

ČESKÉ VÝSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Vera Samoilova

BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI SILNIČNÍCH VOZIDEL

Diplomová práce

2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K623 Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Vera Samoilova

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Název tématu (česky): **Bezpečnostní aspekty energetické náročnosti silničních vozidel**

Název tématu (anglicky): Safety Aspects of Energy Demands of Road Vehicles

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- proved'te rešerši v oblasti využívaných energetických zdrojů pro pohon silničních vozidel;
- analyzujte efektivitu využití různých zdrojů energie z pohledu jejich získávání i z hlediska využití pro pohon silničních vozidel s ohledem na životní cyklus vozidla;
- vytvořte mapu dostupnosti různých zdrojů energie z pohledu energetické náročnosti jejich přepravy do vybraných míst zpracování a do místa odběru konečným uživatelem (silničním vozidlem);
- specifikujte bezpečnostní rizika související s typem přepravy energetické jednotky vybraného zdroje do místa zpracování a do místa odběru konečným uživatelem - uvažujte i souvislost s energetickou náročností přepravy konkrétní energetické jednotky;
- připravte algoritmus, který by odhadoval bezpečnostně-energetickou efektivitu na vybrané trase v ČR.

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce


Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Edwards, R.: Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, 2011.
Elgowainy, A. et al.: Well-to-Wheels Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Plug-In Hybrid Electric Vehicles, 2010.

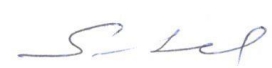
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Jirovský, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.
vedoucí
Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství


prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty



Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Vera Samoilova
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....8. prosince 2016

Poděkování

Ráda bych využila této příležitosti a vyjádřila své srdečné poděkování a hlubokou úctu ke svému vedoucímu panu Ing. Václavovi Jirovskému, Ph.D. Při vypracování této diplomové práce jeho vědecký přístup a velké zkušenosti měli pozitivní vliv na splnění cíli. V procesu sepsání práce, vždycky mi dával cenné rady, věnoval mne hodně svého času a měl skvělé odborné vedení.

Srdečně děkuji mé rodině a přátelům za jejich podporu a pomoc během celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně s přispěním vedoucího práce a konzultantů a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, dne 1. června 2017

.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY ENERGETICKÉ NAROČNOSTI SILNIČNÍCH VOZIDEL

diplomová práce

červen 2017

Bc. Vera Samoilova

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřená na rozbor otázek energetické náročnosti přepravy osob nebo věcí na vybraných cestách. Zvláštní pozornost je uvedena popisu druhů pohonu dopravních prostředků, energetických zdrojů a jejich dostupnosti na území České republiky. Práce obsahuje analýzu existujících metodik výpočtu a hodnocení energetické náročnosti a bezpečnosti na silnicích v rámci Evropské unie. Na bázi této analýzy byl vyvinut algoritmus výpočtu energetických parametrů, který dále byl implementován do programního rozhraní, z důvodu vizualizaci, a taky zrychlení a zjednodušení výpočtů.

Klíčová slova: energetická náročnost, bezpečnostní aspekty, energetické zdroje, pohony, jízdní cykly

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the analysis of questions of energy demand of transportation of persons or things on selected roads. Particular attention is paid to the description of the types of vehicles, energy sources and their availability in the Czech Republic. The thesis contains an analysis of existing methods of calculation and assessment of energy demand and safety on roads within the European Union. Based on this analysis, an algorithm for calculating energy parameters was developed, which was further implemented in the program interface, for visualization purposes, as well as acceleration and simplification of calculations.

Keywords: energy demands, safety aspects, energy sources, engines, driving cycles

Obsah

Seznam zkratk.....	6
Seznam použitých symbolů.....	8
1. Úvod.....	9
Teoretická část	
2. Spalovací motory v silniční dopravě.....	10
2.1. Rozdělení spalovacích motorů.....	10
2.2. Charakteristiky druhů motoru.....	11
2.3. Účinnost motorů	15
2.4. Spotřeba paliva.....	16
3. Energetické zdroje v silniční dopravě.....	18
3.1. Schválená paliva pro provoz vozidel v ČR.....	19
3.2. <i>Klasická paliva</i>	19
3.2.1 Benzin.....	20
3.2.2 Nafta.....	21
3.3. <i>Plynná motorová paliva</i>	22
3.3.1 LPG.....	23
3.3.2 Zemní plyn CNG a LNG.....	24
3.4 <i>Alternativní paliva</i>	26
3.4.1 Alkoholy.....	26
3.4.2 Vodík.....	28
3.4.3 Biopaliva (Bioethanol, Bionafta, Bioplyn, Rostlinné oleje)	29
3.5 Ekologické aspekty využití alternativních paliv v dopravě.....	34
4. Dostupnost energetických zdrojů v ČR.....	35
4.1 Ropa.....	36
4.2 Zemní plyn.....	42
4.3 Sít čerpacích stanic v ČR a prodávána paliva.....	44
4.4 Předpokládaný vývoj spotřeby energií pro dopravu do roku 2030.....	48
5. Jízdní cykly.....	49
5.1 NEDC cyklus.....	49
5.2 WLTC cyklus.....	50
5.3 Porovnání NEDC a WLTC.....	50
5.4 EPA FTP – 75.....	53
5.5 JC08.....	54

Praktická část

6. Cíle praktické části.....	56
6.1 Jízdní odpory.....	56
6.2 Výpočet energetické náročnosti.....	59
6.3 Návrh algoritmu a definice proměnných.....	61
6.4 Verifikace zkušebního programu.....	65
7. Závěry.....	67
8. Seznam použité literatury.....	68
9. Seznam obrázků.....	71
10. Seznam tabulek.....	72

Seznam zkratek

ČS čerpací stanice

ČR Česká republika

CČ Cetanové číslo

ČAPPO Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu

ČPU Česká plynárenská unie

ČSÚ Český statistický úřad

ČTPB Česká technologická platforma pro využití biosložek v chemickém průmyslu a dopravě

OZE obnovitelné zdroje energie

MERO methylestery řepkových olejů

MTBE methyl – terc butylether

FAME methylestery mastných kyselin

ETBE ethyl-terc butylether

EPA Environmental Protection Agency

WLTP Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

UNECE United Nations Economic Commission for Europe

GTR Global Technical Regulation

NEDC New European Drive Cycle

WLTC Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle

LPG (Liquefied Petroleum Gas) Zkapalněný ropný plyn

LNG (Liquified Natural Gas) Zkapalněný zemní plyn

CNG (Compressed Natural Gas) Stlačený zemní plyn

HPDI High Pressure Direct Injenction

VLI Vapour Lock Index

MHD městská hromadná doprava

FFV (Fuel Flexible Vehicles)

CTR Centrální tankoviště ropy

SSHR Správa státních hmotných rezerv

Seznam použitých symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
M_p	hmotností proud	[kg.s ⁻¹]
H_u	výhřevnost paliva	[J/kg]
η	účinnost	[-]
m_{Pe}	měrná spotřeba paliva	[kg/ kWh]
P_p	měrná hmotnost paliva	[kg]
V_p	objem paliva	[m ³ , [l]
η_e	efektivní (celková) účinnost	[-]
P	výkon	[W], [kW]
M_t	točivý moment	[N/m]
n	otáčky klikového hřídele	[s ⁻¹], [min ⁻¹],
O_f	odpor valení	[N],
O_v	odpor vzduchu	[N],
O_s	odpor stoupání	[N],
O_z	odpor zrychlení	[N],
O_c	celkový odpor	[N],
η	odpor vnitřního tření – účinnost mechanismů	[-]
E_k	kinetická energie	[J]
O_i	jízdní odpor	[N],
v	rychlost vozidla	[m.s ⁻¹],
t	čas	[s],
E	energie	[kWh],
f_k	součinitel valivého odporu	[-]
G	tíha vozidla	[N]
α	úhel podélného sklonu vozovky	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
S_x	čelní plocha vozidla	[m ²]
c_x	součinitel odporu vzduchu	[-]
m	hmotnost vozidla	[kg]
J_k	moment setrvačnosti rotujících částí	[kg.m ²]

1. Úvod

V současné době lidstvo má k dispozici velmi širokou transportní síť, která spojuje státy a kontinenty. Cestování, které se kdysi našim praotcům jevilo, jako nepřekonatelné a často jako nemožné, dnes se řeší během zcela krátkého časového okamžiku. Technologický pokrok XX. století hodně podpořil obrovský skok v řešení otázky překonání vzdálenosti. Lidstvo si otevřelo nové druhy dopravních prostředků, jako například letadlo, vlak, loď a auto. Spolu s tím se objevili možnosti přepravy velkých nákladů.

Ale v kombinaci se všemi výhodami dneska v XXI. století musíme uvažovat při rozboru otázek cestování a přepravy nákladu o energetické náročnosti a bezpečnostních aspektech. Moderní doba dává nám možnost výběru dopravního prostředků a trasy pro cestování nebo přípravu nákladu. Otázce hodnocení energetické náročnosti a optimalizací bezpečnosti na vybraných cestách evropského území je věnována daná diplomová práce.

V práci je navržen algoritmus výpočtu energií spotřebované na překonání libovolné cesty z definovaného místa odjezdu do cílové destinace. Přičemž vzato v úvahu doprava energetických zdrojů k místu odjezdu, druhy dopravních prostředků, typu paliva a pohonu, kvalita povrchu silnic a jízdní odpory.

V praktické části je popsán proces implementace vytvořeného algoritmu do programního rozhraní „JavaScript“. Díky čemuž bylo možné vyvinout výpočtový program, který dovoluje v režimu aktuálního času, provést výpočet potřebných energetických parametrů pro hodnocení energetické náročnosti cestování anebo přepravy nákladu v souladu s platnými evropskými předpisy.

Práce obsahuje rozsáhlou teoretickou část, ve které jsou popsány všechny potřebné aspekty a hlediska s kterými musíme počítat při návrhu algoritmu a jeho implementace.

Cíle této diplomové práce jsou:

1. Rozbor existujících druhů pohonu z hlediska jejich využití v silniční dopravě.
2. Popis spotřebních druhů paliv z hlediska jejich výroby, přepravy a využití v silničních vozidlech.
3. Hodnocení dostupnosti energetických zdrojů na území České republiky.
4. Návrh algoritmu výpočtu energetických charakteristik.
5. Implementace algoritmu do programního rozhraní JavaScript.
6. Verifikace výsledků výpočtů.

2. Spalovací motory v silniční dopravě

Fenoménem XX. a XXI. století, může být právě nazývána automobilová doprava. Vynález spalovacího motoru se stále považuje za největší inovace, která velice ovlivnila moderní společnost.

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako potenciální energie (tlak) u pístových spalovacích motoru, nebo jako energie kinetická (rychlost proudu) u spalovacích turbín.

Dnes pro pohon silničních motorových vozidel nejčastěji se používají následující motory:

- Spalovací motory zážehové nebo vznětové,
- Plynové motory,
- Eklektické motory,
- Hybridní motory.

Vozidlové spalovací motory se staví jako jednočinné a víceválcové motory, což umožňuje zvýšit jejich otáčky a dosáhnout lepšího poměru mezi výkonem motoru a jeho hmotnosti. Bývají stojaté, ležaté nebo šikmo položené, podle požadavku na využití prostoru.

Každé provedení má své výhody a nevýhody, které ovlivňují vlastní konstrukci motoru, jeho částí, montážní přístupy při opravách a nároky na umístovací plochu. Podrobnější klasifikace motorů bude popsána dále [1].

2.1 Rozdělení spalovacích motorů

V současné době existuje hodně druhů klasifikaci motoru. V dané práci nás budou především zajímat motory zážehové, vznětové a hybridní. Ačkoliv musíme uvést několik základních způsobů rozdělení, abychom věděli, jaké parametry do daných typu motoru patří a rozuměli trochu víc o jejich vývoji.

Motory mohou být klasifikovány podle následujících vlastností [1]:

1. *Podle způsobu přenosu tepelné energii dělíme tepelné motory na:*

- motory s vnějším spalováním média pro přenos energii jako např. vodní para, vzduch a některé plyny (pístový parní stroj a Stirlingův motor),
- motory s vnitřním spalováním, kde pracovní látkou jsou přímo produkty spalování (pístový spalovací motor a spalovací turbína).

2. *Podle principu činnosti se spalovací motory dělí na čtyři základní typy:*

- zážehové,
- vznětové,
- čtyřdobé,

- dvoudobé.
3. *Podle druhu paliva můžeme rozdělit spalovací motory na dvě základní skupiny.*

Motory na kapalná paliva:

- ropná lehko odpařitelná paliva: benzin, petrolej;
- ropná těžko odpařitelná paliva: nafta, mazut;
- kapalná paliva neropného původu: líh (metanol, etanol), rostlinné oleje přepracované esterifikací (bionafta – MĚRO);
- směsná paliva (lihobenzinová paliva, nafta a metylester řepkového oleje).

Motory na plynová paliva:

- na propan – butan,
- na zemní plyn.

Přičemž často se používají palivové motory na dvojí palivo (většinou pro provoz na plyné palivo a s možností záměny palivem kapalným):

- propan – butan/benzin, zemní plyn/benzin (paliva pro zážehové motory s možností plynulého přechodu z jednoho paliva na druhé za provozu motoru),
- zemní plyn/nafta, bioplyn/nafta (pouze u vznětových motorů pracujících s tzv. zapalovací dávkou nafty).

4. *Podle použitého paliva se spalovací motory dělí na:*

- benzinové,
- naftové,
- plynové,
- elektrické,
- hybridní,
- smíšené.

2.2 Charakteristiky druhů motoru

Dále budou popsány jednotlivé charakteristiky každého typu motoru.

Benzinový pohon

U benzinových (zážehových motorů) se používají paliva kapalná. Tyto motory pracují s vnější nebo vnitřní tvorbou homogenní směsi a jejím zážehem z cizího zdroje.

Zážehový motor potřebuje ke svému provozu určitý poměr vzduchu a paliva. Ideální teoretické úplné spalování nastává při poměru 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva (stechiometrický poměr). Ale určité provozní stavy motoru vyžadují korekci složení směsi.

Měrná spotřeba paliva zážehového motoru je značně závislá na směšovací poměru vzduchu a paliva. Pro reálné úplné spalování a tím také pro co nejmenší spotřebu je nutný přebytek vzduchu, jehož hranice je určena zápalností směsi a použitelnou dobou hoření.

Spalování paliva v pístovém spalovacím motoru je složitý fyzikálně – chemický proces, probíhající při každém oběhu ve velmi krátkém čase. Rychlost hoření směsi paliva se vzduchem závisí na tlaku, teplotě, složení směsi, okamžiku zapálení, způsobu a intenzitě pohybu náplně ve válci [8].

Naftový pohon

Naftové motory pracují s přebytkem vzduchu z důvodu, že jejich užitečný výkon řízen kvalitativně, tedy přes obsah paliva ve směsi palivo vzduch. Stechiometrický směšovací poměr činí u vznětových motorů asi 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva ($\lambda=1$).

Moderní naftové vozidlové motory pracují při chodu naprázdno s mimořádně chudou směsí. Příprava směsi palivo vzduch výrazně ovlivňuje užitečný výkon, spotřebu paliva, emise výfukových plynů a hluk spalování naftového motoru. Přitom podstatnou roli hraje provedení vstřikovacího zařízení a jeho řízení spolu s tvořením směsi a průběhem spalování.

Dieselové (vznětové) motory se dělí podle způsobu vstřikování paliva do válce na motory: s nepřímým vstřikováním paliva (IDI – Indirect Injection) a s přímým vstřikem paliva (DI – Direct Injection). U obou variant je možné použití plnění válců atmosférickým tlakem nebo přeplňování turbodmychadlem [8].

Plynový pohon

Plynové motory mají většinou dobré vlastnosti při spouštění, dobrou akceleraci, méně se při nich znehodnocuje motorový olej. Mají méně škodlivé emise: významně nižší podíly CO a CH_x, emise NO_x jsou srovnatelné s benzinovými motory.

Další důležitou výhodou plynového pohonu je cena paliva. Jeden litr propan-butanu stojí zhruba polovinu ceny stejného množství benzínu. Spotřeba zkapalněného plynu je v motorovém vozidle přibližně o 20 % vyšší, ale přesto se provoz na plyn vyplatí i z ekonomického hlediska.

Tankování je velmi jednoduché a probíhá stejným způsobem jako čerpání benzínu. Síť čerpacích stanic LPG v současné době narůstá a dnes jich je v ČR už více než 500.

V současné době jsou pro pohon automobilů nejvíce využívány propan butan (LPG), zemní plyn (především stlačený – CNG, v menší míře zkapalněný – LNG) a bioplyn [2] [3].

Vodíkový pohon

Dopravní prostředky mohou vodík jako palivo využít buď v palivových článcích, nebo přímo ve spalovacím motoru. Vodíkový pohon patří mezi alternativní technologie v automobilové dopravě.

Vodíkový pohon se rozšířil téměř do všech druhů dopravních prostředků, ať už ve formě prototypů nebo sériových produktů. Nejrozšířenější jsou vodíkové automobily a vodíkové autobusy. V Evropě je „vodíkovou velmocí“ Německo. Díky vodíkové čerpací stanici v Neratovicích se i Česká republika může účastnit vodíkových projektů.

Vodíkový pohon bývá řazen k tzv. hybridním pohonům, u kterých jde o kombinaci několika zdrojů energie pro pohon vozidla. Energie obsažená ve vodíku může být uvolněna ve dvou formách, buď přímo ve spalovacím motoru, nebo ve „studené“ formě v palivovém článku přímou přeměnou v elektrický proud.

Elektromotor ve vodíkových dopravních prostředcích získává energii z palivových článků (reakce vodíku a kyslíku) a akumulátoru. V autobusech je navíc část energie ukládána do tzv. ultrakapacitorů, ze kterých se pokrývají proudové špičky (rozjezdy). Palivový systém motoru je přizpůsoben pomocí elektronického směšovacího systému, který určuje směšovací poměr vodíku a vzduchu. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu.

Druhý systém využívá akumulátor pro zásobování palubní sítě elektrickou energií. Palivový článek přebírá funkci konvenčního akumulátoru, má výkon 5 kW, účinnost téměř 50 % a je neustále v provozu [3] [38].

Elektrický pohon

Elektrický pohon vozidel je jednou z možností alternativního pohonu. Praktické neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku, ale na druhou stranu má menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu, případně větší nebezpečí při havárii.

Rozvoji elektromobilů v mnoha zemích dostává v poslední době velké podpory. Důvody k velkému nástupu elektromobilů je možno vidět především ve snaze zlepšit životní prostředí, zvláště ve městech. Každá světová automobilka představila vozidlo poháněné elektromotorem. Současným trendem je využitím moderních výrobních technologií dosáhnout lepších technických parametrů [3].

Automobily s elektrickým pohonem (tzv. elektromobily) používají k pohonu elektromotor. Ten je napájen z akumulátorů, případně kombinací akumulátorů a palivových článků. Úsporu energie je možné dosáhnout tzv. rekuperací, kdy se při brzdění pohání generátor elektřiny dobíjející akumulátor. Výhodou elektromobilů je zcela čistý provoz a velká účinnost. Mezi elektromobily počítáme i vozy poháněné solární energií pomocí fotovoltaických článků.

Automobil nemůže být při své cestě napájen z trolejového vedení, podobně jako tramvaje, trolejbusy nebo vlaky, ale musí si energii „vézt s sebou“. Ale bohužel zatím akumulátory nedokážou na jednotku hmotnosti vyrobit a nastřádat takové množství energie jako např. benzín. Měrná kapacita (množství energie na kg) u nejlepších akumulátorů dosahuje zhruba 1/15 energie z benzínu. Hmotnost akumulátoru pro stejný dojezd jako při 40 litrové nádrži benzínu by byla 450–1050 kg.

Elektromobily z tohoto důvodu mají menší výkon a menší dojezd. U současných elektromobilů je celkový dojezd cca. 200 km. Elektrický pohon je vhodný pro malá a lehká vozidla, pro klasické osobní automobily se častěji používá pohon hybridní [4].

Hybridní pohon

Hybridní pohony jsou využívány především v silniční a železniční dopravě. Automobil s hybridním pohonem představuje vozidlo, které při svém pohonu využívá více než jeden zdroj energie (jedná se například o kombinaci elektromotoru a spalovacího motoru). Hybridní pohony využívají především výhod jednotlivých pohonů při různých pracovních stavech vozidla.

U hybridních vozidel lze uspořádání strojů rozdělit do dvou hlavních skupin, na sériové a paralelní.

Sériové hybridní vozidlo podobně jako bateriové vozidlo, je poháněno výhradně elektromotorem. jako zdroj energie je použit spalovací motor, který pohání generátor s vzniklým elektrickým proudem pak pohání trakční motory, případně dobijí baterie.

Paralelní uspořádání se používá u většiny prodávaných hybridních vozidel. Vůz je vybaven spalovacím motorem a elektromotorem, které jsou s koly propojeny skrze mechanickou převodovkou, častým uspořádáním je umístění elektromotoru/generátoru mezi spalovací motor a převodovkou (Honda Insight a Civic).

