

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
PODNIKOVĽHOSPODÁRSKA FAKULTA
SO SÍDLOM V KOŠICIACH**

Evidenčné číslo: 107002/I/2021/36093656567936260

**ANALÝZA EFEKTÍVNOSTI
ELEKTRICKÝCH NÁKLADNÝCH VOZIDIEL**

Diplomová práca

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
PODNIKOVĽOHOSPODÁRSKA FAKULTA
SO SÍDLOM V KOŠICIACH**

**ANALÝZA EFEKTÍVNOSTI
ELEKTRICKÝCH NÁKLADNÝCH VOZIDIEL**

Diplomová práca

Študijný program:	finančné riadenie podniku
Študijný odbor:	ekonómia a manažment
Školiace pracovisko:	Katedra kvantitatívnych metód
Vedúci záverečnej práce:	doc. Ing. Michal Tkáč, PhD.

Košice 2021

Bc. Michal Mitro

Zadanie záverečnej práce (vo vytlačenej verzii nahradit' stranou z AIS-u).

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že záverečnú prácu som vypracoval samostatne a že som uviedol všetku použitú literatúru.

Dátum:

.....

(podpis študenta)

Podakovanie

Touto cestou sa chcem podakovať doc. Ing. Michalovi Tkáčovi, PhD., za usmernenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní diplomovej práce.

ABSTRAKT

MITRO, Michal: Analýza efektívnosti elektrických nákladných vozidiel – Ekonomická univerzita v Bratislave. Podnikovohospodárska fakulta so sídlom v Košiciach; Katedra kvantitatívnych metód. – Vedúci záverečnej práce: doc. Ing. Michal Tkáč, PhD. – Košice: PHF EU, 2021, počet strán 55.

Cieľom záverečnej práce je posúdiť možnosti využitia elektrických nákladných aut v prepravnej spoločnosti a analyzovať efektívnosť a udržateľnosť využívania elektrických nákladných vozidiel v dopravnej spoločnosti na Slovensku. Práca je rozdelená do 5 kapitol. Obsahuje 24 obrázkov, 8 tabuliek a 0 príloh. Prvá kapitola je venovaná teoretickému vymedzeniu hlavných pojmov týkajúcich sa automobilového priemyslu a elektrickým vozidlám. V ďalšej kapitole je opísaný hlavný cieľ a ich čiastkové ciele. V tretej kapitole je opísaný objekt skúmania a metóda Response Surface. Štvrtá kapitola sa venuje samotným výsledkom práce. Záverečná kapitola je venovaná diskusii. Výsledkom riešenia danej problematiky je použitie metódy Response Surface na reálne namerané hodnoty v konkrétnom slovenskom podniku.

Kľúčové slová:

Elektrické nákladné vozidlá, prepravné služby, metóda Response Surface.

ABSTRACT

MITRO, Michal: The efficiency analysis of electric trucks – The University of Economics in Bratislava. The faculty of business economics with seat in Kosice; Department of Financial Management. – Thesis Supervisor: doc. Ing. Michal Tkáč, PhD. – Košice: PHF EU, 2021, pages 55.

The aim of the final work is to assess the possibilities of using electric trucks in a transport company and to analyze the efficiency and sustainability of the use of electric trucks in a transport company in Slovakia. The work is divided into 5 chapters. It contains 24 pictures, 8 tables and 0 appendices. The first chapter is devoted to the theoretical definition of the main concepts related to the automotive industry and electric vehicles. The next chapter presents the main goal and their sub-goals. The third chapter presents the object of research and the Response Surface method. The fourth chapter deals with the results of the work itself. The final chapter is devoted to the discussion. A great solution to this issue is the use of Response Surface methods for real measured values in a particular Slovak company.

Key words:

Electric trucks, transport services, Response Surface method

OBSAH

Úvod	11
1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí	13
1.1 <i>Automobilový priemysel a doprava.....</i>	<i>13</i>
1.1.1 Znečistenie ovzdušia	14
1.1.2 Ekonomická zraniteľnosť na ropnom vrchole a alternatívne zdroje energie.....	19
1.2 <i>História elektrických vozidiel</i>	<i>20</i>
1.2.1 Vylepšený akumulátor	20
1.2.2 Ropné krízy prajú elektrickým vozidlám	21
1.3 <i>Elektrické vozidlá</i>	<i>22</i>
1.3.1 Technológie elektrických pohonov	22
1.3.2 Metódy nabíjania PHEV a EV	24
1.3.3 Typy nabíjacích staníc	25
1.3.4 Infraštruktúra nabíjacích staníc	26
1.3.5 Batérie elektrických vozidiel	28
1.3.6 Elektrické vozidlá vs. spaľovacie motory	29
1.3.7 Výhody a nevýhody elektrických vozidiel	30
1.3.8 Elektrické nákladné vozidlá	31
2 Cieľ práce	34
3 Metodika práce a metódy skúmania	35
3.1 <i>Objekt skúmania.....</i>	<i>35</i>
3.2 <i>Metóda odozvovej plochy</i>	<i>36</i>
4 Výsledky práce	41
5 Diskusia.....	49
Záver	51
Bibliografické zdroje	53

Zoznam obrázkov a zoznam tabuliek

Obr. 1 Produkcia emisií v spaľovacích motoroch [8].....	15
Obr. 2 Podiel CO ₂ na celkových emisiách krajín EU v rokoch 1990 – 2018 [12].....	17
Obr. 3 Množstvo CO ₂ v preprave a percentuálne vyjadrenie podielu jednotlivých druhov prepravy na cestnej preprave v rokoch 1990 – 2018 v EÚ [12]	18
Obr. 4 Technológie elektrických pohonov [23].....	23
Obr. 5 Typy nabíjacích konektorov [24]	25
Obr. 6 Počet verejných nabíjacích bodov a pomer nabíjacích bodov na 100 km ² rozlohy (EÚ27 a Spojené kráľovstvo) [12].....	27
Obr. 7 Lítium-iónová batéria elektrického vozidla [21]	28
Obr. 8 Množstvo emisií CO ₂ v životnom cykle vozidiel [17]	29
Obr. 9 Vývoj počtu elektrických vozidiel v Číne, Spojených štátoch, Európe a iných krajinách v rokoch 2013 – 2017 v mil. kusov [28].....	31
Obr. 10 Plán pre dobíjanie nákladných vozidiel [28]	32
Obr. 11 Vozový park XY, s.r.o.....	35
Obr. 12 Elektrické nákladné vozidlá.....	36
Obr. 13 Odozovová plocha vrstevnice [30]	37
Obr. 14 Tri typy bodov [30]	37
Obr. 15 Face-centered centrálny kompozitný návrh [30]	38
Obr. 16 Face-centered centrálny kompozitný návrh [30]	40
Obr. 17 Boxplot of kWh / km	42
Obr. 18 Interval Plot of kWh / km	42
Obr. 19 Scatterplot of kWh vs km	43
Obr. 20 Scatter plot of kWh / km, Eur / km vs km	43
Obr. 21 Interval Plot of Eur / km vs mesiac	44
Obr. 22 Contour Plot of Eur / km vs kWh; km.....	45

Obr. 23 Interaction Plot for Eur / km.....	47
Obr. 24 Surface Plot of Eur / km vs kWh; km.....	48
Tab. 1 Mestá s najväčším počtom obyvateľstva, množstvom vyprodukovaných CO ₂ a podielom dopravy na daných emisiách [7]	15
Tab. 2 Rozdiely v nabíjacích technológiach [25]	26
Tab. 3 Priemerné využívanie staníc za mesiac [25].....	26
Tab. 4 Výhody a nevýhody elektrických vozidiel [26] [27].....	30
Tab. 5 Centrálny kompozitný návrh pre 3 faktory [30].....	39
Tab. 6 Centrálny kompozitný návrh pre 3 faktory [30].....	40
Tab. 7 Analysis of Variance	46
Tab. 8 Coded Coefficients	46

Zoznam skratiek a značiek

CO – oxid uhoľnatý

CO₂ – oxid uhličitý

HEV – hybridné elektrické vozidlo

PHEV – plug-in hybridné elektrické vozidlo

EV – elektrické vozidlo

REEV – rangeextender

HC – uhl'ovodík

NO_x – oxidy dusíka

O₂ – kyslík

NO₂ – oxid dusičitý

μm – mikrometer

BEV – batériové elektrické vozidlo

Úvod

Globalizujúci sa svet so sebou prináša mnoho globálnych problémov. Jedným z nich je globálne otepľovanie. Globálne otepľovanie ako fenomén nie je možné riešiť v jednej krajine jednou ekonomikou. Globalizujúca sa ekonomika musí nájsť také spôsoby riešenia problémov s energiou, aby boli na jednej strane ekonomicky zvládnuteľné a na druhej strane aby sa zamedzilo existujúcemu negatívnemu vývoju z hľadiska posudzovania environmentálnych aspektov. Jedným z veľmi dôležitých producentov skleníkových plynov je práve doprava. Súčasná doprava bazíruje na využívaní spaľovacích motorov a tieto so samotnej svojej podstaty vytvárajú ľudskému organizmu škodlivé látky. Celková technológia, ktorá historicky prešla z pary na spaľovacie motory, má v podstate iba jednu možnosť, a síce orientovať sa alebo na vodíkové motory, teda spaľovacie motory, ktoré ako také nevytvárajú skleníkové plyny, alebo na elektrické motory, kde v prípade že elektrická energia je vyrábaná z obnoviteľných zdrojov, potom skutočne ako také nevytvárajú nejakú environmentálnu záťaž v podobe skleníkových plynov. Celosvetový vývoj sa skutočne orientuje na tieto dva smery, čiže alebo vodíkové vozidlá alebo vozidlá poháňané elektrickými batériami.

V tejto diplomovej práci sa budeme venovať špeciálnej doprave a síce nákladnej doprave, to znamená budeme riešiť problematiku ekonomickej udržateľnosti nákladných vozidlami poháňanými batériovými článkami. Nákladné vozidlá na rozdiel od osobných vozidiel sú robustnejšie, čo môže mať na jednej strane výhodu, pretože sú schopné odniesť väčšie batérie, na druhej strane majú však nevýhodu, pretože tým sa znižuje ich užitočná záťaž. Cieľom nákladnej dopravy je prenášať náklad, spoľahlivosť a schopnosť prenášať veľké objemy nákladu je jedným zo základných parametrov efektívnej dopravy. V súčasnosti už mnohé dopravné spoločnosti riešia otázku zavedenia elektrických nákladných vozidiel do svojej flotily dopravných vozidiel. Keďže vývoj batérií pri nákladných vozidlách zatiaľ nedosahuje také výsledky, aby boli plne konkurencieschopný spaľovacím motorom a tieto dopravné prostriedky väčšinou začínajú s jedným alebo s dvomi elektrickými vozidlami a na základe ich vlastností a schopností, ktoré zároveň skúmajú, vedú potom prispôbiť svoj vozový park tomu, či je pre nich efektívnejšie nakúpiť batériové vozidlá (elektrické vozidlá) alebo či je pre nich efektívnejšie ostať pri vozidlách so spaľovacím motorom. Problém so spaľovacími motormi je totiž istým spôsobom obmedzovaný obmedzeniami, ktoré vydala Európska únia v súvislosti

so skleníkovými plynmi. Tieto obmedzenia určujú koľko môže mať spalín jednotlivé nákladné vozidlo a tieto limity pre množstvo spalín sú tvrdšie a tvrdšie, čo vytvára tlak nielen na používateľov, pretože v dnešnej dobe už existujú celé zóny veľkých miest kde v prípade, že to auto nepreukáže, že má nízke limity nie je vpustené, ale aj výrobcov nákladných vozidiel.

V tejto diplomovej práci sa venujeme problematike efektívneho využívania elektrických nákladných vozidiel v strojovom parku bežnej dopravnej spoločnosti s tým, že na základe primárneho výskumu základných parametrov prepravy, ktorá bola vykonaná pätnástimi elektrickými nákladnými vozidlami, určíme celkovú výhodnosť využívania takýchto nákladných elektrických vozidiel v podnikovej praxi dopravcov.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

Vývoj motorových vozidiel sa začal už pred viac ako 100 rokmi a mal takmer bezprecedentný dopad na súčasný moderný svet. Naša dopravná technológia dáva slobodu cestovania pre všetkých ľudí na celom svete. Rýchly nárast motorových vozidiel však zavinil vznik množstva problémov. Jedným z nich je aj závislosť na fosílnych palivách a tiež zraniteľnosť hospodárstva na cenách z ropy. Ďalším problémom so spaľovacím motorom je znečisťovanie ovzdušia a to aj s dokázanými negatívnymi vplyvmi na životné prostredie a celkový blahobyt spoločnosti. Aj keď sa technológia daných spaľovacích motorových vozidiel zlepšovala, kvalita ovzdušia aj napriek tomu vyžaduje väčšie zlepšenie. [1]

1.1 Automobilový priemysel a doprava

Automobilový priemysel predpokladá vznik veľa typov elektrických vozidiel, na ktorých sa jazdí ekonomicky efektívnejšie ako na vozidlách, ktoré majú spaľovací motor s nulovou hodnotou emisií, pričom sú tieto vozidlá nabíjané prostredníctvom elektriny, ktorá môže byť vyrábaná z obnoviteľných zdrojov energie. Posun od výroby elektriny z fosílnych palív k obnoviteľnej energii výrazne znižuje emisie a závislosť od fosílnych palív a to znižuje určité riziko hospodárskej zraniteľnosti. Aj keď sa predaj elektrických vozidiel neustále zvyšuje, aj tak ich v súčasnosti na cestách veľmi nevidíme. Má to niekoľko dôvodov. Napríklad relatívne vysoké začiatočné náklady, skryté náklady na vozidlo, skepticizmus verejnosti, veľké obavy z obmedzeného dojazdu elektrických vozidiel, neznalosť danej technológie a absencia verejnej nabíjacej infraštruktúry. Pre rýchlejšiu rast trhu s elektrickými vozidlami je nutné odstrániť dané problémy. Práve doprava a energetika sú v našom svete zložité systémy a zároveň hlavnými tepnami súčasnej svetovej ekonomiky, a preto je dôležitý ich neustály tok. Ak by nastalo zastavenie týchto tokov, ovplyvnilo by to ekonomiku a blahobyt ľudí. Vývoj motorových vozidiel ako hlavnej formy dopravy je jeden z najväčších úspechov súčasných moderných technológií. Hromadná výroba a rýchly predaj motorových vozidiel však spôsobuje aj vedľajšie účinky, tzv. negatívne externality.

Hlavným problémom je znečistenie ovzdušia, ktoré je spôsobené vysokým používaním fosílnych palív. Sú zdrojom energie pre cca miliardu aktuálne jazdených motorových vozidiel. [2]

Ďalšou spornou otázkou dopravy je aj veľká závislosť na fosílnych palivách. Hoci sú elektrické vozidlá realizujúcim riešením na zníženie problémov v doprave, uvedenie na trh a prijatie elektrických vozidiel čelí množstvu problémov v oblasti inžinierstva, politiky, hospodárstva, výroby elektriny a distribúcie.

V tejto diplomovej práci ďalej spomenieme problémy a výzvy v oblasti inžinierstva vozidiel, ktoré sú spojené so znečisťovaním ovzdušia zapríčinené dopravou a s tým aj škody a náklady pre danú spoločnosť. Povieme si ďalej ako elektrické vozidlá fungujú a prečo majú potenciál pri riešení určitých problémov s kvalitou ovzdušia a znížení rizika ekonomickej zraniteľnosti voči fosílnym palivám.

