

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Alternativní pohony motorových vozidel

(Bakalářská práce)



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání bakalářské práce

studentka	Iva Zíková
studijní program	Logistika
obor	Dopravní logistika

Vedoucí Katedry bakalářského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v bakalářském studijním programu určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu: **Alternativní pohony motorových vozidel**

Cíl práce:

Analyzovat problematiku alternativních zdrojů energie pro pohon silničních motorových vozidel a navrhnout využívání perspektivních paliv a inovačních pohonných technologií.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Bakalářskou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Energetická a ekologická problematika mobility 21. století
2. Přehled alternativních zdrojů energie pro pohon motorových vozidel
3. Perspektivní paliva a inovační pohonné technologie
4. Zhodnocení

Závěr

Rozsah práce: 35 – 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. První vydání. Praha: Grada, ©2012. 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1

KAMEŠ, Josef. Alternativní palivo = vodík. První vydání. Praha: ČVUT, ©2008. 283 s. ISBN 978-80-254-1686-0

KAMEŠ, Josef. Hybridní a elektrický pohon automobilů. 2. Vydání. Praha: Kameš Josef, ©2015. 269 s. ISBN 2013-11-14-1

VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Vlk František, ©2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Turek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

31. 10. 2017

Datum odevzdání bakalářské práce:

5. 5. 2018

Přerov 31. 10. 2017



Ing. et Ing. Iveta Dočkalíková, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivan Hlavoň, CSc.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a že jsem ji vypracovala samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušila autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byla také seznámena s tím, že se na mou bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byla poučena o tom, že bakalářská práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované bakalářské práce v její tištěné i elektronické verzi. Tímto prohlášením souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

V Přerově, dne 05. 05. 2018

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala panu Ing. Michalovi Turkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi během vypracovávání této bakalářské práce vždy ochotně poskytoval. Děkuji také svému manželovi za jeho podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá hledáním perspektivních alternativních pohonů silničních motorových vozidel. Zaměřuje se na důvody, jež nás vedou k hledání jiných zdrojů energie než ty, které se momentálně v dopravě využívají. Práce vytváří ucelený přehled nejběžněji používaných pohonných systémů, u nichž jsou uvedeny jejich základní charakteristiky, výhody, nevýhody a problémy spojené s jejich využitím ve vozidlech. Aby bylo možné objektivně posoudit a zvolit nejvhodnější alternativní palivo budoucnosti, je v práci také kladen důraz na způsob jejich výroby.

Klíčová slova

alternativní pohon, elektromobil, hybridní pohon, vodík, palivový článěk, ropa

Annotation

This bachelor thesis deals with the search for prospective alternative drives of road motor vehicles. It focuses on the reasons that make us search for other sources of energy than those currently used in transport. The thesis provides a comprehensive overview of the most commonly used propulsion systems, showing their basic characteristics, advantages, disadvantages, and problems related to their use in vehicles. In order to objectively consider and select the most suitable alternative fuel for the future, the work also focuses on the ways they are produced.

Keywords

alternative drive, electro mobile, hybrid drive, hydrogen, full cell, oil

Obsah

Seznam ilustrací a tabulek	10
Seznam zkratek a značek	12
Úvod.....	15
1 Energetická a ekologická problematika mobility 21.století.....	16
1.1 Omezené zdroje energie.....	16
1.2 Černé zlato a jeho budoucnost	17
1.3 Životní prostředí.....	19
1.4 Emise a jejich vliv na zdraví	20
1.4.1 Program ZEV	22
1.4.2 Protokol Kyoto.....	23
1.4.3 Program Evropské komise	24
2 Přehled alternativních zdrojů energie pro pohon motorových vozidel	25
2.1 Biogenní paliva	25
2.1.1 Bioplyn.....	25
2.1.2 Bionafta a rostlinné oleje	26
2.1.3 Paliva s využitím alkoholů.....	27
2.2 Vozidla na LPG.....	29
2.3 Vozidla na zemní plyn CNG, LNG.....	29
2.4 Elektrická vozidla na baterie.....	33
2.4.1 Elektromotory	34
2.4.2 Stejnoseměrné elektromotory	34
2.4.3 Asynchronní motor	35
2.4.4 Transversální motor	35
2.4.5 Řízený reluktanční motor.....	35
2.4.6 Stejnoseměrný motor bez kartáčů.....	36

2.4.7	Srovnání různých koncepcí elektromotorů	36
2.5	Bateriové systémy a energetické zásobníky.....	37
2.5.1	Baterie nikl-kadmium (Ni-Cd).....	37
2.5.2	Olověný akumulátor.....	38
2.5.3	Baterie nikl-metalhydridová (Ni-MH).....	38
2.5.4	Baterie lithium-iontová (Li-Ion)	39
2.5.5	Baterie lithium-polymer (Li-Pol).....	39
2.5.6	Baterie vysokoteplotní	39
2.5.7	Baterie zinek-vzduch	40
2.6	Vozidla s hybridním pohonem.....	41
3	Perspektivní paliva a inovační pohonné technologie	42
3.1	Palivový článek	42
3.2	Typy palivových článků.....	43
3.2.1	Alkalický palivový článek (AFC).....	44
3.2.2	Palivové články s polymerní membránou (PEM-FC).....	44
3.2.3	Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC).....	45
3.2.4	Palivový článek s roztavenými uhličitany (MCFC).....	45
3.2.5	Palivový článek s tuhými oxidy (SOFC)	45
3.2.6	Palivový článek pro přímou reakci metanolu (DMFC)	46
3.2.7	Palivový článek zinek-vzduch (ZAFC)	46
3.2.8	Regenerativní palivový článek (RFC)	46
3.3	Palivové články vhodné pro automobilový průmysl.....	46
3.4	Vodík.....	47
3.4.1	Výroba vodíku	47
3.4.2	Skladování a distribuce vodíku.....	50
4	Zhodnocení.....	51
4.1	Srovnání parametrů vybraných typů vozidel s alternativními pohony	51

4.2 Well to Wheels analýza.....	56
4.3 Celkové shrnutí	61
Závěr	63
Soupis bibliografických citací	64

Seznam ilustrací a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1.1	Těžba ropy v jednotlivých částech světa a prognóza	19
Obr. 1.2	Podíl lidské činnosti na skleníkovém efektu	21
Obr. 2.1	Schéma rychloplnící stanice	32
Obr. 2.2	Schéma pomaluplnící stanice	32
Obr. 2.3	Olověný akumulátor	38
Obr. 3.1	Schéma transformace energie	43
Obr. 3.2	Princip činnosti	43
Obr. 3.3	Procentuální podíl různých surovin na výrobě vodíku.....	48
Obr. 3.4	Znázornění reakcí při S-I cyklu.....	50
Obr. 4.1	Porovnání výkonů elektromobilů	52
Obr. 4.2	Porovnání kapacity akumulátorů u elektromobilů	52
Obr. 4.3	Porovnání doby nabíjení akumulátorů u elektromobilů	52
Obr. 4.4	Porovnání zrychlení vozidla u elektromobilů.....	53
Obr. 4.5	Porovnání pořizovací ceny vozidla u elektromobilů	53
Obr. 4.6	Porovnání výkonů elektromotoru a spalovacího motoru u hybridního pohonu	54
Obr. 4.7	Porovnání produkce emisí CO ₂ u hybridních pohonů.....	54
Obr. 4.8	Porovnání spotřeby paliva u hybridních pohonů.....	54
Obr. 4.9	Porovnání pořizovací ceny vozidla u hybridních pohonů	55
Obr. 4.10	Porovnání závislosti produkce emisí CO ₂ a výkonu motoru u vozidel na CNG	55
Obr. 4.11	Porovnání závislosti produkce emisí CO ₂ a výkonu motoru u vozidel na LPG	56
Obr. 4.12	Pořizovací cena vozidel na CNG a LPG	56
Obr. 4.13	Relativní porovnání celkové spotřeby energie a energie z fosilních zdrojů (WTW _{fos.}) vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW).....	57

Obr. 4.14	Relativní porovnání celkové spotřeby energie a energie z fosilních zdrojů (WTW _{fos.}) konvenčních paliv a vodíku ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW).....	58
Obr. 4.15	Porovnání výrobních nákladů pro různá alternativní paliva a různé způsoby jejich výroby v závislosti na ceně ropy	59
Obr. 4.16	Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby vodíku v závislosti na ceně ropy	59
Obr. 4.17	Celkové emise CO ₂ spojené s výrobou a spotřebou vybraných alternativních paliv vztažené na využitelný energetický obsah	60
Obr. 4.18	Celkové emise CO ₂ spojené s výrobou a spotřebou vodíku vztažené na využitelný energetický obsah	61

Seznam tabulek

Tab. 2.1	Ekonomické porovnání různých pohonů Opel Zafira.....	31
Tab. 2.2	Porovnání různých koncepcí elektromotorů	36
Tab. 2.3	Přehled parametrů jednotlivých typů baterií (* prognóza)	40

Seznam zkratek a značek

AFC	alkalický palivový článek (z angl. Alkaline Fuel Cell)
CH ₄	metan
CNG	stlačený zemní plyn (z angl. Compressed Natural Gas)
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
DMFC	palivový článek pro přímou reakci metanolu (z angl. Direct Methanol Fuel Cell)
EHK	Evropská hospodářská komise
ES	Evropské společenství
EUGT	Evropské výzkumné sdružení pro životní prostředí a zdraví v dopravním sektoru
FAME	Metylester z živočišných tuků (z angl. Falty-Acid-Methyl-Ester)
GHG plyny	skleníkové plyny (z angl. Green-House-GAS)
H ⁺	proton vodíku
H ₂	vodík
H ₂ O	molekula vody
HC	uhlovodíky
IKL	ropovod Ingolstadt (oficiální zkratkou IKL vznikla podle plánované trasy Ingolstadt-Kralupy nad Vltavou-Litvínov, často se v této souvislosti používá i MERO jako zkratka německého Mitteleuropäische Rohölleitung (přivádí do Česka arabskou ropu)
KOH	hydroxid draselný
LiCoO ₂	lithium kobalt oxid
Li-Ion	baterie lithium-iontová
Li ₂ MnO ₂	lithium mangan oxid
LiNiO ₂	lithium nikl dioxid
LiPF ₆	lithium hexafluorofosfát
Li-Pol	baterie lithium-polymer
LNG	zkapalněný zemní plyn (z angl. Liquefied Natural Gas)
LPG	propan-butan (z angl. Liquefied Petroleum Gas)

MCFC	palivový článek s roztavenými uhličitany (z angl. Molten Carbonate Fuel Cells)
MEŘO	Metylester řepkového oleje
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (z angl. National Aeronautics and Space Administration)
Ni-Cd	baterie nikl-kadmium
Ni-MH	baterie nikl-metalhydridová
NO ₂	oxid dusičitý
NO _x	souhrnné označení pro oxidy dusíku
O ₂	kyslík
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (zkráceně OECD z angl. Organisation for Economic Co-operation and Development)
OH ⁻	hydroxid
OPEC	Organizace zemí vyvážejících ropu (zkráceně OPEC z angl. Organization of the Petroleum Exporting Countries) je mezivládní organizace sdružující 14 zemí exportujících ropu
OSN	Organizace spojených národů (z angl. United Nations, zkráceně OSN nebo UN, je mezinárodní organizace, jejímiž členy jsou téměř všechny státy světa a jejím cílem je zachování mezinárodního míru)
PAFC	palivový článek s kyselinou fosforečnou (z angl. Phosphoric Acid Fuel Cell)
Pb	olovo
PEM-FC	palivový článek s polymerní membránou (z angl. Proton-Exchange Membrane Fuel Cells)
PM	částice sazí, které způsobují mechanické dráždění
RFC	regenerativní palivový článek (z angl. Regenerative Fuel Cells)
RME	Metylester řepkového oleje (z angl. Raps-Methyl-Ester)
SME	Metylester slunečnicového oleje (z angl. Sunflower-Methyl-Ester)
SO ₂	oxid siřičitý
SO ₃	oxid sírový
SOFC	palivový článek s tuhými oxidy (z angl. Solid Oxide Fuel Cells)
SOME	Metylester ze sóji (z angl. Soya-Methyl-Ester)

TAL	ropovod, je spravován společenstvím TAL Group, vede z Italského přístavu Terst přes Rakousko a Německo k hranicím s Francií
TTW	z nádrže na kola (z angl. Tank to Wheels)
USA	Spojené státy americké
UV-zářen	Ultrafialové záření (UV z angl. Ultraviolet)
VUOME	Metylester z použitých fritovacích olejů (z angl. Vaste Used Oil-Methyl-Ester)
WTT	od zdroje do nádrže (z angl. Well to Tank)
WTW	od zdroje na kola (z angl. Well to Wheells)
WTW _{fos.}	podíl energie z fosilních zdrojů
ZAFC	palivový článek zinek-vzduch (z angl. Zinc-Air Fuel Cells)
ZEV	Zero Vision Vehicle je program, jehož cílem je zvýšit prodej elektrovozidel
ZnO ₂	oxid zinečnatý

Úvod

Mobilita byla ve všech epochách lidstva centrem denního hospodářského života a jiné to není ani v 21. století. Doprava hraje ve spotřebě energie a tvorbě škodlivých emisí významnou úlohu. Všichni navíc chceme využívat mobilitu svých aut a veřejných dopravních prostředků i v budoucnosti, což je za stávajících podmínek dlouhodobě neúnosné. V brzké době lze očekávat pokles těžby fosilních zdrojů a vzrůst jejich ceny, což je jedním z důvodů intenzivního hledání tzv. alternativních paliv.

Záměrem této bakalářské práce je zhodnotit alternativní pohony silničních motorových vozidel a nalézt odpověď na otázku, které palivo je z hlediska udržitelného rozvoje lidské společnosti nejvhodnější.

V první části práce jsou uvedeny nejzávažnější důvody, které nás vedou k hledání jiných zdrojů energie pro dopravní odvětví. V následující kapitole této bakalářské práce jsou stručně charakterizována již zavedená alternativní paliva, včetně uvedení jejich výhod a nevýhod oproti klasickému benzínu a motorové naftě. Třetí část práce je věnována představení inovačních technologií a základních koncepcí, které jsou v současnosti vyvíjeny. Poslední kapitola bakalářské práce je převážně analytického charakteru. Zabývá se porovnáním a zhodnocením jednotlivých alternativních pohonů z různých hledisek, přičemž je kladen velký důraz i na způsob získání jednotlivých paliv. V závěru práce si dovoluji vyslovit své názory a prognózy ohledně nejpravděpodobnějšího paliva budoucnosti.

1 Energetická a ekologická problematika mobility 21.století

Vyčerpání fosilních paliv, růst světové populace i nároků jednotlivců na energii, prohlubující se závislost civilizace na spolehlivé dodávce energie, ohrožení biosféry, na kterém se doprava výrazně podílí a nerovnoměrnosti zdrojů i spotřeba neobnovitelných zdrojů energie – to vše je realita začátku 21. století. Za uplynulé půlstoletí narostla spotřeba neobnovitelných zdrojů energie několikanásobně. [10]

Celosvětový nárůst spotřeby primární energie je o 1,6 % ročně, přičemž za polovinu zvětšení této spotřeby nesou odpovědnost ekonomické velmoci, jako jsou Čína a Indie. V současné době Čína postaví každý týden novou uhelnou elektrárnu. Tento plán jasně signalizuje, že Čína bude v budoucnu největším spotřebitelem primární energie. Velká část této zvyšující se poptávky po energii v asijsko-tichomořské oblasti může být pokryta z původních zdrojů, avšak nestabilita tohoto regionu může vnést hrozby do budoucnosti zásobování energií. Již dnes jsou některé ekonomiky kompletně závislé na dovážené energii, a proto je jasné že budoucnost energie bude velmi rozmanitá.

1.1 Omezené zdroje energie

První použitelné palivo, které začal člověk využívat, bylo dřevo. Bylo to palivo, které bylo prakticky všude dostupné, a hlavně bylo obnovitelné. Avšak první průmyslová revoluce v druhé polovině 18. století s sebou přinesla nemalé změny. Dřevo už neposkytovalo požadovanou výhřevnost, a tak se lidé zaměřili na využívání fosilních zdrojů. V období druhé průmyslové revoluce, která přišla asi 100 let po první, nastala éra elektrifikace a motorizace. Jedním z přelomových vynálezů této doby byl i spalovací motor, který člověku sice velmi pomohl ve vývoji, ale zároveň zvýšil spotřebu fosilních zdrojů.

Pod pojmem fosilní zdroj se rozumí nerostná surovina, která vznikla už v dávných dobách, a to přeměnou odumřelých rostlin a těl živočichů za nepřítomnosti vzduchu. Řadí se sem především ropa, zemní plyn a uhlí. Fosilní paliva představují pouze omezený zdroj energie a ve vyspělých zemích je snaha od jejich užívání ustupovat a nahrazovat je obnovitelnými zdroji. Důvody jsou nejen ekologické ale i ekonomické a strategické. V energetice jsou již fosilní paliva běžně nahrazována například energií větrnou, vodní

nebo solární. Avšak v dopravě se stále v hojné míře používají fosilní paliva v podobě rafinované ropy nebo zemního plynu, ale plně využitelná alternativní energie pro pohon silničních motorových vozidel je zatím otázkou budoucnosti. Velkou výhodou fosilních paliv je již zavedená síť čerpacích stanic a dobře fungující zásobování, což se ještě nedá říci například o nabíjecích stanicích pro elektromobily. Jejich počet sice v České republice neustále roste, ale jejich četnost není stále dostačující. Od fosilních paliv se neustupuje jen kvůli jejich neobnovitelnosti ale i z ekologických důvodů, a to nejen kvůli emisím (SO_3 a Nox) ale i kvůli způsobu, jakým se fosilní paliva získávají. Ropné plošiny, tankery, ropovody, plynovody, ale i povrchové a hlubinné doly se mnohokrát staly zdrojem i velmi závažných sporů, a to i na mezinárodní úrovni.

Ze zkušeností získaných v průběhu dekad lidského vývoje vyplývá, že při rozvoji lidských civilizací, společností a průmyslu trvá reorientace z jednoho zdroje energie na nový zdroj nebo jiný soubor zdrojů přibližně 60 let. Okolo 60 let trval přechod ze dřeva na uhlí. Následně dalších 60 let (od roku 1910 do roku 1970) trval přechod ze závislosti na uhlí k závislosti na ropě a zemním plynu, ačkoli uhlí zůstalo důležitým palivem pro výrobu elektrické energie. Velká část světa se zaměřila na využívání fosilních paliv jako by fosilní paliva byla dostupná navěky a jako by jakákoli další změna zdrojů energie byla úkolem příštích generací, a nikoliv generací současných. V současnosti se stává stále zřejmější, že dosud neomezované spalování fosilních paliv naráží na environmentální meze, jejichž překročení může mít obrovské negativní ekonomické dopady na všechny státy. [11]

1.2 Černé zlato a jeho budoucnost

Černé zlato, tedy ropa, je hnědá (někdy nazelenalá) hořlavá kapalina tvořená směsí uhlovodíků (především alkanů), která vznikla přibližně v jurském období anaerobní fermentací odumřelých řas a bakterií. Nachází se například ve svrchních vrstvách zemské kůry.