Další časté dělení hybridních vozidel je podle stupně „hybridizace“ [2]:

Tabulka 1 Rozdělení hybridních vozidel

Full hybrid	Power assist hybrid	Mild hybrid
Vybaven děličem výkonu.	Vybaven spalovacím motorem, který je primární pohonnou jednotkou vozu.	Vybaven generátorem, který přebíhá funkci startéru a alternátoru.
Zdokonalení těchto hybridů je tzv. PHEV (Plug-in hybrid electric vehicle) umožňující dobíjení přímo ze sítě a měřítkem takových vozů je pak vzdálenost, kterou vůz schopen zjet bez použití spalovacího motoru.	V případě potřeby akcelerace se připojuje elektrický motor, tzv. electric boost. Čistě elektrický pohon není prakticky možný kvůli nízkému výkonu elektromotoru.	Využívají tzv. Stop-start režim: Při dojíždění ke křižovatce je spalovací motor vypnut, avšak ostatní spotřebiče jako klimatizace zůstávají v chodu. Pokud sundáte nohu z brzdového pedálu, spalovací motor opět naskočí a vůz je připraven k akceleraci.

Hybridní automobil se tak v podstatě neliší od klasického automobilu, má však výrazně nižší spotřebu paliva a produkci emisí. Mezi nevýhody tohoto typu motoru lze zaznamenat vysoké ceny v porovnání s klasickými motory [4].

2.3 Účinnost motorů

Jedním z nejdůležitějších parametrů spalovacích motorů je účinnost, která v podstatě definuje spotřebu paliva pro požadovaný výkon.

Účinnost současných spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30 – 45 %. Zážehové motory mají účinnost spíše na spodní hranici pásma, vznětové motory na horní. Tato hodnota je větší částí dána účinností samotného termodynamického cyklu, který má jasné fyzikální omezení. Nedá se tedy předkládat výraznější vylepšení ani v budoucnu. Problém je v tom, že tato účinnost je maximální a dosáhne se jí pouze tehdy, pokud motor pracuje v optimálních podmínkách. V městském provozu se dosahuje účinnosti značně pod 10 % [2].

U spalovacího motoru rozlišujeme indikovanou, efektivní a mechanickou účinnost. Účinnost spalovacího motoru je možno definovat jako poměr užitečného výkonu motoru a palivem přivedené energie za jednotku času. Energie paliva za jednotku času je daná součinem přivedené hmotnosti paliva za jednotku času M_p a dolní výhřevnosti paliva H_u

$$\eta = \frac{P}{M_p H_u} \quad (1)$$

Indikovaná účinnost spalovacího motoru je

$$\eta = \frac{P_i}{M_p H_u} \quad (2)$$

Efektivní účinnost, nebo též celková účinnost spalovacího motoru je

$$\eta_e = \frac{P_e}{M_p H_u} \quad (3)$$

Mechanické ztráty motoru vyjadřuje mechanická účinnost, daná poměrem efektivního a indikovaného výkonu motoru

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{p_e}{p_i} = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad (4)$$

Efektivnost účinnost spalovacího motoru je tedy

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = \frac{3600 P_e}{m_p H_u} = \frac{3600}{m_{p_e} H_u} \quad (5)$$

kde 3 600 je tepelný ekvivalent jedné kWh v kJ, m_{p_e} je měrná spotřeba paliva v kg na jednu kWh a H_u je spodní výhřevnost paliva v kJ na kg [1].

2.4 Spotřeba paliva

Palivem přivedená energie je

$$E_p = m_p H_u \quad (6)$$

kde m_p [kg] je převedená hmotnost paliva a H_u [J/kg] je dolní výhřevnost paliva.

Spotřeba paliva se měří jako hmotností proud M_p

$$M_p = \frac{m_p}{t} = \rho_p V_p / t \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7)$$

kde ρ_p je měrná hmotnost paliva a V_p je objem paliva.

Také spotřebu paliva je možno pro lepší porovnávání vztáhnout na indikovaný nebo na efektivní výkon.

Indikovaná měrná spotřeba

$$m_{p_i} = \frac{M_p}{P_i} = \frac{1}{\eta_i H_u} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (8)$$

η_i je indikovaná účinnost.

Efektivní měrná spotřeba

$$m_{Pe} = \frac{m_p}{P_e} = \frac{1}{\eta_e H_u} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (9)$$

kde je η_e je efektivní (celková) účinnost.

Z praktických důvodu se používá pro měrnou spotřebu kapalného paliva výraz v upravených jednotkách

$$m_{Pe} = \frac{1000 \times M_p \times 3600 \times 1000}{P_e} \quad (10)$$

Spotřeba paliva je důležitým ukazatelem hospodárnosti automobilu. Je zvykem udávat spotřebu paliva v litrech na 100 km jízdy:

$$M_p \left[\frac{1}{100 \text{ km}} \right] = \frac{10^5 m_p P_e}{v \rho_p} \quad (11)$$

Charakteristika spalovacího motoru

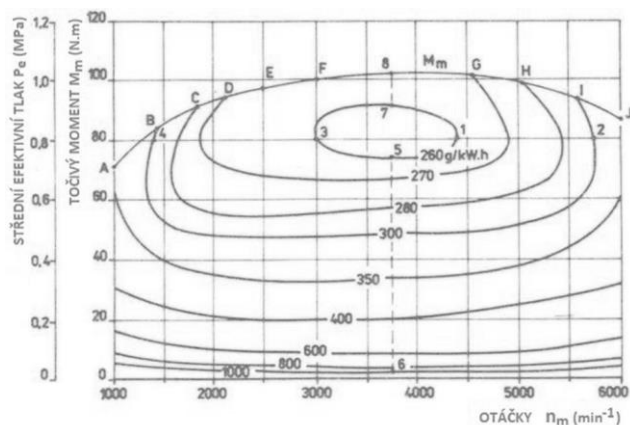
Motor může být charakterizován (popsán) několika parametry. Pro energetickou analýzu jsou důležité následující:

- otáčky klikového hřídele n [s^{-1}], [min^{-1}],
- točivý moment M_t [N.m],
- měrná spotřeba paliva m_e [g.kWh⁻¹],
- výkon P [W], [kW].

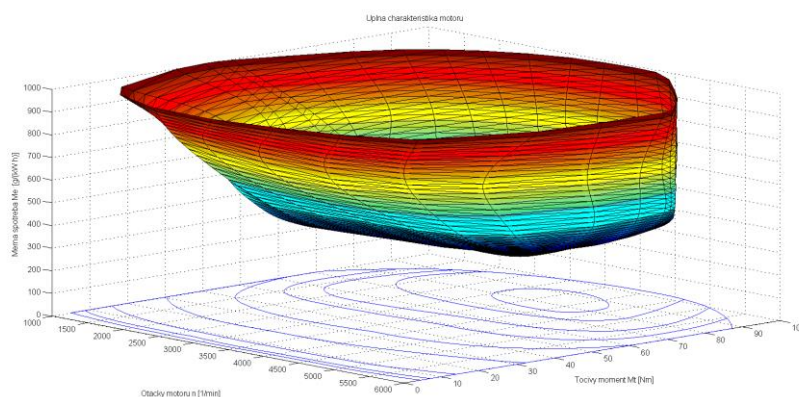
Uvedené parametry lze získat více metodami, za nejspolehlivější je považováno laboratorní zjištění na zařízení, které označujeme jako motorová brzda nebo dynamometr.

Motor je instalován jako samostatná jednotka bez spojky a dalších částí pohonu na stavu, v poloze, jakou zaujímá reálně ve vozidle. Klikový hřídel motoru je spojen se zařízením, které klade motoru odpor. Tento odpor (síla) na rameni je měřený točivý moment M_t .

Pokud jsou parametry pořízeny při plné připustí paliva („na plný plyn“), jde o vnější, nebo také rychlostní charakteristiku. Žádný motor ale v reálném provozu nepracuje stále na plný plyn, proto je důležité poznat také jeho parametry v jiných pracovních režimech při částečných přípustech paliva. Souboru grafů, které takto vzniknou, potom říkáme úplná charakteristika (Obrázky 1 a 2). Bohužel my nemůžeme použít hodnoty s těchto obrázku v praktické části, protože data nejsou veřejně přístupné.



Obrázek 1. Spalovací motor – úplná charakteristika (2 D zobrazení) [31]



Obrázek 2. Spalovací motor – úplná charakteristika (3 D zobrazení) [31]

3. Energetické zdroje v silniční dopravě

Kromě široce známých druhů automobilových paliv, které jsou běžně na trhu, existuje řada dalších chemických látek, které jsou používány nebo mohou být použity jako paliva nebo jako složky paliv pro současné automobilové spalovací motory.

Zdrojem energie pro pohon motorových vozidel v silniční dopravě jsou kapalná motorová paliva a plynná motorová paliva. Původ kapalných paliv je buď fosilní (ropa) anebo vyrobených z OZE (biopaliva I. generace – bioethanol a FAME a jejich směsi v rozličném poměru) a biopaliva II. generace. Původ plyných paliv je buď fosilní (CNG), vyrobených chemickou cestou (vodík), nebo z OZE (bioplyn).

Základní rozdělení motorových paliv pro silniční dopravu je následující [1]:

a) Klasická kapalná motorová paliva fosilního původu a jejich směsi s alternativní palivy z biomasy (biopaliva), kam radíme automobilové benziny E5 a E10; motorovou naftu B7, a B10, což jsou tzv. nízko koncentrované směsi fosilních paliv a biopaliv;

b) Plynná motorová paliva fosilního původu původem ze zemního plynu a ropy, vyrobená chemickými pochody a z biomasy. Jedná se o CNG, LNG, LPG, vodík a alternativní palivo bioplyn;

c) Alternativní kapalná motorová paliva obnovitelného původu, kam radíme: E85, E95, B30, což jsou tzv. vysoko koncentrované směsi, bioethanol, FAME/MERO, rostlinné oleje a uhlovodíková paliva vyrobená rafinérskými či jinými technologiemi z biomasy.

V současné době je hlavním zdrojem energie pro silniční dopravu ropa, která se zpracovává v rafinériích na motorová paliva a další produkty. V menší míře je to zemní plyn, biopaliva a elektrický proud pro alternativní pohony [6].

Třeba poznamenat, že výrobní odvětví na motorová paliva jsou kladeny následující požadavky: vysoká výhřevnost, co nejmenší obsah nespalitelných podílů, chemická stálost, co nejmenší agresivita vůči dílům palivového systému (nepůsobit korozi), co nejmenší zdravotní závadnost, co nejmenší tvorba zdraví škodlivých produktů spalování (sloučeniny síry, polycyklické uhlovodíky), co nejnižší ceny [7].

3.1 Schválená paliva pro provoz vozidel v ČR

Zákon nedovoluje, aby byla pro provoz vozidel na pozemních komunikacích používána jakákoliv hořlavina. Právní předpis České republiky přesně stanoví, která paliva mohou být používána pro provoz vozidel a jaké musí mít vlastnosti. Pokud nejsou požadavky právních předpisů na vlastnosti splněny, nesmí být palivo použito. V některých případech právní předpis umožňuje použít palivo, které není vyjmenované mezi schválenými: ale obvykle váže souhlas s jeho použitím na doporučení výrobce motoru, který pak odpovídá za to, že při provozu s takovým nestandardním palivem se nebudou vyskytovat ani ekologické ani technické problémy. Této možnosti se prakticky využívá pouze při zkouškách nových druhů paliv v provozním měřítku.

V současné době jsou v České republice stanoveny požadavky na pohonné hmoty pro provoz vozidel na pozemních komunikacích „Vyhláškou č. 229 Ministerstva průmyslu a obchodu“ od 29.04.2004. Jedná se o dále uvedená paliva s vlastnostmi odpovídajícími požadavkům příslušných norem (poslední vydání dále uvedených norem na úrovni ČSN EN jsou z roku 2004). Ve vyhlášce jsou definovány i složky těchto paliv, např. bioethanol a z něho vyrobený ETBE a MEŘO.

3.2 Klasická kapalná motorová paliva

Nejrozšířenějšími paliva jsou kapalná uhlovodíková paliva, která se vyrábějí z ropy. Kapalná uhlovodíková paliva se rozdělují podle bodu varu na dva základní druhy:

- benzin automobilní,
- nafta motorová.

Podstatou uhlovodíkových paliv jsou sloučeniny uhlíku s vodíkem, v nichž uhlík vystupuje vždy jako čtyřmocný prvek, jehož valence (mocenství) jsou vázány buď jinými

atomem uhlíku nebo vodíkem. Podle uspořádání řetězce atomů uhlíku se rozlišují uhlovodíky s řetězovou vazbou uhlíku v molekule a uhlovodíky s cyklickou (kruhovou) vazbou uhlíku [1].

3.2.1 Automobilový benzin

Automobilové benziny jsou směsí kapalných uhlovodíků vroucích v rozmezí převážně 30, až 210 °C ke zlepšení své vlastností mohou obsahovat přísady kyslíkatých látek, detergenty (na zajištění čistoty palivového systému), proti korozi (antioxidační) a jiné.

Bezolovnaté automobilové benziny se používají převážně pro zážehové motory silničních motorových vozidel. Nesmějí se používat pro vozidla, která jsou v provozu na pracovištích v uzavřených prostorách. Bezolovnaté benziny jsou určeny zejména pro moderní typy zážehových motorů vybavených katalyzátorem a řízených lambda sondou.

Následující tabulka znázorňuje důležité parametry a požadavky na benzin:

Tabulka 2. Základní informace, parametry a požadavky na benzin

Způsob výroby	získává pouze frakční destilací ropy s předem danou teplotou varu ropy a kondenzace jejích par.	
Jsou definovaný normou:	ČSN EN 228	
Druh motoru	zážehové motory	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	od 710 do 770	
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	42, 0 – 43,6	
	Základní požadavky	Hodnoticí parametry
	<ul style="list-style-type: none"> • dobrá odpařivost za nízkých teplot pro zajištění svařovatelnosti, • nesmí obsahovat těžší frakční podíly, aby nedocházelo ke smývání olejového filmu na stěně válce a ředění oleje v motorové skříni, • malý obsah síry, která způsobuje korozi palivového systému, způsobuje pokles oktanového čísla benzínu a zvyšuje obsah škodlivin ve výfukových plynech motoru, • nesmí obsahovat pryskyřice, které způsobují zanášení trysek a usazují se v sacím potrubí a na sacím ventilu, • dlouhodobá stabilita zabezpečující nízké ztráty při skladování. 	<ul style="list-style-type: none"> • oktanové číslo • obsah olova, • obsah benzenu, • oxidační stabilita, • obsah pryskyřic, • destilační zkouška • tlak nasycených par, • Vapour Lock Index (VLI), • hustota.

V síti čerpacích stanic ČR si zákazníci mohou natankovat následující druhy benzínu: benzin Natural 95 (BA 95 Super), benzin Natural 98 (BA 98 Super Plus), který od benzínu Natural 95 se liší oktanovým číslem ve výši minimálně 98, benzin Optimal 95E – speciálně aditivovaný druh benzínu, který má stejné kvalitativní parametry jako benzin Natural 95, avšak liší se od něho zlepšenými vybranými užitečnými vlastnostmi.

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím kvalitu automobilových benzínů jsou v současnosti rostoucí požadavky na ochranu životního prostředí. To se projevuje zejména ve snižování obsahu aromatických uhlovodíků a zejména u benzenu, obsahu síry a omezování celkové těkavosti autobenzínu. V současné době musí vyráběné automobilové benziny vyhovovat požadavkům na maximální obsah aromatických uhlovodíků, obsah benzenu a obsah síry [9].

3.2.2 Motorová nafta (Diesel)

Motorová nafta (Diesel) je směs kapalných uhlovodíků vroucích v rozmezí převážně 150 až 360 °C. Může obsahovat přísady ke zlepšení užitečných vlastností (depresanty, detergenty, mrazivosti přísady, inhibitory koroze, přísady proti pění atd.). Kvalita motorové nafty se udává cetanovým číslem, které vyjadřuje její vznětovou charakteristiku.

Motorové nafty jsou čirou nažloutlou až žlutou hořlavou kapalinou III. třídy nebezpečnosti s bodem vzplanutí nad 55 °C. Bod vzplanutí u motorové nafty sice souvisí s počátečním bodem varu a informuje o výparnosti paliva, ovšem nesouvisí s procesem spalování ve vznětovém motoru. Jeho hodnota je normovaná především z důvodu požární bezpečnosti [9].

Tabulka 3. Základní informace, parametry a požadavky na motorovou naftu

Způsob výroby	vyrábí se míšením petroleje s ještě těžším destilačním produktem, který se nazývá plynový olej.	
Druh motoru	pro vznětové motory a případně pro některé typy plynových turbín.	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	830	Jsou definovaný normou:
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	42,5	ČSN EN 590
Základní požadavky		Jakostní parametry
<ul style="list-style-type: none"> • včasný a pravidelný přívod správného množství paliva do válce, • energetický obsah paliva, • dokonalé rozptýlení a vypaření paliva, 		<ul style="list-style-type: none"> • destilace, • hustota, • viskozita, • karbonizační zbytek,

<ul style="list-style-type: none"> • provoz bez tvorby úsad v palivovém systému, na filtrech, v tryskách a ve spalovacím prostoru, • dobrá stabilita a nekorozivnost nafty a jejích spalin, • vliv na funkčnost a životnost motorů • malé zpoždění zážehu a normální spalování. 	<ul style="list-style-type: none"> • cetanové číslo (CČ) nebo cetanový index, • korozivnost paliva, a jeho spalin, • čistota a v zimní období také filtrovatelnost paliva a teplota vylučování parafinů.
---	---

Motorové nafty se dodávají v železničních a silničních nádržkových vozech případně produktovodem. Při skladování, dopravě a manipulaci s motorovými naftami musí být dodržována příslušná zákonná bezpečnostní ustanovení.

3.3 Plynná motorová paliva

Kromě klasických paliv jako benzin a nafta lze k pohonu automobilů použít též plynná paliva. V úvahu připadají hlavně: zemní plyn, uložený ve vozidle buď ve stlačené formě (CNG), nebo zkapalněný (LNG). Kapalné ropné plyny označované jako LPG. Vodík uložený ve vozidle může být stlačený CH_2 nebo zkapalněný LH_2 .

Zemní plyn je směs plynných uhlovodíků a nehořlavých složek (zejména dusíku a oxidu uhličitého). Jeho charakteristickým znakem je vysoký obsah metanu.

Vozidlové motory na plynná paliva se zpravidla nevyrábějí jako motory speciální konstrukce. Využívá se sériově vyrábění benzinových nebo naftových motorů, u kterých se provedou potřebné úpravy a jejich vybavení plynovým palivovým příslušenstvím. U benzinových motorů nejčastěji tak, aby umožňovaly provoz jak na plyn, tak na benzin, motory autobusů a těžkých užitkových vozidel se přestavují na zážehové a pak se provozují pouze na plynné palivo. Motory mohou být nepřepínané i přepínané, spalují buď stechiometrickou palivovou směs, nebo chudou palivovou směs. Zemní plyn může být použit i pro vznětové motory, kdy se pod vysokým tlakem vstříkuje přímo do válců motoru a zapaluje se vstřikem malé označovaný HPDI (High Pressure Direct Injection).

Plynná uhlovodíková paliva jsou z hlediska přípravy směsi výhodnější než paliva kapalná. Umožňuje lepší promíšení a snadnější dodržení směšovacího poměru paliva se vzduchem a tím i menší obsah škodlivin ve výfukových plynech. Nezpůsobují vznik karbonových úsad ve spalovacím prostoru. Mají i lepší antidetonační vlastnosti než kapalná paliva.

Jejich nevýhodou, bránící většímu rozšíření, je nesnadné skladování. Distribuce a malá energetická hustota vyžadující velký zastavěný objem pro umístění zásobníků paliva při jejich

použití na vozidle. Požadavky na čistotu výfukových plynů však působí na snahu o využití plyných paliv v provozu motorových vozidel [8] [38].

3.3.1 Zkapalněný ropný plyn LPG (Propan – butan)

LPG (Liquefied Petroleum Gas) jsou v současné době nejrozšířenějším představitelem plyných paliv. Tyto plyny se také často označují jako směs lehkých uhlovodíků, která obsahuje jen velmi málo síry, žádné olovo a žádné benzinové uhlovodíky. Umožňuje dosáhnout velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce, což je značná výhoda pro spalování.

Směs propanu a butanu je za normálních podmínek plynná, ale je možno ji zkapalnit poměrně nízkým tlakem. LPG je v kapalném stavu bezbarvá, snadno těkající kapalina, která se uchovává pod tlakem v tlakových nádobách. Při zkapalňování PB dochází ke zmenšení objemu v poměru 250:1 (z 250 litrů plynné fáze se získá 1 litr kapaliny) [2].

Vozidla s pohonem LPG mají zakázaný vjezd do mnoha podzemních garáží z důvodu, že směs propanu a butanu těžší nežli vzduch, a tak se usazuje při podlaze. Dnes se používá propan-butan i pro pohon motorů osobních a dodávkových automobilů. Kvalitativní požadavky se liší v závislosti na způsobu použití, jako motorové palivo je kladen důraz na čistotu, těkavost a antidetonační charakteristiky. V následující tabulce popsány základní informace a požadavky na LPG [4].

