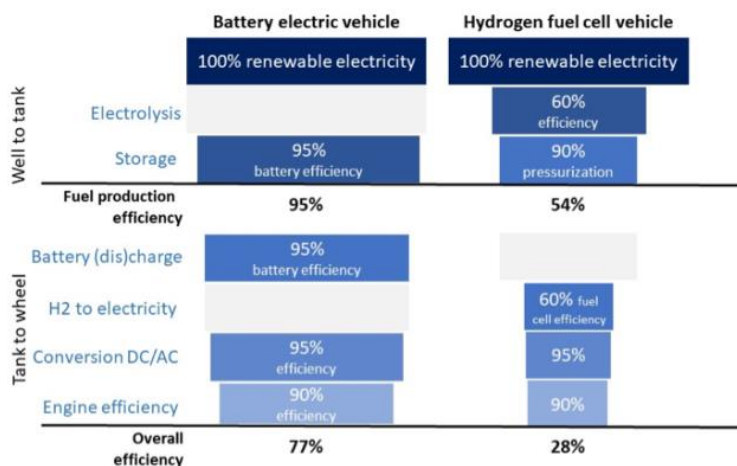
Průmysl – nové průmyslové technologie využití vodíku

Vodík zde slouží například k zabezpečení technologického tepla pro výrobu surového železa, nebo je využíván v procesech výroby surového železa (k využití jednak jako doplnění vysokopecního paliva a jednak jako redukční činidlo).

Účinnost výroby vodíku je shodná s předchozím odstavcem tedy **72 %**.

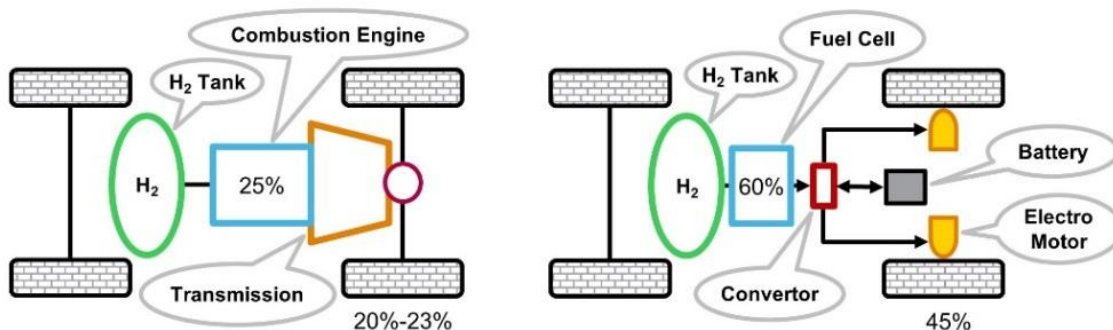
Pozemní doprava

Využití vodíku pro účely dopravy je velmi energeticky náročné, protože je zde potřeba řetězec energeticky náročných procesů. Na obrázku je uveden příklad srovnání energetického řetězce bateriového a vodíkového elektromobilu.



Obr. 2 – Srovnání energetické účinnosti bateriových a vodíkových elektromobilů [5].

Technologie elektrického pohonu napájeného palivovými články je v současné době výrazně dražší než spalovací pohony. VS ČR zmiňuje možnost přechodného řešení snížení investic do vodíkové dopravy pomocí spalovacích motorů na vodík.



Obr. 3 – Srovnání energetické účinnosti různých řešení vodíkového pohonu [6].

Spalovací motor bohužel není příliš energeticky účinný, obzvláště ne v dynamickém režimu, ve kterém je ve vozidlech běžně používán. Jeho účinnost je ve srovnání s kombinací palivových článků a elektromotoru přibližně poloviční. Navíc při spalování vodíku se vzduchem vznikají škodlivé látky NO_x . Nízká účinnost tohoto řešení by si vyžádala instalaci větších palivových nádrží ve vozidle pro zachování potřebného dojezdu. Celkové provozní náklady za dobu životnosti vozidla by pak byly pravděpodobně vyšší než u varianty s palivovými články.

Většina výrobců nákladních i osobních vozidel od využívání vodíku ustupuje, právě z důvodu vysoké složitosti a tím i ceny vozidla a energetické i ekonomické náročnosti provozu. Jako příklad je možné

uvést výrobce nákladních vozidel Scania, který sice některá vozidla úspěšně realizoval, nicméně z výše uvedených důvodů se do budoucna v elektrifikovaných pohonech orientuje už jen na baterie [7].

Tab. 1 – Účinnosti různých vodíkových technologií, vlastní zpracování.

Kogenerace + TČ	151 % (až 400 %)
Kogenerace	65 %
Průmysl	72 %
Vtláčení vodíku do ZP	72 %
Lokální vytápění	72 %
Pozemní doprava	28 % (ICE 14 %)

Z tabulky je zřejmé, které technologie a řešení umožňují maximální efektivitu a výrobu čistých energií. V počátku energetické transformace je proto nutné zaměřit se na řešení s nejlepším poměrem energetický přínos/vložená investice. Z hlediska efektivity a přínosu investice je proto obecně nejvýhodnější kogenerace, protože s dobrou účinností propojuje sektory výroby elektřiny a teplárenství. Z pohledu zdroje energie pro vytápění je pak optimální spolupráce s TČ, které jsou významným zdrojem obnovitelné energie. Dále je pak výhodná náhrada vodíku v průmyslu, který je v současnosti vyráběn z fosilních zdrojů, a vtláčení vodíku do rozvodů zemního plynu, až do přijatelné koncentrace. Lokální vytápění vodíkem má sice poměrně dobrou účinnost, nicméně vzhledem k technologické náročnosti rozvodu vodíku a potřebě instalace vodíkových spotřebičů, není toto řešení konkurenceschopná alternativa k TČ. Všeobecně nejnáročnější, a přitom nejméně efektivní technologií, je vodíková doprava. Je zde potřeba budovat zdroje vodíku, náročnou vysokotlakou plnicí infrastrukturu a zavádět vodíková vozidla. Z podobných úvah zřejmě vychází i výše zmíněná nová vodíková strategie Evropské unie, která již vodíkovou pozemní dopravu nepreferuje.

K usnadnění transformace průmyslu, dopravy a energetiky je potřeba hledat řešení, která umožní dosažení maximální efektivity. Není proto vhodné řešit jednotlivé sektory odděleně, ale je nutné hledat synergické efekty napříč všemi odvětvími.

Dílič kroky postupného zavádění vodíku

VS ČR uvádí (s odkazem na Evropskou vodíkovou strategii) dělení postupných kroků do tří etap:

První etapa: 2021–2025

Jednoznačný důraz na využití vodíku v dopravě. Hlavní překážkou je vysoká cena vozidel na vodík, ale také samotného vodíku, proto bude nutné jejich rozvoj dotovat. V počátku budou vznikat „ostrov“ s vodíkovou mobilitou poblíž míst s výrobou vodíku s ohledem na snížení nákladů za jeho dopravu.

Druhá etapa: 2026–2030

Ověřování využití vodíku v průmyslu. Postupné ukončování dotační podpory vodíkových vozidel, začátek jejich sériové výroby v ČR.

Třetí etapa: 2031–2050

Vodíková doprava by již měla být schopna fungovat bez dotační podpory. Začátek výstavby vodíkových plynovodů a také zahájení komerčního využití vodíku v průmyslu. V místech s levnou výrobou vodíku bude možné zahájit projekty na přechod domácností ze zemního plynu na vodík.

Bariéry brzdící rozvoj vodíkových technologií

VS ČR však také uvádí seznam bariér, které v současné době brzdí rozvoj vodíkových technologií v ČR. Níže je uvedena alespoň část z nich:

- **Legislativně-regulatorní bariéry** – stávající SEK ČR z roku 2015 s vodíkem nepracuje, chybějící legislativa, normy a bezpečnostní předpisy pro vtláčení, přepravu, distribuci a využívání vodíku. Nedostatečné vzdělávání v oblasti vodíkových technologií, nedostatek měřicích a laboratorních kapacit pro experimentální činnost s vodíkem.
- **Technicko-ekonomické bariéry** – nepříznivé klimatické podmínky pro výrobu vodíku z OZE, nedostatečná kapacita zdrojů pro výrobu nízkouhlíkového vodíku. Absence pilotních projektů pro získání know-how.

1.1 Vliv Vodíkové strategie ČR na ÚEK MSK a na verzi NAP ČM z hlediska MSK

VS ČR je dokument, jenž se zabývá aplikací vodíkových technologií v měřítku celé ČR. Tento dokument však nelze v plném rozsahu aplikovat na MSK, protože MSK je v mnoha ohledech jedinečný. V kraji se nachází jednak velice rozmanitý průmysl, ale také nedostatečné množství zdrojů energie, kterých postupně ubývá.

1.1.1 Možnosti výroby bezemisního vodíku v MSK

- Elektrolýza pomocí OZE – v rámci MSK je prozatím nedostatečné množství OZE
- Reforming zemního plynu doplněný o systémy Carbon Capture and Storage (CCS) nebo Carbon Capture and Utilization (CCU) – velice nákladné řešení, nejsou vhodné lokality pro ukládání CO₂
- Využití vysokoteplotních jaderných reaktorů – zatím poměrně vzdálená budoucnost
- Pyrolýzní rozklad organického materiálu nebo zemního plynu

1.1.2 Oblasti využití vodíku v rámci MSK

- Doprava – autobusová doprava, železnice, osobní automobily, nákladní doprava. Nevýhodou jsou relativně vysoké náklady na pořízení vodíkových vozidel. VS ČR staví dopravu jako stěžejní oblast aplikace vodíku, avšak právě vzhledem k vysokým nákladům a relativně nízké celkové účinnosti (počínaje výrobou vodíku, jeho skladováním a výslednou přeměnou na pohybovou energii vozidla) je prioritní využití vodíku v dopravě značně diskutabilní.
- Další oblastí je průmysl, zejména chemická výroba. Vodík lze využít ať už jako surovinu nutnou pro chemické reakce nebo také jako zdroj tepla pro reakce.
- Velice významnou oblastí využití vodíku v MSK je hutnictví – jako možné náhrady zemního plynu a černého uhlí. Tato možnost se jeví z pohledu kraje jako velmi perspektivní.
- V neposlední řadě domácnosti – jeden z mála způsobů využití vodíku v domácnostech je jeho přimíchávání do zemního plynu (až 2 % objemu plynu bez nutnosti změny současné infrastruktury. V budoucnu by to po patřičné úpravě plynárenské soustavy mohlo být i víc). Tímto způsobem by došlo k využití vodíku jako zdroje tepla jeho spalováním (např. pro ohřev TUV a vytápění).
- Možno zmínit i oblast záložního napájení kritické infrastruktury pro případy výpadku napájení. Jako příklad kritické infrastruktury lze uvést telekomunikační síť, nemocnice, instituce důležité z hlediska chodu státu apod.

1.1.3 Současnost a potenciál obnovitelných zdrojů v MSK

Pokud by mělo dojít k výrobě zeleného vodíku v MSK, je nutné znát potenciál OZE v kraji. Jako podklad k následujícímu textu slouží ÚEK MSK na období 2020–2044. Předpokladem pro výrobu vodíku z elektrické energie je její přebytek.

Současnost OZE v MSK

Výroba elektřiny z OZE v MSK v roce 2019 dosáhla 729 768 MWh a podílí se tak 10,8 % na celkové výrobě elektřiny v kraji.

Tab. 2 - Výroba elektřiny z OZE v MSK za rok 2019

Obnovitelný zdroj energie	Výroba [MWh]	Podíl na celkové výrobě z OZE
Bioplyn	156 205	21,40%
Biomasa	421 024	57,69%
Vodní	46 244	6,34%
Větrné	47 344	6,49%
Fotovoltaické	58 951	8,08%
Celkem	729 768	100,00%

Zdroj: ERÚ

Největší zastoupení ve výrobě elektřiny z OZE má biomasa, následována bioplymem. Třetím nejhojněji zastoupeným zdrojem je fotovoltaika, vodní a větrné elektrárny jsou zastoupeny nejméně.

Potenciál OZE v MSK

V následující části je uveden výčet potenciálů energeticky nejvýznamnějších OZE. Mezi ně patří zejména větrná energie a sluneční energie, biomasa spolu s bioplymem a vodní energií již tvoří menší část využitelného potenciálu.

Pro výrobu vodíku se jeví jako nejvhodnější energie získaná z fotovoltaických a větrných elektráren.

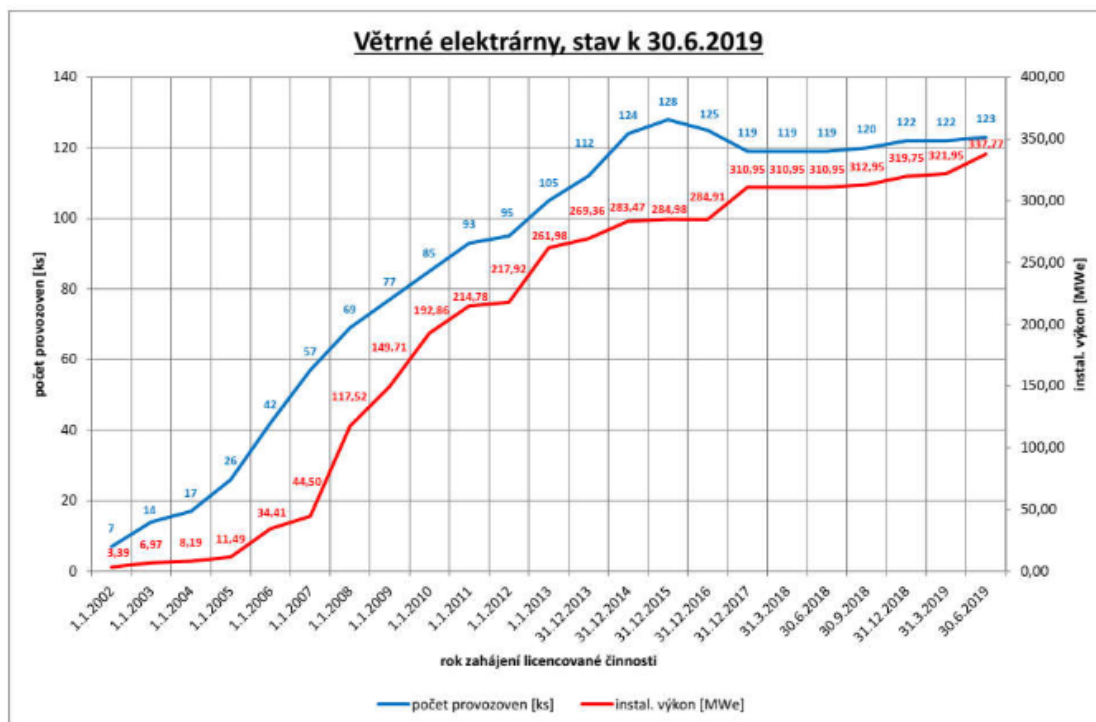
Větrná energie

Nejvhodnější lokality pro umístění větrných elektráren v MSK jsou vrcholky Jeseníků, Zlatohorská vrchovina a Hanušovická vrchovina. Moravskoslezské Beskydy nejsou s ohledem na ochranu přírody a nízké rychlosti větru příliš vhodné.

Podle Aktualizovaného odhadu potenciálu větrné energie z perspektivy roku 2012, zpracovaného Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR, byl technický potenciál MSK vyčíslen na 3 577 MWe instalovaného výkonu a předpokládaná výroba elektřiny na 8 689 GWh/rok.

Při výpočtu technického potenciálu byly zohledněny limity s ohledem na chráněné krajinné oblasti atd., lokality obytných zástaveb a sídel a také ochranná pásma elektrického vedení a železnice.

Na následujícím obrázku je vyobrazen vývoj počtu větrných elektráren v ČR.



Obr. 4 - Počet a instalovaný výkon větrných elektráren v ČR k 30.6.2019 [8].

Z grafu je patrné, že v posledních letech nedochází k výraznému růstu počtu větrných elektráren.

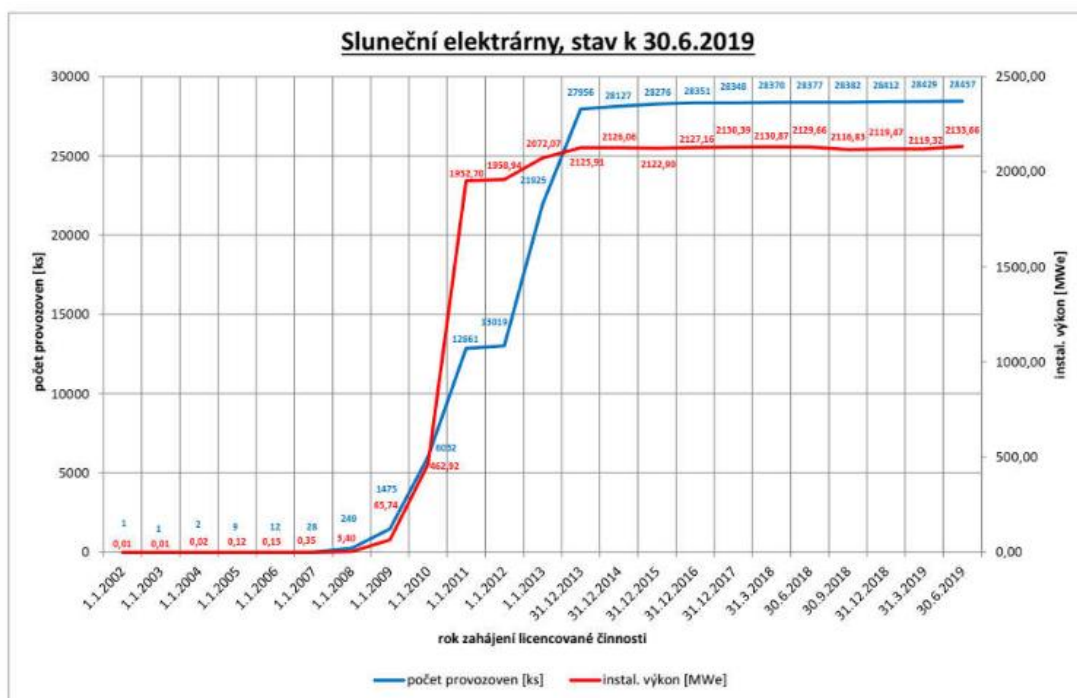
Sluneční energie

Instalovaný výkon slunečních nebo též fotovoltaických elektráren (FVE) byl v MSK v roce 2019 60,599 MWp a výroba elektřiny 58 951 MWh.

