

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Porovnání provozu vozidel s různými zdroji energie

Vehicle operation with different energy sources evaluation

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc.

Václav Kuchta

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kuchta** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **491951**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání provozu vozidel s různými zdroji energie

Název bakalářské práce anglicky:

Vehicle operation with Different Energy Sources Evaluation

Pokyny pro vypracování:

1. Konstrukce a princip funkce vybraných pohonů včetně používaných paliv pohony.
2. Parametry a výpočet emisí vybraných druhů vozidel a použitých paliv.
3. Porovnání vybraných typů vozidel, jejich parametrů, emisí, včetně nákladů na pořízení a provoz vozidel.
4. Výpočet nákladů pro automobily na vybraný alternativní pohon za dobu životního cyklu..

Seznam doporučené literatury:

- 1) EVROPSKÝ PARLAMENT. Nařízení evropského parlamentu a rady, kterým se stanoví výkonnostní normy pro emise CO₂ pro nové osobní automobily. Rada Evropské unie [online]. Brusel, 2019 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-6-2019-INIT/cs/pdf>
- 2) FRITH, Dr. James a Colin MCKERRACHER. Electric Vehicle Outlook 2021. BloombergNEF [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://about.newenergyfinance.com/electric-vehicle-outlook/>
- 3) BIEKER, Georg. A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emission of combustion engine and electric passenger cars. Iccct: The international council on clean transportation 61 [online]. 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf
- 4) Národní energetický mix. OTE [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **05.05.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **16.02.2025**

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. za odbornou pomoc při vedení bakalářské práce, za cenné rady, které mi poskytl a za čas, který mi věnoval.

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 25. května 2023

.....

Abstrakt

V této práci jsou popsány alternativní paliva a pohony, které jsou v současnosti používané a následně jsou tři vybraná vozidla mezi sebou porovnávána. Porovnávaná vozidla jsou Škoda Kodiaq se vznětovým a zážehovým motorem a elektromobil Škoda Enyaq iV. Vozidla jsou porovnávána ekonomicky a také podle toho, jaký mají dopad na okolí během provozu. V ekonomickém porovnání jsou vypočteny náklady za dobu používání vozidel a pomocí NPV je stanoveno ekonomické pořadí variant. Dopad na okolí je stanoven a porovnáván nejdříve pomocí vyprodukovaných emisí CO₂ a následně pomocí externích nákladů.

Klíčová slova: alternativní paliva, alternativní pohony, elektromobil, provozní náklady, porovnání provozu vozidel, emise CO₂, externí náklady

Abstract

In this thesis are described alternative fuels and drives that are currently used and then three selected vehicles are compared with each other. The compared vehicles are Škoda Kodiaq with diesel and gasoline engines and electric car Škoda Enyaq iV. Vehicles are compared economically and also according to the impact they have on the environment during operation. In the economic comparison, the costs for the period of use of the vehicles are calculated and the economic ranking of the variants is determined using the NPV. The impact on the environment is determined and compared first using the produced CO₂ emissions and then using external costs.

Key words: alternative fuels, alternative drives, electric car, operating costs, comparison of vehicle operation, CO₂ emissions, external costs

Obsah

1. Úvod	1
2. Spalovací motory	2
2.1. Princip činnosti čtyřdobého spalovacího motoru	2
2.2. Zážehové motory	2
2.3. Vznětové motory	2
3. Biopaliva a alternativní paliva pro spalovací motory	3
3.1. Biopaliva	3
3.1.1. Bionafta	3
3.1.2. Bioethanol	3
3.2. LPG	3
3.3. Zemní plyn	3
3.3.1. CNG	4
3.3.2. LNG	4
4. Vodíkový pohon	5
4.1. Výroba vodíku	5
4.2. Palivové články	5
4.2.1. Rozdělení palivových článků podle pracovní teploty	5
4.2.2. Rozdělení palivových článků podle použitého elektrolytu	5
5. Elektrický pohon	6
5.1. Používané motory	6
5.1.1. Synchronní motor s permanentním magnetem	6
5.1.2. Asynchronní motor	6
5.2. Baterie	6
6. Hybridní pohon	7
6.1. Rozdělení hybridních pohonů	7
6.1.1. Rozdělení podle upořádání hnacího ustrojí	7
6.1.2. Rozdělení podle stupně hybridizace	7
7. Emise	8
7.1. Emise v dopravě	8
7.2. Měření emisí vozidel	9
7.2.1. WLTP	9
7.2.2. RDE	9
7.3. Skleníkový efekt	9
7.4. Cíle a opatření EU proti emisím	10
8. Ekonomické porovnání vybraných vozidel	11

8.1.	Vybraná vozidla	11
8.2.	Náklady na pořízení a provoz vybraných vozidel	12
8.2.1.	Pořizovací cena	12
8.2.2.	Servis	12
8.2.3.	Povinné ručení a havarijní pojištění	12
8.2.4.	Dálniční známka.....	13
8.2.5.	Palivo	13
8.2.6.	Technická kontrola	14
8.2.7.	Parkování.....	14
8.3.	Prodej vozidla	15
8.4.	NPV	15
8.5.	Citlivostní analýza	17
8.5.1.	Citlivostní analýza diskontu	17
8.5.2.	Citlivostní analýza ročního nájezdu	18
8.5.3.	Citlivostní analýza ročního nárůstu ceny paliva	18
9.	Emise vybraných vozidel	19
9.1.	Externí náklady	19
9.2.	Výpočet externích nákladů z provozu vybraných vozidel se spalovacími motory	20
9.3.	Výpočet externích nákladů z provozu vybraného elektromobilu	21
9.4.	NPV včetně externích nákladů	22
9.5.	Citlivostní analýza změny výše externích nákladů	24
10.	Výpočet nákladů elektromobilu za dobu životního cyklu	25
10.1.	Servis	25
10.2.	Likvidace	25
10.3.	Náklady za životní cyklus	26
11.	Závěr	27
	Literatura	28
	Seznam obrázků	31
	Seznam tabulek	31

1. Úvod

Automobily jsou v dnešní době nedílnou součástí života mnoha lidí, bez které by se neobešli. Ač jsou automobily užitečné, spalováním fosilních paliv vznikají emise, které mají podíl na změně zemského klimatu. Právě změny klimatu jsou v Evropské unii posledních několik let velmi diskutovaným tématem, na které se bere stále větší zřetel, přičemž na automobily jsou neustále kladeny důraznější omezení na produkci emisí, a to hlavně oxidu uhličitého. Jedním z možných řešení, jak snížit emise, je přechod od vozidel se spalovacími motory k vozidlům elektrickým, která při svém provozu neprodukují emise a namísto toho jsou emise spjaté s energetickým mixem země, ve které je elektrické vozidlo provozováno.

Cílem práce je představit alternativy pro spalovací motory využívající běžná fosilní paliva jako např. biopaliva a zemní plyn, dále porovnání vybraných vozidel se zaměřením na elektromobil jakožto nejperspektivnější alternativu. Vozidla se budou porovnávat ekonomicky a poté také pomocí externích nákladů vzniklých provozem vozidel.

2. Spalovací motory

Spalovací motory jsou stroje, které spalováním paliva přeměňují chemickou energii paliva na energii mechanickou. Spalovací motory se rozdělují na pístové a reaktivní, přičemž pístové motory se dále rozdělují podle pohybu pístu na přímočarý a rotační. V automobilové dopravě jsou pak nejpoužívanějšími spalovacími motory čtyřdobé motory zážehové a vznětové, což jsou motory pístové s přímočarým pohybem. [1]

2.1. Princip činnosti čtyřdobého spalovacího motoru

Pracovní cyklus čtyřdobého spalovacího motoru se skládá ze čtyř fází, kterými jsou sání, komprese, zážeh a výfuk. U vznětových motorů je fáze zážehu nahrazena fází vznětu. Během sání je otevřen sací ventil a pohybem pístu do dolní úvrati je do válcové komory nasávána pohonná směs, v případě vznětového motoru pouze vzduch. V kompresní fázi je pohybem pístu do horní úvrati komory nasátý obsah komory rychle stlačen, čímž dojde ke zvýšení teploty obsahu. Během zážehu je stlačený obsah v komoře zažehnut elektrickou svíčkou. Po zažehnutí se obsah začne rozpínat, čímž začne tlačit válec do dolní části komory a konat práci. Během vznětu je palivo vstříknuto do komory se stlačeným a zahřátým vzduchem. Palivo se vlivem vysoké teploty vznítí a opět dochází k rozpínání a tlačení válce do dolní části komory. Ve fázi výfuku je otevřen výfukový ventil a shořelé plyny jsou vytlačeny ven z komory. [1]

2.2. Zážehové motory

Pohonnou látkou pro zážehové motory je benzín, nebo alternativy jako bioethanol, LPG a zemní plyn. Výhodami zážehových motorů oproti vznětovým jsou nižší pořizovací cena, nižší hlučnost, nižší náklady na údržbu, lepší akcelerace a snadnější startování za nízkých teplot. [2]

2.3. Vznětové motory

Vznětové motory využívají jako palivo naftu nebo bionaftu. Výhodami vznětových motorů jsou nižší spotřeba, levnější palivo, delší životnost motoru a schopnost zvládnout větší zátěž. [2]

3. Biopaliva a alternativní paliva pro spalovací motory

3.1. Biopaliva

Jedná se o paliva vyráběná z biomasy. Biomasa obecně zahrnuje látky tvořící těla organismů. K výrobě paliv se cíleně pěstují rostliny jako např. obilí, olejniny, cukrová třtina, kukuřice aj. Dále se používají různé odpady např. z živočišné výroby, odpady z potravinářského a dřevozpracujícího průmyslu, komunální odpady a lesní odpady. Nejvíce využívanými biopalivy v současnosti jsou bionafta a bioethanol. [3]

3.1.1. Bionafta

Bionafta se získává z rostlinných olejů a živočišných tuků, které jsou vystaveny transesterifikaci, což je chemický proces, při kterém reagují oleje a tuky s alkoholy za přítomnosti katalyzátoru. Výsledným produktem jsou alkyl estery mastných kyselin, které byly přítomny v oleji nebo tuku. Pokud byl k výrobě bionafty použit metanol, tak se výsledný produkt nazývá metylestery mastných kyselin neboli FAME. Bionafta má díky transesterifikaci podobnou viskozitu jako nafta a používá se tedy ve vznětových motorech. Výhody bionafty jsou:

- Redukce závislosti na dodávkách ropy z cizích zemí.
- Lepší rozložitelnost.
- Méně výfukových plynů (kromě oxidů dusíku). [4]

3.1.2. Bioethanol

Bioethanol se vyrábí fermentací neboli kvašením. Zkvasitelné jsou pouze monosacharidy (jednoduché cukry), složitější sacharidy musí být před procesem kvašení nejdříve hydrolyzovány na monosacharidy. K výrobě se používá biomasa obsahující jednoduché cukry (cukrová řepa, cukrová třtina), biomasa obsahující škrob (obiloviny) a lignocelulózová biomasa (sláma, rychle rostoucí dřeviny, papír apod.).