Tabulka 4 Základní informace, parametry a požadavky na LPG

Způsob výroby:	vzniká jako vedlejší produkt při těžbě ropy či zemního plynu.	
Druh motoru	pro zážehové motory	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	210-580	Jsou definovaný normou:
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	46,0	ČSN EN 589
Nevýhody:		Výhody:
<ul style="list-style-type: none"> • počáteční investice, tudíž cena pohonného systému a jeho schválení, • zvýšení spotřeby paliva zhruba o 20–30 % oproti klasickému palivu ale při méně, než poloviční ceně LPG jde o velmi malou položku, • snížení výkonu motoru o přibližně 5 % (zaleží na použitém systému, není pravidlem), • každoroční revize plynového systému, 		<ul style="list-style-type: none"> • provozní náklady, • nižší produkce emisí, • zvýšení životního motoru, protože se nevytvářejí karbonové usazeniny, • přestavbou se neztrácí možnost jezdit na klasický benzin, • lepší kultivovanost a celkové snížení hlučnosti motoru,

<ul style="list-style-type: none"> • zmenšení objemu zavazadlového prostoru. 	<ul style="list-style-type: none"> • bohatá síť čerpacích stanic na celém území ČR.
---	--

Propan – butan má trochu menší objemovou výhřevnost než benzin a narušuje přírodní pryž, proto je nutné, aby všechny těsnící elementy a hadice byly vyrobeny ze syntetického materiálu příslušné odolnosti [6] [8].

3.3.2 Zemní plyn CNG a LNG

Hlavními přednostmi použití zemního plynu jako automobilního paliva v porovnání s benzinem a naftou jsou z obecného pohledu úspory ropy, menší zatížení životního prostředí škodlivými výfukovými emisemi, nižší produkce oxidu uhličitého a nižší ceny zemního plynu.

Zemní plyn se v dopravě převážně používá ve dvou formách: jako stlačený (**CNG – Compressed Natural Gas**), bývá stlačen až na tlak 200 bar a zkapalněný (**LNG – Liquefied Natural Gas**). Pro dosažení kapalného stavu je ovšem potřeba teplota -162 °C. Zkapalněním se původní výchozí objem zemního plynu zmenší zhruba šestsetkrát [6] [8].

Zemní plyn je složen převážně z methanu (průměrný obsah je 96,2 %), zbytek je oxid uhličitý, dusík a plynné sírné sloučeniny. Využití zemního plynu má význam zejména v městské hromadné dopravě, v nízkoemisních zónách a hromadné dopravě ve zvláště chráněných územích, jako jsou např. národní parky. Přičemž ke snížení množství škodlivých emisí se používá katalyzátor [3] [4].

K praktickému využití **LNG** došlo poprvé v 50 letech v SSSR, byl použit k pohonu zemědělských traktorů. V současnosti je zkapalněný zemní plyn v praxi využíván zejména v Severní Americe – USA s Kanadě pro dálkovou autobusovou a nákladní dopravu. Velmi úspěšně zkapalněný zemní plyn používán pro pohon chladírenských aut, kde kapalný plyn slouží nejen jako pohonná látka, ale při odpařování i jako dodavatel chladu [25] [38].

Tabulka 5. Základní informace, parametry CNG a LNG.

Způsob výroby:	přímo se těží, jeho zásoby jsou větší než v případě ropy.		
Druh motoru	pro pohon zážehových motorů vybavených elektrickým zapalováním palivové směsi.		
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	0,4–0,42	400	Jsou definovaný normou:
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	50	58,4	ČSN EN 38 6110
CNG		LNG	
Výhody	Nevýhody	Výhody:	Nevýhody:
<ul style="list-style-type: none"> • méně škodlivin • rovnoměrnost palivové směsi • zvýšení celkového dojezdu • vyšší životnost motoru a oleje • tlakové nádrže jsou bezpečnější než benzínové nádrže • tišší chod motoru, což může být výhodou hlavně u městské hromadné dopravy 	<ul style="list-style-type: none"> • nedostatečná infrastruktura • vyšší náklady na přestavbu vozidel • zmenšení zavazadlového prostoru • snížení výkonu motoru. • nároky na izolaci nádrže • bezpečnostní opatření při garážování a opravách plynových vozidel. 	<ul style="list-style-type: none"> • větší dojezd vozidla, • vysoce čisté palivo • vysoká hustota energie • dostatečné zásoby zemního plynu • bezpečnější provoz • zmenšení objemu palivových nádrží a tím zvětšení uloženého prostoru ve vozidle. 	<ul style="list-style-type: none"> • uchovávání za velmi nízkých teplot, • odpar z nádrže při delší odstávce vozidla, • složitější a nákladnější technologie, • jiná technologie plnění vozidel a nová rizika při tankování, • vyšší náklady na přestavby vozidel na plyn • nedostatečná infrastruktura,

Vzhledem k rozsáhlým zásobám je zemní plyn velmi perspektivním motorovým palivem, které na svou konjunkturu teprve čeká. Používá se běžné dostupný zemní plyn z rozvodné sítě, který musí splňovat stanovené kvalitativní požadavky. Dlouhodobá strategie světové dopravy předpokládá, že využití zemního plynu dosáhne svého maxima po vyčerpání dosažitelných zásob ropy, tj. v horizontu po roce 2025, a udrží se po dobu asi 50 let [6].

3.4 Alternativní paliva

Pro přechod na trvale udržitelný způsob rozvoje dopravy nepostačí pouze zvýšit účinnost stávajících dopravních systémů. Je nutné vyvinout palivový systém, ve kterém jsou všechny fáze výroby a distribuce založeny na využívání OZE. Aby se tyto nové systémy staly udržitelnými, nesmí mít žádná fáze od výroby po spotřebu nepříznivé dopady na zdraví populace a na životní prostředí.

Současný dopravní sektor je prakticky ze 100 % závislý na palivech fosilního původu vyráběných z ropy. Alternativní paliva mohou být vyrobena jak z fosilních, tak i z obnovitelných surovin.

Počet alternativ, které mohou být zajímavé a které jsou založeny na OZE je celkem nízký. Používány mohou být zejména bio alkoholy. Ve velkém měřítku to může být také bioplyn, jestliže jako suroviny k jeho výrobě budou použity odpady nebo vhodné energetické plodiny. O tom, zda palivo zůstane v kategorii málo používaných nebo se stane všeobecně používaným, rozhodnou především ekonomické aspekty charakterizující jeho výrobu a užití.

Za alternativní paliva, se považují zejména: zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG), stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG), bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje, paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol), vodík, elektrický proud [3] [11].

3.4.1 Alkoholy

Alkoholy byly používány jako palivo již v počátcích motorismu a velmi často byly alternativou běžných paliv v dobách nejistoty spojených s válkami nebo v dobách ekonomické deprese. V současné době nabírají význam z hlediska ochrany životního prostředí, kde alkoholy nabízejí široké možnosti použití, zejména jako paliva pro dopravní prostředky. Oba nejčastěji používané alkoholy etanol a metanol mají jako motorová paliva výhody, ale i nevýhody, o kterých bude podrobně napsáno v tabulce 6.

Tabulka 6 Základní informace, parametry Etanol a Metanol.

Způsob výroby:	jsou získávány z rostlinných produktů a odpadů nebo synteticky.	
Druh motoru	pro pohon zážehových i vznětových motorů (po provedení určitých úprav), případně je možno je mísit s benzinem.	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	794	796
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	26,8	19,9
Specifické vlastnosti alkoholů	Etanol (líh)	Metanol (dřevní líh)

	Způsob výroby	
<ul style="list-style-type: none"> • klasifikovány ve třídě 1, • vysoké oktanové číslo etanolu dává možnost zvyšovat kompresní poměr a dosahovat vyšší termodynamické účinnosti a tím nižší spotřeby paliva. • musí být palivový etanol denaturován přidáním látek se specifickou chutí či vůní. • mají nízkou zápalnou teplotu a hoří slabě svítivým plamenem. 	<p>je vyráběn kvašením a následnou destilací ze surovin obsahujících cukr, škrob a celulózu.</p>	<p>nejefektivnější způsob výroby je ze zemního plynu.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • méně nebezpečný než nafta a benzín, • má nízkou toxicitu a je relativní neškodný v přiměřených dávkách, 	<ul style="list-style-type: none"> • je vysoce toxický a manipulace s ním podléhá přísným předpisům

Vozidla vybavená motory seřízenými na spalování přesní definovaných směsí etanolu s benzinem jsou ve velkém rozsahu používány v Brazílii a USA. Obsah benzínu v těchto palivech se pohybuje od 5 % do 22 %. Další možností je využití vozidel, jejich motory jsou schopny spalovat směsná paliva s obsahem benzínu od 15 % do 100 % a s obsahem etanolu od 0 % do 85 %.

Vozidla označovaná jako FFV (Fuel Flexible Vehicles) jsou vybavena čidlem, které po každém natankování provede analýzu paliva v nádrži, a elektronickou řídicí jednotkou, která podle výsledku analýzy provede nastavení provozních charakteristik motoru. FFV vozidla jsou velmi vhodná pro uvedení etanolových paliv na trh. Vzhledem k jejich palivové flexibilitě lze normálně používat i v situaci, kdy pro etanolová paliva ještě není vytvořena odpovídající distribuční síť čerpacích stanic.

Pro těžká vozidla používající většinou dieselové motory jsou již v tomto okamžiku k dispozici technická řešení umožňující používat etanol jako palivo nebo používat směsné palivo etanol – nafta. V tomto případě se do paliva přidává látka upravující teplotu vznícení paliva. V Japonsku jsou vyvíjeny vznětové motory používající jako palivo etanol, vybavené speciálními svíčkami [1] [11].

3.4.2 Vodík

Použití vodíku (H) jako paliva v dopravě patří z hlediska životního prostředí mezi velmi nadějně technologie. Vodík jako dopravní palivo vytváří obraz tichých, efektivních a neznečišťujících vozidel, a proto se soustředí na velkou pozornost. Realita je samozřejmě mnohem složitější [4].

Vodík je lehký hořlavý plyn, bez barvy a zápachu, a jedná se o zcela čisté palivo. Jako nejsnadnější ze všech plynů má vodík nízkou hustotu energie a musí být buď stlačen při velmi vysokých tlacích, nebo zkapalněn při velmi nízkých teplotách, aby byl skladován v jakémkoli smysluplném množství. To představuje významné výzvy zejména pro mobilní aplikace [6].

Tabulka 7 Vlastnosti vodíku a způsoby jeho výroby

Způsob výroby:	z vody (elektrolýzou nebo termickým rozkladem), elektrolyticky z pomoci solární energie, ze zemního plynu nebo pomocí elektřiny z fosilních zdrojů by však bylo neefektivní a potíralo by jeho výhody. Řešením tak je použít energii z jádra, OZE, nebo vyvinout nové technologie k výrobě vodíku.	
Využití vodíku k pohonu automobilů	přímé spalování vodíku v klasickém pístovém motoru nebo použití vodíku ve spalovacích člancích.	
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	120,05	
Podmínky využití	Výhody	Nevýhody
Základním bezpečnostním pravidlem při manipulaci s vodíkem je zabránit vzniku směsi vodíku. Pro masové využití vodíku v dopravě je vyřešení problematiky jeho skladování a dopravy a vybudování sítě čerpacích stanic. a vzduchu.	<ul style="list-style-type: none"> • při spalování vzniká jenom neškodná voda a malé množství kyslíčků dusíku. • není toxický ani korozní, při přepravě, distribuci nebo plnění nemůže dojít k ekologické havárii jako u ropy a jejích derivátů. • vysoká rychlost laminárního plamene 	<ul style="list-style-type: none"> • drahá výroba • vodík je vysoce výbušný • malé počet ČČ, • nedostatečná infrastruktura.

Vodík zatím nenašel jako motorové palivo širší uplatnění. Jeho využívání naráží jednak na jeho cenu a jednak na skutečnost, že při výrobě vodíku se produkuje značné množství CO₂, což potlačuje příznivé efekty při jeho spalování. Kromě USA, Kanady, a Japonska se výzkumu využití vodíku věnuje v Evropě zejména Německo [2] [5] [10].

3.4.3 Biopaliva

Biopaliva v dnešní době představují jednou z nejdiskutovanějších skupinu alternativních paliv. Hlavním důvodem zájmu veřejné společnosti a výzkumu ohledně biopaliv je nalezení odpovědi na otázku, do jaké míry jsou biopaliva schopná snižovat produkci oxidu uhličitého [4].

Biopaliva jsou vyráběna z obnovitelných surovin rostlinného původu – z tzv. biomasy. Za biopaliva se považují: bioetanol, bionafta (estery mastných kyselin rostlinných olejů), bioplyn, biometanol, biodimetyléter, bio-ETBE, bio-MTBE, biovodík, rostlinné oleje a syntetická paliva, jejichž složky byly vyrobeny z biomasy.

Oproti běžně používaným palivům mají několik výhod:

- Suroviny pro jejich výrobu se vypěstují a zpracovávají na jednom místě, resp. v jedné zemi. Snižuje se tím závislost státních ekonomik na dovozu ropy a zemního plynu ze zahraničí.
- Biopaliva jsou rovněž kvůli svému původu snadno biologicky rozložitelná. Pokud tedy dojde k jejich úniku do vody nebo do půdy, nezpůsobí takové škody, jako ropné látky (benzín a nafta).
- Jejich ceny jsou nižší i navzdory vyšším nákladům na jejich výrobu, většina zemí na biopaliva uplatňuje nižší nebo i nulové daně.
- Jejich používání je tzv. uhlíkově neutrální. Co to znamená? Uhlík je, jak známo, základní stavební prvek všech organických sloučenin a tím i všech živých organismů na této planetě. Množství uhlíku, obsaženého v biomase, které je při spalování biopaliv vyprodukováno v podobě CO₂, se zase prostřednictvím fotosyntézy spotřebovává pro růst nových rostlin. Tím se uzavírá jeho cyklus a biopaliva proto nepřispívají ke klimatické změně.

Nejběžnější biopaliva, která jsou v ČR používána, jsou metylester řepkového oleje (MEŘO) a bioetanol (biolh). Jsou využívána buď v podobě nízkoprocentních směsí, kdy se v podstatě do veškerého benzínu a nafty přidává určité množství biosložky, nebo jako vysokoprocentní směsi (např. lihobenzínové směsi E85 či směsná motorová nafta s 30% obsahem MEŘO), případně čistá biopaliva (např. 100 % bionafta nebo rostlinný olej).

Tabulka 8. Rozlišování generace biopaliv a jejich vlastností

První generace	Druhá generace
Vstupní suroviny	
plodiny sloužící hlavně k výrobě potravin.	z nepotravinářských plodin, rostlinných odpadů, odpadní lignocelulózových materiálů.
MERO, bioethanol, bioETBE, rostlinný olej	bioethanol vyráběný z lignocelulózové biomasy, syntetická motorová nafta jako produkt Fischer – Tropschovy syntézy, biomethanol, biomethyléter, biovodík jako produkty katalytické konverze syntézního plynu.
<ul style="list-style-type: none"> • hlavní nevýhoda biopaliv první generace - zvyšování cen potravin, • vysoká energetická náročnost některých procesů výroby, • samotné pěstování rostlin vyžaduje spousty úrodné půdy, hodně vody, hnojiv a mechanizace. 	

V současnosti jsou proto naděje upínány na biopaliva tzv. 3. generace. Tato alternativní paliva vznikají z vodních řas, produkujících malé kapky oleje, které pak mohou být snadno přeměněny na výsledné palivo. Výnos na jeden hektar může být až 30krát vyšší než při použití energetických rostlin. Tato technologie je však na samotném počátku [2] [12].

Bioetanol (biolih)

Biolih patří k biopalivům tzv. 1. generace. Chemický změněný etanol na ethyltercbutyleter (ETBE) se ve světě stal důležitou přísadou do bezolovnatých benzinů. Zvyšuje oktanové číslo a zlepšuje kvalitu hoření paliva v motoru. U čerpacích stanic je označen zkratkou E následovanou procentuálním podílem bioetanolu v palivu. Nejčastěji je používán E 85, který obsahuje 85 % bioetanolu a 15 % bezolovnatého benzínu.

Hlavní úprava motoru spočívá ve zvětšení dávky paliva z důvodu jeho nízké výhřevnosti (např. nárůst spotřeby paliva při použití E85 je přibližně 36 %).

Tabulka 9. Základní informace a vlastnosti bioetanolu

Způsob výroby:	alkoholového kvašením z produktů zemědělské výroby	
Druh motoru	v zážehových motorech, pro speciálně konstruované motory, nebo jako přísadu do benzínu v zastoupení 3 až 15 %.	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	794	
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	27	
	Nevýhody:	Výhody
	<ul style="list-style-type: none"> • způsobuje rychlejší korozi kovových materiálů, • má detergentní účinek (odstraňuje oleje), • napadá plastické hmoty, • dotovaná výroba, • nízké cetanové číslo (8) a jeho použití ve vznětových motorech vyžaduje úpravu motoru, • pro vznícení bioetanolu je nutné zvýšit kompresní poměr na hodnotu 23, případně více, a zvýšit dávku paliva, • zvyšuje volatilitu benzínů. 	<ul style="list-style-type: none"> • snižuje benzen a síru v benzínu, • v motoru je dokonaleji spalován, • zvyšuje účinnost v motoru, • čistí spalovací systém, • redukuje CO ve spalinách – snížení emisí výfukových plynů a emise prašných částic a PAU. • nižší náklady na jeho výrobu (ve srovnání s benzínem), • vyšší oktanové číslo,

V dnešní době již každý větší výrobce vozidel dodává na trh vozidla označena FFV. Tato vozidla mohou spalovat libovolnou směs benzínu a E85. Další úprava spočívá v aditivaci bioetanolu o složky podporující vznícení paliva. Takové palivo nese označení E95. V motorech upravených na palivo E95 už nelze spalovat motorovou naftu [2] [4] [5] [8].

Bionafta

Alternativou ke klasické motorové naftě je v ČR bionafta a směsná motorová nafta. Je to umožněno právními předpisy, zejména zákonem o spotřební dani. Předmětem daně jsou metylestery mastných kyselin (FAME), metylestery mastných kyselin řepkového oleje (MEŘO) a směsná motorová nafta s nejméně 30 % MEŘO (SMN B30).

Základem bionafty je chemická látka zvaná metylester řepkového oleje (MEŘO). Protože výroba metylesteru je dražší než výroba běžné motorové nafty, mísí se „čistá bionafta“ s některými lehkými ropnými produkty, aby byla cenově konkurenceschopná.

Výsledkem je palivo tvořené 30 % metylesterů a 70 % ropných látek, které si zachovává svou biologickou odbouratelnost a svými vlastnostmi se více přibližuje běžné naftě. Proto se dá bez problémů míchat s ropnou naftou. Při nízkém podílu bionafty dokonce není třeba upravovat motory vozidel. Více informace o vlastnostech, způsobu výroby, silných a slabých stránkách použití bionafty jak paliva pro dopravní prostředek jsou znázorněny v tabulce 10.

Tabulka 10. Vlastnosti bionafty

Způsob výroby:	lisováním olejů, které se působením katalyzátoru a vysoké teploty mění na MEŘO.	
Vstupní surovina	většinou olej řepkového semene, ale lze použít i jiné olejnaté plodiny, např. slunečnici, sóju.	
Druh motoru	ve vznětových motorech	
Definovaný normy: ČSN EN 65 6508 ČSN EN 14214+AC	Bionafta – MEŘO	Směsné palivo (30 % MEŘO + 70 % motorová nafta)
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	915	820–840
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	37,1	40,5
Výhody	Nevyhody	
<ul style="list-style-type: none"> • snižuje kouřivost naftového motoru, emise polétavého prachu, síry, CO₂ a PAU, • kladná energetická bilance a lépe se hoří, • bezpečnost při zacházení, • má dobrou biologickou rozložitelnost. 	<ul style="list-style-type: none"> • energetická náročnost celého výrobního procesu • vysoká produkce skleníkových plynů při výrobě a pěstování monokultur na obrovských plochách • zkrácená doba skladování a během skladování dochází ke snižování kvality paliva. • používat s přísadou pro zimní provoz, • uvolňuje organické usazeniny, které zanášejí palivový filtr. 	

Bionafta díky nulové spotřební dani vytváří svou nízkou cenou pro zemědělce významnou konkurenční výhodu. Navíc jde o palivo ekologické, u něhož se díky jeho biologické odbouratelnosti nemusí zemědělec bát znečištění půdy a spodních vod z případných úniků paliva jak ze zemědělských strojů, tak ze zařízení spojených s distribucí

paliva. Stejně jako ostatní biopaliva na českém trhu splňuje i čistá bionafta kritéria udržitelnosti její výroby, což je dáno její certifikací [4][5][12].

Bioplyn

V dopravě se bioplynem rozumí palivo vzniklé biologickými procesy z organických hmot, které je pro účely pohonu motorových vozidel zbaveno nežádoucích příměsí, zejména na oxidu uhličitého a sirovodíku, tak aby odpovídalo požadavkům na zemní plyn (obsah metanu vyšší než 95 %, výhřevnost srovnatelná), nejvíce nečistot obsahuje bioplyn ze skládek tuhých odpadů. Zápach bioplynu je způsoben hlavně obsahem sirovodíku a dalšími zejména sirnými sloučeninami, které páchnou již ve velice nízkých koncentracích (merkaptany).

Čistota bioplynu má podstatný vliv na životnost motoru, která se špatnou kvalitou čištění rychle klesá. Čištění bioplynu je nákladné, a proto snahy vedou k nahrazení klasického spalovacího motoru, který pohání kogenerační jednotkou, Stirlingovým motorem [1] [2].

