



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Současný stav a možnosti dalšího využívání alternativních forem  
energie v dopravě**

**Current Status and Potential future use of Alternative Forms of  
Energy in Transport**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Jäger Milan doc.Ing., CSc.

**Jan Hrbek**

---

**Praha 2014**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Hrbek Jan**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektrotechnika a management

*Název tématu:*

### **Současný stav a možnosti dalšího využívání alternativních forem energie v dopravě**

*Pokyny pro vypracování:*

1. Charakteristika spalovacích motorů
2. Zemní plyn (CNG,LNG) v dopravě
3. Elektromobily a hybridy
4. Biopaliva v dopravě
5. Ekonomické porovnání využití alternativních forem energie

*Seznam odborné literatury:*

1. Ramadhas, Arumugam S.: Alternative fuels for transportation. CRC Press, 2011 .
2. Husain, Iqbal : Electric and hybrid vehicles. CRC Press, 2011.

Vedoucí bakalářské práce: Doc.Ing. Milan Jäger, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

V Praze dne 10.2.2014

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 2. 1. 2015

Podpis

## **Anotace**

Cílem mé práce je shrnutí současného a budoucího stavu využití alternativních forem energie v dopravě, charakterizovat jejich vlastnosti a zjistit pro koho resp. pro jaké účely jsou uvažované formy energie v podmínkách ČR z ekonomického hlediska nejvýhodnější.

## **Summary**

The objective of my thesis is to summarize the present-day and future situation in the field of utilization of alternative forms of energy in transport, to define their characteristics and to find out for who or which purpose are the considered forms of energy in the conditions of Czech Republic the most advantageous from the economical point of view.

# Obsah

Úvod.....	8
1 Zkapalněný ropný plyn - LPG .....	10
1.1 Vlastnosti.....	10
1.2 Výhody a nevýhody [1].....	11
1.3 Bezpečnost využívání.....	12
1.4 Ekologie využívání.....	12
1.5 Infrastruktura.....	13
2 Zemní plyn.....	14
2.1 Vlastnosti.....	14
2.2 CNG .....	15
2.2.1 Výhody a nevýhody [1][2].....	15
2.2.2 Bezpečnost využívání .....	15
2.2.3 Ekologie využívání .....	15
2.2.4 Infrastruktura .....	16
2.3 LNG.....	17
2.3.1 Výhody a nevýhody [1] .....	17
2.3.2 Ekologie využívání .....	17
2.3.3 Infrastruktura .....	17
3 Elektromobily .....	18
3.1 Akumulace energie.....	18
3.1.1 Požadavky na baterie .....	18
3.2 Výhody a nevýhody [1][12] .....	19
3.3 Bezpečnost využívání.....	19
3.4 Ekologie provozu .....	19
3.5 Infrastruktura.....	20
3.5.1 Současný stav v ČR .....	20
3.5.2 Budoucí stav v ČR.....	21
4 Hybridní vozidla .....	22
4.1 Rozdělení typů hybridů .....	22
4.1.1 Podle zdroje energie.....	22

4.1.2	Podle architektury .....	22
4.1.3	Podle stupně hybridizace [1].....	25
4.2	Výhody a nevýhody [12].....	25
4.3	Bezpečnost využívání.....	25
4.4	Ekologie provozu .....	25
4.5	Infrastruktura.....	25
5	Biopaliva.....	26
5.1	Generace biopaliv.....	26
5.2	Etanol .....	26
5.2.1	Vlastnosti .....	26
5.2.2	Způsoby využívání etanolu v dopravě [21] .....	27
5.2.3	Výhody a Nevýhody .....	27
5.2.4	Bezpečnost využívání .....	27
5.2.5	Ekologie provozu.....	28
5.2.6	Infrastruktura .....	29
5.3	Bionafta .....	29
5.3.1	Vlastnosti .....	29
5.3.2	Způsoby využívání bionafty v dopravě [21].....	30
5.3.3	Výhody nevýhody [1] .....	30
5.3.4	Bezpečnost využívání .....	30
5.3.5	Ekologie provozu.....	31
5.3.6	Infrastruktura .....	31
6	Návrh řešení a jejich ekonomické vyhodnocení .....	32
6.1	Způsob výpočtu ekonomického porovnání .....	32
6.2	Vytvoření modelů.....	33
6.3	Provozní náklady.....	33
6.3.1	Náklady na pohonné hmoty .....	34
6.3.2	Plánované servisní opravy .....	34
6.4	Volba výše diskontu.....	35
6.5	Cena paliv.....	35
6.6	Citlivostní analýza.....	35
6.6.1	Malá vozidla .....	36
6.6.2	Střední vozidla .....	38

6.6.3	Velká vozidla .....	41
6.7	Porovnání NPV s neplánovanými servisními opravami .....	42
6.7.1	Porovnání vozidel s různým ročním nájezdem.....	43
6.7.2	Porovnání vozidel různých forem energie při stejném nájezdu.....	44
	Závěr .....	45
	Seznam použité literatury .....	47

# Úvod

Životní prostředí se postupující dobou více a více zhoršuje. Jedním z hlavních odvětví, přispívající ke zhoršení životního prostředí, které má narůstající tendenci je automobilová doprava. V dnešní době se jako tradiční zdroj energie do automobilu rozumí benzín nebo motorová nafta. Oba zdroje patří mezi neobnovitelné formy energie. S rozvojem automobilové dopravy stoupá celková spotřeba tradičních paliv, což vede ke stále vzrůstající závislosti na ropě a v důsledku toho i k úbytku jejích zásob, nehledě na růst produkce škodlivých emisí. Aby se tato vzrůstající tendence změnila, začalo se více uvažovat o takzvaných alternativních energiích. Alternativní energie v dopravě nejsou žádnou novinkou, ale dříve se jim nepřikládalo velkého významu. Pro alternativní formy energie v dopravě existuje několik kritérií, které by tyto formy energie měly splňovat [1]:

- Kompatibilita nebo menší změny oproti dosavadním používaným technologiím
- Dobrá energetická účinnost
- Snadná skladovatelnost a převoz dané formy energie
- Dlouhá životnost skladované formy energie
- Menší emise než u tradičních paliv
- Dostupnost
- Ekonomičnost

Zatím se jako o alternativních formách energie v dopravě uvažuje:

- LPG
- Zemní plyn
- Elektřina
- Biomasa
- Vodík

Snahou o širší využití alternativních forem energie není najít jen jednu, která nahradí ropu, ale rozčlenit závislost na ropě mezi více zdrojů. Každý z těchto zdrojů má své klady i zápory, tudíž se každá alternativní forma energie hodí pro jiný účel. Cílem mé práce by mělo být shrnutí současného a budoucího stavu využití alternativních forem energie v dopravě, charakterizovat jejich vlastnosti a zjistit pro koho resp. pro jaké



účely jsou uvažované formy energie v podmínkách ČR z ekonomického hlediska nejvýhodnější.

Práci rozdělím na teoretickou a praktickou část. V první, poměrně rozsáhlé části se budu postupně zabývat vlastnostmi, výhodami a nevýhodami, bezpečností, ekologickými dopady, jakož i současným a možným budoucím vývojem infrastruktury jednotlivých alternativních forem energie. Vodíkovou technologií se zabývat nebudu, neboť se v současné době realizují víceméně na úrovni experimentálního výzkumu. Elektrickou energii rozdělím do dvou kapitol a to na kapitoly elektromobilu, kde vůz je poháněn čistě elektrickou energií a hybridu, který je poháněn tradiční a zároveň i elektrickou energií. Závěr práce bude věnován ekonomickému pohledu na alternativní formy energie. Nejdříve vypočítám celkové náklady na vozidla pro jednotlivé analyzované alternativní formy energie, poté určím velikost NPV a pomocí citlivostní analýzy, kde jako nezávisle proměnnou zvolím cenu pohonných hmot a ujeté kilometry za rok. Nakonec porovnáám NPV různých ročních nájezdů. Určím kdy a za jakých podmínek je jaká uvažovaná alternativní forma energie výhodnější.

# 1 Zkapalněný ropný plyn - LPG

LPG (Liquified Petroleum Gas) u nás patří k jedné z nejrozšířenějších forem alternativní energie v dopravě. Získává se při těžbě ropy nebo zemního plynu. Z ropy se získává rafinací a ze zemního plynu čištěním.[1]

## 1.1 Vlastnosti

LPG představuje směs zkapalněných ropných plynů, převážně propanu a butanu. Poměr těchto dvou plynů nepodléhá žádnému mezinárodnímu standardu, a proto se může v každé zemi vyskytovat jiný poměr těchto plynů. Dále se rozlišuje letní a zimní směs. V letní směsi je více butanu a v zimní směsi více propanu. Je to dáno fyzikálními vlastnostmi obou plynů. Butan je výhřevnější než propan, ale propan se odpařuje při nižších teplotách. I když poměr těchto dvou plynů není nějak mezinárodně standardizován, tak existují předpisy pro mezní poměry směsi letní LPG A a zimní LPG B, které by se měly dodržovat.[1][2]

**Tab. 1 Poměry propanu a butanu v LPG ve vybraných zemích**

Druh LPG	Propan[%]	Butan[%]
LPG A	min. 30	max.70
LPG B	max.85	min.15
ČR léto	min.30	30-60
ČR zima	min.50	15-40
Belgie léto	30	70
Belgie zima	50	50
Holandsko léto	30	70
Holandsko zima	70	30
Rakousko léto	20	80
Rakousko zima	80	20
Norsko, Švédsko	100	0

Zdroj: ŠTĚRBA 2013, VLK 2004, vlastní úprava

Vlastnosti LPG se budou mírně lišit v závislosti na druhu směsi, čili poměru Propanu a Butanu. Jedná se o netoxickou, avšak nedýchatelnou látku, která je těžší než vzduch. LPG má v porovnání s benzínem mírně vyšší oktanové číslo, takže automobil jedoucí na LPG má upravený motor pro spalování LPG (kompresní poměr, časování zážehu apod.). Dále má větší teplotu vznícení, což zvyšuje jeho provozní bezpečnost. Teplota varu je  $-42^{\circ}\text{C}$  to znamená, že při normální teplotě se LPG nachází v plynném stavu a skladování probíhá za pomoci tlakových nádob. Teplota tuhnutí je velmi nízká, takže nedochází k zamrznání paliva při nízkých teplotách jako u nafty. Díky nižší výhřevnosti stoupá spotřeba paliva oproti benzínu či naftě.[1][2]

**Tab. 2 Vlastnosti jednotlivých forem energií**

Vlastnosti	Jednotka	LPG	Benzin	Nafta
Oktanové číslo	-	100 - 110	88 - 98	-
Cetanové číslo	-	-	-	40 - 55
Teplota vzplanutí	$^{\circ}\text{C}$	-	-43	60-80
Teplota hoření	$^{\circ}\text{C}$	-	-20	80
Teplota vznícení	$^{\circ}\text{C}$	430	260	316
Teplota varu	$^{\circ}\text{C}$	-42	37 - 227	180 - 340
Teplota tuhnutí	$^{\circ}\text{C}$	-187	-40	0
Výhřevnost	$\text{MJ}/\text{dm}^3$	23,63	31,82	31,9
Hustota při $15^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	502 - 579	719 - 779	820 - 845
Mez směsi výbušnosti	%	1,5 - 11	0,6 - 8	0,5 - 6,6

Zdroj: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>, RAMADHAS 2011, vlastní úprava

## 1.2 Výhody a nevýhody [1]

- neobnovitelný zdroj energie
- existuje závislost na ropě
- poskytuje menší výkon a menší točivý moment než tradiční zdroje energie
- menší dojezd čistě na LPG než tradiční zdroje energie
- větší údržba vozidla v porovnání s benzínem
- emisně je na tom podobně jako tradiční zdroje

- problém se startováním na LPG při 0°C
- nemožnost doplnění z kanystru
- těžší než vzduch
- + levnější palivo než tradiční palivo
- + relativně levná přestavba
- + produkce, distribuce a spotřebitelská technologie je známa a uvedena v provoz
- + dobrá infrastruktura

### 1.3 Bezpečnost využívání

Jelikož se jedná o látku nedýchatelnou, výbušnou a těžší než vzduch, tak velký únik této látky v nedostatečně odvětrávaném prostoru je životu nebezpečný. Hrozí riziko udušení nebo výbuchu. Propan i Butan mají velmi slabý zápach. Proto se LPG pro rychlou indikaci úniku odorizuje tzn. přimícháváním zapáchajících plynů, aby bylo možno čichem ucítit unikající plyn. Z důvodu možnosti úniku této látky z nádrže vozidla je parkování v podzemních garážích zakázáno. Protože únik tohoto plynu z nádrže může znamenat katastrofu, musí nádrž splňovat více bezpečnostních opatření než nádrž na benzín nebo naftu. LPG se skladuje v tlakových nádobách, které mají ochranné prvky jako ventil zabraňující naplnit nádobu na víc jak 80 % jejího objemu, samo uzavírající ventil, přetlakový ventil, nadprůtoková pojistka a upouštěcí ventil, který v případě požáru odpustí plyn z nádoby, tím sníží tlak v nádobě a ochladí ji. Pro případ uložení tlakové nádoby v interiéru vozidla je nutná plynotěsná skříňka, která odvádí unikající plyn mimo vozidlo. Dále nádoba musí být narázu, ohni a mrazu vzdorná. Existuje riziko úniku LPG zpuchřelými hadičkami.[1][2]

### 1.4 Ekologie využívání

Vozidla poháněná LPG nejsou emisně ekologičtější energií než benzín.