1.1.1 Znečistenie ovzdušia

Väčšina zo súčasných sedem a pol miliárd ľudí na planéte žije vo veľkých mestách, ktoré sa rozrastajú z hľadiska počtu obyvateľov alebo rozlohy. V týchto mestách sa zvyšuje dopyt po doprave, čo vedie k neúmernému zvyšovaniu jej hustoty. To sa spája so zvyšovaním dopytu po fosílnych palivách, hluku a výfukových plynov. Každé motorové vozidlo poháňané uhlíkovodíkovými palivami so spaľovacím motorom vyrába potenciálne smrteľné a škodlivé látky znečisťujúce životné prostredie. [3] [4] [5]

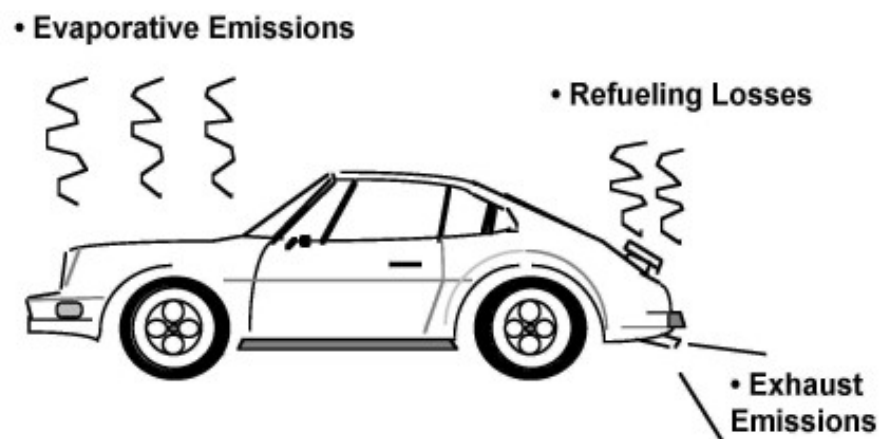
V súčasnosti mestá zaberajú cca 3% zemskej pôdy, no tvoria cca 70% emisií CO₂. Zo svetovej populácie žije na určitých miestach so zhoršenou kvalitou ovzdušia až 91% populácie. Tab. 1 popisuje mestá s najväčším počtom obyvateľov, množstvo CO₂, ktoré mesto vyprodukuje za rok a aký má podiel doprava na týchto emisiách. Môže sa javiť, že viac obyvateľov značí viac vyprodukovaných CO₂ ročne, avšak to platí len v prípade mesta Tokio, ktoré s počtom obyvateľstva 37,28 milióna dá vzniknúť viac ako 57 mil. ton CO₂. Ďalšími mestami, ktoré majú viac ako 50 miliónov obyvateľstva, sú Moskva (11,73 mil. obyvateľov) a New York (20,43 mil. obyvateľov). Naopak mestá, ktoré sa umiestňujú hustotou populácie k najväčším, ale množstvom vytvoreného CO₂ nepresahuje 17 mil. ton sú Sao Paulo, Dháka a Rio de Janeiro. Ak sa podívame, aký je podiel dopravy na celkových vzniknutých CO₂, tak vidíme, že v meste Sao Paule tvorí až 62,1% z celkových emisií a v meste Mexiku 52,7%. Naopak v meste Dhake tvorí doprava (10,5%) najmenší podiel na daných emisiách. [6]

Tab. 1 Mestá s najväčším počtom obyvateľstva, množstvom vyprodukovaných CO₂ a podielom dopravy na daných emisiách [7]

Mesto	Krajina	Populácia v roku 2020 (v miliónoch)	Množstvo CO ₂ v tonách za rok	Podiel dopravy na CO ₂
Tokio	Japonsko	37.28	57 176 147	17,3%
Dháka	Bangladéš	22.4	16 938 613	10,5%
Mexico City	Mexico	21.81	35 529 299	52,7%
Sao Paulo	Brazília	21.57	15 418 070	62,1%
Lagos	Nigéria	21.51	26 443 656	19,6%
New York	USA	20.43	50 108 475	31%
Kalkata	India	18.54	25 047 815	25,3%
Buenos Aires	Argentína	15.48	19 952 660	29,9%
Los Angeles	USA	13.25	27 321 130	21,5%
Rio de Janeiro	Brazília	13.23	16 410 132	36,9%
Istanbul	Turecko	12.76	47 532 201	28,1%
Moskva	Rusko	11.73	54 916 387	17,8%

Zdroj: Spracované podľa publikácie [7]

Obr. 1 ukazuje ako a kde motorové vozidlá so spaľovacím motorom vyrábajú nebezpečné emisie výfukových plynov a emisie z odparovania výparov paliva.



Obr. 1 Produkcia emisií v spaľovacích motoroch [8]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [8]

Je potrebné si uvedomiť, že palivo sa z motorového vozidla odparuje aj keď nie je v pohybe. Aj keď niektoré z týchto vzniknutých pár sú zachytávané v uhlíkovej nádobe na emisie z odparovania. V určitom štádiu sa nasýtiť a palivové výpary, tiež prchavé organické zlúčeniny ako uhlíkovodík (HC) sa uvoľňujú a dostávajú do atmosféry

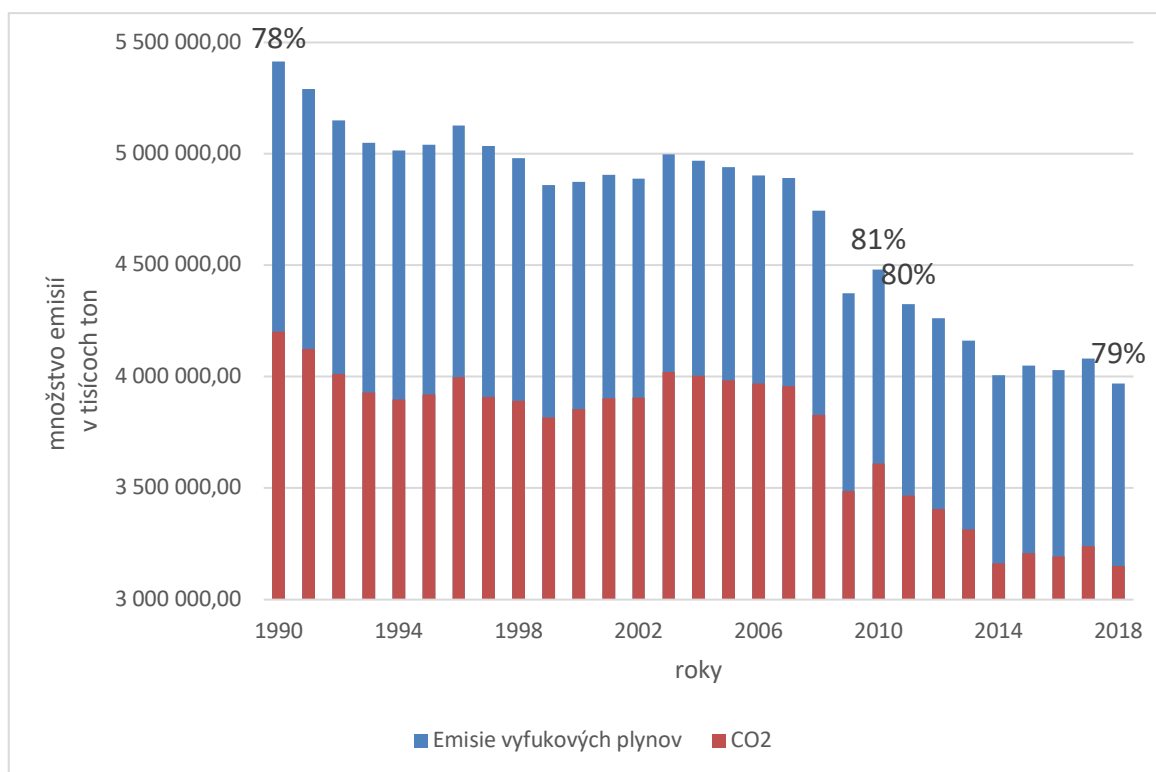
Hlavnými zložkami emisií výfukových plynov sú nespálený oxid uhoľnatý (CO), HC a oxidy dusíka (NO_x). CO a HC sú vlastne produkty z neúplného spaľovania. CO je toxický nielen pre ľudí, ale aj pre zvieratá a pri nadýchnutí určitého množstva tejto látky to môže viesť až k smrti. Nespálený HC na základe vedeckých poznatkov má karcinogénny alebo priamy toxický účinok na ľudí. [9]

Oxid dusíka vzniká pri reakcii medzi kyslíkom z okolitého vzduchu s dusíkom zo spaľeného paliva. NO_x má nepriaznivé účinky na zdravie živých buniek a je zodpovedný tiež za smog poškodzovanie kyslých dažďov. [5] [8]

Ozón je ďalšou znečisťujúcou látkou. Vyskytuje sa ako dôsledok výfukových emisií, ale nie je priamo spôsobený daným spaľovaním fosílnych palív. Ozón je produktom fotochemickej reakcie medzi O₂ a NO₂ v atmosfére. Ozón je nebezpečný aj pri nízkej koncentrácii, hlavne pre malé deti, starších ľudí a ľudí trpiacich astmou. [5] [10]

Obr. 2 znázorňuje ako sa v priebehu rokov 1990 – 2019 vyvíjalo množstvo emisií v krajinách EÚ a tiež podiel z celkových emisií vlastne tvorilo CO₂. Najväčšie množstvo emisií bolo vyprodukovaných v roku 1990. V ďalších rokoch množstvo emisií malo klesajúcu tendenciu aj proti tomu, že ich hodnota striedavo klesala a rástla, aj keď nikdy nepresiahla maximum z roku 1990. Najväčší pokles bol po roku 2008 a najnižšia hodnota bola až o 10 rokov. V roku 2009 vidíme najvýraznejší pokles emisií hlavne z dôvodu globálnej hospodárskej krízy, kedy nastalo zníženie priemyselnej činnosti. [7]

Ak sa pozrieme na podiel CO₂ v priebehu týchto rokov, tak vidíme, že jeho vývoj smeroval opačne. Kým v roku 1990 bol podiel CO₂ v emisiách na úrovni 78%, do roku 2010 stúpol na 81%. V nasledujúcich rokoch 2011 – 2018 sa daný podiel CO₂ znížil na úroveň 79%, aj keď je to stále viac ako v roku 1990. Okrem emisií motorových vozidiel v plynnej forme sú tuhé častice tiež nebezpečnými vedľajšími produktmi daného spaľovania fosílnych palív. [11]



Obr. 2 Podiel CO2 na celkových emisiách krajín EU v rokoch 1990 – 2018 [12]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [12]

V závislosti od ich veľkosti majú dané častice potenciál vniknúť hlboko do pľúcneho tkaniva a tým spôsobiť zdravotné problémy ako sú napr. kardiovaskulárne choroby, zvýšené respiračné príznaky, znížená funkčnosť pľúc alebo zvýšená chorobnosť s dýchacími cestami. Takéto negatívne vplyvy týchto častíc v ovzduší sa dajú pozorovať aj na úrovniach, ktoré nespĺňajú normy kvality ovzdušia v USA. Preto je obyvateľstvo obmedzované v každodenných činnostiach a zvyšuje sa hospitalizácia ľudí a tým pádom sa zvyšujú náklady na systém verejného zdravotníctva. [4]

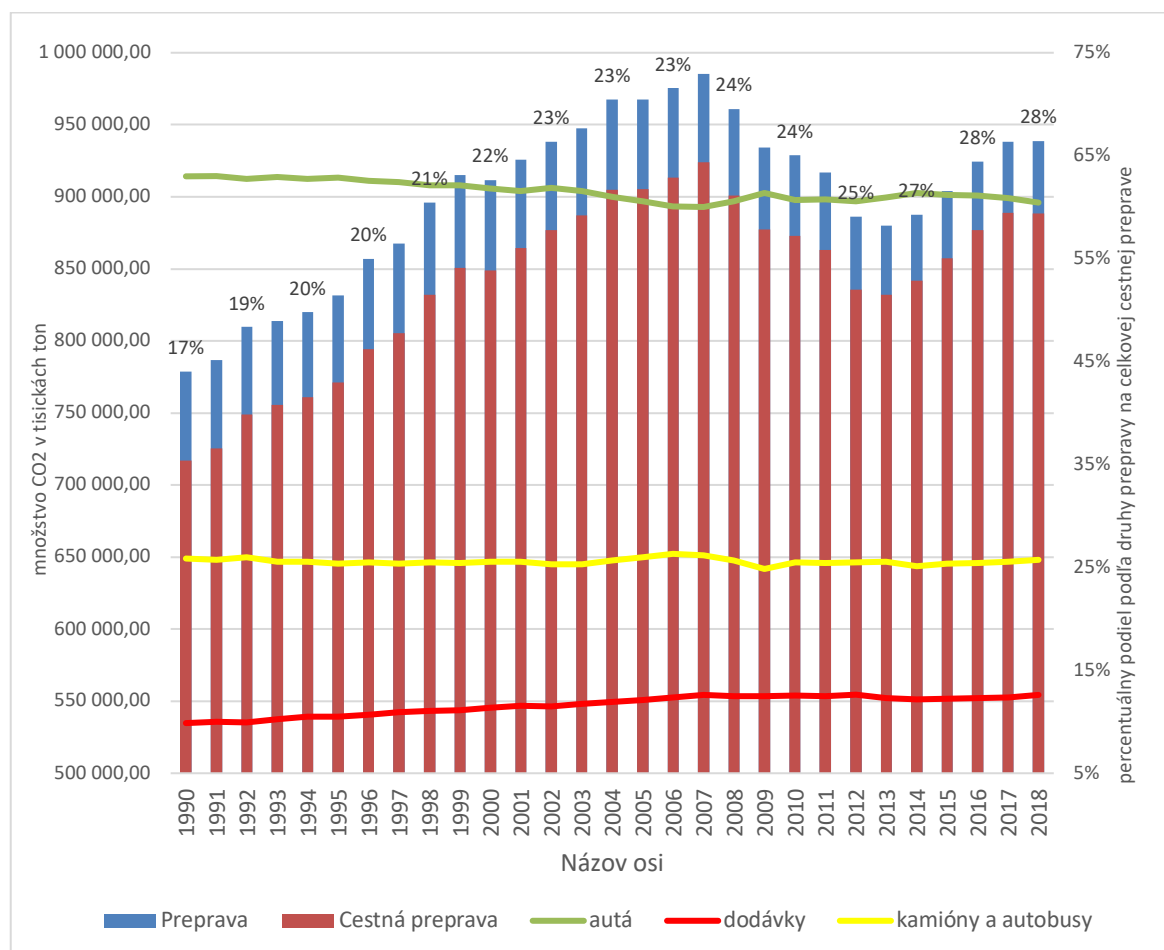
Ako vážne vplýva znečistenie ovzdušia v mestách na náš každodenný život, tak to odhadli páni Yim a Barret. [13]

V štúdiu uvádzajú, že spaľovanie fosílnych palív v Spojenom Kráľovstve a Európe má za následok až cca 13 000 predčasných úmrtí ročne. Okrem toho vplýva aj na zvýšenú predčasnú úmrtnosť, na vysoké náklady a straty pre danú spoločnosť a ako vieme znečistený vzduch spôsobuje aj pridružené choroby. Niekoľko štúdií opísalo súvislosť medzi cukrovkou a znečistením ovzdušia a to hlavne z tuhých častíc, ktoré sú menšie ako 2,5 μm . [14] [15]

Pri ovzduší neexistujú hranice a preto znečistené ovzdušie cestuje po celom svete. Hlavným vedľajším produktom pri spaľovaní fosílnych palív ako vieme je oxid uhličitý (CO₂). Nie je priamo škodlivý pre ľudí, ale ako hlavný skleníkový plyn je zodpovedný za všeobecne známe globálne otepľovanie a s ním spojené všetky riziká. [8]

Motorové vozidlá významnou mierou prispievajú k produkcii CO₂. Medzinárodná energetická agentúra (IEA) prezentuje, že v roku 2014 spaľovanie dopravnými prostriedkami predstavovalo až 23% z celkovej produkcie CO₂. [16]

Počas prepravy vzniká vysoké množstvo CO₂. V roku 1990 utvárala preprava v krajinách EÚ cca 19% z celkového vytvoreného množstva CO₂, ale v roku 2018 stúpol daný podiel až na cca 30%. Ako vidíme na Obr. 3, cestná preprava má najväčšie percento z celkovej prepravy a v priebehu rokov sa daný podiel zvyšuje.