Tabulka 11. Vlastnosti bioplynu

Způsob výroby:	vzniká mikrobiálním rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu (tzv. anaerobní fermentací nebo digescí), kde anaerobní mikroorganismy transformují organické látky na bioplyn.	
Vstupní surovina	chlévká mrva, prasečí kejda nebo odpady městských čistírnách (kalový plyn).	
Druh motoru	pro spalovací motory	
Hustota (15 °C), kg.m ⁻³	809	
Výhřevnost, MJ.kg ⁻¹	21,5	
Nevýhody	Výhody	
<ul style="list-style-type: none"> • nestabilní produkce plynu a pouze lokální možnost použití, • výrobní cena a kvalita bioplynu významně závisí na vstupní surovině a způsobu jeho výroby. 	<ul style="list-style-type: none"> • široká škála plodin vhodných pro jeho výrobu, možnost jeho výroby z bioodpadů, • vysoká energetická výtěžnost, díky fyzikálním vlastnostem metanu • jsou vozidla s pohonem na bioplyn / CNG bezpečnější než vozidla na benzin, naftu nebo LPG a úspora nakladu na palivo, • emise ze spalování biometanu jsou stejně nízké, jako ze spalování zemního plynu. 	

Pro použití jako paliva v motorových vozidlech by se musel vyčistit, především zbavuje CO₂ a H₂S. Ve většině evropských zemí je bioplyn převážně využíván pro přímé spalování nebo kogeneračních jednotkách. Bioplyn v dopravě nachází nejširší uplatnění v Evropě ve Švédsku, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Francii a Itálii, mimo Evropu pak v Brazílii, USA, Chile a na Novém Zélandu [6] [10].

3.5 Ekologické aspekty využití alternativních paliv v dopravě

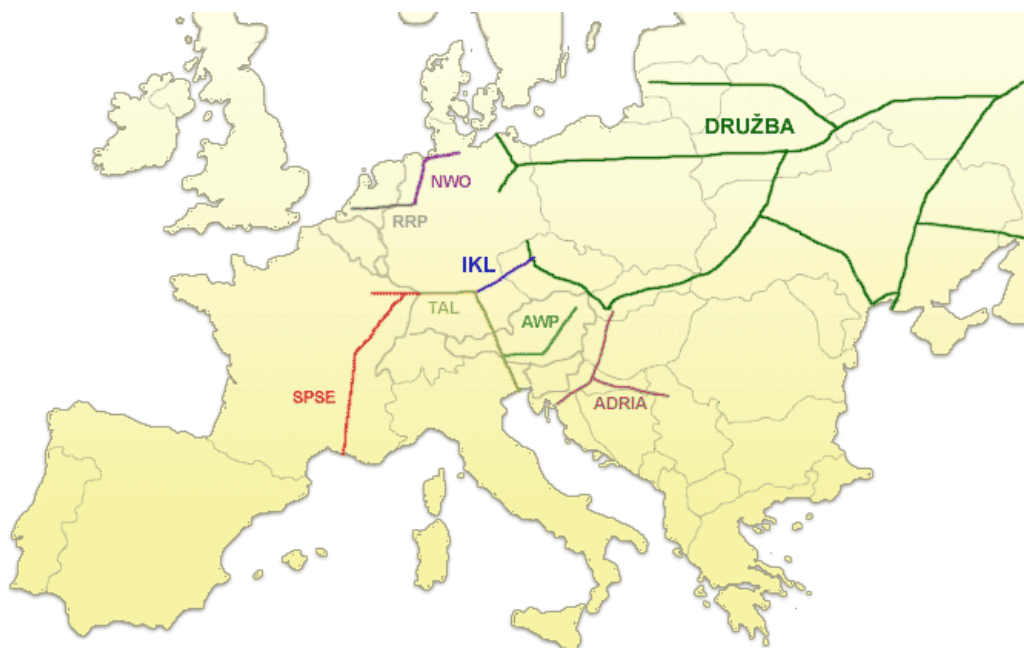
Jedním z hlavních argumentů pro používání alternativních motorových paliv jsou ekologické důvody. Alternativní plynná a kapalná paliva v porovnání s klasickými pohonnými hmotami na ropné bázi – automobilovým benzinem a motorovou naftou obecně představují menší zátěž pro ovzduší jak z hlediska emisí skleníkových (GHG) plynů, tak i dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů – oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), celkových uhlovodíků (HC), částic (PM) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem (např. polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, alkeny).

Výhodou plyných paliv je skutečnost, že v případě jejich úniku nepředstavují zátěž pro vodní zdroje a půdu, výhodou některých kapalných alternativních paliv na bázi rostlinných zdrojů – bionafta, bioetanol – je lepší jejich biologická odbouratelnost ve srovnání s klasickými motorovými palivy na ropné bázi [13].

4. Dostupnost energetických zdrojů v ČR

Fosilní paliva se v přírodě vyskytují v různých formách pevných, kapalných i plyných. Obsahují velké množství uhlíku a vodíku, které nejsou chemicky vázány na jiné prvky, a proto mají poměrně velkou výhřevnost. ČR i většina zemí v EU nemá významné zásoby ropy a zemního plynu. Tento fakt výrazně ovlivňuje závislost Evropy na dovozu paliv [6].

Nedostatek ropy by se projevil v celé řadě sektorů národního hospodářství, nejvýznamněji v dopravě, energetice a chemickém průmyslu. Proto většina států pozorně sleduje bezpečnost a plynulost zásobování ropou, resp. rafinérskými produkty a pro případ jakéhokoliv jejich přerušení si vytváří strategické zásoby jak ropy, tak i rafinérských produktů.



Obrázek 3. Evropský systém ropovodů Zdroj: MERO [17]

Do České republiky se ropa dopravuje ze dvou směrů. Z východu proudí ropa z Ruska plynovodem Družba (Přátelství) a ze západu jsme napojeni plynovodem IKL (Ingolstadt – Kralupy nad Vltavou – Litvínov) na ropovod TAL, který dopravuje ropu z přístavu v Terstu. Ropovody jsou vedeny pod zemí v hloubce zhruba půl metru a je kolem nich zavedeno ochranné pásmo.

V sektoru energetického zajištění silniční dopravy pohonnými hmotami působí v ČR zpracovatelé ropy na ropné výrobky a to jsou a.s. Česká rafinérská, která provozuje rafinérie v Litvínově a v Kralupech nad Vltavou, a a.s. PARAMO Pardubice. Výrobní sortiment PHM je v a.s. ČeR tvořen automobilovými bezolovnatými benziny ve dvou oktanových hladinách, motorovými naftami v sortimentu podle užití v ročních obdobích (letní, přechodová, zimní a

arktická nafta) a LPG pro pohon. Sortiment PHM a.s. Pardubice je tvořen motorovými naftami, směsnou motorovou naftou a LPG.

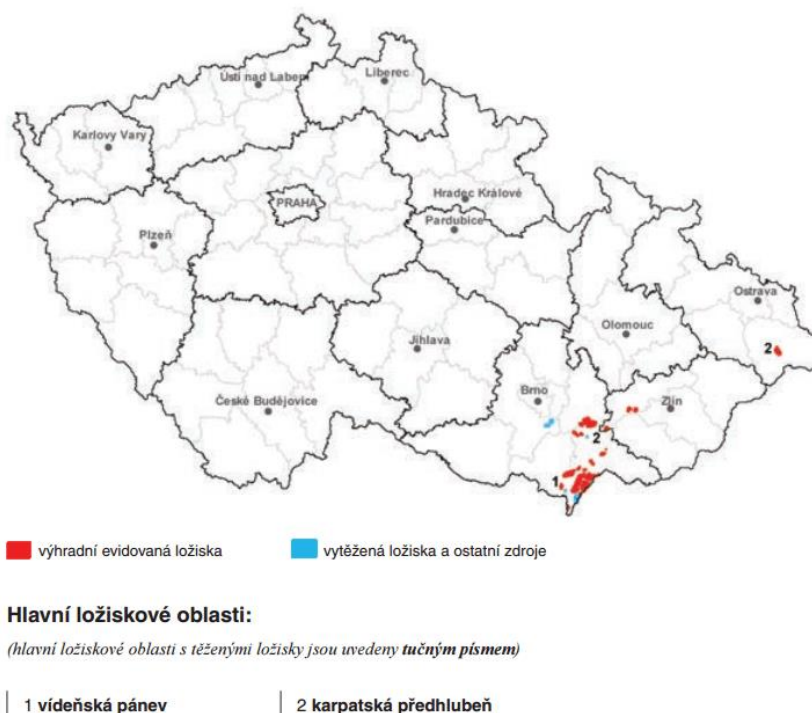
Jako nový subjekt výroby a dodávek PHM alternativních typu na trh vstoupila a.s. Cukrovary a lihovary TTD Dobruška jako výrobce paliva E85 a a.s. PREOL, Lovosice jako výrobce a dodavatel bionafty (čisté FAME/MERO) [18] [19].

4.1 Ropa

Ropa se v průběhu 20. století stala dominantním energetickým zdrojem v současnosti stále bez alternativy především v dopravě. Česká republika nemá díky své geografické poloze k dispozici nějaká větší ložiska této strategické energetické komodity. Malé ložiska vysoce kvalitní ropy se nacházejí zejména v regionu jižní Moravy, jejich roční těžba však pokrývá pouze 2–3 % tuzemské spotřeby z tohoto důvodu ČR je závislá na dovozu ropy ze zahraničí.

Prvopočátky těžby ropy a zemního plynu na území dnešní České i Slovenské republiky se datují více než 100 let nazpět. Průkopníkem v „těžbě“ a využívání zemního plynu se ukázal Jan Medlen, který při kopání odvodňovací strouhy na svém pozemku v Gbelech, jež nyní leží na slovenské straně státních hranic, náhodou narazil na ložisko zemního plynu. V České republice je evidováno několik desítek ložisek ropy i zemního plynu, přičemž většina je koncentrována do oblasti vídeňské pánve [18][23].

Následující mapa představuje přehled evidovaných a již vytěžených ložisek.



**Obrázek 4: Evidovaná ložiska ropy na území ČR
(Zdroj: Česká geologická služba)**

Počet těžených ložisek ropy je v posledních letech víceméně konstantní, těžba samotná však postupně klesá. Nejvýznamnějšími společnostmi věnujícími se těžbě ropy na území ČR jsou v současné době hodonínské MND a. s. (dříve Moravské naftové doly), skupina LAMA ENERGY GROUP a ostravská společnost UNIGEO a. s.

Do ČR se dováží ropa především z Ruska ropovodem Družba. Většina zásobníků je situována v lokalitě Nelahozeves (viz obrázek 5). Menší přípojka je i z Německa (napojení na ropovod TAL vedoucí z přístavu Terst). V současnosti proteče českou částí Družby kolem čtyř milionů tun ropy ročně (její celková kapacita je dvojnásobná). Společně s ropovodem IKL zajišťuje bezpečnost dodávek ropy – klíčové suroviny pro český petrochemický průmysl. Potrubní přeprava je rovněž ekonomická a ekologická: na dopravení denního objemu ropy do rafinérie v Litvínově by jinak bylo potřeba asi 310 standardních železničních nebo 600 automobilových cisteren.

MERO ČR, a. s. (mezinárodní ropovody), vlastník a provozovatel české části ropovodu Družba a ropovodu IKL, je jediným přepravcem ropy do České republiky a nejvýznamnější společností zajišťující skladování nouzových strategických zásob ropy. Oba ropovody vstupují do Centrálního tankoviště ropy Nelahozeves, kde společnost vybudovala celkem 16 ropných nádrží s celkovou skladovací kapacitou 1.550.000 m³.



Obrázek 5. Centrální tankoviště ropy Nelahozevec [internet]

Centrální tankoviště ropy (CTR Nelahozevec) slouží ke skladování strategických nouzových zásob ropy, dále jako krátkodobý mezisklad pro ropu přepravovanou ropovody Družba a IKL, k míchání různých druhů ropy podle požadavků zákazníků a distribuci ropy k zákazníkům – rafinériím.

V ČR se uskladněním důležitých surovin zabývá Správa státních hmotných rezerv (SSHR). Jde o úřad, který ve vlastních nebo pronajatých prostorách skladuje strategické zásoby pro celou zemi. Kromě ropy se skladuje také benzin, nafta, letecké palivo, topné oleje, některé kovy, potraviny, zemědělské plodiny a rovněž některé výrobky. SSHR využívá pro skladování různých surovin třetí společnosti, které úschovu zajišťují. V případě ropy využívá

úřad třicetiletého kontraktu se společností MERO (Mezinárodní Ropovody), která pro stát nezbytné zásoby uskladňuje v zásobnících u obce Nelahozeves. O skladování nafty a dalších paliv pro SSHR se stará společnost ČEPRO, jejíž zásobníky jsou rozmístěny v 17 areálech po celé ČR [16] [17] [19] [23].

Ropovod Družba

Tento ropovod je nejstarším fungujícím ropovodem na území České republiky, prochází katastrálním územím 5 krajů a 14 okresů. Přehled mapy ropovodu je znázorněn na obrázku 6. Ropovod Družba je považován za nejdelší ropovod na světě. Spojuje osm evropských zemí a tvoří tak jednu z nejrozsáhlejších ropovodních sítí.



Obrázek 6. Mapa ropovodu Družba v ČR [17]

Ročně investice do údržby a modernizace ropovodu jsou v průměru téměř 110 mil. Kč. Družba má nové řídicí, komunikační i bezpečnostní systémy srovnatelné s mnohem mladšími ropovody. Díky tomu se podařilo významně snížit riziko havárie a negativních vlivů na životní prostředí. Např. únik ropy dokáže automatický systém detekovat do 2 minut [17]. Podrobné technické údaje jsou znázorněny v tabulce 12.

Tabulka 12. Technické údaje ropovodu Družba

Provozní společnost	státní společnost MERO ČR, a. s.
Rok a náklady na poslední modernizace	1998-2003, cca 1,82 mld. Kč
Celková délka trasy	5100 km
Celková délka trasy v ČR	357 km

Přepravní kapacita za den	2 miliony barelů ropy
Přepravní kapacita za rok	9 mil. tun
Obsah ropovodu	cca 101 318 m ³
Rychlost proudění v potrubí	cca 1,0 - 1,4 m/s

Ropovod IKL

Ropovod IKL vznikl jako zásobovací alternativa k ropovodu Družba, mapa ropovodu je znázorněna na obrázku 7.



Obrázek 7. Mapa ropovodu IKL v ČR [17]

Ropovod IKL začíná v bavorském Vohburgu. Je napojený na evropský ropovod TAL vedoucí až z italského přístavu Terst, kam tankery přivážejí ropu z celého světa. Německem IKL vede jižně od Řezna, pak se stáčí na sever a do České republiky vstupuje u Rozvadova. Prochází přes Tachovsko (Plzeňský kraj), kolem Krušovic (Středočeský kraj), až do Centrálního tankoviště ropy v Nelahozevsi. Odtud již ropa putuje do Kralup, případně do Litvínova ropovodem Družba. Technické údaje je převedeny v tabulce 13.

Tabulka 13. Technické údaje ropovodu IKL

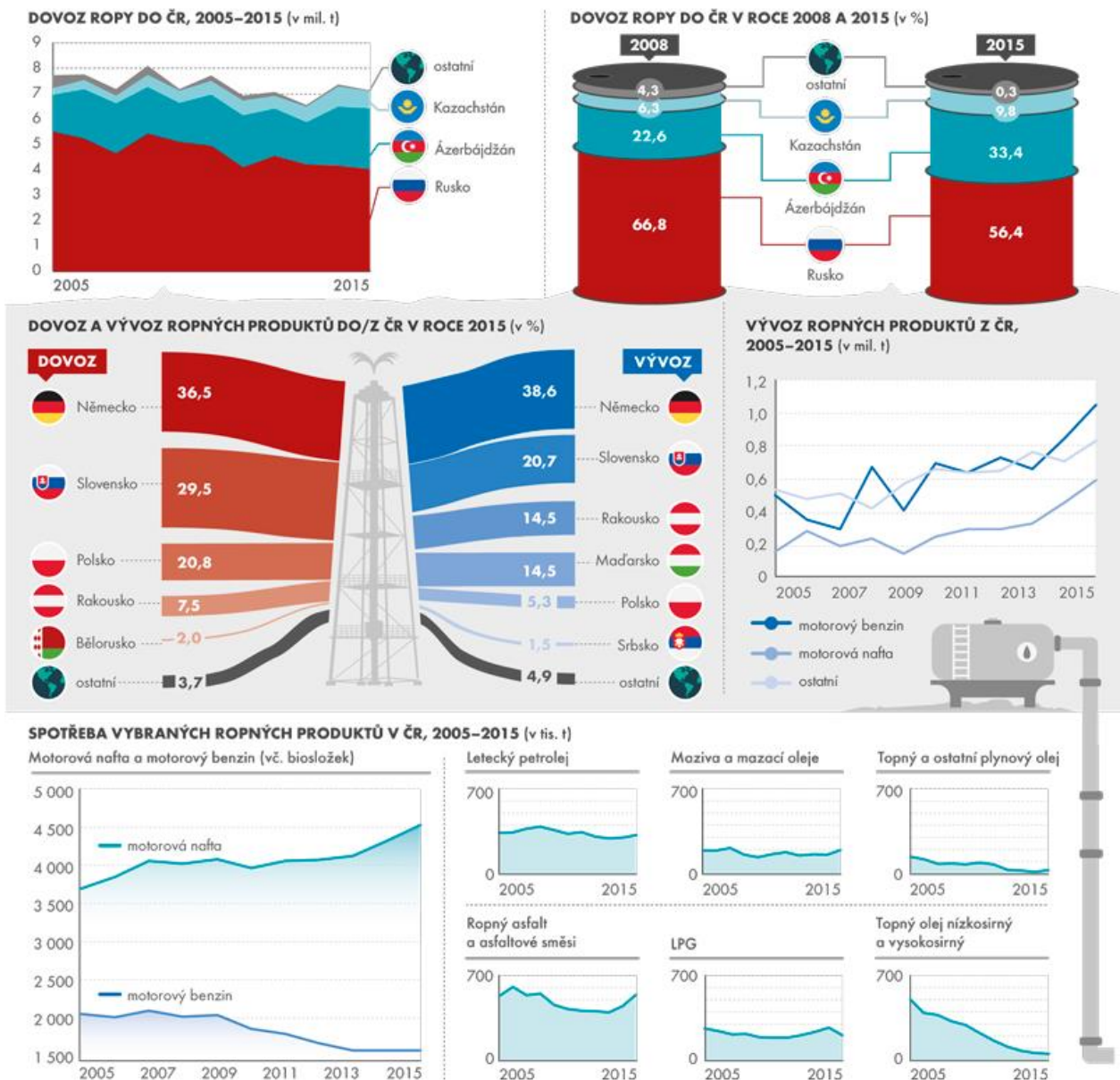
Celková délka trasy	347 km
Celková délka trasy v ČR	168 km
Přepravní kapacita za rok	10 mil. tun
Obsah ropovodu	cca 140 000 m ³
Rychlost proudění v potrubí	cca 0,5 - 1,2 m/s

Dále bude představena a znázorněna na obrázku 8 stručná informace o statistice ropy a ropných výrobků za rok 2015.

Dovoz ropy do ČR se uskutečnil v roce 2015 v celkovém množství 7 132,0 tis. tun (pokles o 3,2 % v porovnání s rokem 2014) s celkovou hodnotou 71,2 mld. Kč (pokles o 38,0 % proti roku 2014).

Doprava ropy do ČR byla v roce 2015 realizována převážně ropovody Družba (55,1 %) a IKL (44,9 %), částečně po železnici. Kolísání podílu přepravy jednotlivými ropovody v porovnání s předchozím obdobím souvisí se sjednanými dodávkami v množství a způsobu přepravy ze strany procesorů.

Celkový hmotný dovoz všech sledovaných rafinérských produktů do ČR činil za rok 2015 cca 3 632,6 tis. tun, což představuje oproti roku 2014 nárůst o 17,9 %. Za rok 2015 se z ČR vyvezlo celkem 2 563,5 tis. tun všech sledovaných druhů rafinérských produktů, což je o 25,3 % více než v roce 2014.