**Tab. 3 Emise LPG v porovnání s naftou a benzínem**

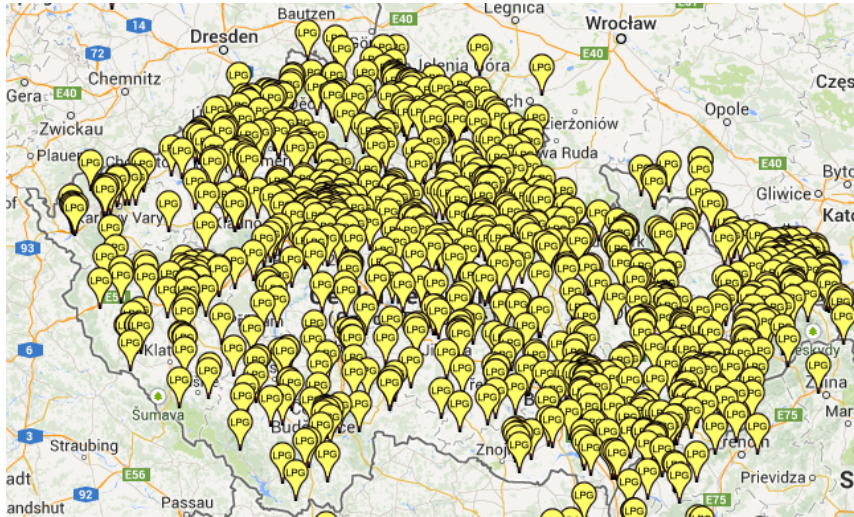
Palivo	CO[%]	HC[%]	Nox[%]	PT[%]	CO <sub>2</sub> [%]
Benzín	100	100	100	-	100
Nafta	30	95	500	100	85
<b>LPG</b>	<b>100</b>	<b>85</b>	<b>200</b>	-	<b>85</b>

CO - oxid uhelnatý
HC - uhlovodík
Nox-oxidy dusíku
PT- pevné částice
CO <sub>2</sub> -oxid uhličitý

Zdroj: ŠTĚRBA 2013, vlastní úprava

## 1.5 Infrastruktura

Infrastruktura čerpacích stanic LPG v ČR je velmi kvalitní. Lze tvrdit, že vzdálenost mezi jednotlivými čerpacími stanicemi je do 100 km. Tento stav je více méně stejný po celé EU. Do budoucna se nepočítá s budováním dalších čerpacích stanic na LPG.[6]



Zdroj: <http://lpg.cernosice.cz/>

**Obr. 1** Síť LPG stanic v ČR

## 2 Zemní plyn

Jedná se převážně o metan. Nachází se v podzemí spolu s ropou, černým uhlím nebo samostatně. Zásoby zemního plynu se odhadují přibližně na 250 let, ale vše závisí na vývoji nových metod těžby.[7]

### 2.1 Vlastnosti

Zemní plyn je bez zápachu, hořlavý, nejedovatý, nedýchatelný a je lehčí než vzduch. Hlavní složkou zemního plynu je metan (CH<sub>4</sub> přes 80% s poměrem C:H 1:4), ale obsahuje také propan, butan, síru a další inertní sloučeniny, které jsou separovány od metanu a dále zpracovávány třeba na LPG (propan a butan). Jak lze z tab. 4. vyčíst, zemní plyn má vyšší oktanové číslo, a proto je nutné zážehový motor upravit pro spalování CNG (kompresní poměr, časování zážehu apod.). Dále má CNG vyšší teplotu vznícení, což zvyšuje jeho provozní bezpečnost. Také má teplotu varu a tuhnutí takovou, že nedochází k odpařování paliva, ani k zamrzání v mrazech jako u nafty. Mez výbušnosti má až od většího % než ostatní uvedená paliva a je lehčí než vzduch, takže při úniku se odpařuje a je odvětráván. Zemní plyn využíváme jako palivo v dopravě hlavně ve dvou formách [1]:

- CNG (Compressed Natural Gas), zemní plyn stlačený při 200 barů
- LNG (Liquefied Natural Gas), zkvalněný zemní plyn při teplotě -161 °C a tlaku 70 – 210 bar

**Tab. 4 Vlastnosti jednotlivých forem energií**

Vlastnosti	Jednotka	LPG	Benzin	Nafta	Zemní plyn
Oktanové číslo	-	100 - 110	88 - 98	-	140
Cetanové číslo	-	-	-	40 - 55	-
Teplota vzplanutí	°C	-	-20	60-80	-
Teplota hoření	°C	-	-20	80	-
Teplota vznícení	°C	430	260	316	482-632
Teplota varu	°C	-42	37 - 227	180 - 340	-164
Teplota tuhnutí	°C	-187	-40	0	-182
Výhřevnost	MJ/dm <sup>3</sup>	23,63	31,82	31,9	33,5
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	502 - 579	719 - 779	820 - 845	128
Mez výbušnosti	%	1,5 - 11	0,6 - 8	0,5 - 6,6	4,4 - 15

Zdroj: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>, RAMADHAS 2011, vlastní úprava

## 2.2 CNG

Jedná se o zemní plyn, který je stlačen při 200 barů. V posledních letech zažívá rozmach v osobní a autobusové dopravě.[1]

### 2.2.1 Výhody a nevýhody [1][2]

- v současnosti těžko obnovitelný zdroj energie
- nedostatečná infrastruktura
- relativně drahá přestavba/ pořízení nového auta
- nemožnost doplnění z kanystru
- menší dojezd čistě na CNG
- těžší vozidlo než vozidlo na benzín či naftu
- + emisně je na tom lépe než LPG, benzín a nafta
- + není přímo závislý na ropě
- + produkce, distribuce a spotřebitelská technologie je známa a uvedena v provoz
- + levnější palivo než LPG, benzín a nafta
- + lehčí než vzduch

### 2.2.2 Bezpečnost využívání

Jak již bylo zmíněno, zemní plyn je hořlavý, nedýchateľný a lehčí než vzduch. Při úniku zemního plynu v uzavřeném neodvětrávaném prostoru hrozí udušení nebo výbuch. Zemní plyn je bezpečnější a lépe se odvětrává než LPG, protože je lehčí než vzduch a tudíž stoupá nahoru. Bezpečnost tlakových lahví, které jsou ve vozidle jako nádrž na CNG, je na velmi vysoké úrovni. Lahve musí splňovat oproti nádržím na benzín, nebo naftu přísnější kritéria a mají více bezpečnostních prvků. Tlakové lahve jsou konstruovány tak, aby vydržely nárazy, hoření, mráz a vyšší tlak. Dále je vybavena tlakovými ventily, které při příliš vysokém tlaku vypustí plyn z lahve, bezpečnostními ventily, které odpojí nádrž, když je motor vypnutý anebo při zjištění netěsnosti v palivovém systému. Zemní plyn je nehořlavý, pokud je koncentrace se vzduchem pod 5 % anebo nad 15 %. Výdrž tlakových lahví je 25 let, což je více než vydrží auto.[1][8]

### 2.2.3 Ekologie využívání

Vozidla poháněná CNG splňují emisní standardy a jedná se o emisně čistší palivo v porovnání s LPG, naftou a benzínem.

**Tab. 5 Emise CNG v porovnání s ostatními palivy**

Palivo	CO[%]	HC[%]	Nox[%]	PT[%]	CO <sub>2</sub> [%]
Benzín	100	100	100	-	100
Nafta	30	95	500	100	85
LPG	100	85	200	-	85
<b>CNG</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>200</b>	-	<b>70</b>

CO - oxid uhelnatý
HC - uhlovodík
Nox-oxidy dusíku
PT- pevné částice
CO <sub>2</sub> -oxid uhličitý

Zdroj: ŠTĚRBA2013, vlastní úprava

## 2.2.4 Infrastruktura

### 2.2.4.1 Současnost

V současnosti je infrastruktura CNG čerpacích stanic nedostačující. Momentálně v České Republice existuje 52 CNG čerpacích stanic viz Obr. 2 a dalších 6 jich je budováno. Stanice jsou po ČR nerovnoměrně rozmístěny a vznikají tak nepokrytá místa. Nejlépe je na tom Německo s Itálií, kde již nyní mají 839 a 811 CNG čerpacích stanic.[6]



Zdroje: [www.ngva.cz](http://www.ngva.cz)

**Obr. 2. Mapa CNG čerpacích stanic**



### **2.2.4.2 Budoucnost**

Evropská komise podala návrh, takzvaný Modrý koridor, který má za cíl do 31. prosince 2020 zvýšit počet čerpacích stanic v EU v takové míře, aby stanice byly od sebe vzdáleny nejvíce 150km. Odhadované náklady na vybudování sítě čerpacích stanic v EU činí 160 milionů euro. [6]

## **2.3 LNG**

Jedná se o zemní plyn, který je pod tlakem 70-210 bar zchlazen na -161 °C. Tímto procesem zemní plyn přejde z plynného skupenství do tekutého.[1]

### **2.3.1 Výhody a nevýhody [1]**

- náročné technické podmínky pro skladování a použití
- velmi špatná infrastruktura
- + velký dojezd
- + emisně stejné jako CNG

### **2.3.2 Ekologie využívání**

Stále se jedná o zemní plyn, takže platí stejné emise jako u CNG.

### **2.3.3 Infrastruktura**

#### **2.3.3.1 Využití současnost**

V současnosti se LNG využívá spíše pro přepravu zemního plynu mezi kontinenty nebo na velké vzdálenosti a to z důvodu poměru objemu LNG oproti plynnému skupenství, který je 600:1. Využití pro osobní automobil je technicky velmi náročné a ani se o této variantě neuvažuje. Naopak LNG využívají lodě, vlaky a kamiony, ale ve velmi malém měřítku. Infrastruktura je velmi malá, prakticky existují čerpací nádrže jen v přístavech, kde se LNG čerpá do lodí z důvodu transportu zemního plynu na velké vzdálenosti. [10][11]

#### **2.3.3.2 Využití budoucnost**

Infrastruktura by se měla podle evropské komise zlepšit, proto odsouhlasila v rámci Modrého koridoru, že se vybuduje ve všech přístavech v EU terminál pro LNG. Do roku 2020 by mělo přibýt 139 terminálů pro LNG. Nicméně o vybudování LNG čerpacích stanic pro vlaky a kamiony není ve zprávě ani zmínka.[6]

## 3 Elektromobily

O elektromobilu se začalo uvažovat ve velkém poměrně nedávno. Představuje určité řešení ohledně škodlivých emisí vypouštěných vozidly, tím že není přímým zdrojem škodlivých emisí, ale přesouvá tento problém na výrobu elektrické energie. Srdcem elektromobilu je baterie. Baterie také ovšem představuje největší překážku pro rozmach elektromobilů.[1] Bývají uloženy do podvozku, aby nezabíraly místo uvnitř auta. Jelikož jsou baterie těžké a také objemné, musí se volit kompromis mezi kapacitou, váhou a objemem, který bude baterie zabírat. Dojezd elektromobilů závisí na více faktorech, které značně ovlivňují výsledný dojezd.[12]

### 3.1 Akumulace energie

Skládování dostatečného množství energie uvnitř elektromobilu pro pohon představuje největší problém. Energie se skladuje v bateriích. Baterie během nabíjení přeměňují elektrickou energii na chemickou energii a během vybíjení chemickou energii na elektrickou energii. Vývoj vhodné baterie pro elektromobil představuje klíč k rozšíření elektromobilismu. V dnešní době existuje mnoho dobíjecích typů baterií, ale zatím žádná není vhodná pro veliký rozmach elektromobilů.[12]

#### 3.1.1 Požadavky na baterie

Na baterie do elektromobilů je kladeno velké množství požadavků.