Obr. 3 Množstvo CO₂ v preprave a percentuálne vyjadrenie podielu jednotlivých druhov prepravy na cestnej preprave v rokoch 1990 – 2018 v EÚ [12]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [12]

V roku 1990 to činilo cca 17%, potom v roku 2000 stúpol na cca 22% a v roku 2010 to činilo úroveň až cca 24%. Najväčší nárast je najmä v posledných rokoch a podiel cestnej prepravy predstavuje v roku 2018 až cca 28%. Na obrázku môžeme vidieť, že z cestnej dopravy sa každoročne vytvára najviac CO₂ z áut, čo činí cca 63%, ďalej z dodávky, t.j. cca 10% a z kamiónov a autobusov, t.j. cca 26%. [17]

Aby sme zamedzili problémom, ktoré sú spojené s emisiami z výfukov motorových vozidiel, tak elektrické vozidlá majú potenciál znížiť emisie a to za predpokladu, že sa elektrina vyrába práve z obnoviteľných zdrojov energie.

Zrozumiteľne povedané milióny motorových vozidiel jazdiacich v koncentrovaných oblastiach vyrábajú nebezpečné látky a znečisťujúce látky tak poškodzujú životné prostredie. V dôsledku toho ľudia, ktorí žijú v mestách a na predmestiach, chorľavejú a znečistenie vedie k ich predčasnému úmrtiu. Súčasne je spoločnosť zaťažená nákladmi na znečistenie a negatívnymi dopadmi na danú ekonomiku.

1.1.2 Ekonomická zraniteľnosť na ropnom vrchole a alternatívne zdroje energie

Ekonomická závislosť od ropy vo väčšine krajín hovorí o riziku, že bude chýlostivá na ropnom vrchole a ropných cenových šokoch. Pojem ropný vrchol sa definuje ako maximálna možná miera ťažby ropy. Ide o bod, v ktorom je dopyt po rope vyšší ako ropný priemysel môže ponúknuť. Predpovede o ropnom vrchole sú kontroverzné. Závisí to hlavne od rastu dopytu po rope a úspešných prieskumoch pre nájdenie nových ropných polí. Podľa štúdie [18] by bola ekonomika USA ohrozená práve znížením ponuky, ak nastane ropný vrchol.

Predpokladá sa, že Európe by hrozilo rovnaké riziko. Elektrické vozidlá, autobusy a ľahké nákladné vozidlá majú vysoký potenciál znížiť dopyt po rope a znížiť tak potenciálne riziká, ktoré sú spojené s ropným vrcholom. Elektrické vozidlá môžu byť prevádzkované aj bez silnej závislosti od fosílnych palív. Trakčné batérie elektrických vozidiel sa dajú nabíjať vyrobenou elektrinou z ktoréhokolvek zdroja energie. Európske obnoviteľné zdroje energie ako je solárna, veterná, vodná, geotermálna, majú vysoký potenciál nabíjať elektrické vozidlá a prispievať tak k znižovaniu závislosti na daných fosílnych palivách.

1.2 História elektrických vozidiel

Prvé elektrické vozidlá boli predstavené pred vyše 100 rokmi. V súčasnosti je zaznamenaný nárast popularity elektrických vozidiel. Či už ide o hybrid, plug in- hybrid alebo čisto elektrický pohon, dopyt po takýchto vozidlách neustále rastie a to z mnohých dôvodov.

Asi prvým zdokumentovaným elektrickým vozidlom bol model elektrický poháňaného vozidla z roku 1828 zostrojený uhorským vynálezcom slovenského pôvodu Štefanom Aniánom Jedlíkom. V roku 1835 skonštruovali profesor Sibrandus Stratingh s asistentom Christopherom Beckerom v holandskom Groningene tzv. elektrickú trojkoľku. Prvé prakticky použiteľné elektrické vozidlo však pochádza až z roku 1884 zostrojené anglickým elektroinžinierom a vynálezcom Thomasom Parkerom. Český inžinier František Křižík zostrojil elektrické vozidlo o rok neskôr (rok 1885). Poháňal ho jednosmerný elektromotor a to s výkonom 3,6 kW a oloveným akumulátorom, ktorý bol zložený zo 42 článkov. [19]

1.2.1 Vylepšený akumulátor

Väčší pokrok vo výrobe elektrických vozidiel umožnil na prelome 19. a 20. storočia francúzsky chemik Camille Faure tým, že vylepšil nabíjateľný akumulátor Gastona Plantého. Obaja tak vlastne pripravili živnú pôdu pre elektrickú mobilitu, ktorá v tom čase bola jednoznačne dominantnou. Prvé elektrické vozidlo Ferdinanda Porscheho Porsche P1 vzniklo v roku 1898, ktoré dosahovalo maximálnu rýchlosť 35 km/h a malo dojazd 80 km. Elektrické vozidlo vytvorilo aj viaceré rýchlostné rekordy. Napr. automobil La Jamais Contente belgického konštruktéra a pretekára Camilla Jenatzyho, ktorý v roku 1899 dosiahol neuveriteľnú rýchlosť 105,88 km/h, sa v tom čase stal najrýchlejším dopravným prostriedkom, ktoré jazdilo po zemi. Niekoľko rokov nato Porsche pri práci pre spoločnosť Austro-Daimler vyvinul hybridný pohon. Bol kombináciou benzínového motora a dynama, ktoré malo označenie Daimler-Mixte a poháňal viacero moderných áut, napr. vozidlá berlínskych hasičov. V tom čase v USA prebiehal ekonomický rast, avšak tu nebola dostatočná infraštruktúra na ich tankovanie.

V roku 1896 spoločnosť Hartford Electric Light Company priniesla nový obchodný koncept pre nákladné vozidlá a to, že majiteľ si po kúpe vozidla od General Electric Company prenajímal batériu od Hartfordu. Platil poplatok podľa prejazdenej vzdialenosti

a aj mesačný poplatok za údržbu a garáž. Táto služba fungovala v rokoch 1910 až 1924 a vozidlá v tom čase najazdili takmer 10 mil. km.

Začiatkom 20. storočia jazdili aj prvé autá, ktoré boli poháňané benzínovým motorom a parným pohonom. No elektrické vozidlá boli na cestách aj tak najrýchlejšie a prehánali sa priemernou rýchlosťou 32 km/h. Najväčší rozmach zaznamenali elektrické vozidlá v roku 1912, avšak to bol aj začiatok ich konca. Stavba prvých diaľnic, výrazné zníženie ceny benzínu, vynález elektrického štartéra a hlavne príchod Fordovho Modelu T znamenali koniec tejto kapitoly v dejinách elektrických vozidiel.

1.2.2 Ropné krízy prajú elektrickým vozidlám

Záujem o elektro mobilitu nastal z dôvodu veľkej ropnej krízy v 60. a 70. rokoch. Ford, General Motors a American Motor Company síce uvažovali o vývoji úplne elektrického modelu, no nemali dôveru v jeho úspech na trhu. V daných časoch sa objavilo aj viacero pilotných projektov. Victor Wouk, známy ako „otec hybridu“, v roku 1972 vypracoval koncept prvého skutočne hybridného vozidla, v ktorom použil elektrický motor. Tento pohon začal GM montovať do modelu Buick Skylark. Podnetom toho bol zákon o ochrane ovzdušia a garantom novo založená Asociácia pre ochranu životného prostredia. Automobilky už vtedy upozorňovali, že dodržanie ustanovenia zákona sa bude dať iba zvýšením predajných cien vozidiel a to takmer o tretinu, čo by zákonite prinieslo pokles predaja a mohlo ohroziť celkovú ekonomiku. Na základe toho vláda po skoro štyroch rokoch daný program zrušila. V polovici 90. rokov prišla automobilka General Motors s limitovanou sériou 1100 kusov elektrického kupé EV1 s výkonom 139 kW, maximálnou rýchlosťou 160 km/h a dojazdom 240 km. Vozidlá boli prenajímané a aj napriek veľkej popularite GM po 3 rokoch daný program ukončila a všetky vozidlá aj napriek veľkým protestom stiahla a zošrotovala. Presný dôvod tohto kroku automobilka GM nikdy neoznámila. Tým sa skončila ďalšia z významných etáp vývoja elektromobilov. Náznak reinkarnácie sa uskutočnil v 70. rokoch, kedy arabské ropné embargo vyhnalo ceny ropy na rekordné hodnoty. Štáty vtedy začali dotovať vývoj elektrických vozidiel, avšak žiaden z nich sa výraznejšou mierou nedokázal presadiť. A keď klesli ceny benzínu, všetko sa vrátilo do „emisného“ normálu.

[20]

1.3 Elektrické vozidlá

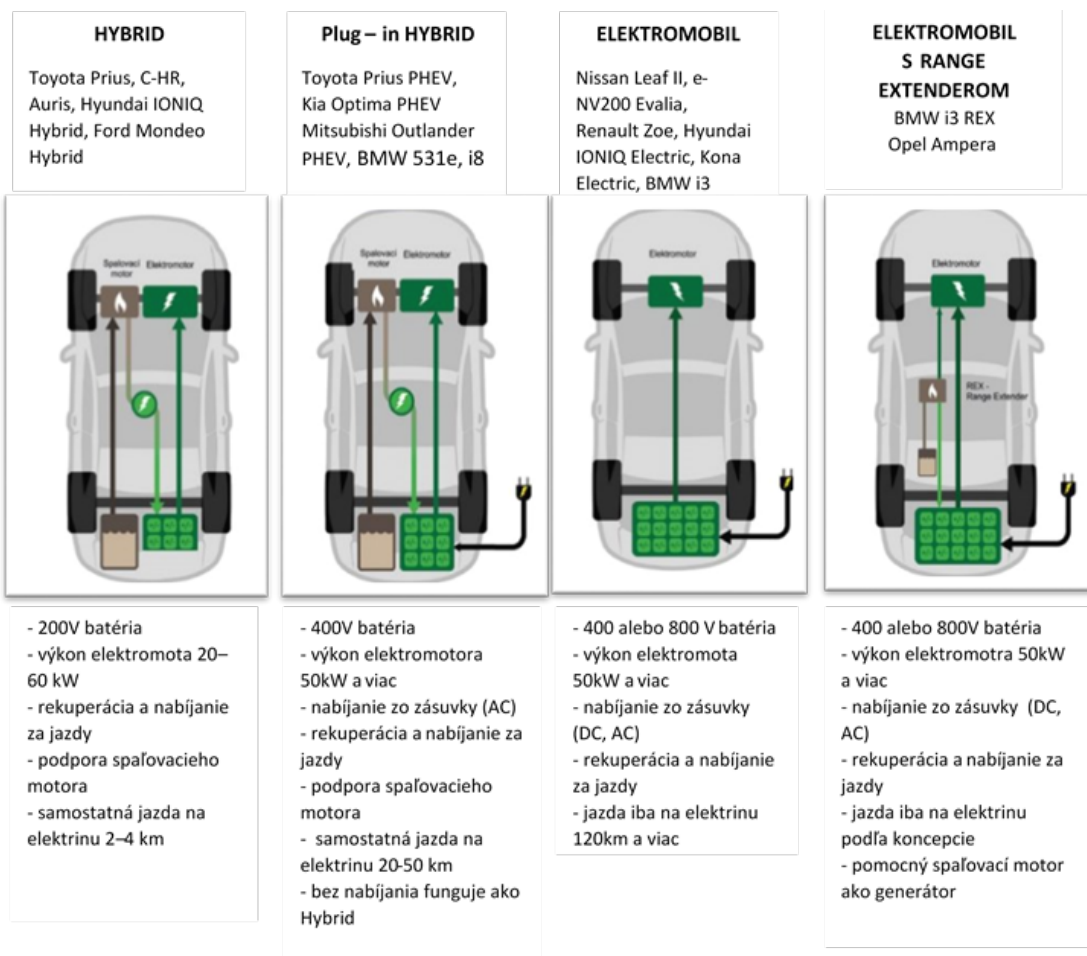
Technologický pokrok a spoločenské zmeny vyvolali drastický vývoj v oblasti mobility. Popri iných trendoch, ako napríklad digitalizácia, autonómne riadenie a zdieľaná mobilita, naberať na obrátkach aj elektrická mobilita. Práve posledná spomínaná by mohla EÚ pomôcť k dosiahnutiu cieľov znížiť emisie skleníkových plynov, znečistenie ovzdušia, hluku a závislosti na ropu. Rozsah pomoci však bude závisieť od mnohých faktorov. Jedným z týchto faktorov je podiel elektrických vozidiel na celkovom vozovom parku, či celková ekologickosť elektromobilu počas jeho celého životného cyklu.

S pokrokom technológií a rôznymi zmenami v spoločnosti sa výrazne rozvinul aj spôsob ako cestujú ľudia či tovary z bodu A do bodu B. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že vozidlá sú stále efektívnejšie, automatizované, prepojené a čistejšie. Čoraz viac sa stretávame so zdieľaním vozidiel a ľudia sú otvorení aj spoločným jazdám s neznámymi ľuďmi, ktorí cestujú rovnakým smerom. [21]

1.3.1 *Technológie elektrických pohonov*

V roku 1997 uviedla Toyota z ekologických a ekonomických dôvodov prvé sériovo vyrábané hybridné elektrické vozidlo (HEV) model Prius. [22]

HEV využívajú dve rôzne technológie pohonu, a to zvyčajne elektromotor a spaľovací motor. Batériu HEV sa nedá nabíjať z externého zdroja elektriny, ale energia pre pohon a ostatné zariadenia vozidla je odoberaná práve z paliva (nafta, benzín, plyn, biopalivo a iné). Generátor motora poskytuje elektrinu pre trakčnú batériu, následne batéria dáva energiu pre elektrický motor pri relatívne krátkych presunoch či častých zastaveniach a pohnutiach vozidla a to znižuje emisie vozidla. Hlavná výhoda trakčnej batérie spočíva v tom, že sa dokáže dobíjať absorpciou kinetickej energie vozidla, využíva elektrický motor ako generátor a tým znižuje spotrebu paliva a emisií. V závislosti od nastavenia zdroja energie HEV môže byť výhodou aj vyššie zrýchlenie. Implementáciu oboch typov motora do vozidla môže riadiaca jednotka riadiť obe pohonné jednotky súbežne, ale aj jednotlivo. Malá batéria pri tomto type elektromotora dokáže jazdiť v čisto elektrickom režime 2 až 3 km. Pokiaľ však ide o otázku životného prostredia, hybridné elektrické vozidlo stále vyrába emisie výfukových plynov a nemožno ho prevádzkovať z obnoviteľného zdroja elektriny ako napr. so strešných solárnych panelov (Obr. 4).