Obrazek 8. Vybrané ukazatele statistiky ropy a ropných produktů v letech 2005 až 2015 [20]

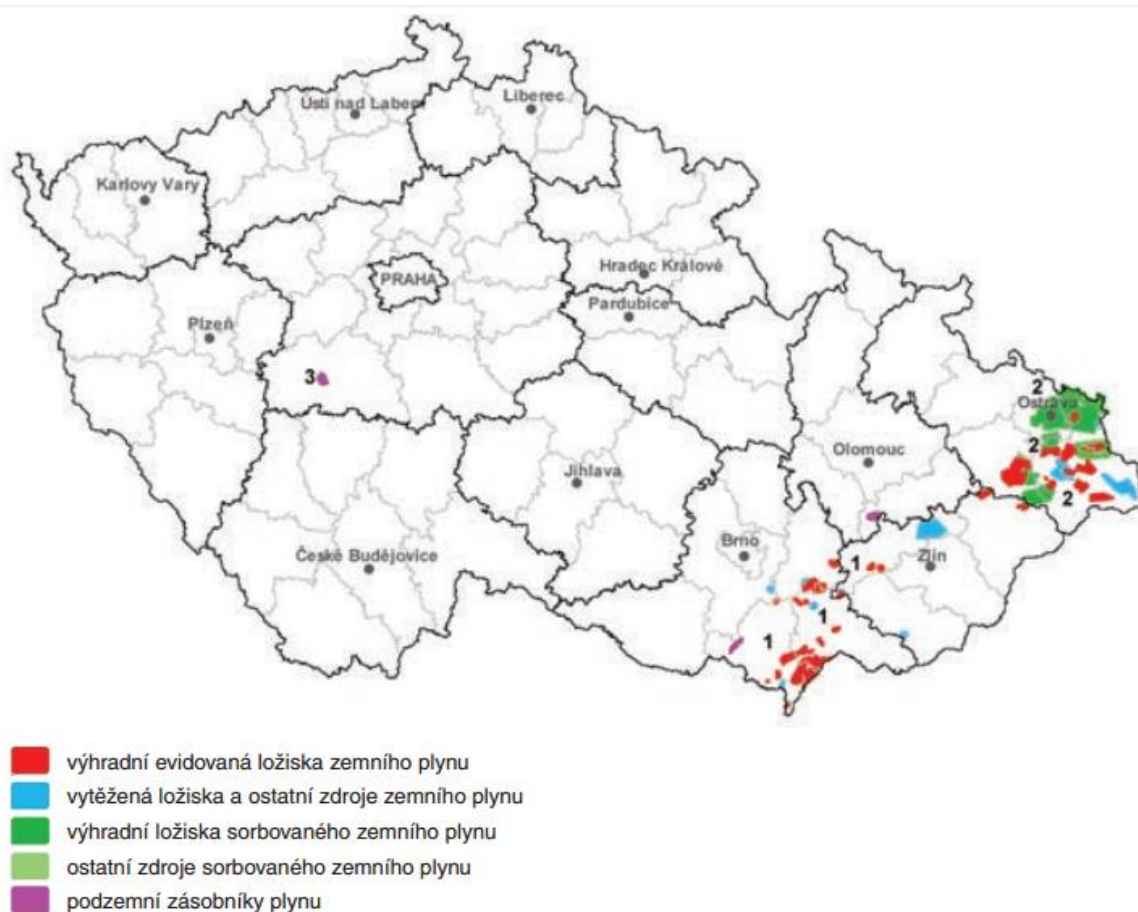
Významný nárůst dovozu proti roku 2014 byl zaznamenán u klasických motorových paliv (o 25,4 %), leteckého petroleje (o 11,1 %), aditiv a oxigenátů (o 35,6 %), LPG (o 11,0 %), lakových benzinů (o 59,6 %) a u maziv (o 33,0 %).

Významný pokles dovozu byl zaznamenán u plynových olejů (o 45,8 %), topných olejů vysokosirných (o 27,6 %) i nízkosirných (o 81,2 %), ostatních ropných výrobků (o 53,0 %) a primárního benzinu (o 58,5 %) [21].

4.2 Zemní plyn

Zemní plyn z velké většiny tvořen pouze metanem CH_4 často doprovází ložiska předchozích dvou fosilních paliv, především ropy. Zemní plyn se nahromadí i při rozkladu biomasy na uhlí či ropu nad ložiskem v případě, je mu znemožněno uniknout na povrch.

Díky masivní podpoře plynofikace v první polovině minulého desetiletí se zvýšila spotřeba zemního plynu z cca 6 mld. m^3 na 9,5 mld. m^3 . Na této úrovni se spotřeba zemního plynu pohybuje posledních 5 let. Svým odběrem se tak Česká republika podílí na celosvětové spotřebě zemního plynu 0,4 %. Obdobně jako u ropy se většina ložisek nachází v oblasti Jižní Moravy, zemní plyn se však nachází i v hornoslezské pánvi v podobě sorbovaných ložisek v uhelných slojích. Mapa ložisek plynů v ČR jsou zobrazeny na obrázku 9.



Hlavní ložiskové oblasti a podzemní zásobník plynu Příbram:

(názvy oblastí s těženými ložisky jsou uvedeny tučným písmem)

1 **oblast jižní Moravy**

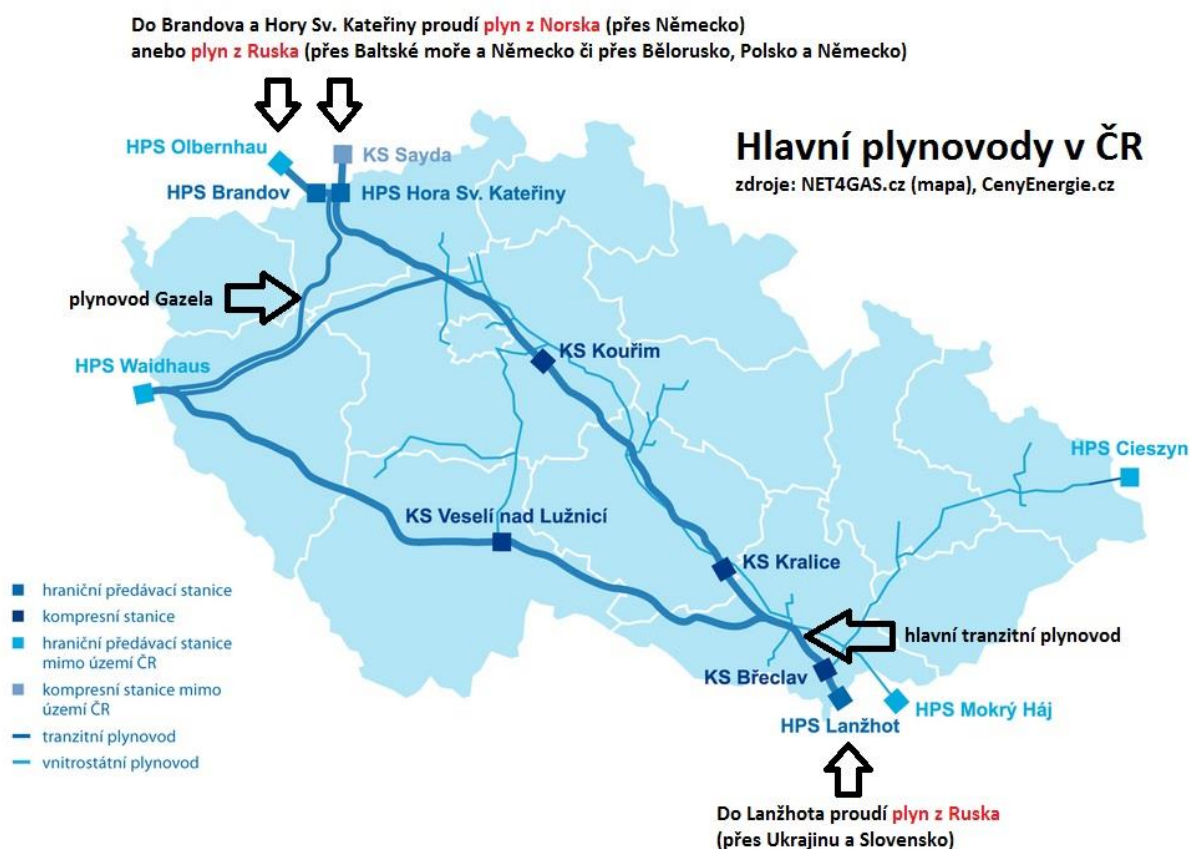
2 **oblast severní Moravy**

3 podzemní zásobník plynu Příbram

Obrázek 9. Evidovaná ložiska zemního plynu na území ČR (Zdroj: Česká geologická služba)

Počet těžených ložisek v rozmezí let 2009 až 2013 mírně poklesl, samotná těžba však výrazné změny v množství nezaznamenala a pohybuje se okolo hodnoty 200 milionů m³ za rok. Stejně jako v případě ropy nedosahuje tuzemská produkce ani jednoho procenta celosvětové. Společnosti, jež se v ČR věnují těžbě zemního plynu, jsou totožné s těžaři ropy. Lze k nim zařadit i společnost Green Gas DPB, a. s., která se věnuje těžbě důlních plynů v uzavřených dolech ostravsko-karvinského regionu a nákupu přebytečných plynů od těžařských společností operujících v dolech ještě aktivních.

Podobně jako ropu je nutné zemní plyn do ČR dovážet. Hlavním dodavatelem pro ČR je z Ruska s tranzitním plynovodem Tranzit (viz Obrázek 10). Malé množství zemního plynu se dováží přes Německo z Norska. Část plynu přecházejícího přes ČR jde do Německa a Francie. Celá Evropa je protkána poměrně hustou sítí plynovodů, které jsou zásobovány z východu (Rusko), z jihu a ze severu (v severním moři se nachází významné zásoby zemního plynu).



Obrázek 10: Mapa plynovodů vedoucí do ČR [22]

Výhradním provozovatelem přepravní soustavy v ČR je společnost NET4GAS, která dopravuje plyn pomocí plynovodů z Ruska a Norska dále do distribučních systémů regionálních distributorů. Plynárenská soustava je tvořena plynovody, předávacími stanicemi

(v ČR 86), kompresními stanicemi, regulačními stanicemi, podzemními zásobníky plynu a dále zařízeními upravujícími a čistícími plyn. Konečný spotřebitel tedy získává plyn od regionálních distributorů [16] [23] [22].

4.3 Sít čerpacích stanic v ČR a prodávaná paliva

Silniční infrastruktura zahrnuje i průběžné a bezpečné zásobování motorových vozidel kapalnými a plynými pohonnými hmotami. To se děje prostřednictvím čerpacích stanic kapalných pohonných hmot a plnicími stanicemi. Tato zařízení jsou lokalizována především v závislosti na úrovni hustoty sítě dálnic, silnic a ulic, hustoty provozu motorových vozidel a počtu obyvatel v regionu. Ochrana životního prostředí u čerpacích a plnicích stanic je zajišťována ve smyslu legislativních předpisu a technických norem [6].

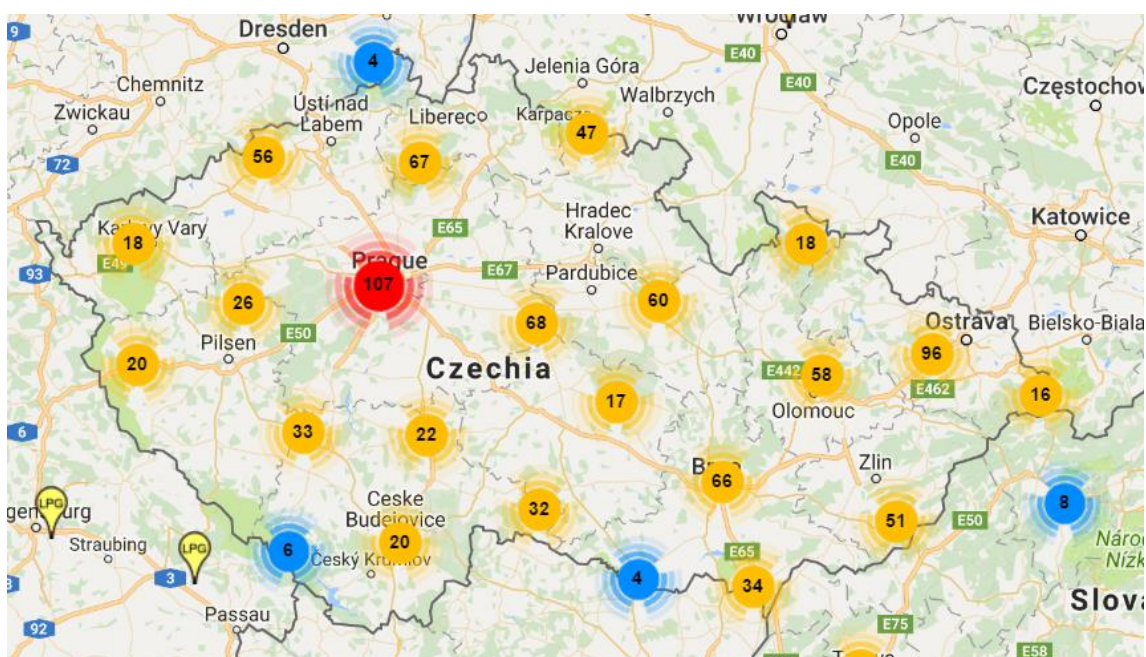
Přehled o počtu ČS kapalných pohonných hmot v ČR je znázorněn v tabulce 14. K 30.06.2016 na území ČR lokalizováno 7001 čerpacích stanic celkem, z toho je 3 891 stanic veřejných, 651 čerpacích stanic s prodejem vymezeným subjektům a 2 459 stanic neveřejných s výdejem pohonných hmot pouze pro vlastní potřebu.

Tabulka 14 Přehled o počtu ČS evidovaných na konci 1. pol. 2016, podle uvedeného členění [24]:

Veřejné čerpací stanice	
Celkový počet ČS	3 891
v tom: standardní vícedruhové ČS	2 810
pouze MONA a bionafty	470
pouze LPG	496
pouze CNG	93
ostatní ČS	22
Čerpací stanice s vymezeným přístupem	
Celkový počet	651
v tom: pouze MONA a bionafty	584
vícedruhové ČS, klasická paliva	46
ostatní ČS	21
Neveřejné čerpací stanice	
Celkový počet ČS	2 459
v tom: standardní vícedruhové ČS	2 394
pouze MONA a bionafty	44
pouze LPG	11
pouze CNG	6
ostatní ČS	4

V současné době jsou pro pohon automobilů nejvíce využívanými plyny LPG a zemní plyn, ten především stlačený – CNG, v menší míře pak zkapalněný – LNG.

Infrastruktura čerpacích stanic LPG v ČR je velmi kvalitní. Vzdálenost mezi jednotlivými čerpacími stanicemi je do 100 km, což je dobře potvrzuje mapa ČR na obrázku 11. V ČR jezdilo na LPG koncem roku 2014 okolo 200 000 vozidel. LPG se kromě pohonu automobilů používá i na topení a vaření, místo zemního plynu. LPG je dostupný ve specializované síti čerpacích míst, která jsou často spojena s klasickými čerpacími stanicemi pro benzín a naftu.



Obrázek 11. Mapa ČR LPG

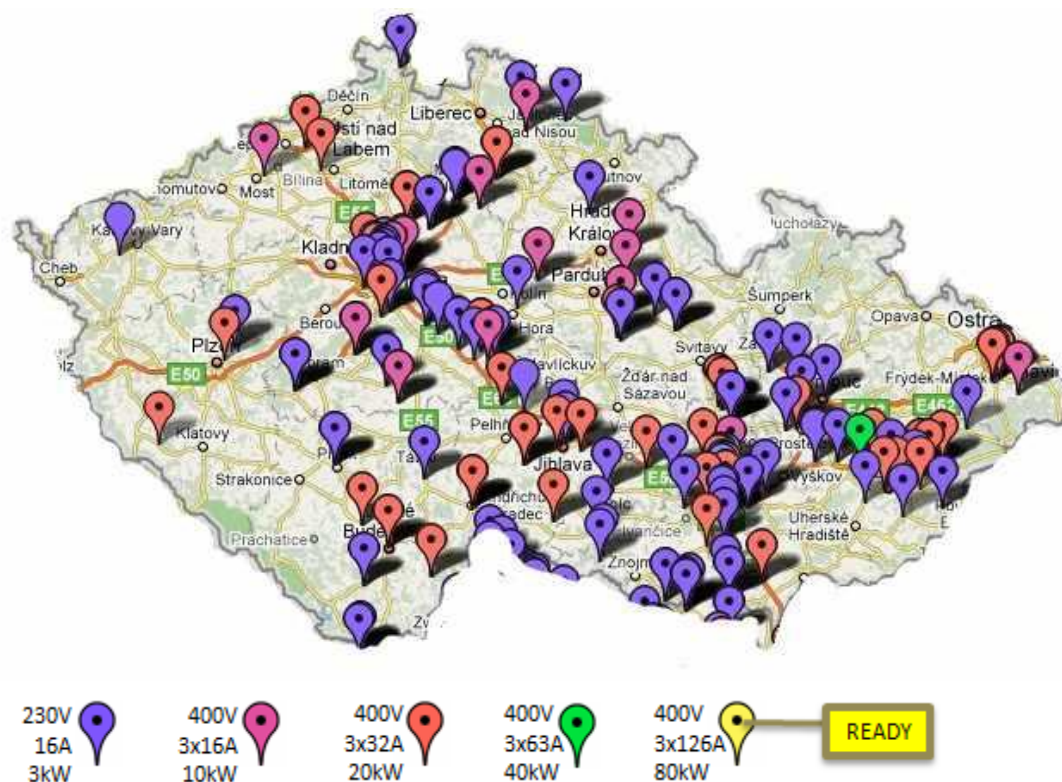
CNG je dostupný prostřednictvím specializované sítě stanic, kterých je v ČR zatím cca kolem 100 (viz obrázek 12). V Evropě se toto číslo blíží hodnotě okolo 1600. V současnosti je infrastruktura a počet CNG čerpacích stanic se zvyšuje. Da se říct, stanice jsou po ČR rovnoměrně rozmístěny. Pokud budeme mluvit o situaci v ostatní Evropě tak nejlépe je na tom Německo s Itálií, kde, již nyní mají více než 1000 CNG čerpacích stanic. V ČR podle posledních údajů jezdí na **CNG** cca 2 500 vozidel, celosvětově je to okolo 13 mil. vozidel, nejvíce v USA a Japonsku. V Evropě jich je nejvíce v Itálii, kolem 700 tisíc.



Obrázek 12. Mapa CNG čerpací stanice v ČR

Dnes v ČR existuje jediná čerpací stanice v ČR na LNG. Do pěti až deseti let by se měl LNG v ČR začít využívat velmi výrazně, a to zejména pro nákladní a autobusovou dopravu, a v roce 2030 se odhaduje, že bude u nás jezdit nejméně 1 300 LNG vozidel. Velkým lákadlem pro dálkovou dopravu je fakt, že vozy na LNG uspoří 25 procent nákladů na naftu. Největší výhodou LNG v dopravě je celkový dojezd vozidel až 1200 kilometrů [26].

V ČR jezdí v současné době přibližně 250 elektromobilů. Tomu je přizpůsobena i servisní síť, včetně dobíjecích stanic (viz obrázek 13). Těch veřejných je pro ně k dispozici více jak 200. Většinu z nich vlastní největší poskytovatelé elektrické energie, kterými jsou ČEZ, PRE, E.ON. a RWE. Dobíjecí stanice jsou rozmístovány do velkých měst a jejich okolí, neboť zde jezdí elektromobilů nejvíce. S dobíjecími stanicemi se tedy můžeme setkat v Praze, Brně, Ostravě, ale i Hradci Králové, Plzni, nebo Trutnově.



Obrázek 13. Mapa nabíjecích stanic [zdroj: PluginMap.eu]

Obsluha dobíjecí stanice je velmi jednoduchá. Elektromobil se připojí kabelem, vedoucím z dobíjecí stanice, do zástrčky ve voze, která je umístěna zhruba v místech, kde mají běžná vozidla palivovou nádrž. Většina dobíjecích stanic je samoobslužná. K jejímu aktivování a úhradě poplatku za dobítí, je potřeba mít čip, přidělený dodavatelem elektrické energie na základě zákaznické smlouvy. Poplatek je ale symbolický a je ve formě měsíční zálohy. Dobíjení u některých stanic je dokonce zdarma [29].

Infrastruktura čerpacích stanic na bionaftu je velice široká, a tudíž lze natankovat na většině čerpacích stanic.

V Česku je dnes jedna čerpací stanice na vodík ve středočeských Neratovicích. ČS po více než třech letech příprav otevřel Ústav jaderného výzkumu (ÚJV) v Řeži a společnost Linde Gas. Náklady na celý projekt byly tři miliony eur. Z toho milion stála pumpa, další milion vývoj a stavba vodíkového autobusu. Tři čtvrtiny nákladů pokryly dotace od státu a EU. Čerpací stanice dokáže plnit motorová vozidla plyným vodíkem o tlaku 350 bar. Stanice se skládá z dvoustupňového vodíkového kompresoru, který dosahuje svého nejvyššího plnicího tlaku 438 bar (při teplotě max 85 °C). Tohoto tlaku je dosaženo pomocí nového procesu High Booster Process (proces s dotlačovaným kompresorem). Celá kompresorová stanice je umístěna v železobetonovém kontejneru. Příslušné komponenty čerpací stanice jsou navrženy tak, aby její úprava na vyšší provozní tlak – až 1000 barů – byla snadno realizovatelná. Vodík je

skladován v nadzemním zásobníku o objemu 50 m³, pro vlastní čerpání vodíku do motorových vozidel pak slouží nízkotlaká, střednětlaká a vysokotlaká sekce [33].

4.4 Předpokládaný vývoj do roku 2030.

Hustota sítě čerpacích stanic kapalných motorových paliv je u nás vyšší než ve vyspělých evropských zemích. Počet čerpacích stanic bude stagnovat a nové se budou zřizovat na nových úsecích dálnic a rychlostních silnic. Nárůst se předpokládá v úrovni 200 lokalit a bude kompenzován uzavíráním neefektivních stanic na nevýznamných místech. Lze očekávat i růst tankovacích automatů, a to zejména v místech velké spotřeby a snadné kontroly.

Existují i návrhy na zřízení mobilních tankovacích stanic kapalných pohonných hmot. Významný trend bude však směřovat k rozšiřování sortimentu nabídky možnosti tankování a dobíjení vozidel. Lze proto považovat za perspektivní komplexní stanice nabízející tankování kapalných motorových paliv, plnění plyných paliv a dobíjecí stanice. Asi samostatně zůstanou plnicí stanice vodíku z důvodu bezpečné logistiky a skladování [6]. V ČR se předpokládá v letech 2010 až 2030 celková spotřeba energií pro dopravu uvedená v tabulce č 15.