Baterie by měla splňovat:[1]

- velkou životnost, to znamená velký počet cyklů nabití a vybití
- stabilní výstupní napětí při vybíjení
- vysoké špičkové výstupní napětí na jednotku hmotnosti a objemu
- vysoká energetická účinnost
- schopnost pracovat v širokém rozpětí teplot
- dobré uchovávání energie
- rychlé nabíjení
- bez poškození ustát přebíjení a úplné vybití
- dobrou provozní spolehlivost
- bezúdržbovost

- předpoklady pro bezpečné používání za jakékoliv situace
- musí se vyrábět z dostupných levných materiálů, které nejsou škodlivé pro životní prostředí

### **3.2 Výhody a nevýhody [1][12]**

- velmi vysoká cena
- dojezd je hodně závislý na podmínkách jízdy
- neúplně zvládnutá technologie elektromobilu
- slabá infrastruktura
- dlouhá doba nabíjení, když se pominou rychlodobíjecí stanice
- velká hmotnost
- + bezhlučný provoz
- + nulové přímé škodlivé emise
- + nízká cena elektřiny
- + větší efektivnost než spalovací motory
- + nezávislost na ropě

### **3.3 Bezpečnost využívání**

Americká organizace NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), která má v Americe stejný význam jako u nás NCAP, vyhodnotila automobil Model S od Tesla Motors, jako jedno z nejbezpečnějších vozidel. Ten samý výsledek obdržel Nissan Leaf od NCAP.[13][14]

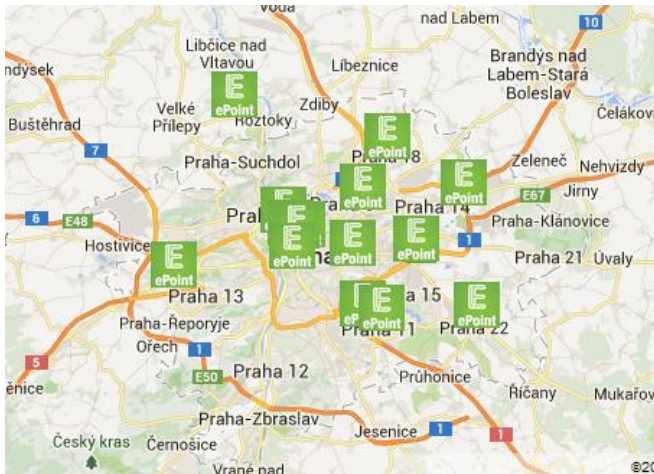
### **3.4 Ekologie provozu**

Jak již bylo řečeno, elektromobily nejsou zdroji přímých emisí, ale předávají tento problém dál na výrobu elektrické energie. Avšak efektivnost elektromobilů je větší než efektivnost spalovacích motorů. Tudiž i kdyby elektřina na dobítí elektromobilů nepocházela z obnovitelných zdrojů, tak škodlivé emise vyprodukované výrobou elektrické energie budou menší, než emise vyprodukované spalovacími motory. Elektromobil může pomoci zlepšit životní prostředí ve městech, protože neprodukuje přímé emise a je téměř bezhlučný.[12]

## 3.5 Infrastruktura

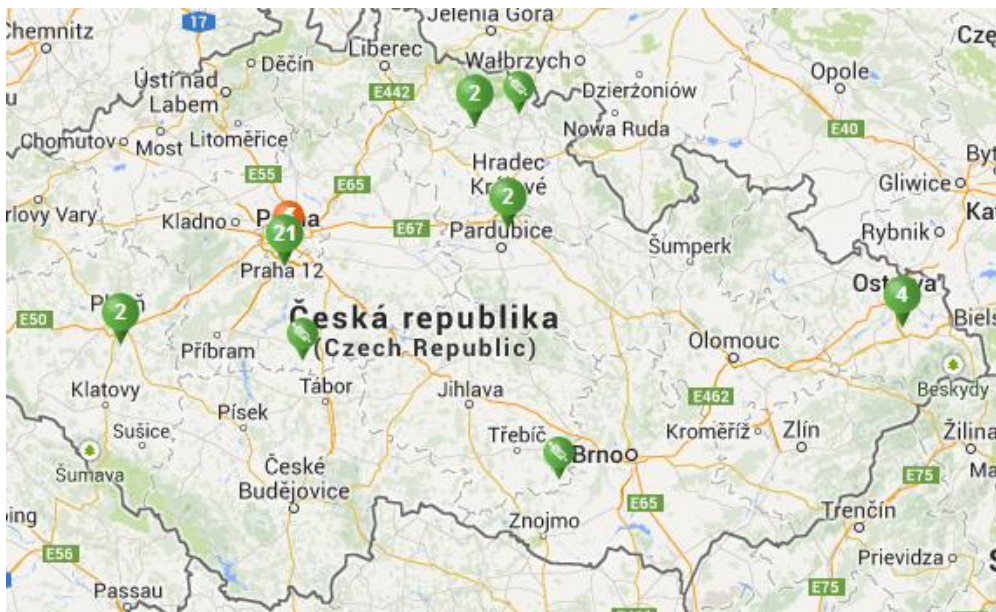
### 3.5.1 Současný stav v ČR

V dnešní době existuje na území ČR 50 oficiálních veřejných dobíjecích stanic pro elektromobily. Z toho se jich nachází 36 v Praze. Firma Pre vybudovala 15 dobíjecích stanic v Praze a zbytek vybudovala firma ČEZ. Za dobíjení z těchto stanic se platí. Ovšem tyto stanice zdaleka nestačí pro pokrytí ČR. Dále existují tak zvané dobrovolné nabíjecí stanice, což znamená, že někdo dobrovolně poskytuje zásuvku pro nabití elektromobilu. Touto ochotou se celková infrastruktura zlepšuje, ale pořád není pokrytí po celé ČR dostačující. Nutno dodat, že ČR jako stát nijak nepodporuje rozvoj elektromobilů, nedává žádné dotace ani úlevy na daních.[15][16][17]



Zdroj:<https://www.pre.cz/cs/profil-spolecnosti/dalsi-aktivity-pre/e-mobilita/epoint-nabijeci-stance-pre/>

**Obr. 3** Mapa Epointů v Praze



Zdroj: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeci-stanice.html>

**Obr. 4** Mapa dobíjecích stanic od ČEZ



Zdroj: [http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy\\_nab%C3%ADjec%C3%ADch\\_stanic](http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nab%C3%ADjec%C3%ADch_stanic)

**Obr. 5** Mapa dobrovolných dobíjecích stanic

### 3.5.2 Budoucí stav v ČR

Podle Modrého koridoru, který schválila evropská komise, by se celková infrastruktura pro ČR měla zlepšit. Do roku 2020 by mělo být vybudováno minimálně 1290 nabíjecích stanic. Nicméně doposud nic nenasvědčuje tomu, že bude tento cíl splněn.[6] Ale podle současného trendu budování dobíjecích stanic soukromými investory se dá očekávat zlepšení infrastruktury.[15]

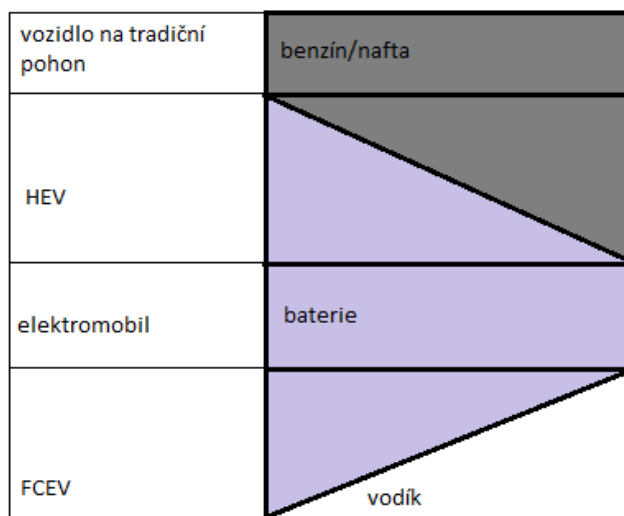
## 4 Hybridní vozidla

Hybrid je nejčastěji označení pro vozidlo, které je poháněno i jiným než spalovacím motorem a jako zdroj energie slouží více druhů zdrojů. V dnešní době je hybrid symbolem větší efektivity, nižší spotřeby a menších škodlivých emisí oproti tradičním vozidlům.[12]

### 4.1 Rozdělení typů hybridů

#### 4.1.1 Podle zdroje energie

Hybridy se dají rozdělit podle používaných energetických zdrojů do 2 základních skupin. První skupinou jsou hybridy, jejichž zdroj pochází z benzínu či nafty a elektrické energie z baterie. Tyto hybridy se nazývají HEV. Druhou skupinu pohání palivové články a baterie a jedná se o FCEV. FCEV hybridy mají jen elektromotor, protože palivový článek dodává také elektřinu. Mezi těmito dvěma hybridy se pomyslně nachází Elektromobil. První skupina hybridů HEV se již vyrábí sériově a je celosvětově rozšířená.[12]



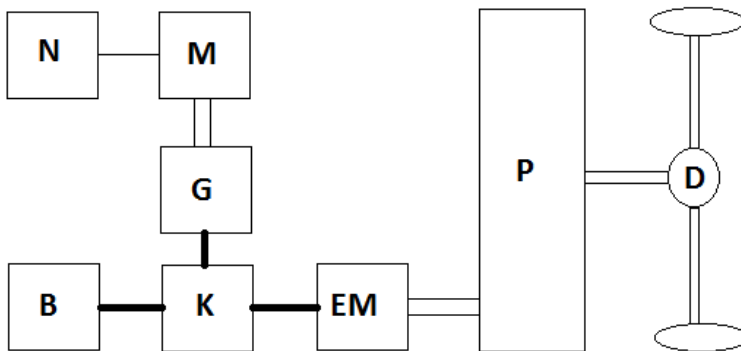
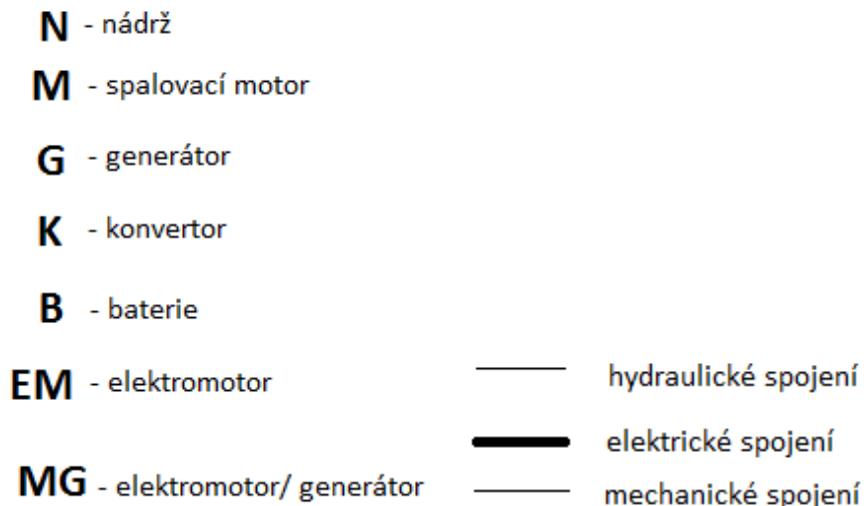
Zdroj:RAMADHAS 2011, vlastní úprava

#### Obr. 6 Rozdělení podle zdroje energie

#### 4.1.2 Podle architektury

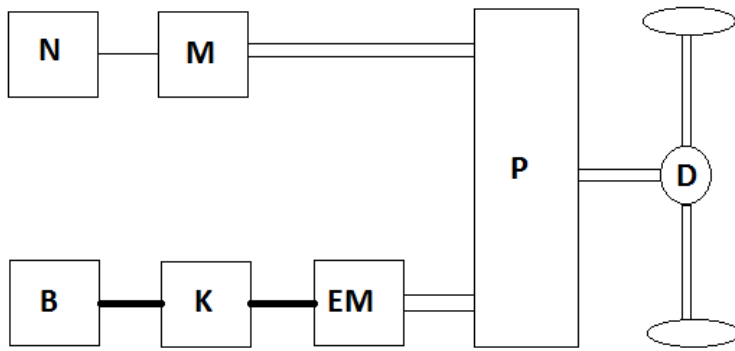
Na začátku vývoje hybridů byly dvě základní architektury a to sériová a paralelní. V sériové architektuře pohání vozidlo jen elektrický motor a tomu je dodávána elektrická energie jak z baterie, tak z fosilního paliva za pomoci generátoru. V paralelní

architektuře pohání vozidlo spalovací i elektrický motor. Z těchto dvou architektur se vyvinuly další dvě architektury a to sériovo-paralelní a komplexní. U sériovo-paralelní, jak již název napovídá, se kombinují obě předešlé architektury a u komplexní také, ale generátor nenapájí přímo elektromotor, nýbrž baterii a baterie může vypomoci spalovacímu motoru.[1] Zde jsou uvedeny vysvětlivky k následujícím schémátům architektury vozidel.



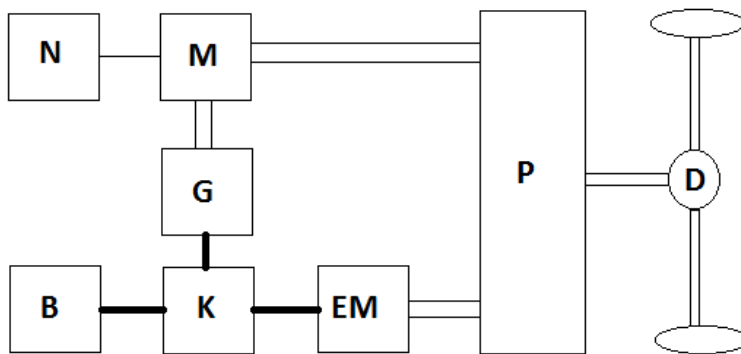
Zdroj: RAMADHAS 2011, vlastní úprava

**Obr. 2** Sériová architektura



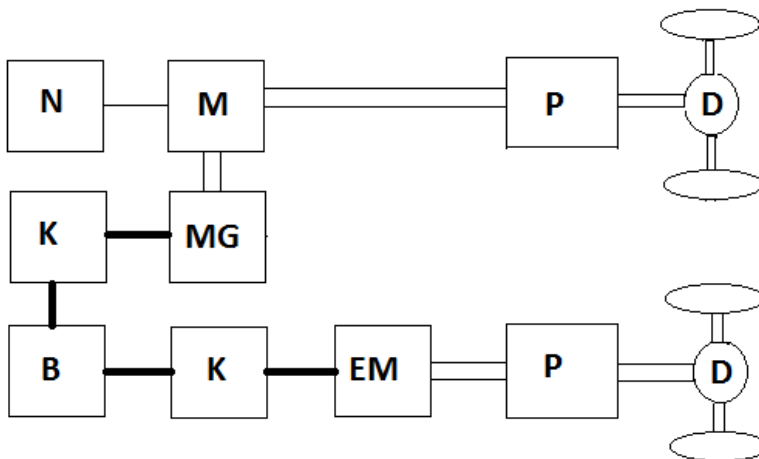
Zdroj: RAMADHAS 2011, vlastní úprava

**Obr. 3 Paralelní architektura**



Zdroj: RAMADHAS 2011, vlastní úprava

**Obr. 4 Sério-parallelní architektura**



Zdroj: RAMADHAS 2011, vlastní úprava

**Obr. 5 Komplexní architektura**



### 4.1.3 Podle stupně hybridizace [1]

**Úplný hybrid (full hybrid)** – Jde o hybridní auto, které může být pohaněno buď jen spalovacím motorem nebo spalovacím motorem a zároveň elektromotorem nebo jen elektromotorem.

