



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů  
a kolejových vozidel

Syntetická paliva pro automobily

Synthetic fuels for cars

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2023

Adam MANDÍK

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový  
Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus CSc.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mandík** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **501542**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Syntetická paliva pro automobily**

Název bakalářské práce anglicky:

**Synthetic fuels for cars**

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte rešerši dostupné literatury týkající se syntetických paliv pro automobily. Vyhodnoťte reálné možnosti výroby, její podmínky a náklady na výrobu v širších souvislostech.

Seznam doporučené literatury:

internet, články prof. Apetaur, Pospíšil

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Josef Morkus, CSc. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2023**

Ing. Josef Morkus, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Anotační záznam

Jméno autora: Adam Mandík  
Název práce: Syntetická paliva pro automobily  
Anglický název: Synthetic fuels for cars  
Rozsah práce:  
50 stran  
25 obrázků  
3 tabulky

Akademický rok: 2022/2023  
Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel  
Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství  
Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus CSc.

Klíčová slova: Syntetická paliva, emise, oxid uhličitý, vodík, energie, automobily  
Key words: Synthetic fuels, emissions, carbon dioxide, hydrogen, energy, cars



## Abstrakt

Cílem této práce je prezentace dostupných informací týkajících se syntetických paliv a následné zhodnocení nezbytných podmínek a nákladů spojených s jejich celosvětovou výrobou. Nejdříve se po krátkém uvedení do problematiky zabývá jednotlivými druhy paliv, která by byla vhodná pro použití v osobních automobilech. Dále analyzuje složitosti související s výrobou vodíku a odebíráním oxidu uhličitého z atmosféry, které jsou zásadní pro bezemisní produkci těchto paliv. Také se zmiňuje o potenciálních vlivech této produkce na životní prostředí. Nakonec zkoumá její nevyhnutelnou energetickou spotřebu a finanční výdaje.



## **Abstract**

The goal of this work is a presentation of the available information regarding synthetic fuels and the subsequent evaluation of necessary requirements and costs connected to their worldwide production. Firstly, after a short introduction to the topic, it centers around each type of fuel, which would be suitable for application in passenger cars. Furthermore, it analyses intricacies related to hydrogen production and carbon dioxide air capture, which are fundamental for the zero-emission production of these fuels. It also mentions the potential impacts of this production on the environment. In the end, it studies its unavoidable energy consumption and financial expenses.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Syntetická paliva pro automobily” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne:

.....  
Mandík Adam



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl velice poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Josefu Morkusovi CSc. za jeho přátelský přístup, vstřícnost, věnovaný čas a veškeré cenné rady, které pomohly zlepšit kvalitu této práce. Velký dík také patří celé mé rodině za jejich neustálou podporu a motivaci.



# Obsah

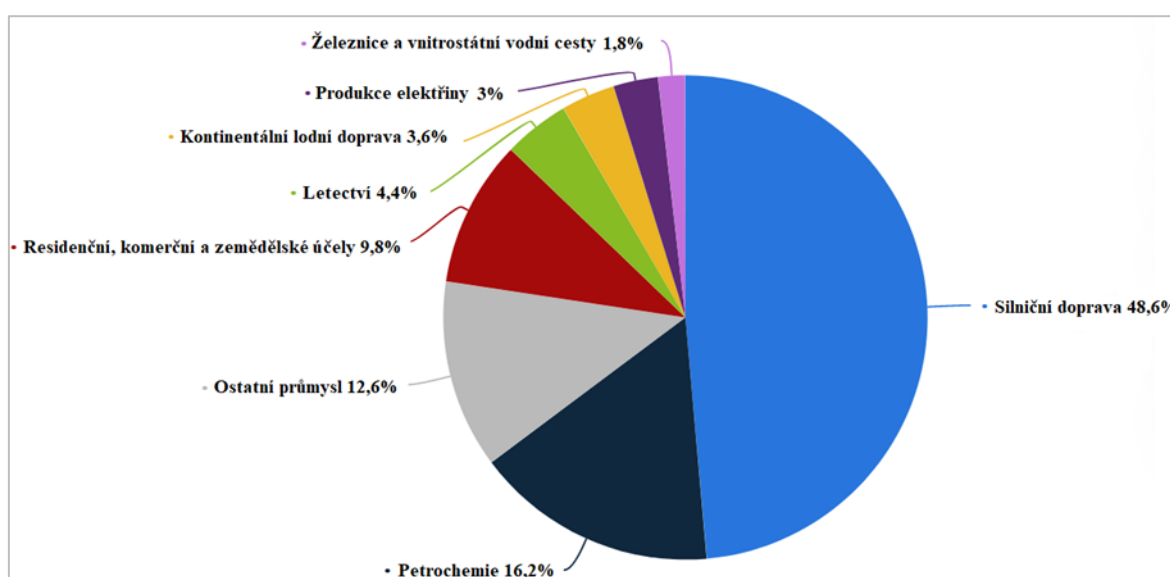
<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Alternativní pohony .....</b>	<b>10</b>
2.1	Elektromobily.....	10
2.2	Vodíkový pohon.....	12
<b>3</b>	<b>Obecné informace a přehled syntetických paliv .....</b>	<b>14</b>
3.1	Syntéza Fischer-Tropsch.....	16
3.2	Syntetický methanol.....	19
3.3	Dimethylether.....	20
3.4	E-benzin z methanolu.....	20
3.5	Shrnutí syntetických paliv.....	22
<b>4</b>	<b>Výroba vodíku .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Příprava oxidu uhličitého .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Energetický rozbor.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Vliv na životní prostředí .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Náklady na výrobu a cena paliva.....</b>	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>39</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>50</b>





# 1 Úvod

Čím více se moderní společnost, a především průmysl, vyvíjí, tím více roste její spotřeba. To se týká v první řadě nerostných surovin, neboť ty jsou zdrojem velkého procenta světové energie. Jednou z těchto surovin je i ropa. Mezinárodní agentura pro energii předpokládá, že světová spotřeba ropy bude nadále růst až do roku 2040. Využití má ve světě mnoho, ovšem oblastí, která ropu spotřebovává nejvíce zůstává suverénně doprava. Dle statistik Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (zkráceně OECD), měl v roce 2020 dopravní sektor podíl skoro 62 % na celosvětové spotřebě ropy, a to i přes tehdy probíhající pandemii. Zaměříme-li se podrobněji na jednotlivé způsoby dopravy, zjistíme, že samotná autodoprava zastává téměř polovinu veškeré spotřebované ropy. To je však vzhledem k budoucnosti velice nežádoucí, neboť vedle ohromné spotřeby navíc ještě automobilový průmysl produkuje množství emisí, především oxid uhličitý. Ten spolu s dalšími skleníkovými plyny stojí za globálním oteplováním a změnou světového klimatu. Na to se již zaměřila například Pařížská dohoda, a hlavně Green Deal, jehož cílem je dosáhnout toho, aby se podařilo snížit produkované emise skleníkových plynů Evropské unie do roku 2030 o 55 % a následně, aby byla Evropa v roce 2050 klimaticky neutrální. Jedním ze způsobů, jakým toho chce EU dosáhnout, je zavedené opatření, které nařizuje, aby od roku 2035 všechny nové osobní a dodávkové automobily neprodukovaly žádné emise. Tato snaha o snížení emisí a postupné zastavení produkce spalovacích motorů se týká celého světa. Spojené státy americké uvedly v platnost výkonné nařízení, jenž má za cíl do roku 2030 omezit prodej vozidel vytvářející emise a navýšit podíl prodaných bezemisních automobilů alespoň na polovinu. Dá se očekávat, že ostatní významné státy se vydají podobnou cestou, a tudíž celý automobilový průmysl bude muset projít znatelnou reformou. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 1: Rozdělení spotřeby ropy v roce 2020 dle OECD [2]



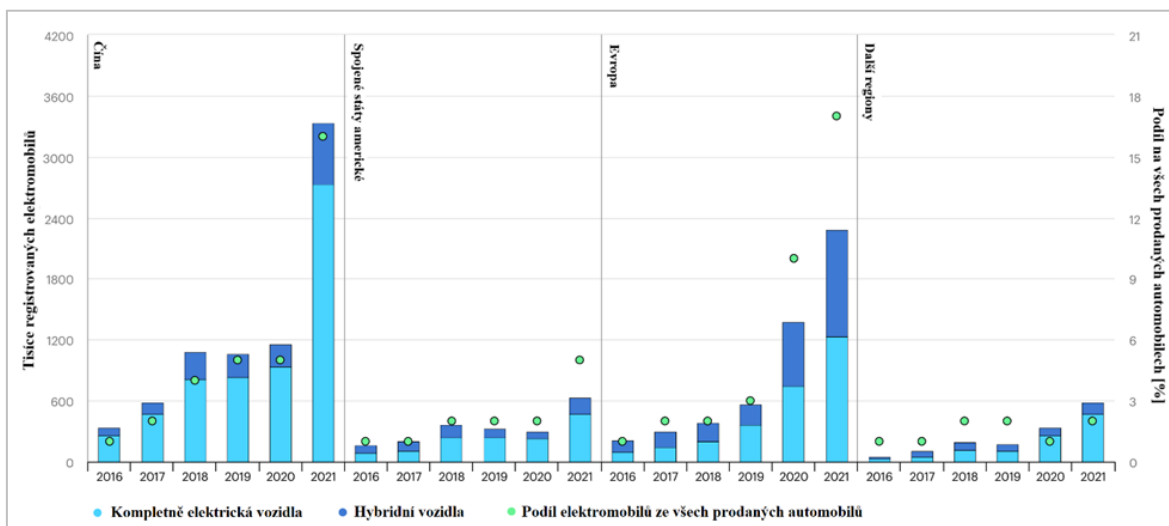
## 2 Alternativní pohony

Naším cílem se tak stává hledání různých jiných řešení pro pohon automobilů, díky nimž by zásoby ropy mohly být zachovány pro ostatní účely, u kterých se alternativy hledají jen těžko a také, aby nová vozidla byla zároveň výrazněji šetrnější k životnímu prostředí, to znamená, aby byla v ideálním případě takzvaně bezemisní. V tomto nelehkém úkolu jsme zatím pouze na začátku.

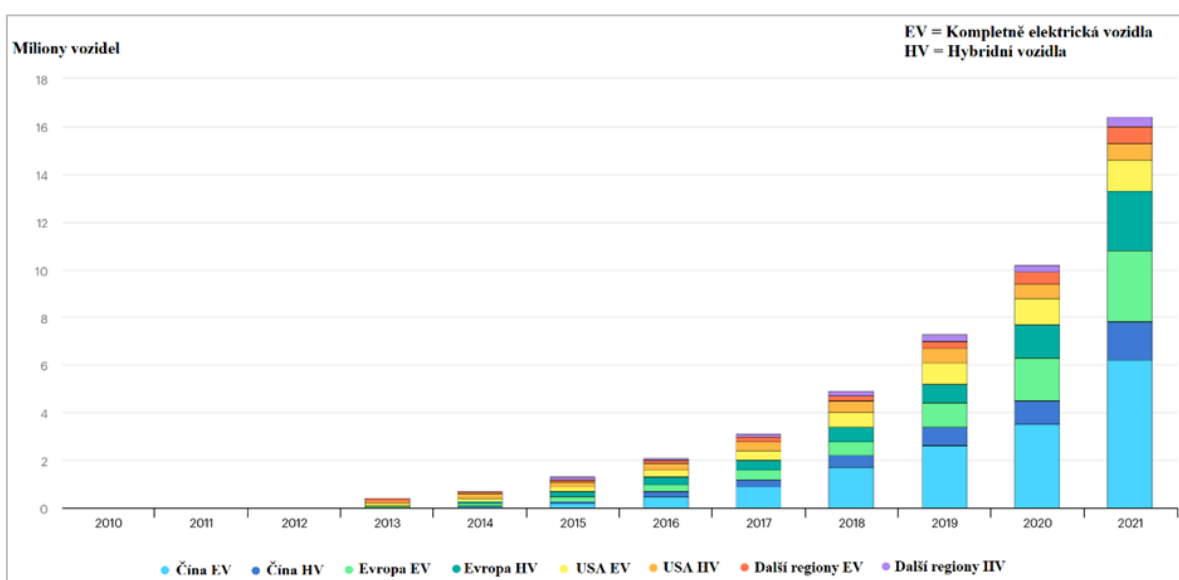
### 2.1 Elektromobily

Tím doposud nejvíce rozšířeným a relativně fungujícím řešením jsou elektromobily. Jedna z jejich výhod spočívá ve větší účinnosti oproti vozidlům se spalovacími motory. Avšak tím důležitým pozitivem je absence emisí při jejich provozu, a tudíž menší vliv na životní prostředí. To je také tím hlavním důvodem, proč Evropská unie vykazuje velikou podporu elektromobilitě v podobě různých dotací. I přesto jsou dnes elektrická vozidla stále dražší než ty poháněná spalovacími motory. To je dáno hlavně většími náklady na jejich výrobu. Již delší dobu se u nich očekává pokles ceny, ale pro běžné spotřebitele jsou pořád vcelku nedostupná. Větší cenový pád je předpokládán až po roce 2027, kdy by hned podle několika analýz mělo dojít ke snížení výrobních výdajů elektromobilů dokonce až pod hranici klasických automobilů. Co se nákladů na provoz týče, jsou elektrická vozidla výhodnější. To je způsobeno tím, že u nich není třeba měnit olej, olejový ani palivový filtr, či zapalovací svíčky a mnohé další. Celková údržba je tedy pro majitele snazší. Problém ovšem mnohdy nastává v servisech, kde se může oprava či kontrola automobilu protáhnout a tím i prodražit kvůli neznalosti pracovníků, kteří byli zvyklí pracovat se spalovacími motory. Vzhledem ke snaze podpořit přechod na elektrické vozy, platí pro ně ve světě hned několik výjimek, v České republice je to například bezplatná jízda po dálnicích či zvýhodněné parkování. Díky tomu počet prodaných elektromobilů i přes jejich cenu, jak lze vidět na obrázcích číslo dva a tři, v Evropě i ve světě rapidně narůstá a dá se očekávat, že s neustálým vývojem technologií, které napomohou ke zvýšení dojezdu na jedno nabití baterie bude o elektromobilitu mezi zákazníky stále větší zájem.