Ropa se podílí asi 40 % na světové spotřebě energie, a v současnosti je nejdůležitějším nosičem energie světového hospodářství. Celkový potenciál konvenční ropy je podle různých geologických odhadů asi 350 miliard tun. Tento celkový potenciál se dělí na 40 % již spotřebovaný (vytěžený) podíl, 40 % rezervy (známé naleziště při dnešní technologii hospodárně těžené) a 20 % ještě nenalezené zásoby. V tomto odhadu jsou

rovněž značné nekonvenční podíly složek ropy, jako těžké oleje, olejové jíly a syntetické nafty vyrobené ze zemního plynu nebo uhlí. [9]

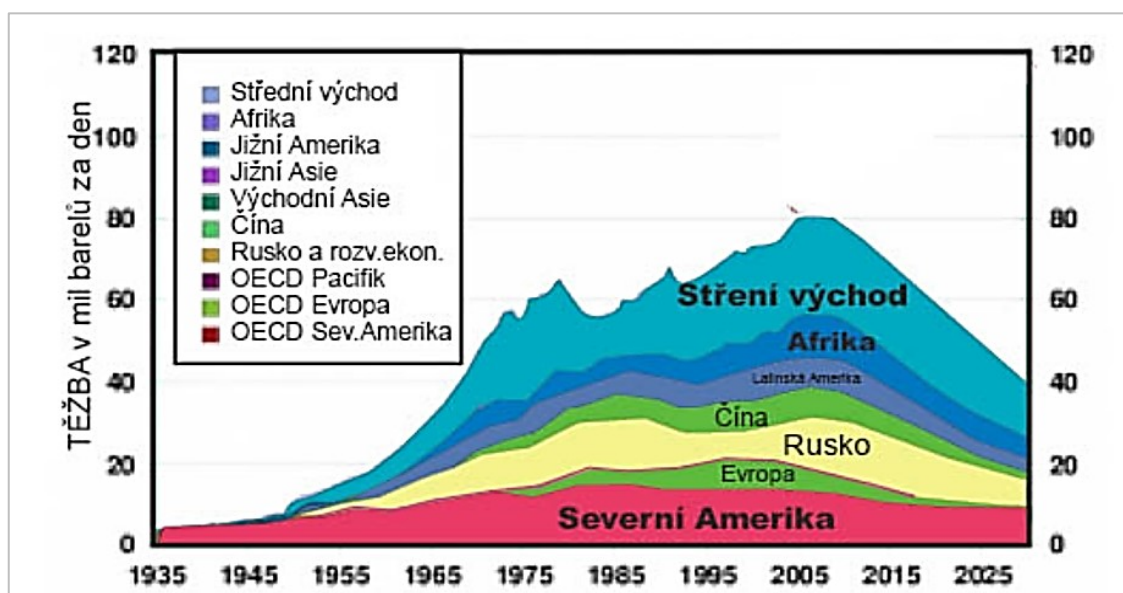
„Hubbertova teorie ropného vrcholu, tzv. peak oil, je teorie zabývající se dlouhodobými předpověďmi spotřeby a vyčerpání ropy. Tvrdí, že jelikož zdroje ropy jsou neobnovitelné, musí úroveň těžby ropy nevyhnutelně dosáhnout svého vrcholu a poté začít klesat. Těžba ropy podle této teorie sleduje tzv. Hubbertovu křivku (podobnou Gaussově křivce). Nejvíce diskutované je na této teorii datum, kdy má tento vrchol nastat. Geolog M. King Hubbert, otec této teorie, sledoval těžbu ropy ve Spojených státech od 50. let 20. století. Zpozoroval, že nejvíc amerických ropných nalezišť bylo nalezeno počátkem 30. let 20. století a předpověděl, že těžba ropy v USA dosáhne vrcholu okolo roku 1970. V roce 1971 dosáhla skutečně těžba ropy v USA svého vrcholu a od té doby v souladu s touto teorií klesá. Poté, co těžba ropy v USA začala upadat, začal ceny ropy diktovat ropný kartel OPEC, což vedlo k první ropné krizi v roce 1973. Do dnešní doby dosáhlo vrcholu těžby mnoho oblastí, např. Severní moře v roce 1999 (nyní klesá produkce tempem 10–12 % za rok).“ [4]

Podobné výsledky potvrdila i Čína a Mexiko. Výše uvedená teorie neříká že po prvním vrcholu ropa náhle dojde, ale že se její těžba bude postupně snižovat. Těžba ropy začala ve větším měřítku před zhruba 100 lety a dá se očekávat že by stejnou dobu mohla pokračovat i po dosažení vrcholu, ale ten se stanovuje v jednotlivých regionech velice složitě. Ve světě není sledována pouze křivka spotřeby ropy, ale také křivka objevů nových ropných nalezišť.

Křivka objevů nových ropných nalezišť dosáhla svého vrcholu v 60. letech minulého století a od té doby neustále klesá. Od roku 1980 spotřebovává lidstvo každý rok více ropy, než činí nové objevy (viz obr. 1.1). Dalším argumentem je, že po roce 2005 začala dramaticky klesat příprava projektů na její těžbu. Důvodem jsou neustále se zvyšující náklady na její získání, jelikož v současnosti je ropa těžitelná na stále méně dostupných místech. [4]

Z globálních poznatků lidstva pak jednoznačně vyplývá, že na produktech z ropy je závislých až 90 % dopravy a z velké části i průmysl. Existují různé scénáře, kdy bude neobnovitelný zdroj vyčerpán. V tento okamžik nedojde ropa zcela, ale její těžba se stane ekonomicky neefektivní. S úplným vyčerpáním zásob ropy počítají odborníci za více než 100 let, ale také předpovídají čím dál častější výkyvy její ceny.

Obr. 1.1 Těžba ropy v jednotlivých částech světa a prognóza



Zdroj: [23]

Hlavním zdrojem ropy pro Českou republiku jsou naleziště v Ruské federaci. Ruská ropa s vysokým podílem síry do České republiky proudí z Ruska jižní větví ropovodu Družba přes Bělorusko, Ukrajinu a Slovensko. Ropy z ostatních zdrojů, často s vyšším podílem parafínu, se dodávají prostřednictvím ropovodu IKL. Ten začíná v bavorském Vohburgu poblíž Ingolstadtu, kde je napojen na ropovod TAL, dopravující ropu přes Alpy z terminálu v italském Terstu na pobřeží Jaderského moře. Malou část své spotřeby pokrývá Česká republika vlastními zdroji z nalezišť na Jižní Moravě. [20]

1.3 Životní prostředí

Politika životního prostředí se ve vyspělých státech světa v posledních desetiletích výrazně změnila a měnit se bude i nadále, neboť zvyšující se zatěžování životního prostředí nemá vliv pouze na svět fauny a flory, ale také na zdraví člověka. Ještě v minulém století byla ochrana životního prostředí řazena mezi regionální úkoly, ale modernizace a globalizace přinesla změnu a ochrana životního prostředí se dostává do popředí a nediskutuje o ní jen veřejnost v pozadí, ale i politikové na nadnárodní úrovni.

V České republice je stav životního prostředí pravidelně sledován a hodnocen v rámci hodnotících a statistických zpráv, a to zejména Zprávy o životním prostředí, která je předkládána vládou Poslanecké sněmovně Parlamentu ČR a Statistické ročenky životního

prostředí ČR. Obě hodnotící zprávy obsahují informace o stavu životního prostředí v minulých letech a jsou k dispozici i veřejnosti. V uvedených dokumentech jsou shrnuty aktuální poznatky o stavu a vývoji jednotlivých složek životního prostředí, vlivu hospodářských sektorů na životní prostředí, nástrojích politiky životního prostředí, dopadech současného stavu životního prostředí na lidské zdraví a ekosystémy a o stavu životního prostředí v mezinárodním kontextu. [19]

1.4 Emise a jejich vliv na zdraví

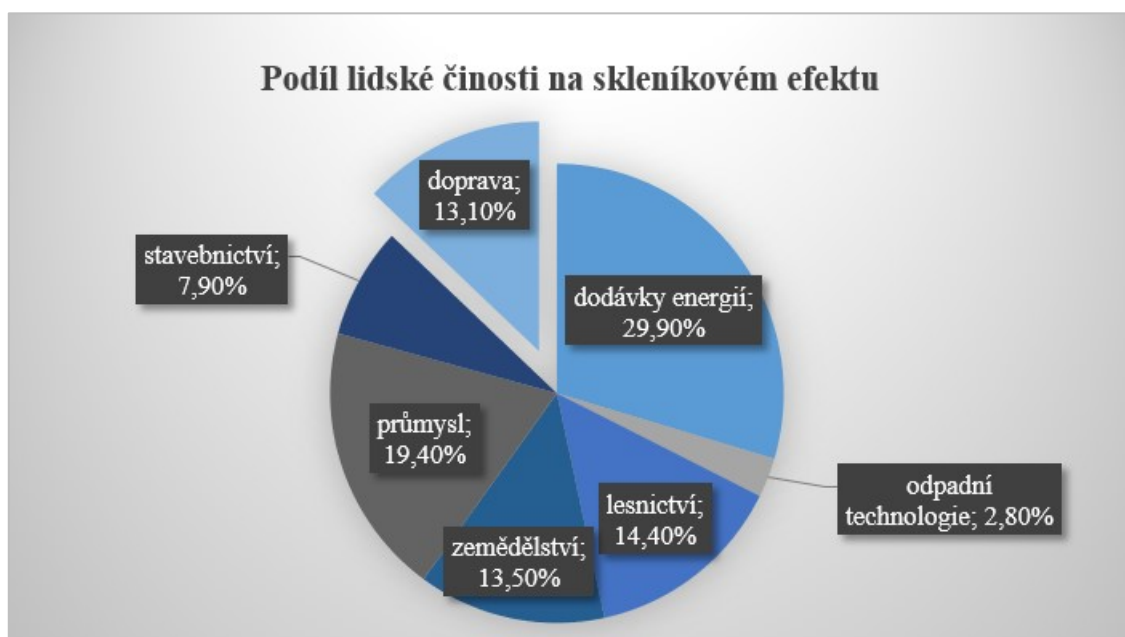
Některé vypouštěné emise působí jen v okolí svého zdroje, kde je také jejich největší koncentrace a mají tedy negativní pouze lokální účinek, ale jiné působí ve větším rozsahu a způsobují okyselování půdy, vody, ničení lesů nebo množení řas, což vede nejen k negativním vlivům na zdraví člověka, ale také na zemi v globálním měřítku.

Skleníkový efekt, který má za následek ohřívání zemské atmosféry je vyvolán oxidem uhličitým za přítomnosti metanu a oxidy dusíku. Důsledkem skleníkového efektu jsou klimatické změny na planetě, které vedou k tání ledovců a díky tomu ke stoupání hladin oceánů. Modernizace vozového parku může tento efekt značně snížit.

Další globální problém je narušování stratosférické ozónové vrstvy emisemi oxidy dusíku. Čím více bude ozónová vrstva narušována, tím více bude propouštět neviditelné ultrafialové záření ze spektra slunečního světla, které bude dopadat na zemský povrch. V mnohých oblastech Austrálie, kde působí na poruchu ozónové vrstvy jižní pól, riziko rakoviny kůže vlivem UV-záření silně stoupá. Nejhorší podmínky byly v sedmdesátých letech dvacátého století v Kalifornii, kde v oblasti Los Angeles byl až stokrát ročně vyhlášen smogový poplach.

Podíl emisí způsobený lidskou činností (viz obr. 2) připadá především na spalování fosilních nosičů energie jako dřeva, uhlí, plynu a minerálních olejů. Silniční doprava představuje přibližně 13 % emisí z podílu lidské činnosti, které vznikají téměř výlučně spotřebou neobnovitelné energie v rámci procesů ve spalovacích motorech. Celkový obsah emisí CO₂ způsobený lidstvem je jen omezeně měnitelný. Přesto vidí klimatologové v budoucím nárůstu emisí CO₂ veliké nebezpečí (zpráva OECD). [1]

Obr. 1.2 Podíl lidské činnosti na skleníkovém efektu



Zdroj: [6]

Evropští politologové a mnoho vědců pokládají omezení podílu CO₂, který je způsoben lidskou činností, jeden z nejdůležitějších cílů ochrany životního prostředí. Stejný přístup k této problematice má v posledních letech i automobilový průmysl, který je vystaven tlaku stálým zpřísnováním legislativních předpisů na emise výfukových plynů, a proto vyvíjí různé koncepce, které by měly těmto požadavkům společnosti vyhovovat. Emise výfukových plynů jsou pozorně sledovanou veličinou, a aby mohl být automobil homologován musí plnit (mimo jiné) i emisní normu. Emisní norma určuje množství spalin, které automobil může vypouštět do ovzduší. V České republice upravuje tyto hodnoty zákon 56/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Tyto předpisy vycházejí z norem Evropské hospodářské komise (EHK) a Evropského společenství (ES). [1], [17]

Mezi hlavní sledované emisní složky patří:

1. **CO** – bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu. Je lehčí než vzduch, nedráždivý, výbušný a jedovatý, který vzniká při nedokonalém spalování uhlovodíků a váže se asi 200–300 x rychleji na hemoglobin než kyslík, což zabraňuje přenosu vzduchu do plic.
2. **CO₂** – bezbarvý plyn opět bez chuti a zápachu. Není jedovatý, ale zvyšuje účinky CO, a podílí se na vzniku skleníkového efektu.
3. **PM** – částice sazí, které způsobují mechanické dráždění.

4. **HC** – nespálené uhlovodíky obsahují karcinogenní látky. Na slunečním světle reagují s oxidy dusíku a vytvářejí látky, které dráždí sliznici. V létě se navíc tyto látky podílejí na vzniku jedovatého přízemního ozónu.
5. **Nox** – oxidy dusíku mají podobné účinky jako NO a NO₂. Napadají sliznici a plíce. Vznikají v motoru za vysokých teplot a tlaků během hoření při nadbytku kyslíku.
6. **SO₂** – štiplavě páchnoucí, bezbarvý, nehořlavý plyn. Jeho výskyt se dá omezit používáním paliva s nižším obsahem síry.
7. **Pb** – olovo, tedy těžký kov, od jehož používání se ve velké míře již upustilo a nahradila jej aditiva.

Silniční doprava se celosvětově podílí více jak polovinou všech emisí oxidu uhličitého a oxidů dusíku a něco méně než 50 % emisí uhlovodíku. Celosvětově má na těchto emisích největší vliv sektor nákladních vozidel. I proto se svět snaží odklánět od používání fosilních paliv.

1.4.1 Program ZEV

Program ZEV (Zero Vision Vehicle) vznikl v Kalifornii v roce 1990 a měl velký vliv na zavádění elektromobilů v USA. Jeho hlavním cílem bylo zvýšit prodej elektrovozidel a snížit produkci emisí. „Iniciativa bezemisních vozidel“ (jak se také program hovorově nazývá) klade vysoké a závazné cíle v bezemisní dopravě. Program například požaduje, aby bylo do roku 2025 prodáno 3,3 milionů bezemisních vozidel, nebo aby prodej bezemisních vozů tvořil alespoň 15 % ze všech prodávaných vozidel na území spojených států. Nejvíce bezemisních vozidel se aktuálně používá v Kalifornii (byla tam prodána téměř polovina všech elektromobilů, které byly v roce 2016 koupeny v USA). Tvrdí to výsledky dat portálu EV Volumes, který se zaměřuje na elektromobilitu. Do programu se však bohužel nezapojily všechny státy v USA, neboť některé používají vlastní podpůrné programy na podporu prodeje bezemisních vozů. Na závěr je dobré zmínit, že i přes neustálý růst a podporu prodeje elektromobilů v USA, se stále v drtivé většině prodávají vozy, které emise produkují.

Jeden z kalifornských zákonodárců, Phil Ting, podal návrh zákona s názvem „The Clean Cars Act 2040“, který by umožnil v Kalifornii po roce 2040 registrovat jen vozy s nulovými emisemi. Připojil tak Kalifornii k zástupu států s obdobným záměrem, jako je

Francie, Velká Británie či Indie. Dle Thinga mají v Kalifornii auta se spalovacími motory na svědomí 40 % emisí skleníkových plynů, přičemž si Kalifornie vytyčila cíl snížit do roku 2050 emise skleníkových plynů o 80 % oproti roku 1990, čemuž by nový zákon mohl pomoci. Kalifornie, která patří mezi pokrokové země v oblasti nových zdrojů a technologií, se tak řadí mezi další státy, které zvažují úplný zákaz prodeje automobilů se spalovacím motorem. V současné době ve státě tvoří elektromobily „jen“ 2 % nových prodejů, dosažení 100 % je tedy velice ambiciózní. [18]

Situace s elektromobily na evropském trhu ale tak růžová není. Červen 2017 sice zaznamenal další růst počtu elektromobilů v Evropě, ale přesto je jich registrováno zatím jen něco málo přes 28 000 kusů. Nejlépe prodávaným vozem byl Renault Zoe, kterých se prodalo přes 4 000. Meziročně však došlo k nárůstu prodaných vozů o 54 % a za období roku 2017 se trh s elektromobily rozrostl o 30 %. Podíl nových elektromobilů na evropských silnicích již dosahuje 1,5 % (v USA jsou to již zmíněná 2 %). Z prodeje vozidel na Evropském trhu tedy vyplývá, že jeden ze šedesáti sedmi nově prodaných vozů byl elektromobil. [7]

1.4.2 Protokol Kyoto

Protokol Kyoto neboli Kjótský protokol je mezinárodní smlouva k Rámcové úmluvě OSN o klimatických změnách, ve kterém se vyspělé průmyslové země zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 5,2 % oproti roku 1990. Protokol byl dojednán v prosinci 1997 v japonském městě Kjóto (odtud nese také svůj název), ale v platnost vstoupil až o 7 let později. Evropské společenství se svými členskými státy má dosáhnout snížení skleníkových plynů o 8 %, USA o 7 % a Japonsko o 6 %. Protokol obsahuje mimo CO₂ také metan, NO_x, fluorované uhlovodíky a fluorid siřičitý.

V praxi to pro většinu průmyslově vyspělých zemí představuje velké investice do energeticky úsporných technologií a podporu vědy a výzkumu energeticky méně náročných forem dopravy. Výše nákladů, které musí být vynaloženy na uvedené snížení emisí, závisí na výchozí pozici jednotlivých států. Kjótský protokol umožňuje i obchodování s emisemi, které spočívá v redistribuci emisních limitů. Pokud například "zelená" země emituje o 5 milionů tun CO₂ méně (než jí ukládá Protokol), může tento "bonus" prodat "černé" a ve výsledku obě splní své závazky.

V prosinci 2012 byl schválen dodatek, kterým bylo potvrzeno pokračování Protokolu a jeho druhé kontrolní období bylo stanoveno na osm let (2013-2020). Evropská unie a jejich 28 členských států se zavázalo snížit do roku 2020 emise skleníkových plynů o 20 % v porovnání s rokem 1990. Toto snížení odpovídá cíli formulovanému v příslušných předpisech EU přijatých v rámci tzv. klimaticko-energetického balíčku z roku 2009. Vzhledem k tomu, že se ke druhému kontrolnímu období připojila pouze část zemí, přílohy I. Úmluvy a Protokol není závazný pro rozvojové země a rozvíjející se ekonomiky (např. Číny, Indie, Brazílie aj.), budou nové závazky do roku 2020 pokrývat odhadem pouze 15 % celosvětových emisí skleníkových plynů. Českou republikou byl Protokol podepsán 23. 11. 1998 na základě usnesení vlády č.669/1998 a ratifikován 15. 11. 2001 (č. 81/2005 Sb. m. s.). Protokol má celkem 192 smluvních stran. [14]

1.4.3 Program Evropské komise

Evropská komise je vedle Evropského parlamentu a Rady jednou ze tří základních institucí Evropské unie. Je tvořena 28 komisaři nominovanými jednotlivými členskými státy EU. Současná komise zahájila svou činnost 1. listopadu 2014. Její funkční období je 5 let. Komisi vede aktuálně Jean-Claud Juncker. Většinu environmentálních témat v Evropské komisi pokrývají komisař pro životní prostředí, námořní záležitosti a rybolov Karmenu Vella a komisař pro klima a energetiku Miguel Arias Cañete. [13]

V roce 2001 předložila Evropská komise program ochrany životního prostředí a v r. 2002 závěrečnou zprávu. Obsahuje mimo jiné studii cenového hodnocení a cíle snižování emisí. Na tomto základě bylo předloženo asi 40 možných opatření, jejichž potenciál snížení CO₂ obnáší 664 z 765 mil. tun (ekvivalentu CO₂). Úsporu tohoto potenciálu lze podle mínění komise realizovat v ceně menší než 20 Euro za tunu. Na dopravní sektor z toho připadá asi 107 až 127 mil. tun, přičemž komise předpokládá, že kvalifikace úspor zvláště v dopravě je zřejmě těžká. Nemalou úlohu v politice ochrany životního prostředí má postupné zavádění alternativních pohonů a alternativních paliv. Při tom všem má na ochranu životního prostředí nepříznivý dopad prognostický vývoj jízdního výkonu (narůstající počet nových vozidel – 2000 až 2015 o 16 %). [9]

Komise EU rovněž plánuje na rok 2020 snížení spotřeby nafty v silniční dopravě o 20 % a chce ji nahradit jak biogenními palivy, tak zemním plynem a vodíkem (o alternativních zdrojích energie pojednávají následující kapitoly).

2 Přehled alternativních zdrojů energie pro pohon motorových vozidel

Z předešlé kapitoly je patrné, že spalování ropy z ekologických a ekonomických důvodů představuje značný luxus, který si naše společnost dlouhodobě nemůže dovolit. Před automobilový průmysl je tak postaven důležitý úkol v podobě nalezení koncepce „automobilu budoucnosti“, který zajistí dlouhodobou mobilitu, ekonomickou životaschopnost a zároveň bude šetrný k životní prostředí. Strategie vývoje automobilu zítřka se orientuje na dvě základní úlohy: snížení emisí a využití alternativních zdrojů energie. Za alternativní paliva, jak se říká náhradě za automobilový benzin a motorovou naftu se zejména považují: zemní plyn, zkapalněné ropné rafinerské plyny, bioplyn, bionafta, paliva s využitím alkoholů, elektrický proud a vodík. Následující kapitola je tedy zaměřena na představení nejběžnějších alternativních zdrojů energie využitelných pro automobilový průmysl, včetně analýzy jejich hlavních výhod a nevýhod.