Bioethanol má nízkou vznětlivost, čímž se směs bioethanolu s naftou nedá používat ve vznětových motorech bez úpravy kompresního poměru a dimenzování vstřikovacího poměru. Po úpravě nelze vznětový motor provozovat na běžnou naftu, a navíc úprava vede jen k malému snížení výfukových plynů. Z těchto důvodů se bioethanol na provoz vznětových motorů nepoužívá. Naopak zážehové motory potřebují pouze drobnou úpravu na provoz vysokoprocenní směsi bioethanolu a autobenzínu, kterou je prodloužení doby vstřiku paliva. Prodloužením doby vstřiku paliva dojde k vyšší spotřebě paliva, ale zároveň dojde také ke snížení produkce výfukových plynů. [5]

3.2. LPG

Zkratka v překladu znamená zkapalněný ropný plyn, což je směs uhlovodíkových plynů, přesněji propan-butan. Propan vzniká jako meziprodukt během rafinace ropy a zpracování zemního plynu. V posledních letech se LPG začalo také vyrábět z odpadů a biomasy (zbytky jídla, odpadní oleje atd.), čímž se sníží uhlíková stopa oproti běžnému LPG až o 80 % a oproti naftě až o 90 %. Takto vyrobené palivo se označuje jako Bio LPG. Díky vysokému oktánovému číslu a snadnější úpravě motoru je LPG využíváno především na pohánění zážehových motorů. [6], [7], [8]

3.3. Zemní plyn

Jedná se o bezzápachovou plynnou směs uhlovodíků s největším zastoupením methanu. Získává se těžbou nebo anaerobní digestací (rozklad látek bez přístupu vzduchu) biologicky rozložitelného odpadu. Zemní plyn se využívá k pohánění vozidel ve dvou podobách, a to CNG a LNG. [9], [10]

3.3.1. CNG

CNG se vytváří stlačením zemního plynu na asi setinu původního objemu za normálního atmosférického tlaku. Odtud je význam zkratky, která znamená stlačený zemní plyn. Spalováním CNG nedochází k tak velké produkci výfukových plynů jako u nafty, benzínu a LPG, a navíc CNG neznečišťuje půdu ani vodu. CNG není jedovatý a není těžší než vzduch, takže při úniku plynu dochází k jeho rozptýlení. Motor a nádrž vozidla musí být uzpůsobeny pro provoz na CNG, což se projeví vyšší pořizovací cenou. Nádrž vozidla je vyráběna z oceli, hliníku nebo z kompozitních materiálů a je bezpečnější než klasická nádrž na benzín, naftu nebo LPG. [9], [11]

3.3.2. LNG

LNG je zemní plyn v kapalné podobě. K tomu, aby se plyn zkapalnil je potřeba ho zchladit na teplotu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ a uchovávat jej v izolovaných tlakových nádobách. Zkapalněný zemní plyn má větší energetickou hustotu než pouhý stlačený zemní plyn, a proto se hodí na překonání dlouhých vzdáleností. Náročnější výroba a skladování má však za následek nevyužívání LNG pro pohánění osobních automobilů a využívá se spíše u nákladních vozů. [9]

4. Vodíkový pohon

Vodík je možné v automobilech využívat dvěma způsoby, a to buď přímým spalováním ve spalovacích motorech stejným způsobem jako benzín nebo zemní plyn anebo jako pohonná látka pro palivové články, které používají chemickou energii vodíku k produkci elektrické energie. [12]

4.1. Výroba vodíku

Vodík se vyrábí několika způsoby, nejrozšířenější je však výroba z fosilních paliv pomocí parní reformace zemního plynu. Při tomto procesu se vodní pára ohřátá na teplotu 750 - 950 °C přivádí k metanu, kde spolu reagují za vzniku vodíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Oxid uhelnatý dále reaguje s vodní párou za vzniku vodíku a oxidu uhličitého. Při tomto procesu vzniká velké množství oxidu uhličitého (asi 9 - 12 kg na 1 kg vodíku), kvůli čemuž není tento proces výroby perspektivní.

Dalším způsobem výroby je elektrolýza vody. Během elektrolýzy se štěpí voda pomocí elektrického proudu, kyslík vzniká na anodě a vodík na katodě. Tento proces výroby je bezemisní, pokud elektřina pochází z obnovitelných zdrojů. Dále existuje více způsobů výroby vodíku jako např. termochemické štěpení vody, další výroba z fosilních paliv atd. [12], [13]

4.2. Palivové články

Palivový článek je zařízení, ve kterém dochází vlivem elektrochemických reakcí k tvorbě elektrické energie z vnitřní energie paliva. Palivové články se skládají z katody, anody a elektrolytu mezi elektrodami. Během činnosti palivového článku je na anodu přiváděno palivo (vodík), které zde oxiduje a uvolněné elektrony se začnou pohybovat přes vnější obvod ke katodě, což způsobí elektrický proud. Na katodu je přiváděno okysličovadlo (vzduch), které přijímá volné elektrony za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikly elektrolytem. Během činnosti palivového článku se elektrody neopotřebovávají. Existuje několik druhů palivových článků, které se rozdělují podle typu použitého elektrolytu a pracovní teploty. [12], [14]

4.2.1. Rozdělení palivových článků podle pracovní teploty

- Nízkoteplotní – pracovní teplota je mezi 60 – 130 °C.
- Středněteplotní – pracovní teplota je mezi 160 – 220 °C.
- Vysokoteplotní – pracovní teplota je mezi 600 – 1050 °C. [14]

4.2.2. Rozdělení palivových článků podle použitého elektrolytu

- Palivový článek polymer – elektrolyt (PEFC) – kyselina sulfonová.
- Alkalický palivový článek (AFC) – KOH.
- Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC) – kyselina fosforečná.
- Palivový článek s roztavenými uhličitany (MCFC) – zásaditý uhličitán.
- Palivový článek s tuhými oxidy (ITSOFC) – keramické komponenty.
- A další. [12], [14]

5. Elektrický pohon

Elektrické vozy jsou poháněny elektrickými motory, které ke své činnosti používají elektrickou energii ze sítě, která je ukládána do autobaterie. Elektrickou energii je možné dobít z domova nebo z veřejných dobíjecích stanic. Plně elektrické vozy neprodukují žádné výfukové emise a místo toho emise vznikají už při výrobě elektrické energie. Množství emisí vznikajících při výrobě elektrické energie závisí na způsobu její výroby. [15]

5.1. Používané motory

Nejčastěji používanými elektromotory jsou třífázové synchronní motory s permanentním magnetem a třífázové asynchronní motory. Elektrické motory oproti spalovacím motorům dosahují maximálního momentu již při malých otáčkách a díky širokému rozsahu otáček nepotřebují vícestupňovou převodovku. [16]

5.1.1. Synchronní motor s permanentním magnetem

Stator motoru je tvořen prostorově rozloženým vinutím, kterým prochází třífázový proud, čímž se vytváří točivé magnetické pole. Rotor je tvořen permanentním magnetem, který je přitahován statorovým točivým polem a tím i otáčen. Rotor se otáčí stejnou (synchronní) rychlostí, jako statorové točivé pole. Rotor s permanentním magnetem má oproti klasickému rotoru synchronního motoru tu výhodu, že nemusí být buzený, čímž vzniká několik výhod jako např. jednodušší konstrukce a eliminace ztrát buzení vinutí. [17]

5.1.2. Asynchronní motor

Stator je stejný jako u synchronního motoru a také je stejným způsobem vytvářeno točivé magnetické pole. Rotor asynchronního stroje je tvořen elektrotechnickými plechy s drážkami, do kterých je vložena rotorová klec. Vlivem točivého magnetického pole se v kleci indukuje napětí, čímž klecí začnou téct proudy. Vzájemným působením proudů a statorového pole vzniká moment, který působí proti příčině svého vzniku (snaží se udržet statorové pole a rotor ve stejné poloze vůči sobě) a roztočí motor ve směru točení statorového pole. [17]

5.2. Baterie

Baterie se skládají z bateriových článků, které jsou vhodně zapojeny tak, aby bylo dosaženo požadované napětí a požadovaný proud. Bateriové články jsou poskládány do bateriových modulů, ke kterým se přidá chladicí jednotka a zařízení na měření teploty a napětí. [18]

Nejpoužívanější baterií je v dnešní době lithium-iontová, a to z důvodů relativně nízké hmotnosti a vysoké energetické hustoty. Anoda je tvořena grafitem, katoda oxidem LiCoO_2 a mezi nimi je oddělovač z polymeru, většinou polypropylen nebo polyethylen. Elektrolyt sloužící k přenosu iontů lithia je tvořen přírodním rozpouštědlem a solí lithia. [19]

6. Hybridní pohon

Pod pojmem hybridní pohon se obecně označuje pohon s několika zdroji energie. V automobilovém průmyslu se nejčastěji jedná o kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru. Hybridní pohony umožňují využívat výhody použitých zdrojů energie a zároveň potlačovat jejich nevýhody. Typicky jde o snahu kombinovat vysoký dojezd a vyšší točivý moment spalovacího motoru a nízké emise spolu s vysokou účinností elektromotoru. Během provozu hybridního pohonu je elektromotor využíván jako výchozí zdroj energie a spalovací motor napomáhá v situacích, kdy by samotný elektromotor nestačil. [20]

6.1. Rozdělení hybridních pohonů

Hybridní pohony se rozdělují podle tří kritérií. Prvním je způsob uspořádání hnacího ústrojí na sériový, paralelní a kombinovaný hybrid. Druhým kritériem je stupeň hybridizace (jak velkou roli hraje elektromotor) na mild, full a plug-in hybrid. Poslední rozdělení je podle způsobu uložení elektrické energie, což může být například baterie (kap. 5.2) nebo palivový článěk (kap. 4.2). [21], [22]

6.1.1. Rozdělení podle upořádání hnacího ústrojí

6.1.1.1. *Sériový hybrid*

V sériovém uspořádání se spalovací motor používá pouze k pohánění generátoru elektrické energie. Generátor zase dodává vyrobenou elektřinu do akumulátoru, ze kterého si bere energii elektromotor, který přímo pohání vozidlo. Takovýto pohon pracuje v úzkém pásmu otáček, tudíž může být jeho chod maximálně efektivní, zase zde ale dochází k několika změnám energie před tím, než se dostane k elektromotoru. [21], [22]

6.1.1.2. *Paralelní hybrid*

Spalovací motor je v tomto uspořádání schopen pohánět vozidlo přes mechanickou převodovku. Paralelní hybrid může být poháněn buď spalovacím motorem, nebo jen elektromotorem a případně také jejich kombinací. Spalovací motor nedokáže pohánět vozidlo a zároveň nabíjet akumulátor. Díky schopnosti používání obou motorů zároveň je paralelní hybrid efektivnější při vyšších rychlostech. [21], [22]

6.1.1.3. *Kombinovaný hybrid*

Kombinovaný hybrid spojuje dvě předchozí zapojení dohromady. Vozidlo mohou pohánět oba motory buď dohromady nebo zvlášť. Zároveň je spalovací motor schopen vyrábět pomocí generátoru elektrickou energii pro elektromotor. [21], [22]

6.1.2. Rozdělení podle stupně hybridizace

6.1.2.1. *Mild hybrid*

Spalovací motor pohání vozidlo a elektromotor pouze vypomáhá při rozjezdu nebo zrychlování. Během brzdění je pohon schopen rekuperovat energii a tím snížit spotřebu paliva a emisí. [21], [22]

6.1.2.2. *Full hybrid*

Elektromotor je dostatečně silný na samostatné pohánění vozidla a spalovací motor buď také pohání vozidlo nebo dodává energii do akumulátoru. [21], [22]