[6] [7] [8] [9] [10] [11]



Obrázek 2: Počet nově registrovaných elektrických aut v Číně, USA, EU a dalších regionech [11]

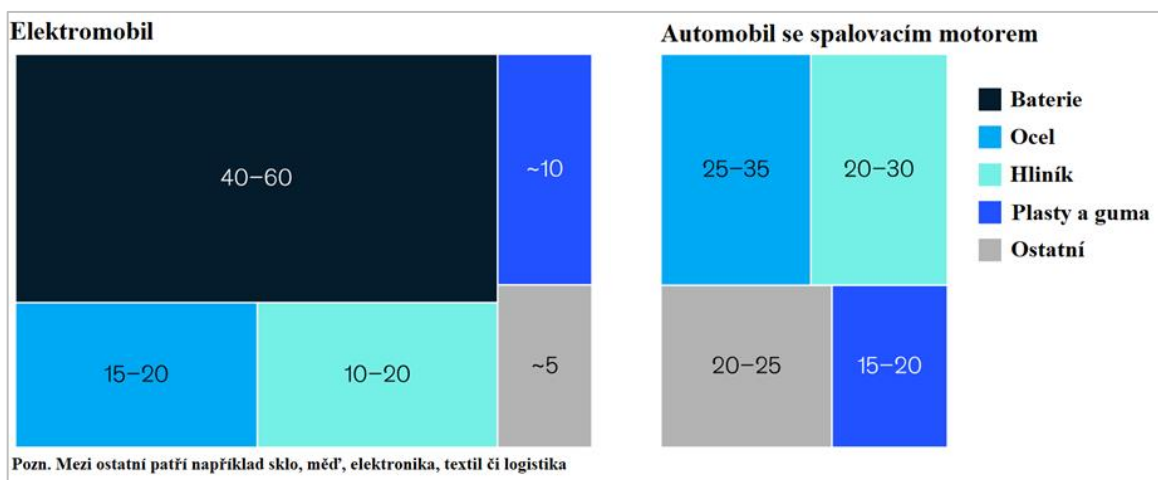


Obrázek 3: Celkový počet elektrických automobilů ve světě [11]

Je tedy zásadní zajistit plynulý přechod z fosilních paliv na elektřinu, zde se však setkáváme s prvními závažnými problémy a nevýhodami, jelikož i kdybychom okamžitě dokázali zelektrifikovat celý automobilový sektor, spotřeba elektřiny by narostla natolik, že bychom jí v současné situaci nedokázali pokrýt, natož abychom k tomu využívali čistě obnovitelné zdroje. Důležité je také zmínit emise vyprodukované při výrobě samotných elektromobilů. Ty jsou v současnosti zhruba dvojnásobné oproti klasickým automobilům se spalovacími motory. Tento rozdíl je zapříčiněn obzvláště výrobou baterií, která vyžaduje specifické materiály a spotřebovává elektrickou energii (více v kapitole číslo 7). Při jejich výrobě je zapotřebí hned několika kovů, mezi které se řadí nikl, mangan, kobalt či lithium. Těžba a zpracování těchto materiálů s sebou nese vznik škodlivých plynů. Součástí produkce baterií je také příprava aktivních látek anod a katod, která se skládá z několika vysokoteplotních procesů. Jako další významné faktory týkající se baterií se často



uvádí například jejich poměrně vysoká hmotnost či jejich hořlavost, což jsou zásadní rizika pro bezpečnost na silnici. [12] [13]



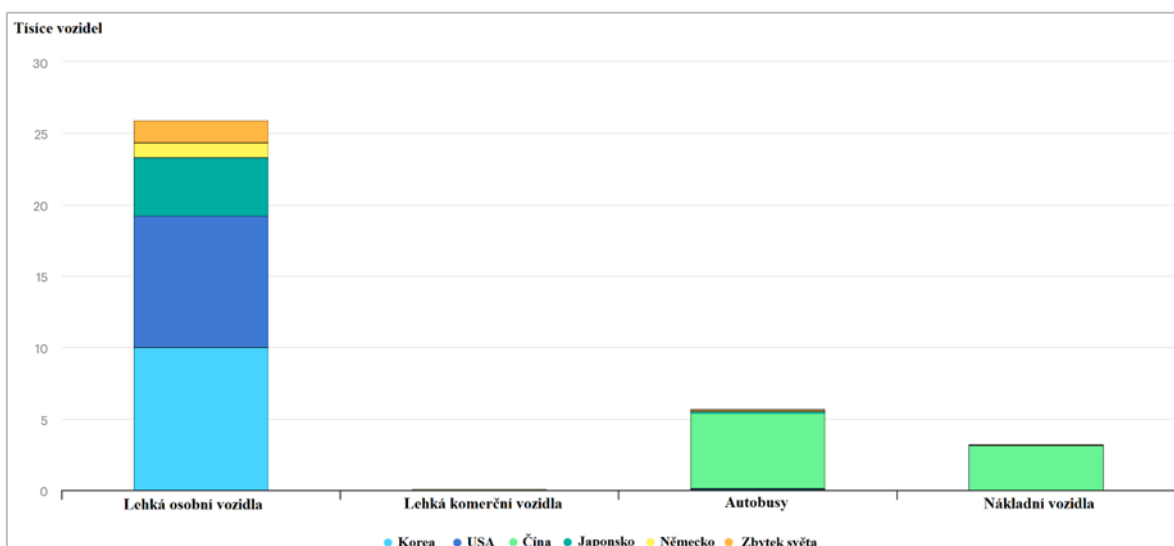
Obrázek 4: Porovnání procentuálního zastoupení vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě vozů [13]

## 2.2 Vodíkový pohon

Dále se můžeme setkat s vodíkovým pohonem. V současnosti existují 2 způsoby pohánění vozidel vodíkem. Tím prvním je využití jeho reakce s kyslíkem v palivovém článku za účelem výroby elektřiny (stejně jako u elektromobilu se ukládá do baterie) pro elektromotor. Technologie přeměny chemické energie na elektrickou je známá už několik desítek let a mnoho problémů s ní spojeno je již dobře vyřešeno. To umožňuje snazší aplikaci palivových článků v automobilech. Potíže nastávají při vyšším zatížení (například jízdě na dálnici), kdy je potřeba neustálé dobíjení baterie, čímž klesá účinnost článku. Další nepříjemností je, že ve většině z nich se používají platinové katalyzátory, které značně zvyšují celkovou cenu automobilu. Počet osobních vozidel poháněných palivovým článkem je tak ve světě zatím pouze v řádu desetitisíců, avšak jeho využití nalezneme i u autobusů, či nákladních automobilů (viz obrázek číslo 5). Druhý typ pohonu, kterému se poslední dobou dostává stále více pozornosti je vodíkový spalovací motor. Jeho vývojem se zabývá zejména japonská automobilka Toyota, která ve svém snažení dosahuje slibných výsledků. Pracují na něm také výrobci nákladních automobilů Mann nebo Scania. Jedná se o motory konceptuálně velmi podobné těm běžným zážehovým, které byly upraveny tak, aby zvládly spalování vysoce vznětlivého vodíku v blízkosti součástí o vysoké teplotě. Jako palivo se v nich dá použít vodík horší čistoty, na rozdíl od palivového článku, který vyžaduje velice chemicky čistý vodík. To je pro firmy z hlediska zachování současných výrobních postupů lákavá představa. Samotné spalování produkuje vodní páru a s ní také nežádoucí oxid dusíku, který je považován za znečišťující látku. Toto představuje překážku vodíkových motorů v legislativě, především v Evropě. Použití vodíku s sebou ovšem v obou případech nese obavy ohledně bezpečnosti kvůli jeho výbušnosti. Vezmeme-li v potaz to, že



se jedná o nejlehčí prvek, se zároveň nejmenší molekulou, jsou také jeho přeprava a skladování poměrně komplikované. Budování infrastruktury čerpacích stanic na vodík má tímto pomalé tempo. Navíc výroba vodíku ve světě (více v kapitole 4) probíhá hlavně z fosilních paliv. Čistý vodík vyráběný bezemisně je prozatím v počáteční fázi. To znamená, že kompletní přechod na klimaticky neutrální pohon vodíkem je nyní poměrně nereálný. [14] [15] [16] [17] [18]



Obrázek 5: Celkový počet vodíkových vozidel dle typu ve světě v roce 2020 [15]

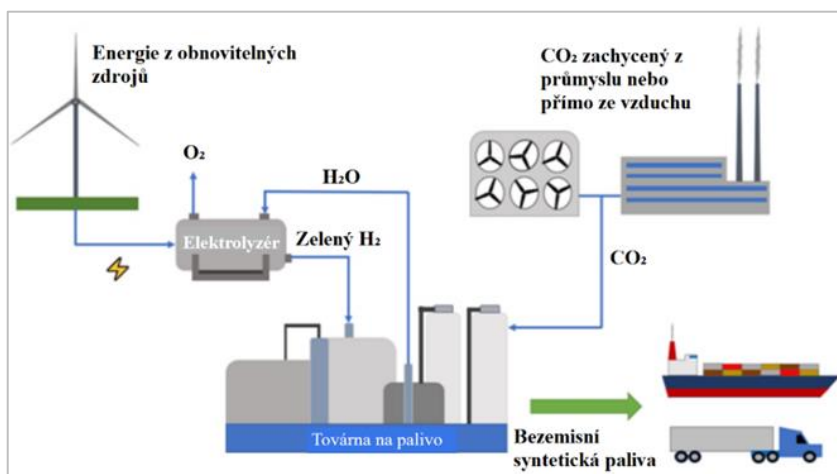
Poněkud odlišným a inovativním východiskem by mohla být syntetická paliva, která již byla Evropskou Unií schválena jako možná alternativa po 2035, kdy dojde k zákazu prodeje automobilů se spalovacími motory. Tato paliva nabízejí řadu pozitiv a jejich praktické používání by se mohlo zdát poměrně snadné, opak je ale pravdou. Právě na přehled, jejich výhody, nevýhody či různé komplikace s nimi spojenými se nyní zaměříme.



### 3 Obecné informace a přehled syntetických paliv

V tom nejširším měřítku se dá za syntetické palivo považovat jakékoliv tekuté palivo, které není vyrobeno použitím surové ropy. Zaměříme-li se však pouze na pohonné látky vhodné pro automobily, máme většinou na mysli paliva uměle vyráběná pomocí reakce vodíku s oxidem uhelnatým. Ten se získává různými způsoby, jedním z nich je například redukce z oxidu uhličitého, který lze volně odebírat z atmosféry. Takto vytvářená paliva se svými vlastnostmi velmi podobají nám již známým fosilním palivům a stejně tak energie v nich obsažená je na podobné úrovni. Jelikož hlavním cílem hledání náhrady za fosilní paliva je hlavně nulová produkce emisí, zdá se toto jako ideální řešení. Tímto způsobem by šlo dosáhnout dekarbonizace v případě, kdy palivo pro spalovací motory spotřebuje při produkci z atmosféry stejné množství oxidu uhličitého, jaké se později vyprodukuje jeho spalováním. Pro tyto paliva, které se dají považovat za bezemisní se vnesl název e-paliva (E-fuels). K tomu, abychom je mohli považovat za kompletně bezemisní však potřebujeme zajistit to, že i veškeré procesy spojené s jejich produkcí, především výroba elektrické energie, ale také například odebírání oxidu uhličitého ze vzduchu a výroba vodíku, vytvářely minimum nebo nejlépe žádné emise. To tady znamená, že továrny na tyto paliva by se měly stavět v blízkosti bezemisních elektráren, vzhledem k energetické náročnosti celé produkce. Toto se již praktikuje v praxi a většina firem plánuje stavbu svých zařízení na odlehlých místech, kde se dobře čerpají obnovitelné zdroje energie, například v pouštích pro solární elektrárny. Dalšími ekologickými variantami jsou také elektrárny větrné či jaderné. [19] [20] [21]

Jednoduché schéma toho, jak by taková výroba syntetických paliv mohla vypadat je znázorněno na obrázku číslo 6. Vodík by se získával elektrolýzou vody (více v kapitole 4.1), která by byla poháněna čistě obnovitelnými zdroji. Dále potřebný oxid uhelnatý by se připravil redukcí oxidu uhličitého odebraného ze vzduchu (kapitola 5). Z těchto dvou surovin by se poté ve specializovaných továrnách produkovala uhlíkově neutrální paliva. [22]



Obrázek 6: Schéma produkce syntetických paliv [22]



Na vývoji této technologie mají logicky největší zájem současné přední ropné společnosti, jako jsou například saúdskoarabská státní firma Aramco či španělský Repsol, které se spolu nyní snaží zdokonalit vlastní výrobu syntetických paliv. Výsledkem jejich spolupráce by měla být první veliká továrna na syntetická paliva v Evropě. Bude stát ve španělském přístavu Bilbao a její odhadovaná kapacita produkce se pohybuje okolo 8000 litrů paliva na den. Plánované dokončení projektu je stanoveno na konec roku 2024. [23] [24]

Samotné Aramco také vyvíjí paliva pro monoposty Formule 1, jejímž cílem je uhlíková neutralita celého sportu již v roce 2030. Nižší série F2 a F3 přejdou na kompletně syntetická a bezemisní paliva již v roce 2027. Tyto paliva by mohla hrát velkou roli pro budoucnost spalovacích motorů v běžném provozu. Dalším velmi podstatným investorem z oblasti motorsportu je německá automobilka Porsche, která spolu již se skupinou Siemens spustila svou první továrnu v jihoamerickém Chile, které poskytuje vhodné okolní podmínky. Celý areál by měl být schopen během příštích tří let rozšířit svou kapacitu natolik, aby dosáhl produkce 55 milionů litrů paliva za rok. Tímto navýšením by se celkové náklady na výrobu paliva měly snížit přibližně o 2 dolary na litr, ovšem celková cena stále zůstane značně větší než u klasických fosilních paliv. Veškeré zde vyrobené palivo je zatím používáno pouze ve vlastních automobilových závodech Porsche poháru, ale plánem společnosti stále zůstává udržení, či alespoň prodloužení působení jejich automobilů se spalovacím motorem na silnicích. [25] [26] [27]

Ve světě pak nalezneme mnoho dalších menších projektů, jejichž cílem je objevit dočasnou náhradu za fosilní paliva. Jedním z nich je norská firma Quantafuel, jenž se zabývá přeměnou odpadu s vysokým obsahem uhlíku na použitelný benzín. Tento proces však není kompletně bezemisní, ale stále produkuje o 90 % méně oxidu uhličitého než běžná výroba fosilních paliv. [28]

Syntetickými palivy se zabývá také britsko-nizozemská ropná společnost Shell, avšak jejím hlavním cílem je především produkce petroleje, používané jako palivo pro letecký sektor, ovšem proces její umělé výroby je velice podobný jako u paliv určených k pohonu automobilů. Role syntetických paliv je zde ještě zásadnější, neboť pro pohon tryskových letadel neexistují žádné jiné alternativy. Dá se tedy očekávat snaha mnoha leteckých společností o podporu vývoje těchto technologií. [29]

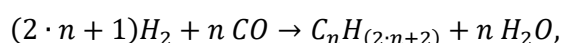
Budeme-li hovořit o jednotlivých syntetických palivech, zjistíme, že se každé mírně liší v procesu výroby. Za ty nejvíce nadějně můžeme v první řadě považovat syntetický benzín a naftu, vyrobené pomocí Fischer-Tropschovy syntézy. Mezi další druhy patří také methan, methanol a z něj vyrobený benzín či dimethylether. Rozdíl je však lze podle původu vodíku a oxidu uhličitého. Nyní si jednotlivé postupy podrobněji vysvětlíme.



### 3.1 Syntéza Fischer-Tropsch

Prvním způsobem, jímž můžeme vyrábět syntetická paliva je Fischer-Tropsch syntéza, pojmenovaná po svých objevitelích ve dvacátých letech 19. století. Tento cyklus se nejvíce rozvíjel v období druhé světové války v Japonsku a nacistickém Německu z důvodu omezeného přístupu k ropě obou zemí, a tudíž nutnosti obstarat její náhradu. [30]

Základem je skupina chemických reakcí, při kterých se vodík a oxid uhelnatý přeměňují na uhlovodíky o různých molekulových hmotnostech podle této rovnice:



kde  $n$  je celé číslo. Například pro  $n = 1$ , vzniká při reakci metan, který je však považován převážně za nežádoucí vedlejší produkt. Podmínky výroby jsou tak upraveny, aby byl maximalizován vznik těžších uhlovodíkových molekul tekutých paliv, především alkanů s číslem  $n = 10$  až  $20$ , které jsou daleko hodnotnější. [31] [32]

Proces výroby se dá rozdělit do několika částí. Nejdříve proběhne komprese vstupních surovin (vodíku a oxidu uhličitého), které jsou následně přivedeny do RWGS (anglická zkratka pro Reverse water gas shift) reaktoru, kde dochází k jejich konverzi na vodu a oxid uhelnatý. Takto vzniká směs vodíku a oxidu uhelnatého, nazývaná “syngas“, jenž je základním reaktantem, v již výše uvedené reakci probíhající uvnitř F-T reaktoru. Účinnost této přeměny se pohybuje v rozmezí 55 až 65 % a zbylý nevyužitý “syngas“ koluje zpět do výroby. Kovy na bázi železa, kobaltu, niklu či ruthenia, jsou schopné plnit funkci katalyzátorů, jejichž vývoj se zaměřuje právě na zlepšení účinnosti celé syntézy a zvýšení produkce delších uhlovodíků. Železné katalyzátory umožňují fungování ve vysokoteplotním (300–350 stupňů Celsia) i nízkoteplotním (220–270 stupňů Celsia) režimu, zatímco kobalt je schopen operovat pouze v nižším rozsahu teplot. To je zapříčiněno tím, že při vysokých teplotách vzniká větší podíl methanu, který je pro kobalt škodlivý. Ačkoliv jsou kobaltové katalyzátory až 200krát dražší než ty železné, jejich výhoda spočívá v delší životnosti a menších nákladech na provoz vzhledem k menším nárokům na provozní tlak. Volba katalyzátoru by tedy měla záviset na cílovém produktu. [31] [33] [34]

Nezbytnou podmínkou produkce je také zajištění kontinuity celého procesu, jelikož jeho počátek spojený se zahříváním obou reaktorů je velice energeticky náročný. Je také důležité zmínit, že F-T reaktory vydávají při práci značné množství tepla a je tak nutné provádět jejich neustálé chlazení. Podle toho, jak je odvod přebytečného tepla řešen a jak dochází k reakcím, se reaktory dělí celkem na tři druhy, kde každý z nich se již běžně používá v praxi. Od toho, jaký reaktor je zvolen a při jaké teplotě operuje se také vyvíjí procentuální zastoupení výsledných produktů (viz tabulka 1). [31] [35]