2.1 Biogenní paliva

Biomasa, ze které se získávají biopaliva představuje mezi všemi obnovitelnými zdroji energie vlastně akumulovanou sluneční energii. Energetický potenciál biomasy je téměř desetinásobek ročního objemu světové produkce ropy a plynu dohromady. Přestože biomasa nemůže nahradit zcela klasické zdroje (fosilní), odhaduje se, že může být v České republice pokryto 15 až 20% spotřeby všech paliv a energií. Spalováním biomasy se neprodukuje žádný přídavný CO₂, neboť během spalování se uvolní jenom tolik plynu, kolik biomasa během růstu rostlin ze vzduchu spotřebovala. [9]

2.1.1 Bioplyn

Bioplyn je tvořen směsí plynů vznikajících rozkladem hmoty organického původu. Biologicky je velmi rychle odbouratelný a jeho dalším znakem je obrovský energetický potenciál, který několikrát převyšuje současnou spotřebu základní energie. Zápalná teplota bioplynu je stejná jako u zemního plynu, a to 650 až 750 stupňů Celsia. Kvalita se mění podle původu biomasy, díky čemuž se stává „dorůstající“ bioplyn stejně hodnotný jako zemní plyn. Bioplyn lze z biomasy získat několika způsoby,

a to termochemickým způsobem, tj. zplynování biomasy anebo biochemickým způsobem (metanolové kvašení, při němž je nutno vyloučit kyslík). [9]

Pro pohon silničních motorových vozidel se používá očištěný bioplyn známý jako biometan. Při čištění se odstraňuje především oxid uhličitý a sirovodík. Biometan je svým složením identický se stlačeným zemním plynem (CNG). Rozdíl je jen ve způsobu vzniku. Motorová vozidla přizpůsobená k provozu na CNG díky tomu mohou automaticky tankovat i bioplyn.

Výhodou paliva jsou nižší emise, oproti benzínu asi 30%, a úspora nákladů na palivo. Nevýhodou je nestabilní produkce plynu, protože anaerobní fermentační procesy probíhají nejlépe při teplotě 40 °C, takže v zimních měsících je nutno část vyrobeného plynu použít na vyhřívání fermentoru. Další nevýhodou současného používání bioplynu jako pohonné hmoty je jeho omezené množství a pouze lokální možnost použití. Bioplyn v dopravě nachází nejširší uplatnění v Evropě ve Švédsku, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Francii a Itálii, mimo Evropu pak v Brazílii, USA a na Novém Zélandu. [22]

Ve Švýcarsku je bioplyn jako alternativní palivo nejvíce rozšířen a propaguje se tím, že jeden kg kuchyňských odpadků odpovídá jednomu km jízdy automobilem. Švýcaři mají výrobu bioplynu technicky bezproblémovou, a především hospodárnou. Pod názvem „Kompostogas“ je nabízen bioplyn kvality zemního plynu jako palivo.

2.1.2 Bionafta a rostlinné oleje

Bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje, tedy rostlinné oleje jsou zkoumána už od sedmdesátých let minulého století.

Olej je možné získat z více než 300 druhů různých rostlin, mezi něž patří např. řepka olejná, slunečnice, olivy, sója, kokosový ořech aj. Olej je v nich uložen v semenech nebo v plodech. I když mezi těmito oleji existují značné rozdíly ve viskozitě, všechny je možné použít ve vznětových motorech jako náhradu za naftu. V České republice se nejvíce využívá olej řepkový, stejně jako ve většině států Evropské unie, ale například v USA využívají více sójový nebo slunečnicový.

Zkušenosti ukázaly, že pohon na neupravený olej u běžných naftových motorů není možný a vyžaduje jejich speciální konstrukční úpravu. Naftový motor je nutno přestavět např. na duotermický motor Elsbethův. Druhou variantu představuje přepracování

řepkového oleje na MEŘO. MEŘO znamená Metyl-Ester řepkového oleje a je to produkt vznikající při reakci řepkového oleje s metanolem, tedy bionafta. Bionafta první generace je vyrobena esterifikací různých olejů anebo živočišných tuků. Podle použitého oleje je označována následujícími zkratkami: [22]

RME	Raps-Methyl-Ester	metylester řepkového oleje
SME	Sunflower-Methyl-Ester	metylester slunečnicového oleje
SOME	Soya-Methyl-Ester	metylester ze sóji
FAME	Falty-acid-Methyl-Ester	metylester z živočišných tuků
VUOME	Waste Used Oil-Methyl-Ester	metylester z použitých fritovacích olejů

Čisté MEŘO se jako palivo využívá např. v Rakousku nebo Německu. V České republice se bionafta první generace nepoužívá ale nalezneme na trhu bionaftu druhé generace. Toto palivo bylo vyvinuto z RME. Jedná se o směsné palivo s ropnými uhlovodíky.

Nevýhody směsné bionafty:

- poškozování součástek palivového systému, které při použití tohoto paliva musí být nahrazovány díly z plastických hmot,
- u směsných bionaft s větším než 10% podílem MEŘO dochází často ke kontaminaci paliva s bakteriemi,
- zvýšená spotřeba paliva vyvolaná nižší výhřevností směsných bionaft v porovnání s motorovou naftou.

Ačkoliv se v současnosti použití rostlinných olejů jako zdroj energie dostává do pozadí, v budoucnosti budou tyto oleje stejně důležité jako jsou dnes petrolej nebo uhlí.

2.1.3 Paliva s využitím alkoholů

Alkoholy nižších skupin mají obdobné vlastnosti jako konvenční paliva (benzín a nafta). Použití alkoholů jako paliva vyžaduje konstrukční úpravy stávajících motorů. V případě užívání alkoholových paliv je nutné používat aditiva zlepšující mazací vlastnosti. U alkoholů lze zvýšit kompresní poměr zážehových motorů díky vysoké anti detoxikační odolnosti. Při tvorbě směsi dochází k vnitřnímu ochlazení díky vysokému výparnému teplu a tím k výrazně lepšímu plnění válců. Výhřevnost alkoholů je sice nižší než u benzínu, ale spalování je rychlejší a dokonalejší. Nevýhodou je jejich schopnost vázat vodu způsobující korozi, a v případě směsného paliva benzín-alkohol způsobuje voda separaci frakcí benzínu a degradaci paliva. [22]

Nejznámější zástupci alkoholů vhodných pro spalovací motory jsou **metanol a etanol**. Na výrobu etanolu i metanolu lze použít více vhodných surovin, např. obilí, brambory, kukuřici, cukrovou třtinu, cukrovou řepu, ovoce a jiné plodiny. Proces výroby alkoholu se nazývá fermentace probíhající na cukerných roztocích. Cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny, resp. celulózy (dřeva). Po 30 hodinách fermentace obsahuje vzniklá kaše přibližně 6 až 10 % alkoholu, který se může po předchozí destilaci použít jako kapalné palivo ve spalovacích motorech. Vzhledem k tomu, že použitá surovina se nemění celá na biopalivo, vznikají při tomto procesu cenné vedlejší produkty, které mohou nahradit bílkovinná krmiva. Zatímco etanol je produkt čisté zemědělské výroby, metanol je možné vyrobit nejen z biomasy, ale i z některých fosilních paliv (např. ropy, uhlí a zemního plynu) katalytickou hydrogenací oxidu uhelného. Podstatný rozdíl mezi metanolem vyrobeným z biomasy a syntetickým metanolem vyrobeným ze zemního plynu je jeho až dvojnásobná cena.

Výhody paliv na bázi alkoholů:

- + etanol je v motoru dokonaleji spalován, zaručuje vyšší výkon a otáčky motoru, a vykazuje nižší emise ve spalinách,
- + v sociálně-ekonomické oblasti představuje etanol příležitost k tvorbě pracovních příležitostí v zemědělství a tím pádem i zlepšení příjmů slabších vrstev obyvatelstva,
- + metanol produkuje méně škodlivin, manipulace s ním je snadnější a bezpečnější než s benzinem,
- + v porovnání s benzinem má metanol vyšší oktanové číslo (105), což umožňuje lepší kompresi a následně lepší účinnost motoru.

Nevýhody paliv na bázi alkoholů:

- etanol i metanol způsobují rychlejší korozi kovových materiálů, mají detergentní účinky (odstraňují oleje) a napadají plastické hmoty,
- výpary etanolu i metanolu mají negativní účinek na lidský organismus a ovlivňují řidičovu schopnost řídit vozidlo.

Biopaliva v dnešní době představují jednu z nejdiskutovanějších skupin alternativních paliv. Hlavním důvodem je zájem veřejné společnosti a výzkum ohledně nalezení odpovědi na otázku, do jaké míry jsou biopaliva schopná snižovat produkci oxidu uhličitého.

2.2 Vozidla na LPG

V současné době je nejrozšířenějším alternativním palivem propan-butan označovaný zkratkou LPG (Liquified Petroleum Gas). Jedná se o zkapalněný ropný plyn. Je tvořen směsí uhlovodíků získanou jako vedlejší produkt rafinace ropy. Je vysoce výhřevný s charakteristickým zápachem a nejedovatý. Vozidlo na LPG lze získat jednoduchou přestavbou zážehového motoru anebo koupí přímo vyrobeného vozu uzpůsobeného pro provoz na LPG. Toto palivo je šetrnější k životnímu prostředí s ohledem na nižší hodnoty oxidu dusíku a oxidu uhelnatého v emisích. Jeho cena sice roste úměrně s cenou ropy, avšak dlouhodobě zůstává přibližně na polovině ceny benzínu. [22]

Výhody provozu vozidel na LPG:

- + nižší produkce emisí,
- + nízké provozní náklady,
- + lepší mísení paliva se vzduchem – čistší provoz a lepší spalování,
- + zvýšená životnost motoru a motorového oleje,
- + bohatá síť čerpacích stanic.

Nevýhody provozu vozidel na LPG:

- vyšší pořizovací cena vozidla na LPG,
- počáteční investice, v případě přestavby vozidla,
- zvýšená spotřeba paliva, oproti benzínu či naftě 20–30 %,
- snížení výkonu motoru cca o 5 %, dle použitého systému,
- zpřísněná bezpečnostní pravidla (zákaz vjezdu do podzemních garáží, každoroční revize plynového systému),
- zvýšená hmotnost vozidla a zmenšení zavazadlového prostoru, v důsledku umístění palivové nádrže.

2.3 Vozidla na zemní plyn CNG, LNG

Zemní plyn je považován za nejčistší ze všech fosilních zdrojů energie. Výchozím materiálem pro vznik zemního plynu byly většinou rostliny v mělkých pobřežních vodách tropů, kam před 300 milióny let patřily i severoněmecké nížiny. Vzhledem k nedostatku kyslíku v pobřežních močálech nedocházelo k hnití organického materiálu zbytků rostlin

a vznikala rašelina. Postupně se nad ní ukládaly nové vrstvy písku a jílu a rašelina se po miliónech let přeměnila na hnědé a černé uhlí. V důsledku vysokých tlaků a teplot (v rozmezí od 120 do 180 °C), pak hloubce několika kilometrů vznikl plyn. [16]

Ještě v padesátých letech minulého století byl zemní plyn energeticky prakticky bezvýznamný. Až teprve na začátku šedesátých let se začal ve větším měřítku těžit, kupovat a prodávat. Důvodem, proč se zemního plynu začalo využívat později než uhlí nebo ropy byly značné hloubky vrtů, které dosahovaly několik tisíc metrů, a nákladnější doprava. Zatímco se ropa mohla dopravovat i v dřevěných sudech, vyžaduje doprava zemního plynu velká potrubí a tlakové zásobníky. V současné době dosahují plynovody ("pipelines") délek tisíců kilometrů a jejich sítě vedou od ložisek zemního plynu až po spotřebitelská místa, jako jsou například domácnosti. Jeho dopravní a distribuční systém není závislý na klimatických podmínkách nebo veřejných komunikacích jako distribuce elektřiny, uhlí či paliv vyrobených z ropy. [8], [16]

Zemní plyn je tvořen přibližně z 98 % metanem (CH_4 – jednoduchý uhlovodík bez barvy a bez zápachu, hořlavý, se vzduchem vybuchující plyn, vyskytující se často v přírodě, i jako bahenní plyn), z dusíku, oxidu uhličitého a vyšších uhlovodíků. Zkušenosti z praktického použití vozidel s pohonem na zemní plyn ukázaly, že provoz těchto vozidel oproti provozu vozidel se vznětovými motory nabízí značné ekologické výhody. Zemní plyn zajišťuje podstatné snížení škodlivin ve výfukových plynech konvenčních motorů (20–25 % snížení emisí CO_2) a rovněž jeho vliv na skleníkový efekt je podstatně menší v porovnání s benzínem či naftou. Zemní plyn lze v dopravě využívat ve formě stlačeného zemního plynu **CNG (Compressed Natural Gas)** pod tlakem 16–20 MPa, tak ve formě zkapalněného plynu **LNG (Liquified Natural Gas)** při teplotě -162 °C.

Vozidlo na zemní plyn lze získat přestavbou automobilu se zážehovým motorem. Takové vozidlo je pak schopné jezdit jak na CNG, tak i na benzín. Druhá varianta je koupě vozidla přímo vyrobeného pro provoz na CNG.

Výhody provozu vozidel na CNG:

- + snížení emisí CO_2 , NO_x , CO, PM, navíc spaliny z motoru neobsahují SO_2 ,
- + díky čistotě paliva se prodlužuje životnost motorového oleje i samotného motoru (nedochází ke tvorbě karbonových usazenin),

- + vyšší bezpečnost – zemní plyn je lehčí než vzduch a jeho zápalná teplota je oproti benzínu dvojnásobná, z tohoto důvodu nehrozí kontaminace půdy při tankování paliva a při havárii vozidel na CNG je snížené riziko jejich vznícení,
- + jednoduchá distribuce plynu k uživateli pomocí již vybudované distribuční sítě.

Vyjma výše uvedených výhod, provoz vozidel na zemní plyn s sebou přináší i značné **ekonomické výhody**, což je jeden z nejdůležitějších předpokladů pro úspěšné zavedení alternativního paliva. Jak můžeme vidět v tab. 2.1, náklady na pohonné hmoty jsou oproti benzínu zhruba poloviční.

Tab. 2.1 Ekonomické porovnání různých pohonů Opel Zafira

Srovnání modelů Opel Zafiry / CNG, benzín, nafta /	Zafira 1.6 CNG	Zafira 1.6 16 V ECOTEC	Zafira 2.0 DTI 16 V EVOTEC
Palivo	CNG	benzín	nafta
Cena (Euro)	21,270	18,640	19,850
Výkon (HP)	97	100	100
Maximální rychlost (km.h ⁻¹)	170	176	175
Celkový dojezd	500	734	878
Spotřeba na 100 km	8,0 m ³	7,9 l	6,6 l
Palivové náklady na 100 km (Euro)	3,50	7,90	5,22
Emise CO ₂	144	190	178

Zdroj: [6]

Nevýhody provozu vozidel na CNG:

- vyšší pořizovací cena – sériově vyráběné plynové vozy jsou dražší z důvodu výroby menšího počtu kusů. V případě druhé varianty, přestavba vozidla na zemní plyn zvyšuje cenu vozidla (cca 50 000 Kč),
- zpřísněná bezpečnostní opatření: garážování, opravy, nutnost častých revizí,
- zvýšená hmotnost vozidla z důvodu instalace tlakové nádrže na plyn,
- u přestavovaných vozidel dochází ke snížení výkonu motoru (cca o 5–10 %) a ke zmenšení zavazadlového prostoru automobilu,
- zatím nedostatečný počet plnicích stanic.

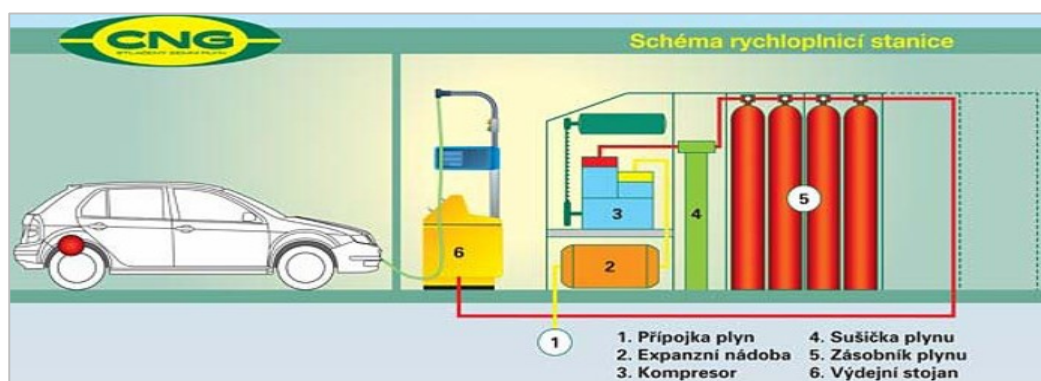
Plnicí stanice CNG

Přestože infrastruktura pro distribuci plynu je již dlouhodobě vybudovaná, počet plnicích stanic na CNG je oproti stanicím na LPG poměrně nízký. Důvodem je i fakt, že náklady

na přestavbu vozidla na LPG jsou poloviční oproti CNG. V plnicích stanicích může být zemní plyn uchován v tlakových nádržích, nebo je čerpán přímo z plynovodu. Podle způsobu provedení plnění rozlišujeme dva druhy plnicích stanic.

- **Rychloplnicí stanice:** Plnění vozidel (viz obr. 2.1) se provádí prostřednictvím výdejního stojanu. Plnicí konektor výdejního stojanu (pistole) se připojí za pomoci rychloupínacího zařízení na plnicí ventil vozidla. Zemní plyn je tak přepouštěn z tlakových zásobníků plnicí stanice do plynových tlakových nádob ve vozidle. Doba plnění je srovnatelná s čerpáním kapalných paliv. [6]

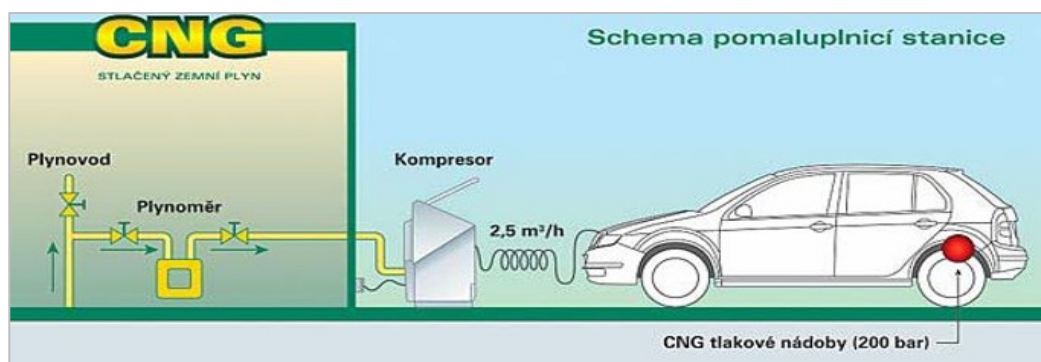
Obr. 2.1 Schéma rychloplnicí stanice



Zdroj: [6]

- **Pomaluplnicí stanice:** Automobil je plněn přímo z plynovodu prostřednictvím kompresoru (viz obr. 2.2), přičemž může být tankováno několik vozidel současně. Plnění probíhá zpravidla několik hodin v době, kdy vozidlo není v provozu – v nočních hodinách nebo v přestávkách jízdy. Vzhledem k době doplnění paliva, je tento způsob vhodný zejména pro domácnosti a malé společnosti.

Obr. 2.2 Schéma pomaluplnicí stanice



Zdroj: [6]

LNG (Liquefied Natural Gas)

Zkapalněný zemní plyn představuje další možnost využití zemního plynu. Celosvětově již na LNG jezdí několik tisíc vozidel a v nejbližších letech se očekává nárůst využívání LNG zejména v Asii a Evropě. Zkapalněný zemní plyn je tvořen 90–100 % metanem se zbytky uhlovodíků. Při atmosférickém tlaku má teplotu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zaujímá 600x menší objem než plynný zemní plyn.