6.1.2.3. *Plug-in hybrid*

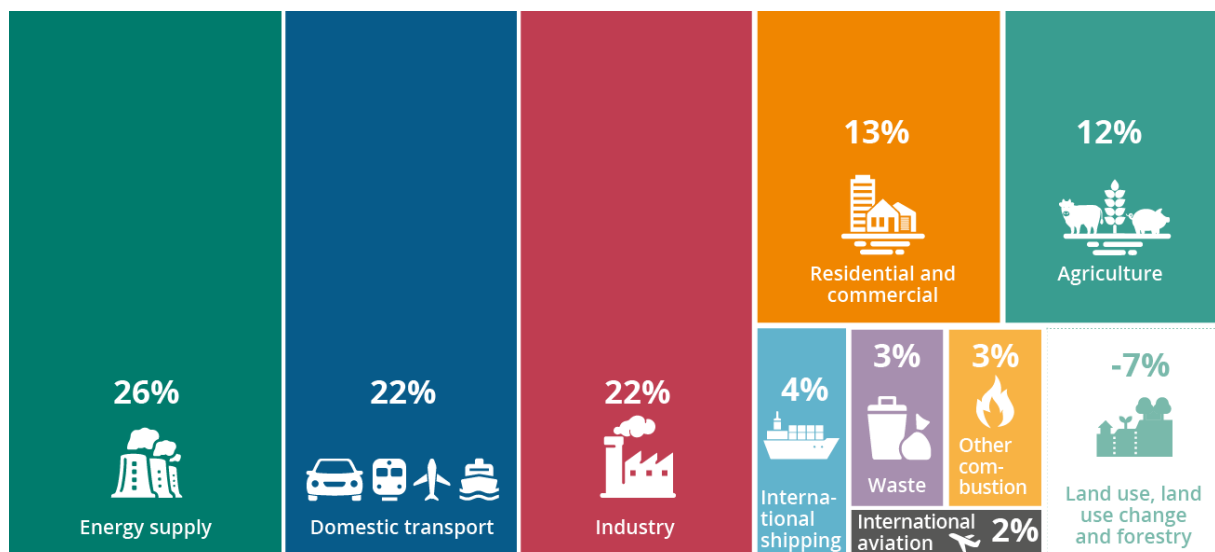
Plug-in hybrid je v podstatě full hybrid doplněný o možnost nabíjení akumulátoru z elektrické sítě. Spalovací motor tedy není potřeba využívat tak často, jako u ostatních hybridů. [21], [22]

7. Emise

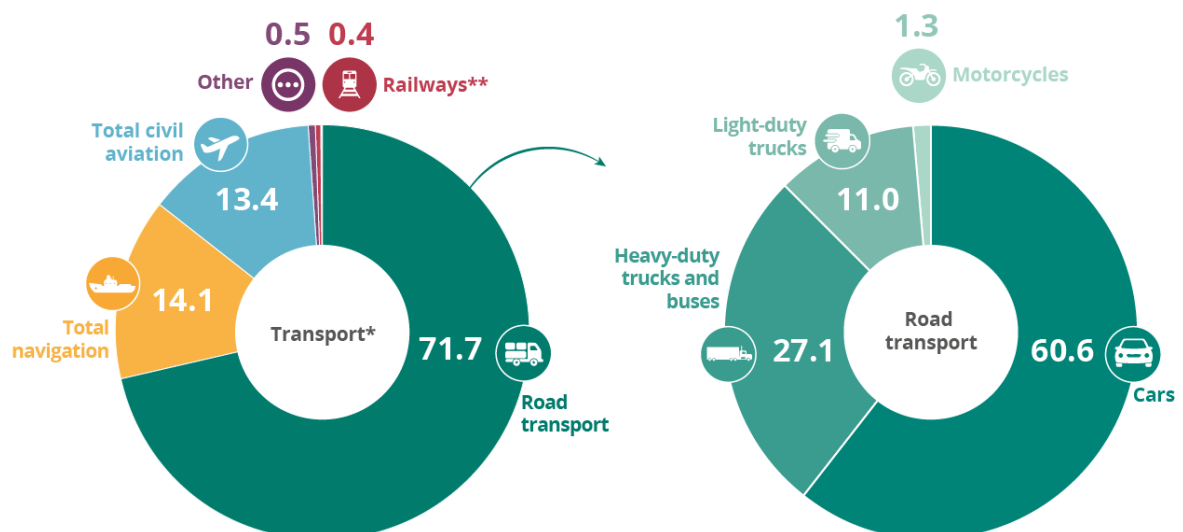
7.1. Emise v dopravě

Oblast dopravy patří k významným zdrojům emisí. Výfukové plyny obsahují vodní páru, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky, prachové částice aj. Kromě toho, že řada látek ve výfukových plynech jsou pro člověka toxické mají také tyto látky negativní vliv na ovzduší a životní prostředí obecně. [23]

Emise, které jsou v současné době nejvíce sledovány a diskutovány jsou skleníkové plyny, způsobující skleníkový efekt, kterými jsou oxid uhličitý, metan, oxid dusný a další. V členských státech Evropské unie může doprava za 22 % vypuštěného oxidu uhličitého do ovzduší. Z celkových emisí dopravy je 71,7 % emisí tvořeno silniční dopravou a za 60,6 % těchto emisí můžou osobní automobily, což je asi 9,6 % z celkových emisí oxidu uhličitého států Evropské unie. [24], [25]



Obrázek 7.1 Zdroje emisí oxidu uhličitého v EU [24]



Obrázek 7.2 Emise oxidu uhličitého v dopravě v EU [25]

7.2. Měření emisí vozidel

7.2.1. WLTP

Aby osobní a lehká užitková vozidla mohla být uvedena na trh, musejí být podrobena testu WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure). Testovací postup WLTP vstoupil v platnost 1. září 2017 a postupně nahradil původní testovací postup NEDC. WLTP bylo zavedeno z důvodu poskytnutí realističtějších výsledků spotřeby paliva a vyprodukovaných emisí než původní testovací metoda, a navíc se jedná o postup používaný po celém světě, takže výsledky jsou celosvětově porovnatelné. Parametry testovacího postupu WLTP jsou: [26]

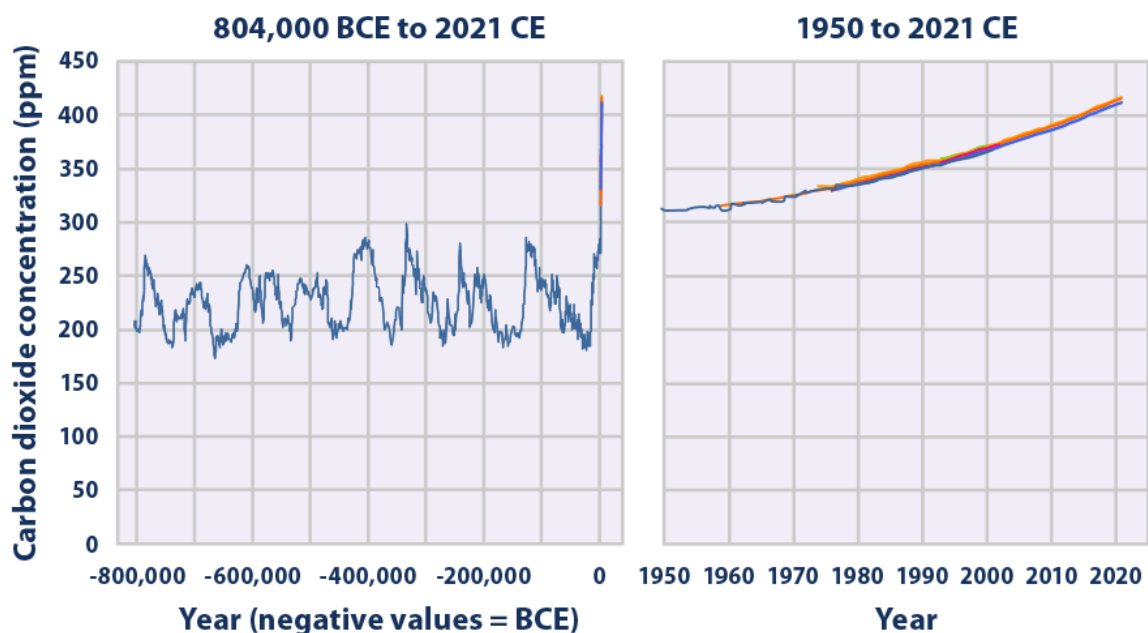
- Teplota v testovací místnosti je 23 °C.
- Ujetá vzdálenost během testu je 23 km.
- Test trvá 30 minut.
- Test má 4 části rozdělené podle nejvyšší rychlosti (nízká, střední, vysoká, extra vysoká).
- Průměrná rychlost je asi 47 km/h.
- Doba, po kterou vozidlo setrvává v klidu je asi 13 %.
- Maximální rychlost je kolem 131 km/h.
- Okamžiky řazení jsou dopředu určeny pro každé vozidlo.
- Hmotnost vozidla a výbava na přání jsou zahrnuty do analýzy.
- Jsou měřeny všechny možné kombinace motorů a převodovek. [26], [27]

7.2.2. RDE

Test RDE (Real Driving Emissions) ověřuje, zda vozidlo dosahuje stejných naměřených hodnot z laboratorního měření i v reálných podmínkách a doplňuje tak test WLTP. Měření probíhá z jedné třetiny ve městě, jedné třetiny na komunikacích mimo město a jedné třetiny na dálnicích. Měření trvá od 90 do 120 minut a během jízdy se náhodně zrychluje a zpomaluje, přičemž jsou ale stanoveny intervaly průměrné rychlosti v jednotlivých částech. Během testu RDE jsou měřeny emise oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a pevných částic. Aby bylo možné měřit emise během jízdy, jsou testované vozy vybaveny měřicím zařízením PEMS (Portable Emissions Measurement System), které je vybaveno analyzátoři plynu, hmotnostním průtokoměrem výfukových plynů, meteorologickou stanicí, satelitní geolokací a síťovým připojením. Shromážděné údaje jsou analyzovány a poté je rozhodnuto, zda byly splněny hraniční podmínky RDE a zda nebyly překročeny mezní hodnoty emisí. Mezní hodnoty jsou definované jako limity stanovené WLTP vynásobené koeficientem shody, který zohledňuje odchylky měřicích zařízení. [26], [27]

7.3. Skleníkový efekt

Teplota na Zemi je určována pohlcenou energií ze Slunce a energií vyzářenou Zemí. Energie ze slunečního záření prochází atmosférou a ohřívá zemský povrch. Záření zemského povrchu je atmosférou z části pohlceno a vyzářeno zpět. Tomuto jevu se říká skleníkový efekt a pro život na Zemi je nezbytný, jelikož bez skleníkového efektu by teplota na Zemi byla o 33 °C nižší. Za skleníkový efekt mohou skleníkové plyny (nejvíce oxid uhličitý), které jsou od dob industrializace člověkem vypouštěny do atmosféry ve zvýšené míře. Současná koncentrace skleníkových plynů, která je vyšší než přirozená, má za následek urychlenou změnu klimatu. [28]



Obrázek 7.3 Vývoj a koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře [29]

Globální koncentrace skleníkových plynů pro rok 2021			
	Oxid uhličitý	Metan	Oxid dusný
Průměrná objemová koncentrace	414,34 ppm	1858,06 ppb	334,29 ppb
Koncentrace v poměru k úrovni v předindustriální době (kolem roku 1750)	150,30 %	266,60 %	124,40 %
Absolutní nárůst oproti předešlému roku	1,98 ppm	8,48 ppb	1,35 ppb
Relativní nárůst oproti předešlému roku	0,48 %	0,46 %	0,40 %

Tabulka 7.1 Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře [29]

7.4. Cíle a opatření EU proti emisím

V červnu 2021 byl Evropským parlamentem schválen právní rámec pro klima, čímž se státy EU zavázaly ke snížení emisí do roku 2030 o 55 % oproti emisím z roku 1990. Dále se schválením právního rámce stal cíl klimatické neutrality do roku 2050 právně závazným. [30], [31]

Těchto cílů chce EU dosáhnout různými způsoby, např. zavedením emisních povolenek pro průmysl, kde za jednu povolenku je firmě povoleno vyprodukovat jednu tunu oxidu uhličitého. Opatřeními v dopravě jsou např. používání udržitelných paliv pro leteckou dopravu, výstavba dobíjecích stanic pro elektromobily a od roku 2035 ukončení prodeje nových automobilů, které vypouští emise do atmosféry při svém provozu. Dále budou zavedeny poplatky za uhlík na dovážené zboží, které mají zamezit firmám přesouvání výroby do cizích zemí s méně striktními pravidly pro omezení emisí. Dalším opatřením ke snížení emisí je obnova mokřadů a bažin a výsadba nových lesů, které momentálně pohlcují 7 % vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého v EU. [30], [31]

8. Ekonomické porovnání vybraných vozidel

V rámci výpočtů pro ekonomické porovnání vozidel je uvažováno, že vozidla jsou používána rodinou, která vozidlo využívá denně pro dopravu do zaměstnání a pro přepravu dětí do školy. Rodina ročně najede 20 000 km a každých pět let používaná vozidla prodají a kupují si nová. V případě elektromobilu má rodina možnost domácího nabíjení, kterého bude využívat.