Největší FVE jsou instalovány na původně zemědělské půdě, po snížení výkupní ceny v roce 2013 se již investorům nevyplatilo stavět nové velké solární parky. Po skončení životnosti těchto velkých elektráren se uvažuje s jejich náhradou, avšak nová výstavba již bude nulová. Potenciál FVE tak bude zejména na brownfieldch a rekultivovaných těžebních plochách. Tam může být dosaženo potenciálu v řádech stovek MWp. Další plochy k využití lze nalézt na střechách rodinných či bytových domů, budov veřejné správy nebo průmyslových budov.

Potenciál FVE v domácnostech přesahuje 800 MWe u ostatních subjektů pak dalších zhruba 600 MWp, z čehož do roku 2044 lze realizovat u domácností až 300 MWp a u ostatních subjektů ještě dalších 300 MWp.

Z následujícího obrázku je patrné, že od roku 2014 nedochází jak k růstu počtu FVE, tak ani k růstu jejich instalovaného výkonu.



Obr. 5 - Počet a instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR k 30.6.2019 [8].

Biomasa a bioplyn, skládkový plyn

Potenciál má biomasa tvořená odpady v zemědělské činnosti, dřevní odpad vzniklý těžební činností a při zpracování dřeva a biomasa vytvořená pěstováním energetických dřevin a plodin. MSK má hojný výskyt biomasy, tudíž v této oblasti ještě je potenciál.

Biomasu lze využívat buď spalováním anebo pomocí biochemické přeměny v podobě bioplynu. Více informací k potenciálu biomasy, lze nalézt v [8].

Speciální kategorií je využívání skládkového plynu. V MSK se nachází 7 skládek nebezpečného odpadu a 13 skládek komunálního odpadu. V současné době je instalovaný výkon kogeneračních jednotek (KGJ) využívajících skládkový plyn zhruba 1,1 MWe, čemuž odpovídá roční produkce elektrické energie 8732 MWh/rok. Potenciál, který ještě není vyčerpán, je zhruba 3500 MWh/rok. Avšak po roce 2024 má dojít k zákazu skládkování energeticky nebo materiálově využitelného materiálu, takže nelze již počítat s výstavbou dalších KGJ.

Vodní energie

Potenciál vodní energie v MSK představují zejména malé vodní elektrárny (výkon do 10 MW_e). MSK má nevyužitý potenciál 1,8 MWe, zejména na řekách Opavě, Ostravici, Olši, Odře a Moravici.

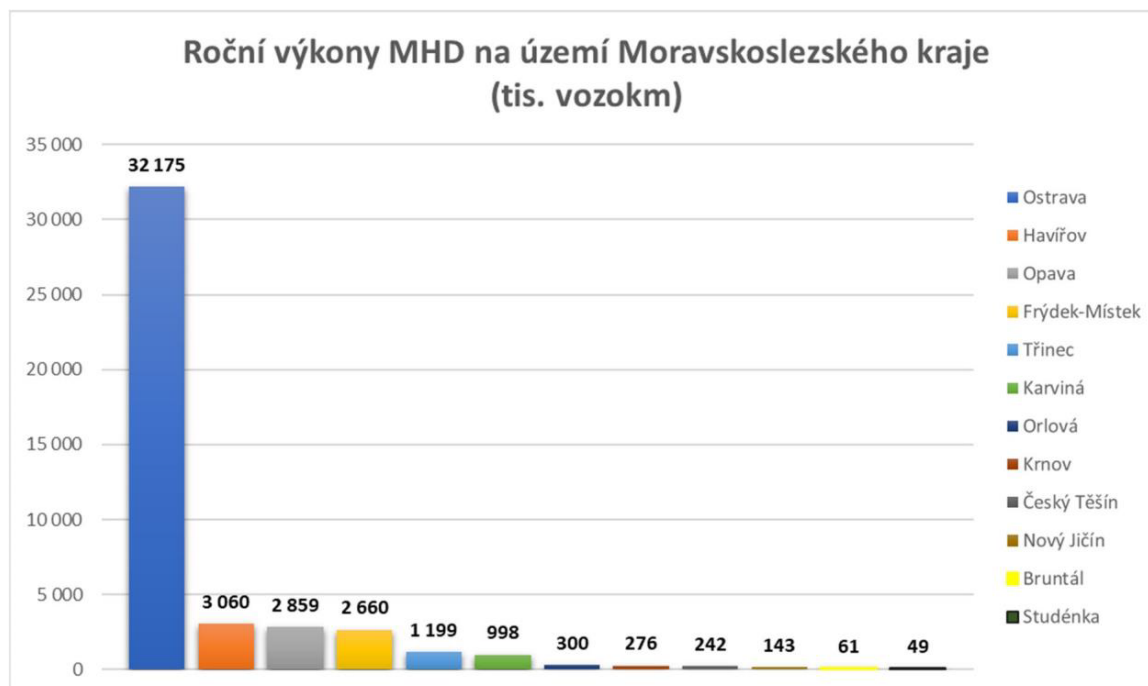
Další možností využití energie vody, respektive akumulace energie, jsou přečerpávací vodní elektrárny (PVE). V roce 2015 byla v podzemních prostorách bývalého dolu Jeremenko v Ostravě vybudována malá experimentální přečerpávací vodní elektrárna o výkonu 650 kW. V roce 2010 byla zpracována vyhledávací studie vhodných lokalit pro možnou realizaci PVE v ČR [9]. Mezi nejvhodnějšími byla vtipována i beskydská lokalita Slavíč v MSK.

1.2 Specifikace očekávané potřeby vodíku k využití v MSK

1.2.1 Využití vodíku v přepravě osob

Území MSK je obsluhováno 17 mezinárodními, 10 dálkovými a 334 příměstskými autobusovými linkami a 203 linkami městské hromadné dopravy (MHD). Celkový roční objem autobusových linek v MSK (vyjma MHD, jak bude podrobněji rozebráno dále) je zhruba 25,7 miliónů vozokilometrů [10].

MHD je sledována samostatně, její celkový roční výkon činí zhruba 44 miliónů vozokilometrů. Z toho na autobusy připadá necelých 28,4 miliónů vozokilometrů. Výkon všech autobusů na pravidelných linkách v MSK se pohybuje okolo 54 miliónů vozokilometrů.



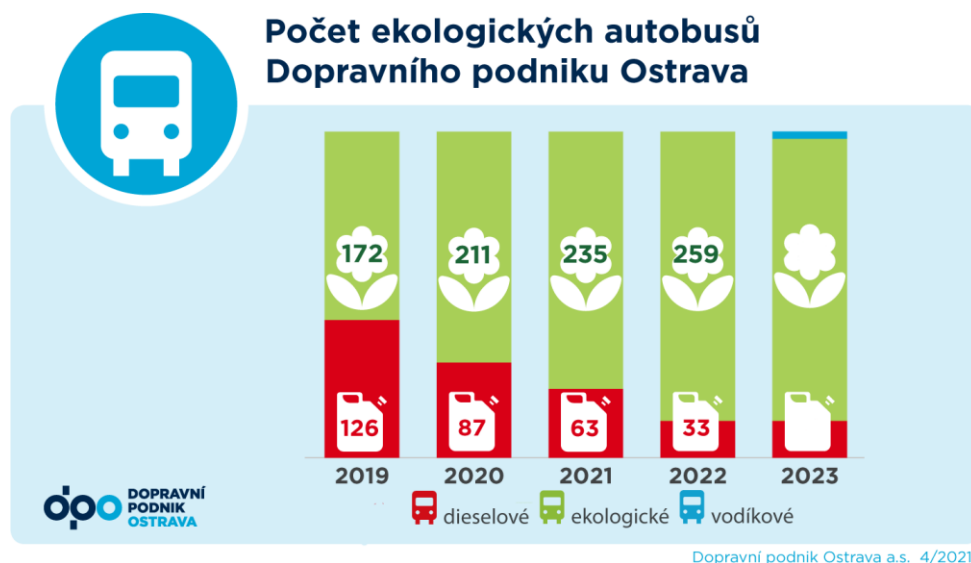
Obr. 6 – Graf ročních výkonů MHD v MSK [10].

Drtivá většina z celkového výkonu MHD je soustředěna v Ostravě. V následující tabulce je uvedeno rozdělení počtu vozokilometrů pro jednotlivé dopravní prostředky v letech 2018–2020. Nutno poznamenat, že rok 2020 se nesl ve znamení mnohých protipandemických omezení (tzv. lockdownů). Výkon MHD (respektive hromadné dopravy obecně) proto nedosáhl úrovně před pandemií Covid.

Tab. 3 – Počet vozokilometrů v MHD Ostrava dle dopravních prostředků [11].

Tis. vozokm	2018	2019	2020
Tramvaje	13 306	12 103	11 174
Trolejbusy	3 128	2 885	3 049
Autobusy	16 269	16 826	16 519
Celkem	32 703	31 814	30 742

V Dopravním podniku Ostrava a.s. (DPO) aktuálně jezdí 298 autobusů, jejichž většina využívá jako palivo stlačený zemní plyn (CNG). Malou část tvoří elektro autobusy a pouze minoritní část tvoří dožívající dieselové autobusy, které se používají již jen jako záložní vozidla nebo pro dopravní špičky [11]. Od dubna 2021 jsou všechny autobusy v DPO označeny logem „Bez Dieselu“.



Obr. 7 – Vývoj počtu ekologických autobusů v DPO [12].

Jestliže by mělo dojít k nahrazení všech autobusů v Ostravě autobusy na vodíkový pohon, bylo by zapotřebí cca **1 650 t** vodíku ročně (při respektované spotřebě 10 kg na 100 km). Pro celý MSK, by pak bylo potřebné množství vodíku více než trojnásobné, tj. okolo 5 400 t ročně.

Co se týče snížení emisí CO₂ oproti současnému stavu (drtivá většina autobusů jezdí na CNG) tak v případě zavedení vodíkových autobusů poháněných šedým vodíkem by pravděpodobně nedošlo k žádné úspoře emisí.

Kromě uplatnění vodíkového pohonu v autobusové dopravě lze vodíkový pohon využít i v případě trolejbusů [13], [14]. Zde lze aplikovat vodíkový prodlužovač dojezdu, díky kterému trolejbusy mohou zajíždět i do okrajových oblastí měst. V takovém případě by se jednalo o kombinaci elektrických akumulátorů a palivových článků, přičemž vodíkový pohon by byl spouštěn pouze v případech, kdy dojde k vyčerpání kapacity akumulátorů. Pokud by však byly trasy trolejbusů voleny vhodněji, nemusel by být vodík využíván vůbec, postačily by pouze akumulátory.

Další oblastí dopravy, kde by bylo možno efektivně využít vodíkový pohon, jsou taxislužby. Tato oblast přepravy osob je rovněž vhodná pro využití vodíkových vozidel.

V MSK je v současnosti registrováno téměř 1 650 vozidel taxi (toto číslo zahrnuje i služby jako je například Uber, Bolt apod.) [15]. Z tohoto počtu je 740 vozidel registrováno na území okresu Ostrava-město. Pohon většiny těchto vozidel je konvenční (tj. nafta či benzín, v menším měřítku i LPG nebo CNG). Nahrazení všech vozidel taxislužeb v okrese Ostrava-město vodíkovými vozidly by představovalo roční spotřebu vodíku více než **500 t** (při respektování průměrné spotřeby 1 kg H₂/100 km a denního nájezdu okolo 200 km). Celkem lze tedy uvažovat s ročním nájezdem vozidel TAXI v okrese Ostrava-Město, který činí cca 54 mil. km. Nutno však zmínit, že se jedná pouze o odhad, jelikož souhrnné údaje o nájezdech vozidel u jednotlivých provozovatelů nejsou dostupné.

Pokud bychom se na oblast vozidel taxislužeb podívali z perspektivy celého kraje, tak pro jejich kompletní nahrazení vodíkovými vozidly by bylo zapotřebí téměř 1 200 t vodíku ročně.

Tab. 4 – Počty vozidel taxislužeb v jednotlivých okresech MSK [15].

Okres	Počet vozidel TAXI	Zastoupení v rámci MSK (%)
Bruntál	82	5,0
Frýdek – Místek	265	16,1
Karviná	288	17,6
Nový Jičín	102	6,2
Opava	164	10,0
Ostrava – město	740	45,1
Celkem MSK	1641	100

Jako příklad využívání vodíkových vozidel v oblasti taxislužeb lze uvést Dánsko. Dánská vláda si totiž stanovila jasný cíl, aby od roku 2025 byla všechna nově uvedená vozidla taxi bezemisní, přičemž do roku 2030 už musí mít všechna provozovaná vozidla taxislužeb nulové emise. Že se nejedná jen o planá slova, se potvrdilo v roce 2021, kdy bylo v Kodani uvedeno do provozu více než 100 vodíkových vozidel taxi, čímž stanovené cíle dostaly jasnější obrysy. Vozy jsou provozovány taxislužbou DRIVR, která je lídrem přechodu na bezemisní dopravu. Všechna vodíková vozidla jsou typu Toyota Mirai, který je vybaven palivovými články.



Obr. 8 – Flotila vozidel Toyota Mirai v Dánské Kodani [16].

Konkrétnější informace k aplikaci vodíkových vozidel taxi lze nalézt například v [17], [18] nebo [16].

1.2.2 Vodíková elektromobilita v silniční dopravě

Očekávaný vývoj

Předpověď pro ČR dle NAP ČM počítá v roce 2030 (s odkazem na studii Využití vodíkového pohonu v dopravě v České republice z roku 2017) s 870 vodíkovými autobusy a přibližně 58 000 osobními automobily. Spolu s tím je ve stejném období predikováno 80 plnicích stanic [19].

Vzhledem k současnému poměru vozidel v MSK a v ČR (viz tabulka níže) by počet vozidel s vodíkovým pohonem dle předchozího odhadu mohl v roce 2030 činit zhruba desetinu z tohoto počtu, tj. přibližně 90 autobusů a zhruba 6 000 osobních automobilů.

Tab. 5 – Podíl motorových vozidel v MSK v rámci ČR [20]

	ČR	MSK	Podíl MSK v rámci ČR (%)
Osobní automobily včetně dodávkových	6 049 255	576 871	9,54
Nákladní automobily	728 091	62 209	8,54
Silniční tahače	3 706	324	8,74
Návěsy	43 035	4 283	9,95
Autobusy a mikrobusesy	19 254	2 155	11,19
Motocykly	1 196 354	102 009	8,53

Pro výpočet celkové roční spotřeby vodíku jsou využity údaje uvedené ve VS ČR. Ta uvažuje s průměrným ročním nájezdem osobního automobilu 20 000 km (při průměrné spotřebě vodíku 0,8 kg/100 km) a s průměrným ročním nájezdem 60 000 km u autobusů (průměrná spotřeba vodíku 10 kg/100 km). Celkem by tedy v roce 2030 bylo v MSK pro 6 000 vodíkových automobilů a 90 autobusů zapotřebí 1 500 t vodíku.

V NAP ČM se dále píše:

*„Naplnění cíle si vyžádá výraznou finanční podporu z veřejných zdrojů, přičemž v převážné míře by mělo jít o podporu z EU fondů, případně národních zdrojů financování (např. z Modernizačního fondu). Dotace na podporu čistých autobusů by měly být nastaveny tak, aby umožnily, že významná část alokace na podporu v této oblasti bude směřovat na podporu vodíkových autobusů. Ke stimulaci poptávky po vodíkových autobusech však v budoucnosti přispěje i nutnost naplnit požadavky novely směrnice 2009/33 o podpoře čistých vozidel, a to zejména požadavek, aby 50 % cíle pro české veřejné zadavatele ve vztahu k čistým autobusům bylo plněno bezemisními vozidly. České orgány zodpovědné za plnění tohoto požadavku by měly usilovat o to, **aby minimálně polovina všech bezemisních autobusů byla na vodík.**“*

„Klíčovým faktorem pro naplnění výše uvedeného cíle bude (stejně jako v případě vodíkových autobusů) odhadovaný pokles ceny vodíkových vozidel, resp. odhad klesajícího rozdílu mezi cenou vodíkového vozidla oproti vozidlu na konvenční pohon. Zatímco v roce 2020 by tento rozdíl měl činit kolem 700 tisíc Kč, již v roce 2025 by to mělo být téměř o 300 tisíc méně (417 tisíc Kč), a v roce 2030 by dle odhadu měl tento rozdíl činit pouze 84 tisíc. To do značné míry vysvětluje fakt, proč uvedená predikce počítá s výrazným nárůstem počtu osobních vodíkových vozidel mezi lety 2025 a 2030. Na těchto odhadech je postaven celkový odhad finanční náročnosti rozvoje vodíkové mobility do roku 2030. Také lze předpokládat, že ceny vozidel s konvenčním pohonem porostou pravděpodobně více, než je nyní předpokládáno z důvodu implementace restriktivní legislativy EU. Z aktuálních predikcí vyplývá, že

náklady na vodíkové automobily, které by měly vynaložit jak veřejné, tak i soukromé subjekty, dosahují kumulativní úrovně 28 mld. Kč do roku 2030.“

Pro rozvoj vodíkové mobility bude nutné rovněž vybudovat potřebnou infrastrukturu plnicích stanic. Tyto plnicí stanice mohou být provozovány formou veřejných stanic pro osobní vozidla, nebo i neveřejných, které mohou být umístěny například v depech dopravních společností.

V NAP ČM je uvedeno, že minimální počet vodíkových plnicích stanic v ČR pro rok 2025 je 15. Tento cíl je jakýmsi minimem nutným pro rozjezd vodíkové mobility v ČR. Pro MSK to tedy představuje minimálně jednu až dvě plnicí stanice do roku 2025 (s největší pravděpodobností budou umístěny v Ostravě).

1.2.3 Využití vodíku v průmyslu MSK

Hutnictví železa

Využití vodíku při výrobě oceli se jeví pro MSK, ve kterém je toto průmyslové odvětví nejrozšířenější, jako velmi perspektivní. V současné době dochází k ukončování těžby koksovateľného černého uhlí v kraji, a je tedy nutné jej dovážet ze zahraničí. Vzhledem k rostoucím cenám emisních povolenek rostou náklady na výrobu oceli závratnou rychlostí. Do budoucna může dojít k tomu, že bude dovážena levná ocel původem například z Asie, čímž by mohlo dojít ke snížení rentability výroby v našich hutích a následně k ukončení jejich provozu.



Obr. 9 – Historický vývoj ceny emisní povolenky (údaj k 8.2.2022) [21].