Výhody LNG:

- + vysoce čisté palivo s minimem škodlivých emisí,
- + vysoká hustota energie,
- + doba plnění LNG je srovnatelná s dobou plnění klasickými palivy,
- + větší dojezd vozidla a menší objem palivových nádrží (oproti CNG).

Nevýhody LNG:

- složitost technologie zkapalnění zemního plynu, což vede k vyšší ceně paliva,
- extrémně nízký počet plnicích stanic.

2.4 Elektrická vozidla na baterie

Dalším typem alternativního pohonu vozidla je elektrický pohon. Tento typ pohonu má své kořeny již v počátcích automobilismu. Právě elektromobil Belgičana Camilla Jenatzyho bylo první vozidlo, které překonalo rychlost $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Počátkem 19. století bylo automobilů na elektrický pohon dokonce více, než klasických benzinových a naftových vozidel. Z důvodů mnohých nevýhod tohoto typu vozidel, bylo od jejich dalšího vývoje upuštěno a čekalo se na nové technologie, které by tyto nedostatky mohly odstranit. [22]

Hnací ústrojí elektromobilu se skládá z motoru, převodovky, hnacích hřídelí a diferenciálu s rozvodovkou. Jako nejčastější uspořádání se používá centrální elektromotor, který pohání zadní nebo přední nápravu.

Mezi velké přednosti automobilu poháněného elektřinou patří nízká hladina hluku, produkce takřka nulových škodlivých emisí (pokud zanedbáme emise vzniklé při výrobě elektřiny z nealternativních zdrojů), příznivá výkonová charakteristika a vysoká účinnost přeměny elektrické energie na mechanickou (pokud nepočítáme ztráty vzniklé ukládáním

a přenosem elektrické energie). Na druhou stranu stále nedořešeným problémem je jejich vysoká hmotnost, vyšší pořizovací cena a menší jízdní výkon. Dalším problémem je omezená kapacita akumulátorů, která zásadně ovlivňuje dojezd vozidla (čím větší kapacita, tím větší dojezd), krátká životnost baterií a jejich pomalé nabíjení.

2.4.1 Elektromotory

V tomto odvětví byla představena celá řada možných koncepcí elektromotorů: stejnosměrné, střídavé, transversální, řízený reluktanční motor, stejnosměrný motor bez kartáčů aj. Ovšem důležité vlastnosti u všech typů elektromotorů zůstávají stejné. Jsou jimi zejména spolehlivá konstrukce, dostatečný výkon při velkém rozsahu otáček, vysoká účinnost, nízká hmotnost a hlučnost.

2.4.2 Stejnosměrné elektromotory

Výhoda stejnosměrných motorů spočívá v jejich technické vyzrálosti, cenové dostupnosti a oproti střídavým elektromotorům jsou charakteristické snadnější regulací. Nevýhoda spočívá ve vysoké poruchovosti komutátoru a kartáče, jenž musí být velmi dobře udržovány a neustále kontrolovány. Další nevýhodou je maximální obvodová rychlost, která je omezená rotační frekvencí. Poslední slabinou je jejich účinnost a hustota výkonu, která je menší než u střídavých motorů. [6], [22]

Stejnosměrný motor s cizím buzením

Stejnosměrný motor s cizím buzením se vyznačuje velmi dobrými regulačními vlastnostmi a obzvláště příznivou tahovou charakteristikou – má tvrdou momentovou charakteristiku. Prostřednictvím změny napětí budícího proudu (popř. kotvy) umožňuje snadné řízení rychlosti, přičemž otáčky se mohou pohybovat ve velmi širokém rozsahu. Budící vynutí je napájeno z cizího zdroje. Výhodou tohoto typu motoru je tedy vysoký točivý moment, dokonce i při nízkých otáčkách. Mezi jeho nevýhody patří zvýšené nároky na údržbu a menší spolehlivost.

Důležité je, zda je výše zmíněné budící napětí a kotva zapojena sériově nebo paralelně. Dle tohoto uspořádání dělíme tento typ motoru na sériový a paralelní. U sériového zapojení točivý moment (který je zpočátku velmi vysoký) se stoupajícími otáčkami rapidně klesá. Využití tohoto uspořádání najdeme u vozidel elektrické trakce například

u tramvaje. U elektrovozidel se preferuje paralelní zapojení, u něhož točivý moment klesá lineárně s otáčkami.

Zvláštním typem stejnosměrného motoru s cizím buzením je kompaundní elektromotor. Vyznačuje se sériově-paralelním zapojením budícího vinutí. Díky této kombinaci zapojení, může využívat všech výhod, které mu oba z výše uvedených elektromotorů poskytují.

2.4.3 Asynchronní motor

Prvním zástupcem ze skupiny střídavých motorů je asynchronní motor. Tento motor je nejrozšířenější elektromotor v elektrotechnice. Slouží jako základní součást pohonů mnoha strojů v různých oblastech společenské praxe. Mezi jeho velké výhody patří jeho jednoduchá robustní konstrukce vykazující se vysokou spolehlivostí. Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu podstatně lehčí a menší. Motor samotný je bezúdržbový a silně přetížitelný, dosahuje až 20 000 otáček za minutu.

2.4.4 Transversální motor

U těchto typu motorů musí být proud přiváděn v obvodovém směru rotoru. Magnetický tok statoru není kolmý k ose rotoru, nýbrž paralelní. Jejich účinnost je vysoká, obdobně jako účinnost u stejnosměrných motorů. Dosahují vysokých otáček až 15 000 min⁻¹. Motory jsou technicky dokonalé, mají robustní konstrukci a tím jsou bezúdržbové. Jejich největší slabina je nákladné řízení, což zvyšuje jejich cenu.

2.4.5 Řízený reluktanční motor

Reluktační motor je založen na technice reluktačních krokových motorů. Pojem reluktance poukazuje na magnetický odpor, který představuje rotor v magnetickém poli. Rozbíhání motoru probíhá asynchronně, poté běží synchronně. Ačkoliv je reluktační krokový motor snadno dostupný, zejména díky jeho nízké pořizovací ceně, je velice málo využíván pro jeho nerovnoměrnost (tj. závislost točivého momentu na poloze rotoru). Tato nevýhoda může být zvolením vhodného řízení vyrovnána. Mezi jeho výhody patří robustní konstrukce, která vyžaduje pouze malé náklady na údržbu, vysoký točivý moment při nízkých otáčkách, stabilní chod motoru (v případě výpadku jedné či více

fází), vysoká účinnost a výhodná pořizovací cena. Nevýhody motoru jsou zvýšený hluk a nerovnoměrný točivý moment. [6]

2.4.6 Stejnoseměrný motor bez kartáčů

V případě bezkartáčového stejnosměrného motoru neboli magnetického motoru, mají rotor a stator, oproti konvenčním permanentně buzeným stejnosměrným motorům, vyměněné své pozice. Ve vnějším statoru se nalézá vinutí a permanentní magnety se nacházejí v rotoru. Stavba je tedy podobná permanentně buzenému synchronnímu motoru. Komutátor zajišťuje napájení vinutí statoru pulsně modulovaným stejnosměrným proudem. Tím se sníží náklad na elektronickou komutaci, neboť je většinou vinutí statoru složeno jen ze tří nebo ze čtyř svazků závitů. Jednotlivé svazky jsou seřizeny tak, že hustota toku statoru a rotoru je přibližně fázově posunuta o 90 stupňů. Tímto zabezpečením je poloha rotoru pevně stanovena. Obvykle se k tomu používá halových sond, optoelektronického systému nebo magneto-resistenčního systému. Bezkartáčové stejnosměrné motory mají nejen další vinutí výkonové elektroniky, nýbrž také nové permanentní magnetické materiály jako neodým-železo-bor a samarium-kobalt. Poslední uvedené jsou dosud relativně drahé. [6]

2.4.7 Srovnání různých koncepcí elektromotorů

V následující tabulce 2.2 nalezneme nejrozšířenější koncepce elektromotorů používané v současnosti. Jejich jednotlivé vlastnosti jsou ohodnoceny na stupnici od 0–10 bodů, přičemž 1 – nejhorší, 10 – nejlepší.

Tab. 2.2 Porovnání různých koncepcí elektromotorů

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Rozsah Pkonst.	Přetížitelnost	Spolehlivost	Stav vývoje
Stejnoseměrný	10	7	6	10	10	7	10
Asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
Synchronní	8	10	7	10	10	9	8
Transverální	7	10	8	8	10	10	7
Řízený reluktační	9	6	7	4	10	9	5
Stejnoseměrný bez kartáčů	8	10	10	8	9	10	8

Zdroj: [6]

2.5 Bateriové systémy a energetické zásobníky

Baterie neboli akumulátory jsou základním prvkem elektropohonu. Princip všech typů baterií je stejný a je založen na elektrolytu obsahující pohyblivé elektricky nabitě částičky, do kterého jsou ponořeny dvě elektrody vyrobené z různých materiálů. Mezi parametry, které zásadně ovlivňují jízdní vlastnosti vozidla patří: **výkonová hustota**, tj. odnímatelný elektrický výkon na jednotku hmotnosti ($W \cdot kg^{-1}$; určuje konečnou rychlost a zrychlení vozidla) a **energetická hustota**, tedy obsah energie na jednotku hmotnosti ($W \cdot h \cdot kg^{-1}$; určuje dojezd). Dalšími sledovanými vlastnostmi akumulátorů jsou: doba jejich nabíjení, počet nabíjecích cyklů (životnost), údržba, a v neposlední řadě samozřejmě cena. Achillova pata dnešních akumulátorů stále zůstává jejich nízká energetická hustota, malá životnost a velká hmotnost. V současné době je na trhu několik typů baterií, mezi které například patří: baterie nikl-kadmium, olověný akumulátor, baterie nikl-metalhydridová, baterie lithium-iontová, vysokoteplotní a jiné.

2.5.1 Baterie nikl-kadmium (Ni-Cd)

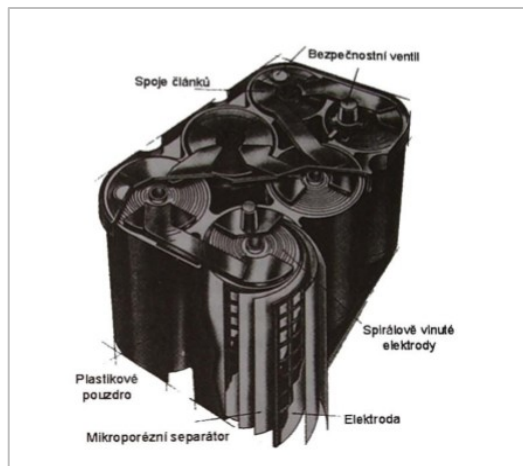
Baterie nikl-kadmium mají pro elektrovozidla velký význam. Tyto typy baterií jsou běžně vyráběny ve spotřebitelském oboru jako malé, plynotěsné, uzavřené knoflíkové články. Jako velké baterie jsou dosud používány ve tvaru otevřených článků. Články se skladují nejlépe ve vybitém stavu, při teplotě $+5$ až $+25$ °C. Před použitím po dlouhodobém uskladnění je nutno provést 2 až 3 nabíjecí cykly, aby se aktivní hmoty uvedly do plného provozu. Mají-li být pro elektrovozidlo vyrobeny jako bezúdržbové, musí být vyvinuty v plynotěsné verzi. Jejich kapacita může být zvýšena speciální stavbou elektrod. Elektrody jsou složeny z vláken obsahujících elektricky vodivých niklem vrstvených materiálů. Obě aktivní hmoty nikloxid a kadmium dovolují silné vybití baterie. Elektrolytem je vodní roztok hydroxidu draselného, který se nepodílí na reakci, ale jen na transportu iontů mezi elektrodami. Výhodou baterie je rychlé nabíjení, schopnost jejího skladování i ve vybitém stavu, delší životnost a větší odolnost proti přebíjení. Další výhodou je vlastnost baterie pracovat i při nízkých teplotách. Nevýhodou je její nízká objemová kapacita a jedovatost kadmia. Kadmium se z lidského organismu vylučuje jen velmi obtížně. Bylo prokázáno, že v ledvinách může setrvat až desítky let (některé výzkumy ukazují, že poločas rozpadu je 30 let). Do organismu se přitom může dostat buď potravou, nebo dýcháním. Přestože moderní Ni-Cd akumulátory dosahují

živostnosti až 20 let, je od nich právě z důvodu toxicity kadmia a nízké energetické hustotě ustupováno.

2.5.2 Olověný akumulátor

Olověný akumulátor (viz obr. 2.3) je tvořen galvanickým článkem s elektrodami na bázi olova. Jeho elektrolytem je kyselina sírová. Hlavní výhodou olověných akumulátorů je nízká cena a schopnost dodávat vysoké rázové proudy. Reálný dojezd vozidel s olověným akumulátorem je 50 km na jedno nabití. Při poklesu teploty je nutno počítat s poklesem kapacity a tím i dojezdu. Dosavadní zkoušky prokázaly životnost olověných akumulátorů ve vozidle asi 4 roky, nebo 300 cyklů nabíjení a vybíjení. Při použití akumulátoru jako startovacího zdroje energie je životnost až 8 let nebo 1 500 cyklů. Tento rozdíl je způsoben vyšším zatížením při pohonu vozidla. U vozidla je střední doba nabíjení přibližně 2 hodiny a u startovacích akumulátorů obvykle 7 až 8 hodin. Novější typ sériově vyráběného olověného akumulátoru je založen na principu technologie spirálových článků, které oproti klasickým bateriím disponují až 3x větší životností.

Obr. 2.3 Olověný akumulátor



Zdroj: [9]

2.5.3 Baterie nikel-metalhydridová (Ni-MH)

Baterie nikel-metalhydridová je podobná baterii nikel-kadmiové. Elektrolyt je tvořen zředěným roztokem hydroxidu stejně jako u předešlého typu baterie a záporná elektroda je ze slitiny pohlcující vodík a její anoda je na bázi sloučenin niklu. Oproti nikel-kadmiové baterii disponuje až dvojnásobnou kapacitou a nezatěžuje životní prostředí. Bohužel však

u ní není možné tak časté nabíjení a vybíjení a její pořizovací cena je vyšší. U baterie se dále často vyskytuje paměťový efekt (pro dosažení plné kapacity musí být pravidelně úplně vybita). Na konci životnosti se baterie dobře likviduje, ale ani tato likvidace nepatří mezi levné záležitosti.

2.5.4 Baterie lithium-iontová (Li-Ion)

Tento typ akumulátoru bývá také označován jako kmitavá baterie. Důvodem jsou kmitající ionty mezi anodou a katodou. Anoda lithium-iontová baterie je vyrobena z uhlíkové matrice připravené z grafitisovaných částí koksu a zápornou elektrodu tvoří sloučeniny LiCoO_2 či Li_2MnO_2 anebo z LiNiO_2 . Vodivé soli, nejčastěji LiPF_6 a rozpouštědla slouží jako elektrolyt. Baterie má vysokou energetickou a výkonovou hustotu a dosahuje životnosti až 1200 nabíjecích a vybíjecích cyklů. Baterie netrpí na samovybití a nevyskytuje se u ní paměťový efekt. Nevýhodou tohoto akumulátoru je stále vysoká pořizovací cena, nebezpečí výbuchu nebo vznícení při nesprávném používání a její závislost na teplotě. S rostoucí teplotou klesá kapacita baterie. Optimální teplota pro použití tohoto typu baterie je v rozmezí 5–30 °C. V současné době je to nejvíce používaný typ baterie, který se uplatňuje hojně i v přenosných zařízeních. [11]

2.5.5 Baterie lithium-polymer (Li-Pol)

Baterie lithium-polymerová je tvořena kladnou elektrodou z kovové fólie se zakotveným organosulfidovým polymerem a anodou z lithia. Má o 20 % větší hustotu energie než předešlý typ baterie Li-Ion. Její životnost je až 1000 cyklů a vzhledem k použitým materiálům disponuje oproti jiným typům baterií, velmi malou hmotností. Použitý materiál je také jedna z jejich nevýhod, neboť baterie je velice křehká a při nevhodném používání je náchylná k poškození nebo ke vznícení. [22]

2.5.6 Baterie vysokoteplotní

Vysokoteplotní baterie potřebují pracovní teplotu minimálně 250 stupňů Celsia. Ideální stav je však 250–330 °C. Do této kategorie řadíme baterie sodík-niklchlorid a sodík-síra. První zmíněná se nazývá ZEBRA-baterie (Zero-Emission Battery). U obou typů baterií je katodou tekutý sodík a anoda je potopena do viskózní tekutiny. Obě elektrody jsou odděleny izolační keramikou, kterou protékají ionty sodíku při teplotě kolem 300 °C.

Zvýšená teplota je nutná k udržení tekutosti sodíkové elektrody ale také umožňuje tok iontů k elektrodám. Proto, aby byla udržena požadovaná teplota, jsou články v prostoru vany baterie vakuově izolovány. Výhody vysokoteplotních baterií spočívají v jejich vysoké hustotě energie, dlouhé životnosti (až 3000 cyklů) a v tom že odpadní teplo je zpětně využíváno k vlastnímu ohřevu baterie. Jejich podstatná nevýhoda je nutnost udržovat stálou vysokou provozní teplotu, aby nedocházelo ke ztrátě kapacity, i když je bateriové vozidlo zaparkované a v klidu. Další slabinou je vysoká pořizovací cena.

2.5.7 Baterie zinek-vzduch

Baterie zinek-vzduch mohou dosahovat energetické hustoty až 220 Wh/kg a přitom jsou podstatně lehčí než akumulátory typu sodík-síra. Jako elektrolyt zde slouží vodný roztok hydroxidu sodného se kterým jsou smíchány částice zinku. Uvnitř článku dochází k elektrochemické reakci na bázi oxidace zinku s okolním vzduchem. Při postupném vybíjení baterie dochází k produkci ZnO_2 , který lze zpětně recyklovat na zinek. Tyto akumulátory se nedají dobíjet přímo elektřinou, ale jejich doplnění probíhá formou výměny náplně. [24]

V následující tabulce 2.3 je zobrazen přehled parametrů jednotlivých typů baterií. Já osobně vkládám velké naděje právě do baterie zinek-vzduch.

Tab. 2.3 Přehled parametrů jednotlivých typů baterií (* prognóza)

	Olovněný	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion	Li-Pol	Vysoko-teplotní	Zinek-vzduch	
Hustota energie [Wh/kg]	30–50	40–60	60–80	90–120	150	85–100	100–220	
Výkonová hustota [Wh/kg]	150–400	80–175	200–300	300	300	155	100	
Životnost	cykly	50–1000	>2000	500–1000	1000	<1000	800–1000	–
	let	3–5	3–10*	5–10 *	5–10 *	–	5–10 *	–
Doba rychlonabíjení [hod]	8–16	1	2–4	<1	<1	–	–	
Nároky na údržbu	3–6 měsíců	30–60 dní	60–90 dní	nepotřebují		nepřetržitá	–	
Toxicita	Vysoce toxické, nebezpečné pro životní prostředí		Nízká toxicita					
Cena [Euro/kW]	100–150	225*–350	225*–300	275*	<225*	225*–300	60*	

Zdroj: vlastní zpracování podle [2], [3], [10], [24].

2.6 Vozidla s hybridním pohonem

Čistě bateriová elektrická vozidla popsaná v předchozí podkapitole, nemohou dobře plnit požadavky svých uživatelů, neboť jejich dojezd nepostačuje pracovnímu nasazení moderní společnosti. Proto se do popředí dostávají hybridní pohony. **Hybridní vozidlo** používá nejméně dva rozdílné měniče energie anebo energetické zásobníky. Většinou se jedná o **elektromotor** v kombinaci se **spalovacím motorem**. Hybridní pohony musí být koncipovány a dimenzovány tak, aby byl výkon jednotlivých druhů pohonu využit a jejich slabé stránky potlačeny. Jejich vhodnou kombinací lze dosáhnout ke značné úspoře paliva a tím i ke snížení emisí. Hybridní pohony jsou vhodné pro vozidla nízké a střední třídy, která jsou určena pro městský provoz ve velkých aglomeracích.