8.1. Vybraná vozidla

Vozidla, která budou mezi sebou porovnávána, jsou dvě verze vozidla Kodiaq a elektromobil Enyaq iV od značky Škoda. Vozidla byla vybrána na základě co největší podobnosti a tím i nejlepší porovnatelnosti. První verze Kodiaqa využívá benzín jako pohonnou hmotu a druhá verze využívá naftu. Všechna vozidla jsou typem SUV s pohonem všech čtyř kol, přičemž obě verze Kodiaqa jsou až na motor po všech stránkách shodné. Enyaq se od ostatních odlišuje vyšším výkonem a točivým momentem, naproti tomu ale nedosahuje stejně dobrého dojezdu a maximální rychlosti. Oba modely mají podobnou výbavu, až na automatické parkování, kterým disponuje pouze Kodiaq a větším množstvím asistenčních prvků pro samotné řízení, které má ve své výbavě zase Enyaq.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Motor	2,0 TSI	2,0 TDI	Elektromotor
Max. rychlost [km/h]	215	216	160
Zrychlení 0-100 km/h [s]	8	8	7
Výkon [kW]	140	147	195
Spotřeba [l/100km]	8	6	-
Spotřeba [kWh/100km]	-	-	17
Objem nádrže [l]	58	58	-
Kapacita baterie [kWh]	-	-	77
Dojezd [km]	734	920	519
Počet válců	4	4	-
Objem motoru [cm ³]	1 984	1 968	-
Max. točivý moment [Nm]	320	400	425
Délka [mm]	4 697	4 697	4 649
Výška [mm]	1 688	1 688	1 620
Šířka [mm]	1 882	1 882	1 879
Rozvor [mm]	2 788	2 788	2 770
Pohotovostní hmotnost [kg]	1 800	1 800	2 300
Cena [Kč]	1 223 900	1 268 900	1 567 769

Tabulka 8.1 Porovnání parametrů vybraných vozidel [32]

8.2. Náklady na pořízení a provoz vybraných vozidel

8.2.1. Pořizovací cena

Cena vozidel závisí na výběru motoru a stupni výbavy. S ohledem na to, že vozidlo Kodiaq se vznětovým motorem je dostupné pouze s pohonem všech kol a se sedmistupňovou automatickou převodovkou, bylo nutné ostatní typy vozidel zvolit ve stejné konfiguraci. Pro modely Kodiaq byla zvolena výbava style exclusive a pro Enyaq iV výbava clever iV 80x. Pro elektromobil byl navíc dokoupen nabíjecí kabel a wallbox sloužící k domácímu nabíjení včetně jeho instalace. Dokoupené dovybavení lze vnímat jako nezbytnou součást elektromobilu.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Dobíjecí kabel [Kč]	-	-	16 500
Wallbox [Kč]	-	-	34 490
Instalace wallboxu [Kč]	-	-	9 500
Cena vozidla celkem [Kč]	1 223 900	1 268 900	1 567 769

Tabulka 8.2 Pořizovací cena vybraných vozidel [32], [33]

8.2.2. Servis

Firma Škoda nabízí ke koupi vozu předplacený servis na 5 let, který zahrnuje pravidelné prohlídky včetně výměny motorového oleje, filtrů, brzdné kapaliny a další. U elektromobilu je předplacený servis značně levnější z důvodu jednodušší konstrukce pohonu. Cena předplaceného servisu se odvíjí podle předpokládaných najetých kilometrů. Pro výběr ceny byl předpokládán nájezd 100 000 kilometrů za 5 let.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Servis na 5 let do 100 000 km [Kč]	65 200	65 200	30 300

Tabulka 8.3 Cena servisu vozidla na 5 let [34]

Vzhledem k tomu, že elektrický pohon je konstrukčně jednodušší než pohon spalovací, je i jeho údržba snazší a finančně méně náročnější, což se promítá do nižší ceny předplaceného servisu.

8.2.3. Povinné ručení a havarijní pojištění

Ke zjištění ceny povinného ručení a havarijního pojištění bylo využito internetových srovnávačů k tomu určených. Výsledná cena, se kterou budeme počítat, je průměrem čtyř nejlevnějších nabídek, které srovnávač našel.

Cena obou produktů závisí na poměrně velkém množství faktorů, mezi které můžeme zařadit věk pojišťované osoby, místo bydliště pojišťované osoby, cenu vozidla, výkon vozidla, objem motoru vozidla a další. K zásadním faktorům, které nejvíce ovlivňují cenu povinného ručení a havarijního pojištění, patří zejména délka předchozího pojištění a počet zaviněných nehod. Délka předchozího pojištění byla zvolena na pět let a počet předchozích zaviněných nehod nulový. Z důvodu velkého množství faktorů, které ovlivňují výslednou cenu pojištění, je uvažovaná cena produktů spíše orientační.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Průměr ceny povinného ručení a havarijního pojištění [Kč]	20 698	20 886	28 747

Tabulka 8.4 Průměrná cena povinného ručení [35]

Cena Enyaqu je asi o 40 % vyšší oproti ostatním vozidlům, což je způsobeno hlavně vyšší pořizovací cenou vozidla a tím i vyšší pojistnou částkou.

8.2.4. Dálniční známka

Dálniční známku můžeme vnímat za nezbytný výdaj, protože většina motoristů se bez používání dálnic neobejde. Majitelé vozidel se spalovacími motory musí za dálniční známku zaplatit 1500 Kč, zatímco vozidla produkující méně než 50 g/km emisí CO₂ jsou během svého provozu od tohoto poplatku osvobozena. Elektrická vozidla mají nulové emise, proto jejich majitelé nemusí pořizovat dálniční známku.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Cena dálniční známky [Kč]	1 500	1 500	0

Tabulka 8.5 Výše platby za dálniční známku [36], [37]

8.2.5. Palivo

Jedním z největších nákladů na provoz vozidla jsou bezesporu náklady na palivo. K jejich stanovení byla využita průměrná spotřeba uváděná výrobcem a současná cena paliv. Při výpočtech bylo uvažováno s meziročním nárůstem cen paliv odlišným od inflace. Pro výpočet nákladů na provoz elektromobilu, je potřeba zohlednit poměr nabíjení v domácnosti a na veřejných dobíjecích stanicích, a to z důvodu odlišnosti cen mezi těmito způsoby dobíjení. Pro domácí nabíjení byla uvažována elektřina dodávaná firmou PRE s využitím tarifu C27d, který je primárně určen pro majitele elektromobilů. Dále je při výpočtech uvažována současná cena elektřiny, která je momentálně regulována vládou České republiky.

Výpočet nákladů za palivo:

$$\text{Palivové náklady za rok} = \frac{\text{Spotřeba na 100 km}}{100} \times Rn \times Cp * (1 + Mnc)$$

Rn ... Roční nájezd

Cp ... Cena paliva

Mnc ... Meziroční nárůst cen

Výpočet nákladů za elektřinu:

$$\begin{aligned} \text{Palivové náklady za rok} = & \frac{\text{Spotřeba na 100 km}}{100} \times Rn \times Cp * (1 + Mnc) * (1 - Pnd) + \\ & + \frac{\text{Spotřeba na 100 km}}{100} \times Rn \times Cp * (1 + Mnc) * Pnd \end{aligned}$$

Pnd ... Poměr nabíjení doma

Parametry pro výpočet nákladů za palivo			
Nájezd za rok [km]	20 000		
Cena benzín [Kč/l]	37,39		
Cena nafta [Kč/l]	36,05		
Cena elektřina [Kč/kWh]	Veřejné dobíjení	14,5	
	Nabíjení doma	Během regulace	5,25
		Bez regulace	8,87
Z kolika % nabíjeno doma	0,9		
Roční změna ceny	0,05		

Tabulka 8.6 Parametry výpočtu nákladů za palivo [38], [39], [40]

Náklady na palivo			
Palivo	Benzín	Nafta	Elektřina
Spotřeba na 100 km [l] [l] [kWh]	7,9	6,3	16,7
Spotřeba na 1 km [l] [l] [kWh]	0,079	0,063	0,167
Spotřeba za rok [l] [l] [kWh]	1 580	1 260	3 340
Palivové náklady za rok [Kč]	62 030	47 694	21 656
Palivové náklady za 5 let [Kč]	342 755	238 471	108 279

Tabulka 8.7 Výsledné náklady za palivo

8.2.6. Technická kontrola

Každé vozidlo je ze zákona povinno podstoupit prohlídku na stanici technické kontroly, kde je rozhodnuto o jeho technické způsobilosti pro provoz na pozemních komunikacích. Pokud vozidlo projde touto kontrolou bez problémů, je mu následně uděleno osvědčení o technické způsobilosti STK. Kromě kontrol brzdového systému, stavu pneumatik, vnitřního vybavení vozidla a dalších, které se provádějí pro všechna vozidla bez výjimky, je součástí kontrol také měření emisí. Elektromobily emise během svého provozu nevypouští přímo, a proto jsou od měření emisí osvobozeny, čímž je prohlídka pro elektromobily levnější.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Cena návštěvy STK [Kč]	2 100	2 400	1 200

Tabulka 8.8 Cena technické kontroly [41]

8.2.7. Parkování

Pokud uvažujeme, že vlastník vozidla bydlí v Praze a chce parkovat u svého bydliště, je majitel vozidla povinen uhradit městu parkovací poplatek. Pokud se jedná o elektrické vozidlo, je tohoto poplatku jeho vlastník zproštěn. Parkování zdarma neplatí po celé České republice, jedná se o určité zvýhodnění pro majitele elektromobilů, o kterém rozhoduje samospráva daného města. Uvedené ceny parkovacího poplatku platí, pokud má vlastník pouze jedno vozidlo, které není využíváno za účelem podnikání.

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Cena parkování v Praze na rok [Kč]	1 200	1 200	0

Tabulka 8.9 Cena parkování v Praze [42]

8.3. Prodej vozidla

Pokud budeme předpokládat, že vozidla jsou po pěti letech stále v provozuschopném stavu, tak můžeme uvažovat o jejich prodeji. Pro zjištění orientační prodejní ceny vozu se spalovacím motorem je možné využít online ocenění vozu, které na základě staří vozidla, najetých kilometrů a situace na trhu s automobily vozidlo ocení. Pro elektromobily je online ocenění problémové z důvodu malého trhu. Prodejní cena Enyaqu byla stanovena odhadem z ceny tří jiných ojetých elektromobilů, které byly pět let staré a mající nájezd přibližně 100 000 km. Prodejní cena elektromobilů je nižší oproti vozidlům se spalovacími motory nejspíše z důvodu opotřebení baterií, čímž dochází ke snížení dojezdu. Baterie je zároveň nejdražším komponentem elektrického pohonu a ve většině případů se její výměna za novou neprovádí.

	Cena 2018 [Kč]	Cena 2018 s inflací [Kč]	Cena 2023 [Kč]	Nová cena z původní [%]
VW e-Golf	1 000 000	1 267 493	470 000	0,37
Nissan Leaf	926 000	1 173 698	442 000	0,38
Kia Soul	870 000	1 102 719	420 000	0,38
Průměr	932 000	1 181 303	444 000	0,38

Tabulka 8.10 Ceny ojetých elektromobilů

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Prodejní cena po 5 letech [Kč]	771 896	752 501	589 625

Tabulka 8.11 Cena vybraných ojetých vozidel [43]

8.4. NPV

NPV neboli čistá současná hodnota je jednou z metod hodnotící investice. Provoz vozidel je ztrátovou investicí, jelikož provoz vozidel negeneruje kromě prodeje žádný příjem. Nejvhodnější varianta je tedy ta, která bude nejméně ztrátová. NPV se vypočítá jako součet diskontovaných peněžních toků po stanovený počet let. Uvažovaný diskont je 5 % a inflace 4 %.