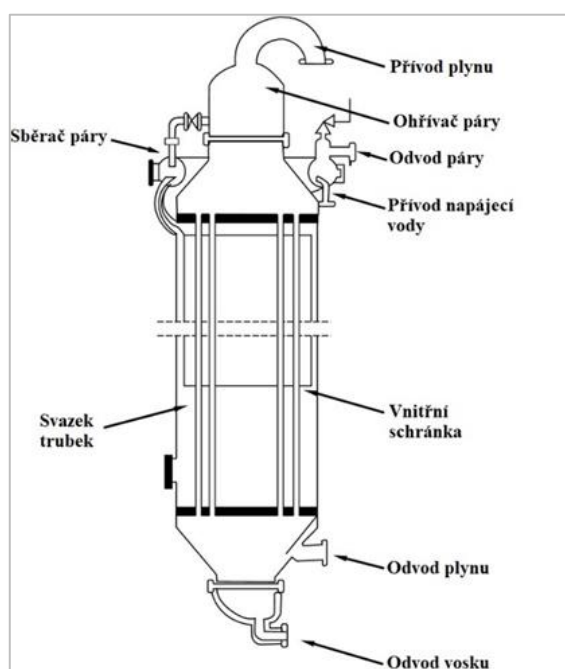




Tabulka 1: Typické složení produktů FT syntézy v hm.% [35]

Produkt	Trubkový reaktor	Fluidní reaktor	Suspenzní reaktor
Metan	2,0	10,0	6,8
Uhlovodíky C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>	10,8	33,0	21,7
Benzin (C <sub>5</sub> - C <sub>11</sub> )	18,0	40,0	18,6
Motorová nafta (C <sub>12</sub> - C <sub>18</sub> )	14,0	7,0	14,3
Parafin (C <sub>19+</sub> )	52,0	4,0	37,6
Kyslíkaté sloučeniny	3,2	6,0	1,0

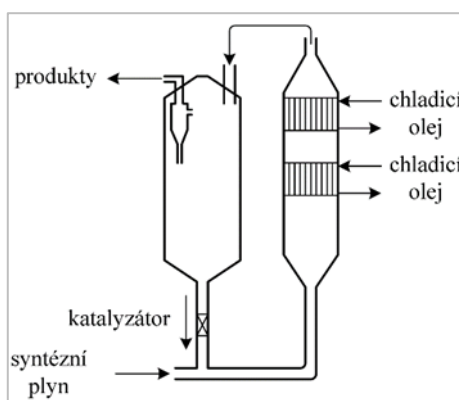
Všechny tři typy reaktorů prošly od svého počátku značným vývojem. Tím nejstarším druhem je trubkový reaktor, který komerčně využívají společnosti Sasol v Jižní Africe (proces ARGE) a Shell v Malajsii (proces SMDS). Ten typicky operuje při nižších teplotách mezi 180 až 250 stupni Celsia za tlaku v rozmezí od 10 po 45 bar. Reakce probíhá za přítomnosti železných či kobaltových katalyzátorů umístěných v mezikruží trubek procházejících tělem celého reaktoru, jenž tvarem připomíná trubkový tepelný výměník. Jeho velikost dosahuje výšky 12 metrů s průměrem okolo 3 metrů s tím, že uvnitř je uloženo 2000 trubek o průměru 50 milimetrů. Chlazení je zajišťováno pomocí vody cirkulující mezi jednotlivými trubkami, která je následně odváděna ve formě páry. Výsledné produkty jsou odebírány ve spodní části reaktoru v podobě vosku (parafín) a plynů. Jedním z problémů tohoto sestavení je to, že k nejsilnější konverzi dochází hned v prvních metrech reaktoru a poté efektivita přeměny upadá, tudíž je část katalyzátoru nedostatečně využívána. Je také nutné předejít usazování uhlíku na stěnách trubek. [35] [36] [37] [38]



Obrázek 7: Schéma trubkového reaktoru ARGE [38]

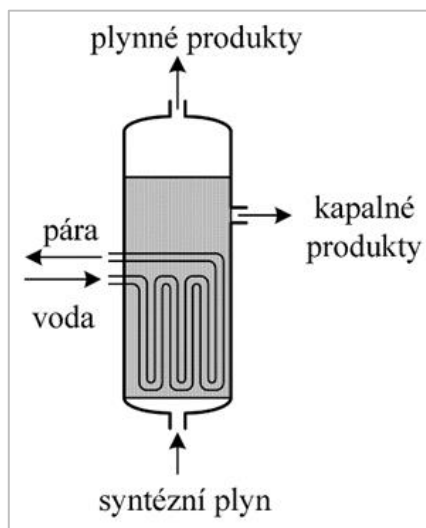


Druhý typ reaktoru, fluidní, pracuje s cirkulujícím drobnozrnným katalyzátorem. Ten je na vstupu smíchán se syntézním plynem. Tato směs pokračuje dále do reakční zóny, kde dochází k cílené konverzi. Celý proces je vysokoteplotní a pohybuje se nad hranicí 300 stupňů Celsia. K regulaci vysoké teploty uvnitř reakční zóny je zapotřebí chlazení, které je zprostředkováno opět vodou či chladícími oleji. Vzniklá směs produktů a katalyzátoru je poté oddělována v separátoru za pomoci cyklonů. Takto vzniká vysoké procento benzínu a plynných uhlovodíků a také znatelně méně parafínů. Zbylý katalyzátor se vrací zpět do oběhu. Kvůli vysoké pracovní teplotě je nezbytné používat jeho železnou variantu. V současnosti se v praxi začíná používat i verze tohoto reaktoru bez cirkulace. [35] [36] [37]



Obrázek 8: Schéma fluidního reaktoru se separátorem [35]

Poslední variantou je suspenzní reaktor, jenž využívá drobnozrnný katalyzátor v suspenzi kapalných parafínů. Přiváděný syntézní plyn prostupuje tělem reaktoru ze spodu a postupně probublává skrze tuto suspenzi. Generované teplo je odváděno potrubím s vodou, která se postupně přeměňuje na páru. Maximální dosahovaná teplota v tomto reaktoru je 270 stupňů Celsia, je tedy možné použít kobaltový katalyzátor. Produktem jsou lehčí plynné uhlovodíky, které lze rovnou odvádět, ale také těžší kapalně uhlovodíky, jenž se musí složitým způsobem filtrovat. Výhodou tohoto těchto reaktorů je velmi vysoká konverze syntézního plynu. [35] [36] [37]



Obrázek 9: Schéma suspenzního reaktoru [35]

Získané uhlovodíkové složky se nadále upravují, podobně jako u standardních fosilních paliv. Benzin je nutno vytvořit ze středních složek vyprodukovaných alkanů, a to jejich izomerizací a reformováním. Následuje dodělaní mísením a přidání aditiv. V případě syntetické motorové nafty je její výroba značně jednodušší, neboť naftu lze ve správném poměru míchat přímo z vyrobených alkanů a po přidání aditiv se dosahuje finálního produktu. Ten má navíc vyšší cetanové číslo (oproti té přírodně vyrobené) určující kvalitu nafty. Obě paliva lze používat přímo v již existujících spalovacích motorech. Možné je také jejich míchání se současnými fosilními palivy, tudíž by přechod na jejich každodenní používání mohl být plynulý. [31] [32] [39]

### 3.2 Syntetický methanol

Jiným druhem paliva může být uměle vyráběný methanol, nejjednodušší alkohol. Ten při spalování produkuje menší množství oxidu uhličitého než běžná fosilní paliva. Kladem je také jeho vyšší oktanové číslo, které je žádoucí z hlediska výkonnosti motoru automobilu. To vede k tomu, že se dnes metanol běžně používá jako palivo v motorsportu. Pro jeho aplikaci je nutné stejně jako u benzínu použít potřebná aditiva. Oproti ethanolu má však poloviční výhřevnost, to znamená, že pro zachování stejného dojezdu jako u benzinových automobilů, bychom museli dvakrát navýšit kapacitu palivové nádrže, což by výrazně snížilo velikost zavazadlového prostoru. Dalším problémem je jeho toxicita, která může u člověka způsobovat závažné zdravotní problémy. Při dlouhodobějším používání v současných spalovacích motorech by se také mohla zkrátit jejich životnost působením kyselých sloučenin, které vznikají při nedokonalém spalování methanolu (například formaldehydy či kyselina mravenčí). Avšak i samotný methanol má silné korozní účinky, je tedy zapotřebí použít správné inhibitory této koroze. [40] [41] [42]

Výroba methanolu je ve světě již standardní záležitostí, avšak jeho většina je produkována z uhlí či zemního plynu. Chceme-li hovořit o takzvaném zeleném methanolu, podobá se proces jeho



výroby F-T syntéze, kde výchozí surovinou je opět směs vodíku a oxidu uhelnatého (“syngas“), která se katalyticky konvertuje na methanol. [33] [42] [43]

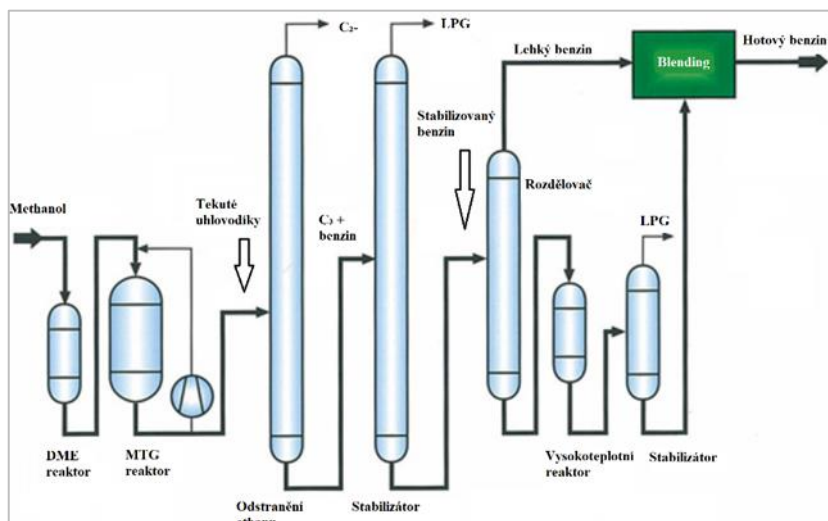
### 3.3 Dimethylether

Pro pohon speciálně upravených vznětových motorových vozidel lze použít dimethylether (zkráceně DME). Jedná se o organickou sloučeninu, která se často používá jako hnací plyn ve sprejích. Má vysoké cetanové číslo a dosahuje podobných účinností jako současné diesellové motory. Výhodný je také z pohledu emisí, neboť vzhledem ke chybějícím vazbám mezi uhlíky, vytváří méně sazí a v budoucnu by potenciálně mohl eliminovat potřebu pro částicové filtry. Jeho nevýhoda spočívá podobně jako u methanolu v jeho výhřevnosti, která je oproti standardnímu fosilnímu palivu poloviční. Motory po úpravě jsou schopné fungovat pouze na DME, tudíž dvoupalivový provoz spolu s naftou není možný. Problémem je také v samotném skladování dimethyletheru, neboť ten musí akumulován v tlakových nádobách podobně jako LPG. To přináší komplikace s infrastrukturou a každodenní doplňování paliva na stanicích je tedy složitější. [44] [45]

Vyrábět DME lze hned několika způsoby, ovšem chceme-li přemýšlet ekologicky, musíme se obrátit k biomase, či v předchozí kapitole zmíněném methanolu. Z toho se DME získá jeho dehydratací za přítomnosti katalyzátoru. Tato reakce je exotermická, ale většina odpadního tepla se následně spotřebuje na oddělení vzniklé vody. [45]

### 3.4 E-benzin z methanolu

Jako palivo se nemusí používat přímo čistý methanol, ale také z něj vyrobený benzin. Ten se tvoří procesem, který je schopen konkurovat F-T syntéze. Narozdíl od ní je však výsledným produktem benzin, který potřebuje už jen minimální úpravy a aditiva. Ten navíc obsahuje pouze nízké podíly síry a benzenu. V praxi postup následuje hned po syntéze methanolu, který se nejdříve dehydratuje na DME, ze kterého se v suspenzním MTG (anglická zkratka pro “methanol to gasoline“) reaktoru tvoří tekuté lehké alkeny. Dalšími úpravami těchto uhlovodíků se dá dospět až ke kombinaci alkanů s cykloalkany a areny, která dohromady představuje neupravený benzin. Ten prochází další destilací na lehkou a těžkou složku. Těžká složka se upravuje a její výsledná podoba se mísí opět s lehkým benzinem při procesu zvaném “blending“. Takto vzniká výsledný e-benzin. Vedlejšími produkty tohoto postupu jsou propan a butan používané k výrobě LPG. [46] [47] [48]



Obrázek 10: Schéma výroby E-benzinu z methanolu [48]

Produkováný e-benzin lze přimíchávat do klasického benzínu či použít samostatně přímo v existujících spalovacích motorech vozidel, ale také letadel či lodí. Není potřeba žádná modifikace těchto motorů nebo změna infrastruktury čerpacích stanic. Ve světě výrobní postup tohoto benzínu vzbuzuje velký zájem a zejména v Asii vzniká mnoho nových společností snažících se vyvinout vlastní, co nejefektivnější způsob produkce. Průkopníkem v oblasti této technologie byla a stále je hlavně společnost ExxonMobil. Ta mezi lety 1985 až 1997 provozovala první testovací továrnu na benzin z methanolu, avšak jako zdroj pro syntézu methanolu byl tehdy používán zemní plyn. V současné době prozatím neexistuje továrna MTG v komerčním měřítku, avšak ExxonMobil spolu s partnery pracuje na výstavbě nové řídicí továrny v Jižní Americe. Celková energetická účinnost výroby zatím není uváděna, ale dá se očekávat, že bude o něco menší, než u produkce DME. [46] [47] [48] [49]

Tabulka 2: Vlastnosti vyráběného benzínu uvedené firmou ExxonMobil [47]

Vlastnosti benzínu	Typické hodnoty
Oktanové číslo výzkumnou metodou	92 - 95
Oktanové číslo motorovou metodou	82 - 85
Obsah aromatů [Objemový zlomek]	25 - 35 %
Obsah olefinů [Objemový zlomek]	10 - 14 %
Obsah benzenu [Objemový zlomek]	≤ 0,3 %
Obsah durenů [Hmotnostní zlomek]	≤ 2 %
Obsah síry [Miligramů/Kilogram]	≤ 10
Teplota varu [C°]	200 - 210



### 3.5 Shrnutí syntetických paliv

Většina automobilů na světě je prozatím poháněna dvěma typy spalovacích motorů využívající známé pohonné látky. Benzin se používá jako palivo pro zážehové spalovací motory, ve kterých je směs zapalovaná jiskrou. Naopak vznětové spalovací motory využívají naftu, která je vstříkována do válce a zapalovaná vnitřní teplotou náplně válce. Obě tyto paliva se získávají z ropy různého původu, a tedy i různého složení. Díky tomu je již vyvinuto mnoho chemických procesů spojených s tvorbou paliv. To znamená, že syntetická paliva mají dobrý základ pro svůj rozvoj. Díky jejich inženýrsky upravenému složení mají mnohdy lepší vlastnosti než běžná paliva. To je výhodné z hlediska životnosti a výkonu spalovacího motoru. Používání syntetických paliv je již běžnou praxí v motorsportu, kde se využívá zejména methanolu. Je tedy zřejmé, že tato paliva jsou naplno schopná nahradit funkci běžných fosilních paliv bez nutnosti větších zásahů do konstrukce spalovacích motorů či infrastruktury. Hlavní otázkou týkající se budoucnosti bezemisních syntetických paliv tak zůstává reálná kapacita a energetická náročnost jejich výroby.