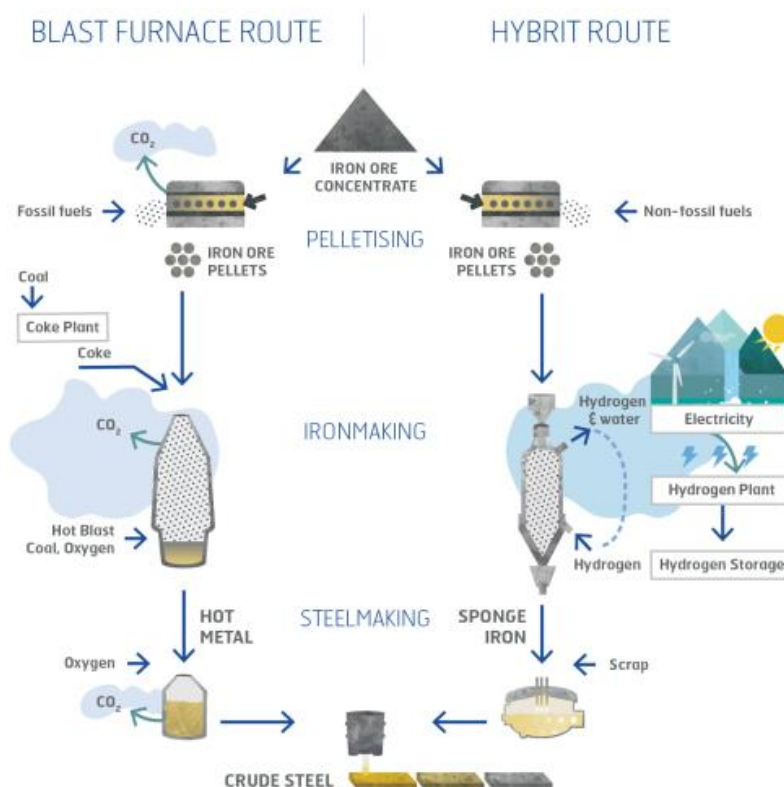
Podle dat světové ocelářské asociace se pohybují průměrné světové emise CO₂ na tunu vyrobené oceli v rozmezí 1,81 – 1,89 t [22]. Například Třinecké železářny na svých stránkách uvádějí, že v posledních letech se jejich emise CO₂ na tunu oceli pohybují v rozmezí 1,7 – 1,8 t, což je mírně podprůměrná hodnota ve srovnání se světem [23].

Nutno zmínit, že hutě dostávají přidělenou část emisních povolenek bezplatně, další část musí nakupovat na burze či v aukcích. Bližší informace lze nalézt například v [24].

Nahrazením černého uhlí, respektive koksu vodíkem jako redukčním činidlem dojde k výraznému snížení emisí CO₂ z hutní výroby, čímž i samotná ocel již nebude zatěžována poplatky za emisní povolenky.

Spotřeba vodíku na výrobu 1 t surového železa se pohybuje okolo 90 kg. Při roční výrobě 4 mil. tun v ČR (všechna výroba probíhá de facto v MSK) by bylo zapotřebí cca 360 tis. tun vodíku ročně.

Výsledkem aplikace vodíku ve výrobě surového železa ovšem není železo v tekutém stavu, nýbrž pouze tzv. houba vzniklá redukcí vodíku. Pro další zpracování je nutno tuto „železnou houbu“ roztavit pomocí další energie. Následné zpracování probíhá zpravidla v elektrických obloukových pecích (EOP). EOP by mohly být napájeny rovněž z OZE. V EOP se zpracovává i železný šrot – tím dochází k recyklaci železa, a tedy menší potřebě vyrábět surové železo.



Obr. 10 – Schématické porovnání výroby oceli klasickou a bezemisní metodou HYBRIT [25].

V roce 2018 byly zahájeny práce na výstavbě pilotního závodu na výrobu bezemisní oceli v závodě SSAB ve švédském městě Luleå. V poloprovozním závodě HYBRIT je vyráběn zelený vodík a poté je využíván k přímé redukcí železné rudy, jejímž výsledkem je železná houba. Ta se pak používá jako primární materiál spolu s recyklovaným šrotem pro výrobu oceli.

1.3 Odhad cenového rozpětí (Kč/GJ) pro H₂ a teplo a trendy vývoje jejich cen

V současné době zažívá trh s energiemi prudké turbulence. Do nárůstu světových cen energií, přičemž v Evropě je tento růst výraznější, se zásadně promítla také světová pandemie COVID-19. Po krátkodobém výpadku poptávky po energiích způsobeném mnohými lockdowny, došlo k mírnému poklesu jejich cen, avšak poté následovalo období zotavování ekonomiky a tím i prudký nárůst cen z důvodu zvýšené poptávky. Tento fakt je ještě umocněn prudkým růstem ceny emisních povolenek. Z toho důvodu je velice obtížné provést jakýkoliv odhad cen do budoucna.

Nicméně je vhodné uvést alespoň současné ceny tepla vyráběného z různých paliv a také srovnat tato klasická paliva s vodíkem, respektive stejným množstvím energie vázané ve vodíku.

1.3.1 Cena tepelné energie

Pokud by došlo k využívání vodíku jako zdroje tepla pro vytápění jeho přímým spalováním, je dobré uvést cenové srovnání pro jiná paliva a zvážit, zdali by toto nahrazení bylo přínosem či nikoliv. Vyrábění vodíku ze zemního plynu a jeho následné využívání pro vytápění se jeví jako ekonomicky i ekologicky nepřínosné.

V tabulce níže jsou uvedeny ceny tepelné energie z jednotlivých paliv za rok 2019.

Tab. 6 – Průměrná cena tepla v ČR v roce 2019 podle úrovně předání a druhu paliva [26].

Úroveň předání tepelné energie		Uhlí	Zemní plyn	Biomasa a jiné OZE	Topné oleje	Jiná paliva*	Vážený průměr
		Cena [Kč/GJ]	Cena [Kč/GJ]	Cena [Kč/GJ]	Cena [Kč/GJ]	Cena [Kč/GJ]	Cena [Kč/GJ]
Z výroby při výkonu nad 10 MWt		255,55	344,17	228,95	221,63	242,91	266,85
Z primárního rozvodu		383,84	495,94	284,62	398,45	361,71	383,44
Z výroby při výkonu do 10 MWt		579,48	343,65	313,25	686,19	214,27	332,65
Z centrální výměňkové stanice		598,72	713,55	498,42	649,55	614,79	610,40
Ceny tepelné energie pro konečné spotřebitele	Pro centrální přípravu teplé vody na zdroji	620,42	586,31	553,85	676,02	611,11	587,37
	Pro centrální přípravu teplé vody na výměňkové stanici	590,37	630,24	551,67	626,15	600,08	593,56
	Z rozvodů z blokové kotelny	592,08	625,70	417,81	712,44	640,42	599,24
	Z venkovních sekundárních rozvodů	597,83	631,74	589,16	660,61	544,55	596,70
	Z domovní předávací stanice	625,83	625,39	585,65	664,69	603,13	620,07
	Z domovní kotelny	607,88	540,65	693,97	820,07	688,73	549,82

* Jedná se především o jiné plyny, komunální a nebezpečné odpady a o jaderné palivo.

Teplo vyráběné ze zemního plynu je dražší, než z uhlí či biomasy. V současné době je tento fakt ještě více prohlubován prudkým nárůstem ceny zemního plynu.

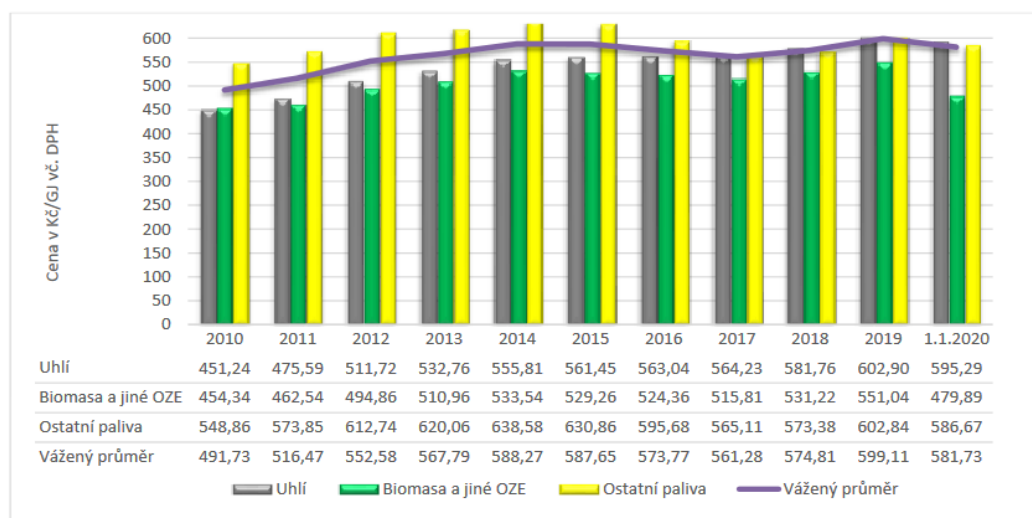
Nicméně cena tepla z jakéhokoli zdroje v následujících letech nejspíše poroste, pravděpodobně i nad úroveň inflace, kdy se do ceny promítne růst cen paliv, rostoucí náklady na údržbu, rostoucí mzdové náklady, emisní povolenky atp.

Tab. 7 – Průměrné ceny tepelné energie pro koncové spotřebitele v letech 2015–2020 [26].

Kraj	Průměrná výsledná cena tepelné energie				2019				2020				Rozdíl mezi cenami za r. 2015 a k 1.1.2020
					Průměrná výsledná cena tepelné energie	Podíl paliva			Průměrná předběžná cena tepelné energie	Podíl paliva			
	Uhlí	Biomasa a jiné OZE	Ostatní Paliva	Uhlí		Biomasa a jiné OZE	Ostatní Paliva						
	2015 Kč/GJ	2016 Kč/GJ	2017 Kč/GJ	2018 Kč/GJ	Kč/GJ	%	%	%	Kč/GJ	%	%	%	
Plzeňský	538,00	530,78	521,60	526,40	528,93	50,64	16,43	32,93	521,51	46,83	15,65	37,52	-16,48
Pardubický	500,32	499,53	493,01	513,86	533,46	68,85	2,28	28,87	522,33	71,88	2,07	26,06	22,01
Vysočina	543,62	528,09	503,68	518,45	542,18	6,65	39,53	53,82	518,64	6,53	39,88	53,59	-24,97
Královéhradecký	524,60	525,33	518,21	522,17	554,97	63,78	9,27	26,96	546,35	62,30	8,91	28,79	21,75
Moravskoslezský	536,64	529,59	527,99	546,66	582,05	63,76	4,88	31,36	570,38	68,06	4,85	27,09	33,73
Olomoucký	576,88	560,27	543,66	548,95	584,26	54,81	6,03	39,16	561,21	51,95	9,19	38,86	-15,67
Ústecký	581,09	571,56	560,01	572,64	586,17	72,59	4,90	22,51	585,18	74,47	4,68	20,84	4,08
Zlínský	608,62	577,78	565,47	571,37	595,59	48,52	4,80	46,69	589,50	45,01	4,67	50,31	-19,12
Středočeský	584,93	577,70	567,45	576,92	603,96	48,36	9,97	41,67	579,05	45,28	14,07	40,66	-5,88
Karlovarský	604,20	587,33	576,27	587,57	614,63	47,89	8,63	43,48	593,46	56,72	10,12	33,16	-10,74
Liberecký	696,17	636,53	591,33	589,43	614,79	3,58	0,39	96,03	596,47	3,27	0,70	96,03	-99,70
Jihomoravský	643,61	635,52	600,57	605,57	618,71	0,54	7,19	92,27	608,03	0,46	7,80	91,74	-35,59
Jihočeský	601,24	593,35	587,28	602,27	626,85	62,27	15,94	21,79	558,56	47,04	30,01	22,94	-42,68
Praha	665,49	637,52	623,44	648,79	676,34	47,64	0,53	51,83	654,82	47,76	0,72	51,51	-10,67
Průměr ČR	587,65	573,77	561,28	574,81	599,11	50,64	7,26	42,09	581,73	50,54	8,71	40,76	-5,92

Z tabulky uvedené výše je patrné, že výsledná cena tepla v MSK byla ve sledovaném období oproti celorepublikovému průměru vždy poněkud nižší.

Na následujícím grafu jsou vyobrazeny průměrné ceny tepelné energie za období 2010–2020, kdy je rozlišována cena zvláště za teplo vyrobené z uhlí, biomasy a ostatních paliv. Jak lze vidět, ve sledovaném období byla jak období mírného růstu, tak i období stagnace cen tepla, nicméně z dlouhodobého hlediska má cena tepla rostoucí trend. Cena tepla z uhlí jako jediná vykazuje konstantní nárůst bez výrazných krátkodobých poklesů.



Obr. 11 – Průměrné ceny tepelné energie v ČR v letech 2010–2020 [26].

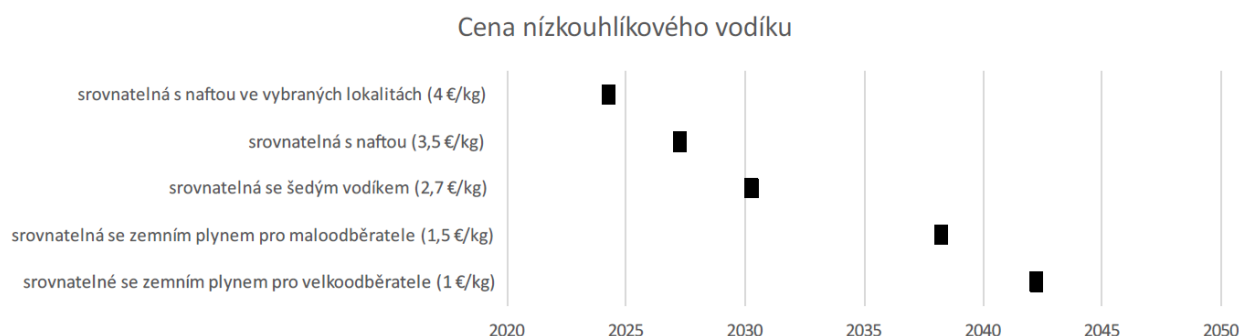
1.3.2 Cena vodíku

Cena vodíku silně záleží na mnoha faktorech. Pokud by byl vodík vyráběn elektrolýzou, jeho cena bude záviset na ceně elektrické energie (resp. na dostupnosti přebytečné elektřiny). Jelikož trh s elektřinou zažívá strmý vzestup cen, a také je v Evropě odstavováno velké množství klasických zdrojů, nelze předpokládat, že bude v brzké době dostupné tak obrovské množství levné elektřiny, pomocí které by bylo možno vyrábět ohromné množství potřebného vodíku.

Na výrobu 1 kg zeleného vodíku, který nese zhruba 33 kWh energie, je zapotřebí v případě elektrolýzy přibližně 55 kWh elektrické energie. Pokud by měl být vodík stlačován pro vysokotlaké zásobníky, je nutné připočítat dalších cca 10 kWh energie, tedy dohromady výroba a následné stlačení 1 kg vodíku spotřebuje 65 kWh elektřiny. Jak lze vidět, je výroba zeleného vodíku za pomoci elektrolýzy značně energeticky nákladná. V případě výroby šedého vodíku parním reformingem ze zemního plynu jsou náklady na výrobu vodíku nižší, avšak tato výroba je zatížena emisí CO₂.

Energie 1 GJ je vázaná zhruba v 8,4 kg vodíku. Pokud budeme předpokládat cenu 130 Kč za kilogram zeleného vodíku, vyjde 1 GJ tepla na bezmála 1 100 Kč. Cena za 1 GJ v šedém vodíku vyrobeného parním reformingem bude při jeho ceně 90 Kč za kilogram necelých 860 Kč.

VS ČR uvádí výhled ceny nízkoemisního vodíku vyznačený v dílčích milnících, kdy v daném roce bude jeho cena srovnatelná s určitým konvenčním palivem (či šedým vodíkem). Tyto milníky jsou jakýmsi odhadem a budou postupně na základě situace na trhu zpřesňovány.



Obr. 12 – Cena vodíku v různých milnících (zdroj VS ČR).

Nejrychleji, a to již před rokem 2025, by mohla být cena vodíku srovnatelná s cenou nafty (ovšem pouze v lokalitách, kde se bude tento vodík vyrábět). K vyrovnání cen šedého a zeleného vodíku by mohlo dojít po roce 2030, nakonec srovnání ceny vodíku na úroveň zemního plynu by mohlo nastat okolo roku 2040.

Nutno však podotknout, že k dosažení zmíněných milníků může dojít dříve nebo později, a to z důvodu změny cen těchto komodit. V případě nárůstu cen fosilních paliv bude těchto milníků dosaženo dříve.

2. Podmínky pro uplatnění vodíku v MSK

Jak již bylo řečeno v úvodu, vodík je nosičem energie, nikoli zdrojem. Výroba, skladování, distribuce i využívání vodíku nejsou zcela jednoduché a bezproblémové procesy. Základní podmínkou by tedy měla být potřeba vodíku, která vyplynula po zhodnocení všech možných alternativ vedoucích k řešení daného problému. Kritéria hodnocení by pak měla zohledňovat:

- schopnost řešení daného problému
- dostupnost zdroje energie pro zajištění provozu
- energetickou efektivitu využití zdroje energie
- globální a lokální emise provozu
- ekonomickou bilanci provozu
- zhodnocení současných i budoucích technologických možností
- nepřímé náklady vyplývající z budoucího rozšíření technologií

Další podmínkou je dostupnost zdrojů vodíku. Vodík je sice nejjednodušší, téměř všudypřítomný prvek, nicméně se v čisté formě v přírodě prakticky nevyskytuje a k jeho extrakci ze zdrojové látky jsou zapotřebí náročné technologie a energie.

- Základní možností je výroba vodíku elektrolýzou vody. Zde je podmínkou dostatek bezemisní elektrické energie, protože výroba vodíku ze současného energetického mixu vykazuje vysoké emise. Výroba vodíku by tedy optimálně měla probíhat pouze v době, kdy jej vyrábí bezemisní zdroje, popřípadě v době, kdy je přebytek energie v elektrické síti, která by jinak nebyla využita.
- Pokud je vodík vázán v nějakém jinak využitelném palivu, nedává extrakce vodíku energetický smysl, protože jednoduché spálení, nebo využití v KGJ využije palivo efektivněji, navíc za pomoci mnohem jednodušších a levnějších technologií. Tato paliva také obvykle ve srovnání s vodíkem umožňují snadnější skladování a jsou proto vhodnější k dlouhodobé akumulaci. Příkladem takovýchto paliv je koksárenský plyn, bioplyn, skládkový plyn nebo biomasa. Energetický potenciál těchto paliv je omezený, je proto nutné zajistit maximální efektivitu jejich využití.