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \times (1 + r)^{-t}$$

CF_t ... tok hotovosti v čase t

r ... diskont

T ... počet let

Kodiaq – benzín						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 223 900					
Servis na 5 let [Kč]	65 200					
Pojištění [Kč]		21 525	22 386	23 282	24 213	25 182
Dálniční známka [Kč]		1 560	1 622	1 687	1 755	1 825
Palivo [Kč]		62 030	65 132	68 388	71 807	75 398
STK [Kč]	2 100					2 555
Parkování [Kč]		1 248	1 298	1 350	1 404	1 460
Prodej vozidla [Kč]						939 130
Cash flow [Kč]	-1 291 200	-86 363	-90 438	-94 707	-99 179	832 710
NPV [Kč]	-966 437					
RCF [Kč]	-223 223					

Tabulka 8.12 NPV vozidla se zážehovým motorem

Kodiaq – nafta						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 268 900					
Servis na 5 let [Kč]	65 200					
Pojištění [Kč]		21 721	22 590	23 494	24 433	25 411
Dálniční známka [Kč]		1 560	1 622	1 687	1 755	1 825
Palivo [Kč]		47 694	50 079	52 583	55 212	57 973
STK [Kč]	2 400					2 920
Parkování [Kč]		1 248	1 298	1 350	1 404	1 460
Prodej vozidla [Kč]						915 533
Cash flow [Kč]	-1 336 500	-72 223	-75 589	-79 114	-82 804	825 944
NPV [Kč]	-963 161					
RCF [Kč]	-222 466					

Tabulka 8.13 NPV vozidla se vznětovým motorem

Enyaq iV						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 567 769					
Servis na 5 let [Kč]	30 300					
Pojištění [Kč]		29 896	31 092	32 336	33 629	34 975
Dálniční známka [Kč]		0	0	0	0	0
Palivo [Kč]		21 656	22 739	23 875	25 069	26 323
STK [Kč]	1 200					1 460
Parkování [Kč]		0	0	0	0	0
Prodej vozidla [Kč]						717 369
Cash flow [Kč]	-1 599 269	-51 552	-53 831	-56 211	-58 699	654 612
NPV [Kč]	-1 281 136					
RCF [Kč]	-295 910					

Tabulka 8.14 NPV vozidla s elektrickým pohonem

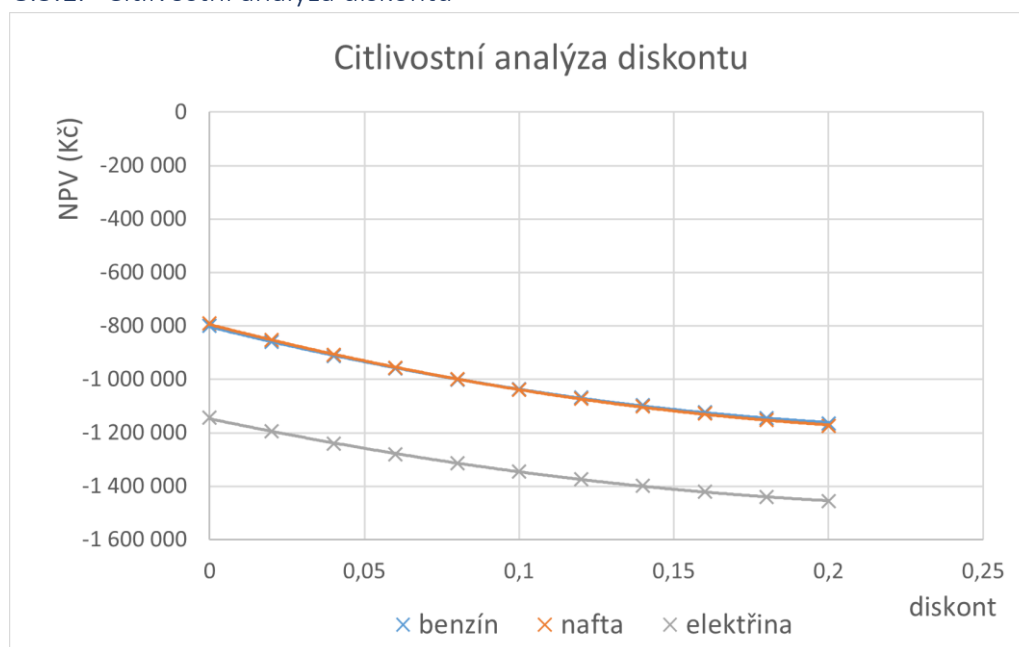
Po porovnání výsledků lze konstatovat, že nejméně ztrátová je investice do vozidla s pohonem využívajícím naftu. Důvodem k tomuto výsledku je nižší pořizovací cena oproti elektromobilu a menší výdaje za palivo než pro vozidlo s benzínovým pohonem. Rozdíl mezi výslednými NPV vozidel se spalovacími motory je ale relativně malý a to kolem 0,4 %.

Vozidlo s elektrickým pohonem bylo vyhodnoceno po porovnání jako nejvíce ztrátová varianta. Největší podíl na ztrátovosti investice má pořizovací cena, která je asi o 24 % vyšší oproti vozidlům se spalovacími motory a prodejní cena, která je zase nižší než u ostatních vozidel. Elektromobilu nepomohly úlevy od poplatku za dálniční známku, parkování, ani výhody v podobě menších nákladů za palivo a pravidelný servis.

8.5. Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je nástrojem, kterým je možné sledovat změnu výsledku v závislosti na změně parametrů ovlivňujících výsledek. Citlivostní analýzou bylo zjištěno, zda změna diskontu, ročního nájezdu nebo meziroční změna ceny paliv má vliv na pořadí variant.

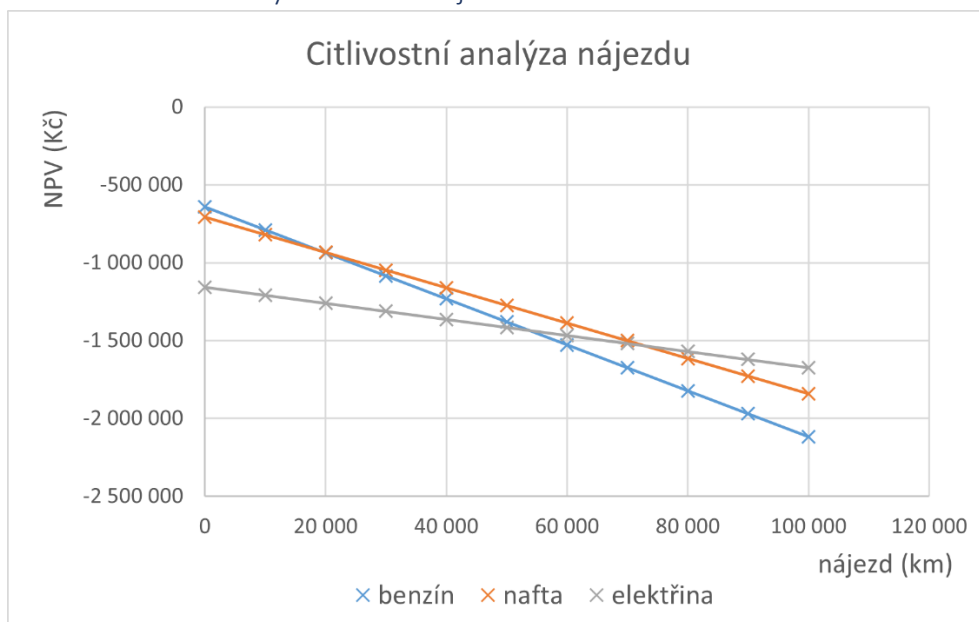
8.5.1. Citlivostní analýza diskontu



Obrázek 8.1 Citlivostní analýza diskontu

Z grafu na obrázku 8.1 vyplývá, že kolem 9 % diskontní míry dochází ke změně pořadí variant a vozidlo se zážehovým motorem se stává nejméně ztrátovou investicí. Rozdíl NPV mezi vozidly se spalovacími motory je ale stále relativně malý i při diskontní míře 20 %. Elektromobil zůstává nejhorší investicí, a to bez ohledu na změnu diskontu.

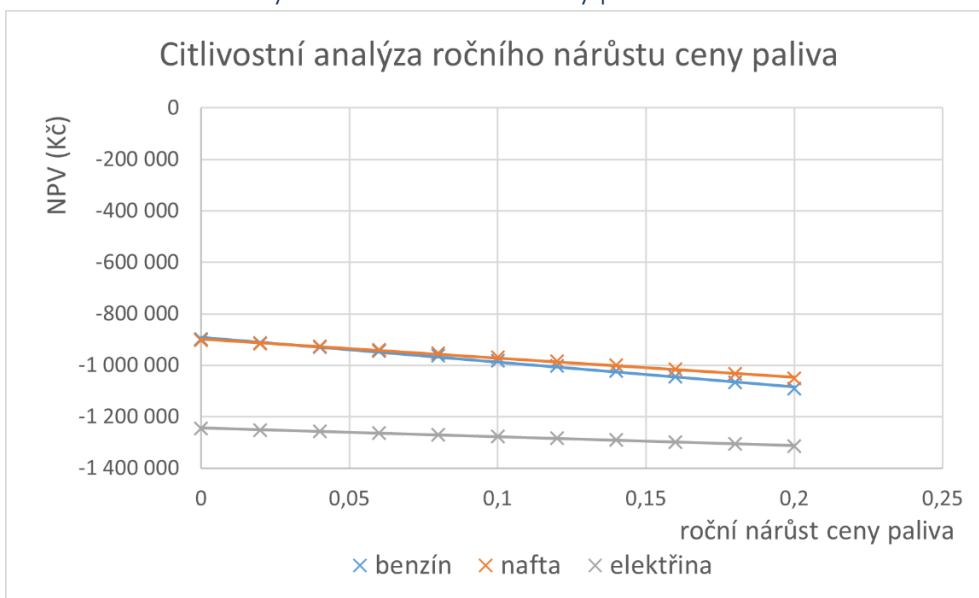
8.5.2. Citlivostní analýza ročního nájezdu



Obrázek 8.2 Citlivostní analýza ročního nájezdu

Z výše uvedeného grafu je patrné, že změna nájezdu má velký vliv na pořadí variant. Kolem nájezdu 20 000 km dochází ke změně pořadí mezi vozidly se spalovacími motory. Do 20 000 km je ekonomicky výhodnější vozidlo se zážehovým motorem a poté zase vozidlo se vznětovým motorem. Elektromobil předčí vozidlo se zážehovým pohonem kolem nájezdu 55 000 km a vozidlo se vznětovým pohonem kolem 75 000 km. Elektromobil nakonec tedy vychází jako nejlepší varianta, ale jen pro takové nájezdy, kterých většina řidičů nedosáhne.

8.5.3. Citlivostní analýza ročního nárůstu ceny paliva



Obrázek 8.3 Citlivostní analýza ročního nárůstu ceny paliva

Pokud by nárůst cen paliv byl jednotný, tak by opět došlo ke změně pořadí variant mezi vozidly se spalovacími motory. Ke změně pořadí dochází kolem 3 %. Elektromobil opět vychází jako nejhorší investice. Ani v případě, že by cena nafty a benzínu narůstala výrazně více oproti ceně elektřiny se pořadí nezmění ve prospěch elektromobilu.