**Asistovaný hybrid (mild hybrid)** – Jde o hybridní auto, kde elektromotor jen vypomáhá spalovacímu motoru. Elektromotor není schopen sám pohánět vozidlo.

**Mikro hybrid** – umožňuje Start&Stop systém.

**Plug-in hybrid** – Jedná se o úplného hybrida, kterému se baterie dá dobíjet pomocí zásuvky.

## 4.2 Výhody a nevýhody [12]

- vyšší pořizovací cena
- těžší vozidlo oproti vozidlům na tradiční pohony
- + u úplného hybrida možnost nulových přímých emisí
- + nižší spotřeba paliva ve městě
- + dobrá infrastruktura
- + dostatečný dojezd

## 4.3 Bezpečnost využívání

Bezpečnost hybridů, jako takových je podobná jako u vozidel na tradiční energie.[18]

## 4.4 Ekologie provozu

Hybrid, oproti vozidlu jen na fosilní paliva, šetří palivo nejvíce ve městech, kde spalovací motor pracuje většinu času s nízkou efektivností, a kde hybrid díky rekuperaci získávají elektrickou energii. Úplný hybrid může být poháněn jen elektromotorem a to znamená, že produkuje nulové přímé emise a nespaluje fosilní palivo. V případě jízdy pouze na elektromotor má výhodu Plug-in hybrid, protože ho můžete nabít ze zásuvky a nemusíte elektrickou energii získávat rekuperací.[1]

## 4.5 Infrastruktura

Infrastruktura tradičních paliv je v ČR velmi kvalitní. Hybridy získávají elektrickou energii při brzdění skrz rekuperaci. Plug-in hybrid pro dobíjení baterie potřebuje zásuvku stejně jako elektromobil viz kapitola 4.5.1.[12]

## 5 Biopaliva

Biopalivo je označení pro palivo vyrobené z biomasy. Biomasa je definována jako všechny rostliny a zvířata na zemském povrchu. Biomasa je čistá a obnovitelná energie, kde čistota záleží na typu jejího pěstování a zpracování.[19] Nejvíce používané biopalivo je etanol a bionafta, proto tato kapitola bude věnována právě jim.

### 5.1 Generace biopaliv

Biopaliva se dělí podle různých druhů zdrojů na tři skupiny, přesněji na tři generace. První generace biopaliv je vyráběna z biomasy, jako je škrob, cukr, zvířecí tuk a rostlinné oleje. Zatímco druhá generace je vyráběna z lignocelulóзовých plodin.[19] A třetí generaci slouží jako zdroj výroby vodní řasy.[20]

### 5.2 Etanol

Etanol se získává pomocí fermentace neboli kvašením biologických surovin, jako je melasa, cukrová třtina nebo škrob. Jedná se o obnovitelný zdroj energie.[1]

#### 5.2.1 Vlastnosti

Jedná se o čirou tekutinu s charakteristickým zápachem. Jedna ze špatných vlastností etanolu je, že váže vodu a ta může způsobit korozi. Další špatná vlastnost je, že reaguje s většinou gum a rozpouští je. Teplota vznícení je vyšší než u benzínu, což vede k větší bezpečnosti při transportu a skladování. Etanol má menší výhřevnost, takže spotřeba paliva je o 30 % větší. Pro používání paliva s podílem etanolu nad 20 % se doporučuje používat Fuel flexi vehicle (FFV), které je přizpůsobené ke spalování paliva obsahující 85 % etanolu a 15 % benzínu neboli E85.[1]

**Tab. 6 Vlastnosti Etanolu ve srovnání s ostatními palivy**

Vlastnosti	Jednotka	LPG	Benzin	Nafta	Zemní plyn	Etanol
Oktanové číslo	-	100 - 110	88 - 98	-	140	108
Cetanové číslo	-	-	-	40 - 55	-	-
Teplota vzplanutí	°C	-	-43	60-80	-184	13
Teplota hoření	°C	-	-20	80	-	15
Teplota vznícení	°C	430	260	316	482-632	423
Teplota varu	°C	-42	37 - 227	180 - 340	-164	78
Teplota tuhnutí	°C	-187	-40	0	-182	-114
Výhřevnost	MJ/dm <sup>3</sup>	23,63	31,82	31,9	33,5	22,6
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	502 - 579	719 - 779	820 - 845	128	735
Mez výbušnosti	%	1,5 - 11	0,6 - 8	0,5 - 6,6	4,4 - 15	4,3 - 19

Zdroj: RAMADHAS 2011, ŠTĚRBA 2013, vlastní úprava

### 5.2.2 Způsoby využívání etanolu v dopravě [21]

- Přimíchávání do benzínu
- Od roku 2008 povinně v ČR, ve výši 2 % objemu benzínu
- Od roku 2009 povinně v ČR, ve výši 3,5 % objemu benzínu
- Jako palivo E85 (85% Etanolu, 15 % benzínu) – do zážehových motorů se speciální úpravou (FFV)
- Jako palivo E90 (90% Etanolu, 10 %benzínu) – do zážehových motorů se speciální úpravou
- Jako palivo E95 (95% Etanolu, 5 % aditiv podporující vznětlivost) - do vzněťových motorů se speciální úpravou

### 5.2.3 Výhody a Nevýhody

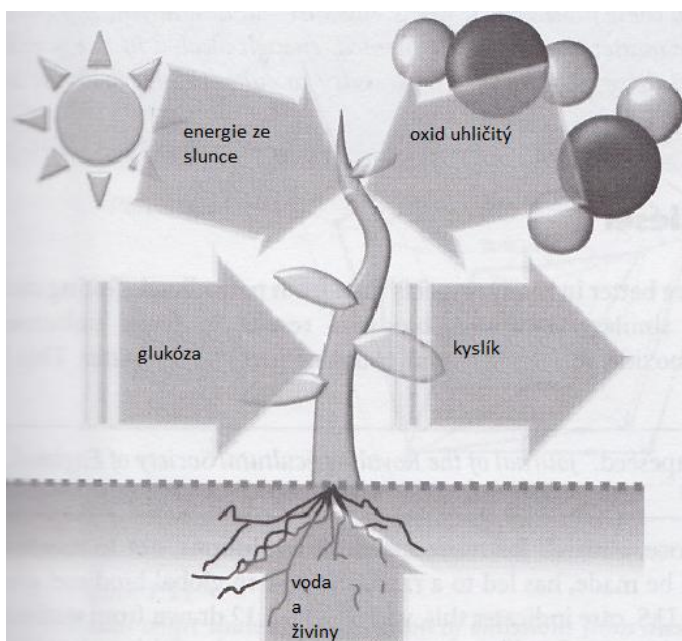
- slabá infrastruktura
- větší spotřeba než benzín nebo nafta
- při koncentraci etanolu v palivu nad 20 % by se mělo používat FFV
- + levnější než benzín nebo nafta
- + obnovitelný zdroj

### 5.2.4 Bezpečnost využívání

Z pohledu bezpečnosti se jedná o zhruba stejné vozidla, jako jsou vozidla na tradiční pohony.

### 5.2.5 Ekologie provozu

Vyprodukované emise spalováním paliva s etanolem závisí na podílu etanolu v palivu. Spalováním paliva E85 se vyprodukuje poměrně stejné množství emisí jako u benzínu a to díky menší výhřevnosti etanolu, která nám zvýší spotřebu oproti benzínu zhruba o 30 %.[1] Nicméně etanol pochází z biomasy, která získává energii díky fotosyntéze. Dalo by se říci, že díky koloběhu uhlíku se jedná o čistý zdroj energie, ale záleží jaký zdroj energie je použit na vypěstování a zpracování této suroviny. Dále je nutné brát v potaz, kde se biomasa pěstuje a zda nebyly vykáceny pralesy nebo jiné zásobárny uhlíku pro uvolnění místa na pěstování biomasy.[20]



Zdroj: STARBUCK 2009, vlastní úprava

### Obr. 6 Koloběh uhlíku

Tab. 7 Emise E85 v porovnání s ostatními palivy

Palivo	CO[%]	HC[%]	Nox[%]	PT[%]	CO <sub>2</sub> [%]
Benzín	100	100	100	-	100
Nafta	30	95	500	100	85
LPG	100	85	200	-	85
CNG	60	80	200	-	70
<b>E85</b>	<b>130</b>	<b>160</b>	<b>50</b>	-	<b>95</b>

CO - oxid uhelnatý
HC - uhlovodík
Nox-oxidy dusíku
PT- pevné částice
CO2-oxid uhličitý

Zdroj: ŠTĚRBA 2013

## 5.2.6 Infrastruktura

Infrastruktura čerpacích stanic v ČR, kde se dá natankovat E85 je poměrně slabá.

Infrastruktura čerpacích stanic s E85 se bude v budoucnu měnit podle ceny tradičních paliv.[23]



Zdroj: <http://www.bioethanole85.cz/cerpaci-stance-e85>

### Obr. 7 čerpací stanice E85 v Čechách

## 5.3 Bionafta

Bionafta je motorová nafta na bázi rostlinného oleje a zvířecího tuku, která je složena z methylesterů, propylesterů nebo ethylesterů.[22]

### 5.3.1 Vlastnosti

Bionafta je vzhledově podobná jako motorová nafta. Degraduje pětikrát rychleji než nafta. Teplota vzplanutí je vyšší než u nafty, což dělá bionaftu z pohledu skladování a přepravy bezpečnější. Obsahuje více sedimentu než nafta a tím rychleji zanáší palivové filtry. Hustota je mírně větší v porovnání s naftou a to znamená, že je více paliva vstřikováno do motoru a tudíž je více síly a emisí. Cetanové číslo je také vyšší v porovnání s naftou a to způsobuje lepší studený start a má vliv na běh motoru. Menší výhřevnost než nafta.[1]

**Tab. 8 Vlastnosti Bionafty v porovnání s ostatními palivy**

Vlastnosti	Jednotka	LPG	Benzin	Nafta	Zemní plyn	Etanol	<b>Bionafta</b>
Oktanové číslo	-	100 - 110	88 - 98	-	140	108	-
Cetanové číslo	-	-	-	40 - 55	-	0-54	<b>48-65</b>
Teplota vzplanutí	°C	-	-20	60-80	-	13	<b>100-170</b>
Teplota hoření	°C	-	-20	80	-	15	<b>170</b>
Teplota vznícení	°C	430	260	316	482-632	423	-
Teplota varu	°C	-42	37 - 227	180 - 340	-164	78	<b>315-350</b>
Teplota tuhnutí	°C	-187	-40	0	-182	-114	<b>-3,3</b>
Výhřevnost	MJ/dm <sup>3</sup>	23,63	31,82	31,9	33,5	22,6	<b>29,1</b>
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	502 - 579	719 - 779	820 - 845	128	735	<b>878</b>
Mez výbušnosti	%	1,5 - 11	0,6 - 8	0,5 - 6,6	4,4 - 15	4,3 - 19	-

Zdroj: RAMADHAS 2011, vlastní úprava

### 5.3.2 Způsoby využívání bionafty v dopravě [21]

- Přimíchávání do nafty
- Od roku 2007 povinně v ČR, ve výši 2 % objemu nafty
- Od roku 2009 povinně v ČR, ve výši 4,5 % objemu nafty
- Jako bionafta (100 % FAME)
- Jako SMN30 (70 % nafta a 30 % MEŘO)

### 5.3.3 Výhody nevýhody [1]

- větší emise Nox
- dražší na výrobu než motorová nafta
- menší dojezd
- + obnovitelný zdroj energie
- + lze použít do stávajících naftových motorů
- + skladuje se stejně jako motorová nafta
- + menší škodlivé emise, kromě NOx
- + díky osvobození od daně je levnější

### 5.3.4 Bezpečnost využívání

Z pohledu bezpečnosti se jedná o zhruba stejná vozidla, jako jsou vozidla na tradiční pohony.

### **5.3.5 Ekologie provozu**

Bionafta je vyráběna z obnovitelného zdroje energie biomasy. Ta získává energetický potenciál prostřednictvím fotosyntézy a čistotu energie díky koloběhu uhlíku. Jak již bylo zmíněno, tento koloběh narušuje pěstování a zpracování biomasy, kde záleží na použitém zdroji energie a co dříve rostlo na místě pěstování. Bionafta produkuje méně škodlivých emisí než nafta, kromě NO<sub>x</sub>, kterých produkuje naopak více. V porovnání s motorovou naftou má menší výhřevnost, takže vzrůstá spotřeba paliva.[20]

### **5.3.6 Infrastruktura**

Bionaftu lze natankovat na většině čerpacích stanic a tudíž je infrastruktura kvalitní. V budoucnu se zdražováním nafty budou přibývat čerpací stanice, kde bude k dispozici Bionafta.