V současnosti je většina vodíku, který je nutný pro různé technologické účely, vyráběna z fosilních paliv. Je to ale dočasné řešení především z důvodů potřeby snížení emisí CO₂, konečnosti zásob fosilních zdrojů a závislosti na dovozu těchto paliv.

Produkcí CO₂ je možné snížit pomocí technologie CCS, čímž vznikne takzvaný modrý vodík. Z hlediska řešení problému náhrady fosilních paliv čistými zdroji je toto řešení neperspektivní z těchto důvodů:

- energetická spotřeba technologie CCS zvyšuje spotřebu fosilních paliv
- ekonomické náklady na instalaci a provoz CCS
- v MSK nejsou vhodné geologické podmínky umožňující dlouhodobé uložení CO₂

Neméně důležitou podmínkou je také stanovení strategie a priorit nasazení a využívání vodíkových technologií, viz dále kapitola 5.

2.1 Návaznost na projekt TK02010187 v rámci TAČR: V2 (2.1)

Vodík je médium pro skladování energie, umožňuje flexibilním způsobem skladování OZE. H₂ lze použít k dekarbonizaci celé řady průmyslových výrobních procesů, pro které v současné době nejsou k dispozici žádné dekarbonizační technologie.

Existují dva klasické způsoby skladování vodíku:

- stlačený CGH₂ (compresses gas hydrogen)
- zkapalněný LH₂ (liquid hydrogen).

Každý z těchto klasických způsobů skladování a distribuce má své výhody i nevýhody. V současnosti se obvykle využívá metoda CGH₂, v případě požadavku na větší akumulaci vodíku, začínají převažovat výhody LH₂.

Nicméně v MSK by se daly uplatnit i alternativní způsoby skladování a distribuce vodíku. Některé z nich jsou ve fázi vývoje, jiné jsou již prakticky používány. Výběr vhodného způsobu skladování závisí na požadavcích projektu a místních podmínkách. Základní možnosti skladování vodíku:

- skladování vodíku v tzv. pevném stavu v hydridech nebo slitinách kovů, které by mohly reverzibilně sorbovat vodík
- skladování v kapalných nosičích
- skladování v plynné formě prostřednictvím syntetické výroby metanu (SNG)

2.2 Aktualizace souvisejících výstupů DS I.

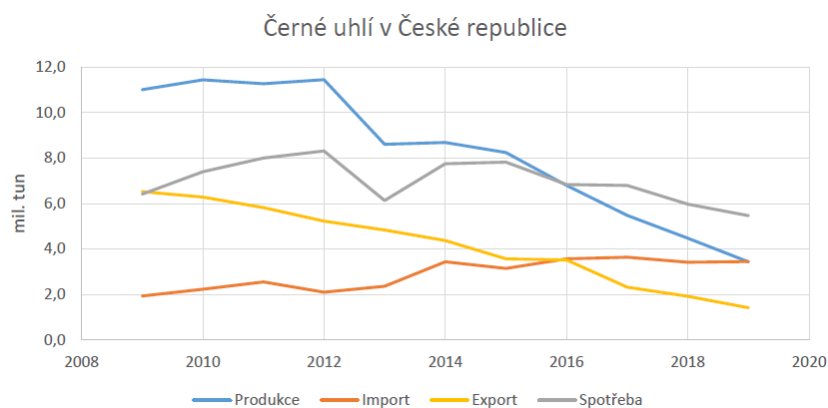
2.2.1 Spotřeba fosilních paliv v MSK

Hlavními nosiči energie v MSK jsou černé uhlí, zemní plyn a ropná paliva.

2.2.1.1 Množství spotřebovaného uhlí

Podle statistiky ERU se v MSK ročně vyrobí 50,46 % elektřiny z černého uhlí (1 964 GWh). Na výrobě tepla se pak uhlí podílí ze 41,9 %, což odpovídá energii 3 592 GWh. Velká část výroby elektřiny a tepla je propojena, a proto je možné energie přibližně sečíst a podělit účinností, která může být přibližně 60 %. Potřebná energie uhlí pro výrobu tepla a elektřiny by pak byla 9 260 GWh [27].

Uhlí se také spotřebovává v průmyslu. Podle zprávy zabývající se ukončením těžby uhlí se pro hospodářství MSK spotřebovuje 2 500 000 tun energetického uhlí, které obsahuje energii přibližně **20 284 GWh**. Dále pak 3 000 000 tun koksárenského uhlí, které obsahuje energii přibližně **24 342 GWh** [28].



Obr. 13 – Produkce, spotřeba a saldo importu a exportu černého uhlí v ČR [29]

2.2.1.2 Množství spotřebovaného zemního plynu

Podle Roční zprávy o provozu plynárenské soustavy České republiky za rok 2020 [30] je celková energie spotřebovaného plynu v MSK **9 515 GWh**.

2.2.1.3 Množství spotřebovaných ropných paliv

Ropná paliva jsou využívána zejména v dopravě. Podle statistiky spotřeby vybraných ropných produktů za rok 2019 [31], jsou spotřebována paliva obsahující energii 85 970 GWh.

Tab. 8 – Spotřeba vybraných ropných paliv pro dopravu v ČR

	kg	Výhřevnost (MJ/kg)	GWh
Nafta	5 025 000 000	43,59	60 844
Benzín	1 616 000 000	42,61	19 127
LPG	465 000 000	46,44	5 999
			85 970

Z celkového počtu vozidel v ČR je v MSK registrováno 9,16 %. Z toho je možné s dostatečnou přesností odhadnout i energii paliv pro dopravu v MSK na **7 880 GWh**.

2.2.1.4 Energie fosilních paliv spotřebovaných v MSK

Součet výše uvedených údajů udává množství energie fosilních paliv spotřebovaných v MSK **62 055 GWh**.

Při budování nových nízko emisních zdrojů není nutné cílit na výrobu stejného množství energie, protože je možné souběžně s budováním nových zdrojů také zvyšovat energetickou efektivitu spotřeby energie. Největší potenciál ke snížení spotřeby primárních energií nabízí kombinace KGJ, TČ a bateriových elektromobilů [32]. Kogenerace obecně umožňuje maximální efektivitu a flexibilitu využití paliva, elektromobily nabízí maximální efektivitu využití energie k přepravě a TČ násobí svým topným faktorem vstupní energii a tím se stávají významným zdrojem obnovitelné energie. Řízením výroby a spotřeby těchto tří technologií je možné dosáhnout významného stabilizačního vlivu na elektrickou síť a tím i výhodnou spolupráci s OZE.

Další snížení spotřeby energií umožní zvýšení energetické efektivity průmyslových procesů a zateplování budov. Zde už není možné dosáhnout tak výrazného procentuálního poklesu spotřeby

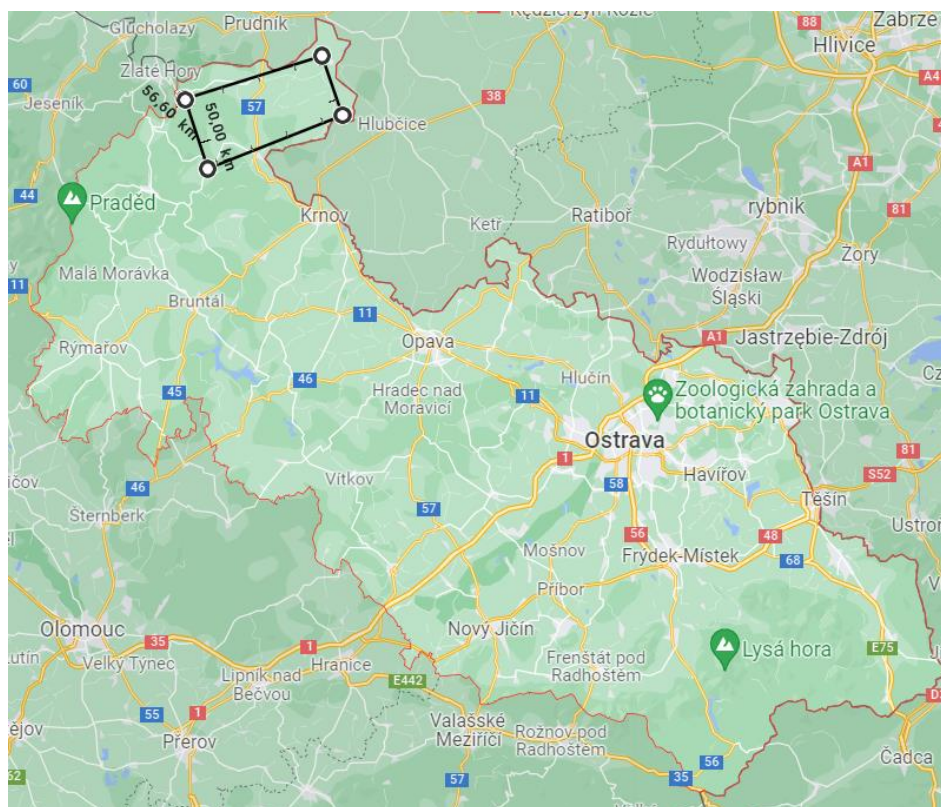
jako v předchozím případě, ale vzhledem k absolutní hodnotě spotřebované energie je i zde snaha o snížení spotřeby také velmi významná.

Energetická spotřeba MSK je díky jeho průmyslovému charakteru ve srovnání se sousedními kraji vysoká. Není proto nezbytně nutné budovat nové energetické zdroje pouze v rámci kraje, ale může být část energie přivedena z okolí, podobně jak to je dnes s fosilními palivy.

2.2.2 Předpokládaný průběh útlumu uhlí v MSK a přechodné náhrady zemním plynem

2.2.2.1 Příklad náhrady energetického černého uhlí vodíkem vyrobeným pomocí FVE

Energetické černé uhlí	2 500 000 t
Energetický obsah uhlí (29,2MJ/kg)	20,3 TWh
Účinnost výroby a skladování vodíku	72 %
El. energie na výrobu ekvivalentního množství vodíku	28,2 TWh
Plocha instalace FVE	201 km ²



Obr. 14 – Plocha FVE, potřebná k náhradě energetického uhlí, vlastní zpracování.

Na obrázku je vyznačena potřebná plocha FV instalace 201 km². Předpokládá se účinnost panelů 20 %, a využití plochy 70 %. Plocha by pokryla 3,7 % kraje, překrývá několik obcí a vypadá jako nereálný zásah do krajiny, nicméně při rozdrobení na mnoho menších instalací to už takový problém být nemusí.

Pro představu o rozsahu této instalace je možné uvést některé údaje katastru nemovitostí pro MSK v km² [33]:

Celková plocha:	5 430,53 km ²
zastav. plocha a nádvoří	117,55
zeměděl. pozemky	2 729,01
Vodní plochy	116,87
Ostatní plochy	522,27

Z uvedených ploch je zřejmé, že podstatná část výkonu by mohla být realizována na zastavěné ploše, dále pak na vodní ploše, kde v principu nijak nevádí, ba naopak snižuje přehřívání hladiny, tvorbu řas a odpar vody. Dále by mohly být využity některé nevyužité pozemky zahrnuté v obecné položce ostatní plocha. Přehled nevyužitých ploch poskytují mapové aplikace BROWNFIELDY: [34], [35]

Obecné podmínky celoročního provozu zásobování vodíkem vyrobeným FVE jsou:

- Instalovaný výkon elektrolyzérů odpovídající špičce výkonu zdroje
- Sezónní akumulace přibližně 17 % roční výroby vodíku na zimní období

V budoucnu bude ale energetika, teplárenství a doprava tvořit propojený a logicky řízený systém. Potřebný špičkový výkon elektrolyzérů by mohl být snížen například řízeným nabíjením bateriových elektromobilů, stacionárními bateriovými úložišti, nebo jinými systémy krátkodobé akumulace energie.

Potřeba akumulace pak může být snížena odložením spotřeby různých snadno skladovatelných paliv na zimní období (biomasa, metan, odpad). Uvažovat se dá také o zimní odstávce některých energeticky náročných technologií.

2.2.2.2 Příklad náhrady energetického černého uhlí vodíkem vyrobeným jaderným zdrojem

Energetickým ekvivalentem 2 500 000 tun uhlí je 609 150 tun vodíku. K výrobě takového velkého množství vodíku by bylo vhodné využít jaderné reaktory umožňující vysokoteplotní elektrolýzu. Díky využití tepelné energie může být dosažena účinnost elektrolýzy 100 %. Za předpokladu průměrného využití instalovaného výkonu na 90 % by bylo potřeba instalovat jadernou elektrárnu o výkonu **2,57 GW**. Vzhledem k v současnosti diskutovaným cenám výstavby 1 GW reaktoru v Dukovanech, se dá předpokládat, že cena jaderného zdroje energie by byla výrazně vyšší než výše uvedený instalovaný výkon fotovoltaiky. Byla by zde ale zásadně menší potřeba instalovaného výkonu elektrolyzérů a akumulace vodíku.

Výsledné porovnání nákladů realizace obou systémů výroby vodíku by vyžadovalo podrobnou analýzu, která by i tak byla dosti nepřesná. Rozhodnutí o budoucích zdrojích energií bude záviset zejména na společenské diskusi, zda je přijatelnější pokrytí poměrně malé plochy fotovoltaickými panely, anebo výstavba jaderných zdrojů a úložišť jaderného odpadu.

Existuje zde také varianta využití technologie malých modulárních reaktorů SMR. Detailněji jsou možnosti využití SMR v MSK posuzovány v DS I. Hlavní výhodou je instalace menších jaderných zdrojů, jako zdroj energie pro stávající energetické systémy, které v současnosti využívají uhlí. Díky sériové výrobě základních celků těchto reaktorů se dá předpokládat srovnatelná cena vyrobené elektřiny

s velkými jadernými elektrárnami. Ekonomiku zařízení můžou dále zlepšit i tržby za prodej tepla a tržby za podpůrné služby elektrizační soustavě. Je potřeba ale také uvážit rizika jaderného scénáře, kterými jsou zejména nejistý postoj legislativy k jaderným zařízením, který se navíc může změnit i v průběhu realizace zařízení, zajištění dlouhodobé dostupnosti jaderného paliva a potřeba zajištění fyzické ostrahy každého reaktoru na srovnatelné úrovni jako u velké jaderné elektrárny.

2.2.3 Adaptace propojení účinného SCZT Ostrava s jinými účinnými SCZT, region Ostrava

V Ostravském SCZT se ročně spotřebuje palivo obsahující energii 9 243 GWh, z toho je roční dodávka tepla 2 684 GWh a výroba elektřiny brutto 1 941 GWh [29]. Z podílu součtu výroby energií a energie paliva vyplývá účinnost teplárenských zdrojů pouhých 50 %. Tato účinnost je dána technickými parametry instalovaných kotlů a soustrojí, ztrátami v teplárenských rozvodech a systémem řízení dodávek energií. Teplárny spojené s výrobou elektřiny se často používají jako dodavatel špičkového elektrického výkonu i v době, kdy není úměrná poptávka po teple. Teplo se proto chladí do okolí a tím dochází ke snížení celkové účinnosti.

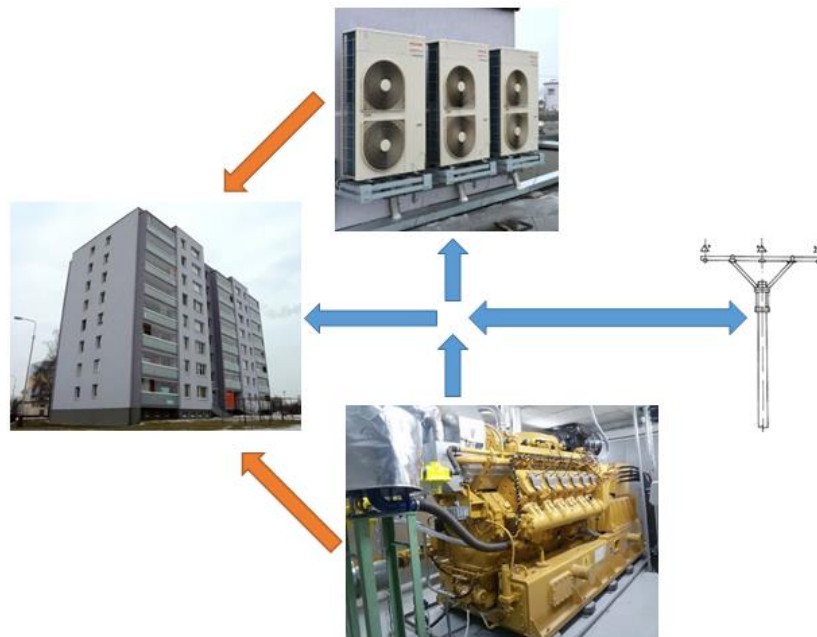
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla obecně zvyšuje účinnost využití paliva. Současné teplárenské systémy nejsou obvykle optimalizovány k dosažení maximální elektrické účinnosti, a proto vznikají značné energetické ztráty. V tomto kontextu je k diskusi, zda má smysl uvažovat o pouhé výměně paliva při zachování stávajícího zařízení, anebo ponechat stávající zařízení, dokud bude dostupné palivo (uhlí) a dále už investovat do kombinace technologií a zařízení, které umožní až několikanásobné zvýšení účinnosti využití paliva.

2.2.3.1 Příklad kombinace technologií vedoucí k maximální výrobě energií s minimálními palivovými nároky:

Základem řešení jsou KGJ poháněné zemním plynem, strategicky rozmístěné poblíž míst s nejvyšším odběrem tepla (panelové domy, obchodní centra aj.). Vyrobené teplo je přímo spotřebováno ideálně tak, aby byla využita výhoda vyšší teploty média. Vyrobená elektrická energie pak pohání TČ, která mohou pracovat při nižší teplotě, čímž se zvyšuje jejich efektivita. Nejefektivnějšími typy TČ jsou země/voda nebo voda/voda. Jejich výkon a účinnost nezávisí přímo na venkovní teplotě. V husté zástavbě je ale nejnáze realizovatelná varianta vzduch/voda. Průměrný roční topný faktor těchto čerpadel se uvádí v rozmezí SCOP = 3 až 5. Pro modelový příklad bude uvažován SCOP = 4. Vzhledem k dostupnosti vysokopotenciálního tepla z KGJ, obzvláště v chladnějším období, je tento topný faktor snadno dosažitelný.