Obr. 4 Technológie elektrických pohonov [23]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [23]

Pre riešenie tohto problému boli uvedené na trh plug-in hybridné elektrické vozidlá (PHEV). Ich väčšia trakčná batéria poskytuje vozidlám s elektrickým motorom jazdu na omnoho dlhšie vzdialenosti ako pri HEV. Ďalšou výhodou PHEV je, že vozidlá disponujú zariadením na nabíjanie batérie. PHEV tak môžeme nabíjať z akéhokoľvek ľubovoľného zdroja elektrickej energie za predpokladu, že úroveň napätia a prúdu zodpovedá systému vozidla. V závislosti od veľkosti elektrického akumulácie systému a požadovanej vzdialenosti cestovania, PHEV majú potenciál jazdiť s nulovými emisiami z výfuku, ak je batéria dobíjaná z obnoviteľných zdrojov energie, napr. z jednoduchého strešného fotovoltického systému. Dojazd na čisto elektrickú jazdu sa pohybuje od 40 do 60 km. Hlavnými nevýhodami PHEV je súčasť relatívne ťažkých komponentov vo vozidle súvisiacich so spaľovacím motorom, ktoré vyžadujú údržbu a pri využívaní spaľovacieho motora namiesto elektrického motora vyrábajú emisie výfukových plynov a tankovanie paliva.

Na rozdiel od HEV a PHEV plne elektrické vozidlo (EV) alebo inak nazývané batériové elektrické vozidlo (BEV) nemá spaľovací motor s týmito nevýhodami. Elektrické vozidlo alebo elektromobil typu BEV je vozidlo, ktoré je poháňané výlučne elektrickou energiou, tú čerpá z akumulátora, t.j. batérie integrovaného do vozidla, ktorý je nutné nabíjať z externého zdroja napr. z nabíjacej stanice alebo domácej zásuvky. Časť energie sa dokáže získať aj rekuperáciou, čo je premena kinetickej energie na energiu elektrickú. Takáto energia sa získava hlavne pri spomaľovaní vozidla a brzdení. Pohonnou jednotkou elektrického vozidla je elektrický motor a jeho výhodou je konštrukčná nenáročnosť a účinnosť až 90%, ktorá je v priemere 3-krát vyššia ako u spaľovacích motorov. Celková účinnosť je však ovplyvnená aj účinnosťou batériových článkov a nabíjania. Použitie elektromotora so sebou nesie konštrukčné výhody. Vďaka malým rozmerom je ho možné osadiť priamo na nápravu elektromobilu. Pri vozidlách s pohonom všetkých štyroch kolies sa na obe nápravy osadia nezávislé elektromotory, ktorých súčinnosť má na starosti elektronika a preto nie je potrebný kardanový hriadeľ. Pri elektromobiloch so zadným pohonom absentuje v prednej časti vozidla motor a tým sa významným spôsobom zväčšuje deformačná zóna pri čelnom náraze, čo má výrazný vplyv na bezpečnosť. Takéto automobily môžu mať aj dva batožinové priestory, a to vpredu a vzadu. Batéria sa v takýchto vozidlách montuje do podlahy, takže nezaberajú žiadnu úžitkovú plochu a vďaka tomu dochádza k zníženiu ťažiska, čo má pozitívny vplyv na stabilitu a bezpečnosť.

Posledným typom elektrického pohonu je E + Rangeextender (REEV). REEV predstavuje klasické elektrické vozidlo so zabudovaným malým spaľovacím motorom slúžiacim iba na výrobu elektriny, vďaka ktorému dokáže predĺžiť dojazd vozidla asi o 100 až 120 km. [23]

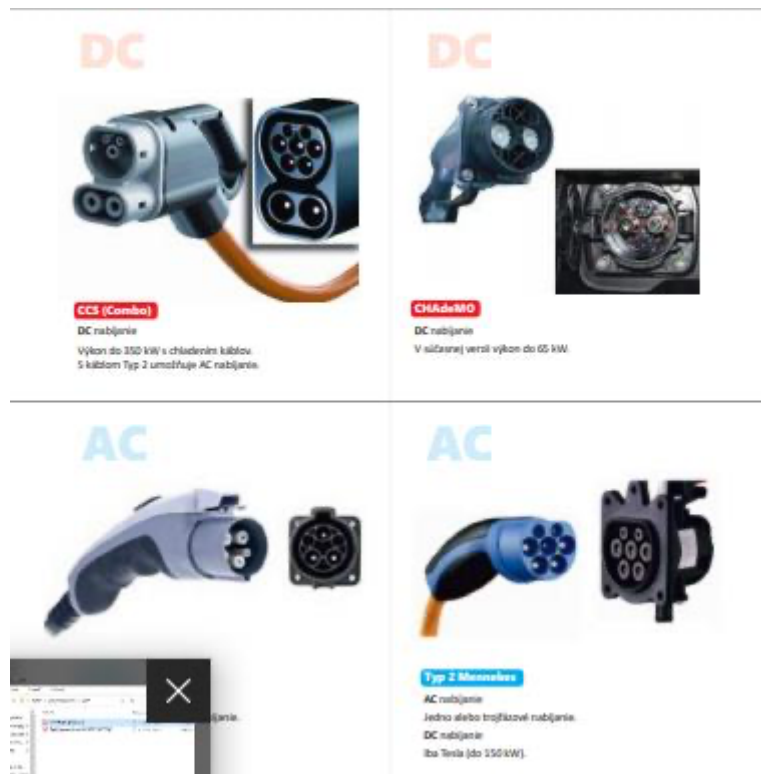
1.3.2 Metódy nabíjania PHEV a EV

Princíp nabíjania elektrického vozidla je jednoduchý, podobne ako pri nabíjaní mobilného telefónu. V prípade, že nabíjame elektrické vozidlo doma a nemáme wall box, jednu časť nabíjacieho kábla zastrčíme do elektrického vozidla a druhú do zásuvky. V prípade, ak by sme mali nainštalovaný wall box, čo je nástenná nabíjačka napojená na sieť, stačí jeho kábel vložiť do nabíjacieho portu elektrického vozidla.

Elektrické vozidla môžu byť vybavené nabíjacím portom typu (Obr. 5) [24]:

- Type 1 – AC konektor sa nazýva aj Jazaki a možno nájsť väčšinou pri starších japonských modeloch elektrických vozidiel.

- Type 2 – AC konektor sa nazýva aj Mennekes podľa jeho výrobcu. Od roku 2013 je Type 2 európskym nabíjacím štandardom a podporujú ho napr. elektrické vozidla značky Tesla.
- CCS (Combo Charging System) – DC konektor je kombinovaný systém nabíjania, ktorý nabíja jednosmerným (DC), ale aj striedavým prúdom (AC). Je odvodený z konektorov typu SAE J1772 a Type 2. Tento štandard je podporovaný automobilkami Volkswagen, BMW, Hyundai, Ford, Daimler (Mercedes-Benz) a General Motors.
- CHAdeMO – DC konektor je štandard podporovaný japonskými automobilkami Nissan, Mitsubishi, Subaru a Toyota.



Obr. 5 Typy nabíjacích konektorov [24]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [24]

1.3.3 Typy nabíjacích staníc

Nabíjacie stanice sa delia na dva základné typy. Nabíjacie stanice, ktoré nabíjajú batériu elektromobilu priamo jednosmerným prúdom a nabíjacie stanice, ktoré nabíjajú

batériu striedavým prúdom pomocou palubnej nabíjačky. „Jednosmerné“ nabíjacie stanice majú výkon od 44 do 145 kW a preto sa nazývajú aj rýchlonabíjačky. „Striedavé“ nabíjacie stanice sú v podstate len exteriérovými domácimi zásuvkami. Ich nabíjací výkon sa pohybuje väčšinou od 11 do 22 kW. Avšak existujú aj kombinované nabíjacie stanice nabíjajúce jednosmerným aj striedavým prúdom, ale sú menej obvyklé. Nabíjacie stanice sú jedným z najdôležitejších faktorov pre rýchlosť nabíjania elektromobilov a preto sa ich výkon stále zvyšuje. Aktuálne je najvýkonnejšou nabíjačkou na svete Tesla Supercharger 2. generácie s výkonom 145 kW. Tab. 2 nám udáva výkon a čas nabíjania rozdielnych typov nabíjačiek. Čas nabíjania je závislý aj od kapacity batérie a iných premenných faktorov.

Tab. 2 Rozdiely v nabíjacích technológiách [25]

Rýchlosť a typ nabíjačky	Menovitý výkon (v kW)	Približný čas nabíjania (v hod)
Pomalá (jednofázová na striedavý prúd)	3 až 7	7 až 16
Bežná (trojfázová na striedavý prúd)	11 až 11	2 až 4
Rýchla (jednosmerný prúd)	50 až 100	30 až 40
Ultrarýchla (jednosmerný prúd)	Viac ako 100	Menej ako 20

Zdroj: Spracované podľa publikácie [25]

Tab. 3 ukazuje priemerný počet nabíjaní a trvanie nabíjania na rôznych typoch nabíjacích staníc za mesiac. Priemer za jeden mesiac sme vypočítali za mesiace od januára do júna v roku 2020. Súčasná miera využívania nedosahuje očakávanú úroveň, čo zvyšuje riziká z hľadiska udržateľnosti, ktoré sú spojené s týmito investíciami.

Tab. 3 Priemerné využívanie staníc za mesiac [25]

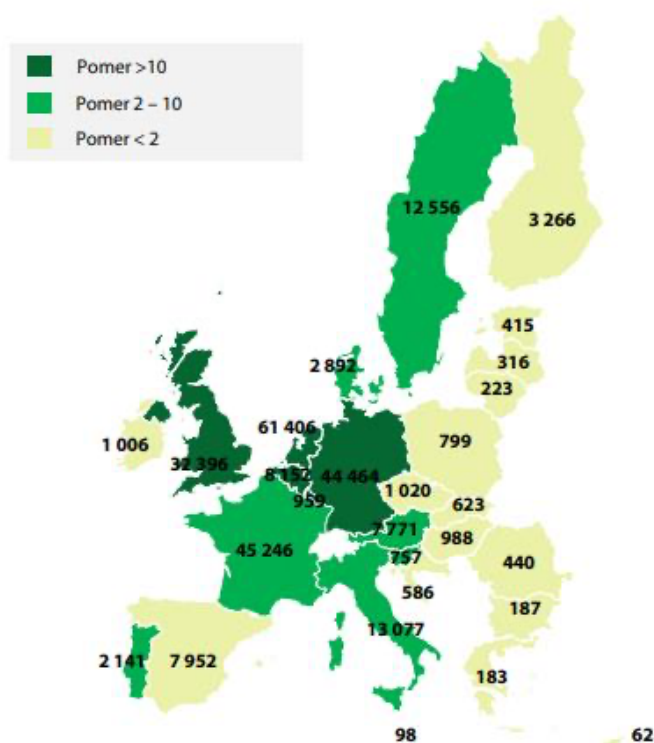
Typ	Počet nabíjaní	Trvanie nabíjania (v min)
Ultrarýchle stanice	77	28
Rýchle stanice	31	70
Bežné stanice	5	123

Zdroj: Spracované podľa publikácie [25]

1.3.4 Infraštruktúra nabíjacích staníc

Budovanie infraštruktúry nabíjacích staníc, ktoré zodpovedá rozšírenejšiemu používaniu elektrických vozidiel, je kľúčovým faktorom umožňujúcim prechod na alternatívne palivá a na vozový park s prevažne nulovými emisiami do roku 2050. Hlavným cieľom danej politiky je dosiahnuť, aby bolo nabíjanie elektrického vozidla jednoduché ako tankovanie do nádrže konvenčného vozidla, aby mohli elektrické vozidlá jazdiť bez problémov po celej EÚ.

Nerovnomerné zavádzanie infraštruktúry nabíjacích staníc vyplýva aj z Obr. 6, na ktorom sú zobrazené celkové počty nabíjacích bodov a údaje o ich hustote v jednotlivých členských štátoch. Medzi členskými štátmi sú výrazné rozdiely, pričom najvyššia hustota je v západných krajinách a najnižšia v krajinách v strednej a východnej časti EÚ. Veľká väčšina (69%) všetkých nabíjacích bodov v EÚ27 sa nachádza v Nemecku, Francúzsku a Holandsku. Pre takéto nerovnomerné rozmiestnenie infraštruktúry nabíjacích staníc nie je jazda elektrickým vozidlom po EÚ jednoduchá.



Obr. 6 Počet verejných nabíjacích bodov a pomer nabíjacích bodov na 100 km² rozlohy (EÚ27 a Spojené kráľovstvo) [12]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [12]

1.3.5 Batérie elektrických vozidiel

Alfou a omegou elektrických vozidiel sú ich batérie. Tie sú hlavným faktorom dojazdu a ceny elektrického vozidla. Súčasným štandardom batérií je technológia Li-Ion, t.j. používanie Lítium-iónových článkov. Lítium-iónové batérie sa v súčasnosti používajú vo väčšine prenosných spotrebných elektronických zariadeniach ako sú mobilné telefóny a notebooky a to najmä kvôli ich vysokej energetickej hodnote na jednotku hmotnosti v porovnaní s inými systémami na ukladanie elektrickej energie. Majú vysoký pomer výkonu a hmotnosti, vysokú energetickú účinnosť, dobrý výkon pri vysokých teplotách a nízke samo vybíjanie. Väčšina komponentov lítium-iónových batérií sa dá recyklovať, ale náklady na zhodnotenie materiálu sú pre priemysel výzvou. Napr. Americké ministerstvo energetiky podporuje cenu lítium-iónových batérií za účelom identifikácie riešení pre zber, triedenie, skladovanie a prepravu použitých a vyradených lítium-iónových batérií pre prípadnú recykláciu a zhodnotenie materiálov. Väčšina dnešných PHEV a EV využíva lítium-iónové batérie aj keď ich chémia sa líši od chémie batérií spotrebnej elektroniky. Výskum a vývoj orientujúci sa na zníženie ich relatívne vysokých nákladov, na predĺženie ich životnosti a na riešenie bezpečnostných problémov pri prehriatí napreduje. [23]

Na Obr. 7 vidíme lítium-iónovú batériu, ktorá sa vkladá do väčšiny plug-in hybridných a elektrických vozidiel.