Hybridní vozidla lze dle uspořádání hnacího ústrojí rozlišit do dvou základních skupin, a to na sériové a paralelní. **V případě sériového** uspořádání je vozidlo poháněno výhradně elektromotorem. Jestliže baterie nemohou pokrývat momentální potřebu energie, dojde k automatickému nastartování spalovacího motoru. Spalovací motor ovšem slouží pouze jako zdroj energie pro generátor a vzniklým elektrickým proudem pohání trakční motory, případně dobíjí akumulátory. Nevýhodou sériového uspořádání je poměrně velká ztráta energie způsobená její několikanásobnou přeměnou. Z tohoto důvodu se dnes u většiny hybridních vozidel používá **paralelní uspořádání**. Takový vůz je vybaven spalovacím motorem a elektromotorem, které jsou s koly spojeny skrze mechanickou převodovku. Elektromotor je často umístěn mezi spalovací motor a převodovku a plní funkci startéru a alternátoru. Z důvodu zvýšení účinnosti spalovacího motoru bývají zařízení jako jsou posilovač řízení a klimatizace poháněny elektromotorem. [10]

Největším technickým problémem hybridních automobilů je regulace celého systému a vyřešení komplexního působení jednotlivých komponentů. Do budoucna se uvažuje o hybridních uspořádáních obecně v kombinaci spalovacího motoru a použití palivových článků. Aplikace tohoto konceptu poskytuje enormní potenciál v podobě účinnosti až 30%, nicméně technologie palivových článků je ještě dnes značně vzdálena.

3 Perspektivní paliva a inovační pohonné technologie

Žádné z dříve uvedených pohonných systémů nemohou konkurovat požadavkům kladeným na systémy 21. století. Všechna vozidla, v nichž pracují spalovací motory zatěžují své okolí výfukovými spalinami anebo jsou závislé na fosilních zdrojích. Přestože elektrická bateriová vozidla nabízí četné výhody (bezemisní a tichý provoz), zásobník energie – baterie je příliš těžký, drahý a má nedostatečnou životnost. Dle mého názoru, se jako perspektivní alternativa zdroje energie nabízí technologie palivových článků s využitím vodíku jakožto paliva. Vozidlo na palivový článek disponuje poměrně vysokou účinností, umožňuje provoz automobilu s nulovými emisemi a není odkázáno na fosilní paliva. Následující kapitola je proto věnována palivovým článkům a vodíku.

3.1 Palivový článek

První palivový článek představil v roce 1839 britský vědec a vynálezce sir William Robert Grove, který zjistil, že je možné vyrábět elektřinu procesem inverzním k elektrolýze vody. Jeho článek se skládal z platinových elektrod, kyseliny sírové jakožto elektrolytu a horní uzavřená část byla vyplněna kyslíkem a vodíkem. Indikátor elektrického napětí byla nádobka, v níž probíhala elektrolýza vody. Celé zařízení neprodukovalo dostatečné množství elektřiny, tak aby mohlo být použité v průmyslu.

Praktické aplikace se palivový článek dočkal až v 60. letech minulého století, kdy NASA použila palivové články jako zdroj elektřiny pro vesmírné moduly Gemini a Apollo. Tímto popudem byl nastartován intenzivní vývoj palivových článků.

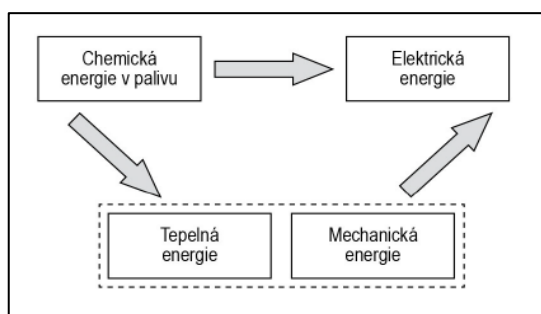
Základní princip činnosti

Palivový článek je zařízení, v němž dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na elektrickou prostřednictvím elektrochemických procesů (viz obr. 3.1 a 3.2). Skládá se ze dvou porézních elektrod oddělených membránou nebo elektrolytem. V oblasti pórů elektrod vzniká třífázové rozhraní – elektroda, elektrolyt a reaktanty vzniklé oxidací paliva a redukcí okysličovaadla. **Základní princip transformace energie je pro všechny palivové články stejný**, jednotlivé typy se však liší materiálem elektrod, použitým elektrolytem, pracovní teplotou a konkrétními chemickými reakcemi probíhajícími na anodě a katodě. [9]

Na zápornou palivovou elektrodu – anodu, se přivádí palivo. To zde oxiduje (jeho atomy se zbavují za přispění katalyzátoru jednoho nebo několika elektronů z valenční sféry) a uvolněné elektrony představující elektrický proud se pohybují vnějším obvodem ke kladné elektrodě. Na kladné elektrodě – katodě, kam se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla volně elektrony přijímají) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Obě elektrody působí výlučně jako katalyzátor chemických přeměn. Během činnosti článku se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění. [11]

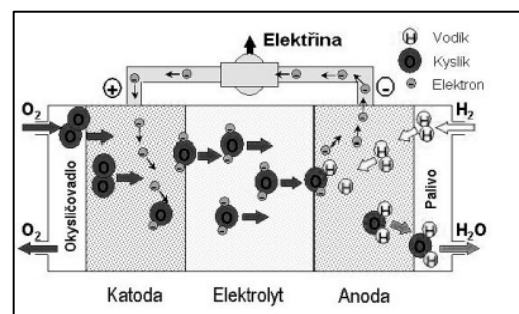
Palivový článek se tedy nevybíjí. Dokud je účastná chemická substance přiváděná zvnějšku, může palivový článek v principu dodávat energii neomezeně. Jeho výkon se může v širokých mezích libovolně měnit. Vozidlo vybavené palivovými články může v krátké době natankovat palivo, např. vodík, metanol nebo zemní plyn, které mu postačí na mnoho hodin jízdy. Účinnost zařízení s palivovým článkem je téměř až dvojnásobná oproti účinnosti klasického spalovacího motoru.

Obr. 3.1 Schéma transformace energie



Zdroj: [9]

Obr. 3.2 Princip činnosti



Zdroj: [9]

3.2 Typy palivových článků

Typy palivových článků se rozlišují zejména v závislosti na používaném elektrolytu, který může mít i podobu membrány či keramiky. Dalšími kritérii pro dělení článků může být i typ používaného paliva nebo provozní teplota. **Za nízkoteplotní články považujeme ty, které pracují do teploty 250 °C.** Patří sem palivový článek s alkalickým elektrolytem (AFC), s polymerním elektrolytem (PEFC, PEMFC), palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC) a přímý metanolový. V dnešní době jsou nízkoteplotní články využívány zejména v mobilních aplikacích, k výrobě elektrické energie a dopravě. **Vysokoteplotní články pracují při provozní teplotě 600 až 1000 °C.** Do této kategorie

patří například palivový článek s roztavenými uhličitany (MCFC) a s tuhými oxidy (SOFC). Vysokoteplotní články našly své uplatnění v kombinované výrobě tepla a stacionárních aplikacích.

3.2.1 Alkalický palivový článek (AFC)

Palivové články s alkalickým elektrolytem jsou nejlépe prozkoumané a nejvíce používané typy. Jak již z názvu vyplývá, ke své funkci používají elektrolyt tvořený alkalickými kovy – nejčastěji hydroxidem sodným či draselným. KOH je upřednostňovaným elektrolytem, neboť má ze všech alkalických hydroxidů nejvyšší vodivost. Pro články pracující při teplotě ~ 260 °C se používá 85% KOH, pro články s nižší provozní teplotou (< 120 °C) 35–50% KOH. Výhodou AFC je vynikající výkon při použití vodíku a kyslíku ve srovnání s ostatními typy palivových článků v důsledku aktivní kyslíkové kinetiky elektrod a široký rozsah možných katalyzátorů (např. nikl, stříbro, oxidy kovů, drahé kovy). Jako palivo bývá použit nejčastěji čistý vodík (H_2). Jeho největší slabinou je náchylnost ke znečištění elektrolytu a pór elektrod v důsledku reakce KOH se vzdušným oxidem uhličitým (CO_2). Alkalický palivový článek je vzhledem ke své konstrukci jedním z nejjednodušších a během doby se osvědčil zejména v zařízeních pro kosmický průzkum.

3.2.2 Palivové články s polymerní membránou (PEM-FC)

PEMFC je jeden ze základních typů palivových článků, který využívá k oddělení anody od katody ionto-vodivou **polymerní membránu** (Polymer Electrolyte Membrane – PEM). Rozhraní mezi elektrodou a membránou je obohaceno vrstvou katalyzátoru, který je v důsledku nízké provozní teploty tvořen platinou. Platina je vhodná, neboť je dostatečně reaktivní při vázání se na H a O, jak je požadováno pro elektrochemický proces na elektrodách (urychluje průběh procesu na elektrodách) a zároveň je schopná účinně uvolňovat meziprodukty při tvorbě výsledné sloučeniny. Jelikož článek pro oddělení protonů od elektronů využívá polymerní membránu, odpadají problémy s možnou korozí vyvolanou elektrolytem. Důležitým požadavkem u těchto typů článků je zajistit vysoký obsah vody v elektrolytu z důvodu iontové vodivosti. Nejčastěji používaným palivem je vodík, ale použit může být například i metanol. PEMFC lze využít v širokém okruhu aplikací od záložních zdrojů elektrické energie, menších zdrojů pro lokální výrobu elektřiny až po dopravní sektor pro pohon automobilů. [12]

3.2.3 Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Palivové články s kyselinou fosforečnou jsou dosud jediným komerčně využívaným typem palivových článků. Obsahují vysoce koncentrovanou kyselinou fosforečnou v podobě gelu v pletivu teflonu vázaného karbidem křemíku. Elektrodový katalyzátor je tvořen grafitem s příměsí platiny. Jako palivo může být použit zemní plyn anebo metanol. Pracovní teplota PAFC je asi 200 °C, z tohoto důvodu našli své uplatnění jako tepelná ohřívací zařízení. Dosahují elektrické účinnosti asi 40 % při současné termické účinnosti cca 45 %. Dokáží v řádu několika minut reagovat na změnu výkonu, oproti velkým elektrárnám, u kterých zvýšení výkonu trvá až několik hodin.

3.2.4 Palivový článek s roztavenými uhličitany (MCFC)

Palivové články s taveninou alkalických uhličitánů pracují při teplotě přibližně 650 °C. Při takto vysoké teplotě nejsou potřebné drahé kovy jako katalyzátor, a navíc je zajištěná dostatečná vodivost uhličitánového elektrolytu. Elektrolytem je směs roztavených uhličitánů v pórovité chemicky inertní keramické matici sestávající se ze směsi oxidů lithia a uhlíku. Hlavním problémem MCFC je v tom, že oxid niklu rozpuštěný v elektrolytu se vylučuje v blízkosti anody jako čistý nikl a může dojít ke spékání anody a katody a následnému zkratu v článku. Mimoto, použité roztavené uhličitany jsou vysoce korozivní a jsou požadovány zvláštní materiály. Z tohoto důvodu se tyto palivové články nehodí pro zavádění ve vozidlech. [6], [9]

3.2.5 Palivový článek s tuhými oxidy (SOFC)

Vysokoteplotní palivové články s pevným elektrolytem se vyznačují provozní teplotou přesahující 800 °C. Články s tuhými oxidy využívající keramický elektrolyt poskytují značné výhody: nezpůsobují korozi, bezproblémové zacházení a tvar článků není nijak omezen. Vysoká provozní teplota palivových článků s pevným elektrolytem umožňuje vnitřní reforming paliva – zvyšuje podstatně rychlost elektrochemické reakce a umožňuje i přes termodynamické ztráty dosažení vyšší účinnosti. Elektrolytem bývá nejčastěji tuhá směs oxidů yttria a zirkonu. Tyto látky patří při dostatečně vysokých teplotách mezi výborné vodiče dvojmocných aniontů kyslíku. Katoda je tvořena slitinou lathanu a oxidu manganového s příměsí malého množství stroncia. Anoda je složená z niklu a oxidu zirkoničitého ZrO_2 . Palivem jsou obvyklé plynné látky získané zpracováním uhlí. [6], [9]

3.2.6 Palivový článek pro přímou reakci metanolu (DMFC)

Přímo-metanolový článek používá namísto vodíku jako palivo metanol. Metanol, v podobě vodní páry nebo kapaliny smíchaný s vodou, je přiváděn na anodu a na katodu je přiváděn vzduch z vnějšího prostředí. Elektrolytem může být polymerová fólie, vodní roztok, nebo alkalický roztok hydroxidu draselného. Využití metanolu jako paliva je zatím ve stádiu vývoje. Článek dosahuje oproti membránovému článku s vodíkem jako palivo nízký výkon a pouze 40% účinnost.

3.2.7 Palivový článek zinek-vzduch (ZAFC)

Tento typ palivových článků pracuje na obdobném principu jako zinek-vzduchové akumulátory (popsané v kap. 2.5.7). Ke katodě je přiváděn z vnějšího okolí vzduch, který prochází přes membránu propouštějící atmosférický kyslík. Poté co se kyslík přemění na hydroxidové ionty a vodu, putují ionty přes elektrolyt k zinkové anodě. Jako palivo tedy slouží zinek, který oxiduje na oxid zinečnatý. Tento proces vyvolává elektrický potenciál, prostřednictvím uvolněných elektronů. Po spotřebování veškerého paliva stačí jednoduše doplnit nádrž zinkem, nebo připojit článek k elektrické síti a spustí se zpětná reakce (oxid zinečnatý se zredukuje zpět na zinek). Výhoda ZAFC článků je vysoká měrná energie a cena zinku, jakožto paliva.

3.2.8 Regenerativní palivový článek (RFC)

Nynější systém palivových článků pracuje jen v jednom směru, tj. vyrábí elektrický proud z paliva. Pro mnohá použití by byla výhoda, kdyby palivový článek byl schopen pracovat také v obráceném směru, tedy aby si za pomoci přivedené energie vyrobil palivo sám. Tato technologie se prozatím praktické aplikace nedočkala a je stále ve fázi vývoje. Selhává na faktu, že katalyzátory jsou schopny pracovat pouze v jednom směru.

3.3 Palivové články vhodné pro automobilový průmysl

Oproti klasickým akumulátorům elektromotoru mají palivové články značné výhody v podobě vysoké životnosti, nízkému opotřebení, ekologické čistotě a vyššímu dojezdu. Vzhledem k jejich provozním teplotám připadají v úvahu pro zavedení do vozidel pouze nízkoteplotní palivové články. Budoucnost dle mého názoru patří **přímo-metanolovým palivovým článkům (DMFC)** a palivovým článkům s **polymerní membránou (PEM-**

FC). DMFC může pracovat přímo s metanolem bez potřeby předchozí reformace, což je obrovská výhoda. Metanol lze jednoduše dodávat jako kapalinu, má vysokou energetickou hustotu a manipulace s ním je bezproblémová. Navíc může být jako palivo použito i bio-metanol. Vzhledem k jejich malému výkonu a nízké účinnosti jsou zatím pro automobilový průmysl málo atraktivní. Druhý ze zmíněných článků je vysoce kompaktní, obsahuje nekorozivní elektrolyt a umožňuje rychlý start i provoz za nižších teplot. Má spolehlivý výkon (od 50 do 250 kW) a dlouhou životnost až 20 000 hodin. Pro využití ve vozidlech dosahuje potřebných **5000 až 6000 hodin**. Může být provozován při vysokém napětí, což vede k nízkým elektrickým ztrátám a dobré výkonové hustotě. Disponuje potřebným výkonem a dosahuje až 60 % účinnosti. Hlavní překážkou hromadnému zavedení PEMFC do vozidel je vysoká **cena polymerových membrán a nevyřešená legislativa v oblasti skladování a distribuce vodíku**.

3.4 Vodík

Vodík je jedním z nejrozšířenějších prvků na zemi. Samotný vodík je bezbarvý plyn bez chuti a bez zápachu, který je vysoce reaktivní, proto se v přírodě vyskytuje pouze v podobě sloučenin. Nachází se v anorganických i organických sloučeninách, ale největší množství vodíku je vázáno ve vodě, která pokrývá 2/3 zemského povrchu. Jelikož je nutné vodík pro další použití získávat ze sloučenin, je nutné zdůraznit, že vodík není energetickým zdrojem ale pouze nosičem. energii obsaženou ve vodíku lze získat dvěma způsoby: přeměnou energie z vodíku přímo ve spalovacím motoru anebo přeměnou energie v palivových článcích.

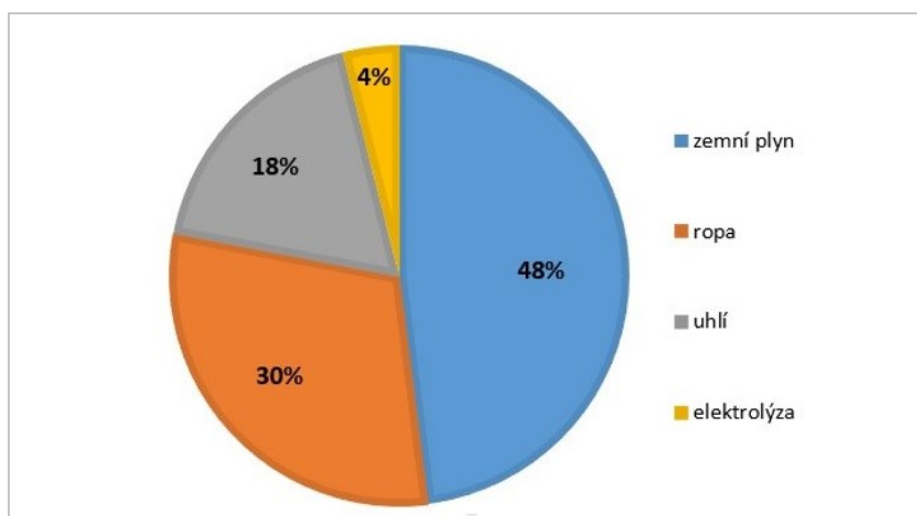
3.4.1 Výroba vodíku

Výrobu vodíku je možno rozdělit do čtyř základních skupin:

- výroba vodíku z fosilních paliv,
- výroba vodíku elektrolýzou vody,
- výroba vodíku z biomasy,
- výroba vodíku z alternativních zdrojů energie.

Z dlouhodobého hlediska se samozřejmě za perspektivní postup pro výrobu vodíku považuje získání energie z obnovitelných zdrojů. Bohužel tento podíl je v současné době značně malý (viz obr. 3.3).