Podle výrobce KGJ Tedom se elektrická účinnost jejich zařízení pohybuje v rozmezí 35–44 %, tepelná účinnost pak 49–58 %. Celková účinnost využití paliva pak může dosahovat až 95 % [36].

Předpokládejme účinnost obecné kogenerace 40 % elektřina a 50 % teplo. Pokud by bylo teplo přímo spotřebováno a elektřina by byla využita k napájení TČ s průměrným ročním topným faktorem SCOP = 4, pak by zde docházelo k využití energie paliva s účinností 210 %.



Obr. 15 – Zdroj tepelné energie kombinující KGJ a TČ, vlastní zpracování.

Základní provozní režimy:

- Maximální výroba tepla, veškerá vyrobená elektřina napájí TČ
- Dodávka elektřiny do sítě, teplo je využíváno v místě instalace
- Ohřev TČ, v případě dostatku energie v síti

Výhody:

- vysoká účinnost díky lokální výrobě i spotřebě a využití energie prostředí
- domy jsou vybaveny dvěma zdroji, porucha jednoho z nich neznamená dům bez tepla
- lokální zdroj tepla a elektřiny. Zapojení lze realizovat tak, aby byl možný ostrovní provoz i při výpadku vnější elektrické sítě. Tím by byla zajištěna vysoká energetická bezpečnost připojených objektů.
- lokální zdroj elektřiny snižuje zatížení centrálních rozvodů a přenosové ztráty
- dodávka tepla je průměrována lokálními vodními zásobníky, což je nejlevnější a nejjednodušší forma akumulace energie. Díky tomu je možné zajistit stabilní dodávku tepla i při cyklickém provozu
- nejedná se o jednoúčelové zařízení, ale o multifunkční vysoce účinný systém, který je lokálním zdrojem elektřiny a tepla a zároveň přispívá ke stabilizaci elektrické sítě.
- vzhledem k výše uvedeným výhodám také výhodná ekonomika provozu
- na výstavbě by se mohlo podílet město i bytová družstva. Nastavil by se vhodný ekonomický model, aby to bylo všestranně výhodné.

Nevýhody:

- KGJ by bylo nutné umístit blízko zástavby, kde by pak vznikl nějaký hluk a emise. Při stacionární instalaci jsou ale tyto hodnoty minimální ve srovnání s dopravou se spalovacími motory, která je všudypřítomná a zatím tolerována. Existují ale také palivočlánkové KGJ, které hluk nevytváří [37]. Jejich využití by proto v blízkosti zástavby bylo výhodnější.
- Potenciální odpor lidí k lokální instalaci nových technologií.

Uvedená roční energetická účinnost až 210 % je platná pouze v režimu provozu, kdy veškerá elektřina vyrobená prostřednictvím KGJ je využita v TČ. Teplárenské kogenerační zdroje jsou ale také využívány jako zdroj elektřiny. V tomto režimu provozu účinnost využití paliva klesá na 90 %, ale pouze za podmínky, že je využito veškeré teplo. Toho může být dosaženo poddimenzováním tepelného výkonu kogenerace oproti běžné spotřebě. V případě větší potřeby tepla dodávají teplo také TČ. Tento energetický systém je zdrojem tepla i zdrojem, nebo spotřebičem elektřiny. Jeho řízením je možné dosáhnout vysoké účinnosti využití paliva a také stabilizační funkce elektrické sítě. Praktický přínos přechodu k nízkouhlíkové energetice je zde proto zásadně vyšší ve srovnání s velkými teplárenskými systémy. Celá tato koncepce může ale narazit na potřebu instalace kogeneračních zdrojů v blízkosti zástavby. Klíčovým prvkem k dosažení vysoké energetické účinnosti zdrojů tepla je zde TČ a to lze obecně instalovat kdekoli nezávisle na teplárenské soustavě. Vytápění TČ by proto mělo být maximálně upřednostňováno před vytápěním pomocí lokálních kotlů.

2.2.4 Náhrada zemního plynu vodíkem

V počátcích energetické transformace se uvažuje o využití zemního plynu, který by byl postupně nahrazován vodíkem. Někteří výrobci plynových zařízení už s částečným využitím vodíku počítají. Příkladem může být například jeden z výrobců KGJ.

„Převážná většina KGJ TEDOM je připravena na spoluspalování směsi vodíku a zemního plynu, a to až do koncentrace 20 % vodíku. Tím je možné dosáhnout snížení emisí CO₂ při výrobě elektřiny ze zemního plynu. Všechny jednotky TEDOM na zemní plyn procházejí testováním a změna paliva na směs s vodíkem je u nich možná, a to bez nutnosti zásadních konstrukčních úprav. Při změně paliva nedochází navíc k podstatným změnám technických parametrů jednotky.“ [36]

V praxi už jsou také využívány KGJ s palivovými články, které jsou schopny využít přímo čistý vodík. KGJ s palivovými články využívající zemní plyn anebo čistý vodík jsou v současnosti používány především v Japonsku [4].

Ve vzdálenější budoucnosti se uvažuje o skladování a přepravě vodíku sítí potrubí H₂ nebo upravenou stávající sítí zemního plynu. H₂ plynová síť je zatím v EU pouze předmětem úvah a možnost její praktické aplikace v MSK je zatím velmi vzdálená.

2.2.5 Možnosti propojení teplárenských soustav

V okolí Ostravy je několik teplárenských soustav. Jejich vzájemné propojování za účelem sdílení výkonu, nebo navýšení výkonu nemá objektivní výhody. Ba naopak by znamenalo potřebu budování dalších dlouhých rozvodů, které by zvyšovaly systémové ztráty. Pokud by byl požadavek na optimalizaci účinnosti, nebo navýšení výkonu, tak se nabízí tato efektivní řešení:

- do míst se zvýšeným odběrem tepla instalovat lokální plynové KGJ, jejich celková účinnost dosahuje až 95 %, umožňují velkou dynamiku změny elektrického výkonu a tím i zálohu změn výkonu například z OZE. Dodávka tepla může být průměrována lokálními vodními zásobníky tak, aby nedocházelo k maření energie v době, kdy je zapotřebí elektřina, ale ne teplo.
- instalace lokálních TČ, která jsou významným zdrojem obnovitelné energie. Tato instalace je vhodná jak v objektech se zavedeným SCZT pro doplnění a navýšení tepelného výkonu, tak v objektech s lokálními zdroji vytápění. Teplo dodávané TČ je ale obvykle výrazně levnější ve srovnání s centrálními zdroji, a proto zde hrozí kolize se zájmy zachování SCZT.
- Zateplování budov tak, aby došlo ke snížení jejich energetické spotřeby.

Přehled velkých teplárenských soustav v MSK a posouzení potenciálu vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny a účinného dálkového vytápění a chlazení [38].



Obr. 16 – Velké teplárenské soustavy v MSK.

V době, kdy bude k dispozici dostatečná výroba energie z OZE, doplněná o systémy krátkodobé akumulace, bude energeticky optimální provozovat tepelné kogenerační zdroje pouze v zimě, jako kompenzaci snížené výroby FVE. Tento režim využití ale díky nízké utilitaci zařízení koliduje s výhodnou ekonomikou provozu centrálních zdrojů.

3. Záměr užití H₂ v MHD s výhledem pro ostatní segmenty dopravy v Ostravě

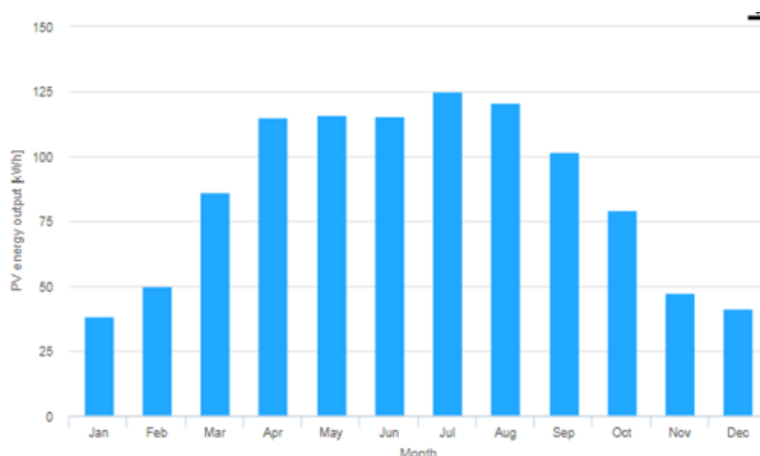
Podle NAP ČM jsou odhadovány tyto kapacity a možné počty vodíkových vozidel v roce 2024 a 2030.

2024 – potřeba vodíku v MSK podle předpokladu pro rok 2024 (1 lokace 10 vodíkových autobusů Havířovsko linky č. 440, 441 a 442, celkový nájezd 800 000 km/rok, při spotřebě 10 kg/100 km. Celková roční spotřeba vodíku by pak byla 80 000 kg H₂/rok)

2030 – potřeba vodíku v MSK dle nejvyššího odhadu 500 vodíkových autobusů, které za rok spotřebují přibližně 5 475 000 kg H₂/rok a 3 200 osobních vozidel se spotřebou 480 000 kg H₂/rok. Celková roční spotřeba vodíku by pak byla 5 955 000 kg H₂/rok

K výrobě a stlačení 1 kg vodíku je potřeba 65 kWh elektrické energie. Tato energie může být získána z mnoha zdrojů. Jako příklad bude uveden model pokrytí celoroční energetické potřeby pomocí FVE.

V geografické poloze MSK existuje v průběhu roku velký rozdíl ve výrobě FV energie. Podle simulačního programu PV GIS je možné zobrazit odhad výroby v jednotlivých měsících. Vstupními parametry simulace byly instalovaný výkon 1 kWp a jižní orientace se sklonem 45°.



Obr. 17 – Simulace výroby FVE v průběhu roku, vlastní zpracování dle PV GIS

Na základě analýzy tohoto grafu lze odvodit, že pro zajištění celoročního provozu je nutné přesunout na zimní měsíce přibližně 17 % energie.

Podmínkou zajištění celoroční energetické soběstačnosti je instalace elektrolyzérů, jejichž příkon se blíží špičkovému výkonu FVE tak, aby mohla být využita veškerá výroba a dostatečná akumulace vodíku. Pokud by ale byl k dispozici dostatek plochy, mohlo by se ukázat investičně výhodnější zvýšení FVE instalovaného výkonu a snížení příkonu elektrolyzérů i akumulací kapacity vodíku. Takto by sice nebyly využity špičky výroby FVE, ale vyšší výroba v zimě by umožnila celoroční provoz i při menší akumulaci vodíku.

3.1 Návrh FV výroby elektřiny pro plné pokrytí vodíkové dopravy MSK v roce 2024

Tab. 9 – Pokrytí předpokládané spotřeby vodíku v roce 2024 pomocí FVE, vlastní zpracování.

Roční spotřeba vodíku	80 t
Spotřeba energie pro pokrytí dopravy	5,2 GWh
Instalovaný výkon FVE	5,2 MWp
Plocha instalace FVE při 70 % pokrytí	37 143 m²
Instalovaný příkon elektrolyzáru	5 MW
Akumulační kapacita H₂ pro celoroční provoz z FVE	13,6 t

Potřebná plocha pro instalaci FVE není příliš velká. Jako příklad je možné uvést využití části brownfieldu ve městě Třinec.



Obr. 18 – Příklad plochy instalace FVE o výkonu 5,2 MWp, vlastní zpracování

Potřebnou akumulační kapacitu by pak mohlo zajistit například 39 ks středotlakých nádrží, nebo 25 vysokotlakých kontejnerů.



Obr. 19 – Příklad možného řešení akumulace vodíku, vlastní zpracování.

Další perspektivní projekt, který by mohl být realizovatelný před koncem roku 2024, je plnička vodíku Ostrava Hranečník. Zde se předpokládá provoz 10 ks vodíkových autobusů a 15 ks osobních vozidel. Spotřeba vodíku by v případě realizace tohoto projektu byla více než dvojnásobná. Požadavky na výrobní a skladovací kapacitu vodíku by pak byly úměrně vyšší.

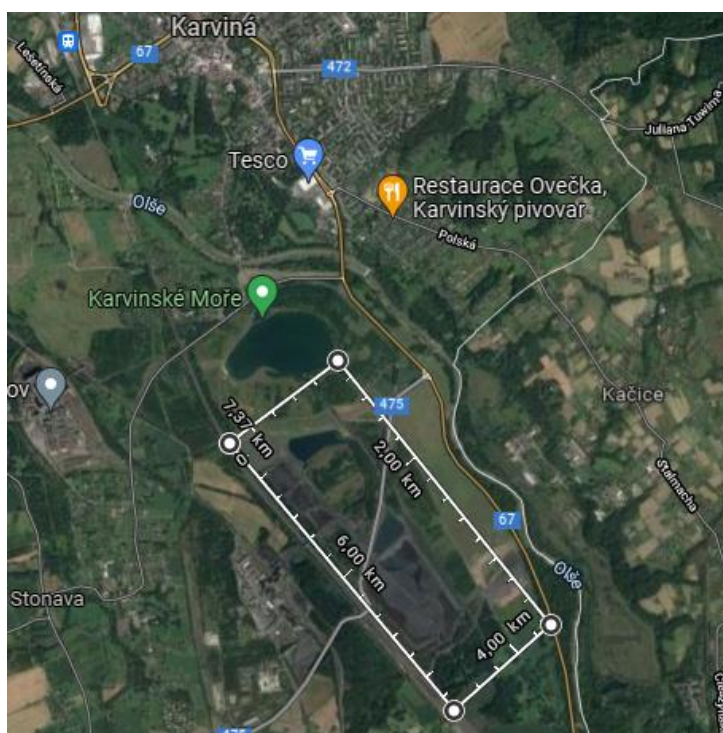


Obr. 20 – Projekt plničky vodíku Ostrava Hranečník, vlastní zpracování

3.2 Návrh FV výroby elektřiny pro plné pokrytí vodíkové dopravy MSK v roce 2030

Tab. 10 – Pokrytí předpokládané spotřeby vodíku v roce 2030 pomocí FVE. vlastní zpracování.

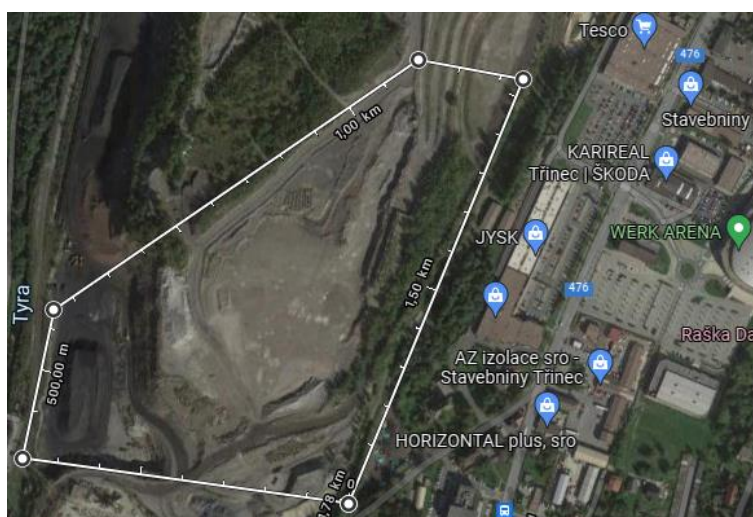
Roční spotřeba vodíku	5 955 t
Spotřeba energie pro pokrytí dopravy	387,3 GWh
Instalovaný výkon FVE	387 MWp
Plocha instalace FVE při 70% pokrytí	2 764 821 m²
Instalovaný příkon elektrolyzátoru	380 MW
Akumulační kapacita H₂, pro celoroční provoz z FVE	1 012 t



Obr. 21 – Příklad instalace FVE o výkonu 387 MWp na ploše po důlní činnosti, vlastní zpracování.

Distribuce předpokládaného množství 5 955 t bude rozložena na 16 plnicích stanic, na jednu stanicí připadá 1 020 kg vodíku. V optimálním případě bude technologie výroby a spotřeby vodíku v jedné lokalitě, kde by pak došlo k instalaci:

- FV panelů o ploše 173 000 m² s výkonem 24,2 MWp
- 115 kontejnerů s vysokotlakými zásobníky 300 barů
- Technologie pro kompresi a výdej vodíku



Obr. 22 – Příklad instalace FVE o výkonu 24,2 MWp na ploše brownfieldu, vlastní zpracování.

FVE nemusí být nutně instalována na souvislé ploše, může být rozprostřena na vhodných místech v širším okolí a díky centrálnímu řízení pak provozována jako virtuální elektrárna.

Požadavek na sezónní akumulaci pro zajištění celoročního provozu by kladl vysoké prostorové i ekonomické nároky na vybudování plnicích stanic. Je ale možné navrhnout optimální variantu, která minimalizuje požadavek na skladování vodíku a sníží výkonové požadavky na nezbytné technologie. Sníží se ale také pokrytí spotřeby energie pro zajištění dopravy na 71 %. Optimalizované parametry FVE a technologií plnicích stanic shrnuje následující tabulka.

Tab. 11 – Optimalizované technologie pro pokrytí spotřeby vodíku v roce 2030, vlastní zpracování.

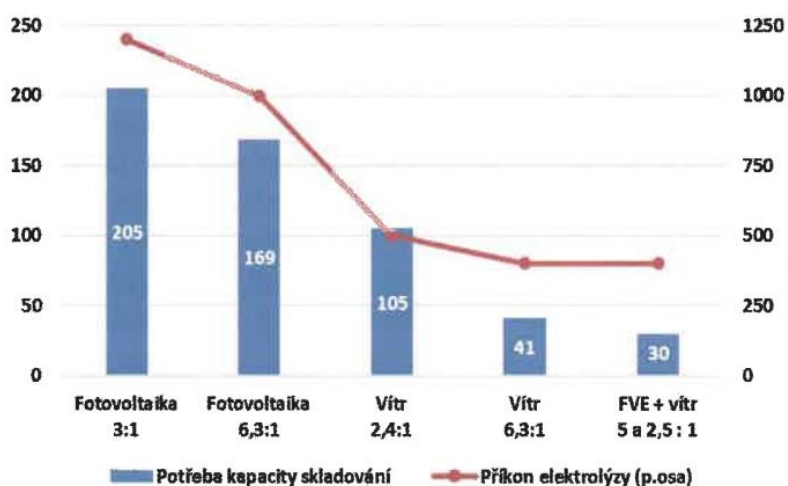
Roční spotřeba vodíku	5 955 t
Spotřeba energie pro pokrytí dopravy	16 x 24,2 GWh
Instalovaný výkon FVE	16 x 17,2 MWp
Plocha instalace FVE při 70% pokrytí	16 x 123 165 m²
Instalovaný příkon elektrolyzérů	16 x 17 MW
Akumulační kapacita H₂, pro celoroční provoz z FVE	3 t
Pokrytí vlastní spotřeby	71 %

Denní výroba fotovoltaiky optimalizované varianty může dosáhnout maximálně 1,3 násobku spotřeby. Akumulační kapacita vodíku je dimenzována na třídní spotřebu. Akumulace průměruje bilanci výroby vodíku. V případě delšího období optimálního počasí může dojít k překročení kapacity

zásobníků. Výroba FVE by pak zůstala nevyužita, nebo by byla dodána do elektrické sítě. Naopak při nedostatečné výrobě FVE by bylo nutné doplnit chybějící energii ze sítě.