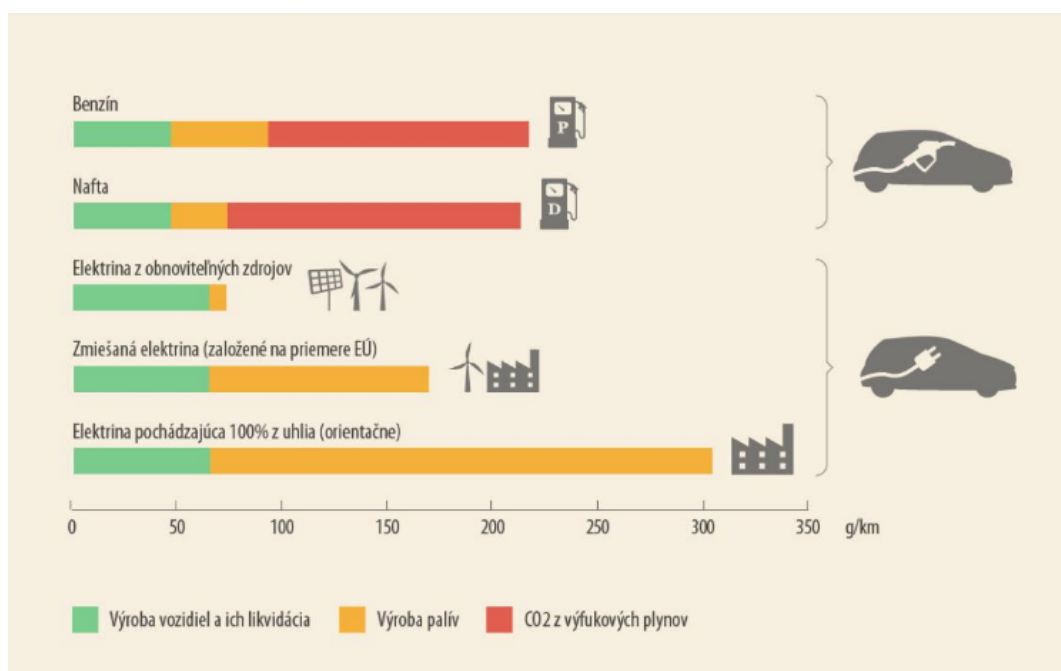


Obr. 7 Lítium-iónová batéria elektrického vozidla [21]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [21]

1.3.6 Elektrické vozidlá vs. spaľovacie motory

Existujú dva spôsoby, ako vieme znížiť emisie CO₂ v doprave a to zvýšením efektívnosti vozidiel alebo zmenou použitého vozidla. V súčasnosti sú v Európe používané najmä vozidlá na benzínový pohon (cca 52%) a aj napriek nízkemu podielu elektrických vozidiel ich popularita narastá. V roku 2017 oproti roku 2016 predaj elektrických vozidiel vzrástol o cca 51%, avšak popularita elektrických vozidiel naďalej narastá aj napriek tomu, že ich podiel je stále nízky. Pri výpočte množstva CO₂, ktoré vozidlá vyprodukujú, je potrebné brať do úvahy okrem emisií vytvorených počas samotného používania aj emisie spôsobené výrobou vozidla a jeho následné zničenie. Množstvo vyrobeného CO₂ od výroby až po likvidáciu vozidla zobrazuje Obr. 8.



Obr. 8 Množstvo emisií CO₂ v životnom cykle vozidiel [17]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [17]

Výroba a likvidácia elektrických vozidiel je ekologicky náročnejšia ako pri vozidlách so spaľovacím motorom, a výška emisií z elektrických vozidiel sa mení v závislosti od toho ako je elektrická energia vyrábaná. Ako vidíme z obrázku aj v prípade elektrických vozidiel môže byť množstvo vyrobeného CO₂ vyššie ako pri spaľovacích motoroch, ak elektrina pochádza z uhlia. Napriek týmto skutočnostiam sa elektrické vozidlá považujú za

ekologicky čistejšie ako vozidlá so spaľovacím motorom. Zvyšovaním podielu elektriny vyrábanej z obnoviteľných zdrojov budú elektrické vozidlá v blízkej budúcnosti ešte ekologickejšie. [17]

1.3.7 Výhody a nevýhody elektrických vozidiel

Elektrické vozidlá sú pre ľudí čoraz atraktívnejšie, keďže náklady na ich kúpu každým rokom klesajú. Čím ďalej viac a viac automobiliek ponúka a vyrába nové modely vozidiel, čím sa ich technológia vyvíja a posúva napred. [26] [27]

Výhody a nevýhody elektrických vozidiel sú opísané v Tab. 4.

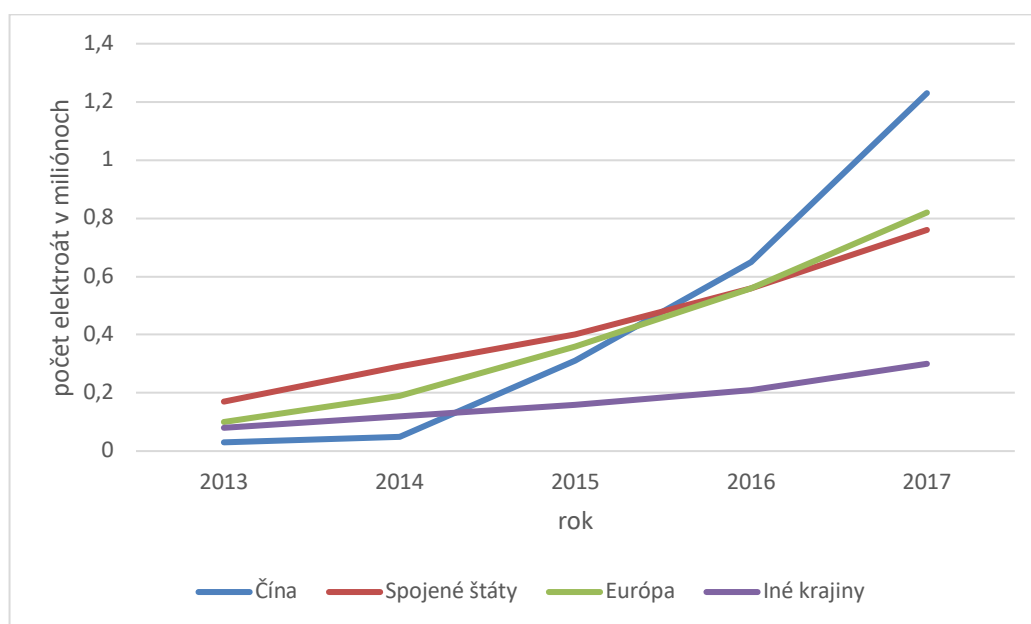
Tab. 4 Výhody a nevýhody elektrických vozidiel [26] [27]

Výhody	Nevýhody
<i>Lacnejšie na prevádzku</i> – aj napriek tomu že elektro autá sú drahšie ako autá so spaľovacím motorom, celková úspora sa prejaví pri dobíjaní auta elektrinou, pretože cena palív je vyššia. Rovnako tak sú aj nižšie náklady na údržbu, pretože v týchto druhoch áut je menej pohyblivých častí, takže je menšia pravdepodobnosť, že náklady na opravu budú vysoké a rovnako tak by náklady na údržbu nemali ísť nad rámec základnej kontroly.	<i>Drahý nákup</i> – aj napriek tomu, že vládne programy finančne podporujú kúpy elektromobilov, počiatočné náklady na elektromobil môžu byť vyššie ako na benzínové alebo naftové autá
<i>Environmentálne výhody</i> – tieto automobily majú nižší dopad na našu planétu, nevypúšťajú žiadne výfukové plyny, čím neznečisťujú ovzdušie	<i>Zložité nabíjanie</i> – to platí najmä pre šoférov, ktorí jazdia na dlhé vzdialenosti. Infraštruktúra nabíjajúcich staníc stále nie je postačujúca
<i>Stabilná hodnota opätovného predaja</i> – hodnota väčšiny nových automobilov výrazne klesá ihneď po kúpe, pri elektromobiloch táto hodnota klesá výrazne pomalšie alebo neklesá vôbec a v mimoriadnych prípadoch môže hodnota auta dokonca stúpať	<i>Obmedzený výber</i> – aj napriek tomu, že automobilky vyrábajú stále viac a viac nových druhov automobilov, ich výber je obmedzený, čo sa pravdepodobne po roku 2030 zmení. Práve v tomto roku by sa mal zakázať predaj nových benzínových a naftových automobilov
<i>Zníženie znečistenia hlukom</i> – elektrické autá sú výrazne tichšie ako autá so spaľovacím motorom, čo je veľkou výhodou najmä v mestách a mestských štvrtiach	

Zdroj: Spracované podľa publikácie [26, 27]

1.3.8 Elektrické nákladné vozidlá

Globálny trh s elektrickými vozidlami zaznamenal hlavne v poslednom období výrazný rast. V roku 2017 bolo na svete cca 3,1 mil. elektrických vozidiel, čo predstavuje viac ako 50% nárast oproti predchádzajúcemu roku, pričom cca 40% vozidiel bolo v Číne. Vývoj počtu elektrických vozidiel v Číne, Spojených štátoch, Európe a iných krajinách zobrazuje na Obr. 9. Z celkového počtu elektrických vozidiel v roku 2017 bolo asi 250 000 ľahkých úžitkových vozidiel. [21]



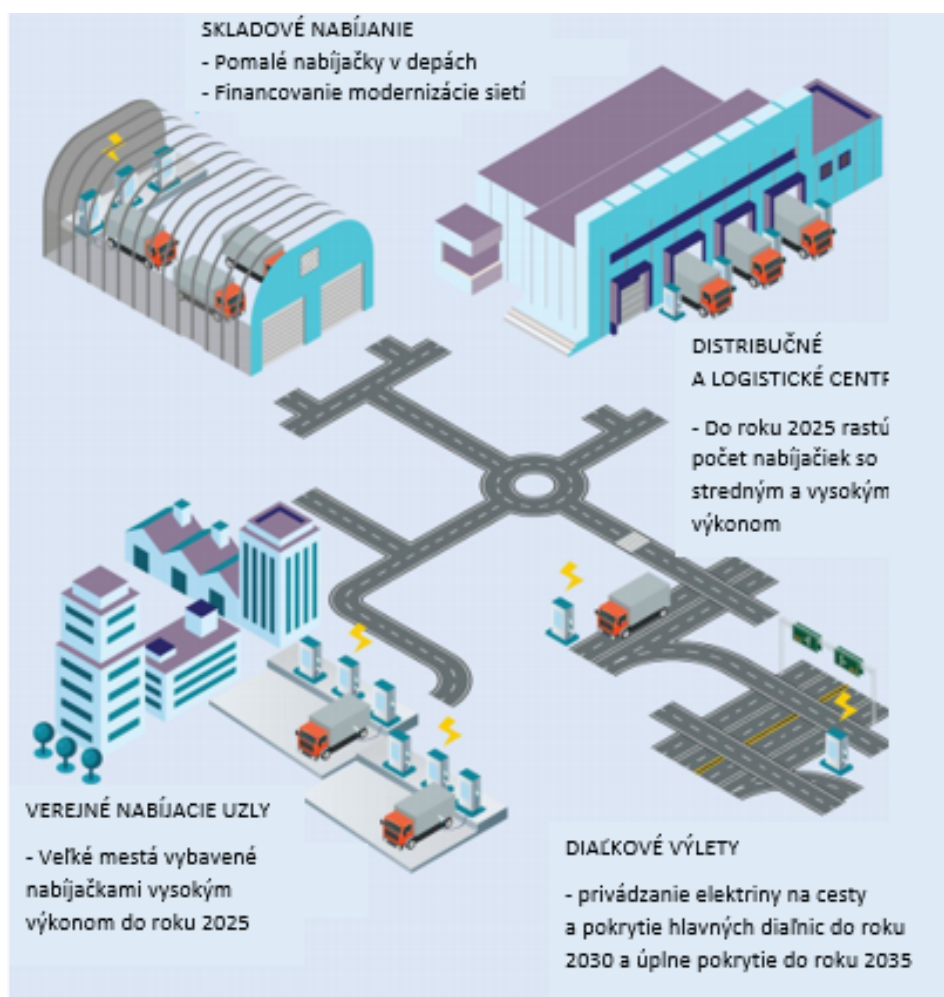
Obr. 9 Vývoj počtu elektrických vozidiel v Číne, Spojených štátoch, Európe a iných krajinách v rokoch 2013 – 2017 v mil. kusov [28]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [28]

Na európskom trhu stále dominujú naftové a benzínové vozidlá, avšak podiel elektrických vozidiel rýchlo rastie. Podľa asociácie výrobcov vozidiel bol trhový podiel elektrických vozidiel v roku 2018 cca o 30% vyšší ako v roku 2017. V posledných rokoch najviac elektrických vozidiel sa používa v západných a severných štátoch EÚ, avšak najväčší rast predaja bol zaznamenaný vo východných a južných štátoch.

Nákladné vozidlá netvoria ani 2% všetkých vozidiel na cestách, ale až 22% z emisií vytvorených v cestnej doprave pochádza práve z nákladných vozidiel. Do budúcnosti sa dá očakávať, že tento podiel sa bude aj tak zvyšovať, pretože nárast predaja elektrických

vozidiel znamená zníženie emisií CO₂. Pre splnenie záväzku EÚ v rámci ekologickej dohody, je potrebné vytvoriť novú a ambicióznu politiku a tiež stratégiu na elektrifikáciu ťažkých úžitkových vozidiel a dekarbonizáciu nákladného sektoru. Aj napriek tomu, že výroba elektrických vozidiel sa v európskom automobilovom priemysle trochu oneskorila, výroba elektrických nákladných vozidiel vytvára pre EÚ celkom nové príležitosti. Kľúčoví výrobcovia ukazujú aj na určité neistoty, najmä čo sa týka objemu výroby a to aj z dôvodu nedostatočného strategického prístupu k nabíjaniu daných vozidiel. Špecifické potreby pre nabíjanie elektrických nákladných vozidiel klasifikujeme do troch kategórií a to skladové nabíjanie, cieľové nabíjanie (obvykle v distribučných centrách) a verejné nabíjanie (pozdĺž diaľnic a nabíjacích uzlov v mestských oblastiach) (Obr. 10).



Obr. 10 Plán pre dobíjanie nákladných vozidiel [28]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [28]

Pri správnej realizácii týchto troch typov nabíjania by mohla byť polovica vzdialenosti prejdenej nákladnými vozidlami v EÚ pokrytá elektrickými nákladnými vozidlami. Dopomohli by k tomu aj nové modely vozidiel, ktoré v súčasnosti prichádzajú na trh s približným dojazdom cca 300 km. Očakáva sa, že dojazd týchto vozidiel čoskoro stúpne na cca 500 km. Pre podporu prechodu na elektrické nákladné vozidlá je potrebné upraviť infraštruktúru alternatívnych palív. Depotné nabíjanie bude v počiatočných fázach predstavovať asi cca 80% potreby nabíjania.

2 Cieľ práce

Cieľom tejto diplomovej práce je analyzovať efektívnosť a udržateľnosť využívania elektrických nákladných vozidiel v dopravnej spoločnosti na Slovensku. Tento cieľ je možné dosiahnuť naplnením nasledovných čiastkových cieľov:

1. Štúdium domácej aj zahraničnej odbornej literatúry zistiť možnosti využívania elektrických nákladných vozidiel v doprave. Analyzovať ich možnosti a popísať ekonomicko-environmentálne aspekty využívania v praxi.
2. Vybrať vhodné metódy na vykonanie analýzy využívania elektrických nákladných vozidiel z hľadiska ekonomickej udržateľnosti pri dodržaní všetkých environmentálnych limitov.
3. Implementovať vybrané metódy v podmienkach slovenského dopravného podniku, ktorý využíva elektrické nákladné vozidlá na prepravu.

Interpretovať výsledky analýz a opísať prínos práce pre tak oblasť teórie ako aj prax.