Obr. 3.3 Procentuální podíl různých surovin na výrobě vodíku



Zdroj: [6]

a) Výroba vodíku z fosilních paliv

Do této kategorie spadá parní reformování zemního plynu, parciální oxidace uhlovodíků a zplyňování uhlí. Parní reformování zemního plynu je nejrozšířenější způsob výroby vodíku v současnosti. Náklady na výrobu touto technologií jsou cca o 35–38 % nižší než výroba vodíku parciální oxidací a zplyňováním uhlí. Jako surovina se využívá především zemní plyn, který je tvořen převážně metanem. Při parním reformování zemního plynu probíhají dvě základní reakce. Nejdříve probíhá endotermní reakce (3.1) při teplotách 750–800 °C, poté při nižší teplotě (> 550 °C) reaguje vzniklý oxid uhelnatý s vodní párou exotermně dle rovnice (3.2). [6]



Parciální oxidace uhlovodíků je druhý nejčastější způsob výroby vodíku na světě. Jako suroviny lze použít plynné i kapalně suroviny z primárního i sekundárního zpracování ropy. Uhlovodíky se zplyňují vodní párou a kyslíkem při teplotách 1300–1500 °C, za vzniku vodíku. Nevýhodou tohoto způsobu výroby vodíku je vznik oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a sazí. [6], [11]

Zplyňování uhlí představuje nejstarší metodu pro výrobu vodíku. Proces probíhá obdobně jako parciální oxidace ropných zbytků. Vstupní surovina – uhlí, je zplyňována vodní párou a kyslíkem při vysokých teplotách dosahujících až 1300 °C. Výsledným produktem je plyn složený z oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, vodíku a dalších nečistot

pocházejících z uhlí. Poté co je horký syntézní plyn ochlazen a očištěn od CO₂, je získán velmi čistý vodík.

b) Výroba vodíku elektrolýzou

Elektrolýza vody je klasickou prověřenou technologií výroby vodíku, při které dochází k chemickému štěpení molekuly vody H₂O prostřednictvím elektrického stejnosměrného proudu. Potřebné minimální napětí je 1,24 V při tlaku 0,1 MPa a teplotě 25 °C. Výsledkem disociace vody je vznik iontů H⁺ a OH⁻, které jsou přitahovány k opačně nabitým elektrodám. Ionty OH⁻ putují na kladnou elektrodu – anodu, kde dochází k jejich oxidaci (ztrácejí elektrony podle reakce 3.3) a vodíkové protony H⁺ putují k záporné elektrodě – katodě, kde se redukují (přijímají elektrony podle reakce 3.4). [6]



Souhrnným dějem elektrolýzy je tedy rozklad vody spotřebovaný elektrickým proudem na plynný vodík a plynný kyslík dle následující reakce 3.5. [6]



Výsledná účinnost výroby vodíku elektrolýzou vody je asi 25–35 %. Tento způsob výroby, tedy potřebuje obrovské množství energie a je vhodný při použití elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, tj. solární, větrné, vodní anebo jaderné energie.

c) Výroba vodíku z biomasy

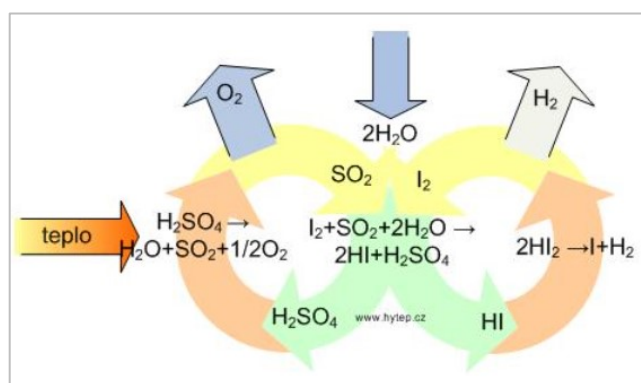
Výrobu vodíku z biomasy lze rozdělit na dva postupy, a to parním reformováním biomasy a biotechnologické procesy. Vhodná surovina pro výrobu vodíku prostřednictvím zplyňování biomasy je od pevných odpadů (dřevo), přes odpady z potravinářského průmyslu, také zemědělská biomasa. V případě vlhké biomasy je výhodnější využít pro výrobu vodíku biotechnologické procesy. V tomto případě rozlišujeme: nepřímé biotechnologické procesy bez přítomnosti světla (vodíková fermentace) a přímé biotechnologické procesy za využití světla (fotofermentace, fotolýza, biofotolýza). Výroba vodíku z biomasy je prozatím málo využívána, nicméně je považována za velice výhledovou. [6]

d) Výroba vodíku s využitím alternativních zdrojů energie

Výrobu vodíku lze realizovat také elektrolýzou vody při použití elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Nejvhodnější zdroj energie v této oblasti představuje solární

energie. Za účelem zvýšení účinnosti výroby vodíku jsou vyvíjeny nové metody štěpení vody, mezi které patří vysokoteplotní elektrolýza a termochemické cykly. V případě vysokoteplotní elektrolýzy je část energie přiváděná ve formě tepla. Proces probíhá za vysokých teplot v parním prostředí ve vysokoteplotním elektrolyzátoru. Platí, čím větší je teplota, tím větší je účinnost procesu. U termochemických cyklů dochází k rozpadu vazeb v molekule vody prostřednictvím série chemických reakcí, které jsou iniciované přívodem tepla nebo elektrické energie. Nejznámější termochemický cyklus je siřičitojódový cyklus (**S-I cyklus**). [15]

Obr. 3.4 Znárodnění reakcí při S-I cyklu



Zdroj: [15]

3.4.2 Skladování a distribuce vodíku

Pro prosazení vodíkové technologie v dopravě je nutné vybudovat potřebnou infrastrukturu. Ta je v současnosti absolutně nevyhovující. Na celém světě se nachází okolo 160 čerpacích vodíkových stanic. Nejvíce jich nalezneme v USA a Německu. První česká byla otevřena v roce 2009 v Neratovicích. Vodík je zde uchováván v nadzemním zásobníku o objemu 50 m³ a slouží pro pohon vodíkového autobusu TriHyBus. [5]

Převahu vodíku lze uskutečnit dvěma způsoby. Buďto za pomoci dálkových plynovodů anebo převozem v tlakových nádobách. Převahu plynovody lze realizovat, jestliže je zajištěn dostatečný odbyt (například v sousedním Německu je vybudováno přes 200 km vodíkových plynovodů). Do dnešní doby byly požadavky na dálkovou přepravu a uchování většího množství vodíku méně četné, ale v současnosti je této problematice věnována větší pozornost, neboť vodík je očekáván jako palivo budoucnosti. Zatím však není rozhodnuto, v jaké formě bude vodík skladován a následně distribuován. Existují tři možnosti: stlačený, zkapalněný anebo vázaný vodík ve formě hydridů.

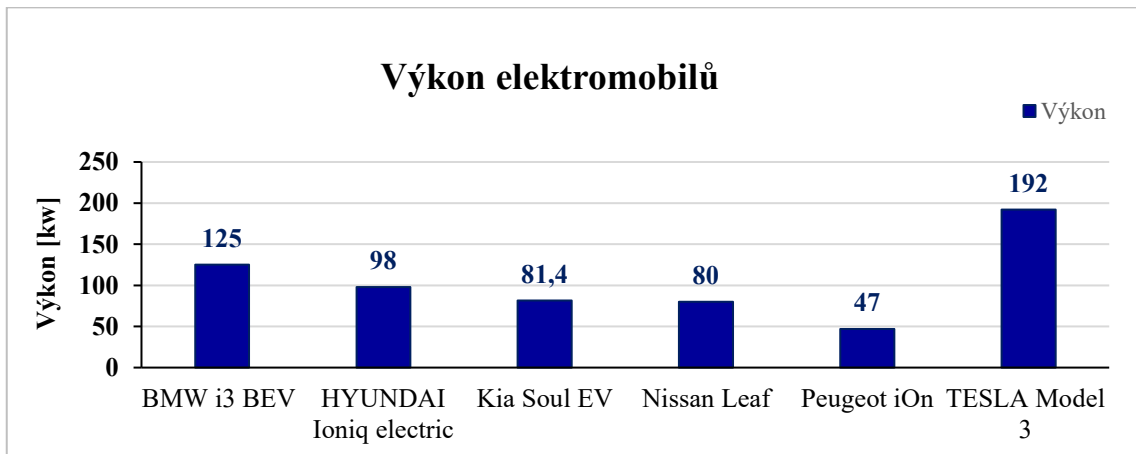
4 Zhodnocení

Cílem této kapitoly je zhodnotit představené alternativní pohony silničních motorových vozidel a nalézt odpověď na otázku, které palivo je z pohledu udržitelného rozvoje lidské společnosti do budoucna nejlepší. První část kapitoly je zaměřena na posouzení již zavedených alternativních pohonů, a to zejména z pohledu **spotřebitele**, který by dnes uvažoval o koupi nového vozu. Takové vozidlo musí být pro něj nejen ekonomicky a technicky atraktivní, ale zároveň musí co nejméně zatěžovat životní prostředí. Jelikož při posuzování ekologické a ekonomické výhodnosti použití alternativních paliv není možno hodnotit pouze finální fázi jejich spotřeby ve vozidlech, ale je nutno brát v úvahu jejich celý „**životní cyklus**“ zahrnující i předcházející fáze produkce zdrojů výroby paliv a jejich následné distribuce až ke spotřebiteli, je následující část kapitoly věnována komplexnější analýze alternativních paliv pro pohon automobilů, která se nazývá „Well to Wheels“ neboli „od zdroje na kola“. Pouze taková analýza je zcela komplexní a umožňuje zohlednit skutečnost, že v některých případech může být výrobní fáze natolik ekologicky a energeticky náročná, že v celkové bilanci je zcela negován pozitivní efekt konečné spotřeby paliva ve vozidle. V poslední části této kapitoly budou shrnuty veškeré poznatky o jednotlivých zdrojích energie, a na základě získaných informací se pokusím odhadnout směr, jakým by se mohl automobilový průmysl v budoucnu ubírat.

4.1 Srovnání parametrů vybraných typů vozidel s alternativními pohony

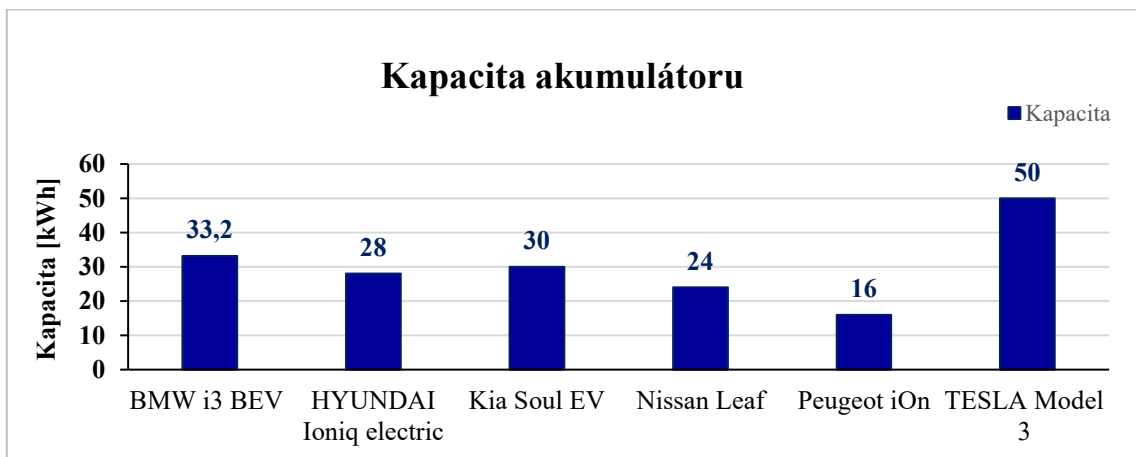
V případě **elektromobilů** jsem si jako zástupce pro hodnocení vybrala vozidla: BMW i3 BEV, Hyundai Ioniq electric, Kia Soul EV, Nissan Leaf, Peugeot iOn a Teslu Model 3. Z obr. 4.1 až 4.5 lze vyčíst, že elektromobil Tesla disponuje nejlepšími jízdními vlastnostmi (zrychlení a kapacita akumulátoru), ale jeho pořizovací cena již tak sympatická není. Vzhledem k jeho kapacitě baterie lze předpokládat, že hmotnost vozu bude ze všech hodnocených nejvyšší. Automobil Tesla Model 3, má také oproti ostatním elektromobilům výrazně vyšší výkon. To je způsobeno přítomností elektromotoru na každém kole. Ostatní vozidla mají k dispozici pouze jeden elektromotor na jednu nápravu. Nicméně ze všech hodnocených vozidel mne nejvíce zaujal vůz Hyundai Ioniq electric – je cenově dostupný a jeho jízdní vlastnosti jsou velice dobré.

Obr. 4.1 Porovnání výkonů elektromobilů



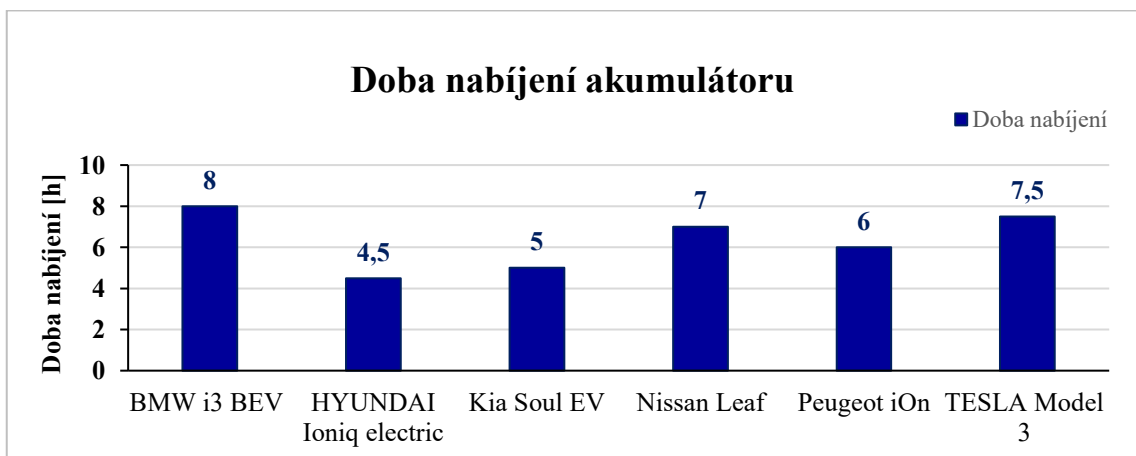
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.2 Porovnání kapacity akumulátorů u elektromobilů



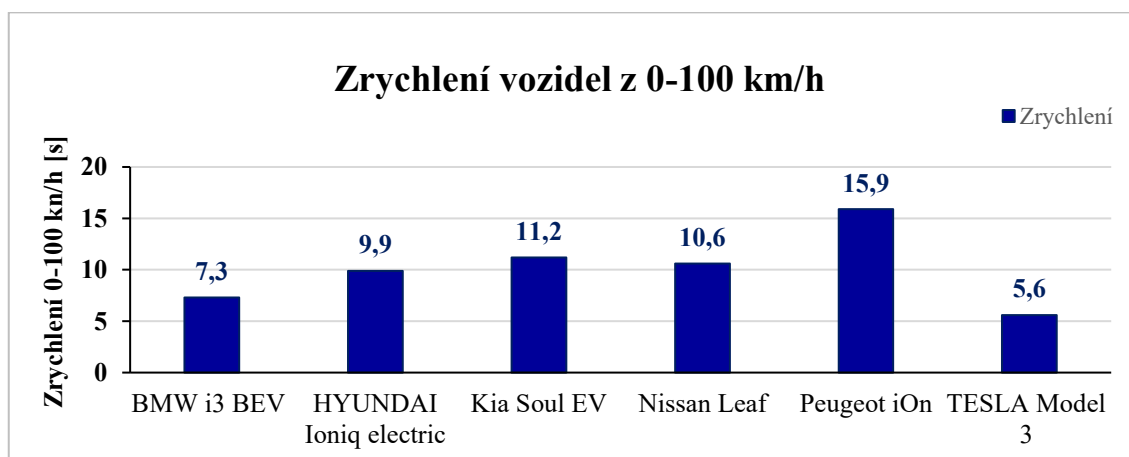
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.3 Porovnání doby nabíjení akumulátorů u elektromobilů



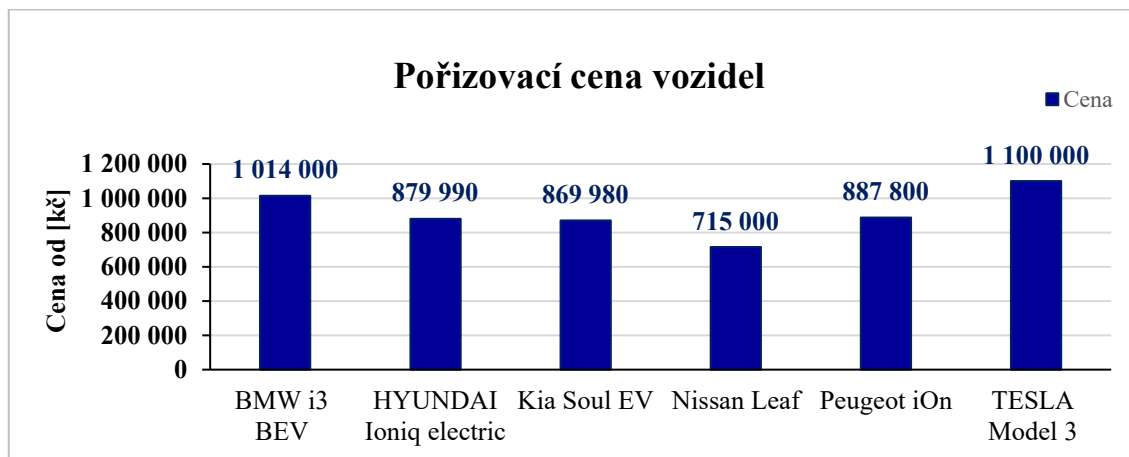
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.4 Porovnání zrychlení vozidla u elektromobilů



Zdroj: vlastní zpracování.

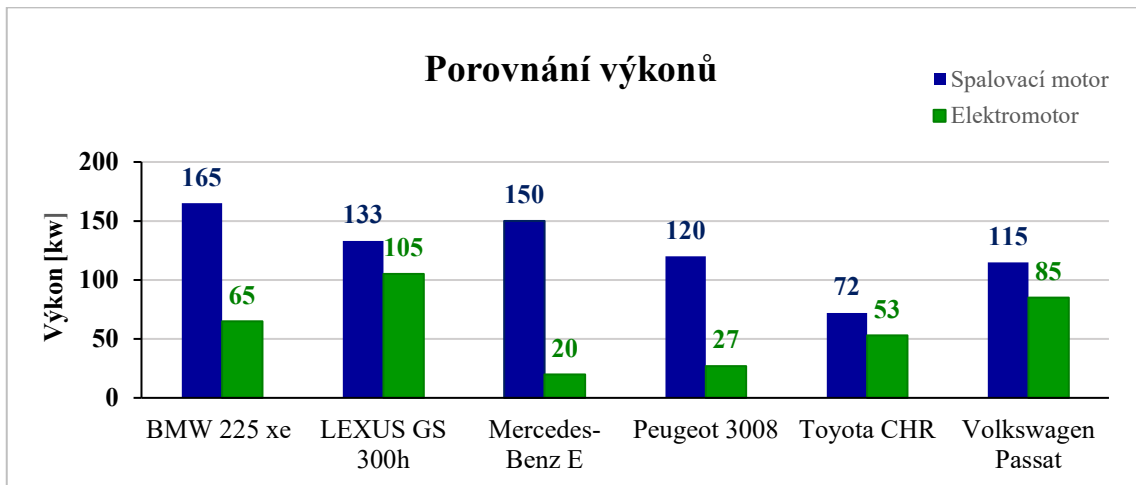
Obr. 4.5 Porovnání pořizovací ceny vozidla u elektromobilů



Zdroj: vlastní zpracování.

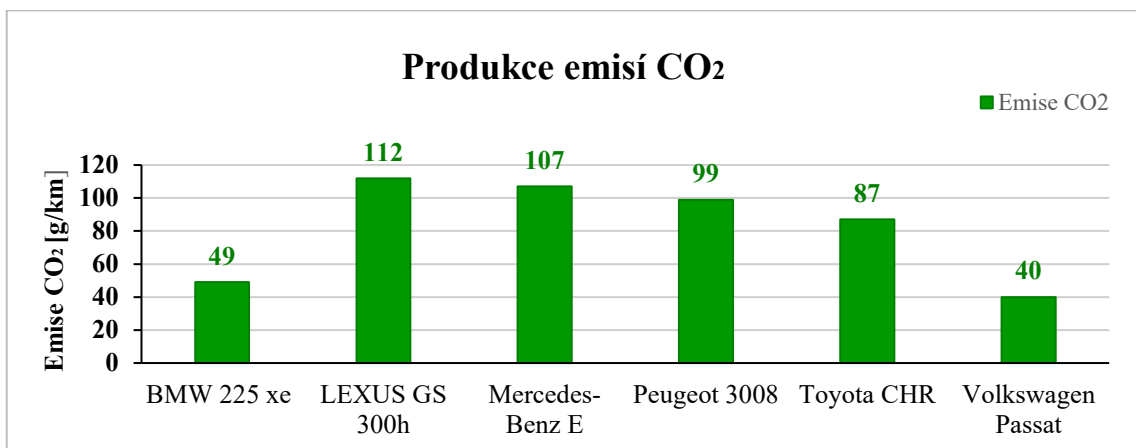
Hybridní pohon reprezentují vozidla: BMW 225 xe, Lexus GS 300 h, Mercedes-Benz E, Peugeot 3008, Toyota CHR a Volkswagen Passat. Z obr. 4.6 až 4.8 je krásně viditelné, jak způsob konstrukce vozidla ovlivňuje jeho budoucí jízdní vlastnosti. Nejdříve si všimněme spotřeby paliva u jednotlivých hybridních vozidel na obr. 4.8. Větší spotřeba paliva u automobilů Lexus GS 300 h a Mercedes-Benz E nám jasně signalizuje, že spalovací motor je u těchto soustav mnohem více využíván. Tedy čím více je využíván výkon spalovacího motoru oproti elektromotoru, tím větší je spotřeba paliva a tím pádem i vyšší produkce emisí CO₂. Ze všech hodnocených hybridních vozidel se mi nejlépe technicky řešené zdá vozidlo BMW 225xe. Má nejmenší spotřebu paliva, nejmenší produkci emisí CO₂ a cena je vzhledem k ostatním vozům taktéž přijatelná.