Sezónní akumulace je velkou výzvou budoucí energetiky. Při návrhu pokrytí spotřeby různých procesů a technologií OZE v průběhu celého roku je nutné počítat s masivní akumulací energie, například pomocí vodíku. V případě nedostatečné výroby nebo akumulace je možné také uvažovat s doplněním energie z vnějšího zdroje. Je ale také možné, že vnější zdroje se budou potýkat s podobnými technickými výzvami a nedostatečnou akumulací, takže potřebná energie nebude v kritických obdobích k dispozici.

V uvedených příkladech pokrytí spotřeby vodíku se předpokládá využití výroby vodíku pomocí FVE. V případě kombinace výroby s větrnými elektrárnami, jejichž maximum výroby je v zimě, kdy je naopak nižší výroba FVE se požadavek na akumulaci kapacitu zásobníků významně snižuje [39]. Na obrázku je uvedeno srovnání potřebných skladovacích kapacit [kg/t roční výroby] a příkonu elektrolýzy [kW] pro výrobu přibližně 55 t vodíku ročně.



Obr. 23 – Srovnání potřebných skladovacích a výrobních kapacit vodíku [39].

4. Specifikace změny technologií získávání a distribuce tepla v přechodové etapě

4.1 Předpokládaný vývoj potřeby tepla v regionu Ostrava

Očekávaná poptávka po teple závisí na celé řadě faktorů. Množství faktorů pak může působit do velké míry „protichůdně“. Předpokládaný ekonomický růst v jednotlivých odvětvích bude spíše znamenat růst poptávky po teple, zatímco pokračující trend zvyšování energetické účinnosti, respektive dosahování energetických úspor, je spojen spíše s poklesem poptávky po teple [40].

Při podrobnějším rozboru je možné odhadovat, že v bytovém i nebytovém sektoru bude docházet k poklesu spotřeby tepelné energie z důvodu obecného trendu snižování energetické náročnosti budov. Vývoj spotřeby v průmyslu může být ovlivněn mnoha faktory, výslednou spotřebu je pak možné rozdělit do několika scénářů:

- V případě ekonomického růstu poroste také výkon odvětví průmyslu. Zároveň ale bude docházet ke zvyšování energetické účinnosti, a proto se spotřeba tepla příliš nezmění.
- Odvětví průmyslu bude stagnovat, ale díky zvyšování energetické účinnosti bude docházet k mírnému poklesu spotřeby tepla.
- Z důvodu vysoké ceny a nedostupnosti energií dojde k zániku, nebo k přestěhování některých energeticky náročných technologií. To následně povede k většímu poklesu spotřeby tepla v dané lokalitě.

4.2 Modelové příklady řešení SCZT

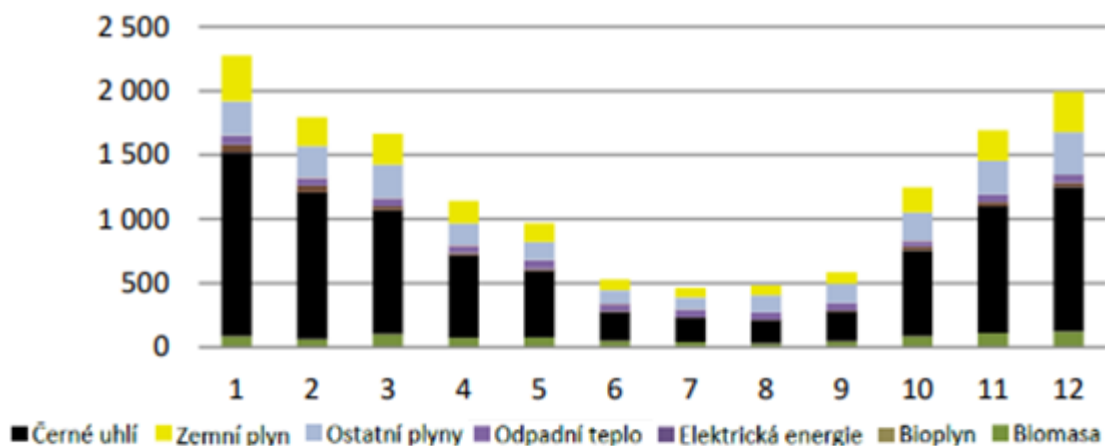
Budou uvedeny 3 modelové příklady, které předpokládají zachování objemu dodávek tepla shodného s rokem 2020 [41]. Bude zde uvažováno s kombinací kombinované výroby elektřiny a tepla, která je doplněna o TČ, zajišťující minimální spotřebu paliv a maximální podíl obnovitelných energií pro vytápění. Uvažované řešení je popisováno také v kapitole 2.2.2.1. Dále se zde předpokládá, že jde o vnější dodávku tepla o teplotě do 100 °C (přestože to pro část průmyslové spotřeby nemusí platit).

V rámci individuálního využití tepelné energie (dle metodiky Eurostatu) je značná část tepla využívána ve formě tepla procesního nebo technologického. Tedy jako přímá vsázka paliva nebo energie do metalurgických procesů, do procesů výroby cementu a vápna, do výroby skla, keramiky a dalších. Jedná se o spotřebu paliv a energie přímo v pecích a na hořácích technologických linek.

V případě využití technologického tepla je tepelná energie využita pro technologické účely především v průmyslu. Tato část tepelné energie je tak přímo svázána s vlastní produkcí výrobních firem, závisí na objemu produkce a použité technologii [40].

Na obrázku je graf dodávky tepla v MSK v roce 2020. V tomto roce bylo celkem dodáno 14 829 TJ (4 119 GWh) tepelné energie; největší energii zde dodává černé uhlí [41].

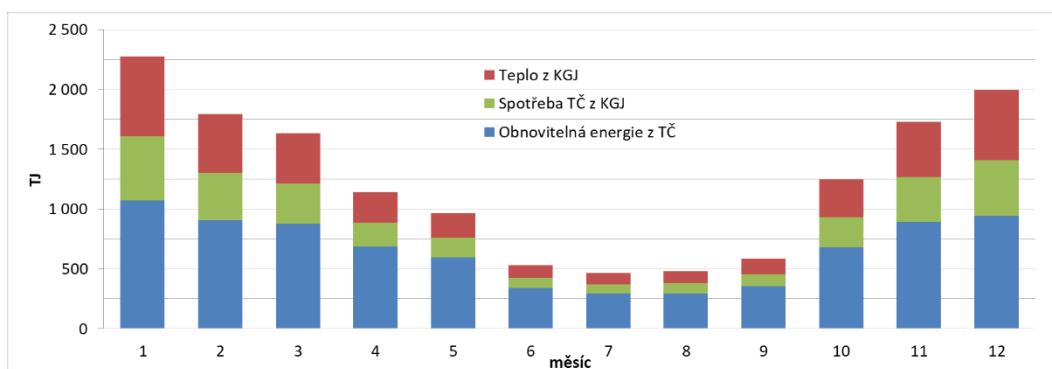
Předpokládá se využití KGJ s celkovou účinností 90 %, kde výstupem je 40 % elektrické energie a 50 % tepla. Uvažuje se také vodní akumulace tepelné energie, která umožní kontinuální dodávku tepla i při kolísání jeho dodávek, způsobených optimalizací provozu celé soustavy.



Obr. 24 – Dodávky tepla v MSK podle paliv v roce 2020 (TJ).

4.2.1 Modelový příklad výroby tepla, scénář 1

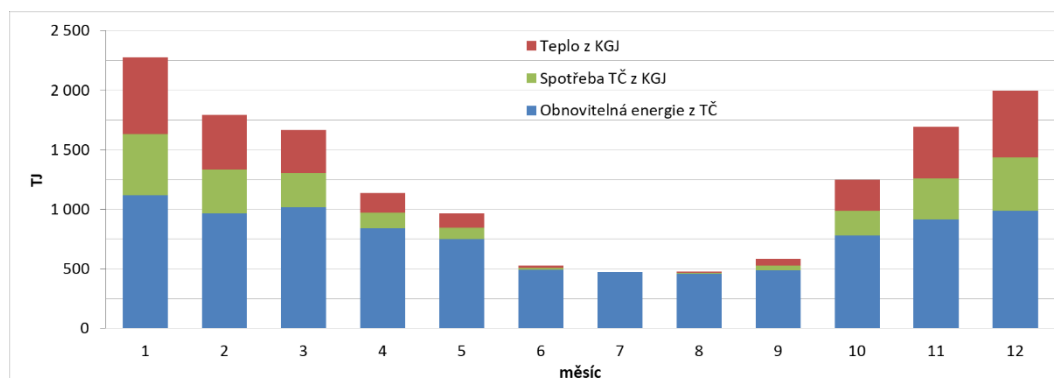
V tomto scénáři 1 je teplárenská soustava zásobována energií vyrobenou pomocí kombinace technologií KGJ a TČ. K pokrytí dodávky tepla 4 119 GWh je spotřebováno palivo obsahující energii 2 131 GWh. KGJ do teplárenského systému přímo dodají 1 065 GWh, TČ dodají teplo 3 052 GWh, nicméně ke svému provozu spotřebují 853 GWh elektrické energie. Čistá obnovitelná energie vyčerpaná z okolí pak je 2 200 GWh.



Obr. 25 – Dodávky tepla v MSK vyrobeného podle scénáře 1, vlastní zpracování.

4.2.2 Modelový příklad výroby tepla, scénář 2

V tomto scénáři 2 je teplárenská soustava zásobována energií vyrobenou pomocí kombinace technologií KGJ, TČ a FVE. K pokrytí dodávky tepla 4 119 GWh je spotřebováno palivo obsahující energii 1 714 GWh. KGJ do teplárenského systému přímo dodají 857 GWh, TČ dodají teplo 3 264 GWh, nicméně ke svému provozu spotřebují 686 GWh elektrické energie. Další energii 210 MWp k pohonu TČ dodají FVE. Čistá obnovitelná energie vyčerpaná z okolí pak je 2 579 GWh. Výkon FVE je zvolen tak, aby mohl být přímo spotřebován v TČ. Kontinuální dodávka tepla je pak zajištěna akumulací tepelné energie ve vodě. V letních měsících by tak prakticky provoz kogeneračních zdrojů téměř nebyl nutný.



Obr. 26 – Dodávky tepla v MSK vyrobeného podle scénáře 2, vlastní zpracování.

Srovnání energetické potřeby plynu k zajištění dodávky tepla 4 119 GWh:

Současný systém SCZT vykazuje ztráty, které jsou dány účinností spalování, ztrátami v teplárenských rozvodech, vlastní spotřebou teplárenských zařízení a ztrátami při výrobě elektřiny, aniž by bylo využito teplo. Průměrnou účinnost využití paliva teplárenskými soustavami lze hrubě odhadnout na 60 %. Následující tabulka uvádí srovnání spotřeby zemního plynu různých řešení zdrojů vytápění. Procentuální vyjádření je vztaženo k hodnotě spotřeby současného SCZT.

Tab. 12 – Srovnání spotřeby plynu různých řešení systémů vytápění, vlastní zpracování.

Současný systém SCZT s průměrnou účinností 60 %	6 863 GWh (100 %)
Lokální kondenzační kotle	4 119 GWh (60 %)
Kombinace technologií KGJ a TČ	2 131 GWh (31 %)
Kombinace technologií KGJ, TČ a FVE	1 714 GWh (25 %)

Uvedené srovnání energetické náročnosti dodávek tepla je jen orientační, protože je zde srovnávána čistá dodávka tepla a kombinovaná výroba tepla a elektřiny.

Výstupem výše uvedených řešení je pouze teplo, nicméně celá soustava se může chovat jako zdroj, nebo spotřebič elektrické energie, a tím přispívat ke stabilizaci sítě. Zásadní výhodou zde je to, že více než polovinu tepelné energie dodávají TČ. Tato energie je navíc dodávána v období, kdy naopak méně vyrábějí FVE. V budoucnosti bude pravděpodobně instalována taková výrobní kapacita FVE, že bude nutné budovat masivní systémy sezónní akumulace pro přenos energie z léta na zimu, například pomocí vodíku. Vytápění TČ pak bude maximálně výhodné, protože svou funkcí čerpají obnovitelnou energii, která by tak nemusela být v létě vyrobená a náročně uskladněna.

V praxi je ale potřeba pomocí paliv vyrábět také elektřinu. Při takové výrobě vzniká vždy teplo, které by mělo být využito a k tomu je výhodné využít teplotěnskou soustavu.

4.2.3 Modelový příklad napájení teplotěnské soustavy kogeneračními jednotkami

Předpokládáme, že v teplotěnské soustavě jsou všemi zdroji tepla KGJ s celkovou účinností 90 %, kde výstupem je 40 % elektrické energie a 50 % tepla. Tyto jednotky budou provozovány tak, aby do teplotěnské soustavy dodaly veškeré potřebné teplo 4 119 GWh. Výstupem do elektrizační soustavy pak bude 3 295 GWh elektřiny. K tomu bude spotřebováno palivo obsahující energii 8 237 GWh. KGJ by měly být provozovány v režimu špičkových zdrojů elektrické energie. Kontinuální dodávku tepla pak zajistí dostatečně dimenzovaná akumulace tepla ve vodních zásobnících. Výroba elektřiny 3 295 GWh se blíží současné výrobě, která v roce 2019 byla 3 892 GWh. Celková spotřeba MSK ale byla 8 087 GWh. Kraj je tedy ve výrobě elektřiny značně deficitní. Výrobu elektřiny by ale bylo možné značně zvýšit pomocí OZE, které by až do jistého instalovaného výkonu byly plně zálohovány KGJ. Díky požadavku na dodávku elektřiny vypadla z tohoto modelového konceptu řešení centrálního vytápění TČ. Nicméně by bylo velmi výhodné, kdyby byl tento významný zdroj obnovitelné energie instalován v objektech, které nejsou napojeny na systém centrálního vytápění.

4.3 Modelové příklady řešení zásobování domácností MSK teplem

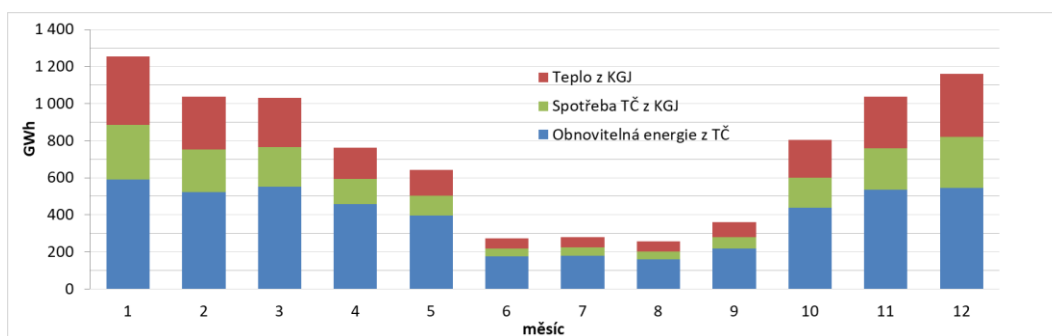
Podle ÚEK MSK byla v roce 2016 konečná spotřeba domácností 31 432 151 GJ, z toho centrální zásobování bylo 8 258 759 GJ (2 294 GWh). Po odečtení vyjde spotřeba domů bez centrálního zásobování 23 173 392 GJ (6 437 GWh). Z těchto vstupních údajů je možné hrubě propočítat možná budoucí řešení zdrojů vytápění. Uvedená řešení nevycházejí ze stávajícího stavu infrastruktury, ale jsou sestavena za účelem srovnání energetické spotřeby různých řešení zdrojů vytápění. Výsledky jsou v principu platné v jakémkoli měřítku instalace.

4.3.1 Vytápění zemním plynem

Centrální vytápění plynovými kotli s celkovou účinností 90 %. Lokální vytápění je řešeno kondenzačními kotli s účinností 100 %. Potřebná energie plynu tohoto řešení vytápění je **8 986 GWh**.

4.3.2 Plynové kogenerační jednotky a tepelná čerpadla

Centrální vytápění je řešeno plynovou KGJ s tepelnou účinností 50 % a elektrickou účinností 40 %. Veškeré vyrobené teplo 2 294 GWh je využito v systémech centrálního vytápění. Vyrobena elektřina je využita pro napájení TČ, která vytápí domy bez centrálního vytápění. Průměrný roční topný faktor je uvažován SCOP = 4. Výpočty jsou provedeny v krocích po měsících a je zohledněna změna topného faktoru s tím, že v zimě je topný faktor nižší, a naopak v létě je vyšší. TČ vyrobí 6 605 GWh tepelné energie, což se prakticky rovná uvažované spotřebě domů bez SCZT. Spotřeba zemního plynu činí **4 588 GWh**, dalších 4 770 GWh je získáno z energie prostředí pomocí TČ.



Obr. 27 – Dodávky tepla do domácností v MSK, vlastní zpracování.

4.3.3 Fotovoltaické elektrárny, vodíkové kotle, elektrokotle

Zdrojem energie pro vytápění jsou FVE. V případě současné výroby FVE a potřeby tepla jsou využívány elektrokotle. Tímto způsobem může být zajištěno přibližně 30 % spotřeby vytápění. Další potřeba tepla je zajištěna prostřednictvím kotlů na spalování vodíku. Účinnost využití vodíku v systémech centrálního vytápění se uvažuje 90 % u lokálního vytápění 100 %. Účinnost výroby a skladování vodíku se uvažuje 72 % s tím, že odpadní teplo není využíváno. Pokud by ale elektrolyzéry byly umístěny v místech s kotli centrálního vytápění, tak částečné využití odpadního tepla při výrobě vodíku je možné. Množství vyrobeného vodíku v průběhu roku bylo 262 367 tun. Maxima výroby a spotřeby vodíku se bohužel v průběhu roku nepřekrývají, a proto by bylo nutné část výroby skladovat na využití v zimním období. Přímé vytápění pomocí elektrokotlů spotřebuje 2 695 GWh a vytápění vodíkem 6 290 GWh. Při uvážení účinnosti výroby a skladování vodíku je potřeba k celoročnímu pokrytí spotřeby tepla instalovat FV výkon **11 000 GWp**.