## 4 Výroba vodíku

Jak již plyne z předchozích kapitol, jednou z nejzásadnějších surovin potřebných pro výrobu syntetických paliv je vodík. S ním a jeho produkcí je spojena spousta překážek, ale i některé výhody. Produkce vodíku je například jedním ze způsobů využití přebytečné elektřiny, kdy elektrárny na obnovitelné zdroje pracují na plný výkon. Tyto elektrárny jsou většinou nestálé zdroje. To znamená, že jejich produkce se odvíjí od aktuálních podmínek (větrné elektrárny – vítr, solární elektrárny – sluneční záření atd.). Při ideálních podmínkách pak často dochází k nárůstu výkonu, což má za následek to, že výkon elektráren přesáhne poptávku a cena elektřiny nabývá záporných hodnot. Vodík, či syntetická paliva z něj vyrobená jsou pak díky jejich vysoké energetické hustotě (větší než baterie) vhodnou formou uchování energie. Dalším kladem je i fakt, že výroba vodíku může probíhat víceméně po celém světě a velké množství vodíku vzniká i jako vedlejší produkt. Můžeme ho získávat mnoha cestami ze širokého spektra surovin. V současnosti se 96 % veškerého vodíku vyrábí z fosilních paliv, takzvaným parním reformingem zemního plynu. To je však vzhledem k našemu zájmu zbavit se závislosti na těchto nerostných surovinách nežádoucí. Musíme se tedy přiklonit k čistému vodíku, který je vyráběn bezemisně. Existuje hned několik ekologických způsobů jeho produkce, například z biomasy či elektrolýzou vodní páry, ty se ovšem pro velkokapacitní výrobu využívají minimálně. Další možností je použití technologie elektrolýzy vody, která je bohužel energeticky daleko náročnější a pro výrobu vodíku se ve světě používá v malém rozsahu (4 %). Takto vyráběný vodík se nazývá jako zelený, pokud veškerá energie spotřebovaná při elektrolýze je pokryta obnovitelnými zdroji. [18] [50] [51] [52]

Kromě zelené se pro rozdělení vodíku dle jeho původu používá v průmyslu široké spektrum barev. Jedná se o bezbarvý plyn, tudíž i přes různá barevná označení se od sebe jednotlivé typy vodíku nedají rozeznat. Vodík vyrobený parním reformingem zemního plynu se nazývá buď jako modrý či šedý. V obou případech se spojuje zemní plyn se zahřátou vodou ve formě páry za vzniku vodíku a oxidu uhličitého jako vedlejšího produktu. Rozdíl se nachází v tom, že u modrého vodíku je oxid uhličitý zachycován a skladován. Naopak u šedého vodíku je tento skleníkový plyn volně vypouštěn do atmosféry. Použije-li se k výrobě vodíku uhlí, hovoříme o černém, respektive hnědém vodíku. Ten je pravým opakem vodíku zeleného, jelikož jeho produkce je pro životní prostředí velmi škodlivá. Dále můžeme narazit na růžový vodík, také nazývaný jako fialový či červený, který je podobně jako zelený vyráběn elektrolýzou. Ta je zde poháněna čistě jadernou energií. Tento proces navíc produkuje značné množství odpadního tepla z reaktorů, které lze využít pro výrobu jiných druhů vodíku. Je-li veškerá elektřina dodávaná do elektrolýzéry solárního původu, poté vzniká vodík barevně označován jako žlutý. Poměrně novým způsobem, jak vodík získat je pyrolýza methanu, při které vzniká plynný vodík spolu s uhlíkem v pevném skupenství. Tato technologie, která si pro své označení získala tyrkysovou barvu, se však zatím pouze jen testuje ve větších kapacitách. Čistý vodík

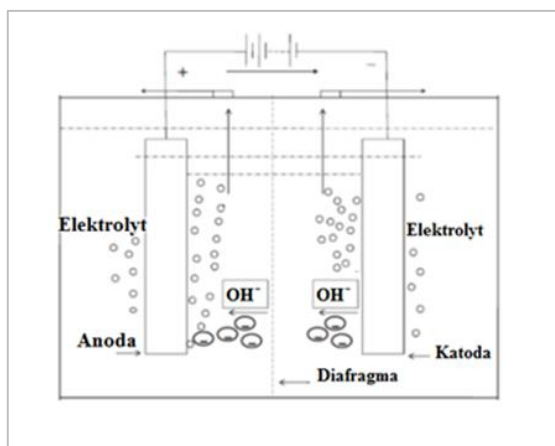


se vyskytuje i v přírodě v podobě podzemních uložení, avšak ty v dnešní době zatím nejsme schopni nějak zásadně využít. I tak se pro ně vnesl název bílý či zlatý vodík. Vzhledem k našemu záměru eliminovat veškeré emise z výroby paliva, jsou naše možnosti na obstarání vodíku značně redukovány. Volba připadá na vodík vyráběný elektrolýzou, která bude poháněna čistě obnovitelnými zdroji, jak je již uvedeno výše, tento vodík je známý jako zelený. Jeho výroba s sebou ovšem nese značné finanční náklady. [53] [54]

Sám o sobě je vodík značně problémovým plynem. Vzhledem k jeho malé molekule jsou jeho fyzikální vlastnosti velkou překážkou v rámci jeho přepravy a skladování. Při výrobě syntetických paliv se tento problém dá obejít postavením elektrolyzátoru v blízkosti továrny na palivo a okamžitým zpracováním vyrobeného vodíku.

## Elektrolýza

Existují dvě pro tuto výrobu vhodné metody elektrolýzy, a to buď alkalická nebo PEM (protonově vodivá membrána). V obou případech se jedná o elektrolýzu nízkoteplotní. Princip alkalické elektrolýzy spočívá ve štěpení chemické vazby mezi vodíkem a kyslíkem elektrickým proudem za vzniku jednotlivých plynů. Průmyslová jednotka se skládá z dvou elektrod, přesněji anody (většinou vyrobené z niklu) a ocelové katody. Obě elektrody jsou ponořeny do elektrolytu (v tomto případě 25-30 % roztoku hydroxidu draselného o teplotě 80 °C, který zvyšuje vodivost a tím šetří energii) a odděleny anorganickou diafragmovou membránou. Ta se v dnešní době volí keramická či kompozitní. V tomto uspořádání jsou obě elektrody napájeny elektrickým proudem o napětí 1,8 až 2,4 V. Ten způsobí, že se na katodě začne redukcí vytvářet vodík, jenž odebíráme. Spolu s ním vznikají hydroxidové ionty, které se na anodě oxidují na kyslík, ten opět jímáme, a voda, která se vrací do oběhu. Tato metoda je starší technologií a její výhodou spočívá v delší životnosti používaných zařízení a jejich celkově nižší pořizovací ceně, což je způsobeno tím, že alkalická elektrolýza nevyžaduje tak kvalitní katalyzátory a kritické materiály. Velikou výhodou je také určitá tolerance znečištění vody. [55] [56] [57]

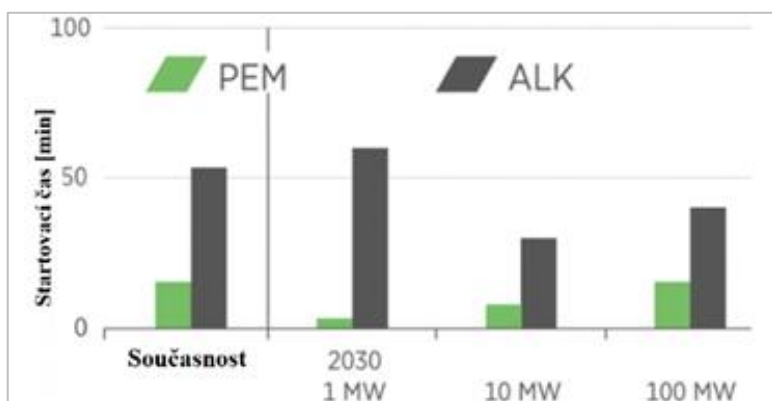


Obrázek 11: Schéma alkalické elektrolýzy [55]



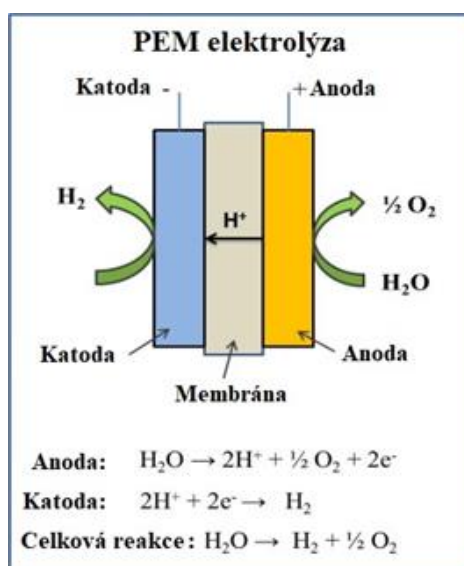


Vezmeme-li však v potaz ostatní okolnosti, především předpokládané přerušované dodávky elektrické energie vzhledem k využívaným obnovitelným zdrojům, dojdeme k závěru, že pro sériovou výrobu je vhodnější elektrolýza PEM. Jejím hlavním pozitivem je snadné adaptování na přerušované výrobní cykly elektráren, jelikož na rozdíl od alkalické elektrolýzy je čas potřebný k zahájení fungování celého procesu značně menší (viz obrázek číslo 12). [33] [55]



Obrázek 12: Čas potřebný k uvedení elektrolýzérů do provozu [33]

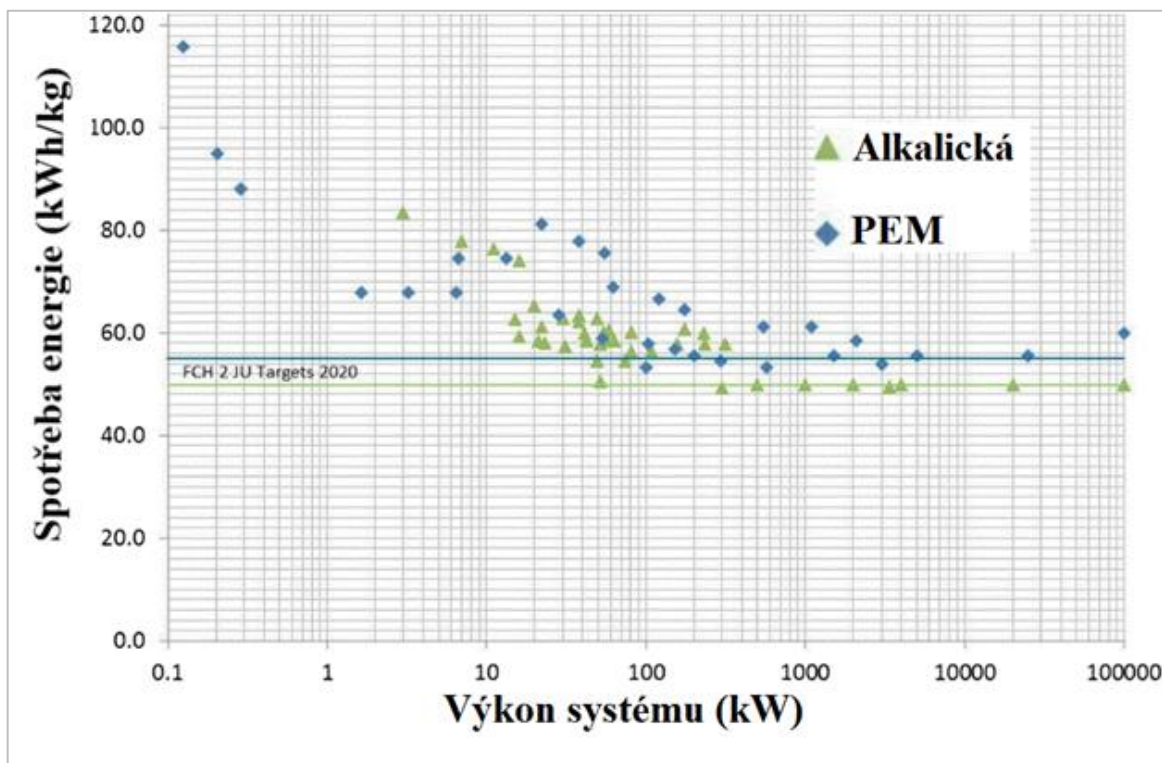
Tato elektrolýza využívá schopnosti neporézní polymerní membrány propouštět pouze kladně nabitě ionty. Postup začíná přivedením molekul vody na anodu, kde dojde k jejich rozdělení na molekuly kyslíku, vodíkové kationty a volné elektrony. Použijeme-li jako rozdělovač katody a anody právě zmíněnou membránu, projdou vytvořené kationty ke katodě. Vzniklé elektrony opustí anodu pomocí vnějšího elektrického okruhu. Na katodě dojde ke spojení elektronů s kationty za vzniku vodíku. Vzhledem ke koroznímu prostředí elektrolýzérů musí být pro obě elektrody použity platinové kovy. Výhodou této elektrolýzy je flexibilita procesu, poměrně dobrá dosahovaná účinnost a také čistota obou produkovaných plynů, vzhledem k použití membrány. Nevýhodou jsou pak větší energetické i finanční nároky. [55] [58]



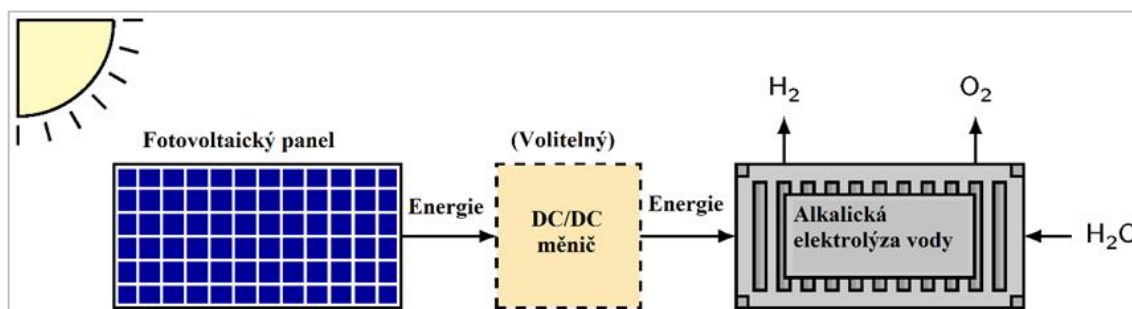
Obrázek 13: Schéma PEM elektrolýzy [58]



Podle průzkumu provedeného na obchodně dostupných elektrolyzérách obou typů v rozsahu kapacity od 0.1 kW až po 100 MW bylo zjištěno, že jejich účinnost roste až po hodnotu kolem 100 až 300 kW. Při této kapacitě se energie potřebná ke vzniku jednoho kilogramu vodíku při PEM elektrolýze ustálí na velikosti okolo 55 kWh na kilogram, u alkalické elektrolýzy je tato hodnota ještě menší. [33]

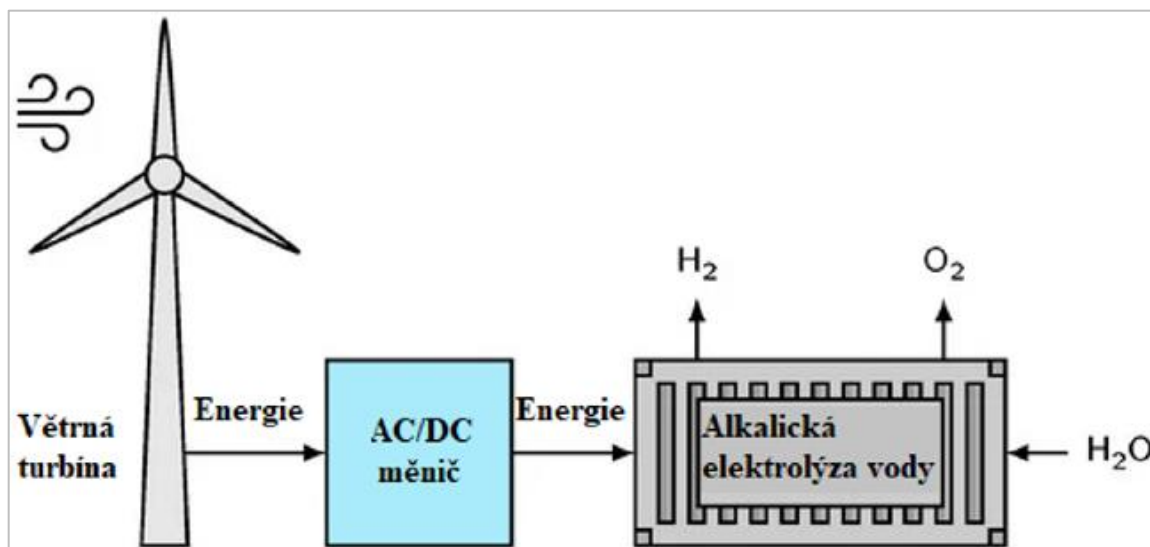


Obrázek 14: Spotřeba elektrické energie v závislosti na velikosti elektrolyzérů [33]



Obrázek 15: Schéma elektrolyzérů poháněného solární energií s doplňkovým usměrňovačem [57]

Faktorem, který nesmíme opomenout, jsou však měniče, respektive usměrňovače elektrického napětí u elektráren na obnovitelné zdroje. Ty jsou u solárních elektráren doporučeny, ovšem u těch větrných jsou již nezbytné. Jejich účinnost se uvádí okolo 90 %, což hraje důležitou roli při plánování kapacity daných elektráren. [57]



