

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Alternativní pohony motorových vozidel
Jana Pavelková

Bakalářská práce
2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana Pavelková**
Osobní číslo: **D11744**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Alternativní zdroje energie pro pohony motorových vozidel**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Osnova:

- 1)Úvod
- 2)Na základě studia literatury a informačních zdrojů popište současný stav řešené problematiky
- 3)Proveďte analýzu využívání alternativních zdrojů pohonů. Zhodnoťte jejich ekonomičnost provozu a vliv na životní prostředí.
- 4)Proveďte celkové zhodnocení současných možností a technologií ve srovnání se skutečným stavem.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Literatura: 1.Čerpací stanice CNG, dostupné online dne 31.10.2010 z www:

<http://www.enviport.cz/pristi-rok-bude-v-cr-fungov-209575.aspx>

2.Bioplyn,vodík, dostupné online dne 31.10.2010 z www:

<http://cs.wikipedia.org/>

**3.KAMEŠ, J.: Alternativní pohon autobusů. Praha: BEN, 2004. ISBN:
80-7300-127-6.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marie Sejkorová

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 29. 5. 2013

.....
Jana Pavelková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kteří mi poskytovali podporu při psaní této bakalářské práce, jmenovitě Ing. Marii Sejkorové z Univerzity Pardubice - DFJP, Ing. Luděkovi Janíkovi a jeho týmu z Ústavu jaderného výzkumu v Řeži a Ing. Haně Macháňové z firmy Tezas. Dále také děkuji všem, kteří mě podporovali při mém studiu.

ANOTACE

Práce je věnována hledání alternativních pohonů pro pohon motorových vozidel a jejich zdrojům. Zabývá se zhodnocením dostupných zdrojů energie pro pohon motorových vozidel, jejich porovnáním z různých hledisek a následně výběrem nejvhodnějšího zdroje energie pro pohon motorových vozidel jako alternativu k benzinu a naftě.

KLÍČOVÁ SLOVA

vodík, zemní plyn, CNG, ropa, palivový článěk

TITLE

Alternative propulsions for motorized vehicles

ANNOTTATION

This thesis deals with searching alternative propulsions for motorized vehicles and its sources of energy. It deals with rating sources of energy for motorized vehicles and comparison of these sources to choose the best source for motorized vehicles beside petroleum and diesel.

KEYWORDS

hydrogen, natural gas, compressed natural gas, oil, fuel cell

Obsah

Úvod.....	10
1 Analýza možných zdrojů energie pro pohony motorových vozidel.....	13
1.1 Energie z neobnovitelných zdrojů.....	14
1.1.1 Ropa a paliva na bázi ropy	14
1.1.1.1 Naleziště ropy a její předpokládané zásoby.....	14
1.1.1.2 Benzin a nafta	15
1.1.1.3 LPG	16
1.1.2 Zemní plyn a paliva na bázi zemního plynu.....	17
1.1.2.1 Naleziště zemního plynu a jeho předpokládané zásoby.....	17
1.1.2.2 CNG	18
1.1.2.3 LNG.....	22
1.1.2.4 LPG	23
1.1.2.5 Porovnání vlastností LPG, CNG a LNG	26
1.2 Energie z obnovitelných zdrojů	27
1.2.1 Bioplyn	27
1.2.1.1 Vznik bioplynu.....	27
1.2.1.2 Bioplynové stanice	28
1.2.1.3 Biometan.....	29
1.2.2 Bioetanol.....	30
1.2.2.1 Bioetanol z biomasy obsahující jednoduché cukry.....	30
1.2.2.2 Bioetanol z biomasy obsahující složené cukry.....	31
1.2.2.4 Vlastnosti bioetanolu.....	32
1.2.2.5 E85	33
1.2.4 Bionafta	34
1.2.6 Rostlinné oleje	36
1.2.7 Další paliva vyráběná z biomasy	36
1.2.8 Shrnutí k palivům z biomasy	37

Výhledy do budoucna	40
1.2.7 Solární energie	41
1.2.7.1 Popis funkce solárního článku	41
1.3 Vodík	42
1.3.1 Výroba vodíku	43
1.3.1.1 Elektrolýza vody	43
1.3.1.2 Parní reformace metanu.....	43
1.3.1.3 Výroba z biomasy	43
1.3.1.4 Výroba vodíku termochemickými cykly	43
1.3.1.5 Další možnosti výroby.....	44
1.3.2 Palivové články.....	45
1.3.2.1 Alkalický palivový článek	45
1.3.2.2 Články s polymerním elektrolytem.....	46
1.3.2.3 Phosphoric Acid Fuel Cell.....	47
1.3.2.4 Molten Carbonate Fuel Cell.....	47
1.3.2.5 Solid Oxide Fuel Cell.....	47
1.4 Kombinace zdrojů energie MV – Hybridy	48
1.4.1 Kombinace spalovacího motoru, akumulátoru a elektromotoru.....	48
1.4.1.1 Sériový hybrid.....	48
1.4.1.2 Paralelní hybrid	49
1.4.1.3 Kombinovaný hybrid.....	50
1.4.2 Vozidla s palivovým článkem a akumulátory	51
1.4.3 Další druhy méně rozšířené druhy hybridních pohonů	53
1.5 Shrnutí kapitoly.....	53
2 Porovnání provozu vodíkového, CNG a dieselového autobusu.....	54
2.1 Vodíkový autobus TriHyBus	54
2.1.1 Úvod.....	54
2.1.2 Historie vývoje a provozu	54
2.1.3 Technické parametry TriHyBusu.....	55
2.1.3.1 Základní technické parametry (45), (46).....	55

2.1.3.2 Karoserie.....	56
2.1.3.3 Palivový článek.....	57
2.1.3.4 Elektrická soustava.....	59
2.1.4 Bezpečnost provozu.....	64
2.1.5 Pořizovací náklady a financování.....	65
2.2 Zhodnocení ekonomičnosti provozu.....	66
2.2.1 Výpočet provozních nákladů.....	66
2.2.2 Vyhodnocení současných provozních nákladů.....	67
2.2.3 Možné snížení nákladů na pořízení a provoz TriHyBusu.....	68
2.2.3.1 Snížení ceny vozidla.....	68
2.2.3.2 Snížení ceny vodíku.....	69
2.2.4 Ekonomičnost TriHyBusu po snížení nákladů.....	70
2.2.4.1 Srovnatelné náklady s dieselovým autobusem.....	70
2.2.4.2 Srovnatelné náklady s CNG autobusem.....	71
2.3 Shrnutí kapitoly.....	71
3 Závěr.....	72
Použitá literatura.....	73

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Přehled zdrojů energie pro pohon motorových vozidel	13
Obrázek 2: Mapa rozmístění ověřených nalezišť ropy včetně množství podle států (2)	15
Obrázek 3: Mapa světových zásob zemního plynu (11)	18
Obrázek 4: Schéma provozu motoru na CNG (5).....	20
Obrázek 5: Rychloplnicí stanice CNG (13).....	21
Obrázek 6: Mapa plnicích stanic CNG v ČR (14)	21
Obrázek 7: Pomaluplnicí stanice CNG (15)	22
Obrázek 8: Základní schéma vozidla s pohonem na LPG (5)	25
Obrázek 9: Síť čerpacích stanic LPG v ČR (21).....	25
Obrázek 10: Vznik bioplynu (24)	28
Obrázek 11: Schéma výroby bioetanolu z jednoduchých cukrů (27)	30
Obrázek 12: Schéma výroby bioetanolu ze složených cukrů (27).....	31
Obrázek 13: Schéma výroby bioetanolu z celulózy (27).....	32
Obrázek 14: Schéma výroby bionafty (7).....	35
Obrázek 16: Přehled produkce biopaliv na 1ha se zohledněním vložené energie (35).....	40
Obrázek 17: Bioreaktory, v nichž rostou řasy produkující olej. (36).....	40
Obrázek 18: Schéma AFC (38).....	45
Obrázek 20: Schéma PEM palivového článku (39)	46
Obrázek 19: Článek s polymerním elektrolytem (38).....	46
Obrázek 21: Schéma sériového hybridu (šedě označena kola a jejich náhon) (40).....	48
Obrázek 22: Schéma paralelního hybridu. (40)	49
Obrázek 23: Schéma hybridního vozidla s děleným výkonem (40)	50
Obrázek 24: Vodíkový automobil Opel HydroGen4 (41).....	51
Obrázek 25: Vodíkový autobus Trihybus (42)	52
Obrázek 26: Vodíkový autobus Trihybus – znázornění energetických prvků (42)	52
Obrázek 27: Německá vodíková ponorka U32 (43).....	52
Obrázek 28: Schéma TriHyBusu (42)	55
Obrázek 29: Srovnání vzhledu TriHyBus a Iveco Irisbus Citelis (47), (48)	56
Obrázek 30: Rozložení zařízení na střeše TriHyBusu.....	56
Obrázek 31: Prostor palivového článku na TriHyBusu (50)	57
Obrázek 32: Prostor palivového článku na TriHyBusu (50)	58
Obrázek 33: Ukazatele stavu vodíku a dusíku v prostoru palivového článku (50).....	58

Obrázek 34: Schéma elektrické soustavy vozu (50)	59
Obrázek 35: Akumulátory TriHyBusu (50).....	60
Obrázek 36: Tok energie po zapnutí systému.....	61
Obrázek 37: Tok energie při vyjíždění z garáže	62
Obrázek 38: Tok energie po startu palivového článku.....	62
Obrázek 39: Tok energie po startu palivového článku.....	63
Obrázek 40: Tok energie při plném výkonu motoru.....	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní parametry benzínu a nafty (5), (6)	16
Tabulka 2: Příklady složení zemního plynu (7).....	17
Tabulka 3: Porovnání vlastností LPG, CNG a LNG (22)	26
Tabulka 4: Bioetanol jako palivo v porovnání s benzinem a naftou (27)	33
Tabulka 5: Porovnání emisí E85 a natural 95 (27)	34
Tabulka 6: Porovnání FAME a motorové nafty (7).....	35
Tabulka 7: Porovnání vlastností ETBE a etanolu oproti benzínu (7)	37
Tabulka 8: Porovnání motorové a syntetické nafty (32).....	37
Tabulka 10: Vybrané fyzikálně chemické vlastnosti vodíku (22)	42
Tabulka 11: Porovnání provozních nákladů variant autobusu Citelis 12m.....	66
Tabulka 12: Při této ceně vodíku by měl být TriHyBus konkurenceschopný.....	70
Tabulka 13: Při této ceně vodíku by měl být TriHyBus konkurenceschopný CNG autobusu. 71	71

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání různých biopaliv podle množství na 1 ha půdy (35)	39
Graf 2.....	66
Graf 3.....	70
Graf 4.....	71

Úvod

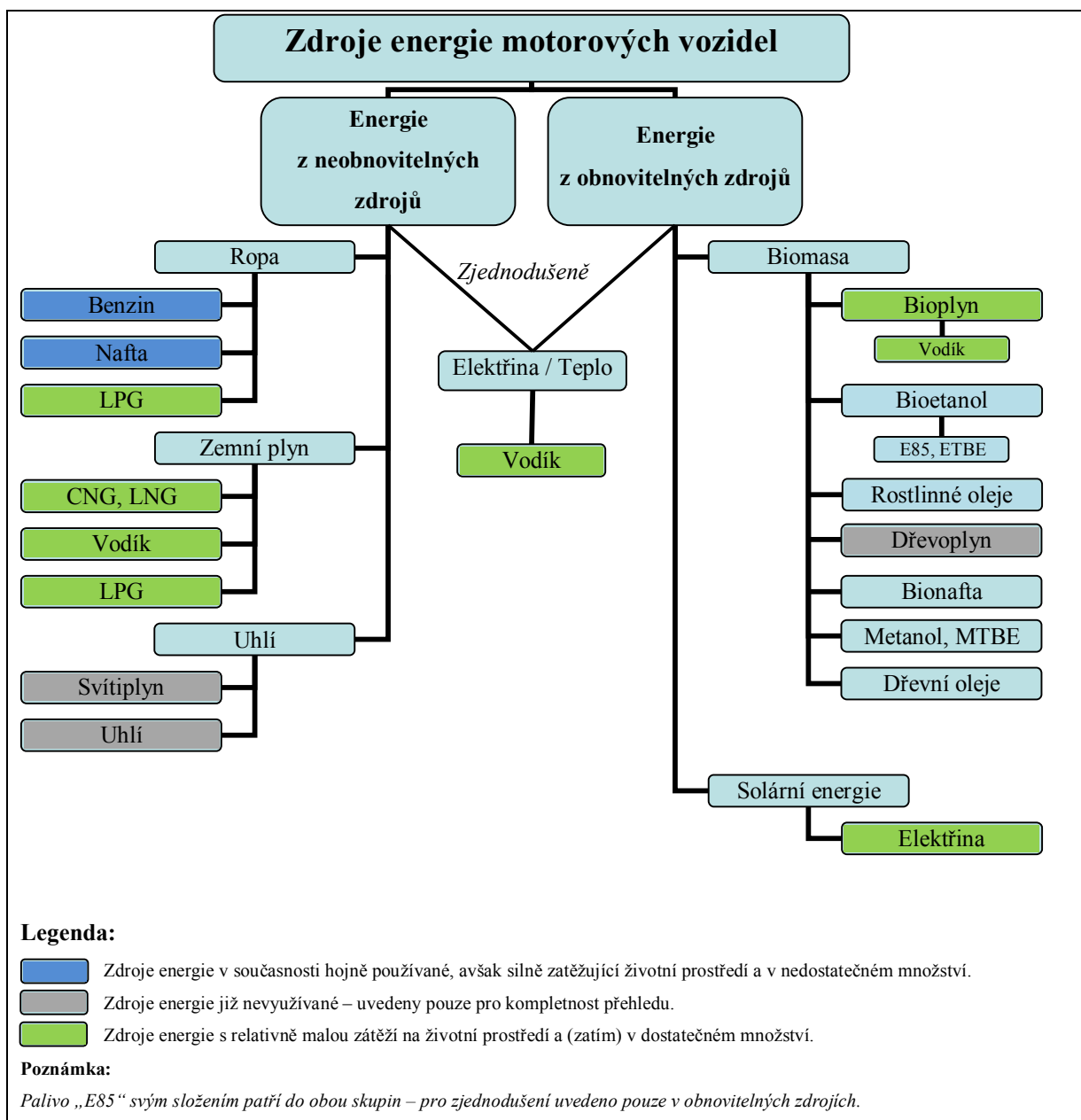
V této práci je rozebrána problematika alternativních zdrojů energie pro pohon motorových vozidel.

Mezi nejčastější zdroje energie pro motorová vozidla patří benzin a nafta. Alternativy k těmto palivům hledáme především z důvodu současné závislosti na ropě a její stále rostoucí ceně. Dalším důvodem pro hledání alternativ je snížení ekologické zátěže na životní prostředí.

Cílem této práce je analyzovat alternativní zdroje energie pro pohon motorových vozidel, jejich současné využití a ekonomičnost a na základě této analýzy vybrat nevhodnější alternativní zdroj energie pro pohon motorových vozidel.

1 Analýza možných zdrojů energie pro pohony motorových vozidel

V současné době je převážná většina motorových vozidel (dále MV) poháněna benzinem a naftou. K těmto běžným palivům však existuje množství alternativních zdrojů energie pro pohon motorových vozidel. Jedno z jejich možných rozdělení je podle jejich původu, viz. obrázek 1



Legenda:

- Zdroje energie v současnosti hojně používané, avšak silně zatěžující životní prostředí a v nedostatečném množství.
- Zdroje energie již nevyužívané – uvedeny pouze pro kompletnost přehledu.
- Zdroje energie s relativně malou zátěží na životní prostředí a (zatím) v dostatečném množství.

Poznámka:

Palivo „E85“ svým složením patří do obou skupin – pro zjednodušení uvedeno pouze v obnovitelných zdrojích.

Obrázek 1: Přehled zdrojů energie pro pohon motorových vozidel

1.1 Energie z neobnovitelných zdrojů

Jedná se o paliva v omezeném množství, jejichž vyčerpání je otázkou maximálně stovek let. Mezi tyto paliva se dají zařadit fosilní paliva (nejdůležitější z nich jsou ropa, zemní plyn a uhlí, méně známé jsou rašelina, hořlavé písky a hořlavé břidlice), a štěpný materiál pro jaderné reakce.

V současnosti jsou pro pohon MV nejčastěji využívána paliva na základě ropy a zemního plynu.

Mezi zastaralé zdroje energie pro pohon MV patří uhlí (parní stroj), svítíplyn (plyn získávaný z uhlí) se používal za války při nedostatku ropy jako alternativa k benzínu.

Mezi neobnovitelné zdroje se také řadí energie ze štěpných reakcí jaderných reaktorů. Jaderné reaktory se však převážně používají v elektrárnách, výjimečně na velkých lodích a ponorkách. Pro pohon běžných MV se nehodí pro technologickou náročnost štěpné reakce.

1.1.1 Ropa a paliva na bázi ropy

Ropa je tvořena směsí uhlovodíků a vznikla pravděpodobně rozkladem zbytků pravěkých rostlin a živočichů. Společně s ropou se zpravidla nachází zemní plyn.

Složení ropy: 84-87% uhlík, 11-14% vodík, <1% kyslík, <4% síra, <1% dusík.

Z ropy je získávána celá řada uhlovodíků, patří mezi ně: metan, etan, propan, butan, petroléter, benzin, petrolej (z něho se získává letecké palivo a plynový olej; z plynového oleje se získává nafta a lehký topný olej), mazut (z něho se získávají těžké topné oleje, asfalt) a dlouhé uhlovodíkové řetězce (C35 a delší – z těch se krakováním získávají mazací oleje).

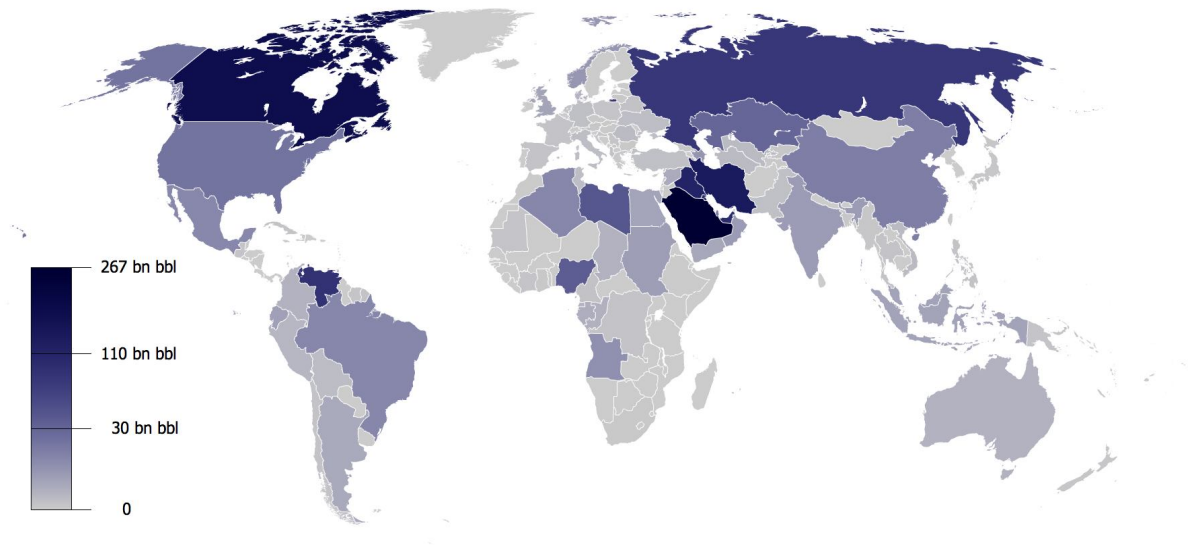
V současné době je celosvětový průmysl postaven na ropných produktech. Z ropy se vyrábí paliva, plasty, hnojiva i léky. Přestože se dá většina produktů z ropy použít jako palivo díky svému chemickému složení, dále je podrobně rozebrán jenom benzin, nafta a LPG (směs propan-butan) – nejčastější paliva pro pohon MV získávaná z ropy.

1.1.1.1 Naleziště ropy a její předpokládané zásoby

Ropa je těžena z podzemních nalezišť jak pod zemí, tak pod mořským dnem. Většina těžená ropa je tzv. ropa konvenční, tzn. ropa těžena z běžných vrtů. Další naleziště ropy jsou v dehtových píscích a břidlicích, avšak jejich těžba je technologicky náročná a hlavně drahá.

Současné odhadované množství konvenční ropy je mezi 1000-2600 mld. barelů ropy, což může vystačit světu zhruba 30-60 let (1), některé zdroje uvádějí množství větší. Dále jsou zásoby ropy v břidlicích a dehtových píscích ale je velmi těžké odhadnout konkrétní

množství. Získávání ropy z těchto nalezišť je v současnosti velmi drahé a ekonomicky nevýhodné.



Obrázek 2: Mapa rozmístění ověřených nalezišť ropy včetně množství podle států (2)
Množství ropy v nalezištích je obtížné určit z těchto důvodů:

- Některé státy z politických důvodů uvádějí mylné informace o množství ropy v nalezištích. (3), (4)
- Některá naleziště nejsou ještě dostatečně prozkoumána nebo nebyla objevena.

1.1.1.2 Benzin a nafta

Benzin a nafta jsou směsi uhlovodíků získávaných z ropy. V současnosti se jedná o nejrozšířenější paliva pro MV. Většina vozidel je poháněna čtyřdobými spalovacími motory na benzin nebo naftu. Při spalování těchto paliv vzniká kromě CO₂ řada nežádoucích látek – oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC) a pevné částice.

Současným trendem je zvyšování efektivity spalovacích motorů – díky dokonalejšímu spalování je dosahováno mnohem nižší spotřeby, nižších emisí a vyššího výkonu motoru.

Přestože dochází k technologickému vývoji motorů a spalování je benzinu a nafty je relativně čisté díky zavedeným předpisům (2009 - EURO 5, EURO 6 bude zavedeno v r. 2014) a spotřeba vozidel je stále menší, celosvětová spotřeba nijak neklesá. Při současné spotřebě ropy hrozí její vyčerpání. Z tohoto důvodu je důležité najít vhodné alternativy a snažit se ropu využívat co nejvíce pro jiné účely, než jako hlavní zdroj paliv.