3 Metodika práce a metody skúmania

3.1 Objekt skúmania

Prepravná (špedičná) spoločnosť XY, s.r.o. vznikla v roku 2002 a zaoberá sa prepravou tovaru do požadovaného cieľa. Zákazníkmi sú hlavne spoločnosti, ktoré požadujú vývoz a dovoz tovaru. Účelom spoločnosti je nadobudnutými rôznymi skúsenosťami, profesionálny pracovným prístupom a príjemnou komunikáciou medzi zainteresovanými stranami uľahčiť a aj zjednodušiť proces zabezpečenia prepravy. Spoločnosť úspešne funguje už 18 rokov. Postupne si vybudovala pevnú pozíciu na špedično-dopravnom trhu, vie ponúknuť nové spojenia týkajúce sa prepravy a tým reagovať aj na požiadavky trhu.

Spoločnosť XY, s.r.o. ponúka služby:

- medzinárodnú prepravu,
- kamiónovú prepravu,
- vnútroštátnu dopravu,
- prepravu tovaru na Slovensku,
- prepravu strojov, techniky a materiálu,
- nadrozmernú a nadmernú prepravu,
- expresnú prepravu dodávkou do 3,5 t,
- špedíciu,
- prepoistenie zásielky,
- colné služby.

Spoločnosť má vlastný vozový park pozostávajúci z rôznych dodávok, kamiónov, atď. Na Obr. 11 ich môžeme vidieť ako sú tieto vozidlá využívané.



Obr. 11 Vozový park XY, s.r.o.

Zdroj: Vlastné spracovanie

Spoločnosť chce kúpiť elektrické nákladné vozidlá z projektu spolufinancovaného z Európskeho fondu pre regionálny rozvoj v rámci Operačného programu životné prostredie. Cieľom bolo zníženie emisií znečisťujúcich látok z verejnej dopravy a predmetom bol nákup 15 elektrických nákladných vozidiel, ktoré by nahradili nákladné vozidlá so spaľovacím motorom (Obr. 12).



a) Volvo FL Electric

b) Volvo FH Electric

Obr. 12 Elektrické nákladné vozidlá

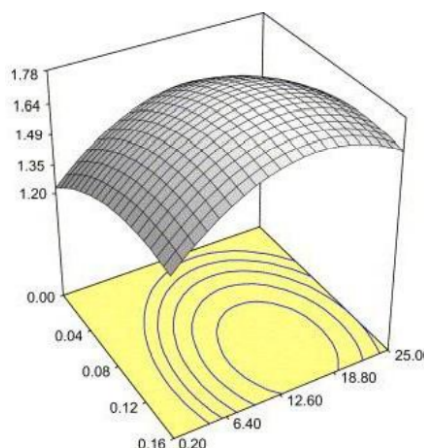
Zdroj: Vlastné spracovanie

Model Volvo FL Electric je určený pre mestskú prepravu a model Volvo FH Electric je určený pre regionálnu a medzimestskú prepravu. Pomocou týchto vozidiel nastane zvýšenie prevádzkovej a technickej kvality, čo v synergii s ostatnými projektmi výrazne prispeje k zvýšeniu konkurencieschopnosti a zároveň k zníženiu jej negatívnych dopadov na životné prostredie i zdravie obyvateľstva. Tiež dôjde k zvýšeniu bezpečnosti dopravy, plynulosti prevádzky a k zníženiu poruchovosti, úniku ropných látok a emisií.

3.2 Metóda odozvovej plochy

Metóda odozvovej plochy (angl. response surface design, RSD) patrí medzi základné návrhy plánovaného experimentu (angl. design of experiment, DoE) a pomáha pochopiť a optimalizovať danú odozvu. Používa sa na presnejší opis modelov potom, čo sú na základe faktorových návrhov objasnené dôležité faktory a to hlavne pri významnom zakrivení v odozvovej ploche. [29]

Graficky je odozgová plocha znázornená na Obr. 13 a pre lepšie znázornenie zakrivenia sú nakreslené vrstevnice odozvovej plochy. [30]



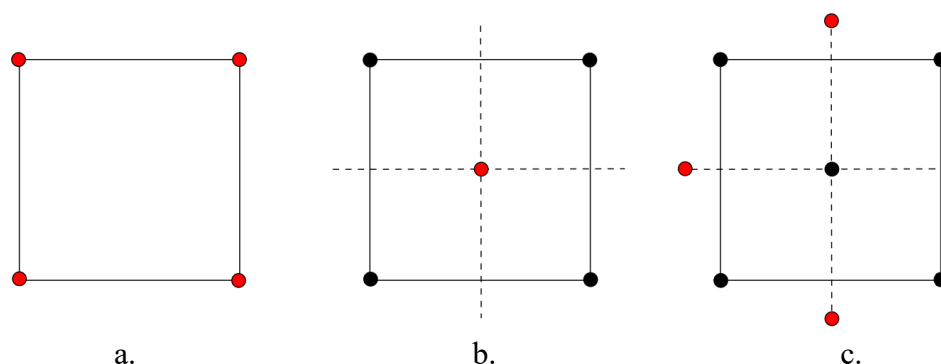
Obr. 13 Odozvná plocha vrstevnice [30]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

Ďalej si opíšeme dva základné typy metódy odozvných plôch a to:

1. Centrálny kompozičný návrh – patrí ku najpoužívanejším a pozostáva z troch častí (Obr. 14):

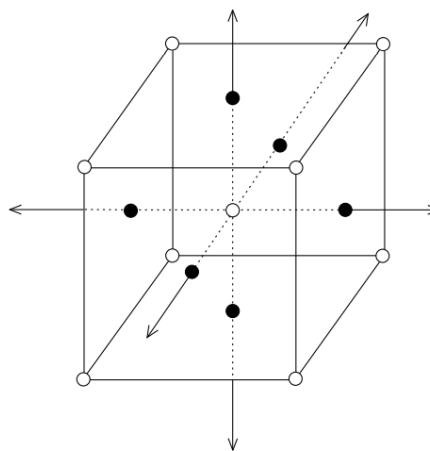
- Jadro návrhu* – je tvorený úplným faktorovým experimentom s 2^k faktorovými bodmi, pričom k znamená počet faktorov. Ak je $k > 4$, potom sa používa čiastočný faktorový experiment 2^{k-p} . n_f je finálny počet bodov.
- Centrálny bod* – ide o bod, ktorý je v centre návrhu. V tomto bode je počet meraní $n_c \geq 0$.
- Axiálne body* – nazývajú sa aj ako hviezdicové. Ide o body, ktoré ležia na súradnicových osiach a to vo vzdialenosti $\alpha > 0$ od daného centra návrhu. Počet je dvojnásobne väčší ako počet faktorov, t.j. $n_s = 2k$.



Obr. 14 Tri typy bodov [30]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

Pomocou týchto faktorových bodov vieme odhadnúť lineárne efekty a aj efekty interakcie, avšak nevieme odhadnúť zakrivenie. Centrálné body určujú, či dané zakrivenie je významné, ale jednotlivé kvadratické podmienky vieme skontrolovať pomocou axiálnych bodov. Dôležitá je aj voľba vzdialenosti α od centra v axiálnych bodoch. Pomocou toho sa dajú klasifikovať ďalšie typy centrálneho kompozitného návrhu. Ak sa $\alpha = 1$, hovoríme o **face-centered** centrálnom kompozitnom návrhu (CCF). V danom návrhu sú axiálne body umiestnené do stredov stien danej kocky ako to vidíme na Obr. 15 s počtom faktorov $k = 3$.



Obr. 15 Face-centered centrálny kompozitný návrh [30]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

Používa sa vtedy, ak sa vyžaduje meranie iba pre tri úrovne faktorov a to dolnú, hornú a ešte strednú. Ak sa zvolí $\alpha > 0$, potom sa dá zaistiť rotabilita daného návrhu. Rotabilita je tzv. sférická vlastnosť čo znamená, že tým hlavným kritériom pri nastavení oblasti presného záujmu je sféra. Ak je $\alpha = \sqrt{k}$, potom všetky faktorové a axiálne body ležia na sfére a tento návrh sa volá **sférický** centrálny kompozitný návrh (Tab. 5).

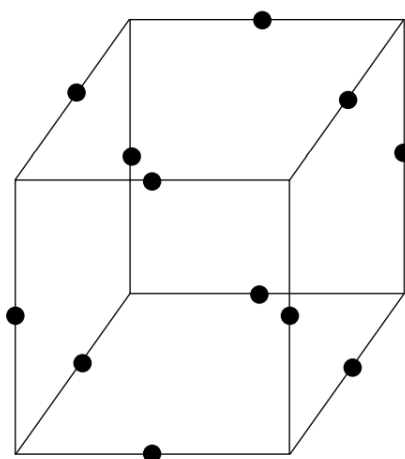
Používa sa pri návrhu vyžadujúcom postupné experimentovanie. Najprv sa vykoná klasický faktorový experiment, ktorý je následne analyzovaný. Centrálny kompozitný návrh môže potom pracovať aj s týmito informáciami. Faktorové a stredné body sa používajú ako predbežná fáza. Umožňujú dávať dôkazy, ktoré sa týkajú dôležitosti príspevku 2. rádu a zakrivenia.

Tab. 5 Centrálny kompozitný návrh pre 3 faktory [30]

Poradové číslo	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň C	Odozva
1	-1	-1	-1	y_1
2	1	-1	-1	y_2
3	-1	1	-1	y_3
4	1	1	-1	y_4
5	-1	-1	1	y_5
6	1	-1	1	y_6
7	-1	1	1	y_7
8	1	1	1	y_8
9	1	0	0	y_9
10	-1	0	0	y_{10}
11	0	1	0	y_{11}
12	0	-1	0	y_{12}
13	0	0	1	y_{13}
14	0	0	-1	y_{14}
15	0	0	0	y_{15}
16	0	0	0	y_{16}
17	0	0	0	y_{17}
18	0	0	0	y_{18}
19	0	0	0	y_{19}
20	0	0	0	y_{20}

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

2. Box-Behnkenov návrh – rozdiel oproti predchádzajúcemu návrhu je v tom, že nie je jeho časťou faktoriálny či čiastočný faktoriálny návrh. Nie je tvorený bodmi, ktoré sú vo vrcholoch kocky. Merania v tomto návrhu prebiehajú v stredových bodoch hrán danej kocky a tá predstavuje experimentálny priestor (Obr. 16).



Obr. 16 Face-centered centrálny kompozitný návrh [30]

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

Keďže Box-Behnkenov návrh má oveľa menej konštrukčných bodov, z finančného pohľadu a pracovnej náročnosti je vhodnejší centrálny kompozitný návrh tiež s rovnakým počtom daných faktorov. Keďže nemá faktorovú časť návrhu, nedajú sa použiť pre sekvenčné experimenty (Tab. 6).

Tab. 6 Centrálny kompozitný návrh pre 3 faktory [30]

Poradové číslo	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň C	Odozva
1	-1	-1	0	y_1
2	-1	1	0	y_2
3	1	-1	0	y_3
4	1	1	0	y_4
5	-1	0	-1	y_5
6	-1	0	1	y_6
7	1	0	-1	y_7
8	1	0	1	y_8
9	0	-1	-1	y_9
10	0	-1	1	y_{10}
11	0	1	-1	y_{11}
12	0	1	1	y_{12}
13	0	0	0	y_{13}
14	0	0	0	y_{14}
15	0	0	0	y_{15}

Zdroj: Spracované podľa publikácie [30]

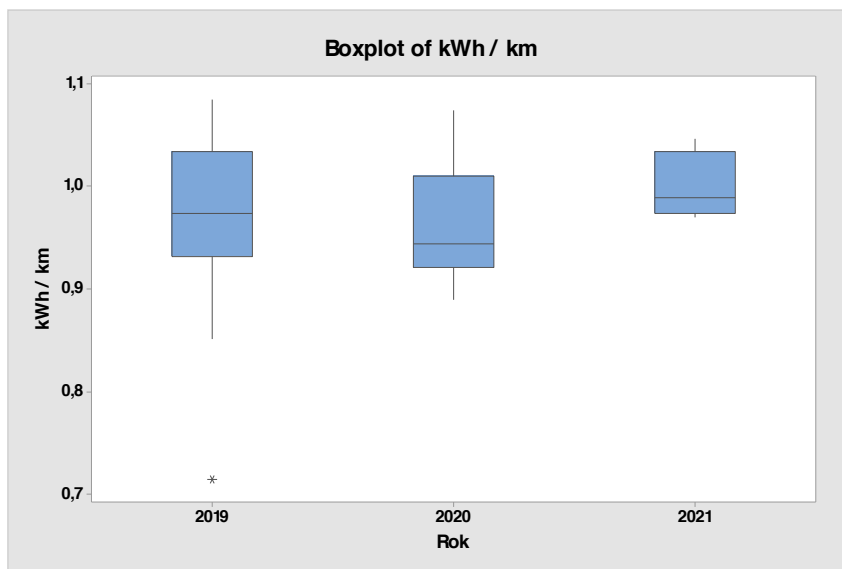
4 Výsledky práce

Ako sme spomínali v predchádzajúcej časti spoločnosť XY, s.r.o. má flotilu 15 elektrických nákladných vozidiel s dojazdom max 300 km. Vykonali sme základný výskum na základe dostupných údajov za obdobie od 1.1.2019 až do 31.5.2021. Základnú databázu tvoria mesačné údaje po sumárnom počte najazdených km všetkých elektrických nákladných vozidiel spoločnosti XY, s.r.o. Na mesačnej báze bola tiež sledovaná spotreba elektrickej energie kumulatívne v kWh. Na základe aktuálnej ceny elektrickej energie bola určená sumárna hodnota v Eurách zaplatená za spotrebovanú energiu použitú v celom mesiaci elektrickými nákladnými vozidlami. Na základe týchto vstupných údajov (faktorov) boli jednoduchým pomerom vypočítané nasledovné dve odozvy: koľko kWh bolo potrebných na prejsenie 1 km (kWh/km) a koľko Eur stála spoločnosť XY, s.r.o. priemerná preprava po 1 km. Z dôvodu nedostupnosti nebolo do úvahy brané zaťaženie jednotlivých vozidiel, ani vplyv jednotlivých vodičov (ich schopností a jazdných zručností) na celkový počet kWh potrebných na prepravu tovaru po konkrétnej trase. Takisto sme nebrali do úvahy rôzny typ trás, po ktorých bola realizovaná konkrétna preprava. Spomínané vplyvy, ktoré sme v rámci experimentu považovali za šumy, sme nebrali v úvahu z toho dôvodu, že vzhľadom na kumulatívny počet vstupných údajov za celý mesiac a priemerovanie dostupných údajov sme považovali vplyvy spomínaných šumov za nevýznamné. Databázu údajov teda tvorilo 29 mesačných pozorovaní, pričom najnižšia hodnota predstavovala v mesiaci apríl 2020 hodnotu iba 4 418 km, pri ktorých bolo spotrebovaných 4 744 kWh. Na druhej strane v októbri 2020 bolo dosiahnutých maximálnych 60 518 km, pri ktorých bolo spotrebované 57 238 kWh. Všetky ostatné namerané hodnoty boli medzi spomínanou minimálnou a maximálnou hodnotou.

Na Obr. 17 sú pomocou Boxplot analýzy znázornené medziročné hodnoty spotrebovanej energie na 1 km. Poznamenávame, že v roku 2021 sú do Boxplotu zaznamenané mesiace od januára po máj. V každom prípade však môžeme konštatovať, že medziročné rozdiely nevykazujú žiadne významné zmeny.