Tabulka 15. Předpokládaná spotřeba energie pro dopravu [Zdroj: MPO, CAPPO]

Rok	2010	2015	2020	2025	2030
Celková spotřeba (PJ)	261,8	275,4	277,1	276,0	272,1

Celková spotřeba energií pro dopravu do roku 2020 ve srovnání s rokem 2010 vzroste o 5,8 % jako důsledek růstu počtu vozidel pro osobní dopravu a dopravních výkonů. Po roce 2020 bude spotřeba stagnovat a k roku 2030 poklesne o cca 2 % jako důsledek nasycení trhu a dominance vozidel s nízkou spotřebou [6].

5. Jízdní cyklus

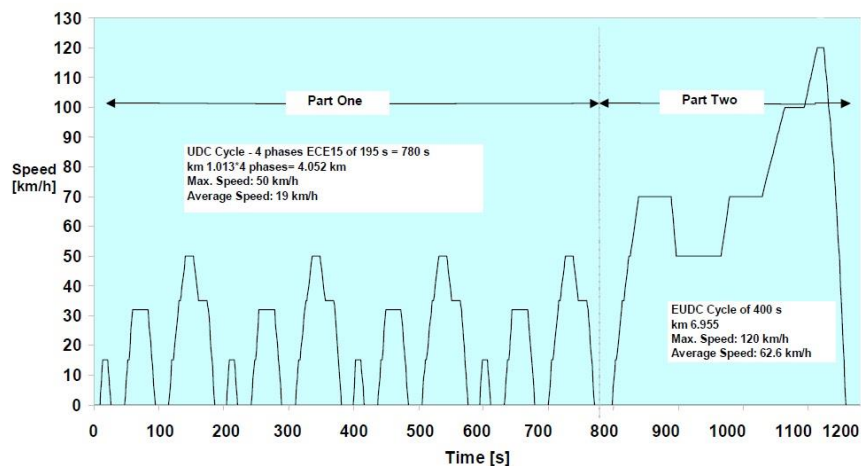
Předpisy o emisích vozidel byly poprvé zavedeny v EU v 60-70 letech. V té době byla vyvinuta první verze evropského jízdního cyklu pro testování vozidel v laboratorních podmínkách. Jízdní cyklus – virtuální cesta, pro kterou striktně předepsáno všechny zrychlení a zpomalení, jejich intenzitu a délku, maximální a minimální rychlost. Kromě vozu s manuální převodovkou dokonce stanoveno, že by měly být zahrnuty v každém okamžiku. Ve skutečnosti se jedná o napodobování pohybu ve městech a na dálnicích, specifické pro určitou lokalitu.

Hlavní metody jsou tři: evropské, americké a japonské. Za účelem vyloučení vlivu povětrnostních podmínek, terénu a kvality povlaku na konečné výsledky se zkoušky provádějí v laboratoři, na běžících bubnech. Proto se data získaná v takových podmínkách často liší od reálných. Tato narůstající mezera mezi oficiálními laboratorními a skutečnými emisními hodnotami na silnici negativně ovlivňuje spotřebitele (kteří vynakládají více na pohonné hmoty), vlády (jejichž daň z příjmu vozidel klesá), výrobci vozidel (kteří nemají rovné podmínky a ztrácejí důvěryhodnost) a společnost jako celek (snižování emisí nedosahuje cílů podle očekávání)

Ale pouze tímto způsobem je možné porovnat vlastnosti a parametry různých modelů co nejpřesněji. Výsledkem je uvolnění určitého množství částic a plynů, které během tohoto času vyhořelo. Pokud znáte množství emisí, můžete vypočítat množství paliva, které auto spotřebovalo [30].

5.1 NEDC cyklus

V této práci nás bude nejvíc se zabývat NEDC cyklus. Standardní jízdní cyklus NEDC (New European Driving Cycle), který se používá pro měření současných emisí osobních automobilů a spotřeby paliva v Evropě [5].



Obrázek 13. NEDC jízdní cyklus [5]

Tento cyklus měření se začal používat od 1. ledna 2000, popisuje pohyb ve městě a na dálnici. Na celém NEDC cyklu je navržen tak, aby předat vzdálenost 11 kilometrů asi za 20 minut. Průměrná měření rychlosti cyklu je 33,6 km/h; v průběhu celého cyklu provozuje 14 zastávek a zrychlení.

První část cyklu – městský cyklus UDC (Urban Driving Cycle) s maximální rychlostí 50 km/h, se skládá ze čtyř po sobě následujících cyklů simuluje podmínky a způsob jízdy městem. Nichž každá trvala 195 sekund, a ve vzdálenosti 1013 km. Během těchto testovacích podmínek vozidlo zrychluje na rychlost 18-32-50 km/h; průměrná rychlost 18,7 km/h.

Druhá část cyklu – vysokorychlostní cyklus EUDC (Extra Urban Driving Cycle) s maximální rychlostí 120 km/h simuluje podmínky jízdy na dálnici (400 sekund; 6.955 km; průměrná rychlost 62,6 km/h).

Během zkoušky jsou všechny výfukové plyny shromažďovány v sáčcích podle metody CVS. Hmotnostní frakce škodlivých látek, které jsou určovány na základě analýzy výfukových plynů odebraných do vaku v průběhu celého zkušební cyklu, se odkazuje na ujeté vzdálenosti. Specifické hmotnostní emise toxických látek určených tímto způsobem (v g/km) se porovnává s maximálních povolených norem.

Pro použití v praktické části nás budou zajímat z tohoto cyklu pouze zrychlení a zpomalení.

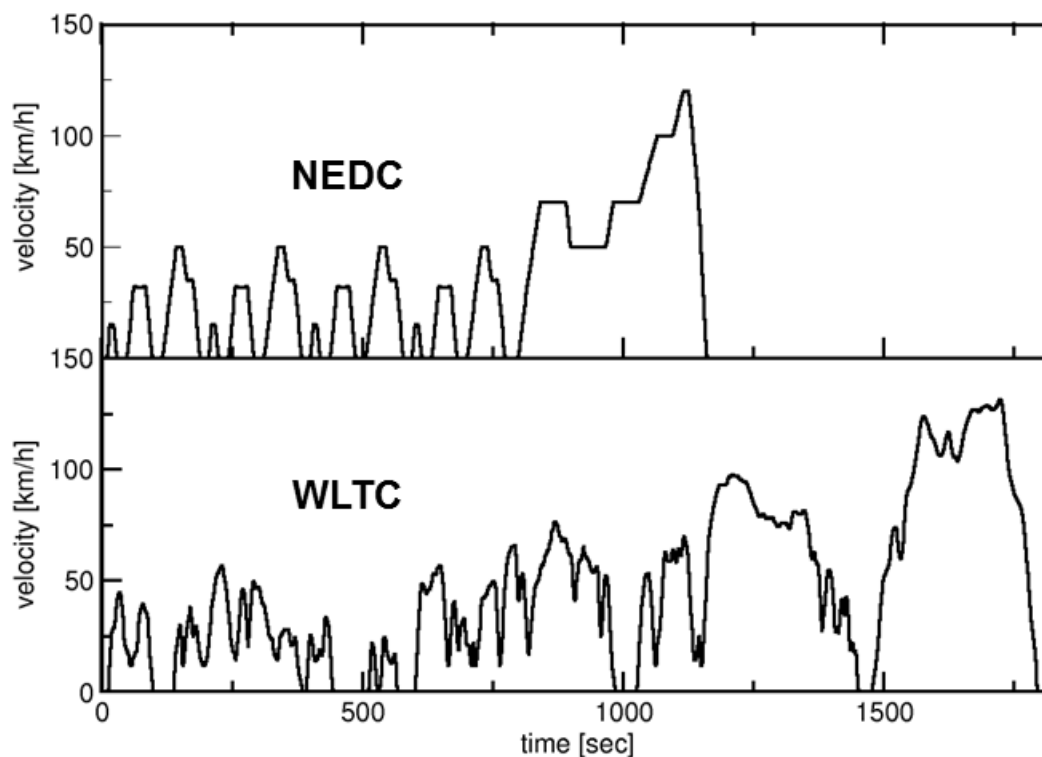
5.2 WLTC

Vývoj WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) cyklu byl prováděn v rámci programu zahájeného Světovým fórem pro harmonizaci předpisů pro vozidla Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (UNECE) prostřednictvím pracovní skupiny pro program znečišťování a přepravu energie (GRPE).

Cílem tohoto projektu bylo vyvinout celosvětově harmonizovaný zkušební cyklus lehkého provozu (WLTC), který by reprezentoval typické jízdní vlastnosti na celém světě, a měl by být základem legislativního celosvětového harmonizovaného certifikačního testu od roku 2017 [35]. Dále bude popsán rozdíl ve dvou evropských cyklů.

5.3 Porovnání NEDC a WLTC

Řídicí cyklus NEDC byl naposledy aktualizován na počátku sedmdesátých let minulého století. Cyklus špatně odráží moderní styl jízdy. Na druhou stranu stylizovaná jízda v NEDC zanechala malý prostor pro flexibilní testy. S WLTP bude zaveden nový jízdní cyklus WLTC. WLTC je vyvinuta tak, aby lépe odrážela moderní jízdu a je považována za náročnější, protože obsahuje (oproti cyklu NEDC) větší dynamiku a vyšší rychlost [34].



Obrázek 15 Rychlosti cyklů NEDC a WLTC [34]

Zavedení WLTP jako standardního postupu pro schvalování typu v EU přinese některé zásadní regulační změny oproti předchozím normám založeným na NEDC přístup. Některé z těchto změn budou mít dopad na emise CO₂ a hodnoty spotřeby paliva.

Následující tabulka popisuje hlavní parametry těchto dvou jízdních cyklů [30].

Tabulka 16. Parametry jízdního cyklu NEDC A WLTP

	Jednotka	NEDC	WLTC
Startovací teplota		studený	studený
Čas cyklu	s	1180	1800
Vzdálenost cyklu	km	11.03	23.27
Průměrná rychlost	km/h	33.6	46.5
Maximální rychlost	km/h	120.0	131.3
Počet zastávek		14	9
<i>Doba trvání</i>			
Zastavení	s	280	226
Plynulá jízda	s	475	66
Zrychlení	s	247	789
Zpomalení	s	178	719
<i>Podíl</i>			

Zastavení	m/s^2	23,7 %	12,6 %
Plynulá jízda	m/s^2	40,3 %	3,7 %
Zrychlení	m/s^2	20,9 %	43,8 %
Zpomalení	m/s^2	15,1 %	39,9 %
Průměrné Zrychlení	m/s^2	0,59	0,41
Minimální Zrychlení	m/s^2	1,04	1,67
Průměrné zpomalení	m/s^2	-0,82	-0,45
Minimální zpomalení	m/s^2	-1,39	-1,50

Porovnáním NEDC a WLTC lze provést následující pozorování [30]:

- **Studený start:** WLTC (1800 sekund a 23 km) je delší než NEDC (1180 sekund a 11 km). Řízení vozidla studeným motorem zvyšuje CO₂ díky vyššímu mechanickému tření a vyšším viskozitám kapaliny. Absolutní příplatek za start za studena v gramech CO₂ je téměř nezávislý na jízdním modelu. Tím se nárůst náběhu za studena s rostoucí vzdáleností cyklu snižuje. Podle WLTC je přidán příspěvek za studený start k celkovému výsledku emisí (v g CO₂/km nebo Litrů/100 km) je jen asi polovina přidaného příspěvku studeného startu v NEDC.
- **Zatížení vozidla:** WLTC dosahuje vyšších rychlostí (131,3 km/h místo 120 km/h) a má silnější akcelerační síly (v kombinaci s vyšší setrvačností vozidla) a čímž je v průměru vyšší zatížení vozidla než NEDC. Částečně proti tomu, účinnost motoru se typicky zvyšuje při zatížení motoru. Důvodem zvýšené účinnosti je to, že ztráty z tření a průtoku plynu jsou relativně nižší. To platí zejména pro současné technologie motoru, které mají poměrně nízkou účinnost při zatížení na NEDC. Pro budoucí vyspělé konstrukce motoru se očekává, že účinnost motoru se při těchto podmínkách nízkého zatížení zvýší více než při vyšších zatíženích, což způsobí, že WLTC je pro tyto pokročilé technologie vozidel náročnější. Takže současné motory mohou v WLTC poměrně lépe než vyspělejší motory s vyššími průměrnými zatíženími motoru.
- **Otáčky motoru:** Kromě zatížení motoru mají otáčky motoru přímý dopad na emise CO₂. Obecně platí, že vyšší otáčky motoru způsobují vyšší ztráty třením a čerpáním a zhoršují výkonost CO₂. Strategie řazení převodů pro automatické převodovky jsou proto navrženy tak, aby dosáhly nižších otáček motoru tím, že se rychleji přesouvají na nižší převodové poměry. V NEDC, vozidla s manuální převodovkou musí dodržovat přísné specifikace, které určují, na kterém místě v čase, musí být vybrán určitý polohy převodovky. Tento režim se změní v WLTP, kde budou body řazení převodů přizpůsobeny individuálním charakteristikám vozidla. Jelikož jsou body řazení WLTP zřetelně nižší než u NEDC, tato nová metoda sníží otáčky motoru u vozidel s manuální

převodovkou a bude mít za následek poměrně nižší emise CO₂ pro tato vozidla v WLTC.

- *Podíl zastávky:* V oblasti WLTC (12,6 % zastávky) existují méně zastávkových fází než v NEDC (23,7 % zastávky). Systémy Stop-start vypnout motor během fáze zastavení vozidla v ideálním případě – snížit emise volnoběhu na nulu. V technologii WLTP tato technologie bude mít za následek nižší úspory CO₂, než je tomu v současné době v NEDC.

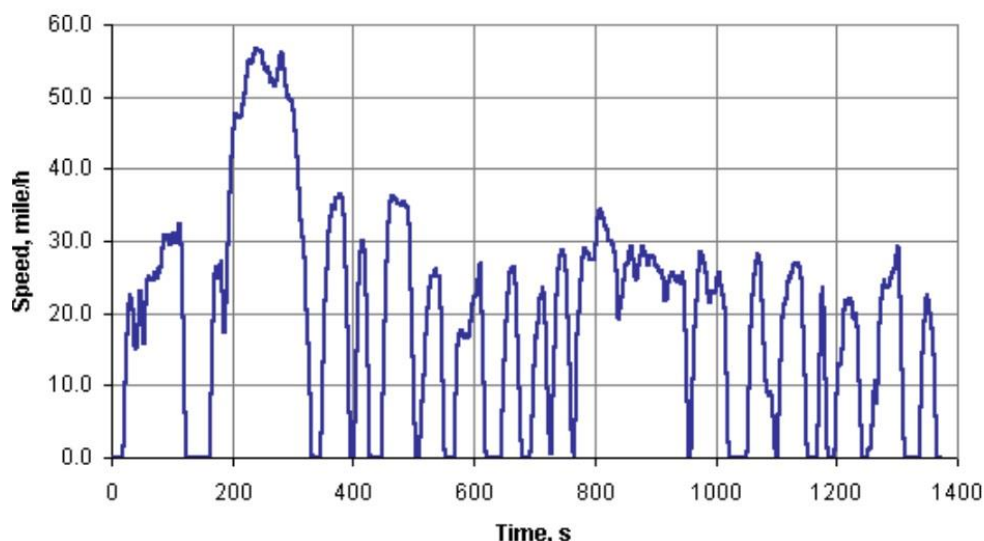
Dopad zavedení řídicího cyklu WLTC jako takového je malý ve srovnání s dopadem změn v testovacích podmínkách dynamometru v laboratoři. Studený start přináší další emise CO₂ v rozmezí od 60 g do 200 g. Příspěvek k emisím CO₂ pro schválení typu se liší podle délky zkoušky. V průměru 11 kilometrů testu NEDC dosahuje průměrný přínos studeného startu ve výši 80 g CO₂ za 7 g/km, ve vzdálenosti 23 km od testu WLTP, studený start přispívá méně než 4 g/km. Tento výsledek se může lišit od vozu k vozidlu, ale na WLTP je typický výsledek zvýšené délky testu o několik gramů na kilometr méně [30].

5.4 EPA FTP-75

FTP-75 (Federal Test Procedure) byl používán pro certifikaci emisí a testování spotřeby paliva lehkých užitkových vozidel ve Spojených státech. FTP-75 a FTP72 jsou dvě varianty programu EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS). Cyklus FTP-75 je odvozen od FTP-72 přidáním třetí fáze 505 s, identické s první fází FTP-72, ale s horkým start. Třetí fáze se spustí po zastavení motoru po dobu 10 minut. Celý cyklus FTP-75 tedy má následující základní parametry cyklu, které jsou zobrazeny v tabulce 17:

Tabulka 17. Základní parametry amerického cyklu FTP-75

Ujetá vzdálenost:	12.07 km (7.5 mi)
Trvání:	1369 sekund (fáze 1 505 s, fáze 2 864 s)
Průměrná rychlost:	31,5 km / h (19,6 m /h)
Maximální rychlost:	91,2 km / h (56,7 mi/h)
Fáze zahřátí:	0-505 s
Stabilizovaná fáze,	506-1372 s,
Průchodová fáze studeného startu	(teplota okolí 20-30 ° C), 0-505 s,



Obrázek 16. Americký cyklus FTP-75

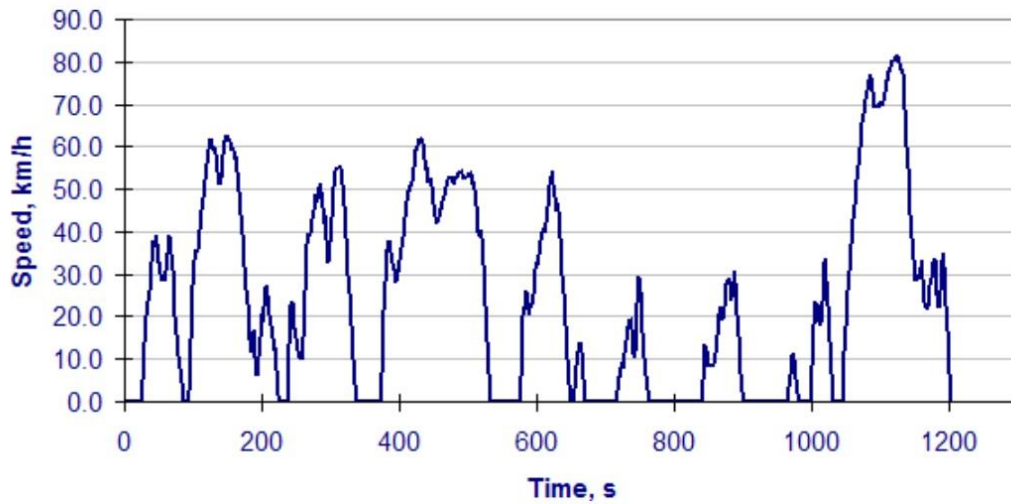
Emise z každé fáze se shromažďují v samostatném teflonovém vaku, analyzují se a vyjadřují se v g/mile (g/km). Váhové faktory jsou 0,43 pro studený start, 1,0 pro stabilizovanou fázi a 0,57 pro fázi horkého startu.

Je důležité si uvědomit, že vážení pytlů pro tři fáze jsou navrženy tak, aby simulovaly běh stabilizované fáze podruhé. To se provádí vážením druhé fáze, která je stejná jako celá první a třetí fáze. Samotný cyklus se tedy skládá pouze z první a druhé fáze, zopakuje se první fáze a druhá fáze se simuluje vážením pytlů. Hybridní vozidla jsou povinna skutečně spustit tuto čtvrtou fázi namísto simulace s vážicím vakem [36].

5.5 JC08

Japonská regulace emisí z roku 2005 zavedla nový zkušební cyklus dynamometru JC08 pro lehká vozidla (<3500 kg GVW). Test představuje jízdu v přetížené městské dopravě, včetně období volnoběhu a časté střídání zrychlení a zpomalení. Měření se provádí dvakrát, se studeným startem a s teplým startem. Zkouška se používá pro měření emisí a stanovení spotřeby paliva u benzinových i naftových vozidel.

Jízdní cyklus JC08 je schematicky znázorněn níže na obrázku 17.



Obrázek 17. Cyklus JC08 [32]

Níže v tabulce 18 jsou uvedeny vybrány parametry zkušebního cyklu JC08 [32]:

Tabulka 18. Základní parametry japonského cyklu JC08

Doba trvání:	1204 s
Celková vzdálenost:	8.171 km
Průměrná rychlost:	24,4 km / h (34,8 km / h bez volnoběhu)
Maximální rychlost:	81,6 km / h
Poměr zatížení:	29,7 %

Test JC08 byl plně zaveden od října 2011. V přechodném období byly emise stanoveny pomocí vážených průměrů z různých cyklů [32].

Praktická část

6. Cíle praktické části

V praktické části plánujeme využívat základy rozpracované v teoretické části. Námí byla vybraná varianta návrhu výpočtu energetické náročnosti v silniční dopravě. Daný matematicky výpočet bude dále použit pro implementace do programového rozhraní „JavaScript“ za účelem vytvoření funkčního výpočtového programu s jednoduchým ovládáním a širokým spektrem vypočtených veličin.