V současnosti se do benzinu a nafty přidávají přírodní příměsi pro snížení zátěže na životní prostředí. Do nafty je přidáván metylester, do benzinu je přidáván líh.

	Benzin	Nafta
Chemické složení	Uhlovodíky C ₄ -C ₁₂	Uhlovodíky C ₁₆ -C ₂₄
Hustota	0,75 kg/dm ³	0,84 kg/dm ³
Výhřevnost	46,4 MJ/kg	42,7 MJ/kg
Bod vzplanutí	-35°C	55°C
Oktanové/cetanové číslo	91-98/8	-/51

Tabulka 1: Základní parametry benzínu a nafty (5), (6)

1.1.1.3 LPG

LPG (Liquid Petrol Gas – zkapalněný ropný plyn, v ČR také známý jako propan-butan, PB) je směsný topný plyn složený z propanu a butanu. Získává se při zpracování ropy (cca 40% produkce) nebo ze zemního plynu (cca 60% produkce). (7) Protože v současnosti převažuje jeho produkce ze zemního plynu a dá se předpokládat, že se bude nadále zvyšovat (7), další informace o LPG jsou uvedeny v kapitole 1.1.2.4 LPG o palivech získávaných ze zemního plynu.

1.1.2 Zemní plyn a paliva na bázi zemního plynu

Zemní plyn je směsice plynných uhlovodíků. Převažuje metan, dále obsahuje etan, propan, butan, vodík a inertní plyny. Zemní plyn se využívá buď jako palivo přímo, nebo se z něho dále získává metan, propan, butan a vodík.

Tato kapitola je věnována zemnímu plynu, propanu a butanu. Vodíku je vyhrazena oddělená kapitola 1.3 z důvodu jeho získávání více různými způsoby.

Složka	Zemní plyn složení (% hm.)					
	Chudý	Bohatý	Těžný spolu s ropou	Těžný v Le Lacq (Francie)	S obsahem helia	
					Cliffside (USA)	Kostelany (ČR)
Metan	98–99	75–97	20–75	70	66	65,9
Ethan	až 0,5	0,5–18	5–30	3	4	1,2
Propan	0,2	0,2-7	3–30	1,4	1,5	1,2
Butany	-	0,1-2	5–15	0,6	1	1,2
Pentany a vyšší	-	0,1	3–10	0,5	0,5	1,2
Sulfan	+	+	+	15	–	–
Oxid uhličitý	až 0,3	0,1	0,1	10	–	0,7
Dusík	až 0,1	až 0,3	1–18	0,4	25,6	31,2
Helium	+	+	–	–	1,8	0,45
Argon	+	+	–	–	+	0,25

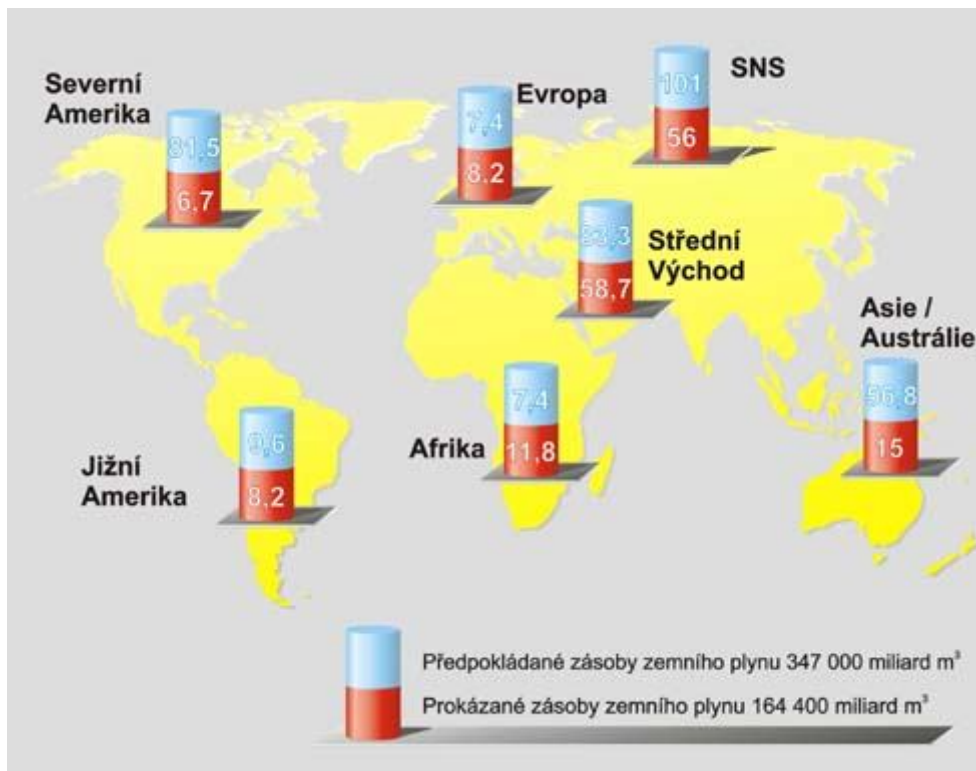
Tabulka 2: Příklady složení zemního plynu (7)

1.1.2.1 Naleziště zemního plynu a jeho předpokládané zásoby

Zemní plyn se může nacházet v nalezištích společně s ropou, samostatně, nebo s černým uhlím.

Prokázané zásoby zemního plynu v současné době činí 164 400 mld. m³ zemního plynu, což odpovídá zásobě na cca 50 let. Další pravděpodobné zásoby činí 347 tis. mld. m³, část z těchto nalezišť se nachází v Evropě, např. na území Polska. (8)

Další obrovská naleziště zemního plynu jsou v hydrátech metanu pode dnem oceánů. Z těchto nalezišť se s těžbou teprve začíná, první takovouto oblastí je japonské pobřeží. (9) Množství metanu obsaženého v hydrátech se odhaduje na 21 000 000 mld. m³. (10)



Obrázek 3: Mapa světových zásob zemního plynu (11)

1.1.2.2 CNG

CNG (Compressed Natural Gas) je zemní plyn s vysokým obsahem metanu (>98%) (12) stlačený tlakem 16 – 20 MPa.

Pro provoz automobilu na běžná paliva je nutná přestavba, zpravidla se přestavují pouze zážehové motory. Druhou variantou je nákup vozidla přímo uzpůsobeného pro provoz na CNG.

Výhody provozu vozidel na CNG

- Nízká cena CNG (zhruba poloviční oproti benzínu)
- Lepší mísení paliva se vzduchem – čistší provoz a lepší spalování
- Vysoké oktanové číslo (130) – zlepšení chodu motoru
- Nižší intervaly výměny oleje – v motoru se neusazuje karbon
- Lehčí než vzduch – nehrozí kontaminace prostředí, snížené riziko výbuchu
- Vysoká výhřevnost
- Příznivý poměr C-H – nízké emise CO₂

Nevýhody provozu vozidel na CNG

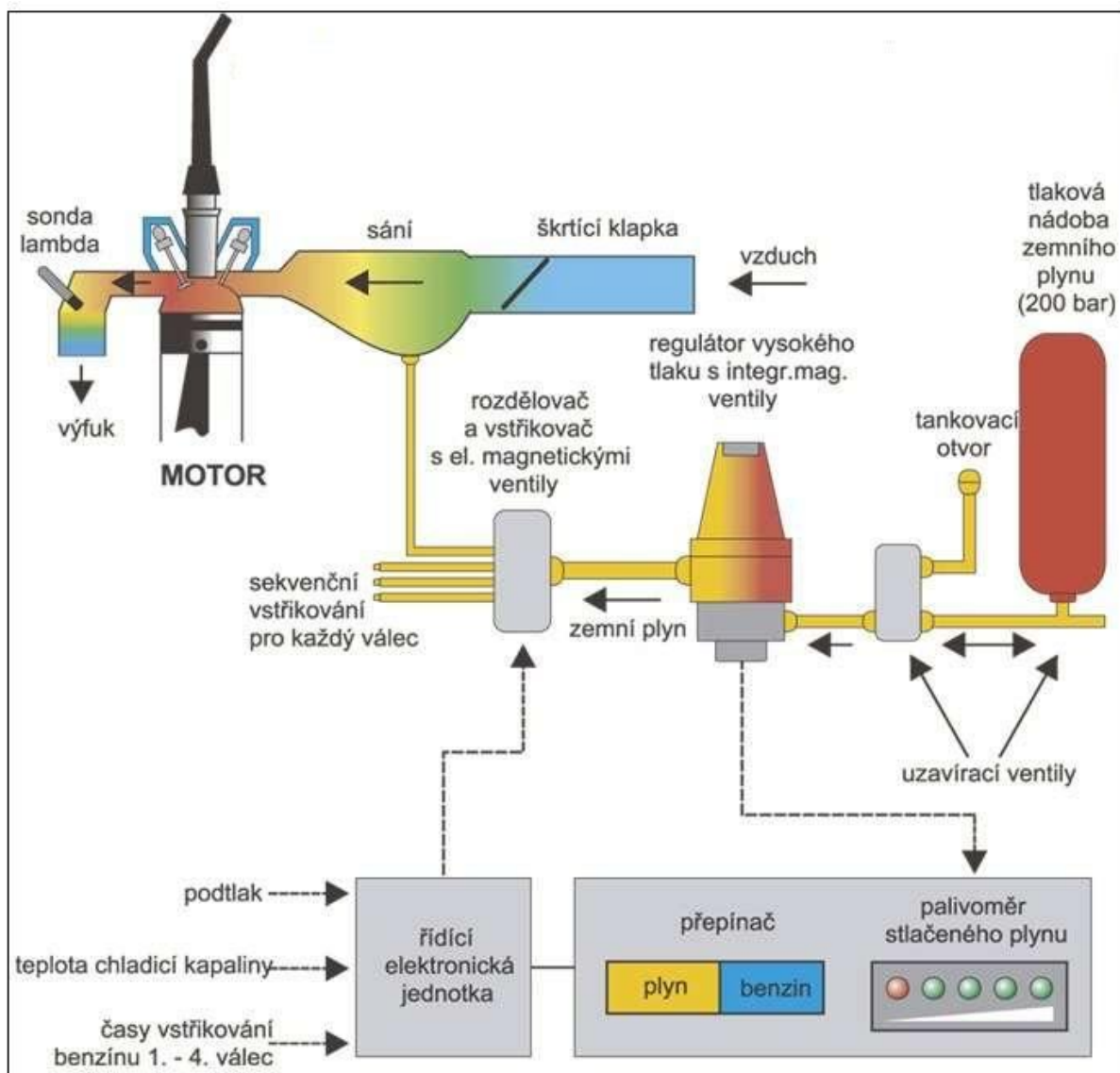
- Velmi řídká síť plnicích stanic
- Menší dojezd vozidel v případě přestavěného vozidla
- Dražší přestavba vozidla než u LPG, vyšší pořizovací cena nového CNG vozidla
- Zpřísněná bezpečnostní opatření - garážování, opravy, časté revize
- Vyšší hmotnost vozidla kvůli váze tlakových nádrží
- V případě přestavby zmenšení zavazadlového prostoru

V současnosti se nejčastěji prosazuje u městských a příměstských autobusů.

Popis palivové soustavy CNG

U motorů na zemní plyn se nejčastěji používá zařízení pro vstřikování plynu do sacího potrubí, obdobně jako u vícebodového vstřikování benzínu. Vzhledem k plynnému skupenství paliva jsou jednodušší podmínky tvorby směsi. Plyn oproti kapalnému palivu nekondenzuje a neulpívá na povrchu spalovacího prostoru. Dochází tak k lepšímu spalování s nižší produkcí emisí. Směšovací poměr vzduchu k palivu pro $\lambda = 1$ je 17:1, tedy menší množství paliva než u benzínových motorů. Důsledkem toho je snížení výkonu. Ovšem díky vysokému oktanovému číslu lze zvýšit kompresní poměr a tím ztrátu výkonu vykompenzovat. Stlačený zemní plyn představuje ideální podmínky pro přeplňování a provoz na chudou směs.

Při jízdě se CNG prostřednictvím vysokotlakého plynového potrubí dostává do vysokotlakého regulátoru, kde je plyn redukován na potřebný provozní tlak. Optimální množství plynu do směšovače reguluje tzv. krokový motorek na základě signálů z řídicí jednotky. Ve směšovači se palivo mísí se vzduchem. U čtyřdobých motorů rozhodují o směšovacím poměru nejmenší průměry přívodního potrubí plynu a vzduchu. Jsou dimenzovány na střední průtokovou rychlost 60 – 120 m/s. Měla by být vždy vyšší než v sedle sacích ventilů, toho je docíleno velkým předstihem jejich otevření.



Obrázek 4: Schéma provozu motoru na CNG (5)

U dvoupalivových vozidel je integrován přerušovač vstřiku, který při přepnutí přepínače benzin – plyn přerušuje vstřikování benzínu a řídí dávkování plynu. Přepínač benzin – plyn se nachází na přístrojové desce společně s ukazatelem množství plynu.

Zemní plyn je ve vozidle uchováván v ocelových tlakových nádržích při tlaku 20 MPa.

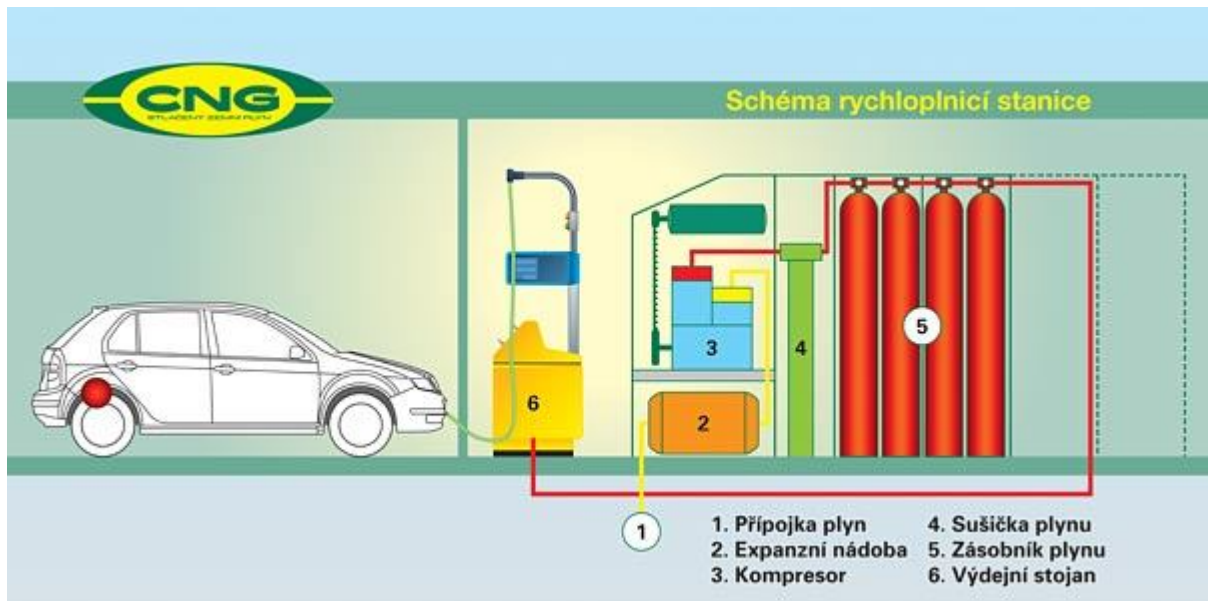
Jsou válcového tvaru o objemu 70 – 100 l (u osobních vozidel). Jejich hmotnost v kilogramech odpovídá zhruba jejich objemu v litrech (70 litrová váží přibližně 70 kg). Moderní kompozitové nádrže mají hmotnost až 5x nižší. U přestavěných vozidel bývají umístěny nejčastěji v zavazadlovém prostoru, případně místo rezervního kola. U moderních osobních automobilů a autobusů se nacházejí na spodku vozidla (mimo zavazadlový prostor), u nízkopodlažních autobusů na střeše. (5)

Plnicí stanice CNG

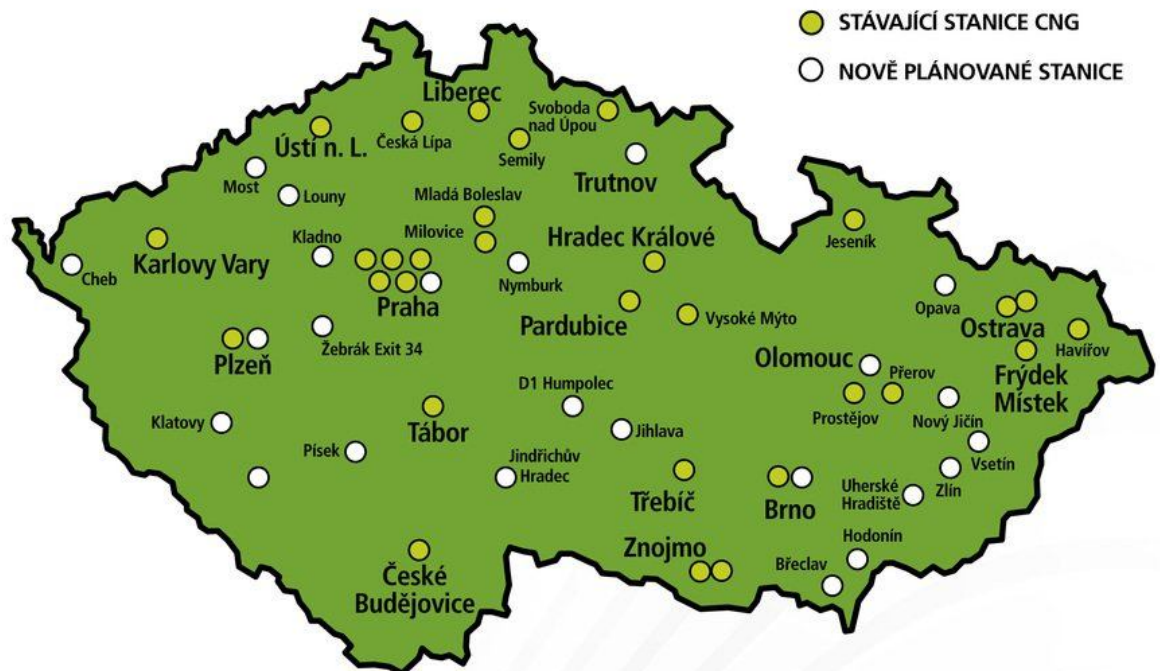
Počet plnicích stanic CNG je oproti plnicím stanicím LPG poměrně nízký.

Existují dva druhy plnicích stanic na CNG – stanice pro rychlé a pomalé plnění

Rychloplnicí stanice: k naplnění nádrže dojde za cca 3 – 5 min. Zpravidla se jedná o komerční čerpací stanice, nebo o čerpací stanice větších společností (např. dopravních podniků). (13)

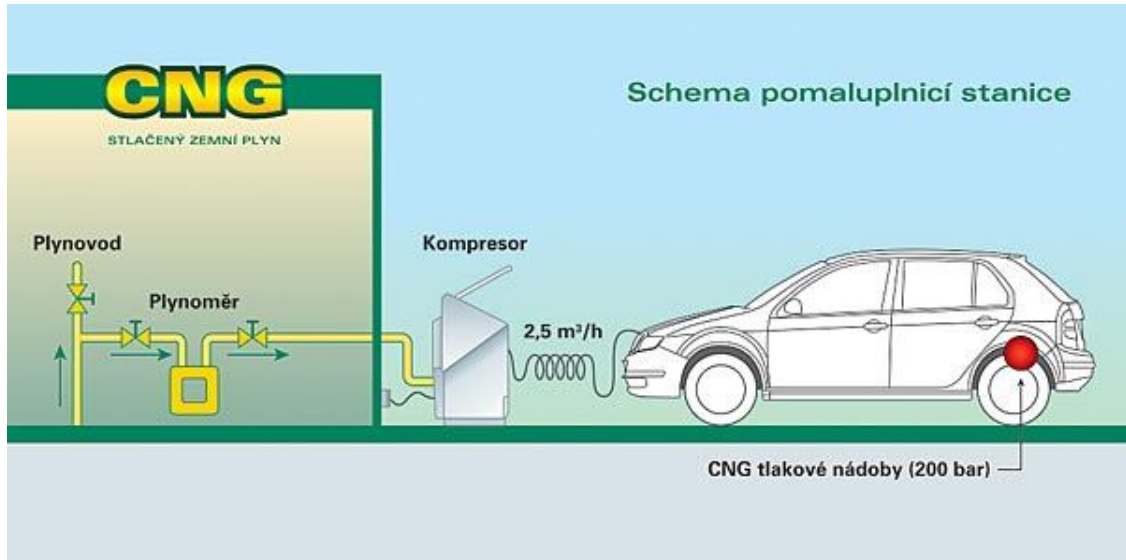


Obrázek 5: Rychloplnicí stanice CNG (13)



Obrázek 6: Mapa plnicích stanic CNG v ČR (14)

Pomaluplníci stanice: Známa také jako „domácí plnička plynu“. Plnění probíhá přímo pomocí kompresoru. Maximální výkon je 20 m³ za hodinu. Výhodou je jednoduchost instalace a provozu – plyn je čerpán přímo z plynárenské sítě. Nevýhodou je vysoká cena tohoto zařízení.



Obrázek 7: Pomaluplníci stanice CNG (15)

1.1.2.3 LNG

LNG (Liquified Natural Gas) je zkapalněný zemní plyn. Při atmosférickém tlaku má teplotu kolem -162 °C a zabírá 560×menší objem, než zemní plyn v plynném stavu. (16)

Ve světě jezdí velice malé množství vozidel na LNG díky složitosti technologie zkapalnění zemního plynu a tím i rostoucím nákladům na palivo. Ve světě jezdí jen několik tisíc vozidel na LNG, např. dálkové autobusy v USA. (17)

Výhody LNG proti CNG

- Větší dojezd vozidla
- Vysoká hustota energie paliva (podobně jako benzin či nafta)
- Menší objem nádrží

Nevýhody LNG proti CNG

- Extrémně nízký počet čerpacích stanic
- Energeticky náročné zkapalnění NG do formy LNG

1.1.2.4 LPG

LPG (Liquid Petrol Gas – zkapalněný ropný plyn, v ČR také známý jako propan – butan, PB) je směsný topný plyn složený z propanu a butanu. Získává se při zpracování ropy (cca 40% produkce) nebo ze zemního plynu (cca 60%). (7) LPG je vysoce výhřevný s charakteristickým zápachem, snadno zkapalnitelný (zkapalněním se sníží objem až 260×) (18) a nejedovatý.