## 6 Návrh řešení a jejich ekonomické vyhodnocení

V tomto návrhu řešení provedu porovnání ekonomiky osobních vozidel, která jsou poháněna různými formami energií. Z důvodu množství porovnávaných forem energie nebudu porovnávat přímo určitá vozidla mezi sebou, ale vytvořím model, který bude zastupovat celou kategorii vozidel a v rámci tohoto modelu bude porovnávána ekonomika jednotlivých forem energie. Pro vyhodnocení ekonomiky použiji citlivostní analýzu a metodu NPV, kde jako hlavní proměnná poslouží cena jednotlivých forem energií.

### 6.1 Způsob výpočtu ekonomického porovnání

Pro výpočet ekonomického porovnání jsem zvolil metodu NPV (současná hodnota peněz [24]) a to kvůli nezanedbávání časové hodnoty peněz. NPV je součet diskontovaných hotovostních toků v jednotlivých letech, kde diskont určuje časovou hodnotu peněz a mnohé další faktory [24]. Jelikož životnost vozidla se uvádí 270 000 najetých kilometrů [2], tak je s touto hranicí počítáno ve výpočtech. Dále jsou počítány dvě varianty ujetých kilometrů za rok. V jedné variantě vozidlo ujede 15 000 km za rok a v druhé 30 000 km za rok.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad [24]$$

T – doba životnosti

$CF^t$  – peněžní toky v jednotlivých obdobích

i – požadovaná výnosnost v úrokovém období (diskont)

Pro porovnání NPV jednotlivých paliv v závislosti na ceně pohonných hmot je udělána citlivostní analýza. Citlivostní analýza je vynesena do grafu. Z grafu citlivostní analýzy je vidět, kdy a jaké je NPV jednotlivých paliv v závislosti na ceně.



## 6.2 Vytvoření modelů

Zde jsou vytvořeny tři modely. Každý model zastupuje jednu kategorii osobních vozidel a to podle rozměrů. K jednotlivým modelům jsou přiřazeny pořizovací ceny, které odpovídají průměrné pořizovací ceně zastoupených vozidel. Ceny zastupovaných vozidel jsem zjistil z oficiálních internetových stránek jednotlivých automobilových prodejců, jednalo se o modely se střední výbavou a to z důvodu výbavy elektromobilů. Cena velkého elektromobilu chybí, protože se až na výjimky neprodává, v nějakých případech pouze pronajímá. Proto s elektromobilem nebude v kategorii Velké vozidlo počítáno. Ceny jsou včetně DPH.

**Tab. 9 Modely vozidel**

	délka [mm]	výška[mm]
malé vozidlo	do 4000	do 1800
střední vozidlo	od 4000 do 4900	do 1800
velké vozidlo	Od 4900	od 1800 do 2500

Zdroj: autor práce

**Tab. 10 Pořizovací ceny jednotlivých modelů**

forma energie	Ben. [Kč]	Naf. [Kč]	LPG [Kč]	CNG [Kč]	E85 [Kč]	SMN30 [Kč]	B100 [Kč]	Elektro [Kč]
malé vozidlo	300000	360000	320000	380000	305000	360000	360000	720000
střední vozidlo	420000	480000	440000	500000	425000	480000	480000	1600000
velké vozidlo	800000	860000	820000	880000	805000	860000	860000	-

Zdroj: autor práce

## 6.3 Provozní náklady

K ekonomickému porovnání je zapotřebí určit provozní náklady vozidel, které se liší v závislosti na formě energie, která je použita pro pohon vozidla. Tyto náklady jsem rozdělil do dvou skupin. První skupinou jsou Pohonné hmoty a druhá Servisní opravy. Z důvodu nepředvídatelnosti servisních oprav jsou uvažovány jen plánované servisní opravy.

### 6.3.1 Náklady na pohonné hmoty

Pro výpočet nákladů na pohonné hmoty jsem zavedl pojem „teoretická spotřeba paliva“. Tento pojem určuje teoretickou procentuální spotřebu paliva, která je získána z výhřevnosti jednotlivých forem energií a účinnosti motorů. Jako porovnávací palivo jsem určil benzín, tudíž má 100 %.

**Tab. 11 Teoretická spotřeba paliv**

	Benzín	Nafta	LPG	CNG	E85	B100	SMN30
Teoretická spotřeba paliva [%]	100	85	128	102	130	91	88

Zdroj: ŠTĚRBA 2013, VLK 2004, vlastní úprava

Dále jsem našel na oficiálních stránkách prodejců automobilů průměrné spotřeby benzínu, či nafty u jednotlivých modelů vozidel a z těchto spotřeb udělal průměr. Zbylé spotřeby jsem dopočítal dle Tab. 11. Průměrnou spotřebu elektromobilu jsem získal stejným způsobem jako u benzínu, či nafty.

**Tab. 12 Spotřeba paliv**

Druh vozidla	Benzín l/100km	Nafta l/100km	LPG l/100km	CNG m <sup>3</sup> /100 km	E85 l/100km	B100 l/100km	SMN30 l/100	Elektro. kWh/100 km
malé vozidlo	6,3	5,4	8,1	6,4	8,2	5,7	5,5	14,0
střední vozidlo	8,5	7,2	10,9	8,7	11,1	7,7	7,5	18,0
velké vozidlo	12,0	10,2	15,4	12,2	15,6	10,9	10,6	-

Zdroj: autor práce

### 6.3.2 Plánované servisní opravy

Plánované servisní náklady vozidla se u každé formy energie liší. Je to dáno vlastnostmi a zpracováním jednotlivých forem energií a tudíž i mechanismem vozidla. Při počítání těchto nákladů jsem vycházel ze zdroje [2] a informace jsou dále aktualizovány dle zdroje [25]. Na jediné co chci upozornit je, že akumulátory do elektromobilů degradují časem a tudíž by se měly měnit každých 6 let.

**Tab. 13 Servisní náklady benzinového motoru**

Servisní náklady benzinového motoru			
Položka	po ujetých km	Cena[Kč]	celkově za 280tis km[Kč]
Výměna oleje a filtru	15000	1350	24300
Výměna vzduchového filtru	30000	1000	9000
Servisní prohlídka	30000	5000	45000
Výměna rozvodů	120000	3500	7000
Výměna svíček	40000	1000	7000
celkem [Kč]			92300

Zdroj: ŠTÉRBA 2013

Zbylé formy energie viz Příloha: Plánované servisní opravy.

#### 6.4 Volba výše diskontu

Jelikož počítám s variantou, že se jedná o vozidla pro soukromé účely, tak jsem zvolil diskont s ohledem na bezrizikové investice. Výše diskontu státního dluhopisu se v roce 2014 pohybuje kolem 2 %. Tudíž jsem zvolil  $i = 2\%$ .

#### 6.5 Cena paliv

Ceny jednotlivých paliv jsem čerpal z Českého statistického úřadu, kde jsem vzal aktuální ceny. V grafech citlivostní analýzy tyto hodnoty zastupují základ, čili 0 % změnu. Dále budu tyto hodnoty procentuálně měnit.

**Tab. 14 Ceny paliv k 07. 11. 2014**

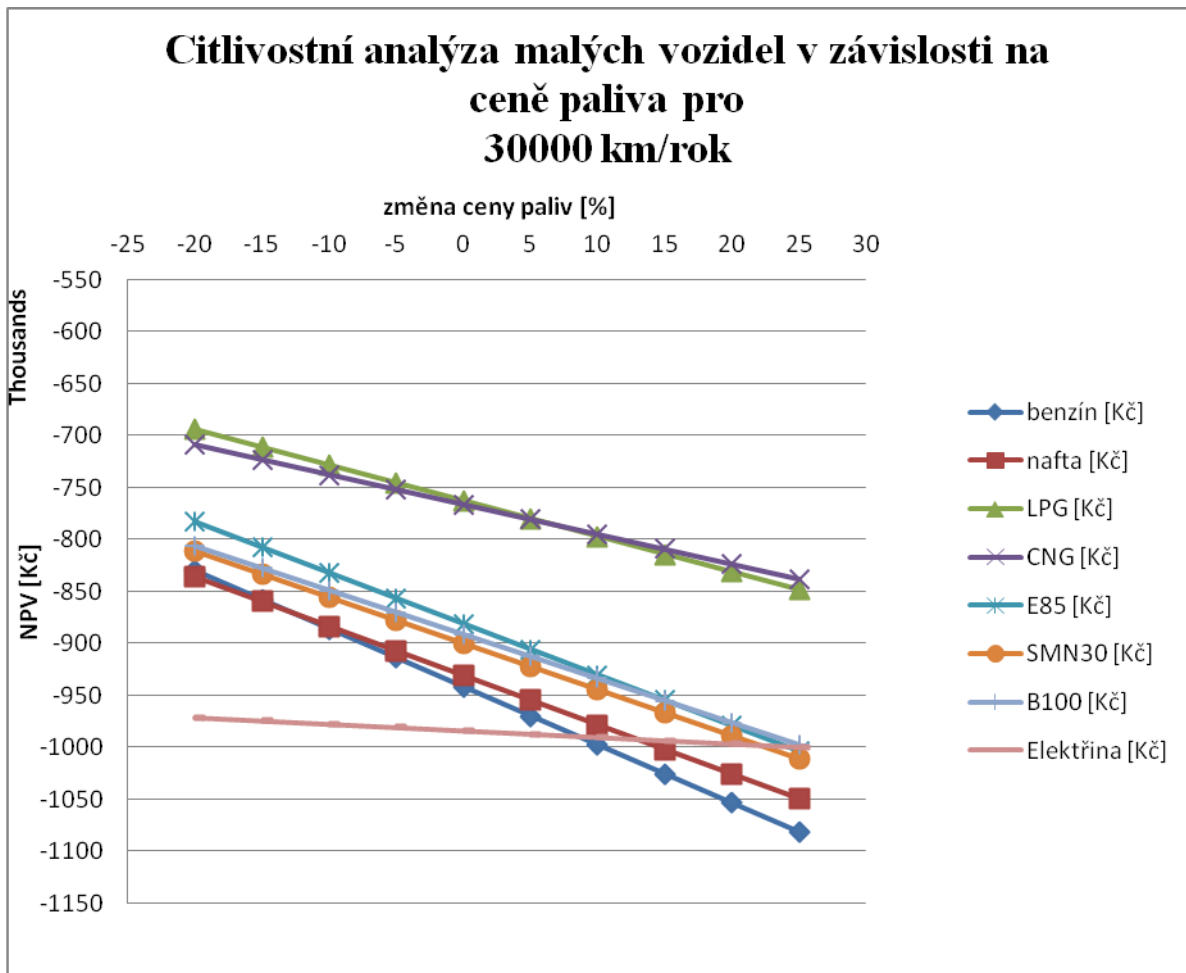
	Benzín [l]	Nafta [l]	LPG [l]	CNG [m3]	E85 [l]	B100 [l]	SMN30 [l]	El. Energie [KWh]
Cena [Kč]	36,25	36,24	17,37	18,16	24,60	30,30	32,70	1,85

Zdroj: český statistický úřad, vlastní úprava

#### 6.6 Citlivostní analýza

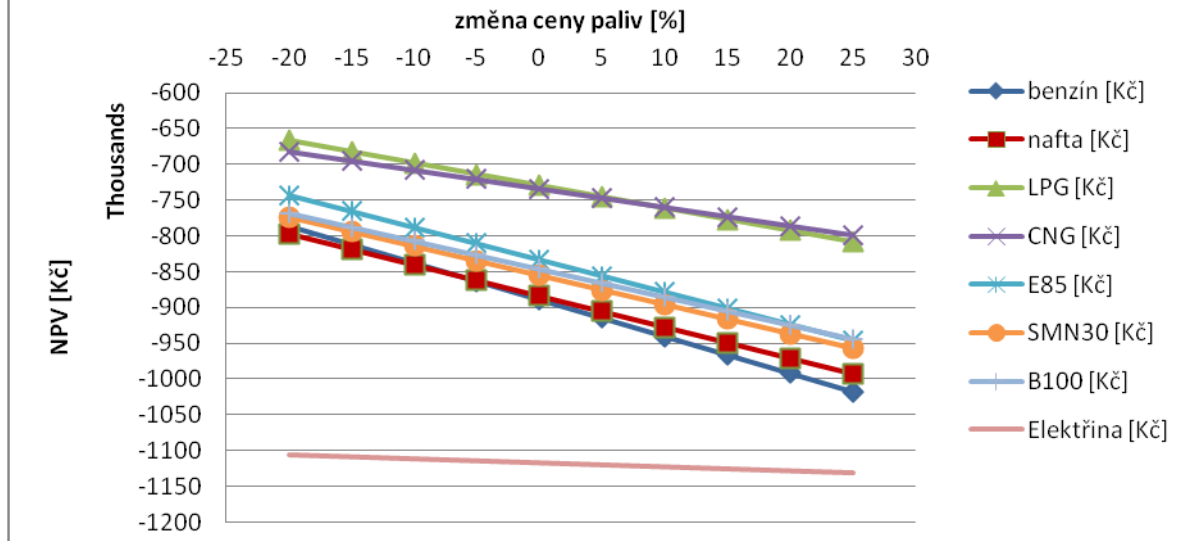
Zde budu za pomoci citlivostní analýzy a výsledných grafů porovnávat finanční výhodnosti investice jednotlivých forem energie v jednotlivých modelových situacích.