4.3.4 Fotovoltaické elektrárny, vodíková kogenerace, tepelná čerpadla

Zdrojem energie pro vytápění jsou FVE a TČ. Jedná se o komplexní energetický systém, který propojuje odvětví teplárenství a výroby elektřiny. Zdrojem tepla pro budovy napojené do SCZT je vodíková kogenerace, vyrobená elektřina pohání TČ v domech bez SCZT. Zbývající elektřina je obecně využívána v elektrické síti. Ve výpočtech jsou použity konkrétní vodíkové KGJ s parametry [37]:

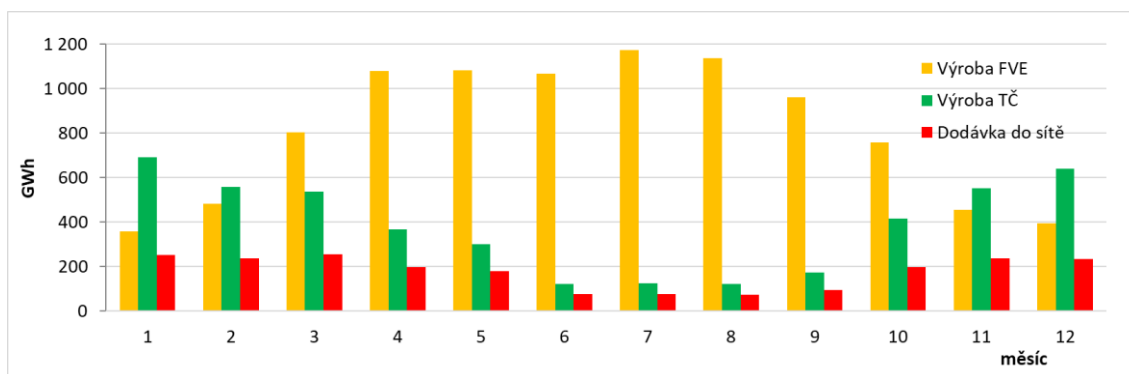
Jmenovitý výkon	440 kW
El. účinnost	50 %
Tep účinnost	35 %
Max. teplota	120 °C

Základním zdrojem energie je FVE, která v případě souběhu výroby a potřeby tepla přímo pohání TČ. Tímto způsobem může být zajištěno přibližně 30 % spotřeby vytápění domů bez SCZT, zbytek energie pro provoz TČ poskytuje síť nebo KGJ. Ostatní energie z FVE je využívána k výrobě vodíku. Účinnost výroby a skladování vodíku se uvažuje 72 % s tím, že odpadní teplo není využíváno. Pokud by ale elektrolyzéry byly umístěny v místech s KGJ centrálního vytápění, tak částečné využití odpadního tepla při výrobě vodíku je možné. Vyrobený vodík je skladován a v případě potřeby využíván v KGJ. Tento způsob řízení přispívá ke stabilizaci elektrické sítě, protože špičku výroby FVE využívají TČ, elektrolyzéry i samotná elektrická síť. KGJ jsou pak především provozovány v době, kdy fotovoltaika nevyrábí a vyrobená elektřina je obecně využívána v el. síti.

Dimenzování systému a energetická bilance:

Instalovaný výkon FVE je navržen tak, aby výstupní teplo z KGJ pokrylo potřebu tepla dálkového vytápění 2 294 GWh. Uvážíme-li účinnost výroby vodíku 72 %, potřebný instalovaný výkon FVE je 8 800 GWp. Roční výroba vodíku by pak byla 273 380 tun. Maxima výroby a spotřeby vodíku se bohužel v průběhu roku nepřekrývají, a proto by bylo nutné část výroby skladovat na využití v zimním období. Připočteme-li dále spotřebu TČ, která 30 % své výroby dodávají přímo v době, kdy vyrábí FVE, instalovaný výkon se zvýší na **9 400 GWp**. Parametry TČ jsou stejné jako v předchozím příkladu plynové KGJ. TČ pokryjí veškerou spotřebu tepla domů bez SCZT, která je 6 437 GWh. Díky vysoké elektrické účinnosti vodíkové KGJ zůstává přebytek elektrické energie 2 105 GWh, která je dodána do sítě. Vyrobena elektřina by tak pokryla přibližně 1/4 spotřeby kraje. Při uvážení všech ztrát a účinností, takto navržený systém ročně dodá **10 836 GWh** tepelné a elektrické energie.

Dodávky energií v průběhu roku z FVE, TČ a přebytky do sítě jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obr. 28 – Výroba FVE, obnovitelná energie z TČ, dodávka do elektrické sítě, vlastní zpracování.

Z uvedených modelových případů je možné vyvodit:

- Při výrobě elektřiny obecně z jakýchkoli paliv vzniká teplo, které by mělo být využito
- Přímé elektrické vytápění je všeobecně nevýhodné
- Přímé spalování paliv v lokálních kotelnách má sice lokálně dobrou účinnost, ale z hlediska optimální účinnosti využití paliv v energetice je mnohem výhodnější kogenerace
- Kogenerace umožňuje stabilizaci elektrické sítě na rozdíl od jednoúčelového spalování
- Krátkodobá akumulace tepelné energie, například ve vodě, umožní flexibilitu řízení výroby i spotřeby
- KGJ by měly mít co nejvyšší elektrickou ale i celkovou účinnost
- Tam, kde nelze aplikovat kogeneraci, jsou k vytápění nejvýhodnější TČ
- Potřebu skladování vodíku je možné snížit odložením spotřeby jiných snadněji skladovatelných paliv na období, kdy méně vyrábí OZE (biomasa, bioplyn, odpad, ...)

5. Aspekty strategie MSK pro získávání a užití H₂ v přechodovém období

Hlavním problémem vodíku jako nosiče energie je jeho nízká objemová hustota, což je dáno jeho fyzikálními vlastnostmi. Z tohoto důvodu může být vodík skladován různými způsoby a za různých podmínek.

Existují dva klasické způsoby skladování vodíku:

- stlačený CGH₂ (compressed gas hydrogen)
- zkapalněný LH₂ (liquid hydrogen).

Každý z těchto klasických způsobů skladování a distribuce má své výhody i nevýhody. Nicméně v MSK by se daly uplatnit i alternativní způsoby skladování a distribuce vodíku:

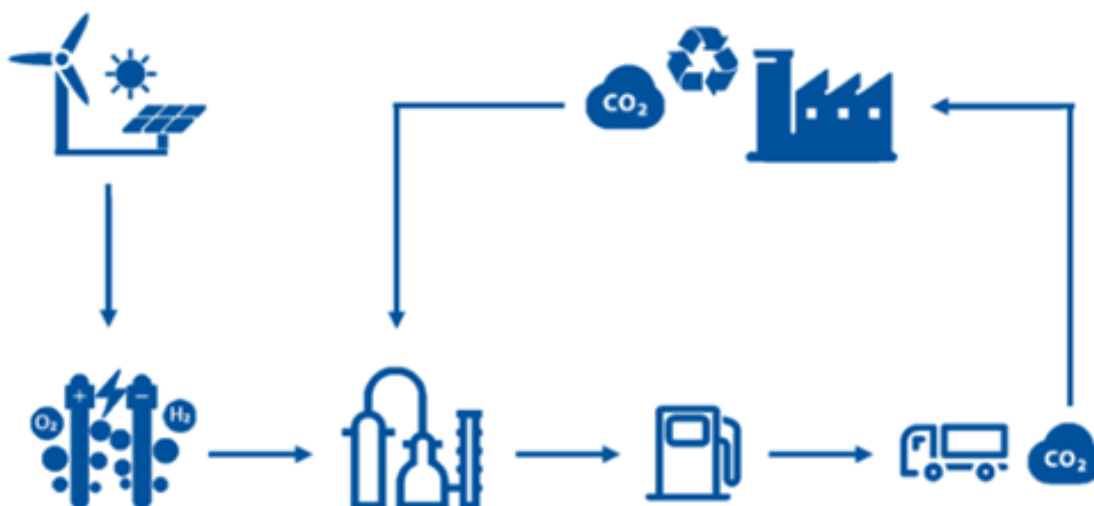
- Skladování vodíku v pevném stavu

Dosud mohly hydridy kovů nalézt velmi specifické, relativně omezené uplatnění pro stacionární a energeticky samostatné systémy, ale tyto úložné systémy se stále vyvíjejí cestou neustálého zlepšování materiálového složení, provozních vlastností a sorpční kapacity vodíku.

- Kapalné nosiče vodíku

Jeví se jako jedna z nejlepších alternativ klasické vysokotlaké komprese vodíku a jsou mnohem výhodnější pro hromadné skladování a přepravu. Použití H₂ pro syntézu zelených kapalných H₂ nosičů by umožnilo:

- Dekarbonizaci MSK – výrobu syntetických kapalných vodíkových nosičů jako způsob recyklace odpadu CO₂. Využití H₂ technologií a syntézy v rámci místních průmyslových zařízení, poskytujících velké množství emisí CO₂.
- Pohodlné skladování a distribuci paliva (H₂) - kapalina na rozdíl od čistého H₂ (plyn). Power-to-Liquids (PtL) produkty lze snadno a bezpečně přepravovat na velké vzdálenosti.
- Využití v chemickém, petrochemickém nebo mobilním sektoru – jako palivo nebo přísada do pohonných hmot/paliv.
- Vzhledem ke specifickým fyzikálním vlastnostem plynného H₂ (nízká objemová hustota) – velkokapacitní dovoz H₂ z jiných zemí (včetně zemi mimo EU) by měl být primárně prováděn v nosičích H₂ s vyšší objemovou hustotou – prostřednictvím kapalných nosičů H₂. Všechny výše uvedené kapalné nosiče vodíku jsou použitelné pro hromadnou, dálkovou i globální distribuci zeleného H₂ a nabízejí také potenciální využití jako námořní a letecká paliva:
 - Kapalný (zkapalněný) vodík – LH₂
 - Čpavek (amoniak)
 - Metanol (MeOH)



Obr. 29 – Výroba nosičů kapalného vodíku s využitím CO₂ [42].

Tab. 13 – Srovnání různých způsobů skladování H₂ [43], [44].

	CGH ₂	LH ₂	MeOH	NH ₃
Skladovací tlak, [bar]	350/700	1-9	1	1
Teplota skladování, [deg C]	amb.	-253	amb.	amb.
Hustota, [kg/m ³]	23/39	55-65	792	770

5.1 Strategie zavádění vodíkových technologií v MSK

Vodíkové technologie nejsou nasazovány z důvodu potřeby využívat vodík, ale z důvodu potřeby dekarbonizace kraje, budování nových nízko emisních zdrojů a zajištění energetické nezávislosti. Tyto cíle jsou velmi technologicky i ekonomicky náročné. Na nadnárodní úrovni byly přijaty závazky o postupu snižování emisí a dosažení klimatické neutrality. Teoreticky se tedy předpokládá snížení emisí CO₂ k nulové hodnotě během několika desetiletí. Po vyhodnocení postupu přechodu světové energetiky v letech 2003–2018 na „bezuhlíkovou“ konstatoval výzkumný tým z Carnegie Institution, že tempo řešení energetiky je velmi nedostatečné a pokud se nezvýší, bude cíl dosaženo v řádech staletí [45]. V posledních letech se sice tempo nasazování nízko emisních technologií zvyšuje, nicméně, stále ani zdaleka nedosahuje přírůstku, který by umožnil dosažení přijatých závazků. Z tohoto důvodu je potřeba nalézt strategii řešení energetiky, která by umožnila maximální výsledky s minimálními náklady. Prakticky vzato po ukončení těžby uhlí není v MSK žádný zdroj energie. Ropu, plyn, uhlí bude nutné nakoupit a dovézt, navíc se jedná o fosilní zdroje s vysokou produkcí CO₂. I v případě budoucího jaderného scénáře je potřeba vybudovat velmi nákladná zařízení, která vyžadují nákup obohaceného paliva, jehož zásoby nejsou neomezené, takže se dá předpokládat postupný růst ceny. Následně pak vzniká problém s vyhořelým palivem, který prakticky ještě není uspokojivě vyřešen.

Z výše uvedeného vyplývá, že snižování emisí při současném zvýšení energetické soběstačnosti je dosažitelné s využitím lokálních OZE. Teoretický potenciál OZE mnohonásobně převyšuje spotřebu; praktický „snadno“ dosažitelný potenciál je uveden v kapitole 1.1.3.

Strategický plán snižování emisí tedy nespočívá v plánu odstavení fosilních zdrojů, ale v plánu budování nízko emisních zdrojů, které postupně odstavení fosilních zdrojů umožní. Současná cena fosilních

zdrojů je ještě prozatím nízká, a měla by být využita k budování nízko-emisní náhrady. Podmínky k budování OZE v MSK jsou dostatečné, ale ne ideální. Není proto bezpodmínečně nutné vybudovat veškeré výrobní kapacity v rámci kraje, ale bude-li to možné, může být část energie dovezena ze zahraničí, například z větrných elektráren v Severním moři.

Požadavek na navýšení výroby OZE je značný. V přechodném období se jako částečné řešení nabízí zachytávání emisí CO₂ při výrobě takzvaného modrého vodíku, nicméně jedná se pouze o dočasné řešení, které ve výsledku zvyšuje spotřebu fosilních paliv a odčerpává finanční prostředky, které by jinak mohly být investovány do snížení spotřeby fosilních paliv pomocí OZE.

5.1.1 Výhled nasazení vodíkových technologií do roku 2030

Jak bylo uvedeno v kapitole 2., vodík je nosičem energie, ale také součástí některých chemických procesů. Průmyslová spotřeba vodíku je v současnosti z převážné většiny pokryta z fosilních zdrojů. Další navýšení výroby, popřípadě náhrada současné výroby vodíku, začnou být z energetického hlediska smysluplné v době, kdy bude výroba elektřiny bezemisních zdrojů převyšovat okamžitou poptávku. Přímá spotřeba elektřiny umožňuje maximální efektivitu využití zdroje. Prioritu ve funkci stabilizace sítě by proto měly mít řízené elektrické spotřebiče, jako jsou domácí bílá technika, TČ apod. Velký potenciál řízení spotřeby pak mají bateriové elektromobily. Po překročení možností řízení spotřeby je efektivní využití systémů krátkodobé akumulace, jako jsou přečerpávací elektrárny a stacionární bateriová uložení. Výroba bezemisní elektřiny převyšující tyto regulační možnosti může být využita k výrobě vodíku. Vodík by měl být následně primárně využíván tam, kde je využit s maximální účinností a s minimálními nároky na budování nové infrastruktury a nových technologií. Nezbytným zařízením k výrobě vodíku pomocí elektřiny je elektrolyzátor. Prioritu ve využití vodíku by proto měly mít technologie, které nevyžadují žádná další zařízení.

Tuto podmínku splňuje náhrada v současnosti produkovaného vodíku z fosilních zdrojů. Například v závodě BC-MCHZ Ostrava je parním reformingem zemního plynu ročně vyrobeno 13 650 t vodíku [46]. K výrobě tohoto množství vodíku by při započtení účinnosti elektrolyzy 72 % bylo potřeba **629 GWh** elektřiny, což se prakticky blíží výrobě elektřiny z OZE, která v roce 2020 byla 806 GWh [47].

Další možností využití vodíku s minimálními požadavky na instalaci nových technologií je vtláčení vodíku do rozvodů zemního plynu. Legislativně povolené maximum příměsi vodíku je 2 %. Spotřeba zemního plynu v MSK v roce 2020 byla 881 164 tis. m³ [30], z tohoto množství jsou dvě procenta 17 623 tis. m³. K výrobě vodíku s tímto objemem by bylo potřeba **75 GWh** elektřiny. Někteří výrobci plynových zařízení deklarují jejich funkci až do 20 % příměsi vodíku. Praktický potenciál využití energie pro technologii vtláčení vodíku je tedy ještě vyšší.

Dále je možné instalovat systémy vodíkové kogenerace, tak jak je popsáno v kapitole 4.1.4. Toto řešení sice vyžaduje instalaci nových technologií a masivní akumulaci, ale zároveň synergicky propojuje sektory akumulace, výroby tepla i elektřiny. Z tohoto důvodu je možné i tuto technologii zařadit mezi priority zavádění vodíkových technologií.

Nejméně efektivní, a přitom investičně nejnáročnější je vodíková doprava. Vzhledem k tomu, že již většinou existuje dostatečné mnohem efektivnější a jednodušší bateriové řešení, posouvá se oblast

nasazení vodíku v dopravě na oblasti, kde baterie technicky nedostačují. Sem patří zejména dálková lodní a letecká přeprava [2].

Mnohem důležitější a prakticky těžce nahraditelnou potřebu využití vodíku má těžký průmysl v MSK, který nelze zcela elektrifikovat z důvodu potřeby tekutých a plynových paliv jako zdrojů energie pro vysokoteplotní procesy. Nároky na výrobu vodíku jsou v podstatě shodné s variantou využití vodíku pro pokrytí spotřeby stávajících průmyslových procesů. Energetická spotřeba, která je naznačena v kapitole 2.2.1.1 ale daleko převyšuje možnosti realizace v roce 2030.

6. Závěr

Snížení objemu vypouštěných emisí do atmosféry je jednou z hlavních motivací energetické transformace nejen v MSK. Neméně důležitá motivace je ale také energetická bezpečnost a dlouhodobá jistota zajištění dodávek energií. Možnosti realizace bezemisních zdrojů jsou v zásadě dvě:

- Jaderné zdroje, které jsou kompatibilní se současnými systémy velké centrální energetiky, nabízí velkou koncentraci výkonu na malé ploše, a proto se tedy můžou zdát jako výhodné řešení. Je potřeba ale také uvážit některé nevýhody:
 - vysoká cena a obvykle dlouhá doba výstavby
 - nutný nákup obohaceného paliva
 - nenulové riziko úniku radiace
 - další obecná bezpečnostní rizika
- Decentralizovaný systém založený na OZE. Oproti velkým centralizovaným zdrojům je náročnější na plochu řízení a akumulaci. V případě technického zvládnutí všech specifik využívání OZE vznikne robustní energetický systém, který nabízí tyto výhody:
 - nezávislost na vnějších dodávkách paliv, které můžou být prakticky kdykoli omezeny jak z technických, tak politických důvodů.
 - minimální lokální i globální emise
 - možnost ostrovního provozu menších energetických celků
 - výpadek jednoho ze zdrojů má minimální vliv na fungování celku

Kompromisem pak je kombinace obnovitelného a jaderného scénáře. V každém případě bude nutná masivní akumulace energie, kde může sehrát důležitou roli vodík.