6.1 Jízdní odpory automobilu

Definováno je pět odporů, na jejichž překonání je E_K využita. Jsou to:

- odpor vnitřního tření – účinnost mechanismů η ,
- odpor valení O_f ,
- odpor vzduchu O_v ,
- odpor stoupání O_s ,
- odpor proti zrychlení O_z .

S výjimkou prvního odporu η jsou ostatní vyjádřeny jako síla [N]. Platí, že celkový odpor vozidla:

$$O_c = \frac{O_f + O_v + O_s + O_z}{\eta} \quad (19)$$

K jednotlivým odporům je možno připomenout:

Odpor vnitřního tření η $<0;1>$ nebo [%] je také definován jako účinnost mechanismů pohonu dopravního prostředku. Je součinem účinnosti jednotlivých stavebních prvků konstrukce (např. u automobilu: motor, spojka, rychlostní skříň, hřídele a klouby, diferenciál a kola).

Odpor valení O_f vzniká deformací kola ve styku s tratí, po které se odvaluje. V případě pneumatiky jde o deformaci pneumatiky. Energie potřebná k této deformaci a zpětné formaci je přeměněna na teplo a předána okolí.

Potom platí následující vztahy:

Součinitel valivého odporu

$$f_K = \frac{e}{r_d} \quad (20)$$

Odpor valení kola je

$$O_{fK} = Z_K \cdot \frac{e}{r_d} = z_K \cdot f_K \quad (21)$$

Celkový odpor valení je

$$O_f = f \cdot \sum Z_{Ki} = f \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (22)$$

G tíha vozidla [N]

α úhel podélného sklonu vozovky

Součinitel valivého odporu f_K je závislý na více faktorech, resp. vlastnostech pneumatiky. Mění se s rychlostí vozidla, typem pneumatiky, huštěním pneumatiky, teplotou prostředí, poměrem odvalování – smýkání apod. V tabulce 19 je převeden přehled vybraných součinitelů.

Tabulka 19. Vybrané součinitele f_K v závislosti na povrchu vozovky [6]

Povrch	f_K	Povrch	f_K
asfalt	0,01 – 0,02	travný terén	0,08 – 0,15
beton	0,015 – 0,025	hluboký písek	0,15 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,03	čerstvý sníh	0,20 – 0,30
makadam	0,03 – 0,04	bahnitá půda	0,20 – 0,40
polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

Odpor vzduchu O_V je aerodynamický odpor vozidla. Je tedy relativní silou k prostředí. Vzniká obtokem vzduchu kolem karosérie a vířením rotujících kol. Může nabývat i záporných hodnot, pokud rychlost vzduchu ve směru jízdy je vyšší, než rychlost vozidla (vítr v zádech). Výsledný O_V je vektorovým součtem síly větru a odporu ve směru jízdy. Platí následující vztah:

$$O_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_r^2 \quad (23)$$

O_V odpor vzduchu [N]

ρ hustota vzduchu (měrná hmotnost). Používá se hodnota $1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, avšak pro různé tlaky a teploty je nutno ji korigovat

S_x čelní plocha vozidla [m^2]. Získat ji lze více způsoby, řezem nebo projekcí a planimetrií

v rychlost proudícího vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]. Jde o vektor rychlosti vozidla a rychlosti větru. Pokud projíždí vozidlo v bezvětří, je rychlost vzduchu totožná s rychlostí vozidla. Pokud vane vítr, je třeba zjistit jeho směr i rychlost a tyto pak do výpočtu zahrnout.

c_x součinitel odporu vzduchu.

V následující tabulce 20 jsou uvedeny některé hodnoty c_x a S_x . Reálná hodnota c_x je zjišťována experimentálně. Nejčastěji ji lze zjistit umístěním vozidla ve větrném (aerodynamickém) tunelu.

Tabulka 20. Hodnoty c_x a S_x pro vybraná vozidla [6]

<i>Typ vozidla</i>	c_x	S_x
běžné osobní automobily	0,3-0,4	1,6-2,0
závodní vozy formule 1	0,7-1,1	0,7-1,3
nákladní automobil	0,8-1,1	4-7
nákladní automobil s návěsem	1,0-1,2	9
autobus	0,5-0,7	5-7

Odpor stoupání O_s je dán sklonem dráhy, po které se vozidlo pohybuje. V klesání nabývá záporné hodnoty. Je vektorovým součtem příčného a podélného sklonu dráhy. V rovině má nulovou hodnotu. Platí vztah:

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad (24)$$

kde

O_s odpor stoupání [N]

G tíha vozidla [N]

α úhel stoupání

Odpor proti zrychlení (setrvačnosti) O_z je součtem odporů proti zrychlení vozidla ve směru jízdy a odporů rotujících hmot proti jejich roztáčení. Může při zpomalení nabývat záporných hodnot. Při rovnoměrném pohybu má nulovou hodnotu. Platí následující vztah:

$$O_z = \left(m + \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} \cdot r_{Ki}} \right) \cdot \ddot{x} = O_{zp} + O_{zr} \quad (25)$$

O_z odpor zrychlení [N]

O_{zp} odpor zrychlení vozidla [N]

O_{zr} odpor zrychlení rotujících částí vozidla [N]

m hmotnost vozidla [kg]

J_k moment setrvačnosti rotujících částí [kg.m²]

r_d dynamický poloměr kol [m]

r_k poloměr rotujících částí [m]

6.2 Výpočet energetické náročnosti

**Definice: Energie je schopnost hmoty konat práci.
Je tedy mírou pohybu, což je pro dopravu důležité.**

Pro dopravu je zásadní E_K – kinetická energie. Všechny ostatní druhy a formy energií musí být k vykonávání dopravy přeměněny na tuto:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot mv^2 \quad (12)$$

Energie dodaná dopravnímu prostředku je zčásti využita dvěma způsoby, a částečně nevyužita. Využitá energie může být:

1) Přeměněna na kinetickou, která je dále využita pro pohon dopravního prostředku.

2) Využita infrastrukturou dopravního prostředku. Infrastrukturou se rozumí příslušenství, které zajišťuje řízení a provoz vozidla. Zatímco primitivní dopravní prostředky měly nároky na tento druh využití energie nulový, moderní prostředky jsou stále náročnější. Odhaduje se, že moderní automobily užívají energii k řízení systému a komfortu cestujících v rozmezí 3–10 %. Je-li dodaná energie využita ještě k funkci jiného zařízení (např. pohonu technologických výbav speciálních vozidel), může být rozmezí ještě širší.

Kinetická energie podle bodu 1 je zcela využita na překonání jízdních odporů. Dále v 6.3 budou popsány odpory vozidla a vztahy, které platí.

Výkon motoru P_m [W] je veličina, která bývá u dopravních prostředků zajišťována různými metodami. Metody zjišťování a výpočty jsou uvedeny v odstavci popisujícím spalovací motor. Chceme-li vyjádřit, jaká část výkonu P je spotřebována pro překonání kteréhokoliv jízdního odporu, postačí tento násobit rychlostí vozidla. Platí tedy:

$$P_{O_i} = O_i \cdot v, \quad (13)$$

kde

P výkon [W],

O_i jízdní odpor [N],

v rychlost vozidla [m.s⁻¹].

Chceme-li vyjádřit, jaká energie je vynaložena na překonání kteréhokoliv jízdního odporu, postačí výkon vynásobit časem působení. Platí tedy:

$$E_{O_i} = P_{O_i} \cdot t, \quad (14)$$

kde

E energie [W.s], [kWh],

P výkon [W],

t čas [s].

K otestování matematického výpočtu byla vybrána trasa s Prahy, Jenštejnská 1 do Poděbrad, Labská 184. Trasa obsahuje městský a mimoměstský jízdní cyklus. Ale pro ověření postupu definujeme na začátku pouze střední rychlost. Vzdálenost mezi místem odjezdu a cílovou destinací byla načtená s internetu, prostřednictvím „GoogleMaps“. Dále budou převedené výpočty spotřebované energii na tuto cestu a také výpočet energie potřebné na dovoz paliva k místu odjezdu.

Cesta autem z Prahy, Jenštejnská 1 do Poděbrad, Labská 184.

Vzdálenost 60,5 km

Celkový čas 0,757 h = cca. 45 min

Střední rychlost 80 km/h

Počítáme s tím, že stoupaní se vyrovná a auto celou cestu jede se střední rychlostí.

$$F = O_f + O_v \quad (15)$$

$$F = G \cdot f + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x S_x v^2 \quad (16)$$

G – tíha vozidla s cestujícími, v daném případě počítáme s vozidlem Škoda Octavia universal. Pohotovostní hmotnost je 1305 kg + 80 kg váha řidiče.

$$G = 1\,385 \cdot 9,81 = 13\,586,85 \text{ [N]}$$

f = 0,02 – součinitel odporu valení pro asfalt,

c_x = 0,3 – součinitel odporu vzduchu,

S_x = 1,6 – čelní plocha vozidla

ρ = 1,25 kg.m⁻³ - hustota vzduchu

$$F = 13586,86 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 1,25 \cdot 0,3 \cdot 1,6 \cdot (80/3,6)^2 = 419,5892 \text{ [N]}$$

Výkon:

$$P = F \cdot v_{str} \quad (17)$$

$$P = 419,5892 \cdot (80/3,6) = 6\,180,42 \text{ W} = 6,18042 \text{ [kW]}$$

Energie:

$$E = P \cdot t \quad (18)$$

$$E = 6,18042 \cdot 0,757 = 4,6786 \text{ [kWh]}$$

Energie potřebná pro přepravu paliva z rafinerie do čerpací stanice

Kamion s nákladem má přibližnou hmotnost 40 tun (30 tun palivo + 10 tun váha kamionu) a střední rychlost 80 km

Z Kralup nad Vltavou do Prahy. Vzdálenost: 31,6 km

Celkový čas 0,404 h = cca. 24 min

Střední rychlost 80 km/h

$$G = 40\,000 \cdot 9,81 = 392\,400 \text{ [N] s nákladem}$$

$$G = 10\,000 \cdot 9,81 = 98\,100 \text{ [N] bez nákladu}$$

$$f = 0,02$$

$$c_x = 1,2;$$

$$S_x = 9;$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$F = G \cdot f + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x S_x v^2$$

$$F = 392\,400 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot (80/3,6)^2 = 7\,848 + 3\,332,67 = 11\,180,67 \text{ [N] s nákladem}$$

$$F = 98\,100 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot (80/3,6)^2 = 1\,962 + 3\,332,67 = 5\,294,67 \text{ [N] bez nákladu}$$

$$P = F \cdot v_{str} \quad P = 11\,180,67 \cdot (80/3,6) = 248\,434,4874 \text{ [W]} = 248,44 \text{ [kW] s nákladem}$$

$$P = 5\,294,67 \cdot (80/3,6) = 117\,647,5674 \text{ [W]} = 117,65 \text{ [kW] bez nákladu}$$

$$E = P \cdot t \quad E = 248,44 \cdot 0,404 = 100,37 \text{ [kWh] s nákladem}$$

$$E = 117,65 \cdot 0,404 = 47,53 \text{ [kWh] bez nákladu}$$

Součet

$$E = 100,37 + 47,53 = 147,9 \text{ [kWh]}$$

Uvedený výsledek nám definuje, že zvolený postup byl vybrán správně. Proto v následující části se budeme věnovat návrhu algoritmu a jeho implementaci za účelem vypracování výpočtového programu.

6.3 Návrh algoritmu a definice proměnných

Cílem bylo vytvořit obslužnou aplikaci pro výpočet energetických parametrů. Blokova schéma této aplikaci je vyobrazena na obrázku 18. Než přistoupíme k popisu samostatné

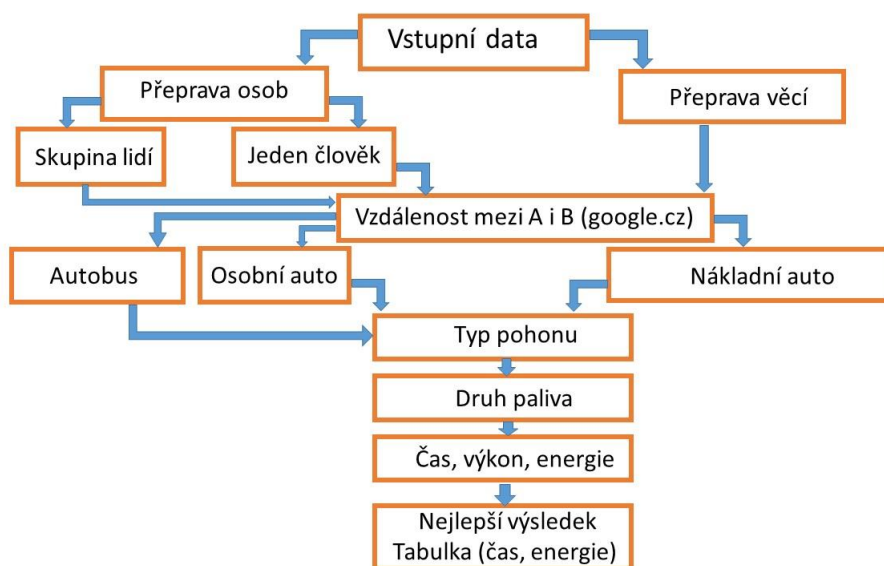
aplikací, je třeba uvést jaké vstupní a výstupní hodnoty je třeba při obsluze uvést ke zpracování.

Vstupy:

- Místo odjezdu a cílová destinace.
- Pohybové konstanty.
- Parametry vozidla.
- Počet osob.
- Hmotnost nákladu.
- Lokace rafinerií (Kralupy nad Vltavou)

Výstupy:

- Vzdálenost mezi místem odjezdu a cílovou destinací (načítá se s GoogleMaps).
- Informace o jednotlivých úsecích na trase, obsahující vzdálenost, čas a rychlost (načítá se s GoogleMaps).
- Čas, výkon, energie, spotřeba paliva vypočtené na základě střední rychlostí.
- Čas, výkon, energie, spotřeba paliva vypočtené z jednotlivých úseků.
- Energie potřebná pro dovoz 30 tun paliva k místu odjezdu a cestu zpět bez nákladu.
- Energie potřebná na dovoz spotřebovaného paliva k místu odjezdu.
- Celková energie na cestu.



Obrázek 18. Blokové schéma algoritmu [zdroj: vlastní]

Návrh aplikace

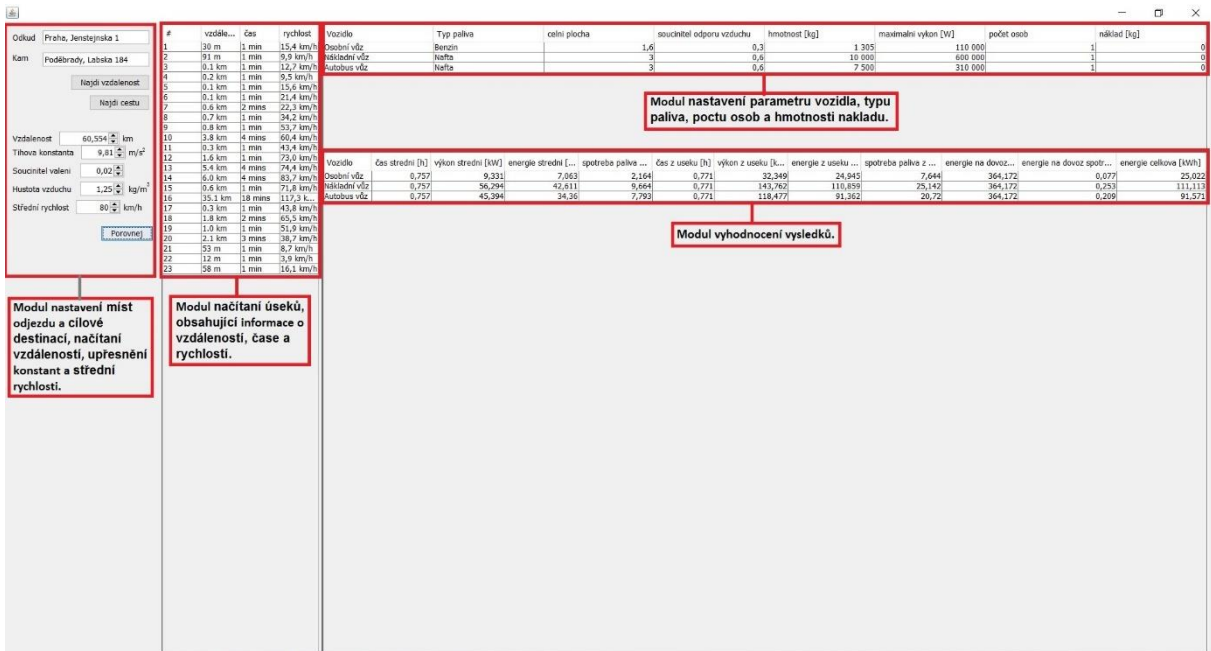
Vzhledem k tomu, že matematické vzorce používané pro výpočet parametrů jsou stejné, jako v analytickém výpočtu není třeba je uvádět znovu. Před tím, než se započne nový výpočet, je třeba správně nastavit použité parametry. K tomu v aplikaci slouží panel nastavení, který je vyobrazen na obrázku 19 a 20.

#	vzdálenost	čas	rychlost	Vozidlo	Typ paliva	celní plocha	součinitel odporu vzduchu	hmotnost [kg]	maximální výkon [W]	počet osob	náklad [kg]
1	30 m	1 min	15,4 km/h	Osobní vůz	Benzin	1,6	0,3	1 305	110 000	1	0
2	91 m	1 min	9,9 km/h	Nákladní vůz	Nafta	3	0,6	10 000	600 000	1	0
3	0,3 km	1 min	15,7 km/h	Autobus vůz	Nafta	3	0,6	7 500	310 000	1	0
4	0,2 km	1 min	9,5 km/h								
5	0,1 km	1 min	15,6 km/h								
6	0,1 km	1 min	21,4 km/h								
7	0,6 km	2 min	22,3 km/h								
8	0,7 km	1 min	34,2 km/h								
9	0,8 km	1 min	53,7 km/h								
10	3,8 km	4 min	60,4 km/h								
11	0,3 km	1 min	43,4 km/h								
12	1,6 km	1 min	73,0 km/h								
13	5,4 km	4 min	74,4 km/h								
14	6,0 km	4 min	63,7 km/h								
15	0,6 km	1 min	71,8 km/h								
16	25,1 km	18 min	137,2 km/h								
17	0,3 km	1 min	43,8 km/h								
18	1,8 km	2 min	65,5 km/h								
19	1,0 km	1 min	25,8 km/h								
20	2,1 km	3 min	38,7 km/h								
21	32 m	1 min	8,7 km/h								
22	19 m	1 min	3,8 km/h								
23	58 m	1 min	16,1 km/h								

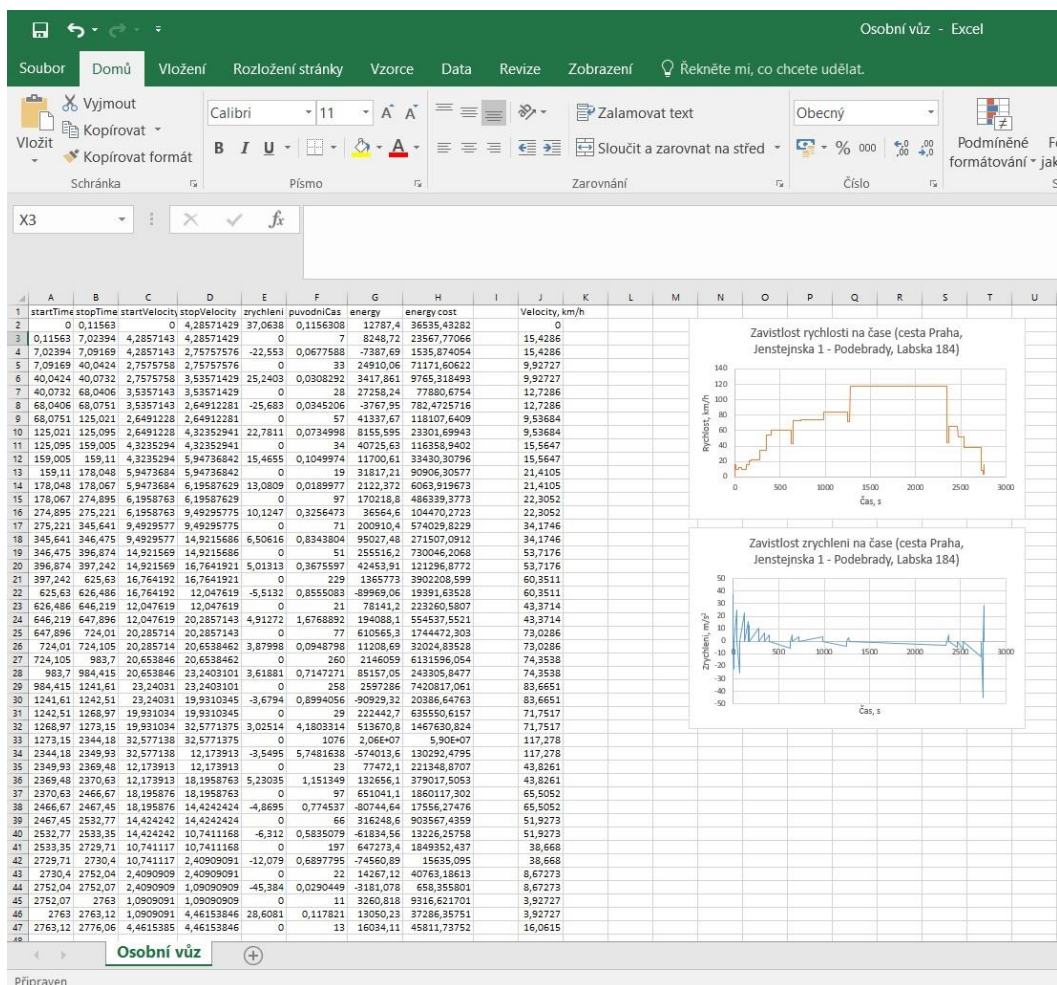
Obrázek 19. Hlavní okno programu [zdroj: vlastní]

Jakmile je vše nastaveno, je možné vytvořit nový výpočet a načíst vzdálenost a informace o úsecích z GoogleMaps. Aplikace nepřetržitě ukládá naměřené a vypočtené hodnoty do textového souboru ve formátu txt.