### 6.6.1 Malá vozidla



Z grafu je vidět, že nejlépe vychází LPG a CNG a to díky ceně pohonných hmot (dále jen PHM). CNG vychází mírně lépe při vyšších cenách PHM a LPG naopak. Díky dotacím od státu, v podobě snížené sazby spotřební daně, se křivky E85, SMN30 a B100 ocitají v grafu nad křivkami benzínu a nafty. Elektromobil se kvůli své velké pořizovací ceně při nízkých cenách PHM nevyplácí. Jiná situace nastává, když ceny PHM vzrostou. Tam se nízkonákladovost provozu elektromobilu začne vyplácet.

## Citlivostní analýza malých vozidel v závislosti na ceně paliva pro 15000 km/rok

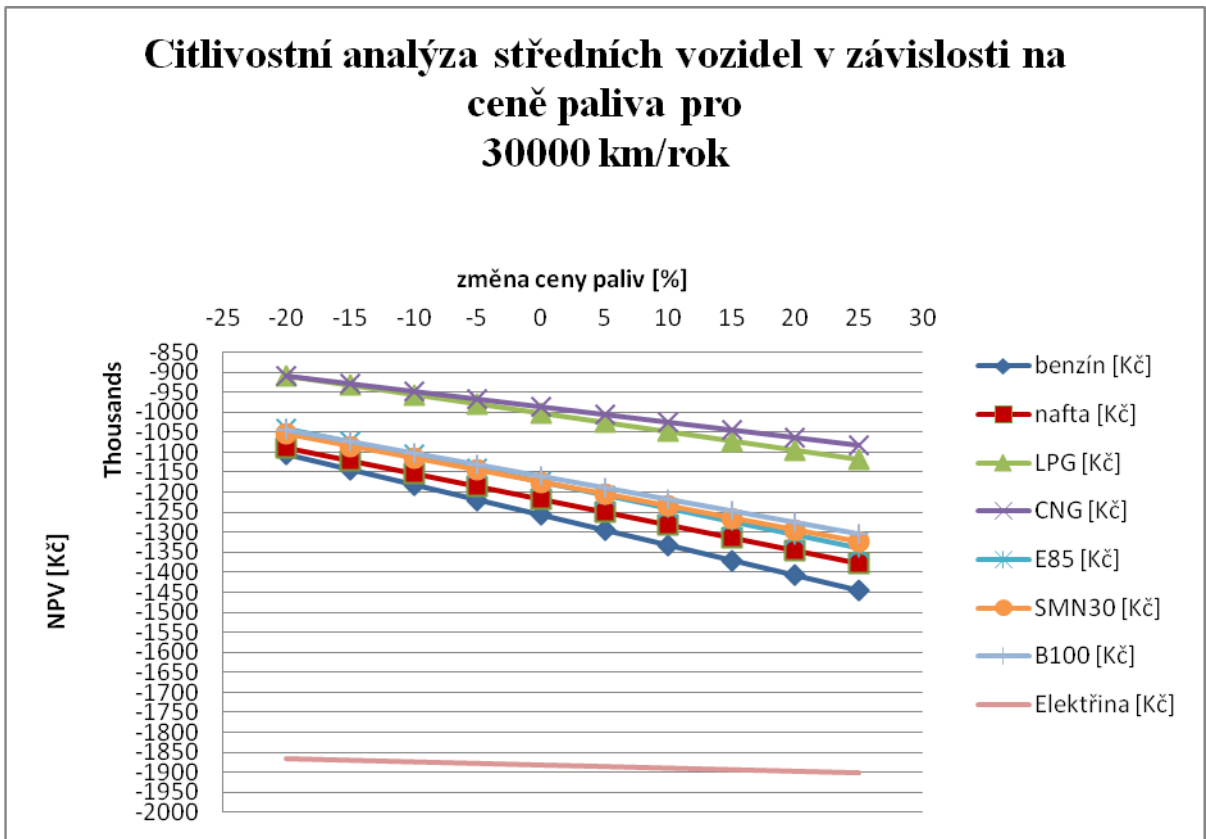


V této analýze je jediná změna. Křivka elektromobilu se propadla dolů. Za tento propad může výměna akumulátorů jednou za 6 let. Protože analýza je počítána pro 270 tisíc ujetých kilometrů, tak se akumulátory vymění celkem 2x a akumulátory jsou nejdražší součástí elektromobilu.

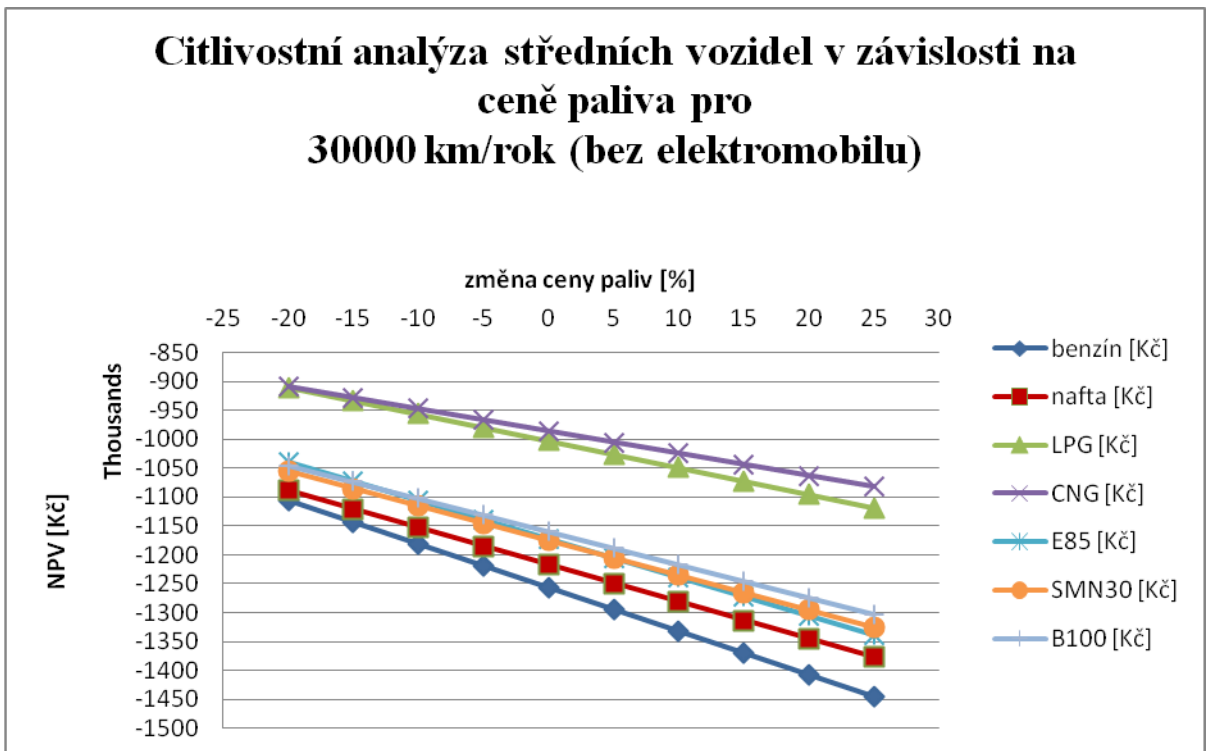
### 6.6.1.1 Závěr u malých vozidel

Nejvíce se vyplatí investovat do LPG a nebo CNG, dále se finančně ukazují být výhodné E85 SMN30 a B100, přičemž vozidla na tyto pohony potřebují častější údržbu. Nafta a benzín se ukazují, jako jedny z nejdražších variant, ale jedná se o nejběžnější varianty a na údržbu méně komplikované než ostatní (kromě elektromobilu). Poslední místo obsadil elektromobil, který se díky své pořizovací ceně vyplatí jen při velkém nájezdu kilometrů za rok a při zdražení PHM. Nutno dodat, že elektromobily se musí řídit podstatně plynuleji, než ostatní vozidla a nevyhovují mu velké kopce. Neplynulé řízení elektromobilu a jízda do kopce má za výsledek rychlé vybití akumulátoru. Poslední aspekt na uvážení je dostupnost dané formy energie. To znamená, zvážit k jakému účelu budete vozidlo využívat, a kde.

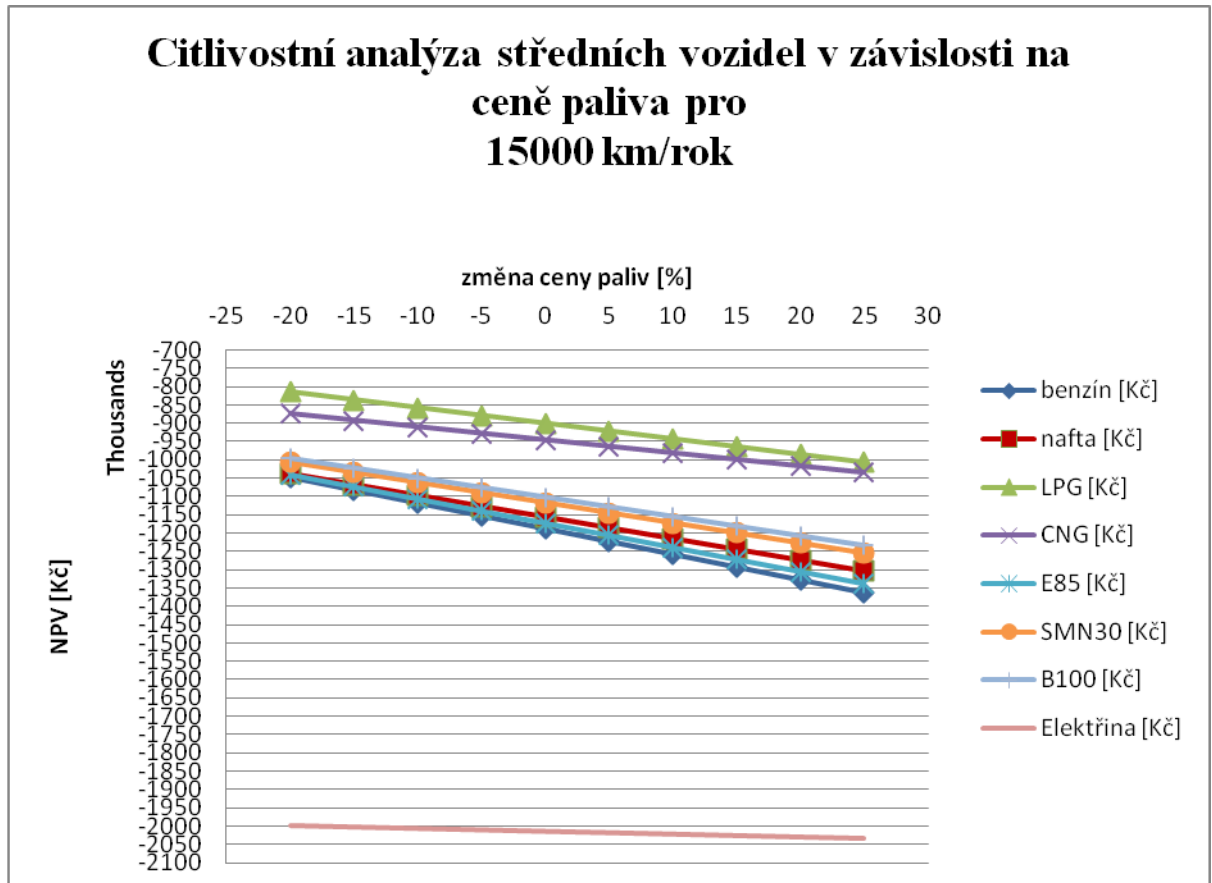
## 6.6.2 Střední vozidla



Elektromobil je zdaleka finančně nejhorší varianta. Může za to velká pořizovací cena, která u středního vozidla je neúměrně větší než u malého.

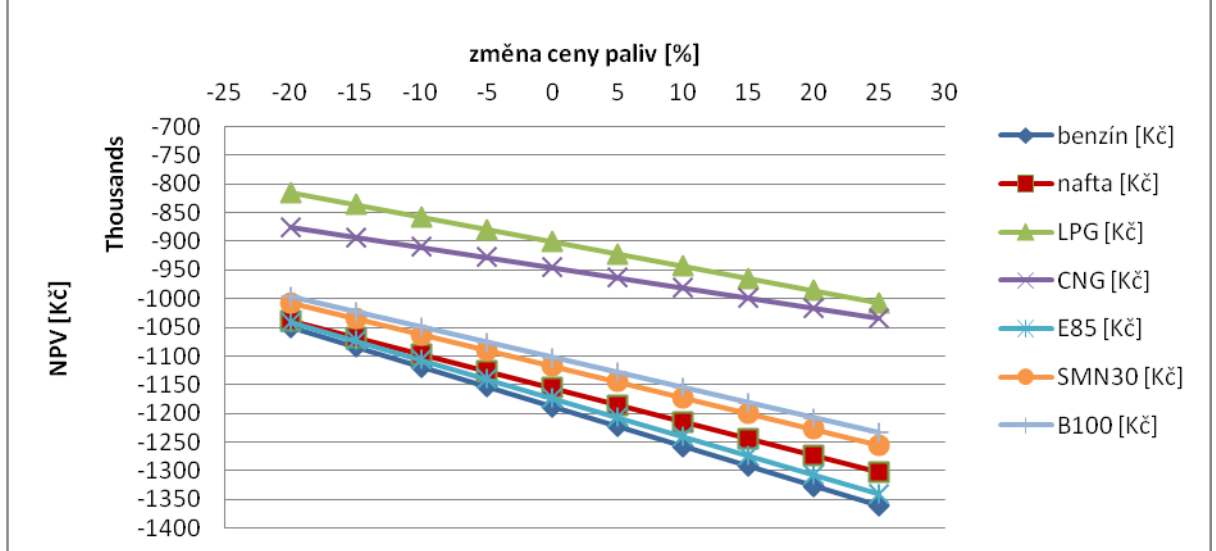


Zde vidíme podrobněji ostatní křivky. Nastávají tu změny oproti malému vozidlu. Pro střední vozidla vychází nejlépe CNG a poté LPG. E85 při nízkých cenách PHM vychází nastejno jako bionafty SMN30 a B100. Při vyšších cenách, díky vyšší spotřebě se křivka E85 nachází již pod SMN30 a B100. Nafta se ukazuje jako lepší investice než benzin.