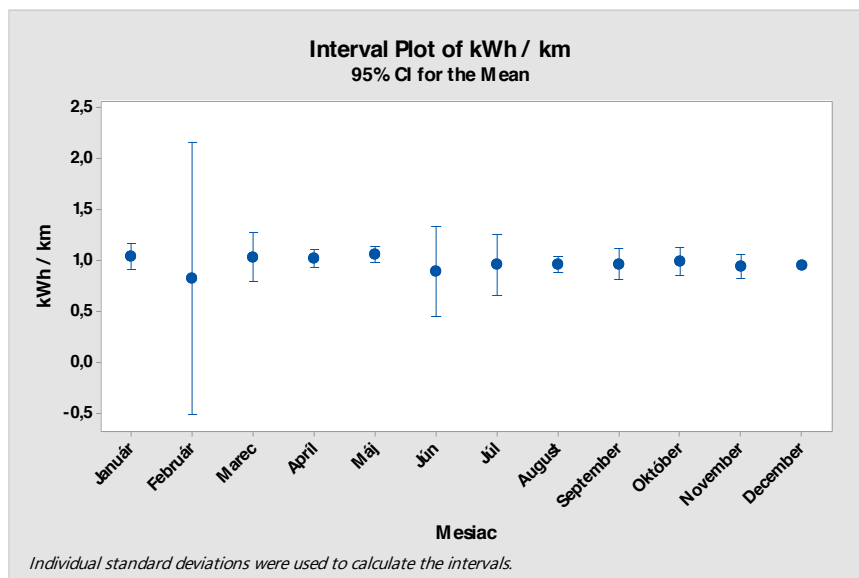
V ďalšom sme analyzovali vplyv sezónnosti na spomínanú spotrebu, kde na osi x sú vyznačené jednotlivé mesiace v roku a na osi y množstvo energie potrebnej na 1 km (Obr. 18). Až na mesiac január a čiastočne jún a júl je variabilita 95% intervalov spoľahlivosti pre priemery na relatívne nízkej úrovni. Poznamenávame však, že v mesiacoch január a máj boli

vzaté do úvahy za tri roky a vo zvyšných mesiacoch iba za dva roky. V každom prípade sa nepotvrdila významná sezónnosť vplyvom jednotlivých ročných období.



Obr. 17 Boxplot of kWh / km

Zdroj: Vlastné spracovanie

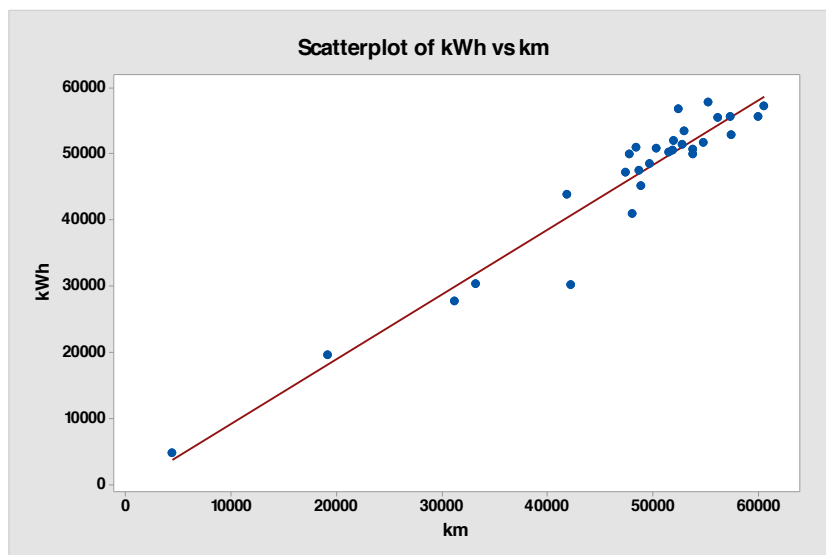


Obr. 18 Interval Plot of kWh / km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Na Obr. 19 je prezentovaný očakávaný vzťah medzi počtom najazdených km a množstvom použitej energie v kWh. Predmetná regresná krivka má predpokladaný

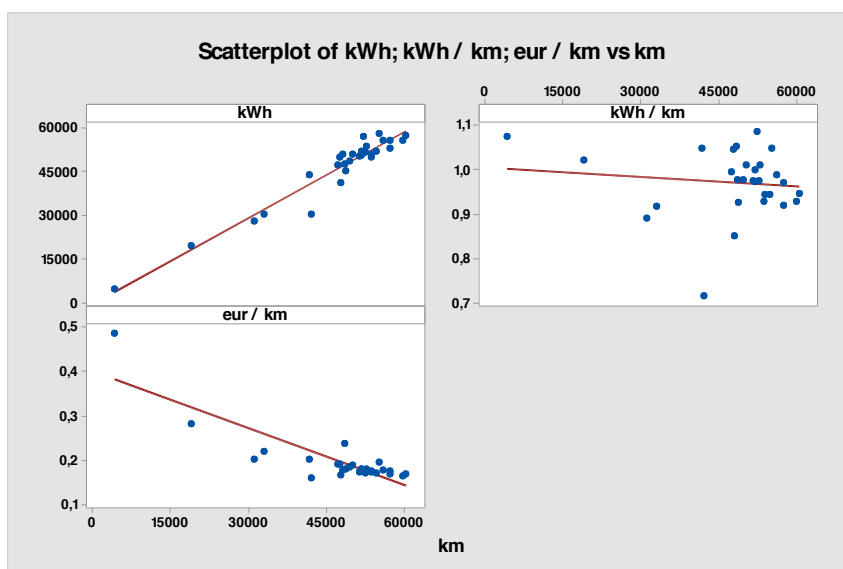
lineárny tvar a navyše z grafu je zrejmé, že variabilita vyčerpanej elektrickej energie pri rôznych km nie je extrémne vysoká, avšak môžeme ju považovať za štatisticky významnú.



Obr. 19 Scatterplot of kWh vs km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Aby sme spomínanú variabilitu bližšie opísali, použili sme spomínaný graf v porovnaní s ďalšími dvoma, pri ktorých na osi x sú stále km a na osi y sú ceny za Eur/km, resp. kWh/km (Obr. 20).

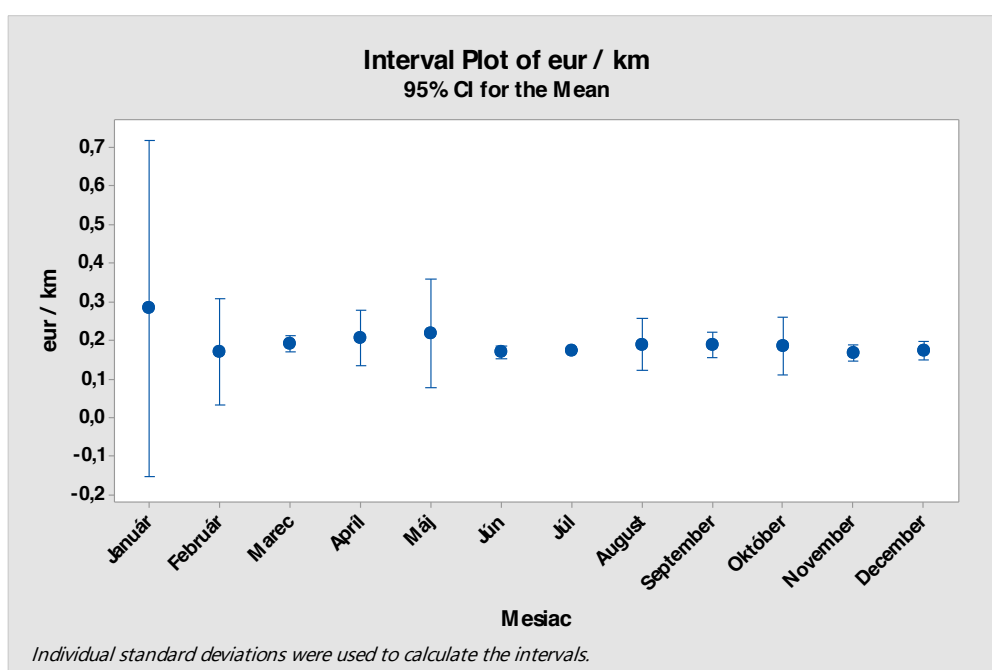


Obr. 20 Scatter plot of kWh / km, Eur / km vs km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Pri y -ovej hodnote ceny v Eur/km vidíme nepriamo úmernú lineárnu regresiu s tým, že cena za 1 km sa znižuje nepriamo úmerne k počtu najazdených km. Nepriamo úmerný, avšak podstatne miernejší trend zaznamenal aj graf (vpravo hore), ktorý v závislosti od km meral množstvo spotrebovanej elektrickej energie. Na ňom je možno vidieť podstatne väčšiu variabilitu než na ostatných dvoch grafoch.

Na Obr. 21 je vykonaná analýza senzitivity opäť pomocou 95% intervalov spoľahlivosti, avšak tentokrát na cenu v Eur za prepravu 1 km prepravnej spoločnosti XY, s.r.o.



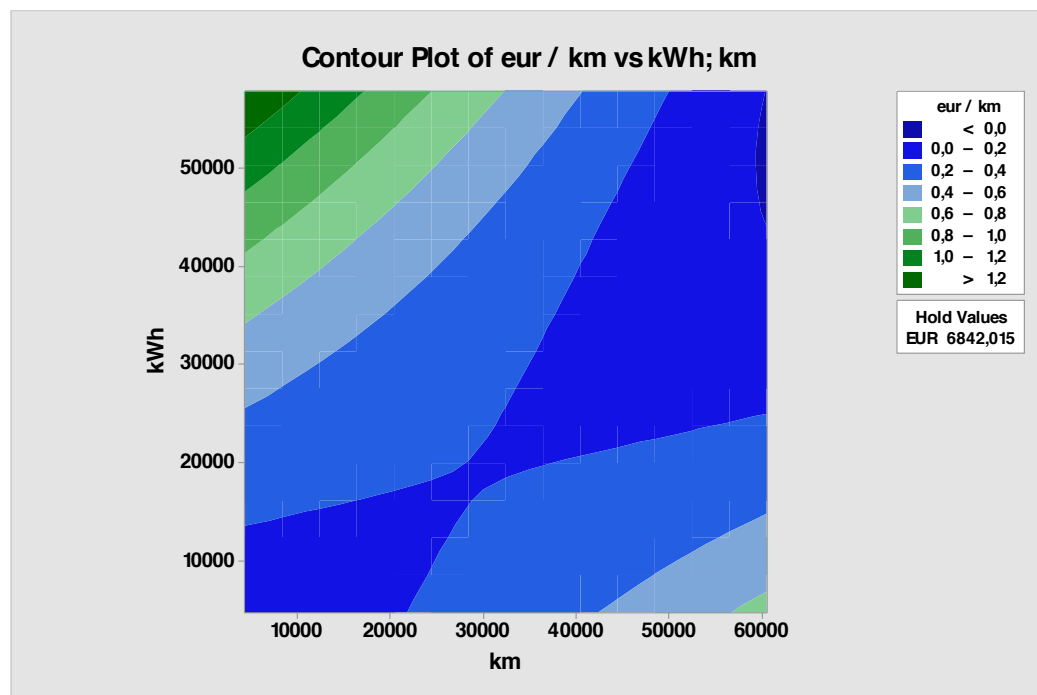
Obr. 21 Interval Plot of Eur / km vs mesiac

Zdroj: Vlastné spracovanie

V tomto prípade najväčšiu variabilitu preukázali januárové hodnoty: priemerné stredné hodnoty intervalov spoľahlivosti variovali približne cca 20 Cent na 1 km.

Na Obr. 22 je prezentovaný výsledok Response Surface plot analýza, ktorú sme vykonali na získané údaje. Boli použité tri základné faktory:

1. Počet najazdených km všetkými 15 vozidlami za 1 mesiac.
2. Počet kWh, ktoré boli prejazdené.
3. Aktuálna cena v Eur.



Obr. 22 Contour Plot of Eur / km vs kWh; km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Ako odozvu sme uvažovali cenu v Eur za 1 km. Výsledky experimentu sme znázornili pomocou Contour Plot analýzy. Z obrázku je zrejmé, že modrá zóna, t.j. zóna v ktorej je najvýhodnejšie prevádzkovať elektrické nákladné vozidlá, je alokovaná v prostriedku daného diagramu, čo možno interpelovať ako nevýhodu čerpania veľa elektrickej energie pri málo najazdených km, t.j. spravidla jazda v meste, resp. cyklické jazdy s častými vykládkami tovaru a na druhej strane sú ekonomicky nevýhodné aj v prípade, keď všetky elektrické nákladné vozidlá idú doraz svojho dojazdu.

V rámci analýzy Response Surface bola pomocou produktu Minitab vykonaná Anova. V Tab. 7 sú prezentované výsledky spomínanej metódy, na základe ktorých môžeme konštatovať, že pri všetkých faktoroch a ich interakciách boli dosiahnuté *p*-hodnoty nepresahujúce 5%.

Tab. 8 následne prezentuje kvadratický model, na základe ktorého je možné odhadnúť hodnotu: cena za km v Eur, na základ spomínaných faktorov: počet najazdených km, množstvo prejazdenej elektrickej energie (kWh) a aktuálna cena za energiu v Eurách.