Obr. 4.6 Porovnání výkonů elektromotoru a spalovacího motoru u hybridního pohonu



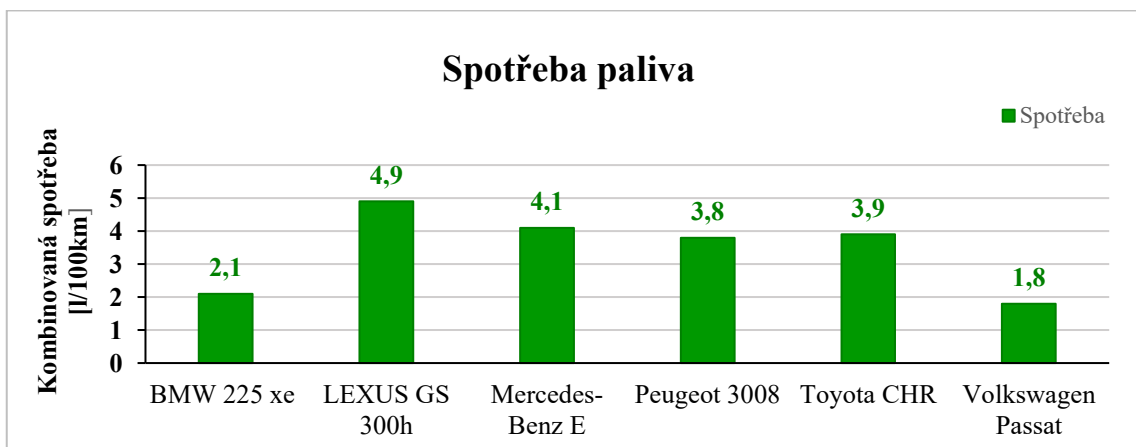
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.7 Porovnání produkce emisí CO₂ u hybridních pohonů



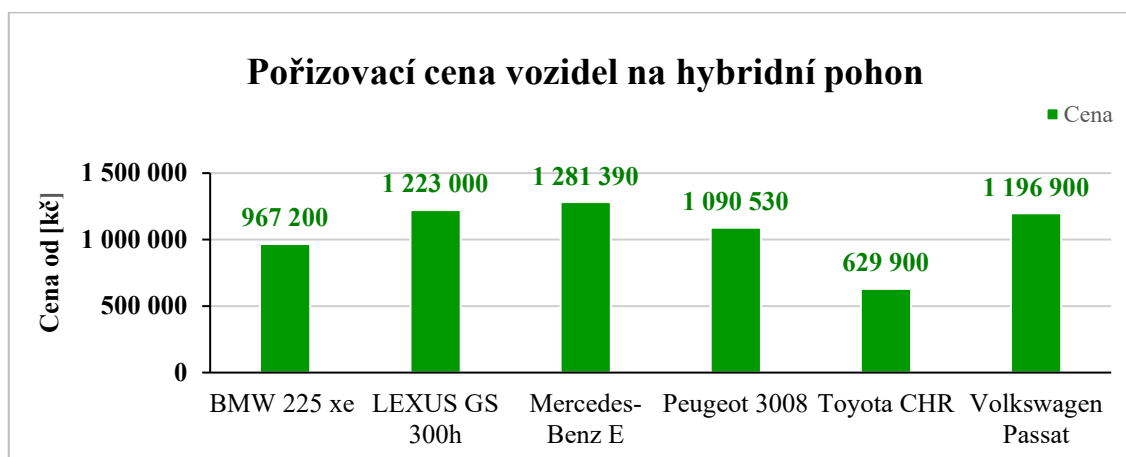
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.8 Porovnání spotřeby paliva u hybridních pohonů



Zdroj: vlastní zpracování.

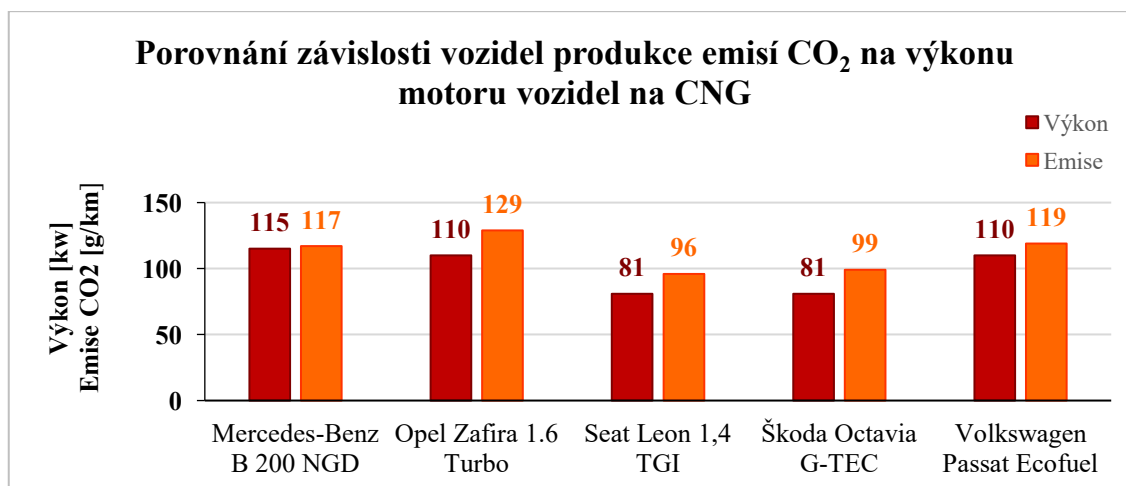
Obr. 4.9 Porovnání pořizovací ceny vozidla u hybridních pohonů



Zdroj: vlastní zpracování.

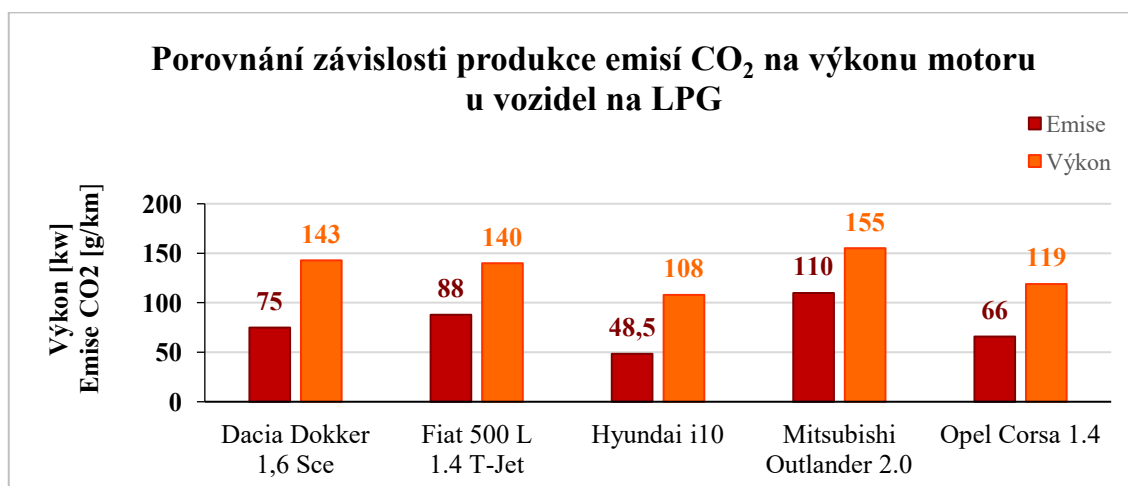
Poslední hodnocenou skupinu tvoří vozidla na **CNG a LPG** se svými vozy: Mercedes-Benz B 200 NGD, Opel Zafira 1.6 Turbo, Seat Leon 1.4 TGI, Škoda Octavia G-TEC, Volkswagen Passat Ecofuel za skupinu CNG a Dacia Dokker 1.6 Sce, Fiat 500L 1.4 T-Jet, Hyundai i10, Mitsubishi Outlander 2.0, Opel Corsa 1.4, za skupinu LPG. Výkon u obou skupin vozidel je dán zdvihovým objemem vozidla. Z grafů na obr. 4.10 a 4.11 vyplývá, jaká je závislost produkce emisí na výkonu motoru. Čím větší je výkon motoru, tím větší je produkce škodlivých emisí. Dále lze na základě těchto informací konstatovat, že vozidla na CNG produkují mnohem méně škodlivých emisí než vozidla na LPG. Za nejlepší vozidlo z celé této skupiny považují Škodu Octavii G-Tec.

Obr. 4.10 Porovnání závislosti produkce emisí CO₂ a výkonu motoru u vozidel na CNG



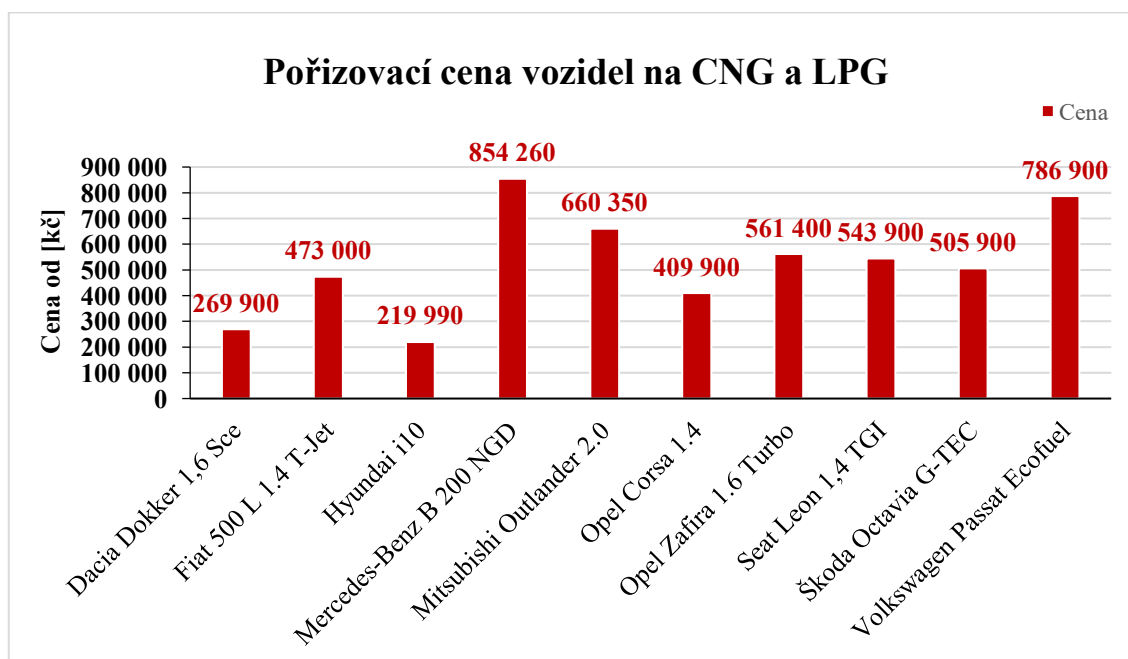
Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.11 Porovnání závislosti produkce emisí CO₂ a výkonu motoru u vozidel na LPG



Zdroj: vlastní zpracování.

Obr. 4.12 Pořizovací cena vozidel na CNG a LPG



Zdroj: vlastní zpracování.

4.2 Well to Wheels analýza

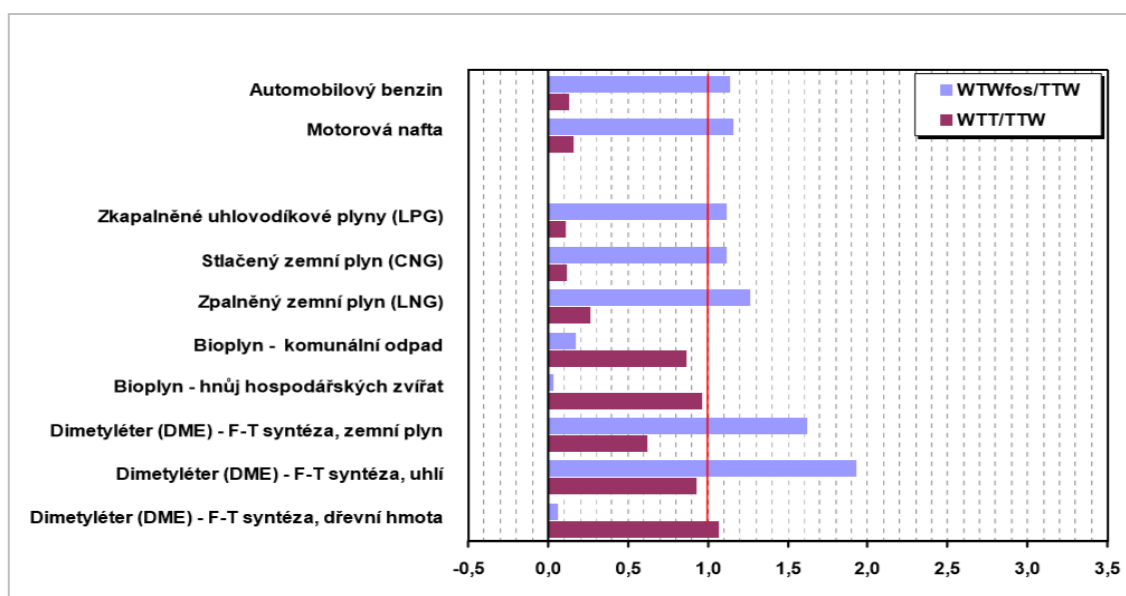
Komplexní posouzení vlivu paliva na životní prostředí je v současnosti celosvětově předmětem aktivity řady výzkumných pracovišť. Tato problematika je velice složitá a vyžaduje zpracování velkého množství vstupních dat z řady odvětví národního hospodářství. V současné době za nejlepší analýzu tohoto typu považuje studii „Well-to-

Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context“, která byla vydána v roce 2003 a je průběžně aktualizována. Studie stanovuje produkci GHG plynů pro klasická motorová paliva, alternativní plynná a kapalná paliva z hlediska různých způsobů jejich výroby a distribuce. [21]

Analýza každého hodnoceného paliva je rozdělena na dvě základní části. První část, tzv. **Well to Tank (WTT)** „od zdroje do nádrže“, posuzuje energetickou náročnost a emise skleníkových plynů v krocích předcházejících konečné spotřebě pohonné hmoty ve vozidle. Druhá část, tzv. **Tank to Wheels (TTW)** „z nádrže na kola“, pak bilancuje spotřebu energie a produkci GHG plynů ve fázi konečné spotřeby paliva ve vozidle. Obě části dohromady pak zahrnují celý „životní cyklus“ konkrétní pohonné hmoty, tzv. **Well to Wheels (WTW)** „od zdroje na kola“.

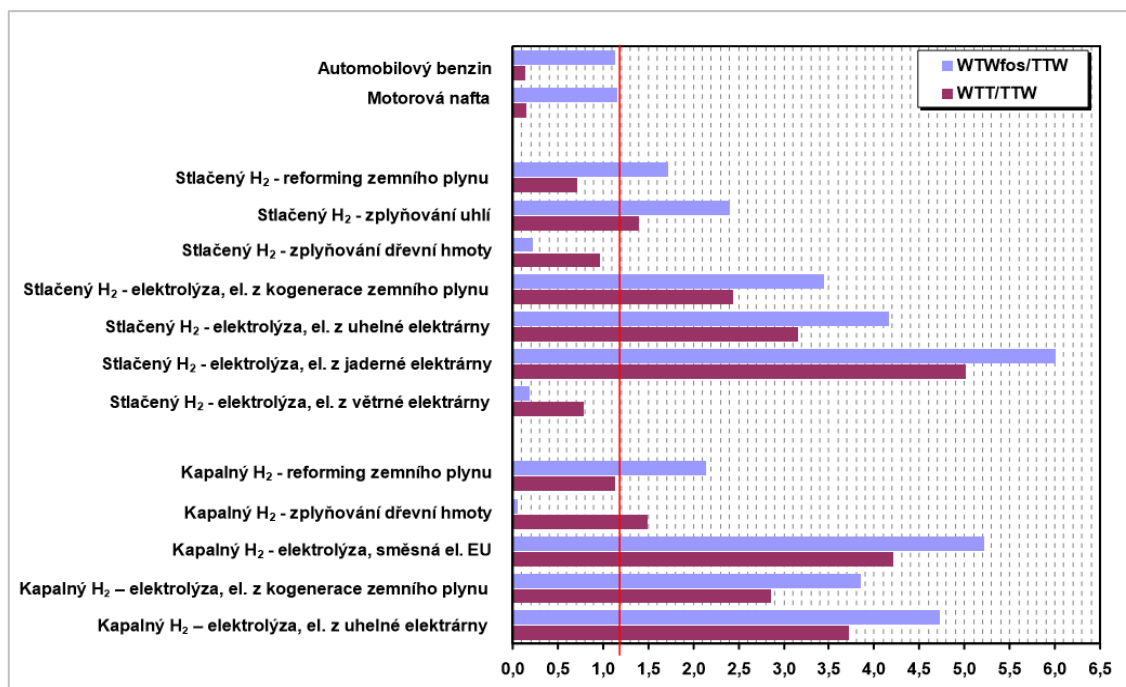
Následující sloupcové grafy na obr. 4.13 a 4.14 nám prezentují různé surovinové zdroje a způsob výroby, z hlediska porovnání energetické náročnosti ve fázi předcházející finální spotřebě paliva ve vozidle (WTT). V grafech jsou uváděny relativní hodnoty WTT energie vztažené na využitelný energetický obsah paliva (TTW). Dále nám přinášejí informaci o tom, jaký celkový podíl energie z fosilních zdrojů (WTT_{fos.}) připadá na jednotku energie v alternativním palivu spotřebovaném pro pohon vozidla (TTW).

Obr. 4.13 Relativní porovnání celkové spotřeby energie a energie z fosilních zdrojů (WTT_{fos.}) vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)



Zdroj: [21]

Obr. 4.14 Relativní porovnání celkové spotřeby energie a energie z fosilních zdrojů ($WTW_{fos.}$) konvenčních paliv a vodíku ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

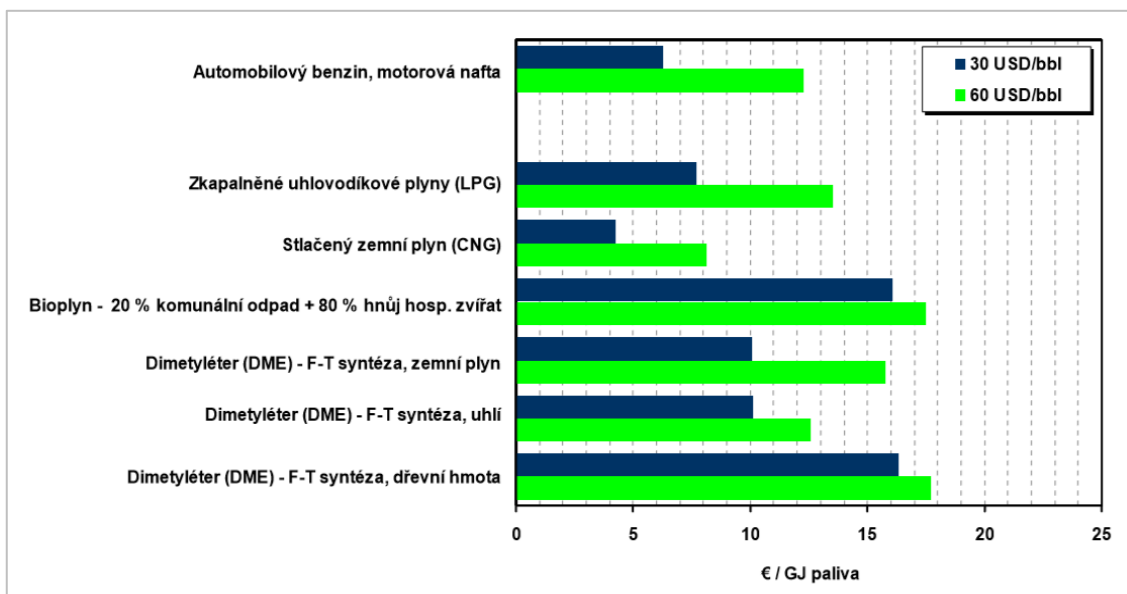


Zdroj: [21]

Z grafů na obrázcích 4.13 a 4.14 je patrné, že všechna alternativní paliva s výjimkou **CNG a LPG** se ve fázi WTT vykazují velkou energetickou náročností. Respektive energie potřebná na jejich výrobu, uskladnění a distribuci, v lepším případě odpovídá vlastnímu využitelnému energetickému obsahu paliva (např. DME a vodík vyrobený ze zemního plynu) a ve většině případů (bionafta, elektrolytický vodík aj.) však využitelný energetický obsah paliva několikanásobně překračuje. Potvrzuje se i fakt, že energie obsažená v biomase nebo přírodních zdrojích je velice málo koncentrovaná a větší část využitelného energetického potenciálu obnovitelných zdrojů je nutno rezervovat pro výrobu alternativních paliv a nebude ji možno efektivně využít ve fázi konečné spotřeby.