Křivka Elektromobilu se propadla níže než u citlivostní analýzy pro 30 000 km/rok. Tento propad je způsobený výměnou akumulátorů, které se vyměnily 2x během najetí 280 000 kilometrů.

## Citlivostní analýza středních vozidel v závislosti na ceně paliva pro 15000 km/rok (bez elektromobilu)



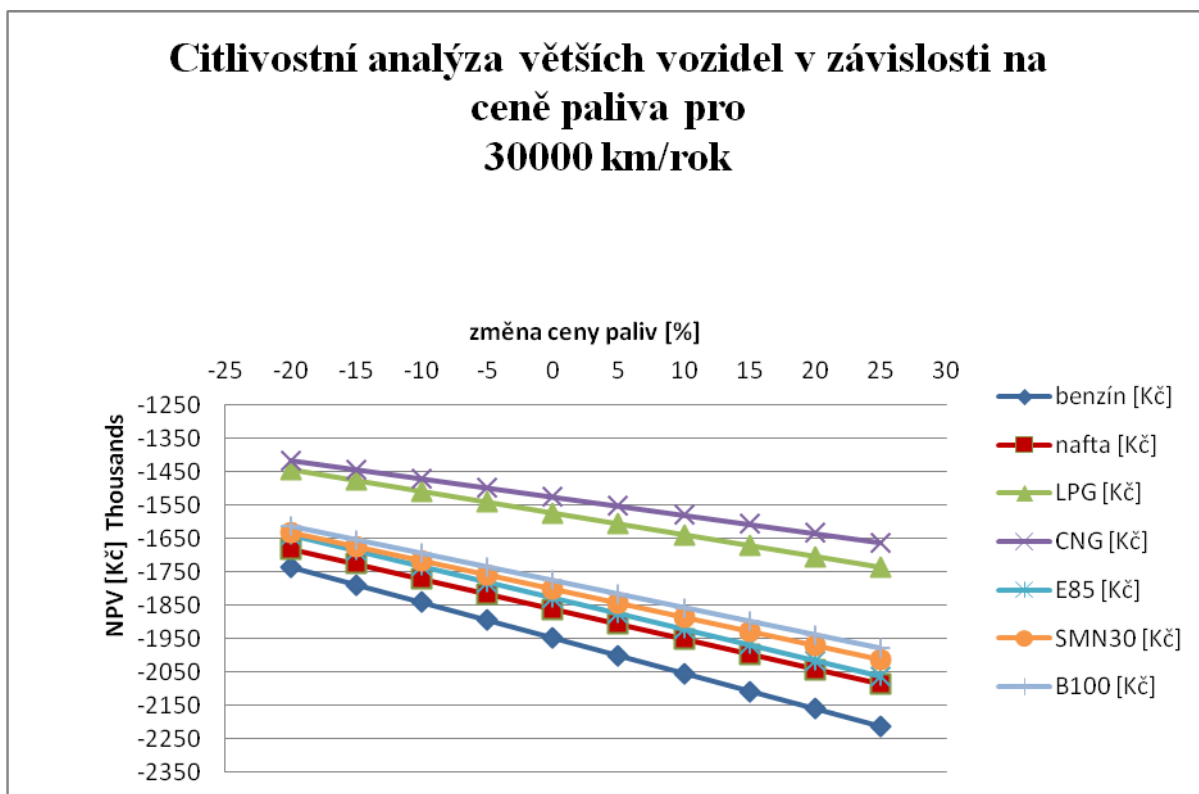
Bez elektromobilu, je možné lépe vidět zbylé křivky. Nejekonomičtěji vychází LPG, poté CNG. Dále bionafty a E85 při nižších cenách PHM je ekonomicky nastejno jako nafta a benzin, ale s nárůstem cen PHM vychází hůře než nafta.

### 6.6.2.1 Závěr u středních vozidel

Ekonomicky nejvýhodněji jednoznačně vychází LPG a CNG. Přičemž CNG je výhodnější při více najetých kilometrech za rok a LPG naopak při méně najetých kilometrech za rok. Dále se jeví ekonomicky dobře bionafty B100 a SMN30. E85 se vyplatí u více najetých kilometrech za rok. U méně najetých kilometrů za rok se ekonomicky propadá pod naftu. Elektromobil se zdá být tou nejhorší ekonomickou variantou vůbec.



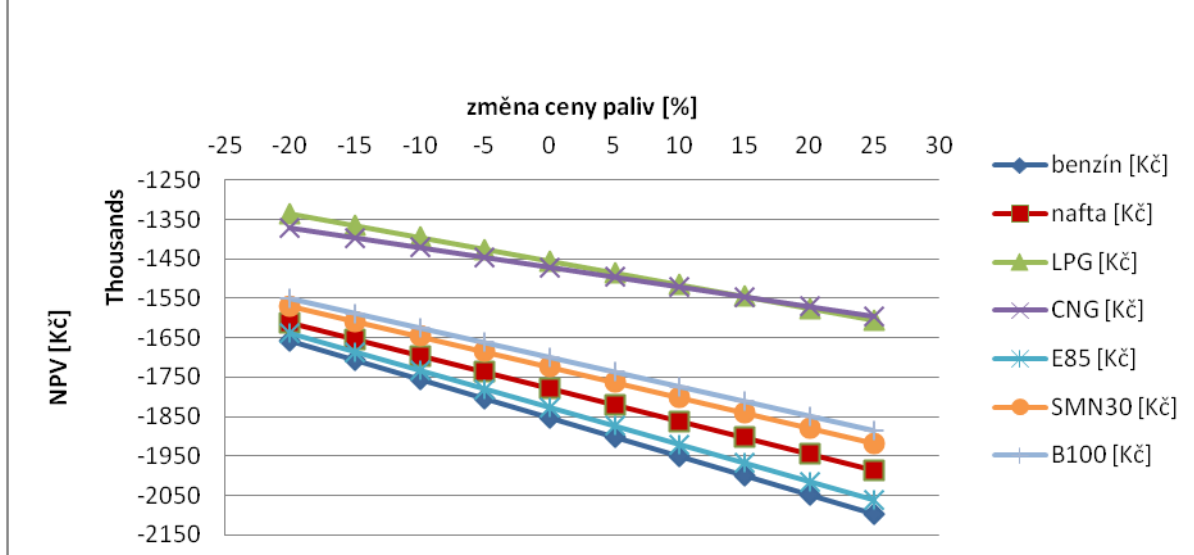
### 6.6.3 Velká vozidla



Jak jsem již zmínil dříve, elektromobil jsem pro velká vozidla neuvažoval. Důvodů je hned několik. Hlavním důvodem je, že se velké elektromobily zatím neprodávají, ale pronajímají. Druhým důvodem je ekonomická nevýhodnost elektromobilu v předešlých citlivostních analýzách a v této analýze by vycházel ještě hůře.

Zbylé křivky citlivostní analýzy vycházejí v pořadí stejně jako u středních vozů, ale jsou tam zřetelnější rozestupy mezi křivkami.

## Citlivostní analýza větších vozidel v závislosti na ceně paliva pro 15000 km/rok



V této analýze vychází opět ekonomicky nejvýhodněji LPG a CNG, kde se projevuje větší spotřeba PHM. Zbylé formy energie vycházejí ekonomicky pořadně stejně jako u středních vozů, jen jsou zde větší mezery mezi křivkami a to z důvodu větší spotřeby paliva.

### 6.6.3.1 Závěr u velkých vozidel

Ekonomicky nejvýhodněji vychází LPG a CNG, poté následují bionafty. Pro E85 platí to samé, jako u středních vozidel. Benzín vychází jako nejhorší ekonomická varianta.

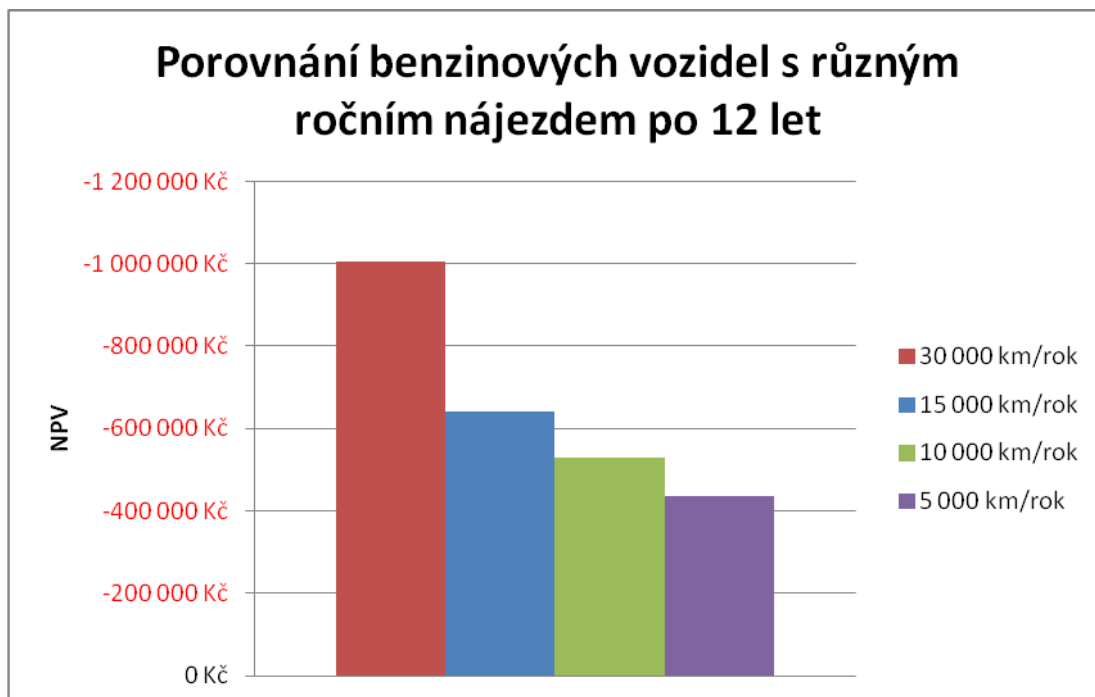
## 6.7 Porovnání NPV s neplánovanými servisními opravami

V této části budu porovnávat NPV malých vozidel s různými ročními nájezdy. Ve výpočtu NPV nebudu zanedbávat neplánované servisní opravy, a proto také porovnáám NPV různých forem energie mezi sebou ve stejném ročním nájezdu. Pro porovnávání zvolím benzín, naftu a LPG. Zbylé formy energie se liší od těchto velmi málo, a proto s nimi počítat nebudu. Zbytek výpočtu se ztotožňuje s předešlým výpočtem NPV.

Neplánované servisní opravy je těžké započítat do NPV z důvodu, že nevíme, kdy se stanou nebo zda se stanou. Záleží na mnoha věcech, které často ani nemůžeme ovlivnit.

Do Neplánovaných oprav jsem zahrnul jen ty nejčastější, jejich konkrétní seznam je v příloze.