LPG jako palivo MV

Jako palivo do motorových vozidel patří mezi nejrozšířenější alternativy benzínu a nafty, především díky nízké ceně a relativně husté síti čerpacích stanic.

Pro provoz automobilu na LPG je nutná buď přestavba benzinového motoru na LPG, nebo již výrobcem upravený vznětový motor na LPG. (19)

Výhody provozu motoru na LPG oproti benzínu (19), (20), (5)

- Nízká cena LPG (zhruba poloviční oproti benzínu)
- Lepší mísení paliva se vzduchem – čistší provoz a lepší spalování
- Vysoké oktanové číslo (101 – 111) – zlepšení chodu motoru
- Nižší intervaly výměny oleje – v motoru se neusazuje karbon
- Snadné odpařování
- Nerozpustnost ve vodě – nehrozí kontaminace vod
- Vysoká výhřevnost

Nevýhody provozu na LPG oproti benzínu

- Vyšší spotřeba paliva (cca o 10%)
- Pokles výkonu motoru (cca o 10%)
- Velký objem nádrže na LPG v zavazadlovém prostoru, zvýšení hmotnosti vozidla
- Těžší než vzduch – při úniku v uzavřených prostorech náročné odstranění
- Ve směsi se vzduchem výbušný
- Zpřísněná bezpečnostní opatření: garážování, opravy, časté revize

Popis palivové soustavy LPG

Pro použití LPG v automobilech je důležité, aby v plynové soustavě byl dostatečný přetlak pro zajištění dodávky paliva z nádrže. Tlak v nádrži je určen tlakem nasycených par LPG a závisí pouze na složení a teplotě, nikoliv na množství v nádrži. Vhodné složení LPG je dáno především obsahem propanu. Vzhledem k teplotě tuhnutí se poměr směsi může lišit podle ročního období a klimatického pásma. V ČR se používá letní směs s obsahem 40% propanu

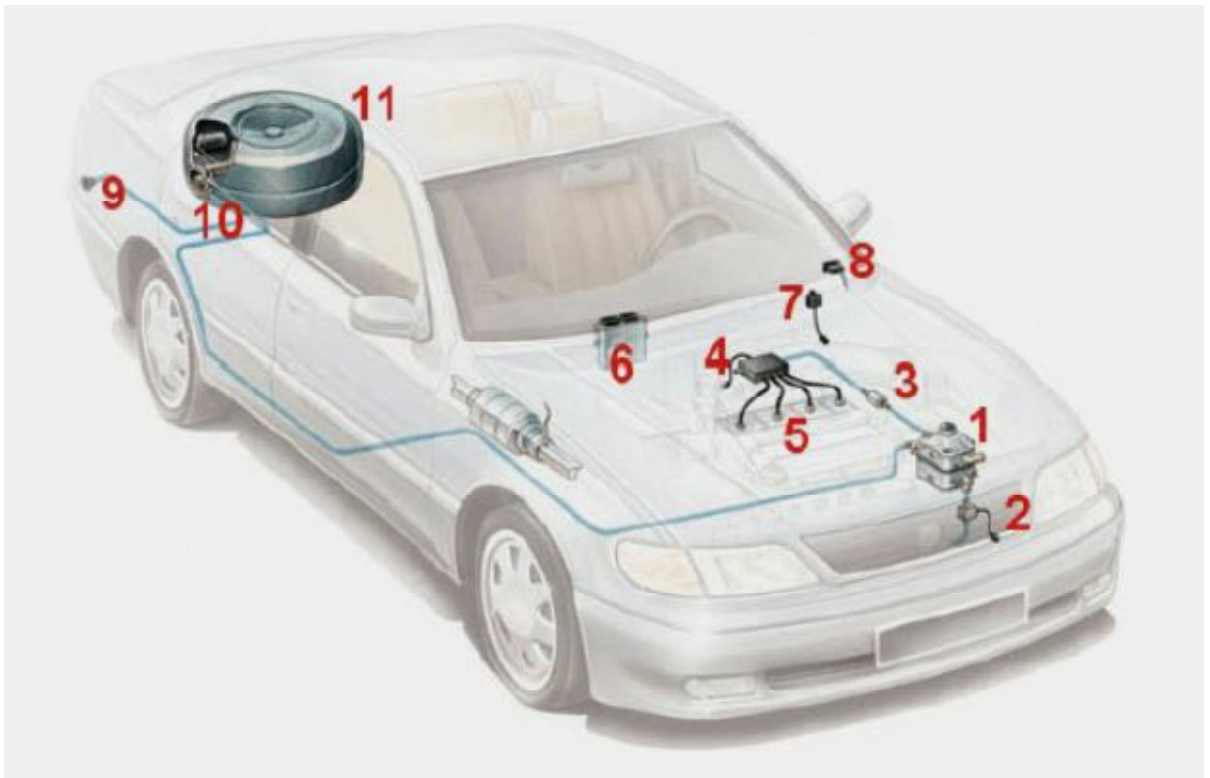
(P/B = 40/60) a zimní směs 60/40. Stejně jako u zemního plynu lze pro pohon LPG přestavět vozidla se zážehovým motorem.

Získané vozidlo je také bivalentní, s přepínačem paliva na palubní desce. Přestavět lze i vznětové motory, ale je to mnohem náročnější a nákladnější, proto je doba návratnosti výrazně delší.

Přestavěný zážehový motor poskytuje zhruba o 10 % nižší výkon. Zvýšením kompresního poměru a úpravou zapalování lze ztrátu výkonu kompenzovat, ale motor nebude schopen spalovat benzin.

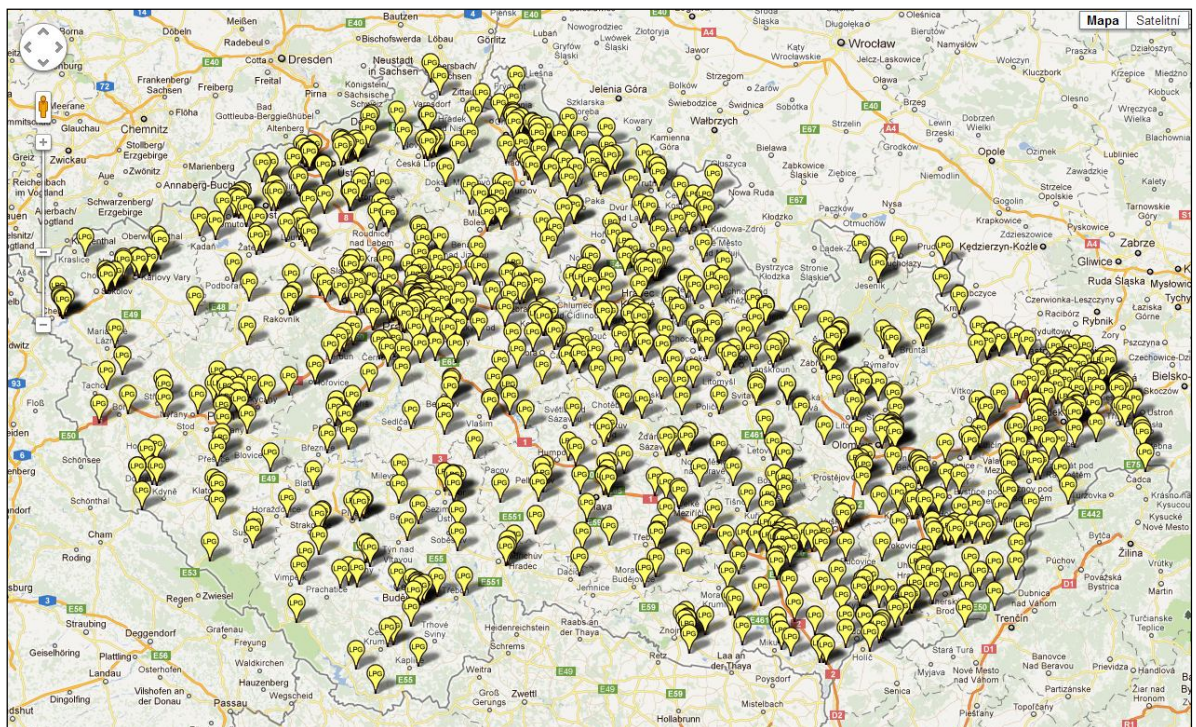
Zařízení plynového motoru se skládá z tlakového zásobníku, uzavíracího ventilu plynu (multiventilu), zplyňovače s tlakovou regulací a ohřevem, směšovače (případně vstřikovače), regulátoru dávkování paliva a třícestného ventilu. Plyn se odpařuje ve zplyňovači a v regulátoru se na základě signálů z lambda sondy a podtlakového snímače snižuje jeho tlak.

Požadované množství plynu je vstřikováno do směšovače. Díky vyššímu oktanovému číslu je klidnější chod motoru, dochází k menšímu namáhání. Vzhledem k plynnému skupenství nedochází ke smývání oleje ze stěn válců a olej je méně znečišťován karbonovými úsadami, které se při provozu na LPG téměř netvoří. Měl by být ale používán olej určený pro LPG motory, který neobsahuje aditiva zabraňující vzniku karbonu. Kvůli síře obsažené v propan – butanu dochází k zanášení elektrod zapalovacích svíček a je nutno je častěji měnit (max. po 15 000 km). Rovněž je více namáhána výfuková soustava vyšší teplotou spalin a snadněji podléhá korozi – výfukové plyny téměř neobsahují částice, které se usazují na vnitřním povrchu výfukového systému a částečně jej chrání proti korozi. Propan-butan je ve vozidle uchováván v takové nádobě o tlaku 0,2 – 2 MPa. Je vyráběna z oceli ve tvaru válce pro umístění v zavazadlovém prostoru a ve tvaru toroidu pro umístění místo rezervy. Nejvyšší provozní přetlak je 2,5 MPa a naplnění nesmí překročit 80 %. To je hlídáno multiventilem, který je vybaven tlakovou a tepelnou pojistkou. Upevnění nádoby je z bezpečnostních důvodů zkoušeno nárazovou a dynamickou zkouškou. Bezpečné uložení je zaručeno do zrychlení 20 G v podélném a 8 G v příčném směru. Vozidla přestavěna na pohon LPG musí povinně každý rok nebo po najetí 15 000 km absolvovat pravidelné revize a navíc mají zakázán vjezd do podzemních garáží. V ČR je v současnosti registrováno asi 200 000 těchto vozidel, využívat mohou okolo 600 plnicích stanic. Jedná se tedy o nejrozšířenější alternativní palivo u nás. (5)



1 – reduktor, 2 – čidlo teploty chladicí kapaliny, 3 – filtr LPG, 4 – vstříkací lišta, 5 – vstříkací trysky, 6 – řídicí jednotka LPG, 7 – snímač tlaku v sání vozidla, 8 – přepínač benzin / LPG, 9 – plynící hrdlo, 10 – multiventil, 11 – nádrž

Obrázek 8: Základní schéma vozidla s pohonem na LPG (5)



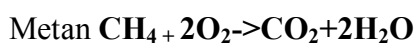
Obrázek 9: Síť čerpacích stanic LPG v ČR (21)

1.1.2.5 Porovnání vlastností LPG, CNG a LNG

	LPG (Propan; Butan)	CNG	LNG
Chemické složení	C ₃ H ₈ ; C ₄ H ₁₀	CH ₄	CH ₄
Hustota	0,508; 0,585 kg/dm ³	0,676 kg/m ³	0,422 kg/dm ³
Bod vzplanutí	-69; -60 °C	152 °C	152 °C
Výhřevnost	46,34; 47,7 MJ/kg	50 MJ/kg	50 MJ/kg
Oktanové číslo	101 – 111	130	130

Tabulka 3: Porovnání vlastností LPG, CNG a LNG (22)

Hoření LPG, CNG



poměr zplodin CO₂/H₂O

0,75

0,8

0,5

Při srovnání hoření uhlovodíků můžeme prohlásit, že čím je větší počet atomů uhlíku v jedné molekule uhlovodíku, tím se do ovzduší uvolňuje více CO₂ a méně vody.

Z uhlovodíků je jako palivo nejvýhodnější metan (resp. CNG s vysokým obsahem metanu). Je nejmenší ekologickou zátěží a zároveň má nejvyšší výhřevnost na 1kg paliva. Zároveň je možné díky vysokému oktanovému číslu dosáhnout vysokých kompresních poměrů v motoru, je tedy možné dosáhnout vyšší tepelné účinnosti.

1.2 Energie z obnovitelných zdrojů

Tato kapitola je vyhrazena pro zdroje energie z obnovitelných zdrojů. Nejvíce prostoru je věnováno palivům založených na zpracování biomasy.

1.2.1 Bioplyn

Bioplyn je směs plynů vznikajících rozkladem hmoty organického původu. Skládá se převážně z metanu a oxidu uhličitého. Jako substrát může sloužit prakticky jakákoliv hmota organického původu hnůj, kejda, rostliny, kaly z čističek apod. Suroviny pro výrobu bioplynu jsou tedy poměrně snadno dosažitelné a ve velkém množství.

1.2.1.1 Vznik bioplynu

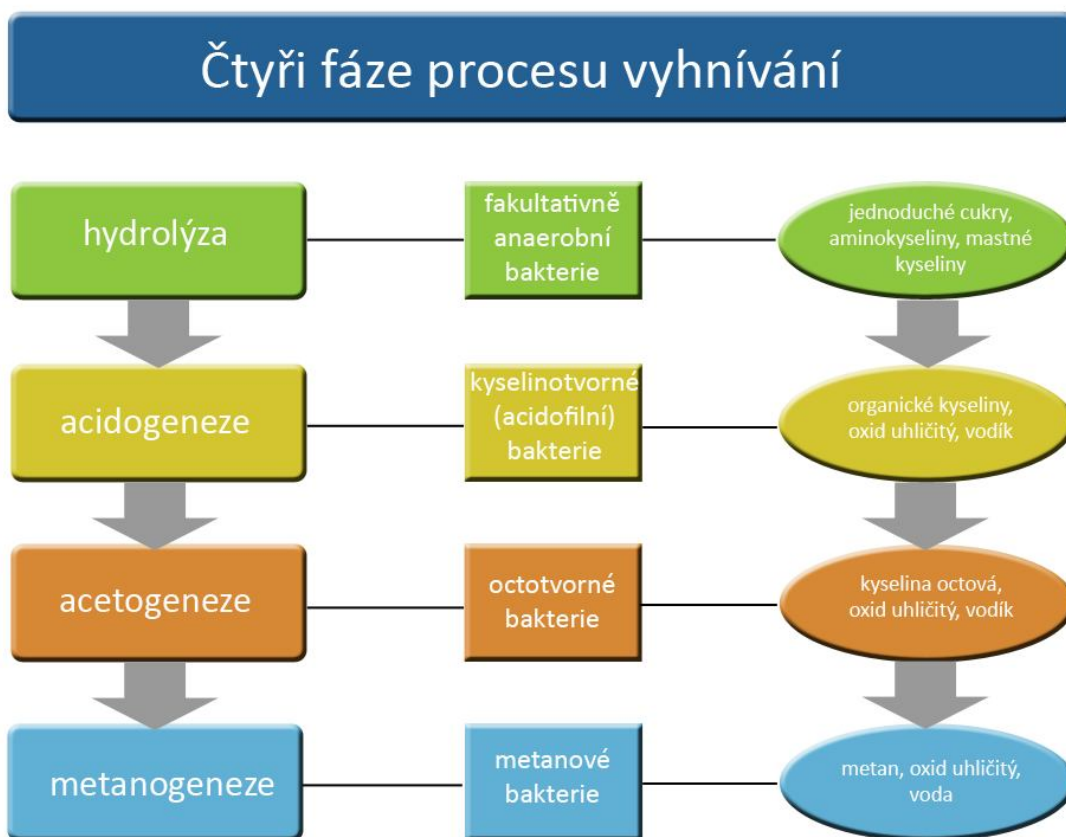
Bioplyn vzniká při mikrobiálním rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu (tzv. anaerobní fermentace). Bioplyn za určitých podmínek vzniká samovolně – v močálech, trávicím traktu zvířat, skládkách odpadů, čistírnách odpadních vod, skládkách hnoje a kejdy apod. (23)

Metanová fermentace se skládá ze čtyř navazujících procesů:

1. **Hydrolyza** – v této fázi rozkladu působí přítomné anaerobní bakterie. Dochází zde k rozkladu makromolekulárních organických látek (tuky, celulóza, bílkoviny, uhlovodíky) na nízkomolekulární sloučeniny (aminokyseliny, cukry, mastné kyseliny). Pro hydrolyzu není nutné anaerobní prostředí.
2. **Acidogeneze** – v této tzv. kyselé fázi dochází k rozkladu nízkomolekulárních sloučenin na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý, vodík). Podle povahy zdrojových organických látek (substrátu) vznikají látky v různých poměrech. Kyselá fáze probíhá pomocí anaerobních bakterií a vytvářejí se podmínky pro činnost metanových bakterií.
3. **Acetogeneze** – dochází k oxidaci produktů acidogeneze na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. (V této fázi dochází mj. k rozkladu kyseliny propionové, alkoholů a některých aromatických sloučenin na vodík.)
4. **Metanogeneze** – v této fázi dochází k přeměně metanolu, kyseliny mravenčí, kyseliny octové, metylaminů, CO_2 , CO a H_2 na metan a CO_2 . V této fázi již působí metanové bakterie.

Tyto metanové bakterie pro své množení a práci potřebují specifické podmínky. Mezi tyto podmínky patří vlhké prostředí bez světla a kyslíku (přítomný kyslík musí

nejdříve zpracovat ostatní bakterie), optimální PH (kolem PH6,5 až PH7), stálá teplota ideálně kolem 40°C (akceptovatelné je 0° – 70°C) a dostatečný přísun živin.



Obrázek 10: Vznik bioplynu (24)

Surový bioplyn se jako palivo pro MV příliš nehodí, obsahuje pouze kolem 55% metanu a je nutné jej ještě čistit.

1.2.1.2 Bioplynové stanice

Bioplynová stanice je zařízení vyrábějící bioplyn. Těchto stanic již po celém světě včetně ČR existuje značné množství, ale zatím pokrývají zlomek energetické spotřeby.

Bioplynové stanice jsou zpravidla budovány v místech, kde je dostupné dostatečné množství vstupních surovin. Typicky jsou budovány na farmách, skládkách nebo u čističek odpadních vod.

V případě skládek a ČOV dochází ke zpracování odpadních produktů, které by z hlediska další využitelnosti jinak neměly žádnou další užitnou hodnotu. V případě bioplynových stanic na farmách bývá buď zpracováván hnůj a kejda, jež se dají považovat za odpadní produkty, nebo biomasa pěstovaná se záměrem využití v bioplynové stanici.

V případě zpracování odpadů je energetická bilance jasně kladná – více energie získáme, nežli vkládáme. V případě použití plodin výhradně pěstovaných pro fermentaci je energetická

bilance také kladná, hlavně díky tomu, že je možné využít celé rostliny (oproti produkci lihu nebo metylesteru). Typickou plodinou pro využití v bioplynárnách je např. kukuřice nebo šťovík. (25)

Aby mohl být vyprodukovaný plyn distribuován do plynovodů, je nutné jej dále čistit a upravovat na biometan (viz. následující kapitola 1.2.1.3) a mít možnost připojení na plynové vedení, přes které bude možné plyn dále distribuovat. Z tohoto důvodu je mnohdy ekonomicky výhodnější bioplyn zpracovávat rovnou v místě na elektřinu a teplo (kogenerace) nebo elektřinu, teplo a chlad (trigenerace).

1.2.1.3 Biometan

Biometan je produkt získávaný vyčištěním bioplynu, tzn. bioplyn, ze kterého je odstraněn oxid uhličitý, sirovodík, voda a případné další nežádoucí látky. Biometan obsahuje cca 95 – 98% metanu a je tedy shodně použitelný jako CNG – pouze původ se liší, vlastnosti jsou stejné. (26)

Pravděpodobně nejrozšířenějším způsobem čištění bioplynu je využití různé rozpustnosti plynů ve vodě (tzv. water scrubbing).

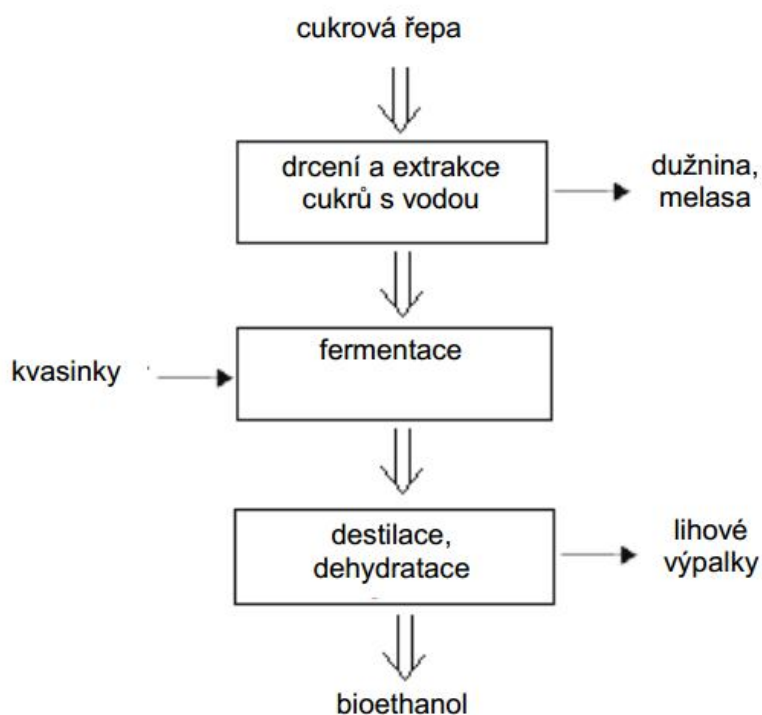
1.2.2 Bioetanol

Bioethanol je etanol získaný pomocí alkoholového kvašení z biomasy. Pro alkoholové kvašení je nejvhodnější biomasa obsahující velké množství cukrů (složených či jednoduchých).