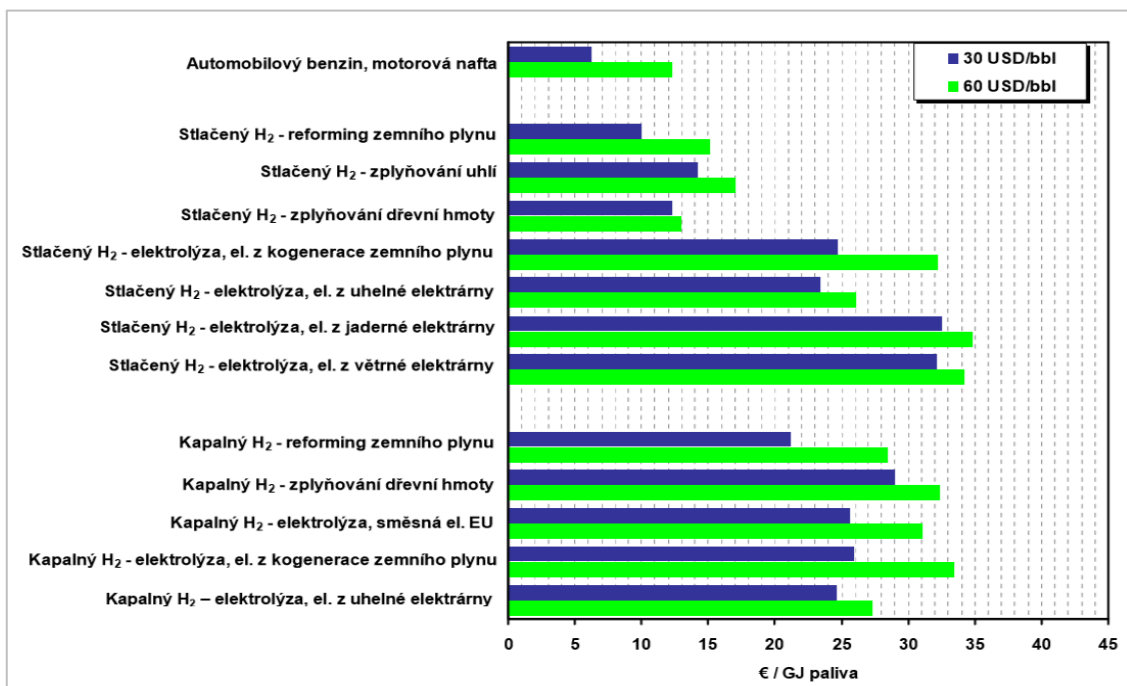
Sloupcové grafy na obr. 4.15 a 4.16 srovnávají průměrné náklady spojené s výrobou a distribucí vybraných alternativních paliv v závislosti na ceně ropy. Prezentovaná data nám přinášejí jednoznačnou informaci o tom, že výrobní **cena všech typů alternativních paliv je vyšší** než cena energeticky srovnatelného množství konvenčních paliv. (Při ceně ropy 60 USD za barel). Jediné výjimky jsou **zemní plyn a stlačený vodík vyrobený zplyňováním dřevní hmoty**. Jednoznačně výrobně nejdražší je elektrolytický vodík.

Obr. 4.15 Porovnání výrobních nákladů pro různá alternativní paliva a různé způsoby jejich výroby v závislosti na ceně ropy



Zdroj: [21]

Obr. 4.16 Porovnání nákladů pro různé způsoby výroby vodíku v závislosti na ceně ropy

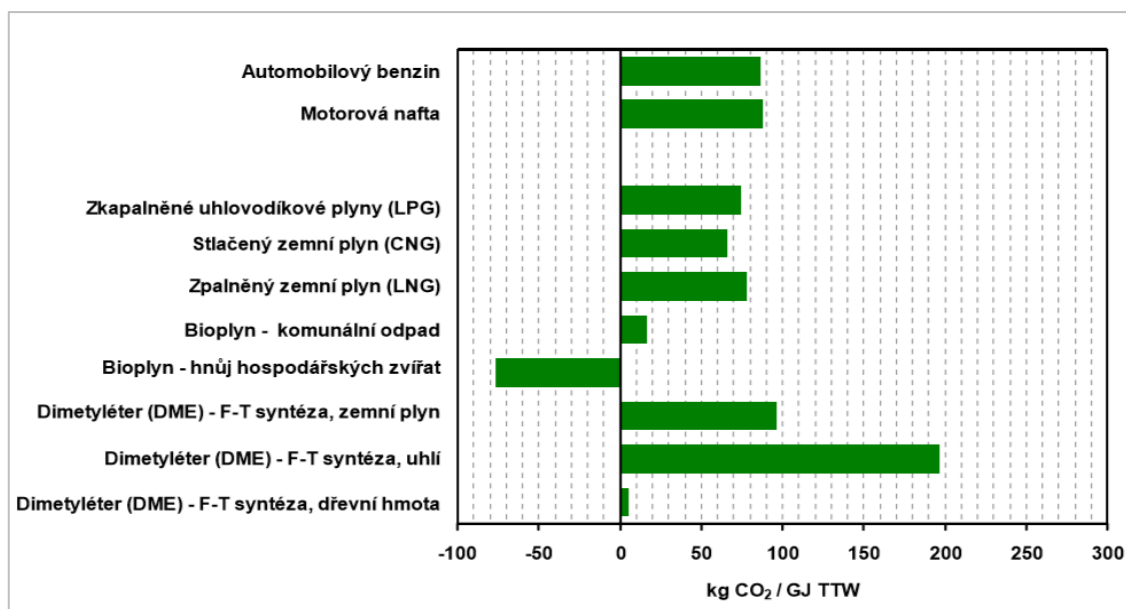


Zdroj: [21]

Alternativní paliva by se stala cenově konkurenceschopná pouze v případě nárůstu ceny ropy. Za stávající cenové politiky v oblasti paliv je jejich hromadné zavedení reálné pouze za předpokladu jejich **cenového a daňového zvýhodnění**.

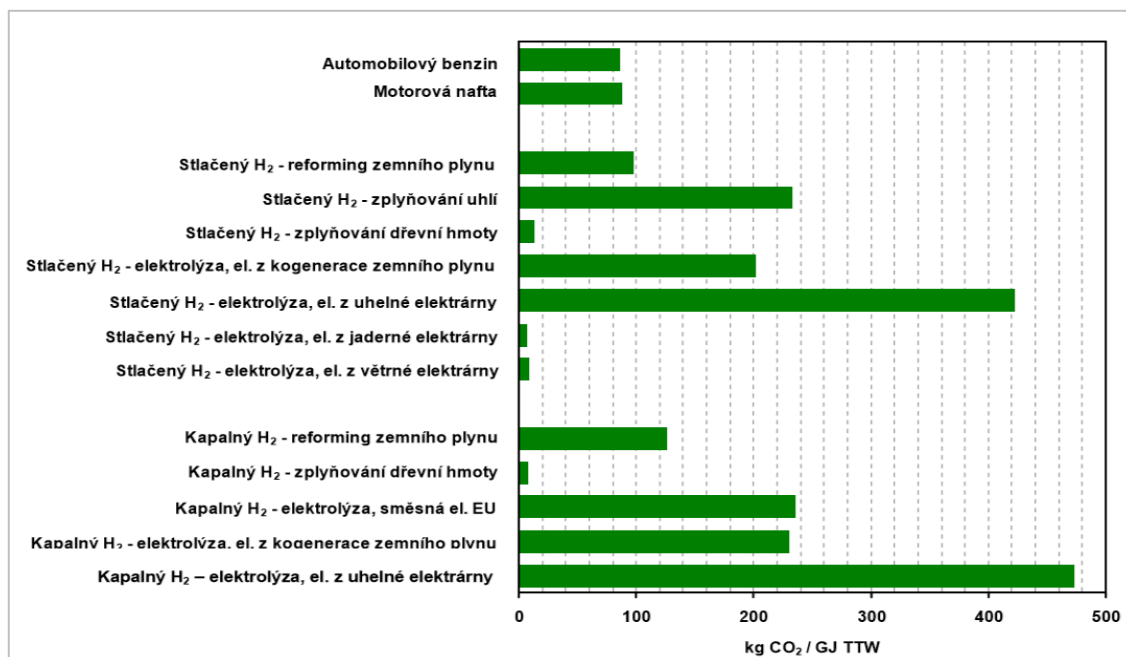
Poslední diskutovanou oblast představují grafy na obr. 4.17 a 4.18. Jedná se o měrné emise GHG plynů spojené s různou výrobou vybraných alternativních paliv. Jak se dalo očekávat, převážná většina alternativních zdrojů na bázi obnovitelných zdrojů přináší významné snížení emisí skleníkových plynů. Dokonce v případě bioplynu vyráběného fermentací hospodářského odpadu zvířat vykazují vzniklé emise záporné hodnoty, a to z důvodu efektivního a cíleného využití materiálu, který by jinak v neřízeném procesu emitoval nemalé množství skleníkových plynů. Zajímavé výsledky nám ukazuje Well to Wheel analýza v případě použitých již zavedených paliv LPG, CNG, LNG. Jejich využíváním sice dojde ke snížení emisí, ale až tak o výrazné snížení se nejedná. K úspoře skleníkových plynů nedojde ani v případě alternativních paliv, na jejichž výrobu se spotřebovává energie z uhlí anebo zemního plynu. V případě vodíku dostáváme jednoznačné výsledky a jak je z obrázku patrné, tak velikost emisí značně závisí na způsobu výroby. Vůbec největší emise vykazuje elektrolytický vodík vyrobený za pomoci energie z uhelné elektrárny. Oproti tomu vodík vyrobený taktéž elektrolýzou, zplyňováním dřevní hmoty, nebo za pomoci energie získané z větrné či solární energie, se vykazuje velice příznivou emisní bilancí.

Obr. 4.17 Celkové emise CO₂ spojené s výrobou a spotřebou vybraných alternativních paliv vztažené na využitelný energetický obsah



Zdroj: [21]

Obr. 4.18 Celkové emise CO₂ spojené s výrobou a spotřebou vodíku vztažené na využitelný energetický obsah



Zdroj: [21]

4.3 Celkové shrnutí

Jedním z hlavních argumentů pro používání alternativních motorových paliv jsou ekologické důvody. Postoj, jaký vůči této problematice zaujal automobilový průmysl, je velice pozitivní. A to hlavně z pohledu snížení produkce škodlivých emisí a skutečnosti, že některá alternativní paliva nepředstavují žádnou ekologickou zátěž pro vodní zdroje a půdu.

Na základě získaných informací, si dovoluji tvrdit, že některá alternativní paliva se svého **masového rozšíření zřejmě nedočkají**. Mezi taková paliva řadím například **biopaliva**. Výhoda biopaliv je sice jejich výroba z obnovitelných zdrojů – biomasy, nicméně jejich vyrobitelné množství je limitováno kapacitou hospodářské půdy. V případě, že by dnes všechna vozidla jezdila na biopaliva, k vykrytí této celosvětové spotřeby by nestačilo ani osázet veškerou hospodářskou půdu rostlinami, potřebných pro jejich výrobu. Navíc bude-li podíl vyrobených biopaliv příliš velký, mohlo by dojít k nežádoucímu efektu v podobě zvýšení cen potravin. Je tedy zřejmé, že produkce biopaliv se bude držet v environmentálně příznivé výši, tak aby napomáhala pouze ke snižování spotřeby ropy a zemního plynu.

Další možnou alternativu představují **elektromobily a hybridní pohony**. Hlavním problémem obou pohonných systémů zůstávají stále jejich nosiče energie – tedy **baterie**. Akumulátory mají nízkou kapacitu, krátkou životnost a jejich pořizovací cena je příliš vysoká. V budoucnosti by se tato situace mohla změnit, například využitím moderních technologií (palivové články, akumulátory zinek-vzduch), ale prozatím za těchto okolností pro mne ani jeden ze zmíněných pohonných systémů nepředstavuje plnohodnotnou náhradu za konvenční spalovací pohon. Další problém, který dle mého zabrání hromadnému rozšíření bateriových a hybridních vozidel, je jejich infrastruktura. Počet nabíjecích stanic je stále nízký a také si nejsem zcela jista, zda je vůbec elektrická síť dimenzována na nabíjení velkého počtu automobilů zároveň.

V poslední letech nejrozšířenější **alternativní pohon LPG**, bude dle mého názoru plně nahrazen stlačeným zemním plynem – **CNG**. Vyplývá to především z jejich chemických vlastností, tedy poměru atomu uhlíku a vodíku (čím větší je počet atomů uhlíku v jedné molekule uhlovodíku, tím se do ovzduší dostává více CO₂). CNG představuje menší ekologickou zátěž, a navíc často bývá i součástí různých státních koncepcí na podporu ekologických paliv. Bohužel stlačený zemní plyn patří do skupiny neobnovitelných paliv, a pojmem „alternativní“ kterým je označován je pouze dočasné. Slovo dočasně přesně vystihuje názor, který na toto palivo zastávám. Myslím si, že **CNG poslouží společnosti pouze jako přechodné palivo v krátkodobém a střednědobém horizontu, do té doby, než budou vyřešeny veškeré problémy spojené s vodíkem.**

Vodík pro mne představuje jediný přijatelný zdroj energie, který by mohl v budoucnosti plně nahradit konvenční paliva. Hlavní výhoda vodíku spočívá v nulových emisích. Vodík lze využít ve vozidlech buď přímým spalováním, nebo prostřednictvím palivových článků. Obě tyto varianty se zdají být přijatelné, ovšem za splnění určitých předpokladů. V případě přímého spalování je nutno získat vodík vhodným způsobem. Podle výše uvedené analýzy, se jako nejvhodnější výrobní postup jeví **zplyňování dřevní hmoty**. Ostatní výrobní metody jsou buď energeticky či ekonomicky náročné, anebo vyprodukují mnoho emisí. Využití vodíku prostřednictvím palivových článků je momentálně vzhledem k jejich ceně nereálné. Tato situace by se mohla změnit zavedením sériové výroby vozidel na palivové články, která by vedla ke zlevnění této technologie. Po odstranění dalších nedostatků v podobě infrastruktury a legislativy pokládám stále **vodík za nejlepší alternativní palivo, které by mohlo v budoucnosti lidstvu značně pomoci ke zlepšení jejich životního prostředí.**

Závěr

Záměrem této bakalářské práce bylo vypracovat ucelený přehled o současných a budoucích alternativních pohonech silničních motorových vozidel. Vzhledem k obsáhlosti tématu jsem se zaměřila na stručný přehled nejběžnějších alternativních pohonných systémů. U nich jsem uvedla jejich základní charakteristiky, výhody a nevýhody oproti klasickým pohonným systémům využívající konvenční paliva, a důvody jež brání jejich rozšiřování. Na základě získaných poznatků a za pomoci analýz jednotlivých paliv z různých hledisek, jsem se je pokusila co nejobjektivněji zhodnotit a navrhnout možný budoucí směr vývoje v automobilovém průmyslu.

Závěry této bakalářské práce lze shrnout do následujících nejdůležitějších bodů. Klíčovou roli v produkci škodlivých emisí a při spotřebě energií, hraje nejen charakter motorového paliva, ale také způsob jeho výroby. Všeobecně lze tvrdit, že alternativy paliv z obnovitelných zdrojů mohou sice přinést výrazné snížení GHG emisí, ale za cenu vyšší energetické spotřeby, která musí být vynaložena pro jejich získání. Momentálně neexistuje jednoduchá cesta, která by v blízké budoucnosti zajistila moderní společnosti dostatečné množství bezemisního paliva, a proto je prozatím nutné využívat různých alternativních paliv a přechodových technologií, které nám současný trh nabízí.

Největší potenciál stát se palivem budoucnosti má vodík. Hromadnému rozšíření tohoto paliva však brání především jeho složitá a nákladná výroba, chybějící infrastruktura pro jeho distribuci a nevyřešené otázky v oblasti skladování a legislativy. Nicméně za předpokladu využití výroby vodíku z obnovitelných zdrojů, je nutno říci, že vodík splňuje veškeré požadavky na energii příštích generací, a to nejen v dopravě ale i v energetice.

Soupis bibliografických citací

- [1] GREGORA, Stanislav, Radovan DOLEČEK a Ondřej ČERNÝ. *Vozidla elektrické trakce*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta, ©2013. ISBN 978-80-7395-596-0.
- [2] BU-217: *Summary Table of Alternate Batteries*. <http://batteryuniversity.com> [online]. 2016-07-19 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_217_summary_table_of_alternate_batteries
- [3] BU-218: *Summary Table of Future Batteries*. <http://batteryuniversity.com> [online]. 2016-07-21 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_218_summary_table_of_future_batteries
- [4] Budoucnost ropy. *Ropa.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <http://www.ropa.cz/o-rope/budoucnost-ropy/>
- [5] European Union Hydrogen Highway. <http://www.hydrogencarsnow.com> [online]. 2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/european-union-hydrogen-highway/>
- [6] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní motory: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vydání. Praha: Grada, ©2012. 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [7] HROZEK, Dian. *O Energetice.cz: Elektromobilům se v Evropě daří, v červnu se jich prodalo meziročně o 54 % více* [online]. 04.08.2017 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/prodeje-elektromobilu-narostly-v-evrope-mezirocne-o-54/>
- [8] JENÍČEK, Vladimír a Jaroslav FOLTÝN. *Globální problémy světa: v ekonomických souvislostech*. V Praze: C.H. Beck, 2010. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-326-4.
- [9] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN – technická literatura, ©2004. ISBN 80-73001276.
- [10] KAMEŠ, Josef. *Hybridní a elektrický pohon automobilů*. 2. vydání. Praha: Kameš Josef, ©2015. 269 s. ISBN 2013-11-14-1.
- [11] KAMEŠ, Josef. *Vodík alternativní palivo: Alternativní palivo = vodík*. První vydání. Praha: ČVUT, ©2008. 283 s. ISBN 978-80-254-1686-0.
- [12] MAJLING, Eduard. *Palivové články – princip funkce a dělení* [online]. 5.9.2015 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>
- [13] *Ministerstvo životního prostředí: Evropská komise* [online]. 2018 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/evropska_komise
- [14] *Ministerstvo životního prostředí: Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu* [online]. 2018 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol

- [15] PETR, Dlouhý a Markéta SOMOLOVÁ. *Výroba vodíku*. <https://www.hytep.cz> [online]. 9. května 2007 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/664-vyroba-vodiku>
- [16] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [17] SAJDL, Jan. Emise výfukových plynů. *Petroleum.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [18] SALAVEC, Jiří. *O Energetice.cz: Kalifornie: Nový návrh zákona zakazuje od roku 2040 registraci vozidel vypouštějících emise* [online]. 08.01.2018 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/cista-mobilita/kalifornie-novy-navrh-zakona-zakazuje-od-roku-2040-registraci-vozidel-vypoustejicich-emise/>
- [19] Stav životního prostředí: Dokumenty. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: http://www.env.cz/cz/stav_zivotni_prostredi
- [20] Svět ropy. *Petroleum.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/svet-ropy.aspx>
- [21] ŠEBOR, Gustav, Milan POSPÍŠIL a Jan ŽÁKOVEC. *Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě: 2. část (revidovaná)*. www.kraj-lbc.cz [online]. Praha [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.kraj-lbc.cz/public/doprava/prezentace07/pdfs/12b.pdf>
- [22] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: Vlk František, ©2004. 160 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [23] Výhled do budoucnosti. *Petroleum.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/vyskyt-ropy-budoucnost.aspx>
- [24] Zinc-Air Battery Applications: *Manufacturer: Arotech Corp*. <http://www.defense-update.com> [online]. 10/14/2005 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.defense-update.com/products/z/zinc-air-battery-new.htm>

Autorka (vypracovala)	Iva Zíková
Název BP	Alternativní pohony motorových vozidel
Studijní obor	Dopravní logistika (DOL)
Rok obhajoby BP	2018
Počet stran	49
Počet příloh	0
Vedoucí BP	Ing. Michal Turek, Ph.D.
Oponent BP	
Anotace	Tato bakalářská práce se zabývá hledáním perspektivních alternativních pohonů silničních motorových vozidel. Zaměřuje se na důvody, jež nás vedou k hledání jiných zdrojů energie než ty, které se momentálně v dopravě využívají. Práce vytváří ucelený přehled nejběžněji používaných pohonných systémů, u nichž jsou uvedeny jejich základní charakteristiky, výhody, nevýhody a problémy spojené s jejich využitím ve vozidlech. Aby bylo možné objektivně posoudit a zvolit nejvhodnější alternativní palivo budoucnosti, je v práci také kladen důraz na způsob jejich výroby.
Klíčová slova	alternativní pohon, elektromobil, hybridní pohon, vodík, palivový článek, ropa
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	