Obrázek 16: Schéma elektrolyzérů poháněného větrnou energií s nezbytným usměrňovačem [57]

Z celkového hlediska je tak výroba vodíku tímto způsobem poměrně drahou záležitostí. Nadějí do budoucnosti zůstává to, že s narůstajícím počtem elektráren na obnovitelné zdroje a spolu s rostoucí účinností elektrolyzérů budou náklady na tento proces postupně výrazněji klesat. Další možností, která by mohla výrazně snížit finanční náklady produkce vodíku, je použití jaderných elektráren. Ty skrývají velké množství energie, která je poměrně snadno dostupná. Jejich překážkou je v současnosti především legislativa, která je komplikovaná a Evropská Unie není zatím definitivně rozhodnuta na svém postoji. I přes to, že při svém fungování neprodukuje žádné emise, mají ve světě mnoho odpůrců a například Německo se od nich kompletně distancovalo, když v dubnu tohoto roku uzavřelo poslední pracující nukleární reaktor na svém území. Tímto rozhodnutím se přidalo k dalším 7 státům, které již dříve jadernou energetiku odmítly. Důvody odrazující tyto státy jsou zřejmé. Je to zejména nebezpečí, které je spojeno s jejich výstavbou či provozem a také vznikajícím radioaktivním odpadem, který je v dnešní době řešený skladováním v podzemních uložkách. Budoucnost těchto elektráren se tak bude odvíjet od rozhodování Evropské Unie, která je prozatím názorově rozdělena. Česká republika v této problematice kompletně podporuje rozvoj jaderné energetiky, která by mohla velmi napomoci dostupnosti bezemisně vyrobeného „růžového“ vodíku a s tím i snížit budoucí cenu syntetických paliv. [59] [60] [61]



## 5 Příprava oxidu uhličitého

Všechna dříve zmíněná paliva jsou založena na výrobě s užitím oxidu uhličitého, či oxidu uhelnatého z něj zredukovaného. Existuje více možností, jak ho získávat. Jednou z nich je čerpat ho přímo ze stacionárního zdroje znečištění, to znamená přímo ze znečišťujících elektráren (například uhelné či na biomasu) nebo různých továren (na cement). Avšak vzhledem ke klimatu a rostoucím emisím, je tou nejvhodnější a logičtější volbou jeho čerpání přímo z atmosféry – technologie anglicky nazývaná Direct Air Capture (zkráceně DAC). Zde tento odběr budeme považovat pouze za zdroj oxidu uhličitého, a ne jako řešení pro jeho odstranění jako skleníkového plynu z atmosféry. V navrhovaném použití bychom tedy odstranili potřebu skladování a všechny odebraný plyn by byl dále použit na produkci paliva. [62]

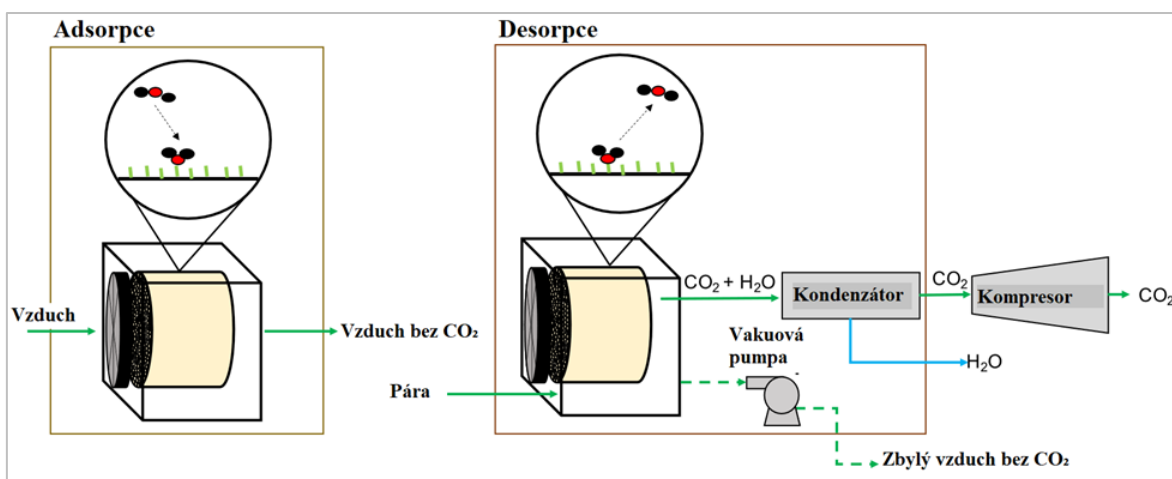
Velikou roli v samotném odebírání hraje koncentrace oxidu v atmosféře a okolní klima, které ovlivňuje teplotu a tím i hustotu vzduchu. Za normálních okolních podmínek obsahuje vzduch kolem 0,05 - 0,03 % CO<sub>2</sub>. V ideálním případě bychom pomocí několika chemických reakcí dokázali tuto část odebrat a zbytek vzduchu, složeného především z dusíku a kyslíku, vrátit do atmosféry. Celý děj se ve své podstatě velmi podobá fotosyntéze rostlin. Ovšem tato technologie ho provádí o mnoho rychleji, a i přesto si dokáže zachovat minimální vliv na životní prostředí. [63]

V praxi se nyní můžeme setkat se dvěma druhy systému DAC, lišících se v typu používaného adsorbentu. Narazíme buď na tekuté rozpouštědlo, které avšak pracuje s vysokými teplotami (300 až 900 °C) a také vyžaduje značné množství vody, což je pro výrobu paliv nevhodné. Tím druhým jsou tuhé adsorbenty, fungující při daleko přijatelnějších teplotách (80-120 °C). Pro oba tyto způsoby však stále platí, že jsou více energeticky náročné, způsobeno daleko menší koncentrací CO<sub>2</sub> ve vzduchu, a tudíž i mnohonásobně dražší než přímé odebírání CO<sub>2</sub> ze zdroje (např. uhlí). Nadějí ovšem zůstává fakt, že tato technologie vzbuzuje ve světě veliké ohlasy a stále více firem vykazuje snahu zahájit vlastní, či podpořit již existující vývoj. To je zapříčiněné především rostoucími mezinárodními nároky týkající se klimatických cílů. Mezi přední společnosti s největším pokrokem v této oblasti se řadí Climeworks, Carbon Engineering a také Global Thermostat. Jejich postupy jsou na škále technické připravenosti (1 až 9) na šesté úrovni, což znamená, že se stále z velké části jedná o prototyp, který ještě není kompletně připraven na hromadné aplikování. Zároveň z toho ale vyplývá, že se dají očekávat podstatná vylepšení, spjatá s informacemi získanými aktivním používáním těchto zařízení, která by zvýšila výkon a zároveň snížila náklady na provoz. Jednou z nově vznikajících technologií je například odběr CO<sub>2</sub> pomocí membrán či ESA (Electro-swing adsorption). Prozatím si však pro bezemisní výrobu syntetických paliv budeme muset vystačit s DAC používající tuhé adsorbenty. [62] [64] [65] [66] [67]



Obrázek 17: Fungující továrna na CO<sub>2</sub> na Islandu ORCA [67]

Celý proces se skládá z několika důležitých částí, kde každá z nich je již běžně používaná v průmyslu. Začíná se nahnáním vzduchu velkými ventilátory do modulů („contactorů“), ve kterých jsou umístěny adsorpční vložky (filtry), které aktivně zachycují molekuly CO<sub>2</sub>. To probíhá až do chvíle, než dosáhneme požadované úrovně nasycení adsorbentu. V ten moment se modul uzavře a připraví se na extrakci oxidu uhličitého. Ta startuje odčerpáním zbylého vzduchu vakuovou pumpou, aby se zabránilo znečištění odebíraného CO<sub>2</sub>. Následuje ohřátí na regenerační teplotu, při které se zachycené částice opět z filtru uvolní. Také probíhá vlhčení vodní párou, které má za cíl zvýšení tlaku a vytlačení oxidu do kondenzátoru. Zde dojde k oddělení vody a ochlazený CO<sub>2</sub> se odтуда odvádí k použití. [68] [69]



Obrázek 18: Schéma DAC s tuhým adsorbentem [69]



Každý modul má svůj vlastní ventilátor pro nasávání vzduchu. Sám o sobě má modul relativně malý výkon a vzhledem k přerušovanému charakteru pracovního procesu je třeba stavět co nejvíce jednotek do několika členných řad (viz obrázek číslo 19), tak aby pohlcený objem vzduchu byl co největší. Cena vyprodukovaného CO<sub>2</sub> se v současnosti odhaduje okolo 600 dolarů za tunu. Při zapojení systému do produkce syntetických paliv se dá očekávat snížení této ceny pod hranici 100 dolarů za tunu. [70] [71]



*Obrázek 19: Render komerčních jednotek s větráky od firmy Carbon Engineering [70]*

Dá se provést jednoduchý výpočet potřebného množství filtrovaného vzduchu pro výrobu jednoho kilogramu čistého oxidu uhličitého. Budeme-li uvažovat standardní podmínky teploty 20 °C a atmosférického tlaku, hustota CO<sub>2</sub> je potom 1,95 kg/m<sup>3</sup>. Předpokládejme jeho koncentraci okolo 0,04 %. Poté platí, že jeden m<sup>3</sup> vzduchu obsahuje 0,00078 kilogramu oxidu uhličitého. Při výše zmíněné účinnosti tak dojdeme k závěru, že k získání jednoho kilogramu CO<sub>2</sub> je nutné přefiltrovat celkem 1710 m<sup>3</sup> vzduchu. To znamená, že je potřeba budování větších a rozsáhlých modulů, abychom dosáhli co největší kapacity. S tím je však spojena spotřeba elektrické a tepelné energie. Nesmíme opomenout ani spotřebu vody a z ekologického hlediska důležitou rozlohu, či hluk jednotlivých továren. Dáme-li do porovnání kapacitu největší plánované továrny na CO<sub>2</sub> (tento titul prozatím patří továrně ORCA – na obrázku číslo 17), která by měla být dokončena koncem roku 2024, jenž činí 36000 tun CO<sub>2</sub> za rok oproti veškerému oxidu uhličitému vyprodukovaném dopravním sektorem jen v České republice, což dosahuje téměř 20 milionů tun za rok, dojdeme k realizaci, že pouhá představa absolutního vyrovnání těchto dvou hodnot je zatím kompletně mimo realitu. [66] [72]



## 6 Energetický rozbor

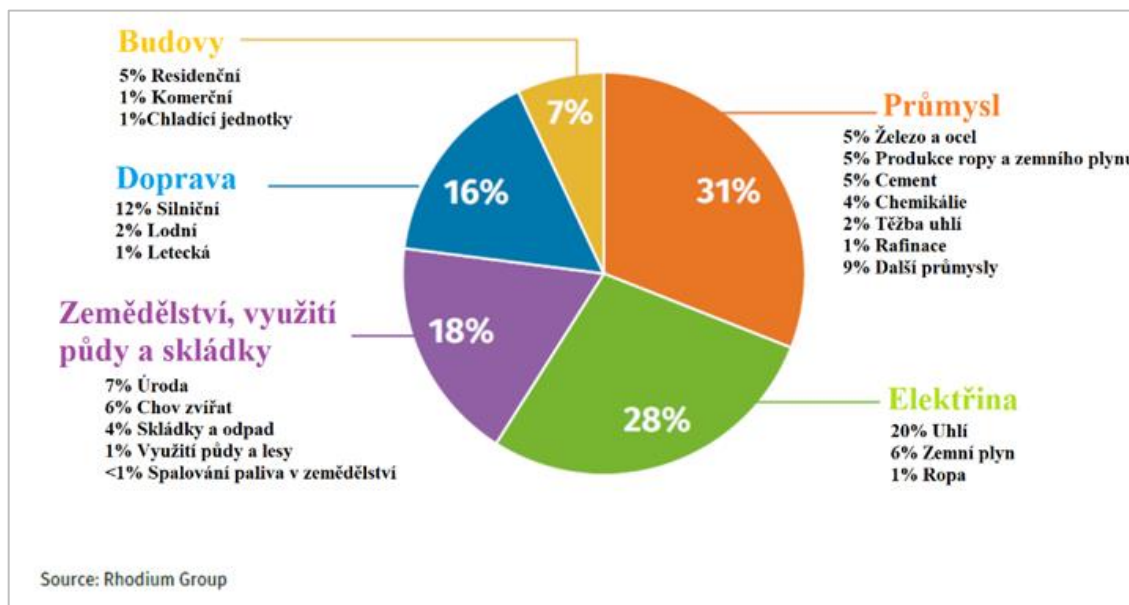
Všechny tyto kroky představují z energetického hlediska velice náročnou překážku. Je tedy nutností zvážit, zda se celý tento proces vůbec vyplatí. Jako důležitý bod v budoucnosti se často označuje rok 2050. Kritickou hodnotou je celková předvídaná spotřeba sektoru mobility, od které se pak odvíjí potřebné kapacity elektráren na obnovitelné zdroje a také potřebná infrastruktura. Spotřebu musíme určit na základě teorie Well-to-Wheels, což znamená započítání všech ztrát na řetězci mezi zdrojem energie a samotným automobilem. Tímto dokážeme vcelku jednoduše porovnat energetické náročnosti jednotlivých druhů pohonů, a zjistit, které by se do budoucna vyplatilo rozvíjet. V současnosti jsou na prvním místě celkem jasně elektromobily, které by na kompletní pokrytí podle WtW v roce 2050 vyžadovaly minimálně 2000 TWh, což odpovídá přibližně 68 % energie spotřebované celou Evropskou unií v roce 2019. To je způsobeno především jejich výhodnou energií TtW (Tank-to-Wheel), tedy částí energetického řetězce mezi momentem, kdy je energie absorbována (dobití na stanici), a poté následně spotřebována (pohyb automobilu). TtW tak popisuje efektivitu spotřeby paliva, a navíc také vyprodukované emise. Druhá v pořadí jsou vozidla poháněná vodíkem, přesněji palivovým článkem, u kterých je odhadovaná WtW energie v porovnání s elektromobily přibližně dvojnásobná. Co se týče syntetických paliv, u těch je předpovídaná požadovaná energie značně vyšší (až 5krát oproti EV). Za tím stojí větší energie TtW a obzvláště značné ztráty v průběhu celého řetězce, na kterých se podílí hlavně elektrolýza a samotná syntéza paliv. Přijatelnější jsou paliva vyráběná FT syntézou, která mají stanovenou potřebnou energii 3krát až 4krát vyšší než elektrická vozidla. Na tyto hodnoty je, avšak nutné nahlížet s určitou perspektivou, neboť nezahrnují například energii spojenou s výrobou automobilu samotného či s výstavbou nové infrastruktury. Tento fakt hraje významnou roli právě u elektromobilů nebo vodíkových vozidel, jelikož výroba těchto vozů je náročnější než u vozů se spalovacím motorem, a především je pro ně nutno vybudovat velkou část nové infrastruktury ve formě nabíjecích či čerpacích stanic. Při zvážení těchto informací již není ten prakticky nejvhodnější typ pohonu tak zřejmý. Ve prospěch syntetických paliv hraje také to, že při jejich aplikaci není potřeba výměny vozového parku. [73] [74]

Budeme-li brát v potaz vlivy na životní prostředí (následující kapitola) a také celkovou cenu energetického řetězce, je hlavním faktorem pro budoucnost požadovaná instalovaná kapacita infrastruktury bezemisních elektráren. U nich se výkonnost zásadně liší v závislosti na lokalitě výstavby a podmínkách okolí. Z toho důvodu je žádoucí jejich umístění v ideálních lokalitách (například pouště v Jižní Americe pro větrné elektrárny, v Severní Africe pro ty solární), tak aby byla maximalizována jejich produkce. Přenos takto vyrobené elektřiny je nemožný, avšak případná přeprava syntetického paliva z ní vyrobeného by vzhledem k již dnes fungujícím potrubím, či tankerům byla snadná. Zde se ovšem opět musí počítat s emisemi vyprodukovanými touto přepravou. [74]



## 7 Vliv na životní prostředí

Rostoucí světová snaha o minimalizaci vlivu veškerých lidských činností na životní prostředí je zcela jistě správná, ale její realizace je složitá. Provoz automobilů se spalovacím motorem je často uváděn jako jeden z hlavních zdrojů škodlivých emisí. Tato problematika je však komplikovanější. Veškeré emise vyprodukované dopravním sektorem představují okolo 16 % celosvětové produkce emisí. [75]



Obrázek 20: Světová produkce emisí dle sektorů v roce 2020 [75]