Pro jeho výrobu se nejčastěji využívá cukrová třtina a cukrová řepa, dále obilí, brambory a kukuřice. V případě obsahu složených cukrů je třeba provádět rozklad enzymaticky na jednodušší cukry, v případě vysokého obsahu jednoduchých cukrů probíhá fermentace přímo. Dalším možným způsobem je získávání bioetanolu rozkladem lignocelulosové biomasy.

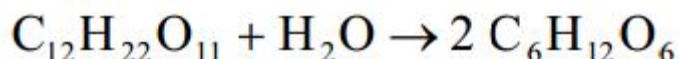
1.2.2.1 Bioetanol z biomasy obsahující jednoduché cukry

Nejčastěji se jedná o výrobu z cukrové řepy nebo cukrové třtiny. Ta je před fermentací rozmělněna a cukry jsou odděleny vypírkou.



Obrázek 11: Schéma výroby bioetanolu z jednoduchých cukrů (27)

Nejdříve dochází k rozložení sacharózy na jednoduché cukry.



A následně dochází ke kvašení (fermentaci) ve fermentoru, zde jsou cukry přeměňovány kvasinkami na alkohol a oxid uhličitý.

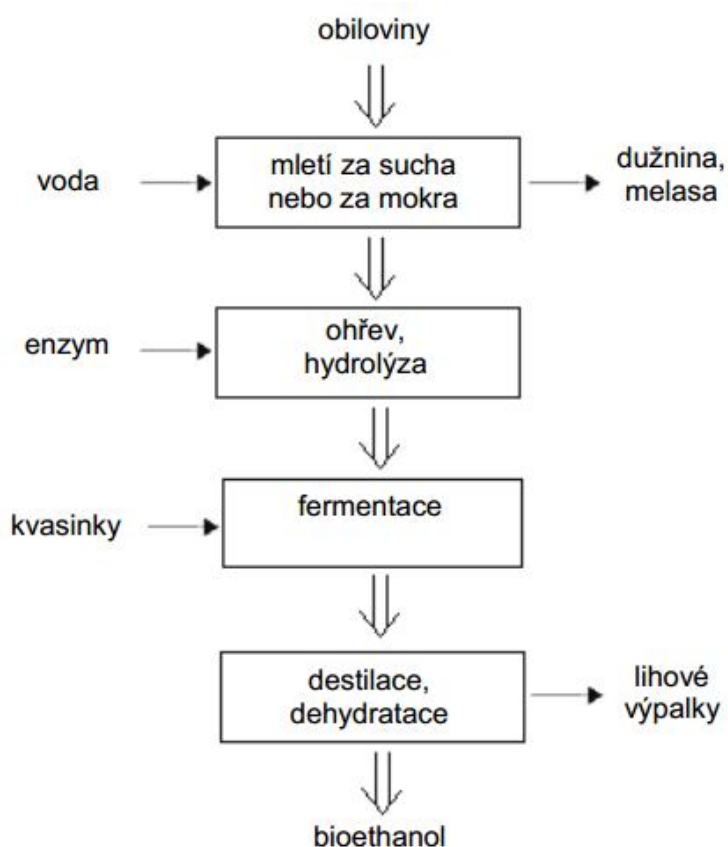
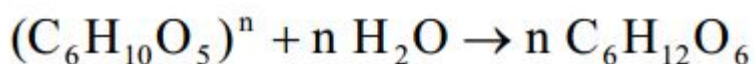


Po zkvašení hmoty je obsah alkoholu kolem 13%. Aby byl alkohol oddělen od vody a nežádoucích zbytků z kvašení, provádí se destilace a rafinace.

Výsledný produkt obsahuje až 95,5% hm. alkoholu.

1.2.2.2 Bioetanol z biomasy obsahující složené cukry

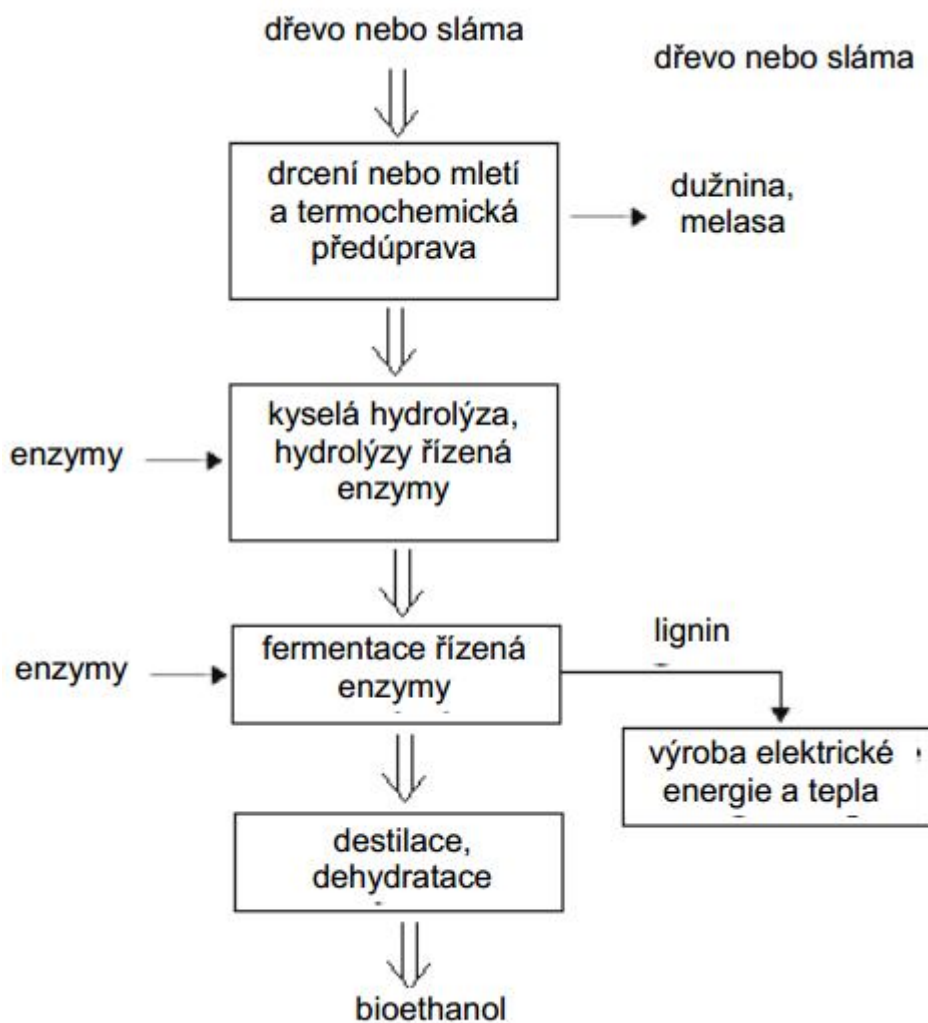
V tomto případě je získávání bioetanolu složitější. Nejdříve je nutné zrno rozemlít (nejčastěji se jedná o obilí nebo kukuřici) a smísit s vodou. Díky působení enzymů nebo kyselou hydrolyzou dojde k rozkladu škrobů na jednodušší cukry a dále je už postup obdobný jako výroby z jednoduchých cukrů.



Obrázek 12: Schéma výroby bioetanolu ze složených cukrů (27)

1.2.2.3 Bioetanol z lignocelulosové biomasy

Jedná se o poměrně komplikovanou technologii, avšak její velkou výhodou je možnost zpracování různých druhů biomasy – rychle rostoucích energetických plodin (vrba, eukalyptus, blahovičnick), zbytků ze zemědělské produkce (sláma, zbytky z cukrové řepy a třtiny), dřevních odpadů (piliny, kůra) a komunálního odpadu (papír).



Obrázek 13: Schéma výroby bioethanolu z celulózy (27)

U rozmělněné biomasy dochází ke kyselé hydrolýze nebo hydrolýze pomocí enzymů a rozkladu na fermentovatelné cukry. Následně probíhá zpracování jako u výše zmíněných technologií.

1.2.2.4 Vlastnosti bioethanolu

Výhřevnost: V porovnání s naftou i s benzinem má bioethanol nízkou výhřevnost, oproti naftě nízké cetanové číslo (CČ) a velmi malou mazací schopnost, v porovnání s benzinem vysoké oktanové číslo (OČVM). Porovnání dalších vlastností je uvedeno v tab. I. Přidáním bioethanolu do benzínu se zvyšuje OČVM, ale i tlak par. Kvůli nízké výhřevnosti je měrná spotřeba bioethanolu vyšší než spotřeba benzínu nebo nafty, takže palivový systém se musí v případě vyššího obsahu bioethanolu v palivu předimenzovat. Skupenské výparné teplo bioethanolu je v porovnání s benzinem vyšší a působí výraznější ochlazení palivové směsi přiváděné do motoru, čímž se dosáhne většího naplnění válců palivovou směsí. Vyšší

skupenské výparné teplo působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot. Používá se pomocné zařízení pro spouštění za nízkých teplot, případně se motor spouští na benzin.

Obsah vody: Velké problémy vyvolá i malé množství vody v palivu, které může být příčinou rozpadu směsi bioethanolu s benzinem na dvě fáze, přičemž bioethanol přechází do vodní fáze. Bioethanol může způsobit korozi některých součástí, zejména palivového příslušenství motoru, i když tuto nepříznivou vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Agresivně působí na některé plasty a pryže. (27)

V současnosti se bioethanol přidává jako biosložka do benzínu téměř po celém světě, v různých zemích různé množství, v Evropě je dle EN 228 povolen až 10% podíl bioetanolu.

Veličina	Nafta	Benzin	Bioethanol
Hustota (při 15 °C), kg m ⁻³	~ 830	~ 750	794
Výhřevnost, kWh kg ⁻¹	11,8	12	7,44
Hmot. podíl kyslíku, %	< 0,6	< 2,7	34,7
Oktanové číslo VM	–	91–100	108
Cetanové číslo	> 51	–	7

Tabulka 4: Bioethanol jako palivo v porovnání s benzinem a naftou (27)

1.2.2.5 E85

Jedná se o směsné palivo na bázi bioetanolu s příměsí benzínu (Natural 95). Jak už napovídá název, obsahuje 85% etanolu, ale toto složení se může mírně měnit v závislosti na ročním období. Minimální obsah bioetanolu by však neměl klesnout pod 70%. Toto palivo je nejvíce rozšířené ve Švédsku.

E85 je především určeno do tzv. FFV – flexi fuel vehicle, což jsou automobily schopné spalovat E85 nebo benzin. V ČR jsou tato vozidla poměrně málo rozšířená, ale je možné stávající vozidla poměrně snadno přestavět. Pro přestavbu jsou nejvhodnější benzinové motory s jedno nebo více bodovým vstřikováním paliva a přestavba spočívá v montáži přídatné řídicí jednotky. (28)

Mezi hlavní výhody E85 patří nízká cena díky snížení spotřební daně a nízké emisní hodnoty. Naopak nevýhodou je poměrně nízká výhřevnost, díky níž může spotřeba paliva stoupnout o 20 – 30%. (29)

Měrné emise	Městská část cyklu	Mimoměstská část cyklu	Kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E85, g km ⁻¹	92,25	52,62	67,20
Spotřeba paliva natural 95, g km ⁻¹	63,56	35,62	45,90
CO ₂ na palivo E85, g km ⁻¹	218,6	122,8	158,05
CO ₂ na palivo natural 95, g km ⁻¹	225,5	126,7	163,06
CO na palivo E85, g km ⁻¹	0,27	0,26	0,26
CO na palivo natural 95, g km ⁻¹	0,43	0,33	0,37
HC na palivo E85, mg km ⁻¹	2,59	1,49	1,89
HC na palivo natural, mg km ⁻¹	3,2	1,86	2,35
NO _x na palivo E85, mg km ⁻¹	17,25	17,42	17,36
NO _x na palivo natural, mg km ⁻¹	24,39	25,46	25,07

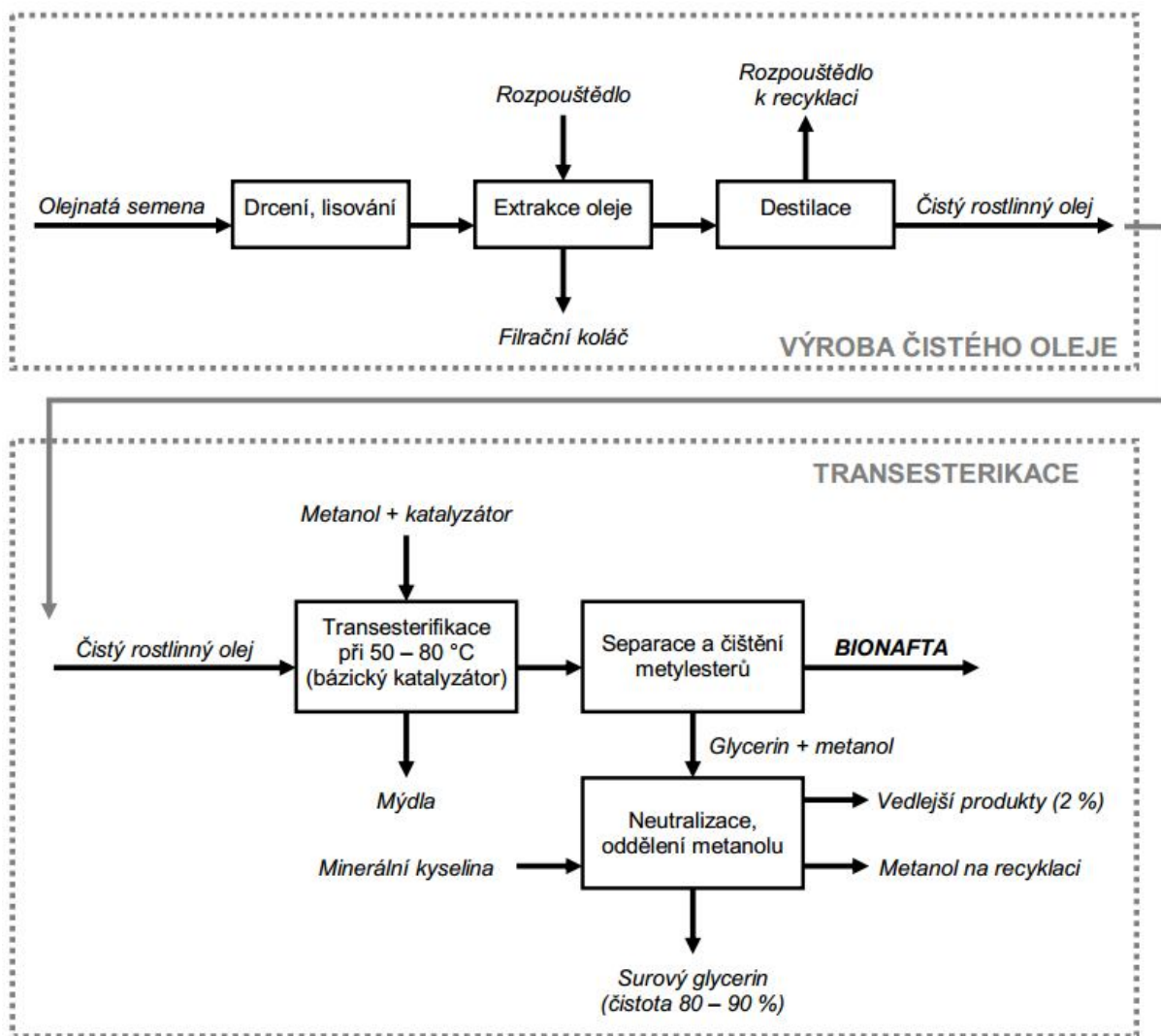
Tabulka 5: Porovnání emisí E85 a natural 95 (27)

1.2.4 Bionafta

Bionaftou je obecně označováno palivo na bázi metylesterů mastných kyselin (FAME). Vstupní surovinou jsou rostlinné oleje z olejnatých rostlin (sója, řepka olejka, slunečnice), nebo živočišné tuky (hovězí a vepřový lůj, rybí tuk) a metanol. Jako surovinu lze také použít již použité fritovací oleje a tuky z potravinářského průmyslu.

Většina světové produkce (cca 80%) však pochází z řepkového oleje (MEŘO).

Čistý rostlinný olej lze používat jako palivo, avšak má řadu nevýhod; vysoká viskozita, špatná stabilita a nízké cetanové číslo. Pro odstranění těchto nevýhod se provádí chemická úprava – převedení do formy metylesterů mastných kyselin.



Obrázek 14: Schéma výroby bionafty (7)

Bionafta (FAME) má velice podobné vlastnosti jako motorová nafta, viz následující tabulka.

Vlastnosti paliva	Bionafta (FAME)	Motorová nafta
Rel. molekulová hmotnost (g/mol)	~300	170–200
Cetanové číslo	~54	51
Hustota při 15°C (g/cm ³)	0,88	0,84
Výhřevnost (MJ/kg)	37,3	42,7
Výhřevnost (MJ/l)	32,0	35,7
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (hm.)	12,3	14,53
Obsah kyslíku (% hm.)	9–11	<0,6
Kinematická viskozita při 20°C (mm ² /s)	7,4	4,0
Bod vzplanutí (°C)	91-135	77

Tabulka 6: Porovnání FAME a motorové nafty (7)

Mezi hlavní výhody patří dobré mazací vlastnosti a biologická odbouratelnost. Naopak nevýhodou je horší chem. stabilita, tzn. doba skladování je kratší.

1.2.6 Rostlinné oleje

Podobně jako motorovou naftu nebo MEŘO lze použít v dieselových motorech jako palivo rostlinný olej (RO). První motor na rostlinný olej pochází z roku 1895 a zkonstruoval jej Rudolf Diesel (30) – tento motor fungoval na olej z burských oříšků. Rostlinný olej jako palivo nabízí oproti motorové naftě mnoho výhod, ale má i své nevýhody.

Mezi hlavní výhody patří nízká produkce CO₂, biologická odbouratelnost a větší bezpečnost díky vyšší teplotě vzplanutí. Další výhodou je menší energetická náročnost na výrobu oproti MEŘO (u výroby MEŘO je nutný proces esterifikace a destilace, u samotných olejů tyto operace odpadají)

Naopak mezi nevýhody patří poměrně nízká viskozita, rychlá degradace a riziko znehodnocení motorového oleje (je tedy nutné častěji měnit motorový olej jako prevenci poškození motoru).

Některé typy starších dieselových automobilů jsou schopny provozu na RO bez jakýchkoliv úprav, je zde však riziko poruchy motoru. Pro správnou funkčnost motoru na rostlinný olej je třeba snížit jeho viskozitu.

Viskozitu rostlinného oleje je možné snížit dvěma způsoby:

- Chemicky – obdobně jako při výrobě MEŘO – esterifikace
- Tepelně – zvýšením teploty se zvýší jeho tekutost

Při provozu vozidel na RO se využívá druhé možnosti, tj. zvýšení teploty RO. Olej je zahříván na teplotu kolem 75 – 90 °C a při této teplotě má motor obdobný chod jako na motorovou naftu. (30)

1.2.7 Další paliva vyráběná z biomasy

Existuje ještě množství dalších alternativních paliv získávaných z biomasy. Tyto látky je možno využívat jako palivo přímo, nebo se v některých případech využívají jako příměsi pro zlepšení vlastností běžně používaných paliv. (22)

Mezi tyto látky patří Metanol, MTBE, ETBE a BTL.

Metanol – CH₃OH, tzv. dřevní líh (vzniká mj. při výrobě dřevěného uhlí). Vyrábí se ze zemního plynu parním reformingem a parní oxidací, nebo se vyrábí z biomasy jejím zplyňováním. Lze jej použít přímo jako palivo nebo při výrobě aditiv do jiných paliv. Je vysoce toxický – při otravě hrozí oslepnutí nebo úmrtí.

ETBE – Etyl – Terc – ButylEter – vyrábí se z etanolu a isobutanu (C₄H₈). Jeho využití spočívá především jako příměsi do benzínu. Má vysoké oktanové číslo, snižuje emise CO, lépe se mísí s benzinem a má vyšší výhřevnost než etanol.

Vlastnosti paliva	Etanol	ETBE	Benzin
Rel. molekulová hmotnost (g/mol)	46	102	111
Oktanové číslo RON / MON	109 / 92	118 / 105	96 / 85
Cetanové číslo	11	-	8
Tlak par podle Reida (kPa)	16,5	28,0	75,0
Hustota 15°C (g/cm ³)	0,80	0,74	0,75
Výhřevnost (MJ/kg)	26,4	36,0	41,3
Výhřevnost (MJ/l)	21,2	26,7	31,0
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (hm.)	9,0	-	14,7
Bod varu (°C)	78	72	30 – 190
Zápalná teplota (°C)	425		>280
Bod vzplanutí (°C)	12	-19	-35
Meze výbušnosti D / H (% v/v)	3,5 / 15	1,2 / 9,1	1,3 / 7,6

Tabulka 7: Porovnání vlastností ETBE a etanolu oproti benzínu (7)

MTBE – Metyl – Terc – ButylEter – vyrábí se z metanolu obdobně jako ETBE z etanolu. Využití je také obdobné.

BTL – Biomass To Liquid (biomasa na kapalinu, „Sunfuel“) je kapalné palivo vyráběné z biomasy. Surovinou mohou být dřeviny, traviny, sláma apod. Výroba probíhá pomocí tzv. Fischer – Tropschovy (FT) syntézy, pyrolýzy nebo katalytické depolymerizace. (31) Tento produkt je označován jako syntetická nafta a má oproti motorové naftě v mnohém lepší vlastnosti, nevýhodou však je vysoká cena.

Vlastnosti paliva	Motorová nafta (podle ČSN EN 590)	Syntetická nafta (FT syntéza)
Cetanové číslo	51	> 74
Hustota při 15 °C (kg/m ³)	820 – 845	780
Výhřevnost (MJ/l)	35,5	34,3
Kinematická viskozita při 20 °C (mm ² /s)	4,0	3,6

Tabulka 8: Porovnání motorové a syntetické nafty (32)

DME – Dimetyleter (CH₃ – OH – CH₃) je plyn, který je možné vyrábět ze zemního plynu i z biomasy. Je vhodný jako palivo pro vznětové motory nebo jako příměs metylalkoholových paliv pro zlepšení vznětlivosti. Při provozu motoru na DME lze dosáhnout podobných parametrů, jako při provozu na motorovou naftu. (33)

1.2.8 Shrnutí k palivům z biomasy

V současnosti je perspektiva biopaliv (tj. paliv vyráběných z biomasy) široce diskutována. Existuje dotační politika, povinné přidávání biosložek do ropných paliv a závazky zemí v EU v množství používaných biopaliv.