Daný soubor bude obsahovat informace o změně rychlosti a zrychlení na jednotlivých úsecích cesty. Tyto data pak je možné exportovat do Excelu, kde tyto mohou být prezentované v grafické podobě (viz obrázek 21).



Obrázek 20. Panel nastavení a vyhodnocení s jednotlivými prvky [zdroj: vlastní]

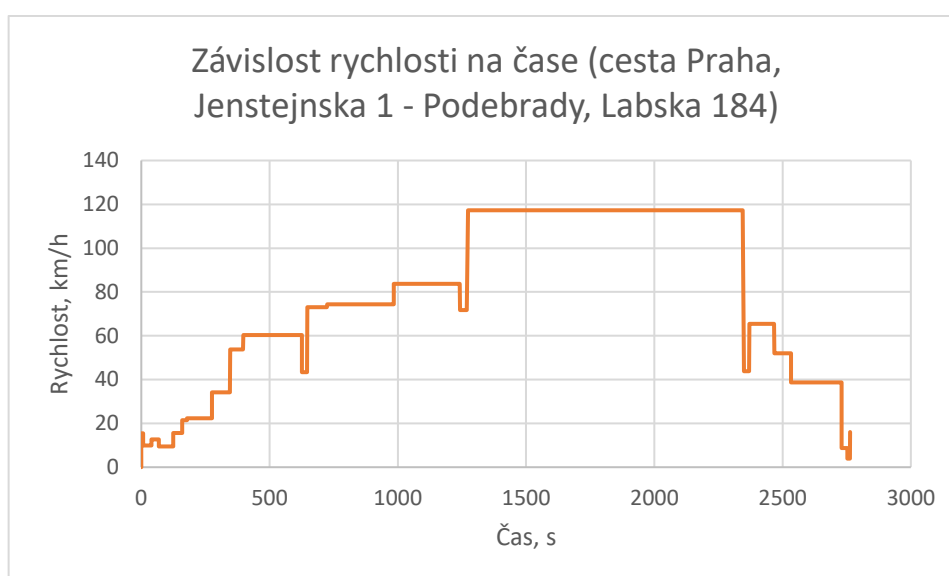


Obrázek 21. Příklad vygenerovaného souboru ve formátu xlsx [zdroj: vlastní]

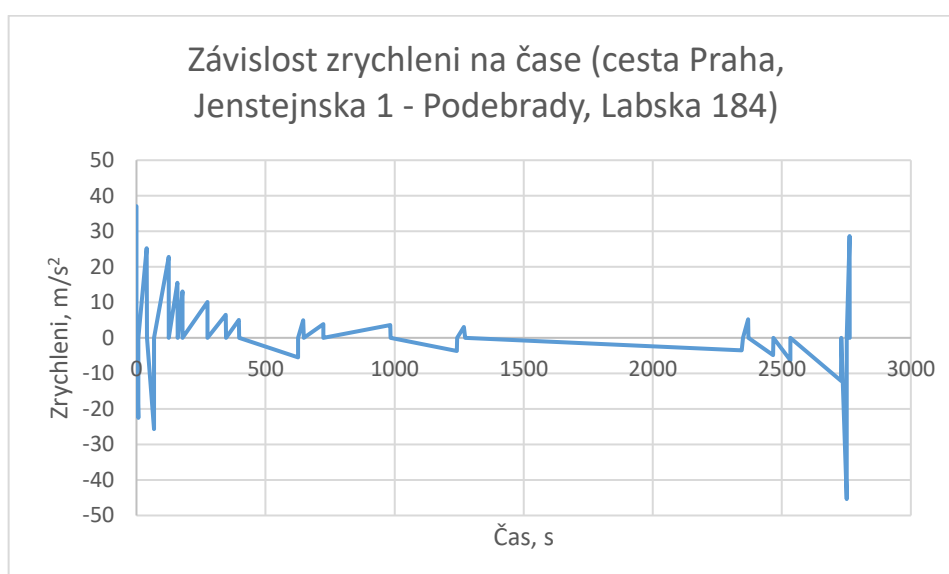
S příkladů vygenerovaných souboru je vidět, že se dá provést implementace algoritmu z blokového schématu (obrázek 19) do hotového programu. Tento způsob dovoluje zjednodušené a zrychlené provést výpočty energetických parametrů a porovnat je se středními hodnotami. Tyto parametry lze dále použít pro další analýzy.

6.4 Verifikace zkušebního programu

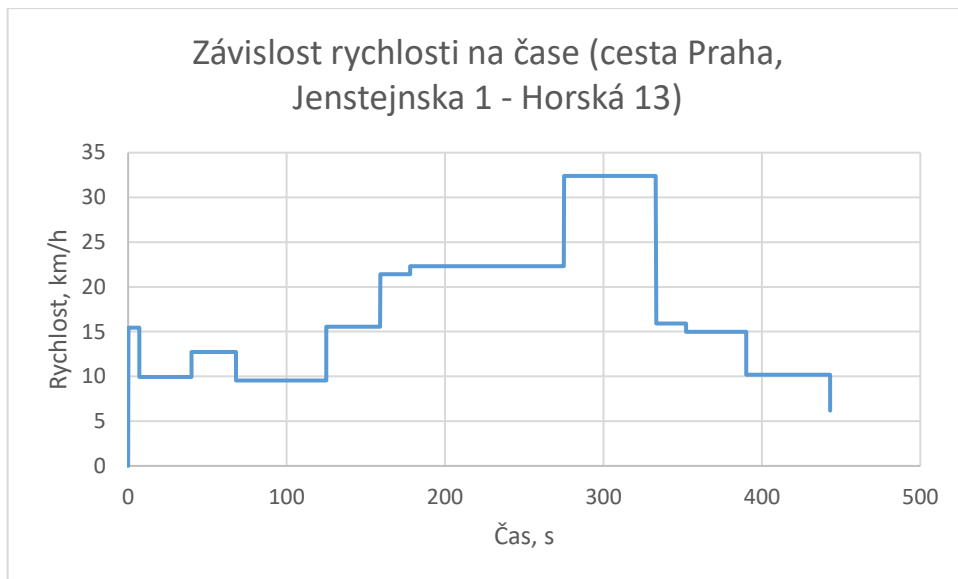
Korektní výpočet vyžaduje verifikaci zkušebního programu, který byl provedený na konkrétním příkladě cest z Prahy, Jenštejská 1 do Poděbrad, Labská 184 a druhá cesta z Prahy, Jenštejská 1 do Prahy, Horská 13. Která je graficky prezentovaná na následujících obrázcích.



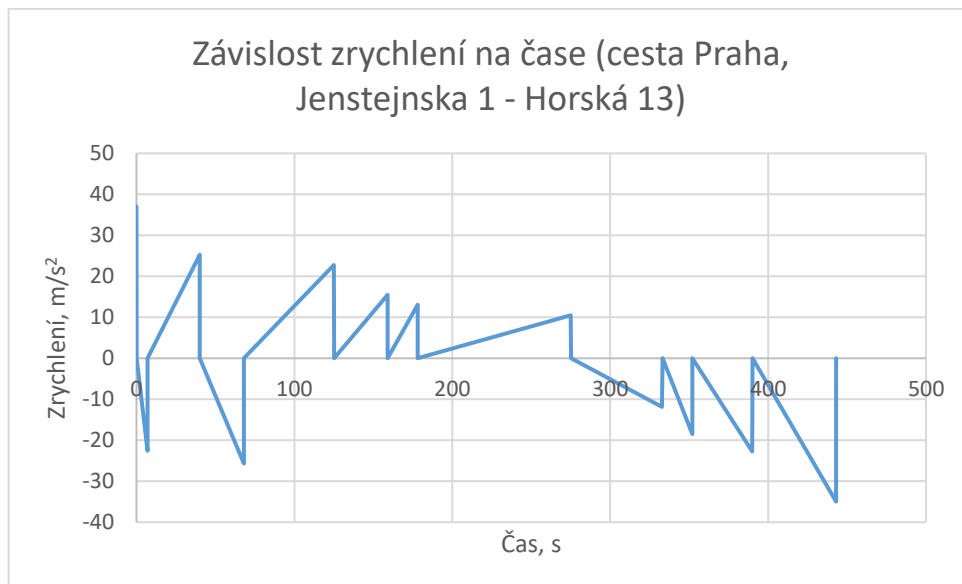
Obrázek 22. Závislost rychlosti na čase, trasa 1



Obrázek 23. Závislost zrychlení na čase, trasa 1



Obrázek 24. Závislost rychlosti na čase, trasa 2



Obrázek 25. Závislost zrychlení na čase, trasa 2

Závislostí na obrázcích dobře reprodukuje stejné grafy, které byli prozkoumané v teoretické části pro městský a mimoměstský jízdní cyklus.

7. Závěry

Cílem diplomové práce bylo provést rozbor existujících druhů pohonů, z hlediska jejich využití v silniční dopravě. Tento aspekt byl dobře rozpracován v teoretické části diplomové práce, kde byli popsány druhy pohonů, které se běžně používají v silniční dopravě a také uvedeny jejich výhody a nevýhody.

V další kapitole byl proveden popis spotřebních druhů paliv, z hlediska jejich výroby, přepravy a využití v silničních vozidlech. Obsah této kapitoly je velmi důležitý pro pochopení vlastností jednotlivých druhů paliv a souvisejících s tím nevýhod a komplikací některých technologických a transportních procesů.

Diplomová práce obsahuje dobře provedené hodnocení dostupnosti energetických zdrojů na území České republiky, které slouží k pochopení, jakými zdroji my ve skutečnosti disponujeme, bez toho abychom museli pro něj někde dojíždět, nebo vyrábět.

Všechny poznatky v teoretické části slouží navazujícím můstkem k řešení praktických úkolů dané práci. Cíle praktické části byli návrh algoritmu výpočtu energetických charakteristik, jeho implementace do programního rozhraní „JavaScript“ a verifikace výsledků výpočtů na skutečných příkladech.

V teoretické části, byli podrobně zpracovány všechny potřebné informace, které se týkají využívání silničních vozidel z hlediska pohonu, spotřeby paliv, jízdních cyklů, energetické náročností a také bezpečností.

Na základě teoretických poznatků a skutečných vstupních dat z konkrétních měření spotřebované energií, byl v praktické části navržen výpočtový model, který simuluje spotřebu energie na vybrané trase z místa odjezdu do cílové destinace na Evropském území.

Vzhledem k tomu, že byl tento výpočet a jeho návrh verifikován na konkrétním příkladě, lze konstatovat, že cíle práce byly splněny.

Uvedený výpočtový program je rychlý, jednoduchý k ovládnutí a ukládání dat a lze ho použít, jako praktický výstup, přímo v provozování silniční dopravy.

Daný program je dobrým základem pro další dopočítávání parametrů, vzhledem k tomu, že je otevřený pro jakékoliv další vstupy.

Výhodou tohoto programu je, že ho může využívat široká škála uživatelů. Výpočet lze využít jako predikci pro bezpečný provoz na silnicích. Z toho důvodu, že lze do tohoto výpočtu zahrnout i další aspekty, které se týkají efektivity použitých dopravních prostředků, lze předpokládat, že se vyloučí i rizika související s přepravou osob nebo věcí.

8 Seznam použité literatury:

- [1] VLK, F. Automobilová technická příručka, Brno, 2003, 791 s., ISBN 80-238-9681-4 (váz.)
- [2] JAN HROMÁDKO.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Grada Publishing, Praha, 2012, 160 s., ISBN 978-80-247-4455-1.
- [3] VLK, F. Alternativní pohony motorových vozidel, dostupné z:
<http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>
- [4] DANIELA VYSLOUŽILOVÁ: Energetická a surovinová náročnost v dopravě. Možnosti zmírnění negativních vlivů dopravy Metodická příručka Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i., Praha, 2015
- [5] EDWARDS, R.: European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy: Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context WELL-to-WHEELS Report Version 3c, July 2011.
- [6] doc. ING. VLADIMÍR ADAMEC, CSC. MGR. J. BAKEŠ DOC. ING. L. BENEŠ Vize silniční dopravy v roce 2030, srpen 2010
- [7] MATĚJOVSKÝ V.: Automobilová paliva. Grada Publishing, Praha, 2005, 224 s., ISBN 80-247-0350-5.
- [8] VLK, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, Brno, 2006, 376 s., ISBN 80-239-6461-5.
- [9] Automobilové benziny dostupné z:
<http://www.egenergie.com/ropne-produkty/automobilove-benziny/>
- [10] JAN ŽÁKOVEC.: Využití plynných paliv v dopravě. GAS s.r.o., Praha, 2001, ISBN 80-86176-86-X.
- [11] Alkoholová paliva pro udržitelnou dopravu OPET Czech Republic – OPET CR, Praha 2001, Organizace na Podporu Energetických Technologí dostupné z:
https://www.tc.cz/files/istec_publications/alkoholova-paliva.pdf
- [12] Možnosti energetického využití biomasy. Ukázka praktických opatření z Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012–2020.
- [13] ŠEBOR, G., POSPÍŠIL, M., ŽÁKOVEC, J.: Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě [online]. Praha, červen 2006. Citováno dne: 2010-05-17.
Dostupné z: <<http://www.kraj-lbc.cz/public/doprava/prezentace07/pdfs/12b.pdf>>
- [14] Josef Laurin, Rostlinné oleje jako motorová paliva dostupné z:
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/roslinne-oleje-jako-motorova-paliva>
- [15] Vladimír Kočí Problematika posuzování životního cyklu biopaliv, dostupné z:
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-posuzovani-zivotniho-cyklu-biopaliv>
- [16] Jiří Škorpík, Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady
- [17] Ropovod IKL, dostupné z: <http://www.mero.cz/ikl/>
- [18] Ing. JAN ZAPLATÍLEK, Zásobování České republiky ropou, dostupné z:

<http://www.pro-energy.cz/clanky2/4.pdf>

[19] Zásoby a přeprava ropy v České republice, dostupné z:

<http://oenergetice.cz/ropa/zasoby-preprava-ropy-v-cr/>

[20] Do ČR proudí nejvíce ropy z Ruska dostupné z:

<http://www.statistikaamy.cz/2016/10/do-ceske-republiky-proudi-nejvice-ropy-z-ruska/>

[21] Ropa a ropné produkty za rok 2015, Bilanční přehled za rok 2015, dostupné z:

<https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/ropa-ropne-produkty/ropa-a-ropne-produkty-za-rok-2015--179192/>

[22] Plynárenství v ČR – dodávka plynu a základní statistiky, dostupné z:

<http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/plynarenstvi-v-cr-dodavka-plynu-zakladni-statistiky/>

[23] Těžba ropy a zemního plynu v České republice – historie a současnost, dostupné z:

<http://oenergetice.cz/ropa/tezba-ropy-a-zemniho-plynu-v-ceske-republice-historie-a-soucasnost/>

[24] Zpráva o aktualizaci a stavu Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR.,

dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/55899/64170/657558/priloha001.pdf>

[25] CNG, dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/index/>

[26] První LNG stanice, dostupné z: <http://www.cngplus.cz/novinky/ihnedcz-prvni-lng-stanice-se-otevire-jiz-pristi-rok.html>

[27] Mapa čerpacích stanic LPG, CNG, LNG a Elektrostaníc, dostupné z:

<http://www.levnevozeni.cz/cerpaci-stanice-lpg-na-mape/>

[28] Česko má první „benzinku“ na vodík ve střední Evropě, dostupné z:

http://auto.idnes.cz/cesko-ma-prvni-benzinku-na-vodik-ve-stredni-evrope-je-v-neratovicich-1g0-/automoto.aspx?c=A091105_154310_automoto_fdv

[29] Elektromobil – dobíjení a dotace, dostupné z: <http://www.elektrina.cz/elektromobil-dobijeni-a-dotace>

[30] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU Peter Mock, Jörg Kühlwein, Uwe Tietge, Vicente Franco, Anup Bandivadekar, John German

[31] JIŘÍ FIRST: Energetická analýza pozemní dopravy, ČVUT, 2014

[32] Japan: Light-duty: JC08, dostupné z:

[http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan: Light-duty: JC08](http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan:_Light-duty:_JC08)

[33] Vodíkové stanice – Česká republika chystá investice do vodíkové dopravy, dostupné z:

http://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/predstavujeme/vodikove-stanice-ceska-republika-chysta-investice-do-vodikove-dopravy_45208.html

[34] Norbert E. Ligterink Pim van Mensch Rob F.A. Cuelenaere TNO report TNO 2016 R11285, NEDC – WLTP comparative testing 10 October 2016, dostupné z:

[file:///C:/Users/Vera/Downloads/TNO-2016-R11285%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Vera/Downloads/TNO-2016-R11285%20(1).pdf)

[35] Monica Tutuianua, Pierre Bonnel, Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation, dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915001030>

[36] US: Light-duty: FTP-75, dostupné z: <http://transportpolicy.net/index.php?title=US: Light-duty: FTP-75>

[37] *Vodíkový pohon*, dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vodikovy-pohon.dic>

[38] *JOSEF LAURIN: Plynná motorová paliva pro silniční vozidla v ČR*. Technická univerzita v Liberci, Žáří 2014

9 Seznam obrázků

Obrázek 1. Spalovací motor – úplná charakteristika (2 D zobrazení) [31].

Obrázek 2. Spalovací motor – úplná charakteristika (3 D zobrazení) [31].

Obrázek 3. *Evropský systém ropovodů* Zdroj: *MERO* [17]

Obrázek 4. Evidovaná ložiska ropy na území ČR (Zdroj: Česká geologická služba)

Obrázek 5. Centrální tankoviště ropy Nelahozevec [internet]

Obrázek 6. Mapa ropovodu Družba v ČR [17].

Obrázek 7. Mapa ropovodu IKL v ČR [17].

Obrázek 8. Vybrané ukazatele statistiky ropy a ropných produktů v letech 2005 až 2015 [20]

Obrázek 9. Evidovaná ložiska zemního plynu na území ČR (Zdroj: Česká geologická služba)

Obrázek 10. Mapa plynovodů vedoucí do ČR [22].

Obrázek 11. Mapa ČS LPG

Obrázek 12. Mapa CNG čerpací stanice v ČR

Obrázek 13. Mapa nabíjecích stanic [zdroj: PluginMap.eu]

Obrázek 14. NEDC jízdní cyklus [5].

Obrázek 15 Rychlosti cyklů NEDC a WLTC [34].

Obrázek 16. Americký cyklus FTP-75

Obrázek 17. Cyklus JC08 [32].

Obrázek 18. Blokovaná schéma algoritmu [zdroj: vlastní]

Obrázek 19. Panel nastavení a vyhodnocení programu

Obrázek 20. Panel nastavení a vyhodnocení s jednotlivými prvky

Obrázek 21. Příklad vygenerovaného souboru ve formátu xlsx

Obrázek 22. Závislost rychlosti na čase, trasa 1

Obrázek 23. Závislost zrychlení na čase, trasa 1

Obrázek 24. Závislost rychlosti na čase, trasa 2

Obrázek 25. Závislost zrychlení na čase, trasa 2

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozdělení hybridních vozidel

Tabulka 2. Základní informace, parametry a požadavky na benzin

Tabulka 3. Základní informace, parametry a požadavky na motorovou naftu

Tabulka 4 Základní informace, parametry a požadavky na LPG

Tabulka 5. Základní informace, parametry CNG a LNG.

Tabulka 6 Základní informace, parametry Etanol a Metanol.

Tabulka 7. Vlastnosti vodíku a způsoby jeho výroby

Tabulka 8. Rozlišování generace biopaliv a jejich vlastností

Tabulka 9. Základní informace a vlastnosti bioetanolu

Tabulka 10. Vlastnosti bionafty

Tabulka 11. Vlastnosti bioplynu

Tabulka 12. Technické údaje ropovodu Družba

Tabulka 13. Technické údaje ropovodu IKL

Tabulka 14 Přehled o počtu ČS evidovaných na konci 1. pol. 2016, podle uvedeného členění [24].

Tabulka 15. Předpokládaná spotřeba energie pro dopravu [Zdroj: MPO, CAPPO]

Tabulka 16. Parametry jízdního cyklu NEDC A WLTP

Tabulka 17. Základní parametry amerického cyklu FTP-75

Tabulka 18. Základní parametry japonského cyklu JC08

Tabulka 19. Vybrané součinitele f_K v závislosti na povrchu vozovky [6].

Tabulka 20. Hodnoty c_x a S_x pro vybraná vozidla [6].