Osobní automobily se na tom podílí necelými 39 %, což je po přepočtu okolo 6,3 % ze světově vytvořených emisí (v EU pouze 1 %). Toto číslo zahrnuje zejména provoz vozidel, tedy škodlivý oxid uhličitý vypouštěný spalováním fosilních paliv v motorech, a také emise vznikající při výrobě samotných automobilů. V světovém měřítku nepředstavují tedy osobní vozy tak velikou produkci škodlivin, jak by se na první pohled mohlo zdát. I přesto se Evropská Unie snaží jejich podíl na vzniku emisí značně snížit. Prosazovaná alternativa, elektromobily, které při svém provozu neprodukují žádné emise ovšem také nemůžou fungovat zcela bezemisně. Tato představa je pouze vysněným ideálem. Přehlédneme-li škodliviny vyprodukované stejně jako u automobilů se spalovacím motorem při výrobě vozu, stále je nutno řešit problém produkce elektřiny, která plní funkci zdroje energie. Stejnému problému s elektřinou čelí i syntetická paliva, u kterých je třeba pokrýt její značnou spotřebu při výrobě paliv. Ve světě má tvorba elektřiny za následek vznik 28 % všech světových emisí. To je zapříčiněno tím, že se k její produkci využívají především neobnovitelné zdroje jako jsou například uhlí, zemní plyn či ropa. Ke snížení emisí je tak nutné navýšit využívání elektráren na obnovitelné zdroje. Avšak ani ty nemůžou být kompletně bezemisní. Je třeba uvažovat škodliviny vznikající při výstavbě a údržbě takovéto elektrárny. V případě





solárních panelů je problémem jejich doprava, neboť naprostá většina z nich se vyrábí v Číně, a také otázka jejich životnosti a potřeba následné výměny, jelikož těžba křemíku potřebného k jejich výrobě produkuje také množství emisí. U větrných elektráren je zase překážkou složitá instalace (velké množství cementu na výstavbu základů) a transport větrných turbín. K celkovému porovnání jednotlivých zdrojů elektřiny, respektive typů elektráren se používají emisní faktory. Ty popisují množství vyprodukovaných emisí na zvolenou aktivitu, v tomto případě celý životní cyklus elektrárny od výstavby až po její likvidaci. Množství těchto emisí se dá poté do poměru s množstvím celkové vyprodukované elektřiny. Z tabulky číslo 3 vyplývá, že obnovitelné zdroje jsou spolu s jadernými elektrárnami v současnosti jasně těmi ekologicky nejpříjemnějšími. Lepších hodnot zatím nelze dosáhnout, ale velmi slibnou variantou by v blízké budoucnosti mohly být fúzní reaktory. Jisté nicméně zůstává, že kompletně bezemisní elektřina je pouze nedosažitelným ideálem. [75] [76] [77] [78] [79]

Tabulka 3: Emisní faktory typů elektráren odpovídající emisím v gramech CO<sub>2</sub> na kWh [79]

Typy dostupných elektráren	Přímé emise	Infrastruktura	Biogenní CO <sub>2</sub> a albedo efekt	Methan	Celkový emisní faktor životního cyklu elektrárny
	Min / Medián / Max	Typické hodnoty			Min / Medián / Max
Uhelné	670 / 760 / 870	9,6	0	47	740 / 820 / 910
Plynné	350 / 370 / 490	1,6	0	91	410 / 490 / 650
Biomasa - spalování	/	/	/	/	620 / 740 / 890
Biomasa - cílová	/	210	27	0	130 / 230 / 420
Geotermální	0	45	0	0	6,0 / 38 / 79
Vodní	0	19	0	88	1,0 / 24 / 2200
Jaderné	0	18	0	0	3,7 / 12 / 110
Koncentrovaná sluneční energie	0	29	0	0	8,8 / 27 / 63
Solární FV panely na střechách	0	42	0	0	26 / 41 / 60
Solární FV panely užitkově	0	66	0	0	18 / 48 / 180
Větrné pevniské	0	15	0	0	7,0 / 11 / 56
Větrné offshore	0	17	0	0	8,0 / 12 / 35

Syntetická paliva se musí potýkat ještě s dalšími environmentálními překážkami. Výroba vodíku prezentuje složitosti spojené s jeho přepravou. Jeho malou molekulu je obtížné skladovat a existuje riziko jeho úniku do atmosféry. Je tedy obtížné přepravovat jej na větší vzdálenost. Pokud by nebylo zabráněno jeho případným unikům, hrozí kromě finančních ztrát a nebezpečí výbuchu také klimatické riziko. Vodík sám o sobě sice nezadržuje teplo, ale jeho molekuly prodlužují životnost ostatních skleníkových plynů, které by za normálních okolností byly postupně neutralizovány reakcemi s hydroxidovými radikály (OH). Za přítomnosti molekul vodíku však tyto radikály raději reagují s ním, čímž se snižuje jejich koncentrace v atmosféře, což má za následek prodloužení životnosti skleníkových plynů jako jsou methan, ozón či vodní pára. Odhaduje se, že při vysokých únicích by vodík mohl v úseku deseti let mít až 100x větší skleníkový efekt než oxid uhličitý. V takovém případě by i zelený vodík zvyšoval světovou teplotu až o desetinu stupně Celsia. Zásadní prioritou tak musí být minimalizace možných ztrát a uniků, aby byla zachována jeho původní klimatická výhoda. V současnosti se úniky vodíku pohybují okolo 2,7 %. Jedná se o přijatelnou hodnotu, avšak ta je z části zapříčiněna stále malou škálou poptávky. Dá se očekávat, že s růstem



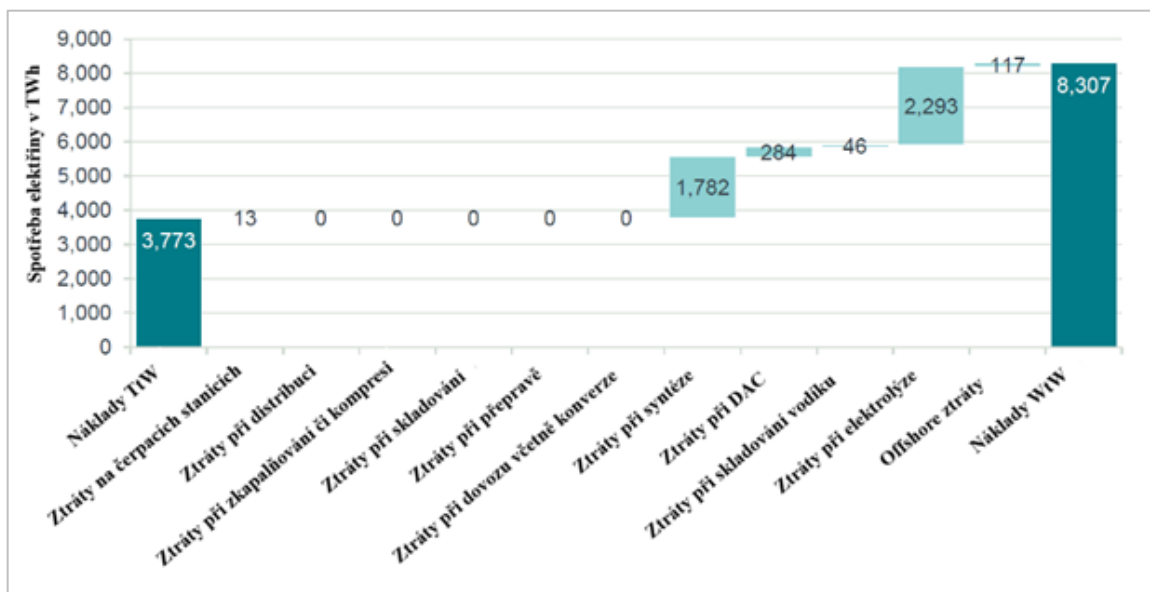
trhu s vodíkem toto číslo poroste, neboť prozatím neexistují žádné bezpečnostní senzory a technologie hlídající úniky v dostatečném měřítku. [80] [81] [82]

Značnou roli ve výrobě syntetických paliv hraje odebrání oxidu uhličitého z atmosféry. I zde se setkáváme s několika vlivy, které by potenciálně mohly ohrožovat životní prostředí. Tím prvním jsou používané adsorbenty. V případě těch tekutých – rozpouštědel (z důvodu energetické náročnosti jsme je již jako možnost vyloučili) se jedná o toxické chemikálie, které vyžadují speciální zacházení, tak, aby nezpůsobovala žádné zdravotní potíže. Námi upřednostněné tuhé adsorbenty sice nejsou toxické, ovšem po naplnění jejich maximální životnosti se z nich stává odpad, kterého je potřeba se nějakým způsobem zbavovat. Oblastí, ke které zatím není mnoho informací je účinek samostatných jednotek DAC a v nich proudícího vzduchu na okolní prostředí (stejně jako u větrných turbín). Okolí by mohlo být také ovlivněno případným hlukem ventilátorů. Z technického hlediska se zatím zdá, že tyto problémy by měly být řešitelné. Z těchto všech překážek plyne fakt, že celý proces produkce syntetických paliv bude vyžadovat kromě velkého množství elektrické energie ještě navíc různá bezpečnostní opatření, což zcela jistě zvedne velikost nákladů. [83] [84]



## 8 Náklady na výrobu a cena paliva

Od nákladů na produkci paliva se bude zásadně odvíjet jeho cena. Ta je jedním z dalších hledisek, které hrají roli při rozhodování o tom, jak by měla vypadat budoucnost dopravního sektoru. Porovnáním cen kompletního přechodu z fosilních paliv na dané bezemisní alternativní pohony, lze lépe pochopit jejich rozdílné výhody, ale také případné obtíže s nimi spojené. O alespoň přibližné stanovení těchto cen (přechod do roku 2050) se pokusila studie FFV, která zahrnuje všechny peněžní výdaje od zdroje energie až po samotný automobil. Ve výsledcích jsou tedy obsaženy i přírůstkové náklady, kam se řadí například nutné investice na výstavbu dobíjecích stanic pro elektrické automobily. Zjištěné hodnoty jsou aktuální k roku 2020 a nejhůře, respektive jako nejnákladnější z nich vychází právě elektromobily. Odhadová cena kompletní elektrifikace se pohybuje mezi 4500 až 5300 miliard euro v závislosti na aplikované strategii přechodu. Naopak syntetická paliva, u nichž jsou malé náklady především na změnu vozidel, představují tu přijatelnější variantu s předpokládanou cenou přechodu v rozmezí od 2600 (methanol) až po 4000 miliard euro. Hlavní podíl na této částce má spotřeba elektřiny. Pro představu se dá provést zjednodušený výpočet nákladů pro pokrytí roční spotřeby nafty v České republice touto syntetickou. Ta v roce 2022 činila 5 171 tisíc tun (nárůst oproti předchozímu roku o 1,2 %). energii potřebnou k výrobě jednoho kilogramu syntetické nafty určíme pomocí dat předešlé studie FFV. Budeme vycházet z indexu Tank-to-Wheel, který určuje energii paliva spotřebovaného až v nádrži automobilu. Pro naftu vyráběnou pomocí FT syntézy je to 3773 TWh. Přes výhřevnost nafty, která činí 11,9 kWh/kg dopočítáme hmotnost potřebného paliva. Ta činí  $3,17 \cdot 10^{11}$  kilogramů. Na výrobu tohoto množství syntetické nafty je zapotřebí celkem 4534 TWh energie. Odtud pak vyplývá energetická spotřeba produkce jako 14,3 kWh/kg nafty. Tato energie je z 51 % využita na elektrolýzu, z 39 % na syntézu paliva a z 6 % na DAC. Zbývá procenta 4 % jsou energetické ztráty na dopravním řetězci. Nyní stačí spotřebu vynásobit energetickými nároky a získáme celkovou požadovanou energii, jenž se rovná 73,9453 TWh/rok. Spotřeba bezemisní elektrické energie pro bezemisně vyráběnou naftu pro pokrytí potřeb ČR by tak byla vyšší, než je celková energetická spotřeba České republiky (60 TWh). [74] [85] [86] [87]

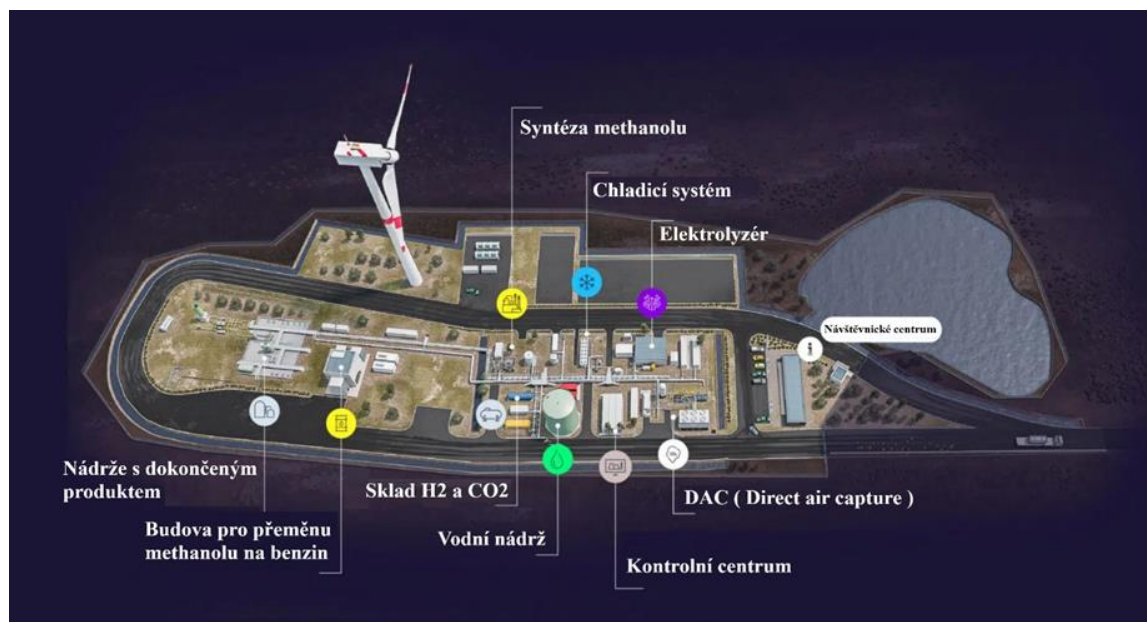


Obrázek 21: Spotřeba elektrické energie u výroby syntetické FT nafty [74]

I přes to, že jsou tyto výpočty čistě orientační a velmi nepřesné, stačí nám k tomu abychom si uvědomili velikou míru energetické náročnosti produkce syntetických paliv. Pro představu je také důležité zmínit současný objem produkce těchto paliv. Největší funkční továrna pracující v Chile, která byla již zmíněna v kapitole 2, má od roku 2022 výrobní kapacitu 130 000 litrů za rok, což je zatím ve srovnání se světovou spotřebou paliv zcela zanedbatelné. V následujících letech by se však produkce měla vyšplhat až k hranici 55 milionů litrů za rok, s čímž by i klesaly cenové nároky s ní spojené. [88] [89] [90]

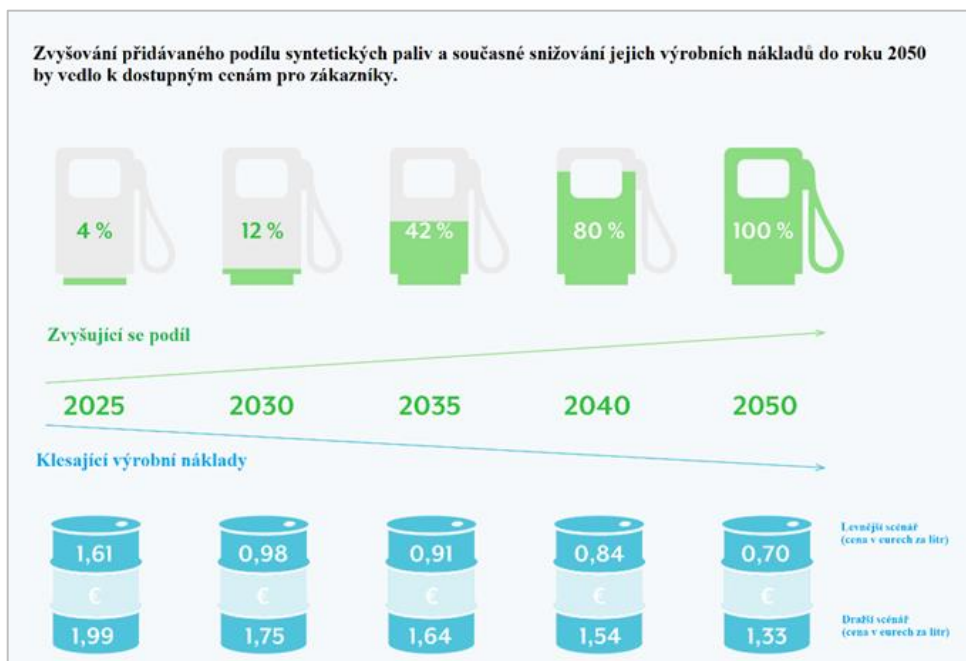


Obrázek 22: Největší továrna na syntetická paliva v Chile – Haru Oni [88]