Je čím dál více zpochybňován jejich přínos, nejčastějším argumentem je spotřeba fosilních paliv pro získávání biopaliv a produkce biopaliv na úkor potravin.

Je velice obtížné tuto problematiku objektivně zhodnotit a v mnoha diskuzích se tak bohužel neděje. Je nutné brát v potaz nejen ekologickou problematiku, ale i problematiku energetickou, finanční a ekonomickou.

Při výběru vhodného biopaliva je tedy nutné zhodnotit následující otázky:

- Jaká je energetická návratnost? Získáme z biopaliva více energie, než bylo vynaloženo pro jeho získání? Je zdrojová surovina odpadem, nebo produktem zemědělství?
- Nezatěžuje produkce a spotřeba konkrétního biopaliva životní prostředí více, než jej zatěžují srovnatelná fosilní paliva?
- Není výroba biopaliva na úkor produkce potravin?
- Je výroba biopaliva finančně návratná?
- Je konkrétní biopalivo dostatečně vhodné pro aplikaci v běžném provozu? Jak hodně je nákladné vybudovat potřebnou infrastrukturu?
- Má produkce konkrétního biopaliva ještě nějaké další přínosy? Vznikají při jeho produkci nějaké další ceněné produkty?

Díky výše uvedeným otázkám je možné zhruba posoudit perspektivu již využívaných biopaliv.

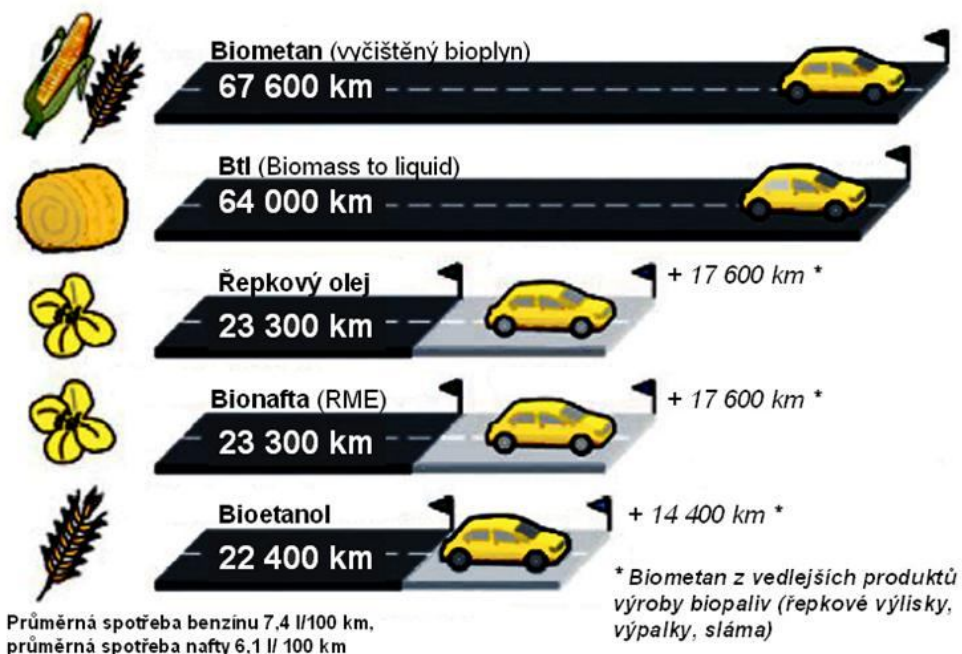
- V současnosti je velice rozšířeným biopalivem **MEŘO**. Je ekonomickým přínosem pro zemědělství, je možné jej široce využívat bez zvláštních úprav na vozidlech a při jeho produkci je mj. získáván glycerin a šrot, což jsou další ceněné suroviny. Bohužel se nedá považovat za biopalivo, jehož potenciál by dokázal nahradit fosilní paliva. Aby tomu tak bylo, musela by být řepka pěstována na úkor potravin.
- Obdobně je to u **bioetanolu**. Současná produkce bioetanolu pochází z pšenice nebo cukrové řepy (případně z cukrové třtiny v zahraničí) a aby byla produkce paliva dostatečná, pěstování by značně omezilo produkci potravin. Zajímavým způsobem jak zefektivnit produkci bioetanolu je jeho výroba z lignocelulosové biomasy – tak by bylo možné využít i jinak těžko zpracovatelnou biomasu. Tato technologie je však zatím velmi finančně náročná a díky tomu příliš nevyužívána.
- Nedostatečně efektivní je také (zatím) výroba **BTL** pomocí FT syntézy. Toto palivo je poměrně kvalitní, avšak drahé.
- Jako poměrně perspektivní se jeví produkce **bioplynu** – jako vstupní suroviny mohou sloužit biologické odpady různého původu. V případě zemědělské produkce biomasy pro

bioplynové stanice je možné digestát použít jako kvalitní hnojivo a tím snížit náklady na další produkci biomasy. Nevýhodou je nízké množství vozidel na CNG, nedostatečná infrastruktura pro distribuci bioplynu a hlavně nulová dotační podpora (v současnosti je dotována pouze energie z kogeneračních jednotek, ne však plyn produkovaný z bioplynáren (34)). Z těchto důvodů zůstává bioplyn (alespoň zatím) jako alternativní palivo v pozadí.

- Dalším poměrně „zanedbaným“ palivem je **rostlinný olej (RO)**. V ČR je legislativně schválen provoz na RO u vozidel pro toto palivo určených, kterých je velice málo. Přitom stačí provést relativně malé úpravy na motoru pro bezproblémový provoz. Hlavní výhodou tohoto paliva, přestože se jedná o palivo ze zemědělské (a tím pádem množství půdy omezené) produkce, je jeho nenáročnost na výrobu. Zjednodušeně řečeno „stačí semena plodin vylisovat a vzniklý olej nalít do nádrže“ – oproti relativně složité přípravě MEŘO.

Na následujícím grafu je znázorněno, kolik energie je možné získat z 1 ha půdy bez ohledu na energetickou náročnost zpracování biopaliv.

Ujetá vzdálenost osobního automobilu na různá biopaliva vyprodukovaná z 1 ha zemědělské půdy za rok



Graf 1: Porovnání různých biopaliv podle množství na 1 ha půdy (35)

Na následujícím obrázku je srovnání vybraných biopaliv s ohledem na jejich energetickou bilanci.

palivo	bionafta			bioetanol			biometan		biometan triticale celá rostlina *
	řerka olejka	cukrová řepa	pšeničné zrno	cukrová řepa	pšeničné zrno	kukuřice	triticale celá rostlina		
plodina									
hnojivo (N kg/ha)	195	147	150	147	150	150	160	80	
výnosy (vlhká biomasa t/ha)	3	56	8	56	8	40	38	38	
výnosy (sušina t/ha)	3	11.5	6.9	11.5	6.9	12.6	15	15	
energie pro pěstování (GJ/ha)	12.7	11.9	12.8	11.9	15.5	16.7	16	11.6	
zpracování (GJ/ha)	9.2	41.4	13.2	10.8	8	8	8.3	8.3	
Vyprodukované palivo (GJ/ha)	40.4	117	61.1	124.8	89	157.1	166	166	
energetický poměr (energie získaná/energie vložena)	1,84	2,2	2,36	5,5	3,79	6,36	6,84	8,34	
čistá vyprodukovaná energie (GJ/ha)	18,5	63,7	35,1	102,1	65,5	132,4	141,7	146,1	
potenciál produkce elektřiny MWh/ha				9,4	6,1	12,2	13,1	13,5	
energie potřebná pro vyčištění bioplynu (GJ/ha)				5,3	3,7	6,6	7	7	
energie biometanu (GJ/ha)				96,8	61,8	125,8	134,7	139,1	
ekvivalentní litry nafty (diesel equivalent)	517	1779	980	2704	1726	3514	3764	3885	

* v tomto případě předpokládáme nahrazení 50 % průmyslových hnojiv digestátem

Obrázek 15: Přehled produkce biopaliv na 1ha se zohledněním vložené energie (35)

Výhledy do budoucna

V současnosti jsou ve vývoji nové technologie výroby biopaliv. Nejedná se již o klasickou zemědělskou produkci, ale o výrobu pomocí řas. Zvláštní druh řas rostoucí v bioreaktoru produkuje přímo kapičky oleje, který se již snadno zpracuje. (36)



Obrázek 16: Bioreaktory, v nichž rostou řasy produkující olej. (36)

Vzhledem k rané fázi vývoje se dá těžko odhadnout ekonomičnost takové výroby, ale mohlo by se jednat o způsob, jak vyrábět palivo bez omezení produkce potravin z půdy.

1.2.7 Solární energie

Dalším možným zdroje energie pro motorová vozidla je solární energie. Sluneční světlo je elektromagnetické vlnění v různých vlnových délkách – od infračerveného přes viditelné světlo až po ultrafialové a rentgenové záření.

Nejběžnějším způsobem získávání sluneční energie v MV je přeměna slunečního záření na elektřinu v solárních článcích (panelech).

Tato technologie je však ve stádiu prototypů a zatím zdaleka nedosahuje úrovně běžných automobilů.



Obr.: Solární automobil ze Spojených Arabských Emirátů (37)

Je to dáno především nízkou účinností solárních článků a závislostí na slunečním světle. Solární automobily proto musí mít velmi nízkou hmotnost, velkou plochu pokrytou solárními články a mívají velmi omezený prostor pro posádku. Na území ČR jsou podmínky mnohem méně příznivé než v jižních zemích. Velice problematický je zimní či noční provoz.

Jako alternativa se jeví kombinace solárních článků s akumulátory dobíjenými ze sítě, avšak ani akumulátory nejsou na dostatečné technické úrovni, aby pojaly dostatek energie pro delší dojezd a zároveň výrazně nepřevyšovaly cenu automobilu.

1.2.7.1 Popis funkce solárního článku

Solární (fotovoltaický) článek je zařízení umožňující přeměnu světelné energie v určitém spektru na energii elektrickou. O šíři spektra a účinnosti rozhodují použité technologie, nejčastěji se však jedná o polovodičovou vrstvu s PN přechodem. Experimentuje se také s technologiemi bez využití křemíku. Namísto něho jsou použity polymery nebo organické sloučeniny.

1.3 Vodík

Vodík je jedním z nejrozšířenějších prvků. Při běžných teplotách a tlacích je v plynném skupenství. Je vysoce reaktivní, a proto se v přírodě samostatně vyskytuje jen výjimečně.

Díky nutnosti získávat jej ze sloučenin se o vodíku hovoří spíše než jako o palivu jako o nosiči energie – energie je vložena do jeho získání a zpětně je energie získána při jeho reakci s jiným prvkem.

Veličina	Jednotky	Hodnota
Chemické označení	-	H ₂
Molární hmotnost	g.mol ⁻¹	2,0158
Hustota kapalné fáze (-259,2 °C a 0,1 MPa)	kg.m ⁻³	70,8
Hustota plynné fáze (20 °C a 0,1 MPa)	kg.m ⁻³	0,0838
Bod varu	°C	-252,8
Bod tání	°C	-259,2
Spalné teplo (kapalná fáze)	MJ.kg ⁻¹	141,86
Spalné teplo (plynná fáze)	MJ.m ⁻³	12,75
Výhřevnost (kapalná fáze)	MJ.kg ⁻¹	120,05
Výhřevnost (plynná fáze)	MJ.m ⁻³	10,79
Meze výbušnosti se vzduchem	% obj.	4–75
Meze výbušnosti s kyslíkem	% obj.	4–95
Teplota samovznícení	°C	585

Tabulka 9: Vybrané fyzikálně chemické vlastnosti vodíku (22)

Vodík má poměrně nízkou výhřevnost, proto není příliš vhodný pro použití ve spalovacích motorech. Naopak se jeví jako výhodné používat vodík pro získávání elektřiny v palivových článcích pomocí elektrochemické oxidace. Ať už je vodík oxidován hořením nebo elektrochemicky, jako výsledný produkt je vždy voda. Z tohoto důvodu se dá považovat za nejměstější zdroj energie – alespoň při jeho spotřebě. Druhou otázkou je jeho výroba – způsobů výroby vodíku je více s různou náročností na vstupní suroviny a energii.

1.3.1 Výroba vodíku

Jak už bylo zmíněno, způsobů výroby vodíku (resp. jeho zdrojů) je více. Vodík je možné získávat z vody, fosilních paliv a biomasy.

1.3.1.1 Elektrolýza vody

Při elektrolýze vody dochází k rozpadu (disociaci) molekuly vody H_2O na ionty H^+ a OH^- , které jsou přitahovány k opačně nabitým elektrodám. Výsledkem je produkce vodíku a kyslíku na jednotlivých elektrodách.

Tento způsob potřebuje velké množství elektrické energie a je tedy využitelný v případě přebytků energie nebo při užití energie z obnovitelných zdrojů (hydroelektrárny, solární články a větrné elektrárny).

1.3.1.2 Parní reformace metanu

Jako surovina je nejvhodnější zemní plyn, případně biometan. Metan je z uhlodíků nejvhodnější díky velkému množství obsaženého vodíku. Zároveň se jedná o ekonomicky nejvýhodnější variantu získávání vodíku.

Při parním reformování dochází k reakci metanu s vodní párou. Produktem je vodík, CO a CO_2 .

1.3.1.3 Výroba z biomasy

Z biomasy lze vodík získávat buď zplyňováním a rozložením složek vzniklého plynu nebo biochemickou konverzí.

Biochemická konverze může být přímá nebo nepřímá.

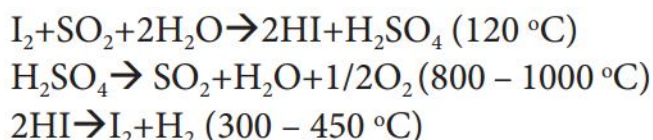
- Přímá – biofotolýza – štěpení vody na kyslík a vodík pomocí světelného záření a hydrogenázy (enzymu katalyzujícího tvorbu vodíku) z produkce mikroorganismů.
- Nepřímá – fotosyntéza, anaerobní fermentace, fotofermentace.

Výroba vodíku z biomasy je považována za velice perspektivní způsob získávání vodíku a je zatím ve výzkumu. (22)

1.3.1.4 Výroba vodíku termochemickými cykly

Termochemické cykly jsou známy již více jak 35 let; intenzivně byly studovány na přelomu 70. a 80. let 20. století (v době ropné krize, tedy v době hledání ekonomické výroby alternativních paliv). Při termochemickém štěpení vody je voda rozdělena na kyslík a vodík pomocí série chemických reakcí, které jsou iniciované teplem nebo v případě hybridních cyklů teplem a elektrickou energií. Jsou to cykly uzavřené, tj. použité chemické látky jsou v průběhu reakcí recyklovány a znovu vstupují do procesu. Doplňovanou vstupní surovinou je pouze voda a výsledným produktem vodík a kyslík.

Jedním z nich je siřičito – jódový termochemický cyklus, který byl vyvinut v General Atomics (San Diego, USA) v polovině 70. let 20. století. Je předním kandidátem levné a účinné výroby vodíku pomocí jaderné energie. Vstupní surovinou je voda a vysokopotenciální teplo; výstupními surovinami jsou kyslík s vodíkem a nízkopotenciální teplo. Všechny vstupní suroviny jsou tekuté. Jód a oxid siřičitý se recyklují a opětně používají, teoreticky se tedy neprodukuje žádný odpad. Při produkci vodíku probíhají tyto termochemické reakce:



V prvním kroku, který je znám jako Bunsenova reakce, reaguje vstupující voda s jódem a oxidem siřičitým za vzniku kyseliny sírové a jodovodíkové. Jedná se o exotermickou reakci, kdy se z reakce odvádí teplo o teplotě 120°C. Nejvíce tepla (a o nejvyšší teplotě, 800 – 1000°C) vyžaduje endotermický rozklad kyseliny sírové. Rozklad kyseliny jodovodíkové a současná produkce vodíku vyžaduje teploty nižší (450°C).

Účinnost takto komplexního cyklu není jednoduché stanovit. Účinnost celého výrobního cyklu vodíku se pohybuje v rozmezí 40 – 52 % (50 % při 950°C). S dalším nárůstem teplot bude růst i účinnost cyklu. Oproti elektrolýze má vyšší účinnost, protože nedochází ke ztrátám při výrobě elektrické energie.

Nevýhoda tohoto cyklu je požadavek vysokých vstupních teplot a agresivita kyseliny sírové a jodovodíkové, což vede k vysokým nárokům na chemickou odolnost použitých materiálů. Problematická bude kontrola podmínek reakcí v průmyslovém měřítku (v laboratorních podmínkách byla tato otázka již zvládnuta). (38)

1.3.1.5 Další možnosti výroby

Mezi další způsoby získávání vodíku z metanu patří parciální oxidace, suché reformování a pyrolýza. Dále je možná parciální oxidace ropných frakcí a zplyňování uhlí. Tyto způsoby jsou méně rozšířené. (7)

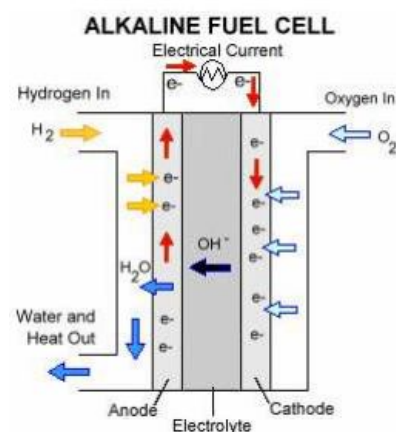
1.3.2 Palivové články

Palivový článek je zařízení přeměňující chemickou energii paliva na elektrickou energii. Existuje mnoho druhů článku využívající různých nosičů energie, např. vodík, metanol, metan, kyselinu octovou nebo roztok glukózy.

Princip palivového článku lze nejnázorněji objasnit na palivovém článku s polymerní membránou. Tento článek se skládá ze dvou elektrod, na jejichž povrchu se nachází slabá vrstva uhlíku obsahující malé množství platiny, která zde slouží jako katalyzátor. Elektrody jsou od sebe odděleny tenkou polymerní membránou, která propouští kladně nabitě ionty – protony.

Vodík je přiváděn na anodu, kde na vrstvě katalyzátoru dochází k jeho disociaci na kladné ionty (protony) a elektrony. Protony procházejí skrze polymerní vrstvu, elektrony jsou nuceny procházet externím okruhem a mohou tedy konat užitečnou práci. Na katodě pak sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů (protonů), dvou elektronů a atomu kyslíku vzniká voda (vzhledem k provozní teplotě palivového článku obvykle v podobě páry). Na stranu katody je přiváděn čistý kyslík nebo častěji kyslík jako součást vzduchu. Schematické znázornění palivového článku je na obrázku 18. (38)

První praktické využití se naskytlo v kosmickém programu NASA, ale první článek popisující funkci PČ vznikl již v roce 1839. (22)



Obrázek 17: Schéma AFC (38)

1.3.2.1 Alkalický palivový článek

Alkalic Fuel Cell (AFC) – v těchto článcích je jako elektrolyt použit zásaditý roztok, nejčastěji vodný roztok KOH. Jedná se o nejstarší typ palivových článků. Jejich nevýhodou je vysoká citlivost na čistotu paliva. Výhodou je naopak poměrně vysoká účinnost (kolem 60%) a vysoký výkon díky rychlé chemické reakci v zásaditém elektrolytu. Elektrolytem je 85 % hmotnostních KOH (hydroxid draselný) pro PČ pracujících při vyšších teplotách (~250°C), pro nižší teploty (<120°C) se používá (35 – 50 % hmotnostních). Elektrolyt je udržován v porézním materiálu, kterým je ve většině případů azbest. Výhodou tohoto typu PČ je možnost využití širokého spektra (levných) katalyzátorů - Ni, Ag, MeO, korund a vzácné kovy. Největším problémem je čistota paliva a oxidačního činidla, kdy i malé množství CO₂ způsobuje znehodnocování elektrolytu (reakcí CO₂ s KOH za vzniku K₂CO₃). CO je katalytickým jedem.

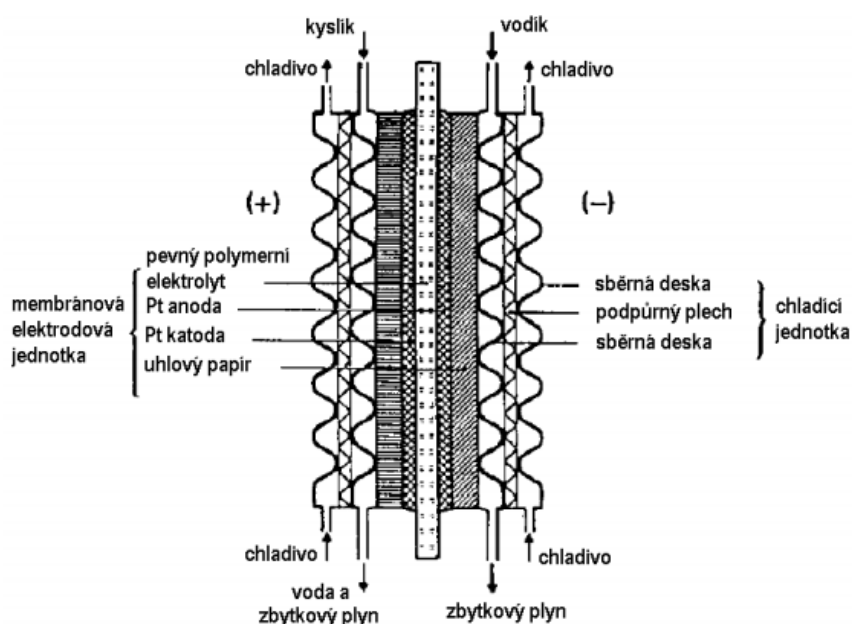
1.3.2.2 Články s polymerním elektrolytem

Články PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) – jako elektrolyt slouží iontoměničová polymerní membrána (většinou na bázi kyselých fluorovaných polymerů), která je výborným protonovým vodičem. Vzhledem k tomu, že jedinou kapalinou v tomto typu PČ je voda, jsou minimalizovány problémy s korozí. Pro efektivní provoz je klíčovým problémem tzv. vodní režim; podmínky musí být nastaveny tak, aby se vzniklá voda neodpařovala rychleji, než je produkována. Vysoký stupeň hydratace membrány je podmínkou pro její dobrou protonovou vodivost.