Při návrhu a realizaci nových zdrojů energií je proto nutné navrhnout strategii propojení a řízení výroby i spotřeby, která umožní maximální tempo snižování emisí. Některé možnosti optimálního propojení výroby a spotřeby jsou naznačeny v této studii.

První kapitola se zaměřuje, mimo jiné, na VS ČR a její vliv na MSK. Pro naplnění VS ČR bude nutné zajistit hlavní body, kterými jsou výroba, skladování a využití vodíku. K tomu by mělo postupně dojít během tří etap mezi léty 2021–2050.

VS ČR uvádí využití vodíku v dopravě jako jednu z primárních možností využití vodíku, nicméně v současné době dochází v Evropě k přehodnocení priorit využívání vodíkových technologií. Priority využití vodíku se přesouvají do oblastí, kde je možné dosáhnout maximální efektivity nebo je to technicky nezbytně nutné. Je tedy pravděpodobné, že podobná strategie bude implementována i v ČR. Pro MSK bude jistě vhodnější začít zavádět vodík nejprve v oblasti průmyslu, respektive v oblastech, kde dojde k výrazné redukci nejen emisí a znečištění, ale také k ekonomické efektivitě. Jelikož hutní průmysl je v MSK majoritním znečišťovatelem, bude vhodné se zaměřit při zavádění vodíkových technologií právě zde. Zavedením vodíku jako redukčního činidla by došlo nejen

k ozdravení ovzduší v MSK, ale také by mohlo dojít k úspoře nákladů, které již teď musí podniky vynakládat za emisní povolenky.

Pokud by i přesto mělo dojít k zavádění vodíkových technologií v dopravě, tak strategicky nejvýhodnější by mělo být nasazení vodíkových autobusů a kamionů v dálkové dopravě, kde můžou vyniknout dvě hlavní výhody vodíkové dopravy, kterými jsou dlouhý dojezd a rychlé tankování. Sektor dopravy se však neobejde bez nemalých finančních dotací.

V MSK nejsou v současné době dostatečné zdroje obnovitelné elektřiny, které by mohly sloužit pro výrobu zeleného vodíku. V první kapitole je rovněž zmíněn potenciál OZE v kraji, kde prim v budování nových kapacit mohou hrát větrná energie spolu se sluneční.

V současné době se trh s energiemi nachází na velice tenkém ledě, nelze tudíž předpovídat, jak se bude v nejbližších měsících, natož letech vyvíjet. Jedno je však jisté, musí dojít ke zmenšení závislosti na fosilních palivech, protože čím déle budeme na fosilních palivech závislí, tím větší problémy nás mohou do budoucna potkat.

Zejména bude nutné vybudovat výrobní kapacity pro výrobu vodíku a celou infrastrukturu. V neposlední řadě bude nutné zajistit kvalitní vzdělání celé řady odborníků nejen v oblasti vodíku, ale i dalších neméně důležitých oblastech.

V druhé kapitole jsou uvedena základní kritéria hodnocení výhodnosti nasazení vodíkových technologií, která umožní kritické zhodnocení, zda je využití vodíkových technologií aktuálně výhodné. Vhodnost využití vodíku také souvisí se způsobem jeho výroby. Vodík je pouhým nositelem energie, a proto není strategicky výhodné provádět extrakci vodíku z paliv, která je možné efektivněji využít pro jiné technologické procesy.

Při úvahách o bezemisních zdrojích je nutné stanovit celkovou energetickou spotřebu v MSK. Po sečtení energií základních fosilních paliv je spotřeba vyčíslena na více než 62 TWh. I přes velký potenciál úsporných opatření a optimalizací spotřeby bude velmi těžké vybudovat potřebnou výrobu nízko emisních zdrojů.

Nabízí se možnost přechodného řešení náhrady uhlí zemním plynem. Zemní plyn nabízí potenciál snížení lokálních i globálních emisí, ale jedná se také o fosilní palivo, které musí být drazé nakoupeno a dovezeno. Prakticky by tedy došlo k náhradě lokálního zdroje zdrojem z dovozu při minimální poklesu emisí. Navíc by k tomu byly nutné budovat nové technologie na spalování plynu.

Stojí tedy za úvahu, zda by nebylo výhodnější prodloužit dobu spalování uhlí a tuto relativně levnou energii využít k budování již skutečně čistých technologií, které nabízí dlouhodobé udržitelné řešení.

Uvedený příklad potřebné plochy instalace FVE potřebné k výrobě vodíku, který obsahuje energii nahrazující energetické uhlí, ukazuje značné prostorové nároky, které vyžadují OZE. Při rozdělení této plochy na různé přijatelné povrchy není realizace FVE tohoto rozsahu nereálná.

Zmíněná možnost náhrady energetického uhlí jadernými zdroji není sice tak prostorově a regulačně náročná, ale je nutné zvážit náklady a specifika tohoto zdroje energie.

Při řešení budoucí energetiky je nutné uvážit optimální propojení výroby a spotřeby. Jedním z příkladů možné optimalizace je propojení KGJ a TČ sloužících k vytápění. Toto řešení nabízí maximální efektivitu využití paliva, stabilizaci elektrické sítě i výrobu obnovitelné energie pomocí TČ.

V kapitole tři jsou uvedeny příklady pokrytí energetické spotřeby vodíkové dopravy podle scénářů uvedených v NAP ČM. Opět je uvažováno s výrobou vodíku pomocí FVE, protože se prakticky jedná o potenciálně energeticky nejvydatnější zdroj energie. Je nutné se ale vypořádat s kolísáním výroby v řádech dní, ale i s rozdíly výroby mezi ročními obdobími. To klade vysoké nároky na objem akumulace vodíku. Při kombinaci FVE a větrných elektráren je potřeba akumulace vodíku výrazně nižší, protože zimní období je obecně větrnější, čímž se kompenzuje pokles výroby FVE.

V kapitole čtyři jsou uvedeny příklady zásobování teplárenských soustav tepelnou energií. Jsou zde uvedeny různé kombinace řízení výroby a spotřeby energie. Z kapitoly lze vyvodit obecný závěr, že nezávisle na použitém palivu je energeticky nejvýhodnější kombinace kogenerace s maximální elektrickou účinností a TČ.

Kapitola pět pak naznačuje optimální strategii zavádění vodíkových technologií, kde by mělo být postupováno od těch nejméně nákladných a technicky nejjednodušších řešení s ohledem na dostupnost čistých zdrojů pro výrobu vodíku.

Reference

- [1] Studie vodík v Moravskoslezském kraji, „file-application_pdf-20211214015431-0917-studie-vodik-v-msk-final-31-12-2020.pdf“.
- [2] Oenergetice. [Online]. Available: https://oenergetice.cz/akumulace-energie/dvumiliardova-iniciativa-evropske-komise-signalizuje-zmenu-priority-ve-vyuzivani-vodiku?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu#dop_ab_variant=0&dop_source_zone_name=hpfeed.sznhp.box&dop_req_id=bcVto. [Přístup získán 28 1 2022].
- [3] „MPO,“ [Online]. Available: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf. [Přístup získán 31 1 2022].
- [4] Allforpower. [Online]. Available: <https://allforpower.cz/technologie-a-materialy/vyuziti-vodikovych-technologie-v-energetice-228>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [5] Ives-technicalreviews. [Online]. Available: <https://ives-technicalreviews.eu/article/download/4381/13186?inline=1>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [6] Eurotherm. [Online]. Available: <https://www.eurotherm.com/ko/glass-manufacture/does-driving-an-all-electric-car-relate-to-running-a-glassworks/>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [7] Scania. [Online]. Available: <https://www.scania.com/cz/cs/home/about-scania/newsroom/news/2021/plan-elektrifikace-spolecnosti-scania.html>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [8] „Portál cenia,“ [Online]. Available: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/U0VBX01TSzAyN0tfbmF2cmhfODUxMTc0MjlyMDkzNjknNjgyMC5wZGY/MSK027K_navrh.pdf.
- [9] „Vyhledávací studie vhodných lokalit pro možnou realizaci přečerpávacích vodních elektráren, Energotis, a.s.,“ 2010.
- [10] „MSK,“ [Online]. Available: https://www.msk.cz/assets/temata/doprava/pdo_msk_2022-2026.pdf. [Přístup získán 16 2 2022].
- [11] „DPO,“ [Online]. Available: <https://www.dpo.cz/soubory/spolecnost/v-zpravy/2020.pdf>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [12] „DPO,“ [Online]. Available: <http://www.dpo.cz/bezdieselu/>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [13] „smartcityvpraxi,“ [Online]. Available: http://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_18.php. [Přístup získán 16 2 2022].
- [14] „cs-dopravak,“ [Online]. Available: <https://www.cs-dopravak.cz/2020-3-31-v-rize-konen-vyjely-vodkov-trolejbusy/>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [15] „Údaje poskytnuté magistrátem města Ostravy“.
- [16] Autoroad. [Online]. Available: <https://autoroad.cz/novinky/102169-v-kodani-uz-jezdi-100-vodikovych-taxiku-toyota-mirai>. [Přístup získán 28 1 2022].

- [17] Fuelcellsworks. [Online]. Available: <https://fuelcellsworks.com/news/first-dutch-hydrogen-taxi-fleet-with-35-toyotas-mirai-cars/>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [18] Newsroom.toyota. [Online]. Available: <https://newsroom.toyota.eu/toyota-and-drivvr-put-100-hydrogen-taxis-on-the-roads-in-copenhagen/>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [19] „MPO,“ [Online]. Available: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>. [Přístup získán 31 1 2022].
- [20] „Statistická ročenka MSK 2021,“ [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/17-doprava-we4d792p0o>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [21] „tradingeconomics.com,“ [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [22] „worldsteel.org,“ [Online]. Available: <https://worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/sustainability-indicators/>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [23] „Třinecké železárny,“ [Online]. Available: <https://www.trz.cz/clanky/156/dok415/zelezarny-smeruji-ke-snizeni-emisi-sklenikovych-plynu-o-polovinu-do-roku-2030>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [24] „ocelarskaunie.cz,“ [Online]. Available: <https://www.ocelarskaunie.cz/jak-dopada-obchodovani-s-povolenkami-na-ocelarsky-prumysl/>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [25] „greencarcongress.com,“ [Online]. Available: <https://www.greencarcongress.com/2020/06/20200602-hybrid.html>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [26] „Vyhodnocení cen tepelné energie 2020,“ [Online]. Available: <https://www.eru.cz/documents/10540/462928/Vyhodnoceni+cen+tepelne+energie+k+1.+1.+2020.pdf/799d63f0-2dee-495d-9fdd-16c8b5e9dde1>. [Přístup získán 31 1 2022].
- [27] Konecuhli. [Online]. Available: <https://konecuhli.cz/situace-v-msk/>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [28] Msunion. [Online]. Available: <http://www.msunion.cz/data/files/000/000/002/ukonceni-tezby-v-okr-ministr-1402.pdf>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [29] „MEC,“ [Online]. Available: <https://www.mskec.cz/aktuality/dopadova-studie-vytapet-domacnosti-bez-uhli-pujde-v-moravskoslezskem-kraji-do-deseti-let-48>. [Přístup získán 15 2 2022].
- [30] „Roční zpráva o provozu plynárenské soustavy České republiky za rok 2020,“ [Online]. Available: https://www.eru.cz/documents/10540/6657134/Rocni_zprava_provoz_PS_2020.pdf/27ad93d5-d4d1-4843-a0b5-c3ba542186b8.
- [31] „Spotřeba vybraných ropných produktů a zemní plyn - prosinec 2019,“ [Online]. Available: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-vybranych-ropnych-produktu-a-zemni-plyn-prosinec-2019>.

- [32] „ScienceDirect,“ [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118303307>. [Přístup získán 8 3 2022].
- [33] CUZK. [Online]. Available: [https://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenska_pudniho_fondu_2021-\(1\).aspx](https://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenska_pudniho_fondu_2021-(1).aspx). [Přístup získán 28 1 2022].
- [34] MSK. [Online]. Available: <https://www.msk.cz/cs/temata/mapy/brownfieldy-416/>. [Přístup získán 28 1 2028].
- [35] MSID. [Online]. Available: <https://www.msid.cz/>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [36] TEDOM. [Online]. Available: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/zemni-plyn>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [37] „DOOSAN,“ [Online]. Available: <https://www.doosanfuelcell.com/en/prod/prod-0102/>. [Přístup získán 16 2 2022].
- [38] ec.europa.eu. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/cz_ca_2020_cz.pdf. [Přístup získán 28 1 2022].
- [39] „Energetika,“ č. 6, pp. 343 - 346, 2021.
- [40] „MPO,“ [Online]. Available: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/2021/7/Zprava-o-vyvoji-energetiky-v-oblasti-tepla-za-rok-2019_1.pdf. [Přístup získán 2022 1 31].
- [41] ERU. [Online]. Available: <https://www.eru.cz/cs/teplo>. [Přístup získán 28 1 2022].
- [42] „daftrucks.cz,“ [Online]. Available: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz/trucks/alternativni-paliva-a-hnaci-soustavy/clean-diesel-technology/power-to-liquid>. [Přístup získán 15 2 2022].
- [43] „Researchgate,“ [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/336970730_Clean_Hydrogen_and_Ammonia_Synthesis_in_Paraguay_from_the_Itaipu_14_GW_Hydroelectric_Plant/figures. [Přístup získán 15 2 2022].
- [44] „MDPI,“ [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2305-7084/3/4/87>. [Přístup získán 15 2 2022].
- [45] „idnes.cz,“ [Online]. Available: https://www.idnes.cz/technet/veda/obnovitelne-zdroje-slunce-vitr.A180527_140701_veda_mla. [Přístup získán 25 2 2022].
- [46] „Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR,“ [Online]. Available: <https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/TF-a-IAP-vodik-v-energetice-a-prumyslu-CR.pdf>.
- [47] „Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2020,“ [Online]. Available: https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf/edc0cb03-700a-43a7-8c08-a1ccb3f2d173.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Vize budoucího využití vodíku [3]	10
Obr. 2 – Srovnání energetické účinnosti bateriových a vodíkových elektromobilů [5].....	12
Obr. 3 – Srovnání energetické účinnosti různých řešení vodíkového pohonu [6].....	12
Obr. 4 - Počet a instalovaný výkon větrných elektráren v ČR k 30.6.2019 [8].....	17
Obr. 5 - Počet a instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR k 30.6.2019 [8].	18
Obr. 6 – Graf ročních výkonů MHD v MSK [10].....	19
Obr. 7 – Vývoj počtu ekologických autobusů v DPO [12].	20
Obr. 8 – Flotila vozidel Toyota Mirai v Dánské Kodani [16].	21
Obr. 9 – Historický vývoj ceny emisní povolenky (údaj k 8.2.2022) [21].	23
Obr. 10 – Schématické porovnání výroby oceli klasickou a bezemisní metodou HYBRIT [25].....	24
Obr. 11 – Průměrné ceny tepelné energie v ČR v letech 2010–2020 [26].....	26
Obr. 12 – Cena vodíku v různých milnících (zdroj VS ČR).	27
Obr. 13 – Produkce, spotřeba a saldo importu a exportu černého uhlí v ČR [29].....	30
Obr. 14 – Plocha FVE, potřebná k náhradě energetického uhlí, vlastní zpracování.	31
Obr. 15 – Zdroj tepelné energie kombinující KGJ a TČ, vlastní zpracování.....	34
Obr. 16 – Velké teplárenské soustavy v MSK.....	36
Obr. 17 – Simulace výroby FVE v průběhu roku, vlastní zpracování dle PV GIS	37
Obr. 18 – Příklad plochy instalace FVE o výkonu 5,2 MWp, vlastní zpracování	38
Obr. 19 – Příklad možného řešení akumulace vodíku, vlastní zpracování.....	38
Obr. 20 – Projekt plničky vodíku Ostrava Hranečnick, vlastní zpracování	39
Obr. 21 – Příklad instalace FVE o výkonu 387 MWp na ploše po důlní činnosti, vlastní zpracování. ...	39
Obr. 22 – Příklad instalace FVE o výkonu 24,2 MWp na ploše brownfieldu, vlastní zpracování.	40
Obr. 23 – Srovnání potřebných skladovacích a výrobních kapacit vodíku [39].	41
Obr. 24 – Dodávky tepla v MSK podle paliv v roce 2020 (TJ).....	43
Obr. 25 – Dodávky tepla v MSK vyrobeného podle scénáře 1, vlastní zpracování.	43
Obr. 26 – Dodávky tepla v MSK vyrobeného podle scénáře 2, vlastní zpracování.	44
Obr. 27 – Dodávky tepla do domácností v MSK, vlastní zpracování.....	46
Obr. 28 – Výroba FVE, obnovitelná energie z TČ, dodávka do elektrické sítě, vlastní zpracování.	47
Obr. 29 – Výroba nosičů kapalného vodíku s využitím CO ₂ [42].....	49

Seznam tabulek

Tab. 1 – Účinnosti různých vodíkových technologií, vlastní zpracování.	13
Tab. 2 - Výroba elektřiny z OZE v MSK za rok 2019.....	16
Tab. 3 – Počet vozokilometrů v MHD Ostrava dle dopravních prostředků [11].....	19
Tab. 4 – Počty vozidel taxislužeb v jednotlivých okresech MSK [15].....	21
Tab. 5 – Podíl motorových vozidel v MSK v rámci ČR [20].....	22
Tab. 6 – Průměrná cena tepla v ČR v roce 2019 podle úrovně předání a druhu paliva [26].	25
Tab. 7 – Průměrné ceny tepelné energie pro koncové spotřebitele v letech 2015–2020 [26].	26
Tab. 8 – Spotřeba vybraných ropných paliv pro dopravu v ČR.....	30
Tab. 9 – Pokrytí předpokládané spotřeby vodíku v roce 2024 pomocí FVE, vlastní zpracování.....	38
Tab. 10 – Pokrytí předpokládané spotřeby vodíku v roce 2030 pomocí FVE. vlastní zpracování.....	39
Tab. 11 – Optimalizované technologie pro pokrytí spotřeby vodíku v roce 2030, vlastní zpracování.	40
Tab. 12 – Srovnání spotřeby plynu různých řešení systémů vytápění, vlastní zpracování.	44
Tab. 13 – Srovnání různých způsobů skladování H ₂ [43], [44].	49