9. Emise vybraných vozidel

Vyprodukované emise při používání motorových vozidel primárně závisí na kvalitě používaného paliva, účinnosti pohonu a dalších proměnných faktorech. Ke zjištění emisí CO₂ pro obě verze Kodiaqa se stačí podívat do technických specifikací poskytovaných výrobcem. V případě elektromobilu je potřeba vypočítat množství vyprodukovaných emisí pomocí emisního faktoru, jelikož elektromobily neprodukují emise CO₂ během vlastního provozu. Emisní faktor vyjadřuje vyprodukované emise, které vznikají při výrobě elektřiny a závisí na energetickém mixu dané země. V roce 2021 byl emisní faktor pro Českou republiku 0,39 tun CO₂/MWh. [44]

Výpočet emisí elektromobilu:

$$Emise\ EV = \frac{Spotřeba\ na\ 100\ km}{100} \times Emisní\ faktor \times 1000\ g/km$$

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)	Enyaq iV
Spotřeba [l(kWh)/100km]	7,9	6,3	16,7
Emise CO ₂ [g/km]	179	166	65
Emise CO ₂ za 100 000 km [t]	17,9	16,6	6,5

Tabulka 9.1 Emise CO₂ vybraných vozidel [45]

Kromě emisí oxidu uhličitého se spalováním pohonných hmot vypouští také emise oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, pevné částice a další. Přesné hodnoty pro konkrétní vozidla je velmi těžké zjistit, ale pro přiblížení jsou v tabulce níže uvedeny hodnoty vypuštěných emisí na kilogram paliva převzaté od Evropské agentury pro životní prostředí.

Palivo	Benzín	Nafta
Emise oxidu uhelnatého [g/kg paliva]	84,7	3,3
Emise oxidů dusíku [g/kg paliva]	8,7	12,9
Emise pevných částic [g/kg paliva]	0,03	1,1

Tabulka 9.2 Emise oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a pevných částic na kilogram paliva [46]

Pro elektromobily je určení dalších emisí kromě oxidu uhličitého složité, jelikož opět závisí na energetickém mixu dané země. Z tohoto důvodu nebudou další emise pro elektromobily uváděny.

9.1. Externí náklady

Externí náklady jsou takové náklady, které nejsou zahrnuty do tržní ceny zboží nebo služby, ale vznikají produkcí nebo užíváním zboží a jsou hrazeny třetí stranou. V případě provozu vozidel mezi externí náklady můžeme zařadit znečištění ovzduší, změnu klimatu, nehody, hluk, estetiku, využívání půdy, využívání vody, ztrátu živočišných a rostlinných druhů a jejich míst výskytu, újmu na zdraví, dopravní komplikace a ostatní faktory, které zahrnují i možné riziko válečných konfliktů z nedostatku surovin a degradaci kulturních památek. [47]

Vyčíslení externích nákladů je složitou záležitostí, pro kterou neexistuje jednotný postup, kterým by se všichni řídili. Ke zjištění externích nákladů vybraných vozidel budou používány hodnoty ze studie, která sloučila data ze 139 jiných studií na tuto tematiku. Tato studie také uvádí externí náklady z výroby elektřiny, což bylo využito pro vyčíslení externích nákladů elektromobilu. [48]

Externí náklady z provozu automobilu [č/km]	
Externí náklad	Medián hodnot
Znečištění ovzduší	1,523
Změna klimatu	0,838
Chronické nehody	2,048
Katastrofální nehoda	-
Hluk	0,6
Estetika	0,086
Půda/odlesňování	0,157
Voda	0,06
Ztráta biodiverzity	0,034
Újma na zdraví	-
Dopravní komplikace	4,438
Ostatní	0,4
Celkem	10,184

Tabulka 9.3 Externí náklady z provozu vozidel se spalovacími motory [48]

9.2. Výpočet externích nákladů z provozu vybraných vozidel se spalovacími motory

Data v tabulce 9.3 neuvažují rozdíl mezi spalováním nafty a benzínu, proto abychom tyto varianty od sebe odlišili, použijeme data z jiné studie k tomu, abychom upravili externí náklady z kategorií znečištění ovzduší a změny klimatu.

Externí náklady (pouze znečištění ovzduší a změna klimatu)			
	Spotřeba na 100 km vozidel studie	Externality €/1000 km	Externality €/l
Benzín	9,4	59,97	0,64
Nafta	7,8	67,15	0,86
Elektřina	16,8	35,5	0,21

Tabulka 9.4 Externí náklady z provozu vozidel (jiná studie) [49]

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že externí náklady na kilometr jsou ze spalování nafty asi o 12 % vyšší než ze spalování benzínu. Hodnoty z kategorií znečištění ovzduší a změny klimatu v tabulce 9.3 budeme během výpočtů uvažovat o 12 % vyšší pro vozidlo se vznětovým motorem.

Výpočet externích nákladů pro vozidla se spalovacími motory:

$$\text{Externí náklady za rok} = \text{Externí náklady na 1 km z provozu automobilu} \times \text{roční nájezd}$$

Model	Kodiaq (benzín)	Kodiaq (nafta)
Externí náklady za rok [Kč]	43 791	45 009

Tabulka 9.5 Externí náklady vozidel se spalovacími motory za rok

9.3. Výpočet externích nákladů z provozu vybraného elektromobilu

Pro elektromobil je potřeba vypočítat externí náklady ze znečištění ovzduší a změny klimatu z energetického mixu ČR. Nejnovější data týkající se energetického mixu ČR jsou z roku 2021 a hodnoty externích nákladů jednotlivých zdrojů elektrické energie jsou převzaty ze stejné studie, jako hodnoty v tabulce 9.3.

Výpočet externích nákladů z vyrobené elektřiny:

$$\text{Externí náklady z vyrobené elektřiny} = VE \times ENZ$$

VE ... Vyrobená elektřina daného zdroje

ENZ ... Externí náklady daného zdroje na jednotku energie

Energetický mix ČR v roce 2021	V procentech	V TWh	Externí náklady ze studie [€/kWh]	Externí náklady z vyrobené elektřiny [€]
Sluneční	1,65 %	3,2	0,666	9 329 661
Větrné	0,00 %	0	0,199	0
Vodní	0,61 %	1,2	0,127	657 720
Geotermální	0,00 %	0	0,093	0
Biomasa	3,31 %	6,5	0,772	21 694 667
Ostatní obnovitelné	0,00 %	0	0	0
Hnědé uhlí	43,89 %	85,6	8,1	3 018 271 410
Černé uhlí	0,00 %	0	8,1	0
Zemní plyn	9,89 %	19,3	2,947	247 448 097
Ropa a ropné produkty	0,12 %	0,2	6,639	6 763 813
Druhotné zdroje a ostatní	0,12 %	0,2	10,034	10 222 639
Jaderné zdroje - celkem	40,41 %	78,8	0,379	130 027 661
Celkem	100,00 %	84,9	-	3 444 415 668

Tabulka 9.6 Externí náklady z výroby elektrické energie [50]

Výpočet externích nákladů na vyrobenou jednotku energie:

$$\text{Externí náklady z výroby elektrické energie} = \frac{\text{Externí náklady z vyrobené elektřiny celkem}}{\text{Celková vyrobená energie}}$$

Externí náklady z výroby elektrické energie vychází na 0,87 Kč/kWh. Pokud tuto hodnotu vynásobíme spotřebou elektromobilu na jeden kilometr, vyjde hodnota externích nákladů na kilometr, což je asi 0,15 Kč/km.

Pro výpočet externích nákladů elektromobilu za rok budeme postupovat stejně jako u vozidel se spalovacím motorem, pouze nahradíme hodnoty z kategorií znečištění ovzduší a změna klimatu hodnotou vypočítanou výše.

Pro porovnání vypočteme externí náklady elektromobilu s využitím fiktivního energetického mixu ČR, který pro naše účely primárně zahrnuje výrobu elektrické energie z jaderných elektráren a obnovitelných zdrojů. Podíl na vyrobené energii bude zvolen na 90 % z jaderných elektráren a 10 % z obnovitelných zdrojů. Podíl obnovitelných zdrojů byl zvolen značně menší oproti jaderným elektrárnám, protože v ČR nejsou pro obnovitelné zdroje nejlepší podmínky. Získáme tak hodnotu externích nákladů pro elektromobil v ideálním případě, kterou následně můžeme porovnat s ostatními variantami a sledovat, jak moc velký rozdíl vznikne.

Fiktivní energetický mix ČR v roce 2021	V procentech	V TWh	Externí náklady ze studie [č/kWh]	Externí náklady z vyrobené elektřiny [š]
Sluneční	7,00 %	5,9	0,666	39 580 380
Vodní	1,00 %	0,8	0,127	1 078 230
Biomasa	2,00 %	1,7	0,772	13 108 560
Jaderné zdroje - Celkem	90,00 %	76,4	0,379	289 593 900
Celkem	100,00 %	84,9	-	343 361 070

Tabulka 9.7 Externí náklady z fiktivní výroby elektrické energie

Externí náklady z vyrobené energie budou 0,087 Kč/kWh a po převedení na ujetý kilometr 0,014 Kč/km. Pro výpočet externích nákladů za rok postupujeme shodně, jako u elektromobilu se skutečným energetickým mixem.

Model	Enyaq iV	Enyaq iV (fiktivní energetický mix)
Externí náklady za rok [Kč]	36 552	33 929

Tabulka 9.8 Externí náklady elektromobilů za rok

Rozdíl mezi externími náklady vozidel se spalovacími motory a elektromobilem uvažující skutečný energetický mix je asi 8 000 Kč.

9.4. NPV včetně externích nákladů

Tabulky s vypočtenými NPV jsou stejné jako v části 8.4., pouze jsou v tabulkách zahrnuty externí náklady z provozu vozidel.

Kodiaq - benzín						
Rok	0	1	2	3	4	5
Požizovací cena [Kč]	1 223 900					
Servis na 5 let [Kč]	65 200					
Pojištění [Kč]		21 525	22 386	23 282	24 213	25 182
Dálniční známka [Kč]		1 560	1 622	1 687	1 755	1 825
Palivo [Kč]		62 030	65 132	68 388	71 807	75 398
STK [Kč]	2 100	0	0	0	0	2 555
Parkování [Kč]		1 248	1 298	1 350	1 404	1 460
Externí náklady [Kč]		43 791	45 543	47 365	49 259	51 230
Prodej vozidla [Kč]		0	0	0	0	939 130
Cash flow [Kč]	-1 291 200	-130 155	-135 981	-142 072	-148 438	781 481
NPV [Kč]		-1 171 033				
RCF [Kč]		-270 479				

Tabulka 9.9 NPV vozidla se vznětovým motorem včetně externích nákladů

Kodiaq - nafta						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 268 900					
Servis na 5 let [Kč]	65 200					
Pojištění [Kč]		21 721	22 590	23 494	24 433	25 411
Dálniční známka [Kč]		1 560	1 622	1 687	1 755	1 825
Palivo [Kč]		47 694	50 079	52 583	55 212	57 973
STK [Kč]	2 400	0	0	0	0	2 920
Parkování [Kč]		1 248	1 298	1 350	1 404	1 460
Externí náklady [Kč]		45 009	46 810	48 682	50 630	52 655
Prodej vozidla [Kč]		0	0	0	0	915 533
Cash flow [Kč]	-1 336 500	-117 233	-122 399	-127 796	-133 433	773 290
NPV [Kč]	-1 173 448					
RCF [Kč]	-271 037					

Tabulka 9.10 NPV vozidla se vznětovým motorem včetně externích nákladů

Enyaq iV						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 567 769					
Servis na 5 let [Kč]	30 300					
Pojištění [Kč]		29 896	31 092	32 336	33 629	34 975
Dálniční známka [Kč]		0	0	0	0	0
Palivo [Kč]		21 656	22 739	23 875	25 069	26 323
STK [Kč]	1 200	0	0	0	0	1 460
Parkování [Kč]		0	0	0	0	0
Externí náklady [Kč]		36 552	38 014	39 535	41 116	42 761
Prodej vozidla [Kč]		0	0	0	0	717 369
Cash flow [Kč]	-1 599 269	-88 104	-91 845	-95 746	-99 815	611 851
NPV [Kč]	-1 451 910					
RCF [Kč]	-335 355					