Obrázek 18: Článek s polymerním elektrolytem (38)

Operační teplota je limitována použitým polymerem, většinou je nižší než 120°C (ačkoliv v současné době se provádí testy s novými materiály až k 200°C). Palivem je v tomto případě čistý vodík nebo metanol, používaný většinou v přenosných aplikacích. Jako katalyzátor se využívá především Pt, případně Pt/Rh a jiné. Pro tento typ katalyzátorů je významným jedem CO, proto se musí zajistit, aby v palivu nebyla jeho koncentrace vyšší než 5 ppm. Hustota výkonu se u PEM palivového článku pohybuje těsně nad hranicí 0,1 kW/l a 0,125 kW/kg. (38)



Obrázek 19: Schéma PEM palivového článku (39)

1.3.2.3 Phosphoric Acid Fuel Cell

PAFC, palivový článek s kyselinou fosforečnou – tento druh PČ pracuje při 150 – 220°C, přičemž jako elektrolyt používá 100% kyselinu fosforečnou. Při nižších teplotách má H₃PO₄ horší protonovou vodivost a problém CO jako katalytického jedu pro Pt se stává významnějším. Kyselina fosforečná je stabilnější než ostatní běžné kyseliny, proto je schopná pracovat v širokém rozsahu teplot. (38)

1.3.2.4 Molten Carbonate Fuel Cell

MCFC – palivový článek s tekutým uhličitánem – elektrolytem je většinou směs alkalických uhličitánů, které jsou zadržovány v matrixu LiAlO₂. Provozní teplota je od 500 °C do 700 °C; v tomto rozmezí tvoří směs uhličitánů vysoce vodivou roztavenou sůl, ve které zprostředkovávají vodivost uhličitánové ionty. Díky vysokým teplotám není nutné používat vzácné kovy pro katalyzátory, využívá se Ni pro anodu a NiO pro katodu. (38)

1.3.2.5 Solid Oxide Fuel Cell

SOFC – palivový článek s pevným oxidem – tento typ PČ je výjimečný tím, že jeho elektrolyt je pevný, neporézní kovový oxid, používá se Y₂O₃ stabilizovaný ZrO₂. Pracovní teplota je 600 – 1000°C, přičemž vodivost zprostředkovávají kyslíkové anionty. Materiálem pro anodu je Co-ZrO₂ nebo Ni-ZrO₂, pro katodu se používá LaMnO₃ dopovaný stronciem. Skutečnost, že elektrolyt je pevný, má velký význam pro zjednodušení systému, vyskytují se zde na rozdíl od všech ostatních typů PČ pouze dvě fáze, pevná a plynná. (38)

1.4 Kombinace zdrojů energie MV – Hybridy

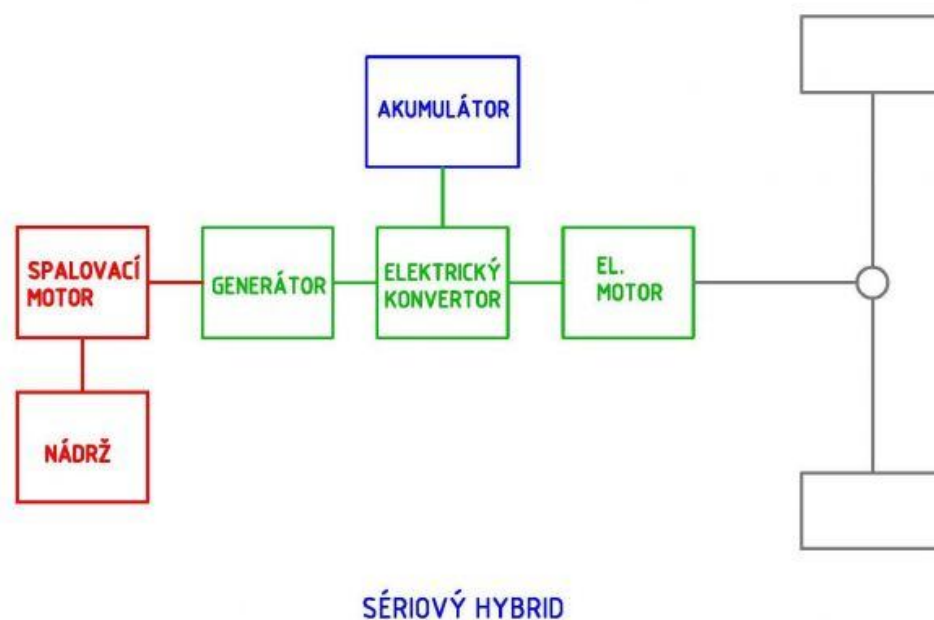
Pod pojmem vozidlo s hybridním pohonem je chápáno vozidlo, které má více zdrojů energie bez ohledu na jejich typ. Kombinace zdrojů energie je většinou využívána z důvodu zefektivnění pohonu vozidla resp. zlepšení hospodaření s pohonnou energií. Důsledkem zpravidla bývá vyšší ekonomičnost případně i čistota provozu. Častou nevýhodou naopak bývá vyšší hmotnost a vyšší pořizovací náklady vozidla.

1.4.1 Kombinace spalovacího motoru, akumulátoru a elektromotoru

Jedná se o nejčastější variantu hybridního pohonu používaného v motorových vozidlech. Konstrukčně mohou být řešena různými způsoby.

1.4.1.1 Sériový hybrid

Spalovací motor dodává energii rozvodné soustavě a z ní buď elektřina proudí do akumulátorů, nebo přímo do elektromotoru. Výhodou tohoto řešení je běh motoru v optimálních otáčkách, kdy je výkon v nejlepším poměru ke spotřebě paliva. Výkonové špičky pokrývají akumulátory a naopak je energie při výkonových rezervách ukládána do akumulátorů. energii je možné dodávat také při brzdění vozidla díky funkci elektromotoru jako generátoru.

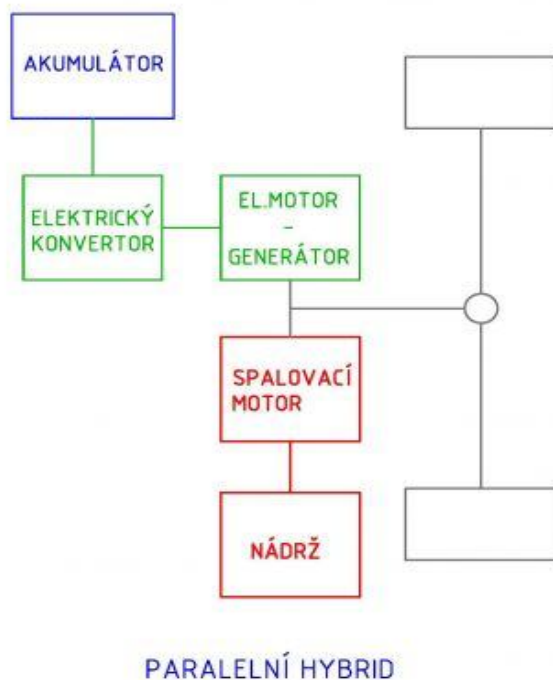


Obrázek 20: Schéma sériového hybridu (šedě označena kola a jejich náhon) (40)

1.4.1.2 Paralelní hybrid

U většiny dnes prodávaných hybridů se používá právě tento systém. Vůz je vybaven spalovacím motorem a elektromotorem, které jsou s koly propojeny skrze mechanickou převodovku. Častým uspořádáním je umístění elektromotoru / generátoru mezi spalovací motor a převodovku (viz Honda Insight, Civic...). Generátor plní funkci startéru a alternátoru. K akumulaci elektrické energie slouží baterie s výrazně větším napětím než je v běžných automobilech. Kvůli zvýšení účinnosti spalovacího motoru bývají „spotřebiče“ jako posilovač řízení či klimatizace poháněny elektromotorem. Tím jsou jejich otáčky nezávislé na otáčkách motoru a navíc pokud zařízení nepracuje, není mu dodávána energie.

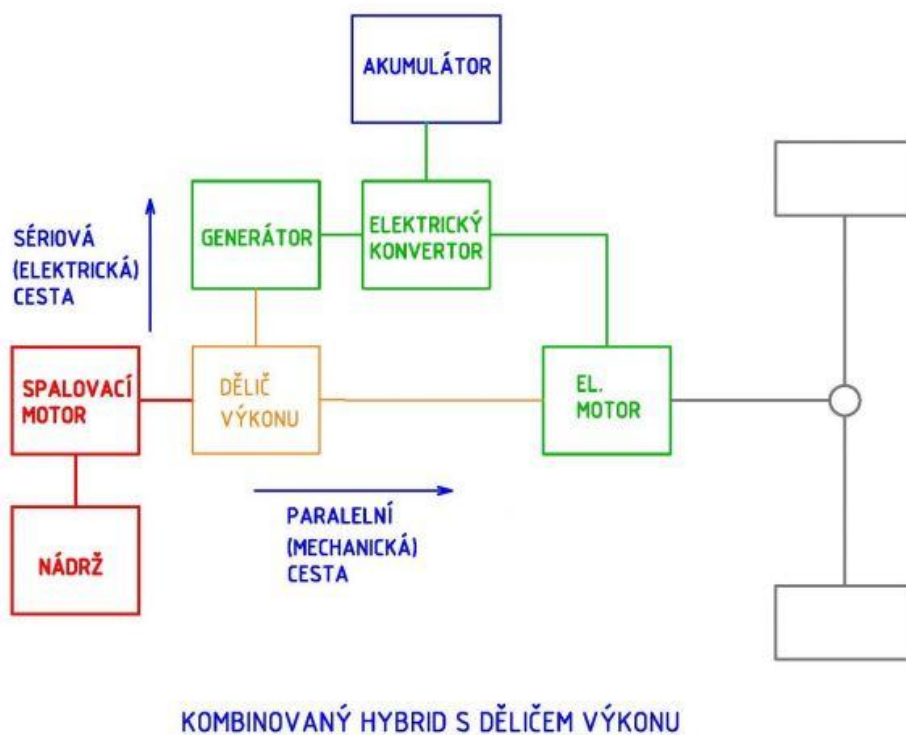
Dva zdroje energie jsou spojeny hřídelem a výsledný moment je dán součtem jejich okamžitých momentů. Pokud je tedy využíván pouze jeden motor, druhý rotuje s ním, aniž by dodával výkon (volnoběh), nebo může být odpojen přes spojku. U automobilů se častěji používá spojení přes planetovou převodovku. Obvyklým režimem paralelního hybridu je, že většinu výkonu dodává spalovací motor a elektromotor se zapojuje v případě akcelerace. Výhodou je možnost rekuperace. (40)



Obrázek 21: Schéma paralelního hybridu. (40)

1.4.1.3 Kombinovaný hybrid

Je vybaven tzv. děličem výkonu. Ten zajišťuje, aby tok výkonu spalovacího motoru šel ke kolům buď to mechanickou cestou (paralelní hybrid) nebo elektrickou (sériový hybrid). O tom kolik procent výkonu půjde mechanickou či elektrickou cestou rozhoduje režim, ve kterém se vůz nachází. Jsou to například akcelerace, jízda nízkou rychlostí (město), vysokou rychlostí (dálnice), prudká akcelerace, jízda z kopce, brzdění. Tímto systémem jsou vybaveny vozy Toyota a Lexus. (40)



Obrázek 22: Schéma hybridního vozidla s děleným výkonem (40)

1.4.2 Vozidla s palivovým článkem a akumulátory

Díky malé síti čerpacích stanic se jedná o méně rozšířenou variantu hybridního pohonu. Zdrojem energie v těchto vozidlech je palivový článek a akumulátory, které napájejí elektromotory.

Nejčastěji používané články jsou typu PEMFC z důvodu relativně nízké provozní teploty a tzv. vysoké proudové hustotě, tzn. vysoký výkon v poměru k rozměrům a hmotnosti. Jako palivo je možné použít metanol nebo vodík, avšak nejčastěji se setkáme s hybridními vozidly, kde je PČ zásoben vodíkem.

Výkon palivového článku při provozu vozidla je neměnný – přebytky energie se ukládají do akumulátorů a naopak při větším odběru, než článek poskytuje, je energie z akumulátorů zase odebírána.

Akumulátory je možné doplnit kondenzátory s velkou kapacitou, tzv. superkapacitory, které slouží pro vyrovnání energetických špiček – ať už při odběru nebo přebytku energie. Nejčastěji tedy při zrychlení a brzdění, kdy není akumulátor schopný vydat nebo přijmout dostatečné množství energie. Díky tomu se zlepšuje dynamika vozidla a zároveň se zvyšuje efektivita hospodaření s energií – v případě, kdy akumulátor není schopný pojmout dodanou energii při prudkém brzdění, by se tato energie měnila na odpadní teplo – v tomto případě tomu tak není.

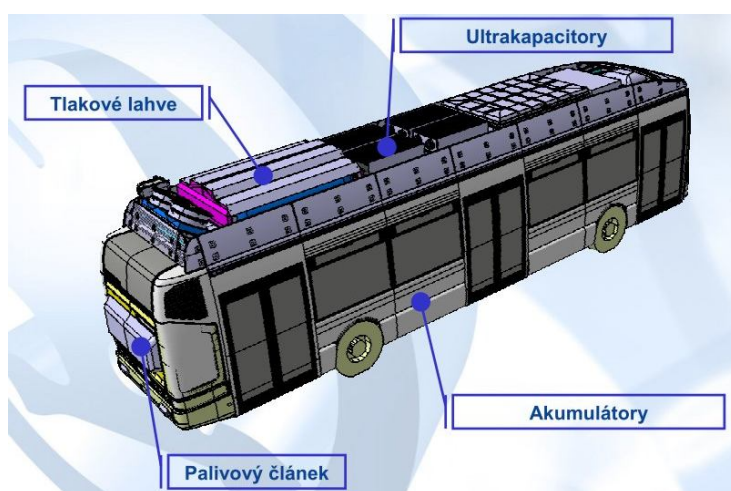
Tento druh hybridního pohonu je nejčastěji využíván u osobních automobilů i autobusů, ale kromě toho jsou vodíkové články používány i pro pohon ponorek. U silničních vozidel se v současné době většinou jedná o testovací vozidla, která nejsou běžně k prodeji, anebo je jejich cena díky malé sériovosti velmi vysoká.



Obrázek 23: Vodíkový automobil Opel HydroGen4 (41)



Obrázek 24: Vodíkový autobus Trihybus (42)



Obrázek 25: Vodíkový autobus Trihybus – znázornění energetických prvků (42)



Obrázek 26: Německá vodíková ponorka U32 (43)

1.4.3 Další druhy méně rozšířené druhy hybridních pohonů

Existují i další typy hybridních pohonů, těm však v této práci není věnováno více prostoru kvůli jejich malému rozšíření.

Jedná se například kombinace spalovacího motoru a setrvačnicku, elektromotoru a setrvačnicku, elektromotoru, troleje a baterií, lidské síly a elektromotoru s baterií nebo plynové turbíny v kombinaci s generátorem, akumulátorem a elektromotorem.

1.5 *Shrnutí kapitoly*

Na základě porovnání jednotlivých zdrojů energie pro pohon motorových vozidel můžeme stanovit pro budoucnost nejperspektivnější zdroje energie pro pohon motorových vozidel.

Shrnutí fosilních paliv

- Můžeme vyloučit nyní běžná paliva jako benzin a nafta z důvodu zmenšujícího se množství a znatelné zátěži na životní prostředí.
- Příznivější než nafta s benzinem je propan – butan. Je menší zátěží na životní prostředí a kromě ropy se dá získávat i ze zemního plynu.
- Nejpříznivější z fosilních paliv je zemní plyn ve stlačené formě (CNG). Díky příznivému poměru vodíku a uhlíku v molekule při jeho spalování vzniká minimální množství CO₂ a jeho množství ve světě je dostatečné hlavně díky obrovským nalezištím na dnech oceánů ve formě hydrátů metanu.

Shrnutí paliv z obnovitelných zdrojů

- Paliva cíleně získávaná ze zemědělské produkce mají při spalování menší dopad na životní prostředí, než paliva získávaná z ropy, ale jejich výroba je často na úkor produkce potravin. U mnoha z těchto paliv je mezi zemědělskou produkcí a použitím množství mezikroků, které výrobu prodražují.
- Paliva získávaná z biologického odpadu nezatěžují produkci potravin a využívají vedlejší produkty zemědělské výroby. Množství vhodného biologického odpadu je však omezené.
- Pro výrobu vodíku je možné využít energii z obnovitelných zdrojů (slunce, vítr, voda) a jako palivo nezatěžuje životní prostředí. Nevýhodou je technologicky náročná přeprava a skladování a vysoké investice do nových vozidel.

Z ekologického hlediska je z paliv vhodných pro pohon motorových vozidel nejvhodnější vodík, protože jeho použití nezatěžuje životní prostředí. Z hlediska ekonomického, dlouhodobě udržitelného a ekologického se jeví jako vodné palivo budoucnosti CNG.

2 Porovnání provozu vodíkového, CNG a dieselového autobusu

Cílem této části bakalářské práce je popsat a porovnat prototyp vodíkového autobusu TriHyBus (zkratka z anglického Triple Hybrid Hydrogen Bus) s běžně využívanými dieselovými a CNG autobusy. Je zde popsána jeho konstrukce a vlastnosti na základě osobních zkušeností.

2.1 Vodíkový autobus TriHyBus

2.1.1 Úvod

Autobus byl vyroben v plzeňské Škodě Electric a.s. na podvozku a karoserii Irisbus Citelis 12m od firmy Iveco. Energii autobusu dodává palivový článek na vodík, akumulátory a ultrakapacitory¹, pohon je zajištěn trakčním elektromotorem. TriHyBus je provozován v Neratovicích firmou Veolia Transport, projekt zaštiťuje ÚJV Řež. Dalšími partnery jsou Proton Motor Plc². (Německo), LindeGas a.s., IFE Halden (Norsko). Projekt byl kromě partnerských společností financován z Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF) a Ministerstvem dopravy ČR.

Technologicky se jedná o světový unikát, protože jsou zde kombinovány tři zdroje energie – palivový článek, akumulátory a ultrakapacitory. Vodíkové autobusy se sice ve světě vyskytují, avšak bez ultrakapacitorů, které výrazně zlepšují ekonomičnost provozu.

2.1.2 Historie vývoje a provozu

Na projektu TriHyBus pracoval ÚJV Řež od roku 2005. Postupně se do projektu zapojila řada dalších partnerů z České republiky i dalších evropských zemí: Škoda Electric a.s., Proton Motor Plc. (Německo), LindeGas a.s., IFE Halden (Norsko) a Veolia Transport a.s.. (44) Zkušební provoz byl započat po certifikaci autobusu v polovině června roku 2009 a to v Řeži a v Neratovicích. Do běžného provozu byl nasazen ve druhém čtvrtletí roku 2010 na lince Korycany – Neratovice – tuto linku provozuje firma Veolia Transport a.s..

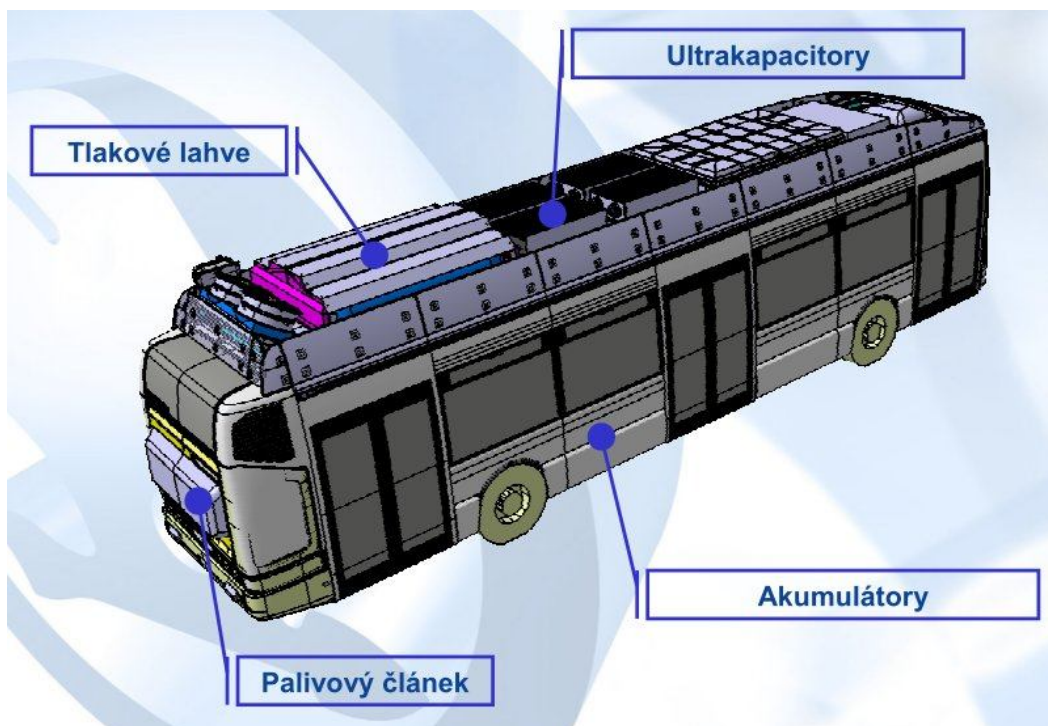
¹ Ultrakapacitor = označení pro kondenzátor o nadstandardně velké kapacitě (v tomto případě 17,8 F)

² Plc = public limited company, veřejně obchodovatelná společnost s ručením omezeným

2.1.3 Technické parametry TriHyBusu

2.1.3.1 Základní technické parametry (45), (46)

- Délka 12 m
- Hmotnost 14 tun (pohotovostní)
- Dojezd <300 km
- Maximální rychlost 65 km/h (omezena)
- Výkon elektromotoru 120 kW
- Výkon palivového článku 48 kW
- Maximální špičkový výkon 200 kW
- Objem palivových nádrží 820 l (cca 20 kg vodíku při 35 MPa)
- Kapacita akumulátorů 22 kWh
- Kapacita ultrakapacitorů 17,8 F (2 kWh)
- Doba natankování nádrže 10 minut
- Dojezd na jedno natankování ~ 250 – 300 km
- Spotřeba paliva ~ 7,5 kg vodíku / 100 km



Obrázek 27: Schéma TriHyBusu (42)

2.1.3.2 Karoserie

Karoserie TriHyBusu vychází přímo z polosamonosné karoserie autobusu Iveco Irisbus Citelis, což je dvounápravový nízkopodlažní autobus určený pro městský provoz.