Obrázek 23: Schéma továrny Haru Oni [89]

Pro běžné majitele automobilů ovšem hraje roli zejména cena, za kterou by palivo tankovali do svých vozů. Ta by v tuto dobu byla několika násobně větší, než na kterou jsou zvyklí u klasických fosilních paliv. E-benzin produkovaný touto továrnou by se prodával téměř za 50 euro. Pokud by tato částka měla rapidně klesnout, musí se značně navýšit kapacita výroby. Než k tomu ve značné míře dojde, mohla by se syntetická paliva postupně přimíchávat do těch fosilních (to je však prozatím v rozporu se zákonem č.360/2022 Sb.). Tímto způsobem by se pomalu zvyšovala kapacita vyráběných syntetických paliv s čímž by zároveň klesaly finanční náklady na jejich produkci. To vše by se dělo za stálých cen prodávaných „míchaných“ paliv, ve kterých by se podíl syntetické složky časem navyšoval. Takto by bylo možné tyto paliva prodávat pod hranicí dvou eur a možnost klimatické neutrality by byla dostupná pro každého. [91] [92]



Obrázek 24: Plán zvyšování podílu syntetické složky v palivech a poklesu výrobních nákladů [92]



Obrázek 25: Předvídané ceny benzínu a nafty do roku 2050 [92]



## 9 Závěr

V tuto chvíli je téměř nemožné předvídat, jakým směrem se bude dopravní sektor v budoucnosti ubírat, avšak s jistotou lze říci, že ho čekají veliké změny. Přechod na jiný druh pohonu či paliva je nevyhnutelný a otázkou pouze zůstává, který bude ten pravý. Žádná z alternativ se nedá považovat za kompletně bezproblémové řešení, tudíž se dá očekávat, že se v budoucnu budeme běžně setkávat s kombinací hned několika různě poháněných automobilů, tak jak je tomu již dnes.

Své místo si určitě najdou i syntetická paliva. Ta nabízejí širokou škálu různých paliv, kde každé z nich je jinak výhodné. Všechna jsou ale použitelná v již existujících spalovacích motorech, což odstraňuje nepříjemnou potřebu měnit vozový park. Při současných podmínkách je však představa pokrytí celého sektoru bezemisními e-palivy nereálná. Samotná technologie produkce syntetických paliv je již prakticky zvládnuta. Hlavním problémem těchto paliv je energetická náročnost, která je spjata s nutností eliminovat veškeré vyprodukované emise. Veškerá spotřebovaná elektřina by tak musela pocházet z elektráren na obnovitelné zdroje, případně těch jaderných, a množství oxidu uhličitého vyprodukovaného spalovacími motory by se muselo rovnat množství odebranému z atmosféry. Způsob zachycování oxidu uhličitého ze vzduchu bohužel prozatím nedosáhl kompletního zdokonalení, ale je předmětem velkého zájmu. Technologické pokroky se dají očekávat i v oblasti elektrolýzy vody pro výrobu vodíku. Cílem je tedy celkové snížení WtW požadované energie syntetických paliv, tak aby se alespoň přiblížila elektromobilům. Díky tomu by se mohlo podařit prodloužit fungování současných automobilů minimálně o pár let. Ovšem své uplatnění mají syntetická paliva i mimo osobní automobily, především by mohla hrát velkou roli v letectví a dálkové dopravě, takže o nich ještě určitě uslyšíme.



## Použitá literatura

- [1] REDAKCE. „IEA: Globální spotřeba ropy vrcholu ještě nedosáhla“. In: Patria.cz [Online]. 25. 05. 2020 Copyright © 1997 [Přístup získán 27.12. 2022].  
Dostupné z: <https://www.patria.cz/zpravodajstvi/4413253/iea-globalni-spotreba-ropy-vrcholu-jeste-nedosahla.html>
- [2] „OECD: oil demand share by sector“. In: Statista.com - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. 2021 Copyright © Statista 2022 [Přístup získán 27.12. 2022]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/307194/top-oil-consuming-sectors-worldwide/>
- [3] „European Green Deal“. In: Consilium.europa.eu [online]. 06.12.2022 [Přístup získán 27.12. 2022]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
- [4] „Zákaz prodeje nových benzinových a naftových aut od roku 2035“. In: Europarl.europa.eu [online]. 16.02.2023 [Přístup získán 27.03. 2022]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20221019STO44572/zakaz-prodeje-novych-benzinovyh-a-naftovyh-aut-od-roku-2035>
- [5] „FACT SHEET: President Biden Announces Steps to Drive American Leadership Forward on Clean Cars and Trucks“. In: Whitehouse.gov [online]. 05.08.2021 [Přístup získán 27.12. 2022]. Dostupné z: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>
- [6] MILEV, George. HASTINGS, Astley. AL-HABAIBEH, Amin. „The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars - A Case study of Scotland“. In: Sciencedirect.com [online]. 04.2021 Copyright © 2021 [Přístup získán 27.12. 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123320300799>
- [7] „Various Advantages and Disadvantages of Electric Cars“. In: Conserve-energy-future.com [Online]. [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-electric-cars.php>
- [8] „EVs will be cheaper than petrol cars in all segments by 2027“. In: Transportenvironment.org [online]. 10.05.2021 Copyright © [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/discover/evs-will-be-cheaper-than-petrol-cars-in-all-segments-by-2027-bnef-analysis-finds/>
- [9] „Náklady na provoz a údržbu elektromobilu“. In: Evexpert.cz [online]. Copyright © 2022 [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/naklady-na-provoz-a-udrzbu-elektromobilu>
- [10] „Overview – Electric vehicles: tax benefits & purchase incentives in the European Union (2022)“. In: acea.auto [Online]. 21.09.2022 [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.acea.auto/fact/overview-electric-vehicles-tax-benefits-purchase-incentives-in-the-european-union-2022/>





- [11] „Trends in electric light-duty vehicles – Global EV Outlook 2022“. In: Iea.org [online]. Copyright ©IEA [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-light-duty-vehicles>
- [12] LÁZŇOVSKÝ, Matouš. KASÍK, Pavel. „Kalkulačka: Kolik elektráren bude Česko potřebovat, až propadne elektrovozům?“. In: Seznamzpravy.cz [online]. 26.07.2021 Copyright © Seznam Zprávy, a.s. [Přístup získán 03.01.2023]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/kalkulacka-kolik-elektren-bude-cesko-potrebovat-az-propadne-elektrovozum-170398>
- [13] LINDER, Martin. NAUCLÉR, Tomas. NEKOVAR, Stefan. a kol. „The race to decarbonize electric-vehicle batteries“. In: Mckinsey.com [online]. 23.02.2023 [Přístup získán 27.02.2023]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries>
- [14] NEBERGALL, Jill. „Hydrogen internal combustion engines and hydrogen fuel cells“. In: Cummins.com [Online]. 27.01.2022 [Přístup získán 27.02.2023]. Dostupné z: <https://www.cummins.com/news/2022/01/27/hydrogen-internal-combustion-engines-and-hydrogen-fuel-cells>
- [15] „Fuel cell electric vehicles stock by region and by mode,2020“. In: Iea.org [online]. 26.10.2022 Copyright ©IEA [Přístup získán 27.02.2023]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/fuel-cell-electric-vehicles-stock-by-region-and-by-mode-2020>
- [16] MANOHARAN, Yogesh. HOSSEINI, Seyed. BUTLER, Brayden. a kol. „Hydrogen Fuel Cell Vehicles; Current Status and Future Prospect“ *Applied Sciences* 9, no. 11: 2296. [Online]. 04.06.2019 [Přístup získán 27.02.2023]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/11/2296>
- [17] SACHEK, Richard. „Toyota’s hydrogen combustion engine has the potential to make EVs obsolete“. In: Topspeed.com [Online]. 27.03.2023 [Přístup získán 27.04.2023]. Dostupné z: <https://www.topspeed.com/toyotas-hydrogen-combustion-engine-has-the-potential-to-make-evs-obsolete/>
- [18] „Výroba vodíku“. In: devinn.cz [online]. 05.08.2019 Copyright © DEVINN s.r.o. 2014 [Přístup získán 27.02.2023]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyroba-vodiku>
- [19] HÄNGGI, Severin. ELBERT, Philipp. CABALZAR, Urs. a kol. „A review of synthetic fuels for passenger vehicles“. In: Sciencedirect.com [Online]. 11.2019 Copyright © 2019 [Přístup získán 07.03.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248471830266X>
- [20] ROSA, Rui Namorado. „The Role of Synthetic Fuels for a Carbon Neutral Economy“ *C 3*, no. 2: 11. [Online]. 20.04.2017 [Přístup získán 07.03.2023]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2311-5629/3/2/11>
- [21] WILSON, Grant. STYRING, Peter. „Why Synthetic Fuels Are Necessary in Future Energy Systems“. In: Frontiersin.org [Online]. 24.07.2017 [Přístup získán 07.03.2023]. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2017.00019/full>



- [22] „The Potential of Synthetic Fuels as a Carbon Neutral Solution“. In: Synfuelsamericas.com [online]. Copyright © 2023 Synfuels Americas. All Right Reserved. [Přístup získán 07.03.2023]. Dostupné z: <https://www.synfuelsamericas.com/the-potential-of-synthetic-fuels-as-a-carbon-neutral-solution/>
- [23] PARMAR, Amandeep. „Repsol, Aramco develop e-fuels plant in Spain“. In: Argusmedia.com [online]. 26.05.2022 [Přístup získán 07.03.2023]. Dostupné z: <https://www.argusmedia.com/en/news/2335341-repsol-aramco-develop-efuels-plant-in-spain>
- [24] „HyCOgen FT Cans Aramco Repsol“ In: Matthey.com [online]. 24.05.2022 Copyright © Johnson Matthey [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z: <https://matthey.com/hycogen-ft-cans-aramco-repsol>
- [25] „Aramco's three-phase plan for 100% synthetic F2/F3 fuel by 2027“. In: The-race.com [online]. 02.09.2022 Copyright © The Race 2023. [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z: <https://the-race.com/junior/aramcos-three-phase-plan-for-100-synthetic-f2-f3-fuel-by-2027/>
- [26] „Porsche’s synthetic fuel | Porsche Lauzon“ In: Porsche.com [Online]. [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z: <https://dealer.porsche.com/ca/lauzon/en-CA/News-and-Events/Carburant-efuel>
- [27] STEVENS, Tim. „Porsche pumps first synthetic fuel as Chilean plant finally starts producing“. In: Techcrunch.com [Online]. 20.12.2022 [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z : [https://techcrunch.com/2022/12/20/porsche-pumps-first-synthetic-fuel-as-chilean-plant-finally-startsproducing/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAA\\_nstYWHAWo7oxRegOdYK4B8OPbCUynagGHXaZnOA4sXN54Axj9iEpvGwiK2R](https://techcrunch.com/2022/12/20/porsche-pumps-first-synthetic-fuel-as-chilean-plant-finally-startsproducing/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAA_nstYWHAWo7oxRegOdYK4B8OPbCUynagGHXaZnOA4sXN54Axj9iEpvGwiK2R)
- [28] BELLWOOD, Owen. „Five Synthetic Fuels That Could Replace Gasoline and Diesel“ In: jalopnik.com [Online]. 23.08.2022 [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z: <https://jalopnik.com/five-synthetic-fuels-that-could-replace-gasoline-and-di-1849446204/slides/1>
- [29] „Synthetic kerosene“ In: Shell.com [online]. [Přístup získán 19.03.2023]. Dostupné z: <https://www.shell.com/business-customers/aviation/the-future-of-energy/sustainable-aviation-fuel/synthetic-kerosene.html>
- [30] STRANGES, Anthony. „Synthetic Fuel Production in Prewar and World War II Japan: A Case Study in Technological Failure“. [Online]. 2003 [Přístup získán 28.03.2023]. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20061215023055/http://www.fischer-tropsch.org/primary\\_documents/presentations/AICHe%202003%20Spring%20National%20Meeting/Paper%2080d%20Stranges%20Japan.pdf](https://web.archive.org/web/20061215023055/http://www.fischer-tropsch.org/primary_documents/presentations/AICHe%202003%20Spring%20National%20Meeting/Paper%2080d%20Stranges%20Japan.pdf)
- [31] „Fischer-Tropsch Synthesis“. In: netl.doe.gov [Online]. [Přístup získán 28.03.2023]. Dostupné z: <https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/ftsynthesis>



- [32] „The Fischer Tropsch Process“. In: azocleantech.com [Online]. 15.03.2013 [Přístup získán 28.03.2023]. Dostupné z: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=385>
- [33] SINGH Harpreet. LI, Chengxi. CHENG, Peng. a kol. „A critical review of technologies, costs, and projects for production of carbon-neutral liquid e-fuels from hydrogen and captured CO<sub>2</sub>“. In: pubs.rsc.org [Online]. 01.09.2022 [Přístup získán 28.03.2023]. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ya/d2ya00173j>
- [34] SHAFER, Wilson D. GNANAMANI, Muthu K. GRAHAM, Uschi M. a kol. „Fischer-Tropsch: Product selectivity - The fingerprint of synthetic fuels“. *Catalysts* 9, no. 3: 259 [Online]. 14.03.2019 [Přístup získán 28.03.2023]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4344/9/3/259>
- [35] BLAŽEK, Josef. RÁBL, Vratislav.: Základy zpracování a využití ropy. 2.vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-619-2
- [36] JAGER, B. „Development of Fischer Tropsch Reactors“. In: Fischer-tropsch.org [Online] 01.04.20003 [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: [https://www.fischer-tropsch.org/primary\\_documents/presentations/AICHe%202003%20Spring%20National%20Meeting/BJager-DvlpFTReactor.pdf](https://www.fischer-tropsch.org/primary_documents/presentations/AICHe%202003%20Spring%20National%20Meeting/BJager-DvlpFTReactor.pdf)
- [37] „Four Types of FT Reactors“. In: Youtube.com [Online]. Copyright © 2023 Google LLC [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=IVLeQKLT8TU&ab\\_channel=BiofuelsEdu](https://www.youtube.com/watch?v=IVLeQKLT8TU&ab_channel=BiofuelsEdu)
- [38] RAUCH, Reinhard. HOFBAUER, Hermann. „From gasification to synthetic fuels via Fischer-Tropsch synthesis“. In: Researchgate.net [Online] 01.2011 [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/268203355\\_From\\_gasification\\_to\\_synthetic\\_fuels\\_via\\_Fischer-Tropsch\\_synthesis](https://www.researchgate.net/publication/268203355_From_gasification_to_synthetic_fuels_via_Fischer-Tropsch_synthesis)
- [39] PFEIFER, Peter. BIFFAR, Linus. Timm, Friedemann. a kol. „Influence of Power-to-Fuel Plant Flexibility Towards Power and Plant Utilization and Intermediate Hydrogen Buffer Size“. *Chemie Ingenieur Technik*, 92: 1976-1982 [Online]. 2020 [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.202000084>
- [40] „Methanol“. In: iea-amf.org [Online]. [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: [https://www.iea-amf.org/content/fuel\\_information/methanol](https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/methanol)
- [41] „Methanol“. In: afdc.energy.gov [Online]. [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: [https://afdc.energy.gov/fuels/emerging\\_methanol.html](https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_methanol.html)
- [42] MARLIN, Dana. SARRON, Emeric. SIGURBJÖRNSSON, Ómar. „Process Advantages of Direct CO<sub>2</sub> to Methanol Synthesis“. In: Frontiersin.org [Online]. 27.09.2018 [Přístup získán 12.04.2023]. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00446/full>