Tabulka 9.11 NPV vozidla s elektrickým pohonem včetně externích nákladů

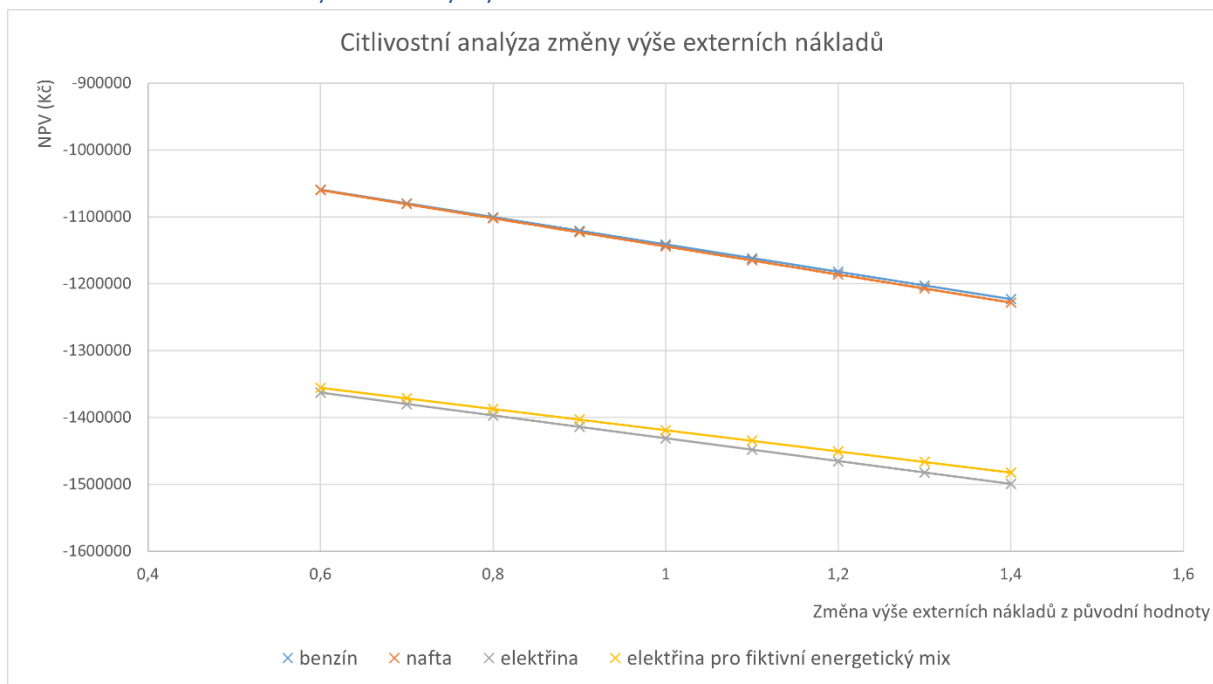
Enyaq iV - fiktivní energetický mix						
Rok	0	1	2	3	4	5
Pořizovací cena [Kč]	1 567 769	0	0	0	0	0
Servis na 5 let [Kč]	30 300	0	0	0	0	0
Pojištění [Kč]		29 896	31 092	32 336	33 629	34 975
Dálniční známka [Kč]		0	0	0	0	0
Palivo [Kč]		21 656	22 739	23 875	25 069	26 323
STK [Kč]	1 200	0	0	0	0	1 460
Parkování [Kč]		0	0	0	0	0
Externí náklady [Kč]		33 929	35 286	36 698	38 166	39 693
Prodej vozidla [Kč]		0	0	0	0	717 369
Cash flow [Kč]	-1 599 269	-85 481	-89 117	-92 909	-96 864	614 919
NPV [Kč]	-1 439 656					
RCF [Kč]	-332 524					

Tabulka 9.12 NPV vozidla s elektrickým pohonem včetně externích nákladů (fiktivní energetický mix)

Z hodnot ve výše uvedených tabulkách vyplývá, že pořadí variant se oproti pořadí v části 8.4. mírně liší tím, že vozidlo se vznětovým motorem je tentokrát nejméně ztrátové. Mezi vozidly se spalovacími motory je pouze nepatrný rozdíl, a to asi 0,2 %. Je to očekávaný výsledek vzhledem k tomu, že externí náklady pro obě varianty jsou podobné.

Elektromobil byl opět vyhodnocen jako nejhorší varianta, a to i přesto že externí náklady elektromobilu jsou asi o 19 % nižší než u vozidel se spalovacími motory. Kdyby byly zvoleny jiné hodnoty externích nákladů, které by kladly větší váhu na kategorie znečištění ovzduší a změny klimatu, tak by pořadí variant mohlo být více ve prospěch elektromobilu. Ani pokud bychom uvažovali fiktivní energetický mix, tak by se elektromobil neposunul na lepší pozici v pořadí variant, právě z důvodu kladení malé váhy na externí náklady dvou kategorií zmíněných dříve.

9.5. Citlivostní analýza změny výše externích nákladů



Obrázek 9.1 Citlivostní analýza změny výše externích nákladů

Z grafu na obrázku 9.1 je zřejmé, jak by se měnila NPV jednotlivých variant, pokud bychom uvažovali hodnoty externích nákladů mezi 60 % až 140 % z původních vypočítaných hodnot. Změna výše externích nákladů nemá na pořadí variant vliv, elektromobil je stále nejvíce ztrátová investice, a to i pokud bychom uvažovali fiktivní energetický mix. Důvodem k tomuto výsledku je opět kladení malé váhy na kategorie externích nákladů týkajících se znečištění ovzduší a změny klimatu.

10. Výpočet nákladů elektromobilu za dobu životního cyklu

Podmínky pro výpočty jsou podobné jako v kapitole 8., ale místo pěti let uvažujeme životnost elektromobilu deset let. Náklady na provoz budou podobné, jako v kapitole 8., ale náklady za servis bude nutné více propočítat, jelikož předplacený servis trvá pouze pět let. Dále budeme uvažovat, že po deseti letech bude baterie elektromobilu ve špatném stavu a elektromobil bude nutné zlikvidovat.

10.1. Servis

Předplacený servis trvá pět let a poté musí majitel vozidla za servis platit standartně. Vzhledem k tomu, že elektrický pohon je konstrukčně jednodušší než pohon spalovací, není potřeba navštěvovat servis kvůli výměně oleje a olejových filtrů, převodovce a dalších úkonů souvisejících s provozem spalovacího motoru. Servis elektromobilu pouze obnáší běžnou údržbu vozidla, která se týká zejména výměny pylového filtru, pneumatik, brzdové kapaliny a brzdových destiček a v neposlední řadě i kontroly klimatizace a stavu baterie.

Meziroční nárůst nákladů za servis budeme předpokládat 10 %, čímž zohledníme nutnost častějších návštěv servisu z důvodu stárnutí součástí elektromobilu, a to s ohledem na uvažovanou životnost, kterou jsme pro naše účely stanovili na deset let.

10.2. Likvidace

V současné době je možné elektromobil odvézt na vrakoviště, kde elektromobil ekologicky zlikvidují s možností peněžní náhrady. Problémovou součástí elektromobilu na zlikvidování je autobaterie, která obsahuje toxické látky, které by při běžné likvidaci unikly do okolí. [51]

Jednou z možností, jak se s likvidací baterie vypořádat, je znovuvyužití v jiném prostředí. Baterie se sice už nehodí k použití pro trakční účely, ale může být použita pro dočasné uskladnění elektrické energie v podnicích nebo v domácnostech. [51]

Pokud životnost baterie již nedovolí její další využití, bude potřeba baterii recyklovat. Existují různé způsoby recyklace s různými stupni efektivnosti. Nejefektivnější je Duesenfeldova recyklace, jejíž účinnost je až 91 %. [52]

10.3. Náklady za životní cyklus

Enyaq iV											
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pořizovací cena [Kč]	1 567 769										
Servis [Kč]	30 300						5 441	5 985	6 583	7 242	7 966
Pojištění [Kč]		29 896	31 092	32 336	33 629	34 975	36 373	37 828	39 342	40 915	42 552
Dálniční známka [Kč]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Palivo [Kč]		21 656	22 739	23 875	25 069	26 323	27 639	29 021	30 472	31 995	33 595
STK [Kč]	1 200					1 460		1 579		1 708	
Likvidace [Kč]											11 842
Cash flow [Kč]	-1 599 269	-51 552	-53 831	-56 211	-58 699	-62 757	-69 453	-74 413	-76 397	-81 860	-72 271
NPV [Kč]	-2 096 769										
RCF [Kč]	-271 541										

Tabulka 10.1 Náklady za životní cyklus

Z hodnot v tabulce 10.1 je patrné, že největším nákladem za životní cyklus elektromobilu je jeho pořizovací cena, která tvoří asi 75 % z čisté současné hodnoty. Kdyby v České republice existovaly dotační programy na koupi elektrického vozidla, jako v jiných zemích Evropské unie, tak by se celkové náklady za životní cyklus potenciálně mohly značně snížit. Tato skutečnost by mohla vést k větší poptávce po elektromobilech.

11. Závěr

V současné době existuje několik druhů alternativních paliv pro spalovací motory, které sice snižují vyprodukované emise, ale ne natolik aby se dosáhlo standardů, které chce Evropská unie v budoucnu prosazovat. Nejperspektivnější alternativou pro vozidla se spalovacími motory jsou vozidla elektrická, která během svého provozu neprodukuje emise. Další alternativou by bylo vozidlo s vodíkovým pohonem, ale tato technologie je teprve ve svých počátcích a bude ještě nějakou dobu trvat, než se stane běžně používanou.

Výsledkem ekonomického porovnání je, že nejvíce se vyplatí investice do Kodiaqa se vznětovým motorem těsně následovaným variantou se zážehovým motorem a nejhůře byla hodnocena investice do vozidla Enyaq iV s elektrickým pohonem. Rozhodujícími ekonomickými faktory byly pořizovací cena a prodejní cena po 5 letech, přičemž elektromobil zaostával u obou. Elektromobil měl ale tu výhodu, že náklady za servis a palivo byly výrazně menší oproti vozidlům se spalovacími motory.

Porovnáním vyprodukovaných emisí CO₂ jednotlivých vozidel bylo dospěno k závěrům, že i přesto, že polovina elektrické energie v České republice je vyráběna z fosilních paliv, je Enyaq iV nejméně emisní varianta. Emise elektromobilu byly asi 65 gramů CO₂ na kilometr, což je asi 38 % toho, co vyprodukují vozidla se spalovacími motory. Dále byly vypočítány externí náklady pro vybraná vozidla. Nejlépe si opět stojí elektromobil, ale rozdíl mezi externími náklady elektromobilu a vozidel se spalovacími motory byl pouze asi 12 %, jelikož emise jsou jen asi pětinou částí celkových externích nákladů a ostatní externí náklady jsou pro všechny automobily podobné. Rozdíly mezi externími náklady jednotlivých vozidel nebyly dostatečně velké, aby po zahrnutí do ekonomického porovnání výrazně ovlivnily pořadí variant.

To, jak moc velká poptávka bude v budoucnu po elektromobilech závisí na několika faktorech a mezi ty nejzásadnější můžeme bezesporu zařadit pořizovací cenu elektromobilů, která bývá zpravidla vyšší než u vozidel se spalovacími motory a zároveň je tím nejdůležitějším nákladem. Dále z uživatelského pohledu mají elektromobily nevýhody například v krátkém dojezdu a dlouhém nabíjení, ale zase jsou levnější na provoz, nemají vícestupňovou převodovku a mají lepší akceleraci. Technologie související s elektromobily se neustále zlepšují a pokud by pořizovací cena elektromobilů byla na podobné cenové hladině jako u vozidel se spalovacími motory, tak by se investice do elektromobilu mohla stát efektivnější.