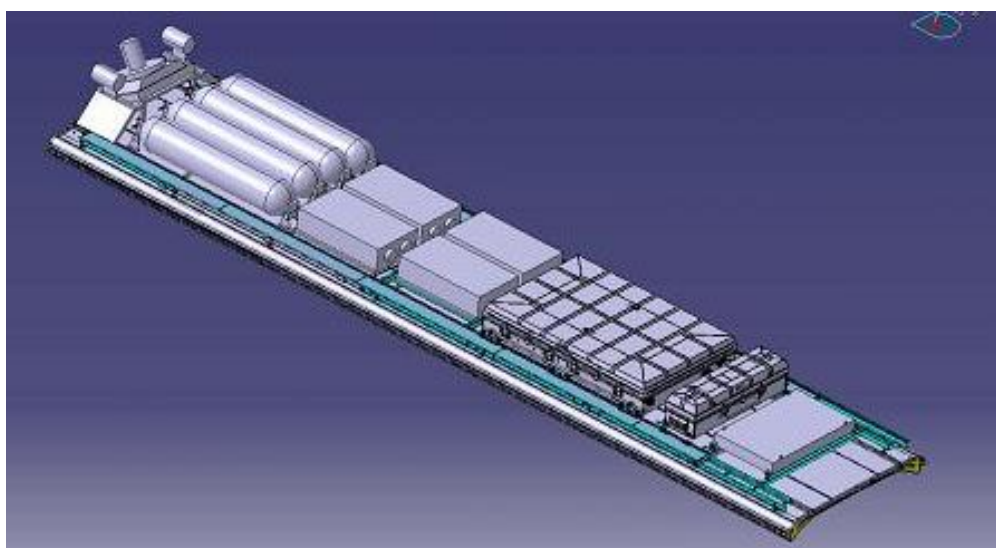
Protože se jedná o prototyp s rozdílným rozložením hmotnosti (především kvůli těžkým vodíkovým nádržím na střeše), je v karoserii a kolech TriHyBusu umístěno množství senzorů, monitorujících zatížení v jednotlivých částech vozidla.

TriHyBus díky rozdílnému rozložení hmotnosti (váží také zhruba o 800 kg více, než dieselová varianta) vykazuje rozdílné jízdní vlastnosti oproti běžnému autobusu Citelis. Tyto rozdílné vlastnosti se projevují hlavně při jízdě v zatáčkách a vyšší rychlosti. Díky omezení rychlosti na 65 km/h a převážně městskému provozu nijak nejsou na překážku běžnému provozu.

Na první pohled se TriHyBus od běžného autobusu Irisbus Citelis liší tzv. „batohem“ v zadní části vozidla, kde je umístěn palivový článek, a nadstavbou v horní části vozidla, kde jsou umístěny ultrakapacitory s vodíkovými nádržemi.



Obrázek 28: Srovnání vzhledu TriHyBus a Iveco Irisbus Citelis (47), (48)



Obrázek 29: Rozložení zařízení na střeše TriHyBusu (zleva: chladiče palivového článku, vodíkové nádrže, ultrakapacitory, elektrozařízení) (49)

2.1.3.3 Palivový článek

V TriHyBusu je použit palivový článek na vodík typu PEMFC (viz. kapitola 1.3.2.2). Tento typ článků je pro podobné použití nejvhodnější kvůli měrnému výkonu na jednotku hmotnosti a objemu a relativně nízké provozní teplotě.

Palivový článek pro TriHyBus poskytla firma Proton Motor Plc. z Německa. Článek má výkon 48 kW a pracuje při provozní teplotě 60 – 70°C. Účinnost se pohybuje kolem 50%. Minimální teplota pro palivový článek v neaktivním stavu je 4°C kvůli ochraně protonové membrány, z toho důvodu je garáž TriHyBusu v zimě temperována.



Obrázek 30: Prostor palivového článku na TriHyBusu (50)



Obrázek 31: Prostor palivového článku na TriHyBusu (50)



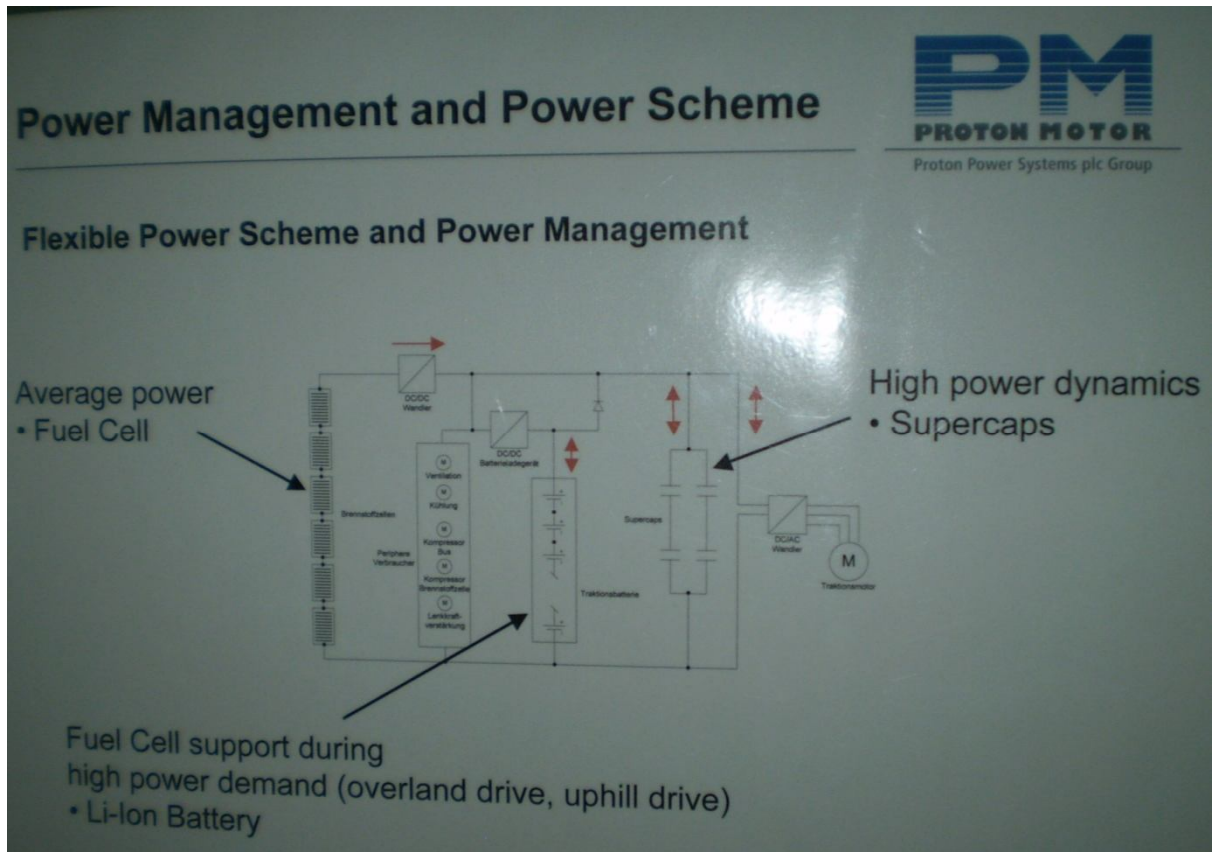
Obrázek 32: Ukazatele stavu vodíku a dusíku v prostoru palivového článku (50)

Při startu a vypnutí palivového článku dochází k tzv. „odfouknutí“ – při vypnutí je do vedení vodíku vehnán plynný dusík a zbytkový vodík je vytlačen ven, naopak před startem článku je přetlakem vodíku odstraněn dusík. Jedná se o jeden z bezpečnostních prvků, v palivové soustavě tak v nečinnosti nezůstává vodík a minimalizuje se tak riziko požáru či výbuchu kvůli zbytkovému palivu. Kvůli tomuto „odfouknutí“ musí být palivový článek startován vždy mimo garáž, která je hlídána senzory pro případný únik vodíku – zjetí a vyjetí z garáže je vždy na energii z akumulátorů.

2.1.3.4 Elektrická soustava

Elektrická soustava TriHyBusu je navržena tak, aby byla energie využita maximálně efektivním způsobem.

Soustava se sestává z palivového článku, Li – ion akumulátorů a ultrakapacitorů. Tyto zdroje energie jsou doplněny měniči a střídači napětí, protože asynchronní motory pohánějící autobus fungují na střídavý proud.



Obrázek 33: Schéma elektrické soustavy vozu (50)

Režim hospodaření s energií je řízen počítačem, který určuje proudění energie. Při startu systému je nejdříve palivový článek vypnut a systém běží z akumulátorů. Okamžitě započne dobíjení ultrakapacitorů. Palivový článek je spuštěn na povel řidiče, není zapnut automaticky. Po startu palivového článku z něho proudí energie do palubních spotřebičů a započne dobíjení ultrakapacitorů i akumulátorů dle aktuální potřeby.

Akumulátory jsou použity typu Li-ion. NiCd akumulátory nejsou zcela vhodné pro částečné dobíjení a mají nižší životnost, olověné akumulátory jsou příliš těžké a jejich hlavní výhodou, odběr/příjem velkého množství energie najednou, zde není třeba díky použití ultrakapacitorů. Konkrétně jsou použity akumulátory o parametrech 100 kW / 26 kWh, 422 V.

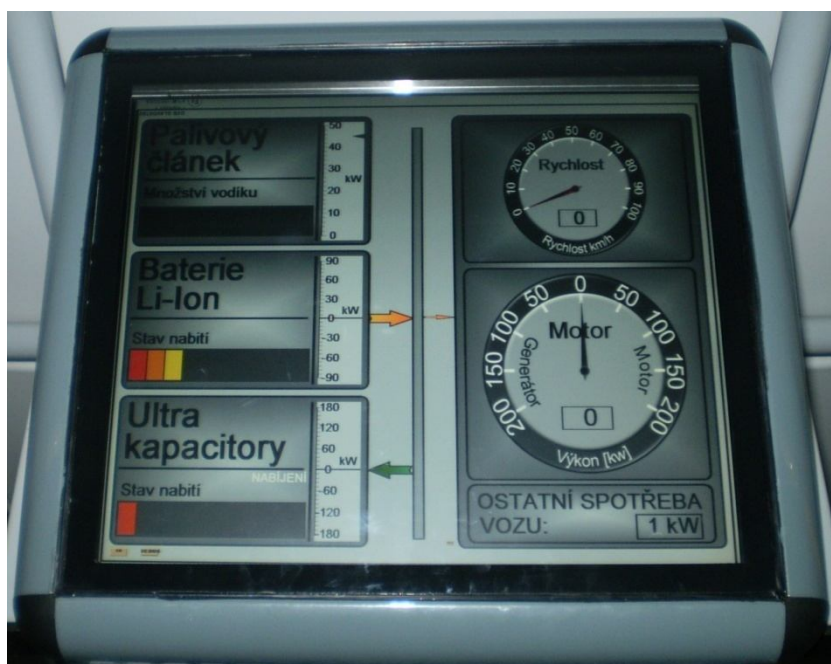
TriHyBus může v omezené míře fungovat jen z energie uložené v akumulátorech a ultrakapacitorech, v tomto případě je dojezd cca 15km. Toto je výhodou např. při poruše palivového článku – s vozidlem je možné dojet do garáže, nebo jej alespoň odstavit. Provoz bez článku se však v praxi využívá jenom na krátké přejezdy, parkování apod., kdy se nevyplatí startovat palivový článek. Akumulátory je také možné dobíjet také ze sítě speciální nabíječkou.



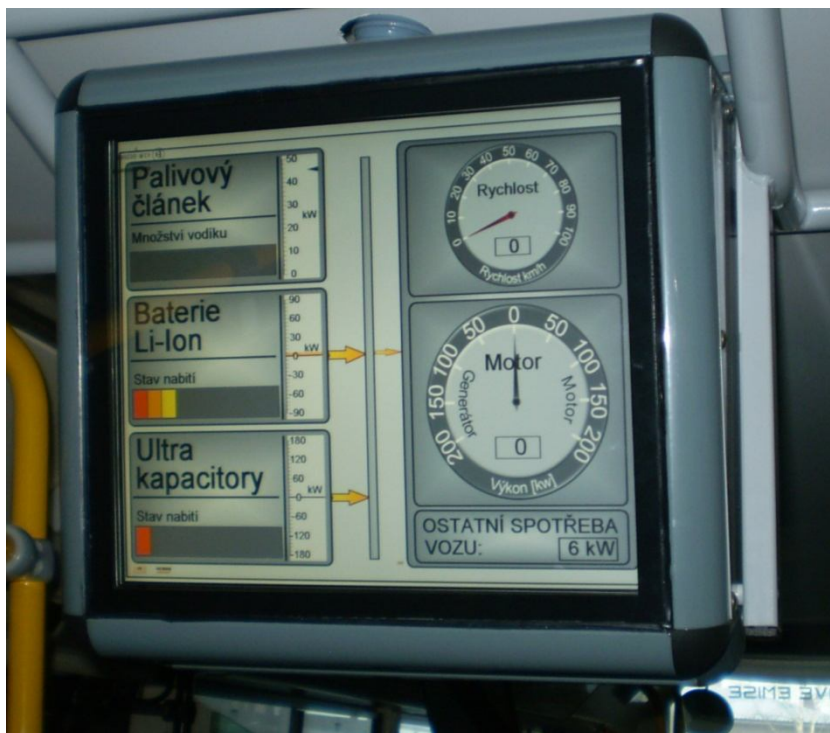
Obrázek 34: Akumulátory TriHyBusu (50)

Ultrakapacity mají relativně malou kapacitu, ale jejich velkou výhodou je možnost velkých proudových odběrů (max 200 kW) a naopak rychlé pohlcení velkého množství energie. Mají v nabíjení vždy přednost, systém hlídá jejich minimální nabití. Jejich funkce odpovídá tzv. bufferu – slouží pro vyrovnání energetických špiček při přebytku nebo nedostatku energie. Pokud je přebytek energie z brzd, je možné ji uložit a naopak pokud je třeba energie na akceleraci, je odkud brát. Přebytek je tedy použit na zrychlení a případný nedostatek doplněn z akumulátorů nebo palivového článku. Dalším důvodem prioritního využití ultrakapacitorů je jejich vysoká životnost. U akumulátorů je životnost 1000 nabíjecích cyklů (plně nabit/zcela vybit), než se začne jejich kapacita snižovat; u ultrakapacitorů je výrobcem uváděná životnost jeden milion nabíjecích cyklů.

Řízení toku energie, jak už bylo zmíněno výše, obstarává počítač určující kam má energie v daný okamžik proudit. Z propagačních důvodů je v TriHyBusu umístěn panel zobrazující proudění energie v systému, aktuální stav vodíku v nádržích, stav nabití akumulátorů a kondenzátorů, aktuální rychlost vozu a výdej/příjem energie. Tento panel pomáhá názorně demonstrovat hospodaření s energií dle výše uvedených principů.



Obrázek 35: Tok energie po zapnutí systému: Systém začne převádět energii z akumulátorů do ultrakapacitorů, palivový článek je vypnut. (50)



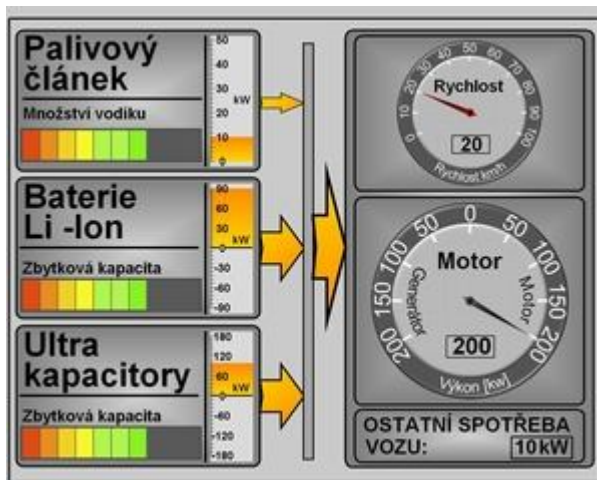
Obrázek 36: Tok energie při vyjždění z garáže: Energie je odebírána z akumulátorů a ultrakapacitorů zároveň – rozložení zátěže na oba zdroje. (50)



Obrázek 37: Tok energie po startu palivového článku: Palivový článek je nastartován, ale ještě nedodává energii, akumulátor je částečně nabit, ultrakapacitory jsou doplňovány. (50)



Obrázek 38: Tok energie po startu palivového článku: Palivový článek je nastartován, dodává energii, akumulátor je částečně nabit a doplňuje se, ultrakapacitory jsou téměř nabity. (50)



Obrázek 39: Tok energie při plném výkonu motoru: energii dodávají všechny tři zdroje. (42)

2.1.4 Bezpečnost provozu

Bezpečnost pro cestující z hlediska ochranných prvků karoserie je zajištěna shodně jako u původního autobusu Irisbus Citelis díky shodné karoserii.

Při posuzování **bezpečnosti pro chodce** se dá hodnotit TriHyBus jako více nebezpečný oproti běžnému autobusu z důvodu minimální hlučnosti – je zde tak určité riziko přeslechnutí jedoucího vozu a tím způsobeného zranění chodce. Z tohoto důvodu se uvažuje o přidání zařízení vydávajícího mírný hluk.

Opatření proti nehodě způsobené únikem vodíku:

1. Nádrže jsou umístěny na střeše – při případném úniku vodík rychle stoupá směrem vzhůru a nehrozí nahromadění jako u CNG/LPG.
2. Nádrže jsou vyrobeny z kompozitního materiálu. Jsou velmi pevné a odolné proti poškození.
3. Při tankování je vůz uzemněn, nehrozí tak riziko přeskočení jiskry statické elektřiny.
4. Tankování probíhá přes speciální ventil – nádrž i tankovací hubice jsou po rozpojení uzavřeny.
5. Garáž pro parkování TriHyBusu je vybavena bezpečnostními čidly. Pokud dojde ke zjištění uniklého vodíku, je v budově vypnut přívod elektrické energie.

2.1.5 Pořizovací náklady a financování

TriHyBus byl financován v rámci Operačního programu Infrastruktura. Konkrétně se jedná o dva na sebe navazující projekty v rámci Operačního programu Infrastruktura – opatření 2.3 – podpora zavádění alternativních paliv. Součástí těchto projektů je také vybudování čerpací stanice na vodík. (51)

Náklady obou projektů:

- FCZ-H2Bus I (celkem 16,6 mil. Kč)
- FCZ-H2Bus II (celkem 67,028 mil. Kč)

Oba projekty jsou spolufinancovány z ERDF (European Regional Development Fund) a z rozpočtu ČR z kapitoly Ministerstva Dopravy ČR (program Úspory energie a využití alternativních paliv v resortu dopravy) a z vlastních zdrojů partnerů projektu v rozsahu:

- ERDF: 56,25%
- MDČR: 18,75%
- Vlastní zdroje: 25%

Partneři tohoto projektu jsou:

- **ÚJV Řež a.s. ČR** - koordinátor projektu, bezpečnostní a legislativní problematika
- **Škoda Electric s.r.o. ČR** - elektrický pohon, řídicí systém, finalizace autobusu (zástavba jednotlivých komponent)
- **Proton Motor Plc Německo** - vývoj a výroba palivového článku, palivové nádrže, vodíková infrastruktura ve vozidle
- **Linde Gas a.s.** - čerpací stanice, zásobování vodíkem
- **IFE Halden Norsko** - monitorovací, informační a řídicí technologie, MMI (Man Machine Interface)
- **Veolia Transport** - provoz autobusu v městě Neratovice
- **Ministerstvo dopravy ČR**

Celkové náklady na pořízení TriHyBusu se neuvádí. Tržní cenu tedy pro účely orientačních výpočtů stanovíme odhadem podle ceny vodíkových autobusů německé výroby. Jejich cena se pohybuje kolem 1 mil. €, tzn. cca 26 mil. CZK.

2.2 Zhodnocení ekonomičnosti provozu

Aby měl TriHyBus budoucnost v běžném použití, musí být kromě jiných požadavků ekonomicky výhodný. Samozřejmě o zavedení do provozu také rozhoduje dostupnost a cena vodíkových čerpacích stanic, avšak tato otázka zde není zohledněna – hlavně z důvodu, že u nás zatím není příliš rozvinuté vodíkové hospodářství a jsou nutné výrazné investice do infrastruktury jako takové. Jsou zde porovnány hlavně provozní a pořizovací náklady na různé varianty srovnatelného autobusu, tj. Irisbus Citelis 12m. Hodnocen je poměr nákladů na provoz vs. pořizovací náklady a dále vliv na životní prostředí.

2.2.1 Výpočet provozních nákladů

Níže jsou porovnány náklady na provoz jednotlivých variant autobusu Irisbus Citelis 12m. Dále je v tabulce porovnání, po kolika km se vrátí investice do CNG/TriHyBus varianty v porovnání s diesellovou variantou tohoto autobusu.

	pořizovací náklady	spotřeba paliva na 100 km	cena za jednotku paliva	cena za 1 km	návratnost v km v porovnání s diesel variantou
Diesel	5 100 000,00 Kč	33,7 l	35,00 Kč	11,80 Kč	0 km
CNG	6 100 000,00 Kč	35,6 kg	24,80 Kč	8,83 Kč	337 132 km
TriHyBus	26 000 000,00 Kč	7,5 kg	120,00 Kč	9,00 Kč	7 477 639 km

Tabulka 10: Porovnání provozních nákladů variant autobusu Citelis 12m



Graf 2

2.2.2 Vyhodnocení současných provozních nákladů

CNG autobus je přibližně o jeden milion korun dražší, avšak díky výrazně nižším nákladům na palivo se tato investice vrací zhruba po 300 000 km – v závislosti na aktuální ceně nafty a CNG.