- [43] SARP, Seda. HERNANDEZ, Santiago G. CHEN, Chi. „Alcohol Production from Carbon Dioxide: Methanol as a Fuel and Chemical Feedstock“. In: Sciencedirect.com [Online]. 20.01.2021 Copyright © [Přístup získán 12.04.2023].  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435120305134>
- [44] „Dimethyl Ether“. In: [afdc.energy.gov](https://afdc.energy.gov) [Online]. [Přístup získán 12.04.2023].  
Dostupné z: [https://afdc.energy.gov/fuels/emerging\\_dme.html](https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_dme.html)
- [45] PUTRASARI, Yanuandri. LIM, Ocktaeck. „Dimethyl Ether as the Next Generation Fuel to Control Nitrogen Oxides and Particulate Matter Emissions from Internal Combustion Engines: A Review“. ACS Omega 7(1) 32-37 [Online]. 2022 [Přístup získán 12.04.2023].  
Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.1c03885>
- [46] „Conversion of Methanol to Gasoline“. In: [netl.doe.gov](https://netl.doe.gov) [Online]. [Přístup získán 15.04.2023]. Dostupné z: <https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/methanol-to-gasoline>
- [47] „Synthetic fuels (Methanol to gasoline)“. In: [exxonmobilchemical.com](https://www.exxonmobilchemical.com) [Online]. [Přístup získán 15.04.2023]. Dostupné z: <https://www.exxonmobilchemical.com/en/catalysts-and-technology-licensing/synthetic-fuels>
- [48] WILSON, Tyler. TURAGA, Uday. „MTG: Too much risk to be commercially viable?“. In: [Adi-analytics.com](https://adi-analytics.com) [Online] [Přístup získán 15.04.2023]. Dostupné z: <https://adi-analytics.com/2015/04/06/mtg-too-much-risk-to-be-commercially-viable>
- [49] „Synthetic fuels| Methane-rich gas to gasoline“. In: [Topsoe.com](https://www.topsoe.com) [online]. [Přístup získán 15.04.2023]. Dostupné z: <https://www.topsoe.com/processes/synthetic-fuels/methane-rich-gas-to-gasoline>
- [50] MAJLING, Eduard. „Záporné ceny elektřiny se s rostoucím výkonem obnovitelných zdrojů objevují čím dál častěji“. In: [Oenergetice.cz](https://oenergetice.cz) [Online]. 12.08.2018 [Přístup získán 15.04.2023]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/trh-s-elektřinou/zaporne-ceny-elektřiny-se-rostoucim-vykonem-obnovitelných-zdrojů-objevují-cím-dál-častěji>
- [51] „Základní informace k vodíku“. In: [Hytep.cz](https://www.hytep.cz) [Online]. [Přístup získán 15.04.2023].  
Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>
- [52] „Hydrogen and efuels“. In: [transportenvironment.org](https://www.transportenvironment.org) [Online]. [Přístup získán 15.04.2023].  
Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/challenges/energy/hydrogen-efuels/>
- [53] „The hydrogen colour spectrum“. In: [Nationalgrid.com](https://www.nationalgrid.com) [Online]. Copyright © National Grid 2023 [Přístup získán 18.04.2023]. Dostupné z: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>
- [54] TRAMBA, David. „Bezemisní výroba vodíku: tyrkysová je nová zelená“. In: [Ekonomickydenik.cz](https://ekonomickydenik.cz) [Online]. 21.02.2021 [Přístup získán 18.04.2023].  
Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/bezemisni-vyroba-vodiku-tyrkysova-je-nova-zelena>



- [55] DROBNÝ, Josef. „Výroba vodíku elektrolýzou vody“. [Online]. 19.11.2019 [Přístup získán 18.04.2023]. Dostupné z: <https://hydro-race.eu/V%C3%BDroba-vod%C3%ADku-elektrol%C3%BDzou-vody>
- [56] ZENG, Kai. ZHANG, Dongke. „Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications“ In: Sciencedirect.com [Online]. 06.2010 Copyright © 2010 [Přístup získán 18.04.2023]  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128509000598>
- [57] BRAUNS, Jörn. TUREK, Thomas. „Alkaline Water Electrolysis Powered by Renewable Energy: A Review“ *Processes* 8, no. 2: 248. [Online]. 2020 [Přístup získán 25.04.2023]  
Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/2/248/htm>
- [58] KUMAR, Shiva S. HIMABINDU, V. „Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review“. In: Sciencedirect.com [Online]. 12.2019 Copyright ©2019 [Přístup získán 25.04.2023].  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300035>
- [59] HIBBS, Mark. „Why Europe is looking to nuclear power to fuel a green future“. In: carnegieendowment.org [Online]. 18.02.2022 [Přístup získán 25.04.2023].  
Dostupné z: <https://carnegieendowment.org/2022/02/18/why-europe-is-looking-to-nuclear-power-to-fuel-green-future-pub-86468>
- [60] FROST, Rossie. „Europe is divided on nuclear power: Which countries are for and against it?“. [Online]. 14.03.2023 [Přístup získán 25.04.2023]. Dostupné z: <https://www.euronews.com/green/2023/03/13/europe-is-divided-on-nuclear-power-which-countries-are-for-and-against-it>
- [61] CLIFFORD, Catherine. „Germany has shut down its last three nuclear power plants, and some scientists are aghast“. In: Cnbc.com [Online]. 18.04.2023 [Přístup získán 25.04.2023].  
Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2023/04/18/germany-shuts-down-last-nuclear-power-plants-some-scientists-aghast.html>.
- [62] „Our Technology“. In: carbonengineering.com [Online]. [Přístup získán 25.04.2023]  
Dostupné z: <https://carbonengineering.com/our-technology/>
- [63] „Vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře“. In: Faktaoklimatu.cz [online]. Copyright © 2023 [Přístup získán 25.04.2023]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncentrace-co2>
- [64] JENNIFER, L. „How direct air capture works (and 4 important things about it)“. In: Carboncredits.com [Online]. 02.06.2022 [Přístup získán 25.04.2023].  
Dostupné z: <https://carboncredits.com/how-direct-air-capture-works-and-4-important-things-about-it/>
- [65] LEBLING, Katie. BYRUM, Zach. BRIDGWATER, Liz. a kol. „6 things to know about direct air capture“. In: Wri.org [Online]. 02.05.2022 Copyright © 2023 World Resources Institute [Přístup získán 02.05.2023]. Dostupné z: <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource-considerations-and-costs-carbon-removal>



- [66] BUDINIS, Sara. MCCULLOCH, Samantha. „Direct air capture“. [Online]. Copyright © [Přístup získán 02.05.2023].  
Dostupné z: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/78633715-15c0-44e1-81df-41123c556d57/DirectAirCapture\\_Akeytechnologyfornetzero.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/78633715-15c0-44e1-81df-41123c556d57/DirectAirCapture_Akeytechnologyfornetzero.pdf)
- [67] „Climeworks“. In: mannvit.com [Online]. [Přístup získán 02.05.2023]  
Dostupné z: <https://www.mannvit.com/projects/climeworks-direct-air-capture/>
- [68] „Direct air capture: Using machines to suck CO<sub>2</sub> from the atmosphere“. In: Climatescience.org [Online]. 23.08.2022 [Přístup získán 02.05.2023].  
Dostupné z: <https://climatescience.org/advanced-direct-air-capture>
- [69] MCQUEEN, Noah. MCCORMICK, Colin. BLUMANTHAL, Katharine. „A review of direct aid capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future“. *Prog. Energy* 3 [Online]. 16.04.2021 [Přístup získán 02.05.2023].  
Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/abf1ce/pdf>
- [70] SERVICE Robert. „Cost plunges for capturing carbon dioxide from the air“. In: science.org [Online]. 07.06.2018 [Přístup získán 02.05.2023].  
Dostupné z: <https://www.science.org/content/article/cost-plunges-capturing-carbon-dioxide-air>
- [71] BLUM, Jordan. „Exxon Mobil invests in Global Thermostat carbon capture technology“. In: Chron.com [Online]. 27.06.2019 [Přístup získán 02.05.2023].  
Dostupné z: <https://www.chron.com/business/energy/article/Exxon-Mobil-invests-Global-Thermostat-carbon-14055218.php>
- [72] CZAPLA, Karolina. „Czech Republic CO<sub>2</sub> emissions“. In: Tergo.io [Online]. [Přístup získán 02.05.2023]. Dostupné z: <https://tergo.io/your-carbon-footprint/countries/czech-republic/>
- [73] LARSSON, Mårten. GRÖNKVIST, Stefan. ALVFORS, Per. „Synthetic Fuels from Electricity for the Swedish Transport Sector: Comparison of Well to Wheel Energy Efficiencies and Costs“. In: Sciencedirect.com [Online]. 08.2015 Copyright ©2015 [Přístup získán 22.05.2023]  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215009376>
- [74] KRAMER, Ulrich. BOTHE, David. GATZEN, Christoph. a kol. „Future Fuels: FVV Fuels Study IV“. [Online]. 30.09.2021 [Přístup získán 22.05.2023] Dostupné z: [https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/020.50\\_Sechs\\_Thesen\\_zur\\_Klimaneutralitaet\\_des\\_europaeischen\\_Verkehrssektors/FVV\\_\\_Future\\_Fuels\\_\\_StudyIV\\_The\\_Transformation\\_of\\_Mobility\\_\\_H126\\_9\\_2021-10\\_\\_EN.pdf](https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/020.50_Sechs_Thesen_zur_Klimaneutralitaet_des_europaeischen_Verkehrssektors/FVV__Future_Fuels__StudyIV_The_Transformation_of_Mobility__H126_9_2021-10__EN.pdf)
- [75] RIVERA Alfredo. „Global Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020 and Preliminary 2021 Estimates“. In: rhg.com [online]. 19.12.2022 Copyright © 2023 Rhodium Group, LLC [Přístup získán 22.05.2023]. Dostupné z: <https://rhg.com/research/global-greenhouse-gas-emissions-2021/>



- [76] „Distribution of carbon dioxide emissions produced by the transportation sector worldwide in 2021, by subsector“. In: Statista.com - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. 10.2022 Copyright © Statista 2022 [Přístup získán 22.05.2023]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown/>
- [77] RITCHIE, Hannah. ROSER, Max. „CO<sub>2</sub> and greenhouse emissions“. In: Ourworldindata.org [Online]. 2020 [Přístup získán 22.05.2023]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- [78] REDAKCE. „Top 10 čínských výrobců pokrylo 90% poptávky po solárních panelech v roce 2022“. In: Solarninovinky.cz [Online]. 09.03.2023 [Přístup získán 22.05.2023]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/top-10-cinskych-vyrobcu-pokrylo-90-poptavky-po-solarnich-panelech-v-roce-2022/>
- [79] BRUCKNER, Thomas. FULTON, Lew. HERTWICH, Edgar. a kol. „Technology-specific cost and performance parameters - Annex 3“. [Online]. 2014 [Přístup získán 22.05.2023]. Dostupné z: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-iii.pdf#page=7](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf#page=7)
- [80] HYDROGEN COUNCIL. „Hydrogen insights“. McKinsey and Company In: Efuel-alliance.eu [Online]. 02.2021 [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: <https://www.efuel-alliance.eu/fileadmin/Downloads/Hydrogen-Insights-2021-komprimiert.pdf>
- [81] HAMBURG, Steven. OCKO, Ilissa. „For hydrogen to be a climate solution, leaks must be tackled“. In: Edf.org [Online]. [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: <https://www.edf.org/blog/2022/03/07/hydrogen-climate-solution-leaks-must-be-tackled>
- [82] FAN, Zhiyuan. SHEERAZI, Hadia. BHARDWAJ, Amar. a kol. „Hydrogen leakage: A potential risk for the hydrogen economy“. In: Columbia.edu [Online]. 05.07.2022 [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/hydrogen-leakage-potential-risk-hydrogen-economy/>
- [83] „Direct air capture: The dire climate consequences of capturing carbon from the atmosphere“. In: Foodandwaterwatch.org [Online]. 01. 2023 [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: [https://www.foodandwaterwatch.org/wp-content/uploads/2023/01/FSW\\_2212\\_DirectAirCapture.pdf](https://www.foodandwaterwatch.org/wp-content/uploads/2023/01/FSW_2212_DirectAirCapture.pdf)
- [84] National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. 2019. „Negative emission technologies and reliable sequestration: A research agenda“. Washington, DC: The National Academies Press
- [85] „Spotřeba pohonných hmot v ČR“. In: Capps.cz [Online]. Copyright © 2021 ČAPPO [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: <https://www.capps.cz/cisla-a-fakta/spotreba-pohonnnych-hmot-v-cr>
- [86] „Tabulka výhřevnosti paliv“. In: okhelp.cz [online]. Copyright © 2009 [Přístup získán 29.05.2023]. Dostupné z: <https://www.okhelp.cz/voda-topeni/tabulka-vyhrevnosti-paliv-id-205/>



- [87] „Elektrina v ČR: výroba, spotřeba a emise“. In: Faktaoklimatu.cz [online]. Copyright © 2023 [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/elektrina-cr>
- [88] PRESS RELEASE. „A lighthouse project at the southern tip of Chile: Production starts at the world’s first industrial-scale facility for carbon-neutral fuel“. In: Siemens-energy.com [Online]. 20.12.2022 [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/lighthouse-project-southern-tip-chile-production-starts-worlds-first-industrial-scale>
- [89] „Haru Oni: Fuel from Wind and Water“. In: Hydrogencouncil.com [online]. 14.10.2022 Copyright © Siemens Energy [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://hydrogencouncil.com/en/haru-oni-fuel-from-wind-and-water/>
- [90] „Haru Oni - Demonstration plant“. In: Hifglobal.com [online]. Copyright © 2023 HIF Global [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://hifglobal.com/location/haru-oni/>
- [91] COLLINS, Leigh. „First e-fuel made from green hydrogen and CO2 is 100 times more expensive than petrol, but costs should plummet“. In: Hydrogeninsight.com [Online]. 21.03.2023 [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/first-e-fuel-made-from-green-hydrogen-and-co2-is-100-times-more-expensive-than-petrol-but-costs-should-plummet/2-1-1423373>
- [92] „Costs & Outlook - eFuel Alliance“. In: efuel-alliance.eu [online]. Copyright © 2022 [Přístup získán 30.05.2023]. Dostupné z: <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/costs-outlook>





## Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení spotřeby ropy v roce 2020 dle OECD [2].....	9
Obrázek 2: Počet nově registrovaných elektrických aut v Číně, USA, EU a dalších regionech [11].....	11
Obrázek 3: Celkový počet elektrických automobilů ve světě [11].....	11
Obrázek 4: Porovnání procentuálního zastoupení vyprodukovaného CO <sub>2</sub> při výrobě vozů [13]....	12
Obrázek 5: Celkový počet vodíkových vozidel dle typu ve světě v roce 2020 [15] .....	13
Obrázek 6: Schéma produkce syntetických paliv [22] .....	14
Obrázek 7: Schéma trubkového reaktoru ARGE [38].....	17
Obrázek 8: Schéma fluidního reaktoru se separátorem [35] .....	18
Obrázek 9: Schéma suspenzního reaktoru [35].....	19
Obrázek 10: Schéma výroby E-benzinu z methanolu [48].....	21
Obrázek 11: Schéma alkalické elektrolýzy [55].....	24
Obrázek 12: Čas potřebný k uvedení elektrolyzáru do provozu [33].....	25
Obrázek 13: Schéma PEM elektrolýzy [58].....	25
Obrázek 14: Spotřeba elektrické energie v závislosti na velikosti elektrolyzáru [33] .....	26
Obrázek 15: Schéma elektrolyzáru poháněného solární energií s doplňkovým usměrňovačem [57] .....	26
Obrázek 16: Schéma elektrolyzáru poháněného větrnou energií s nezbytným usměrňovačem [57].....	27
Obrázek 17: Fungující továrna na CO <sub>2</sub> na Islandu ORCA [67] .....	29
Obrázek 18: Schéma DAC s tuhým adsorbentem [69] .....	29
Obrázek 19: Render komerčních jednotek s větráky od firmy Carbon Engineering [70] .....	30
Obrázek 20: Světová produkce emisí dle sektorů v roce 2020 [75].....	32
Obrázek 21: Spotřeba elektrické energie u výroby syntetické FT nafty [74].....	36
Obrázek 22: Největší továrna na syntetická paliva v Chile – Haru Oni [88] .....	36
Obrázek 23: Schéma továrny Haru Oni [89].....	37
Obrázek 24: Plán zvyšování podílu syntetické složky v palivech a poklesu výrobních nákladů [92].....	38
Obrázek 25: Předvídané ceny benzínu a nafty do roku 2050 [92] .....	38



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Typické složení produktů FT syntézy v hm.% [35].....	17
Tabulka 2: Vlastnosti vyráběného benzínu uvedené firmou ExxonMobil [47] .....	21
Tabulka 3: Emisní faktory typů elektráren odpovídající emisím v gramech CO <sub>2</sub> na kWh [79].....	33