### 6.7.1 Porovnání vozidel s různým ročním nájezdem



**Tab. 15 NPV benzinového vozidla**

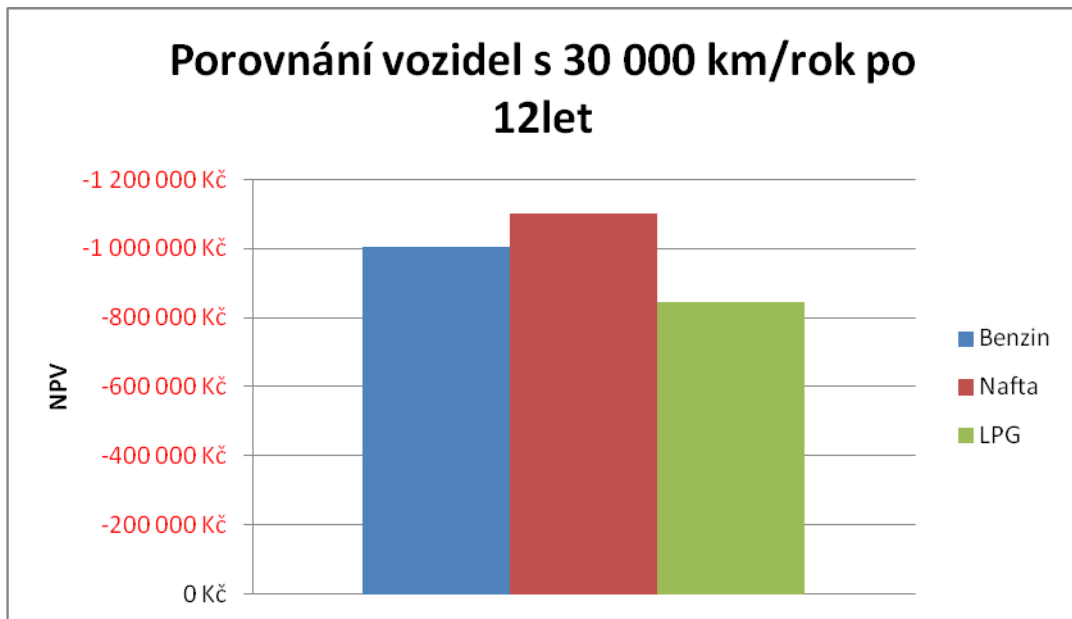
benzin	
roční nájezd	NPV
30 000 km/rok	-1 005 529,42 Kč
15 000 km/rok	-642 117,32 Kč
10 000 km/rok	-528 211,00 Kč
5 000 km/rok	-436 334,44 Kč

Zdroj: autor práce

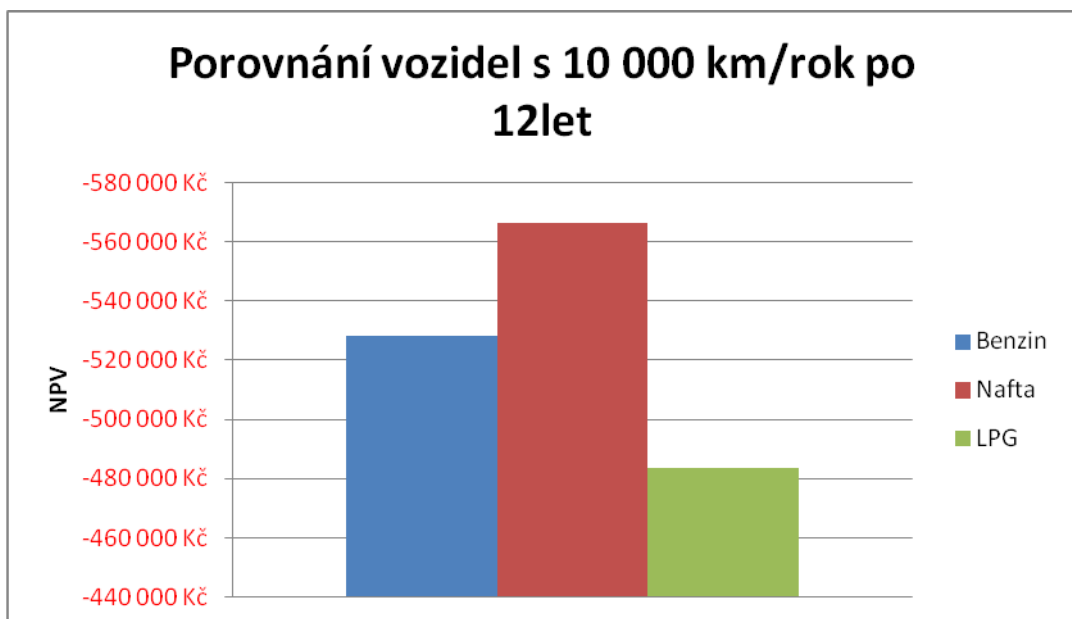
Z grafu a tabulky je vidět rozdíl jednotlivých NPV. S narůstajícími najetými kilometry nelineárně narůstá záporné NPV. To je způsobené neplánovanými servisními opravami, které se vyskytují častěji u vozidel s více naježděnými kilometry.

Porovnání NPV naftových a LPG vozidel najdete v příloze.

## 6.7.2 Porovnání vozidel různých forem energie při stejném nájezdu



Nafta vychází nejdraž při nájezdu 360 000 km během 12 let, poté benzín a nejlépe LPG.



Při nájezdu 120 000 km během 12 let, se tolik neobjevují neplánované servisní opravy, ale pokud si uvědomíme, kolik stojí benzinové vozidlo a rozložíme NPV na ujeté kilometry, poté nám vyjde, že při ujetých 360 000 km nás 1 kilometr stojí 2,793 Kč a při 120 000 km nás kilometr vyjde na 4,402 Kč. Ovšem při narůstajícím počtu ujetých kilometrů budou narůstat neplánované servisní opravy a začne se vyplácet koupě nového vozidla. Zbylé porovnání viz. příloha.

## Závěr

Práci jsem rozdělil na teoretickou a praktickou část. V první části jsem se zabýval vlastnostmi, výhodami a nevýhodami, bezpečností, ekologií provozování i současným a možným budoucím vývojem infrastruktury jednotlivých alternativních forem energie. Druhou část práce jsem věnoval ekonomice provozu jednotlivých alternativních forem energie. Nejdříve jsem udělal tři modely vozidel, které zastupovaly malé, střední a velké osobní vozidla. Pomocí výhřevností jednotlivých paliv a účinností motorů vozidel jsem určil pro každé palivo teoretickou spotřebu, která se odvíjela od spotřeby benzínu. Spotřebu elektromobilu jsem určil individuálně, dle existujících elektromobilů, nalézajících se v jednotlivých skupinách vozidel. Poté jsem zjistil u každého modelu průměrnou spotřebu benzínu na 100km a podle teoretické spotřeby dopočítal spotřebu zbývajících paliv. Dále jsem zjistil náklady na plánovanou údržbu jednotlivých motorů pro 270 000 najetých kilometrů, což je průměrná životnost osobního vozidla a pomocí teoretické spotřeby paliv vypočítal náklady na pohonné hmoty pro 15 000 a 30 000 kilometrů. Dále jsem spočítal pro každý model NPV a to pro 270 000 kilometrů po 15000 km/rok a 30000 km/rok. Poté jsem udělal citlivostní analýzu každého modelu vozidla pro každé uvedené palivo a pro rozdílné ujeté kilometry za rok, kde jako proměnou jsem zvolil cenu pohonných hmot a tyto analýzy vynesl do grafů a popsal. Jako poslední jsem se pokusil započítat do NPV i neplánované servisní opravy. Započítal jsem nejčastější opravy, ale jedná se o orientační výpočet, protože tyto opravy se vůbec nemusí stát, anebo jich naopak může být daleko více. Vše závisí na vozidle a na podmínkách v jakých se provozuje.

Každé palivo má své výhody a nevýhody a hodí se do jiných podmínek. Vše závisí na typu používání a na místě používání.

Ekologie jednotlivých forem alternativní energie vždy závisí na mnoha faktorech. Elektromobil je vozidlo, které má nulové přímé emise, ale spotřebovává elektrickou energii. Tudíž dopad elektromobilu na životní prostředí závisí na způsobu výroby elektrické energie. Palivo CNG jako druhé produkuje nejméně škodlivých emisí. Biopaliva díky koloběhu uhlíku by měla zatěžovat životní prostředí nejméně, ale je tu

více faktorů, které ovlivňují dopad na životní prostředí a to použitá energie na zpracování biomasy a kde se biomasa pěstuje.

Jako nejspolehlivější palivo, které vyžaduje nejméně údržby, má velmi kvalitní infrastrukturu, nemá zákaz vjezdu do špatně odvětrávaných míst, v případě prázdné nádrže lze dolít z kanystru a degraduje minimálně, vychází benzín a nafta.

Infrastruktura se ukázala jako největší problém alternativních paliv. Nej kvalitnější infrastrukturu má LPG a poté biopaliva. CNG má dobré pokrytí ve větších městech, ale jinde má velmi slabou infrastrukturu. Infrastruktura pro elektromobil se nachází v podobné situaci jako infrastruktura CNG. V rámci projektu Modrého koridoru by se měla v dohledné době situace u těchto dvou forem alternativní energie výrazně zlepšit.

Z finančního hlediska vycházelo nejlépe palivo LPG a CNG, které mělo menší záporné NPV než LPG u středního modelu vozidla při ujetých 30 000 kilometrech za rok. U velkého modelu vozidla také při ujetých 30 000 kilometrech za rok. V obou případech se projevila větší spotřeba LPG v porovnání s CNG. Dále vycházelo nejlépe B100, poté SMN30, které měly o něco menší záporné NPV než nafta a E85. Záporné NPV paliva E85 vycházelo větší/menší v závislosti na ujetých kilometrech za rok. Nafta vycházela lépe než benzín a hůře než bionafty. Při najetí více kilometrů za rok nafta vycházela lépe než E85 a naopak. Elektromobil vyšel finančně značně nejhůře. Jediná světlá výjimka byla u modelu malého vozidla s najetými 30 000 km/rok, kde při vyšších cenách PHM vycházelo ekonomicky lépe než nafta a benzin.

Při počítání s neplánovanými servisními opravami vyšla nafta nejhůře a naopak LPG nejlépe. NPV nafty nejvíce ovlivňovala výměna turbodmychadla a výměna DP Filtru. Ve starších vozech se DP Filtr nemusí nacházet.

Jako největší překážka pro rozvoj elektromobilu, která má stejnou váhu jako infrastruktura je cena a vlastnosti akumulátorů. V nynější době akumulátor představuje 70 % ceny elektromobilu. Tato situace by se měla podstatně v budoucnu zlepšit. Cenu výměny akumulátorů jsem zvolil nižší, než v dnešní době je a to z důvodu neustálého vývoje akumulátorů a předpokladu, že za 6 let se akumulátory a trh s nimi vyvine.

## Seznam použité literatury

- 1) RAMADHAS, Arumugam S. *Alternative fuels for transportation*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011, xviii, 445 p. ISBN 978-143-9819-579.
- 2) ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel : [příručka majitele vozu]*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013, ISBN 978-80-264-0148-3.
- 3) VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- 4) Cng4you: Výhody CNG. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/vyhody-cng.html>
- 5) KUČHTA, Jiří a Jan PROCHÁZKA. Mapa čerpacích stanic LPG. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://lpg.cernosice.cz/>
- 6) Cleanpowerfor transport: Frequentlyaskedquestions. EVROPSKÁ KOMISE. [http://europa.eu/index\\_en.htm](http://europa.eu/index_en.htm)[online]. Brusel, 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-13-24\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-24_en.htm)
- 7) HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- 8) Bezpečnost CNG. EURO CNG. [www.eurocng.cz](http://www.eurocng.cz) [online]. 2012, 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.eurocng.cz/bezpecnost/>
- 9) Mapa čerpacích stanic. NVGA. [www.ngva.cz](http://www.ngva.cz) [online]. 2012, 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.ngva.cz/mapa-cerpacich-stanic/>
- 10) Liquefied Natural Gas. CHEVRON. *Chevron* [online]. 2001 - 2014 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.chevron.com/deliveringenergy/naturalgas/liquefiednaturalgas/>
- 11) SAKMAR, Susan L. *Energy for the 21st Century: Opportunities and Challenges for Liquefied Natural Gas (LNG)*. UK: Edward Elgar Publishing, 2013, xviii, 489 pages. ISBN 978-184-9804-219.
- 12) HUSAIN, Iqbal. *Electric and hybrid vehicles: design fundamentals*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011, xxi, 501 p. ISBN 14-398-1175-X.

- 13) Elektromobil Tesla Model S opět v plamenech. *Hybrid* [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-s-opet-v-plamenech>
- 14) Tests results: Nissan Leaf. NCAP. *NCAP* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/results/nissan/leaf/2012/432.aspx>
- 15) Dobíjecí stanice. ČEZ. *Elektromobilita ČEZ* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeci-stanice.html>
- 16) Dobíjecí stanice. PRE. *Epoint* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/profil-spolecnosti/dalsi-aktivity-pre/e-mobilita/epoint-nabijeci-stanice-pre/>
- 17) Dobíjecí dobrovolné stanice. *Elektromobilita* [online]. 2010 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: [http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy\\_nab%C3%ADjec%C3%ADch\\_stanic](http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nab%C3%ADjec%C3%ADch_stanic)
- 18) *Euro NCAP* [online]. 2014. vyd. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/home.aspx>
- 19) LEE, Sunggyu a Yatish T SHAH. *Biofuels and bioenergy: processes and technologies*. Boca Raton, FL: Taylor, 2012, xvii, 323 p. ISBN 978-142-0089-554.
- 20) STARBUCK, Jon a Gavin D HARPER. *Run your diesel vehicle on biofuels: a do-it-yourself guide*. New York: McGraw-Hill, c2009, xviii, 226 p. ISBN 00-716-0043-4.
- 21) Ekonomická analýza využití bioetanolu v zážehových motorech. *Biom* [online]. 1.3.2010, 12.3.2010 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomicka-analyza-vyuziti-bioetanolu-v-zazehovych-motorech>
- 22) BABU, M a K SUBRAMANIAN. *Alternative transportation fuels: utilisation in combustion engines*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013, xxiii, 440 pages. ISBN 9781439872819.
- 23) Seznam čerpacích stanic bioetanolu. *Bioethanol E85* [online]. 2010 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.bioethanole85.cz/cerpaci-stanice-e85>
- 24) KUČERKOVÁ, Blanka. *Ekonomika podniku - Kritéria efektivnosti investic*. Edux.fit.cvut.cz [online]. 2011 [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <https://edux.fit.cvut.cz/oppa/BI-EKP/cviceni/Krit%C3%ADria%20ekonomick%C3%AD%20efektivnosti.pdf>