U TriHyBusu je situace výrazně horší. Sice je jeho provoz na 1km stále levnější než u diesellového autobusu, avšak není levnější než u CNG autobusu. Zde je cena za jeden kilometr velmi podobná. Velkou nevýhodou je vysoká pořizovací cena, díky tomu se bod návratnosti vzdaluje za životnost vozidla. Běžná životnost autobusů je kalkulována na cca 10 - 12 let (někdy až 15 let), na kilometry se kalkuluje s životností zhruba 2-3 miliony ujetých kilometrů. Pokud bychom uvažovali, že městský autobus ujede při svém běžném provozu cca 200 000 km ročně, znamenalo by to, že za dvanáct let provozu ujede 2,4 milionu kilometrů. Dle výše uvedeného grafu by se však provoz vozidla vrátil až po cca 7,5 milionech kilometrů (něco málo přes 37 let provozu), což je zhruba trojnásobek životnosti běžného autobusu.

Za celkovou dobu životnosti vozidel (2,4 M km) jsou náklady na pořízení + palivo následující:

- Diesel: 33 408 000,- Kč
- CNG: 27 289 120,- Kč
- TriHyBus: 47 600 000,- Kč

2.2.3 Možné snížení nákladů na pořízení a provoz TriHyBusu

2.2.3.1 Snížení ceny vozidla

Aby byl TriHyBus nebo jemu podobná vozidla ekonomicky zajímavý, muselo by dojít k výraznému snížení nákladů, hlavně pořizovacích. Vzhledem k pokročilé technice, která nevychází z běžně používaných technologií (např. CNG motor vychází z diesellového) se nedá očekávat, že by se TriHyBus cenou přiblížil CNG autobusům. Rozhodně zde však prostor pro snížení ceny je.

V současné ceně TriHyBusu není zahrnut vývoj karoserie, protože je použita karoserie z již sériově vyráběného vozu. Naopak je cena výrazně ovlivněna použitím speciálních komponentů - Li-ion akumulátory, palivový článek, nádrže a ultrakapacity. Pomocí snížit cenu vozu by mohl technologický pokrok a sériová výroba.

Akumulátory: Díky technologickému pokroku jsou nové akumulátory stále výkonnější vzhledem ke své hodnotě, avšak tempo, kterým postupují, není dostatečné. U použitého typu Li-ion se již nedá očekávat výrazný pokrok, maximálně v řádech jednotek až několika málo desítek procent při zachování životnosti akumulátorů. Navíc použité materiály jsou drahé a díky rozvoji elektroniky a přenosných zařízení cena těchto materiálů (Lithium) neustále stoupá. Tyto akumulátory jsou již relativně rozšířené, takže se nedá hovořit o prototypu.

Výrazné snížení ceny díky sériové produkci se zde tedy nedá očekávat. Jediným způsobem, jak snížit ceny akumulátorů, je nová technologie a materiály na jejich výrobu.

Palivový článek: U tohoto zařízení se můžeme bavit prakticky o kusové výrobě, protože palivové články nejsou ve vyšší míře rozšířeny a většinou se jedná o speciální aplikace pro jejich použití. Vstupní suroviny na jejich výrobu jsou běžně dostupné a levné (kromě malého množství katalyzátoru – Pt nebo Rh). Jejich cena je tedy hlavně ovlivněna malým vyráběným množstvím a neustálým vývojem (např. zlepšování funkce polymerní membrány a zvyšování pracovních teplot pro zvýšení účinnosti). Pokud by stoupl výrobní množství, dá se očekávat výrazné snížení jejich ceny.

Ultrakapacity: Přestože jde jejich vývoj neustále kupředu, aktuálně použitá technologie v TriHyBusu se jeví jako dostačující. Opět se jedná o součást, jejíž produkce je v malých sériích. Při zvýšení výrobního množství se dá předpokládat snížení ceny.

Palivové nádrže: Palivové nádrže na vodík mají speciální konstrukci, aby drobné molekuly vodíku nepronikaly skrz. Jedná se o druh nádrží, které se na jiná paliva nepoužívají a tím pádem je i malé vyráběné množství. I zde by mohla sériová výroba snížit jejich cenu.

Pokud bychom se snažili odhadnout minimální cenu při sériové výrobě, můžeme vycházet z aktuální ceny trolejbusů a zohlednění konstrukční složitosti TriHyBusu.

Cena velikostně srovnatelného trolejbusu se pohybuje kolem 16 milionů korun, tento trolejbus je již vybaven rekuperací energie, oproti TriHyBusu tedy schází palivový článek s nádržemi a část akumulací kapacity (při rekuperaci trolejbus akumuluje výrazně menší množství než TriHyBus při běžném provozu). Cenu TriHyBusu v sériové výrobě odhadneme na 19 – 20 milionů korun.

2.2.3.2 Snížení ceny vodíku

Další motivací dopravců pro pořízení TriHyBusu by bylo výrazné snížení cen vodíku. Toto snížení je rozhodně možné – v současnosti je vodík nejčastěji vyráběn parní reformací zemního plynu. Tato varianta není příliš ekologická a cenově je závislá mj. od ceny zemního plynu.

Z hlediska životního prostředí je zajímavou variantou vyrábění vodíku díky přebytečné energii z obnovitelných zdrojů přímo z vody. Výrobu vodíku je možné plynule regulovat v závislosti na přebytku energie, takže by tato výroba byla přínosem i zpětně pro energetiku obnovitelných zdrojů kvůli obtížně regulovatelným výkonům.

Využití levné (přebytkové) energie pro výrobu vodíku může dojít ke snížení jeho ceny.

2.2.4 Ekonomičnost TriHyBusu po snížení nákladů

V předešlé kapitole bylo odhadnuto, že po zavedení TriHyBusu do sériové výroby by cena mohla klesnout na přibližnou částku 20 milionů korun.

Cenu vodíku v případě jeho rozšíření jako zdroje energie prakticky není možné odhadnout díky mnoha proměnným.

Protože není možné odhadnout cenu vodíku v budoucnu, je maximální přijatelná cena za kilogram vodíku navržena tak, aby byla cena konkurenční v porovnání s CNG autobusem. Pro zajímavost je zde uvedeno i při jakých cenách vodíku by TriHyBus vycházel nákladově stejně s diesellovým autobusem.

2.2.4.1 Srovnatelné náklady s diesellovým autobusem

	pořizovací náklady	spotřeba paliva na 100 km	cena za jednotku paliva	cena za 1 km	návratnost v km oproti diesel variantě
Diesel	5 100 000,00 Kč	33,7 l	35,00 Kč	11,80 Kč	0 km
CNG	6 100 000,00 Kč	35,6 kg	24,80 Kč	8,83 Kč	337 132 km
TriHyBus	20 000 000,00 Kč	7,5 kg	74,50 Kč	5,59 Kč	2 400 322 km

Tabulka 11: Při této ceně vodíku by měl být TriHyBus konkurenceschopný diesellovému autobusu.

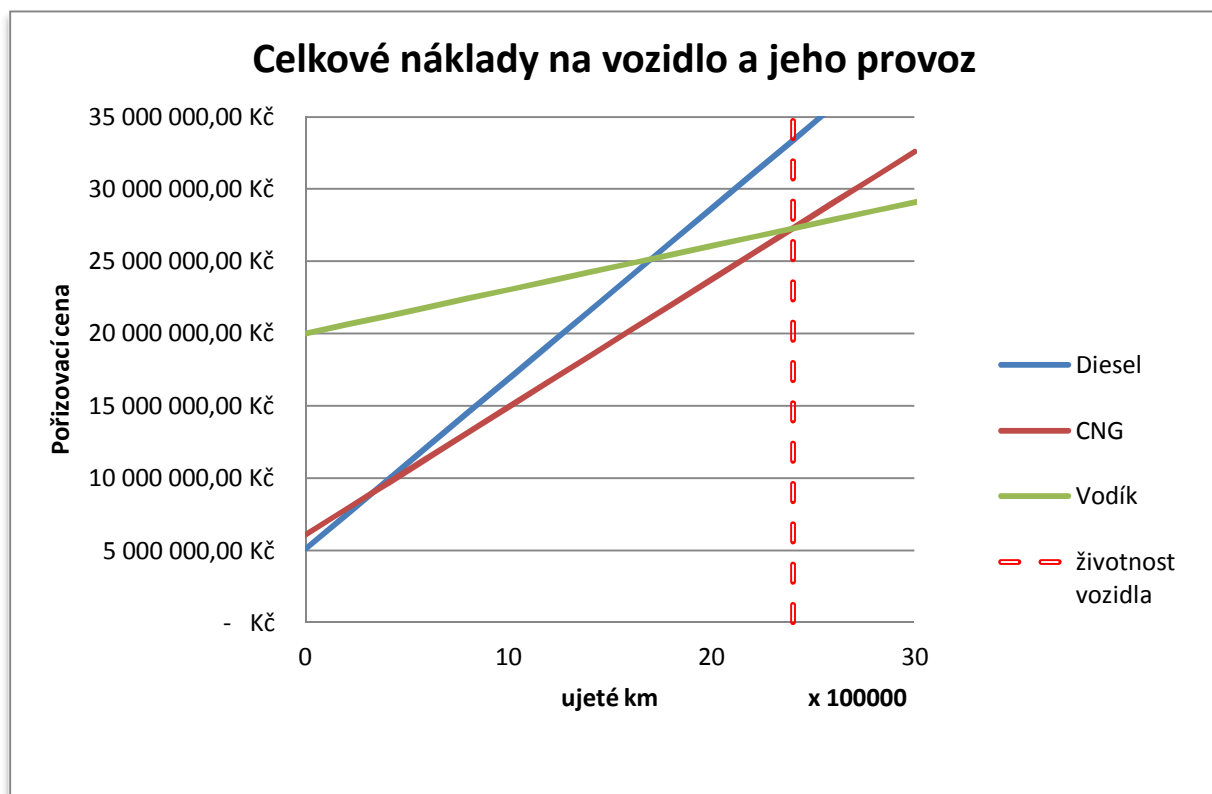


Graf 3

2.2.4.2 Srovnatelné náklady s CNG autobusem

	pořizovací náklady	spotřeba paliva na 100 km	cena za jednotku paliva	cena za 1 km	návratnost v km oproti CNG variantě
Diesel	5 100 000,00 Kč	33,7 l	35,00 Kč	11,80 Kč	km
CNG	6 100 000,00 Kč	35,6 kg	24,80 Kč	8,83 Kč	0 km
TriHyBus	20 000 000,00 Kč	7,5 kg	40,45 Kč	3,03 Kč	2 398 599 km

Tabulka 12: Při této ceně vodíku by měl být TriHyBus konkurenceschopný CNG autobusu.



Graf 4

2.3 Shrnutí kapitoly

Z tabulky 13 a grafu 4 vyplývá, že pokud bychom dosáhli snížení ceny TriHyBusu na 20 milionů korun a ceny vodíku na 40,45 Kč/kg, dosáhli bychom stavu, kdy by byla investice do nákupu TriHyBusů ekonomicky rovnocennou alternativou k CNG autobusům. Z ekologického hlediska by se jednalo o přínos.

V současné době se jeví jak ekonomicky, tak i ekologicky zajímavé využití CNG pro pohon motorových vozidel.

3 Závěr

V druhé kapitole jsou rozebrány a porovnány různé druhy zdrojů energie pro pohon motorových vozidel. V tomto srovnání jsme zohlednili i jejich dostupnost a zátěž na životní prostředí. V této části práce bylo zjištěno, že nejvýhodnější variantou je použití pohonu na CNG (nebo biometan). Z hlediska ekologického je však jako palivo nejlepší vodík.

Na základě tohoto srovnání je třetí kapitola věnována porovnání prototypu vodíkového autobusu TriHyBus se srovnatelným CNG a dieselovým autobusem. V této kapitole bylo zjištěno, že pohon vozidel na vodík je ekonomicky značně nákladný a naopak provoz na CNG ekonomicky výrazně výhodnější, než provoz na naftu.

Nejvýhodnější alternativou současných pohonů využívajících jako palivo benzin a naftu je pohon vozidel využívající jako palivo CNG.

Použitá literatura

1. Kdy dojde ropa? V optimistické verzi za 60 let. A v pesimistické...? *Nationa Geographic*. [Online] 14. 11 2011. [Citace: 1. 2 2013.] <http://www.national-geographic.cz/detail/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke-3737/>.
2. COUNTRY COMPARISON :: OIL - PROVED RESERVES. *CIA.gov*. [Online] 15. 6 2009. [Citace: 01. 02 2013.] <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2178rank.html>.
3. **Horčík, Jan.** Saudské Arábii podle USA dochází ropa, krize už příští rok? *Hybrid.cz*. [Online] 10. 02 2011. [Citace: 01. 02 2013.] <http://www.hybrid.cz/saudske-arabii-podle-usa-dochazi-ropa-krize-uz-pristi-rok>.
4. —. Informace o zásobách ropy záměrně pokrucovány? *Hybrid.cz*. [Online] 12. 11 2009. [Citace: 01. 02 2013.] <http://www.hybrid.cz/clanky/informace-o-zasobach-ropy-zamerne-pokrucovany>.
5. **Novosád, Jan.** *Alternativní pohon automobilů*. [editor] CSc. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Kaplan. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. str. 93 s.
6. **Pospíšil, Milan.** Liniové zdroje. <http://envis.praha-mesto.cz/>. [Online] 3 2001. [Citace: 22. 02 2013.] http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/DZ_OO/pril_resece/04_Lin_Zdroje.pdf.
7. **Šebor, Gustav, Žákovec, Jan a Pospíšil, Milan.** Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. *www.mdcz.cz*. [Online] 06 2006. [Citace: 22. 02 2013.] <http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE>.
8. **Gallistl, Vladan.** Klacek na Rusko? Evropa objevila obří zásobárnu plynu. *Týden.cz*. [Online] 06. 05 2011. [Citace: 22. 02 2013.] http://www.tyden.cz/rubriky/byznys/svet/klacek-na-rusko-evropa-objevila-obri-zasobarnu-plynu_201056.html.
9. **Mihulka, Stanislav.** Japonci poprvé na světě vytěžili plyn z podmořských hydrátů metanu. *Osel.cz*. [Online] 17. 03 2013. [Citace: 10. 04 2013.] <http://www.osel.cz/index.php?clanek=6788>.
10. Zásoby zemního plynu. *RWE*. [Online] [Citace: 18. 02 2013.] <http://www.rwe.cz/cs/ozemnimplynu/zasoby-a-tezba-zp/>.
11. Co je zemní plyn. *zemniplyn.cz*. [Online] 2010. [Citace: 01. 03 2013.] <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>.
12. **Šeborová, Marie.** Bezpečnostní list. *cng.cz*. [Online] 2008. [Citace: 23. 03 2013.] www.cng.cz/cs/media/bezpecnostni_list.doc?jis=20120329230225.

13. Stanice pro rychlé plnění. *cng.cz*. [Online] [Citace: 01. 03 2013.] <http://www.cng.cz/cs/technologie-stanic-376/>.
14. CNG. *autohaus-morava*. [Online] [Citace: 28. 05 2013.] <http://autohaus-morava.iplace.cz/>.
15. Stanice pro pomalé plnění. *cng.cz*. [Online] [Citace: 01. 03 2013.] <http://www.cng.cz/cs/technologie-stanic-375/>.
16. **Laurin, Josef**. Palivo LNG pro vozidlové motory. *petroleum.sk*. [Online] 2000. [Citace: 08. 04 2013.] <http://www.petroleum.sk/sites/default/files/Palivo%20LNG.pdf>.
17. Zkapalněný zemní plyn - LNG. *cng.cz*. [Online] [Citace: 28. 03 2013.] <http://www.cng.cz/cs/alternativni-pohonne-hmoty-126/>.
18. Co je propan butan. *Tomegas*. [Online] [Citace: 29. 03 2013.] <http://www.tomegas.cz/co-je-propan-butan/>.
19. Základní informace o LPG a o jízdě na zkapalněný ropný plyn. *lpg-cng.ochranamotoru.c*. [Online] [Citace: 29. 03 2013.] <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>.
20. **Borcovan, Jan**. LPG pohon: vyplatí se? *autorevue.cz*. [Online] 24. 08 2007. [Citace: 01. 04 2013.] http://www.autorevue.cz/lpg-pohon-vyplati-se_4/ch-31805.
21. *seznam LPG*. [Online] 18. 03 2013. <http://seznamlpg.cz/>.
22. **Snášel, Pavel**. *Alternativní paliva pro spalovací motory pro komerční automobily*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. str. 52 s.
23. **Domanský, David**. *Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. str. 29 s.
24. **Schulz, Heinz a Eder, Barbara**. *Bioplyn v praxi*. Ostrava : autor neznámý, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
25. **Petříková, Vlasta**. Bioplyn – kukuřice – krmný šťovík. *biom.cz*. [Online] [Citace: 28. 05 2013.] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-kukurice-krmny-stovik>.
26. **Matějka, Jan**. Ve využívání bioplynu jsme ve střední Evropě špička. *euractiv.cz*. [Online] 10. 12 2010. [Citace: 15. 04 2013.] <http://www.euractiv.cz/print-version/clanek/jan-matejka-ve-vyuzivani-bioplynu-jsme-ve-stredni-evrope-spicka-008252>.
27. **Hromádko, Jan, a další**. VYUŽITÍ BIOETHANOLU JAKO PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH. [Online] 2011. [Citace: 30. 03 2013.] http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf.
28. *e85ka.cz*. [Online] [Citace: 12. 04 2013.] <http://www.e85ka.cz/>.

29. **Hovorka, Jiří.** Lze benzín nahradit levnějším biopalivem E85? *mesec.cz*. [Online] 21. 12 2010. [Citace: 08. 04 2013.] <http://www.mesec.cz/clanky/lze-benzin-nahradit-levnejsim-biopalivem-e85/>.
30. **Gabrielová, Hana a Sequens, Edvard.** Může automobil jezdit na rostlinný olej? *ekoporadna.cz*. [Online] 09 2010. [Citace: 28. 03 2013.] http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=energie:muze_automobil_jezdit_na_rostlinny_olej.
31. **Provance, Paul.** Synthetic Diesel May Play a Significant Role as Renewable Fuel in Germany. *Production Estimates and Crop Assessment Division Foreign Agricultural Service*. [Online] 25. 1 2005. [Citace: 12. 4 2013.] http://www.fas.usda.gov/pecad/imagery_archive/highlights/2005/01/bt10104/syntheticdiesel.htm.
32. **Třebický, Vladimír.** Vlastnosti paliv s obsahem biosložek. *biom.cz*. [Online] 17. 08 2009. [Citace: 14. 04 2013.] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vlastnosti-paliv-s-obsahem-bioslozek>. ISSN: 1801-2655.
33. **Laurin, Josef.** Motorové palivo dimethyléter. *CVUT.cz*. [Online] [Citace: 18. 04 2013.] <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/Mot%20paliva-04-La.pdf>.
34. **Hudema, Marek.** Výrobci chtějí státní dotace na bioplyn. Zkouší to přes poslance. *byznys.ihned.cz*. [Online] 18. 08 2011. [Citace: 12. 03 2013.] <http://byznys.ihned.cz/zpravodajstvi-cesko/c1-52612730-vyrobci-chteji-statni-dotace-na-bioplyn-zkousi-to-pres-poslance>.
35. Použití bioplynu v dopravě. *bioplynovestanice.cz*. [Online] [Citace: 12. 04 2013.] <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/pouziti-bioplynu-v-doprave/>.
36. **Archalous, Martin.** 7 alternativ benzínu aneb na co budeme jezdit v roce 2025? *nalezno.cz*. [Online] 18. 08 2009. [Citace: 10. 04 2013.] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/7-alternativ-benzinu-aneb-na-co-budeme-jezdit-v-roce-2025.aspx>.
37. **Landais, Enmanuelle.** Auto na solární pohon odhaleno. *Infojet*. [Online] 07. 06 2011. [Citace: 28. 03 2013.] <http://www.infojet.cz/index.php/clanky/renewables/1227-sae-auto-na-solarni-pohon-odhaleno>.
38. **Janík, Luděk.** Úvod do vodíkového hospodářství. *pro-energy.cz*. [Online] [Citace: 25. 04 2013.] <http://www.pro-energy.cz/clanky11/4.pdf>.

39. **Porš, Zdeněk.** Palivové články. *cez.cz*. [Online] 2002. [Citace: 10. 05 2013.]
<http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>.
40. Hybridní automobily. [Online] 05. 08 2008. [Citace: 12. 05 2013.]
<http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>.
41. **Karpíšková, Dana.** Opel HydroGen4: Vodíkový pohon má budoucnost. *nazeleno.cz*.
[Online] 25. 11 2009. [Citace: 16. 05 2013.] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/opel-hydrogen4-vodikovy-pohon-ma-budoucnost.aspx>.
42. Autobus. *h2bus.cz*. [Online] [Citace: 18. 05 2013.] <http://www.h2bus.cz/autobus>.
43. **Janík, Luděk.** Vodík pohání vojenské ponorky i váš notebook. *technet.cz*. [Online] 3. 12 2007. [Citace: 18. 05 2013.] http://technet.idnes.cz/vodik-pohani-vojenske-ponorky-i-vas-notebook-fn5-/tec_technika.aspx?c=A071130_173323_tec_technika_vse.
44. V Praze se představila budoucnost městské dopravy: TriHyBus – autobus na vodíkový pohon. *h2bus.cz*. [Online] 25. 06 2009. [Citace: 18. 05 2013.]
http://www.h2bus.cz/clanky/v_praze_se_predstavila_budoucnost_vodikove_dopravy.
45. TriHyBus - městská doprava 21. století. <http://praha.veolia-transport.cz/>. [Online]
[Citace: 18. 05 2013.] <http://praha.veolia-transport.cz/res/data/000140.pdf>.
46. TriHyBus. *nri.cz*. [Online] [Citace: 18. 05 2013.] <http://www.nri.cz/web/ujv-200/trihybus>.
47. Irisbus Citelis 12m. *wikipedia.cz*. [Online] [Citace: 18. 05 2013.]
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:TriHyBus_MSV_Brno_2010.JPG?uselang=cs.
48. Fotografie 7 - autobusy Irisbus Iveco Citelis v roce 2011. *fotodoprava.com*. [Online]
[Citace: 18. 05 2013.] http://www.fotodoprava.com/hradec_foto7.htm.
49. skladování vodíku. *h2bus.cz*. [Online] [Citace: 18. 05 2013.]
<http://www.h2bus.cz/skladovani-vodiku>.
50. Archiv fotografií autora.
51. Partneři. *h2bus.cz*. [Online] [Citace: 05. 18 2013.] <http://www.h2bus.cz/partneri>.