Tab. 7 Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,103364	0,011485	376,39	0,000
Linear	3	0,023191	0,007730	253,34	0,000
km	1	0,001181	0,001181	38,69	0,000
kWh	1	0,000519	0,000519	17,02	0,001
EUR	1	0,000274	0,000274	8,97	0,007
Square	3	0,000156	0,000052	1,71	0,029
km*km	1	0,000030	0,000030	0,98	0,034
kWh*kWh	1	0,000083	0,000083	2,72	0,016
EUR*EUR	1	0,000000	0,000000	0,00	0,030
2-Way Interaction	3	0,000254	0,000085	2,77	0,030
km*kWh	1	0,000154	0,000154	5,05	0,037
km*EUR	1	0,000217	0,000217	7,10	0,015
kWh*EUR	1	0,000129	0,000129	4,23	0,044
Error	19	0,000580	0,000031		
Total	28	0,103943			
Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0,0055239	99,44%	99,18%	47,64%	

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 8 Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0,22249	0,00261	85,20	0,000	
km	-0,4195	-0,2097	0,0337	-6,22	0,000	195,49
kWh	0,3066	0,1533	0,0372	4,13	0,001	273,93
EUR	-0,1328	-0,0664	0,0222	-3,00	0,007	66,38
km*km	0,1912	0,0956	0,0964	0,99	0,034	630,75
kWh*kWh	0,442	0,221	0,134	1,65	0,016	1437,96
EUR*EUR	0,0026	0,0013	0,0504	0,03	0,010	143,50
km*kWh	-0,969	-0,485	0,216	-2,25	0,037	3350,18
km*EUR	1,277	0,639	0,240	2,66	0,015	2871,41
kWh*EUR	-0,667	-0,333	0,162	-2,06	0,040	1400,84
Regression Equation in Uncoded Units						
eur / km = 0,6621 - 0,000028 km + 0,000026 kWh - 0,000089 EUR + 0,000000 km*km + 0,000000 kWh*kWh + 0,000000 EUR*EUR - 0,000000 km*kWh + 0,000000 km*EUR - 0,000000 kWh*EUR						

Zdroj: Vlastné spracovanie

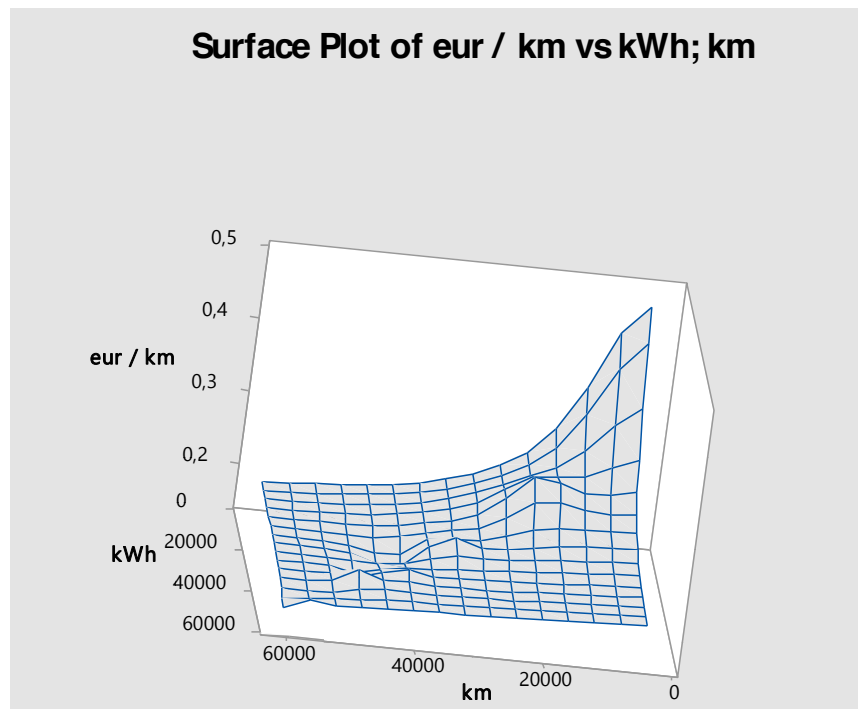
Na Obr. 23 je znázornený Interaction Plot pre odozvu: cena za km. Sú v ňom sledované interakcie: množstvo km x množstvo energie, množstvo km x cena a množstvo energie x cena. Na posledných dvoch spomínaných interakciách je možné analyzovať Cross point (priesečník jednotlivých kriviek), čo znamená zmenu vlastností v rámci danej interakcie.



Obr. 23 Interaction Plot for Eur / km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Na Obr. 24 je znázornený trojrozmerný priestorový graf, kde os x a y tvoria najazdené km a spotrebované kWh a os z tvorí cena za 1 km.



Obr. 24 Surface Plot of Eur / km vs kWh; km

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z predmetného grafu je zrejmé, že najdrahšie prevádzkové hodnoty sú dosiahnuté v prípade veľkého množstva elektrickej energie použitej pri malom množstve km.

5 Diskusia

V predchádzajúcej časti sme opísali výsledky analýz, ktoré sme získali z prevádzkovania 15 elektrických nákladných vozidiel v spoločnosti XY, s.r.o. Z dôvodu, ktoré sme uviedli v predchádzajúcej časti, sme za základe analýz Response Surface vybrali priemerné, ale aj sumárne mesačné hodnoty týkajúce sa celkového počtu najazdených km za mesiac, celkového množstva elektrickej energie spotrebovanej všetkými elektrickými nákladovými vozidlami za mesiac a ďalej celkovú cenu zaplatenú za prevádzkovanie elektrických nákladových vozidiel v danom mesiaci. Ide teda o aktuálnu cenu za elektrickú energiu, ale aj drobné opravy. Analyzovali sme dve odozvy. Ako hlavnú odozvu sme použili cenu za 1 prejazdený km v Eurách a druhou odozvou bolo množstvo použitej elektrickej energie v Eurách.

Hneď na začiatku musíme konštatovať, že všetky vykonané analýzy je nutné považovať iba za akúsi prvú interakciu skutočného výskumu vzhľadom na relatívne malé množstvo nameraných údajov. Na druhej strane 29 mesiacov za cca 2,5 roka dáva akýsi predpoklad, že predmetná interakcia je istým spôsobom štatisticky významná. Dôležité je tiež, že výskum bol realizovaný v reálnych podmienkach praxe a aj keď mohol byť ovplyvnený rôznymi náhodnými poruchami, nepresným meraním, či inými negatívnymi vplyvmi, bol realizovaný v konkrétnych podmienkach slovenského podniku, ktorého názov kvôli citlivým údajom nebudeme zverejňovať.

Výsledky analýz ukazujú istý paradox. Využitie elektrických nákladných vozidiel je najefektívnejšie pri čo najdlhších cestách, ktoré však nesmú byť na hranici ich maximálneho dojazdu. Ekologicky najvýhodnejšie je však využívanie spomínaných nákladných elektrických vozidiel v mestách, kde je možné takýmto spôsobom redukovať množstvo nežiadúcich plynov vznikajúcich pri prevádzkovaní vozidiel so spaľovacím motorom. Využívanie elektrických nákladných vozidiel v mestách však má malý počet najazdených km pri väčšej spotrebe energie. V tomto prípade sa však ukazuje, že takéto prepravy sú štatisticky významne drahšie. Na druhej strane aj napriek spomínanému drahšiemu variantu prepravy je tento podstatne lacnejší ako v prípade dieselových či benzínových spaľovacích motorov.

V tejto diplomovej práci sme neuvažovali o opotrebovaní batérii, resp. ich výmene. Počas celého času experimentovania sme žiadne opotrebenie nezaznamenali a nebola vykonaná ani výmena žiadneho článku. Vo všeobecnosti je známe, že nižšie prevádzkové

náklady kompenzujú vyššiu obstarávaciu cenu. Nami začatý výskum by preto mal pokračovať v období, kedy je už nutné zdroj elektrickej energie, t.j. batérie v elektrických nákladných vozidlách meniť, resp. ak náklady na údržbu začnú dosahovať významné ekonomické hodnoty. V takomto prípade bude možné nájsť optimálnu hodnotu, kedy je vhodné predmetné elektrické nákladné vozidlo obnoviť a tým stanoviť výšku celkových nákladov využívania elektrických nákladných vozidiel na nákladnú prepravu.

Záver

Elektrické nákladné vozidlá v súčasnosti už nie sú iba predmetom výskumov, ale čoraz častejšie ich vidíme v bežnom živote. Globálne otepľovanie a nárast objemu skleníkových plynov spôsobil, že jednotlivé vyspelé krajiny sveta začali sprísňovať limity týkajúce sa nežiadúcich splodín z výfukových plynov vozidiel so spaľovacími motormi. Tento tlak má spravidla dve podoby. Jedná sa týka zakázaných zón ako aj celých krajín, kde je vstup takýmto vozidlám zakázaný. Druhá sa týka tvorby daňového zaťaženia a iných poplatkov v prípade vozidiel s vyšším objemom negatívnych spalín.

Existujú dva hlavné prúdy výskumu, ktorými sa uberajú všetky významné automobilky sveta. Prvý smer sa týka vodíkových spaľovacích motorov. Ide o spaľovacie motory, ktoré na výstupe produkujú vodu a nezaťažujú životné prostredie. Druhým smerom sú tzv. elektrické vozidlá, ktoré v prípade, že použitá elektrická energia je získaná z obnoviteľných zdrojov, v ďalšom žiadnom prípade neznečisťujú životné prostredie. Preto druhé riešenie hovorí aj o relatívne jednoduchšom budovaní infraštruktúry, keďže jednotlivé zástrčky a nabíjacie stanice je možné napojiť na existujúcu infraštruktúru rozvodovej siete elektrickej energie v danej krajine.

Táto diplomová práca je preto venovaná elektrickým vozidlám s tým, že sa zameriava na najväčších znečisťovateľov v rámci dopravy, ak neuvažujeme lietadlá. Konkrétne ide o elektrické nákladné vozidlá. Špecifikom nákladnej prepravy je množstvo užitočnej záťaže, ktoré je treba prepraviť na nejakú predom určenú vzdialenosť. Z pohľadu vzdialenosti môžeme uvažovať dopravnú infraštruktúru miest, kde je potrebné množstvo nákladných spravidla menších elektrických vozidiel na rozvoz tovaru z logistických centier k zákazníkom. Práve tento typ dopravy má environmentálne najväčší dopad.

V práci sme však ukázali, že ekonomicky nie je najvýhodnejší. Avšak z hľadiska prevádzky je podstatne výhodnejší než použitie vozidiel so spaľovacím motorom. Prognózy vývojových elektrických nákladných vozidiel predpokladajú zníženie cien ako aj zvýšenie dojazdu elektrických nákladných vozidiel. Práve takéto zníženie obstarávacích nákladov by jednoznačným spôsobom preferovalo elektrické vozidlá pred vozidlami so spaľovacím motorom.

Teoretickým prínosom práce bolo použitie metódy Response Surface na reálne namerané hodnoty v konkrétnom slovenskom podniku. Praktický prínos spočíva v tom, že

ide o reálne údaje a teda diplomová práca môže poslúžiť všetkým prepravcom, ktorí uvažujú o zavedení alebo rozšírení elektrických vozidiel pre realizáciu nákladnej prepravy.

Bibliografické zdroje

- [1] AMERICAN – LUNG – ASSOCIATION. *American Lung Association's recent „State of the Air 2017“*. 2017.
- [2] SOUSANIS, John. *World Vehicle Population Tops 1 Billion Units*. WardsAuto. 2013.
- [3] KRZYŻANOWSKI, Michał – KUNA-DIBBERT, Birgit – SCHNEIDER, Jürgen (ed.). *Health effects of transport-related air pollution*. WHO Regional Office Europe. 2005. Dostupné z: <https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/74715/E86650.pdf> .
- [4] POPE III., C. Arden – BATES, V. David – RAIZEN, E. Mark. *Health effects of particulate air pollution: time for reassessment?*. Environmental health perspectives, 1995, 103.5: 472-480. Dostupné z: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1523269/pdf/envhper00354-0064.pdf>> .
- [5] EHSANI, Mehrdad, et al. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press, 2018. ISBN: 0-8493-3154-4. Dostupné z: <https://www.academia.edu/35232211/Modern_Electric_Hybrid_Electric_and_Fuel_Cell_Vehicles_Mehrdad_Ehsani> .
- [6] FAUSING, Kim. *Climate emergency: how our cities can inspire change*. SDG 11: Sustainable Cities and Communities. World economic forum. Davos 2020. Dostupné z: <<https://www.weforum.org/agenda/2020/01/smart-and-the-city-working-title/>>.
- [7] C 40 KNOWLEDGE HUB. *Greenhouse gas emissions interactive dashboard*. Dostupné z: <https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-cities-greenhouse-gas-emissions-interactive-dashboard?language=en_US>.
- [8] EMISSIONS, Evaporative. *Automobile Emissions: An Overview*. 1994.
- [9] HIME, Neil – COWIE, Christine – MARKS, Guy. *Review of the health impacts of emission sources, types and levels of particulate matter air pollution in ambient air in NSW*. Report, Woolcock Institute of Medical Research, Centre for Air Quality and Health Research and Evaluation (CAR), 2015. Dostupné z: <<https://majorprojects.planningportal.nsw.gov.au/prweb/PRRestService/mp/01/getContent?AttachRef=SSD-7417%2120190513T045457.481%20GMT>>.
- [10] WORLD HEALTH ORGANIZATION, et al. *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide: report on a WHO working group*.

- Bonn, Germany 13-15 January 2003. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2003. Dostupné z: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107478/E79097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- [11] BEER, Tom, et al. *The health impacts of ethanol blend petrol*. Energies, 2011, 4.2: 352-367.
- [12] EUROSTAT. Dostupné z: <<https://data.europa.eu/euodp/sk/data/publisher/estat>>.
- [13] YIM, HL. Steve – BARRETT, RH. *Steven Public health impacts of combustion emissions in the United Kingdom*. Environmental science & technology, 2012, 46.8: 4291-4296. Dostupné z: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2040416#>> .
- [14] PEARSON, F. John, et al. *Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the US*. Diabetes care, 2010, 33.10: 2196-2201. Dostupné z: <<https://care.diabetesjournals.org/content/33/10/2196.long>>.
- [15] BROOK, D. Robert, et al. *Long-term fine particulate matter exposure and mortality from diabetes in Canada*. Diabetes care, 2013, 36.10: 3313-3320.
- [16] IEA, F. Birol (ed.). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*. International Energy Agency, France, 2016.
- [17] EUROPEAN PARLIAMENT. *CO₂ emissions from cars: facts and figures (infographics)*. 2021. Dostupné z: <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>>.
- [18] KERSCHNER, Christian, et al. *Economic vulnerability to peak oil*. Global environmental change, 2013, 23.6: 1424-1433.
- [19] BAKŠA, Juraj. *Elektromobil: Všetko, čo potrebujete vedieť*. TeslaMagazin.sk, Gijs Mom. The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age. 2013. ISBN: 978-1-4214-0970-2. Dostupné z: <<https://www.teslamagazin.sk/elektromobil-info-vsetko-co-potrebujete-vediet-o-elektromobiloch/#historia>>.
- [20] E-MOBILITY. *História. Eletromobilita and Slovensko*. 2021. Dostupné z: <<https://e-mobility.sk/historia/>>.
- [21] AFDC.ENERGY.GOV. 2021. *Alternative Fuels Data Center: Batteries for Hybrid and Plug-In Electric Vehicles*. [online] Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html> .

- [22] TOYOTA-MOTOR-CORPORATION. *The Hybrid that Started it All*. 2008. Dostupné z: <http://www.toyotaglobal.com/company/toyota_traditions/innovation/nov2008_feb2009_1.html>.
- [23] E-MOBILITY. *Čo je elektromobil. Eletromobilita and Slovensko*. 2021. Dostupné z: <<https://e-mobility.sk/co-je-elektromobil/>>.
- [24] ELEKTROMOBIL INFO. *Všetko čo potrebujete vedieť o elektromobiloch*. Gij's Mom. The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age. 2013. ISBN: 978-1-4214-0970-2. 2021. Dostupné z: <<https://www.mojelektromobil.sk/elektromobil/#nabijanie>>.
- [25] ECA Europa. *Electrical charging infrasturucture SK*. Dostupné z: <[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR21_05/SR_Electrical_chargin
g_infrastructure_SK.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR21_05/SR_Electrical_charging_infrastructure_SK.pdf)>.
- [26] MARCUS, Stephen. *The benefits and disadvantages of electric cars: are they worth it?* OVO Energy. 2020. Dostupné z: <<https://www.ovoenergy.com/guides/electric-cars/why-electric-cars.html>>.
- [27] ENERGYSAGE.COM. *Pros and Cons of Electric Cars*. 2019. Dostupné z: <<https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/pros-and-cons-electric-cars/>> .
- [28] International Energy Agency. 2018. Global EV Outlook 2018, OECD. Dostupné z: <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/387e4191-acab-4665-9742-
073499e3fa9d/Global_EV_Outlook_2018.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/387e4191-acab-4665-9742-073499e3fa9d/Global_EV_Outlook_2018.pdf)>.
- [29] MINITAB User's Guide 2. *Data Analysis and Quality tools*. USA, 2000. 937 s. ISBN 0-925636-44-4.
- [30] MONTGOMERY, C. Douglas. *Design and Analysis of Experiments*. USA, 2001. 5th edition, 684 p. ISBN 0-471-31649-0.