Literatura

- [1] BEDNÁŘ, Marek. Jak fungují motory: klíčové součásti a jejich funkce. Autoforum [online]. 2015, 3.5.2015, 2 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguji-motory-klucove-soucasti-a-jejich-funkce/>
- [2] Benzín vs nafta: Jaké jsou výhody a nevýhody benzinových a diesellových motorů? [online]. Praha: AOF, 2022 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.porovnej24.cz/clanky/benzin-vs-diesel-jake-jsou-klady-zapory-techto-motoru>
- [3] Co jsou biopaliva. *Preol* [online]. Lovosice: PREOL, 2022 [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.preol.cz/info-pro-verejnost/co-jsou-biopaliva>
- [4] KNOTE, Gerhard, Jürgen KRAHL a Jon VAN GERPEN, ed. *Biodiesel Handbook* [online]. 2nd Edition. Urbana: AOCS Press, 2010 [cit. 2022-11-04]. ISBN 978-1-61583-584-3. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpBHE00008/toc?q=the%20biodiesel%20handbook&include_synonyms=no&q=the%20biodiesel%20handbook&sort_on=default
- [5] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA. Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech. *Chemické Listy* [online]. 2011, **2011**(105), 7 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1180/1180>
- [6] Propane fuel basics. *Alternative Fuels Data Center* [online]. Washington: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2022 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/propane_basics.html
- [7] LPG: propan a propan butan. *Primagas* [online]. Praha: Primagas, c2020 [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/co-je-lpg>
- [8] Bio LPG. *Primagas* [online]. Praha: Primagas, c2020 [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.primagas.cz/bio-lpg>
- [9] Natural Gas Fuel Basics. *Alternative Fuels Data Center* [online]. Washington: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2022 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_basics.html
- [10] Biometan: Jak se vyrábí a proč je to palivo budoucnosti?. *Plyn.cz* [online]. Ústí nad Labem: Centropol, 2020 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/biometan-jak-se-vyrabi>
- [11] (bio)CNG. *Plynová mobilita* [online]. Praha: Český plynárenský svaz, 2022 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.plynovamobilita.cz/bio-cng/>
- [12] KAMEŠ, Josef. *Alternativní palivo - vodík*. Praha: [nakladatel není známý], 2008. ISBN 978-80-254-1686-0.
- [13] Základní informace k vodíku. *Hytep* [online]. Husinec: Česká vodíková technologická platforma, c2022 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>
- [14] PORŠ, Zdeněk. Palivové články. *Docplayer* [online]. Husinec: Ústav Jaderného Výzkumu Řež, 2002 [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/376545-Ustav-jaderneho-vyzkumu-rez-a-s-divize-jaderne-bezpecnosti-a-energetiky-palivove-clanky-ing-zdenek-pors.html>
- [15] Electricity Basics. *Alternative Fuels Data Center* [online]. Washington: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2022 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_basics.html
- [16] Jak funguje elektrický motor? 10 otázek a odpovědí. *Škoda Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2018 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/jak-funguje-elektricky-motor-10-otazek-a-odpovedi/>
- [17] DITTRICH, Lukáš. Elektromotory – Synchronní vládne. *Automobil Revue* [online]. Praha: Business Media, 2022 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/presunuto-na-trucker-cz-truck-bus/predstavujeme/elektromotory-synchronni-vladne_48530.html
- [18] Elektromobily, jejich baterie a jak nabíjet. *Evexpert* [online]. Olomouc: EV EXPERT, c2022 [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie>
- [19] M. GLADYSZ, Gary a Krishan K. CHAWLA. In: *Voids in Materials* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2015, s. 131-156 [cit. 2022-12-20]. ISBN 9780444563675. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444563675000075>

- [20] ZEMKOVÁ, Barbora. Hybridní pohon: Zjistěte, jak funguje a zdali pomůže ekologii. *Elektrina.cz* [online]. Praha: Elektrina.cz, 2019 [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-funguje-hybridni-pohon>
- [21] Druhy elektromobilů – znáte je všechny?. *Škoda Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2019 [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [22] DUSIL, Tomáš. Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší?. *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [23] Doprava. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2022 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/doprava>
- [24] What are the sources of greenhouse gas emissions in the EU?. *European Environment Agency* [online]. Copenhagen: European Environment Agency, 2022 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2022/infographics/what-are-the-sources-of/view>
- [25] Greenhouse gas emissions from transport in the EU. *European Environment Agency* [online]. Copenhagen: European Environment Agency, 2022 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2022/infographics/greenhouse-gas-emissions-from-transport/view>
- [26] WLTP a RDE nové testy pro certifikaci spotřeby paliva, emisí CO₂ a znečišťujících látek. *Fiat Professional* [online]. Praha: FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR, c2015 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.fiatprofessional.com/cz/WLTP>
- [27] WLTP: Nové standardy pro spotřebu. *Volkswagen* [online]. Praha: Porsche Česká republika, c2023 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/wltp>
- [28] Změna klimatu. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace#>
- [29] Climate Change Indicators: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases. In: *United States Environmental Protection Agency* [online]. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases>
- [30] Snižovat emise CO₂: Cíle a opatření EU. *Evropský parlament* [online]. Štrasburk: Evropský parlament, 2018 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180305STO99003/snizovat-emise-co2-cile-a-opatreni-eu>
- [31] Jak zmírnit změny klimatu: řešení EU. *Evropský parlament* [online]. Štrasburk: Evropský parlament, 2018 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180703STO07129/jak-zmirnit-zmeny-klimatu-reseni-eu>
- [32] Porovnání modelů. *Škoda-auto* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://car-comparison.skoda-auto.com/260/cs-CZ/>
- [33] Služby. *Škoda-auto* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/services-scenic?activePage=services&color=H6H6&configurationId=&extraEquipments=&id=CZE%3Bskoda%3B2023%3B5AZJN4%3B0%3BGWANWAN%5CGWF7WF7%5CGYONYON%5CGYPAYPA%3Bmda20230427125645%3Bcs-CZ%3B%3B64005%3B64005&interior=EO&modifiedPages=&snapshotVersion=7f2f2e8f-a3c8-44a4-afa7-81a36094a7c9&trimline=5AJ%7CIV%2080x6400564005&visitedPages=colors>
- [34] Předplacený servis - kalkulačka. *Škoda-auto* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/sluzby/predplaceny-servis-kalkulacka#anchor-M24-9969483f>
- [35] Top-pojištění [online]. Praha: Ušetřeno, 2005 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.top-pojisteni.cz/>
- [36] Elektronická známka - eDalnice. *EDalnice* [online]. Praha: sfdi, 2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://edalnice.cz/index.html#/validation>

- [37] Zvýhodnění dálniční známky - ZTP, vozy na elektrický pohon, vodík. EDalnice [online]. Praha: sfdi, 2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://edalnice.cz/osvobozeni/index.html#deal>
- [38] Cena benzínu a nafty. MBenzin [online]. Praha: profi-people, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.mbenzin.cz/>
- [39] Přehled produktů. PRE [online]. Praha: Pražská energetika, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/domacnosti/elektrina/archiv-produktu/>
- [40] Smlouvy, ceník a OPD. Futurego [online]. Praha: ČEZ, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.futurego.cz/cs/smlouvy-cenik-a-opd>
- [41] Kolik stojí STK?. Octavia club [online]. OctaviaClub, 2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://octaviacub.cz/kolik-stoji-stk/>
- [42] Ceník parkovacích oprávnění. In: Praha.eu [online]. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2023 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.praha.eu/public/60/6b/9c/2142756_639943_Cenik_oblast_MC.pdf
- [43] Cena-vozu [online]. Cena-vozu, 2011 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://cena-vozu.cz/>
- [44] Emisní faktor CO2 z výroby elektřiny. MPO [online]. Praha: MPO, 2023 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektřiny-za-leta-2010-2022--273197/>
- [45] Srovnání motorů. Škoda-auto [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/kodiaq/kodiaq/kodiaq-motory>
- [46] Road transport 2019. European Environment Agency [online]. Dánsko: European Environment Agency, 2019 [cit. 2023-05-4]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>
- [47] External costs. Economics Online [online]. New York: Critic Capital, 2020 [cit. 2023-05-4]. Dostupné z: https://www.economicsonline.co.uk/definitions/external_cost.html/
- [48] K. SAVACOL, Benjamin, Jinsoo KIM a Minyoung YANG. The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities. Energy Research & Social Science [online]. Amsterdam: Elsevier, 2021, (72), 5-9 [cit. 2023-04-27]. ISSN 2214-6296. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620304606>
- [49] GIRARDI, Pierpaolo, Cristina BRAMBILLA a Giulio MELA. Life Cycle Air Emissions External Costs Assessment for Comparing Electric and Traditional Passenger Cars. Integr Environ Assess Manag [online]. 2020, 16(1), 140-150 [cit. 2023-05-1]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6973130/#ieam4211-tbl4-note-0002>
- [50] Zbytkový energetický mix. OTE [online]. Praha: OTE, 2018 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/zbytkovy-energeticky-mix>
- [51] Are electric car batteries recyclable?. EVBox [online]. Amsterdam: EVBox, 2023 [cit. 2023-05-5]. Dostupné z: <https://blog.evbox.com/are-ev-batteries-recyclable>
- [52] Ecofriendly Recycling of Lithium-Ion Batteries. Duesenfeld [online]. Wendeburg: Duesenfeld, 2023 [cit. 2023-05-5]. Dostupné z: https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html

Seznam obrázků

Obrázek 7.1 Zdroje emisí oxidu uhličitého v EU [24]	8
Obrázek 7.2 Emise oxidu uhličitého v dopravě v EU [25].....	8
Obrázek 7.3 Vývoj a koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře [29]	10
Obrázek 8.1 Citlivostní analýza diskontu.....	17
Obrázek 8.2 Citlivostní analýza ročního nájezdu.....	18
Obrázek 8.3 Citlivostní analýza ročního nárůstu ceny paliva	18
Obrázek 9.1 Citlivostní analýza změny výše externích nákladů	24

Seznam tabulek

Tabulka 7.1 Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře [29]	10
Tabulka 8.1 Porovnání parametrů vybraných vozidel [32]	11
Tabulka 8.2 Pořizovací cena vybraných vozidel [32], [33].....	12
Tabulka 8.3 Cena servisu vozidla na 5 let [34]	12
Tabulka 8.4 Průměrná cena povinného ručení [35]	13
Tabulka 8.5 Výše platby za dálniční známku [36], [37]	13
Tabulka 8.6 Parametry výpočtu nákladů za palivo [38], [39], [40].....	14
Tabulka 8.7 Výsledné náklady za palivo	14
Tabulka 8.8 Cena technické kontroly [41].....	14
Tabulka 8.9 Cena parkování v Praze [42]	14
Tabulka 8.10 Ceny ojetých elektromobilů.....	15
Tabulka 8.11 Cena vybraných ojetých vozidel [43]	15
Tabulka 8.12 NPV vozidla se zážehovým motorem.....	16
Tabulka 8.13 NPV vozidla se vznětovým motorem	16
Tabulka 8.14 NPV vozidla s elektrickým pohonem	16
Tabulka 9.1 Emise CO ₂ vybraných vozidel [45].....	19
Tabulka 9.2 Emise oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a pevných částic na kilogram paliva [46]	19
Tabulka 9.3 Externí náklady z provozu vozidel se spalovacími motory [48]	20
Tabulka 9.4 Externí náklady z provozu vozidel (jiná studie) [49]	20
Tabulka 9.5 Externí náklady vozidel se spalovacími motory za rok	20
Tabulka 9.6 Externí náklady z výroby elektrické energie [50]	21
Tabulka 9.7 Externí náklady z fiktivní výroby elektrické energie	22
Tabulka 9.8 Externí náklady elektromobilů za rok	22
Tabulka 9.9 NPV vozidla se vznětovým motorem včetně externích nákladů	22
Tabulka 9.10 NPV vozidla se vznětovým motorem včetně externích nákladů	23
Tabulka 9.11 NPV vozidla s elektrickým pohonem včetně externích nákladů.....	23
Tabulka 9.12 NPV vozidla s elektrickým pohonem včetně externích nákladů (fiktivní energetický mix)	23
Tabulka 10.1 Náklady za životní cyklus	26