

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra ekonomiky



Bakalářská práce

Elektromobilita v Praze a její předpokládaný vývoj

Petr Koutský

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Koutský

Ekonomika a management
Provoz a ekonomika

Název práce

Elektromobilita v Praze a její předpokládaný vývoj

Název anglicky

Electromobility in Prague and it's expected development

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnotit současnou situaci elektromobility na našem území se speciálním důrazem na hl. město Prahu.

Metodika

Bakalářská práce bude rozdělena na část teoretickou a analytickou. V úvodní části bude vysvětleno v čem je elektromobilita inovativní a v čem se liší od současných spalovacích motorů. Dále bude provedena deskripce distribučních sítí v ČR, podpora elektromobility a světové trendy. V teoretické části bude použita metoda sekundárního sběru relevantních dat a komparace.

V analytické části bude zpracována případová studie z dostupných dat o konkrétních elektromobilech vs. spalovací motory. Na základě analýzy dokumentu bude navrženo optimální řešení.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran textu bez příloh

Klíčová slova

Elektromobilita, elektromobilita v Praze, distribuční síť, elektromobil, provozní výdaje

Doporučené zdroje informací

Aktualizace národního akčního plánu čisté mobility. mpo.cz. Česko – Ministerstvo průmyslu a obchodu. [Online] 6. květen 2020.

M. LIENKAMP, „Status electromobility 2016 or how Tesla will not win“, researchgate.net [Online] 27. červenec 2016

Plán udržitelné mobility Prahy a okolí, poladprahu.cz. Česko – Magistrát Hl. m. P., [Online] 2019

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Dobroslava Pletichová

Garantující pracoviště

Katedra ekonomiky

Elektronicky schváleno dne 14. 2. 2021

prof. Ing. Miroslav Svatoš, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Elektromobilita v Praze a její očekávaný vývoj“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. 3. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní inženýrce Pletichové za odborné vedení, cenné rady a doporučení poskytované po celou dobu zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.

Elektromobilita v Praze a její přepokládaný vývoj

Abstrakt

Bakalářská práce je zpracována na téma „Elektromobilita v Praze a její očekávaný vývoj“. Práce je členěna do několika částí. První část je rešeršního charakteru a zabývá se obecným vysvětlením elektromobility, vymezuje základní pojmy v dané problematice a vysvětluje rozdíly mezi elektromobily a vozy se spalovacími motory.

Dále pak přechází v analýzu současného stavu elektromobility na našem území, zejména v Praze. Zde je projednávána problematika možnosti nabíjení elektromobilů a státní podpory elektromobility. Analytická část obsahuje případovou studii, která porovnává vozy s různou mírou elektrifikace pohonných jednotek s vozy poháněnými spalovacími motory. Tato kapitola je podložena vlastními výpočty, které byly zpracovány vybranou metodou.

Poslední částí je diskuse nad získanými výsledky. Zde je pak doporučeno kompromisní řešení případové studie.

Klíčová slova: elektromobilita, EV, hybrid, nabíjecí stanice, Národní akční plán čisté mobility, udržitelná mobilita, TOPSIS

Electromobility in Prague and it's expected development

Abstract

This bachelor thesis deals with the topic of “Electromobility in Prague and it's expected development”. The first part of the theses is research and deals with elementary explanation of what electromobility means, defines fundamental concepts in the problematics of electromobility and compares the differences between electric vehicles and vehicles equipped with internal combustion engines.

Next is the analysis of present status of electromobility in Czechia, especially in Prague. Here is discussed the problematics of availability of charging stations and state support of electromobility. The analytical part consists of a case study, which compares vehicles with various degree of electrification of their power units to vehicles propelled with internal combustion engines. This chapter is substantiated with respective calculations, which were processed with a chosen method.

Last part of the theses is a discussion over the acquired results, there is presented the best solution to the case study.

Keywords: electromobility, EV, hybrid, charging stations, National plan of actions for clear mobility, sustainable mobility, TOPSIS

Obsah

1. ÚVOD	10
2. CÍL PRÁCE A METODIKA.....	11
2.1. CÍL PRÁCE	11
2.2. METODIKA	11
3. TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	12
3.1. HISTORIE ELEKTROMOBILU	12
3.2. ELEKTROMOBIL.....	14
3.2.1. Elektromotor.....	15
3.2.2. Rekuperace energie.....	15
3.2.3. Baterie elektromobilů, akumulátor.....	16
3.2.4. Plný elektromobil (BEV).....	17
3.2.5. Hybridní elektromobil (HEV)	19
3.2.6. Sériový hybrid	19
3.2.7. Full hybrid (FHEV)	20
3.2.8. Plug-in hybrid (PHEV).....	21
3.3. ELEKTROMOBILITA VE SVĚTĚ	22
3.3.1. Všeobecný přehled	22
3.3.2. Německo.....	23
3.3.3. Norsko	23
3.4. SOUČASNÝ STAV ELEKTROMOBILITY V ČR.....	25
3.4.1. NAP CM.....	25
3.4.2. Strategické cíle NAP CM	25
3.4.3. Memorandum o budoucnosti automobilového průmyslu v České republice	26
3.5. DOBÍJECÍ INFRASTRUKTURA	27
3.5.1. Skupina PRE.....	28
3.5.2. Skupina ČEZ	30
3.6. STÁTNÍ PODPORA ELEKTROMOBILITY.....	31
3.7. ELEKTROMOBILITA V PRAZE	33
3.7.1. Současný stav	33
3.7.2. Vize pražské elektromobility.....	34

4.	VLASTNÍ PRÁCE.....	36
4.1.	VÝCHODISKA	36
4.2.	KRITÉRIA.....	36
4.3.	VARIANTY	37
4.4.	METODY	38
4.5.	PŘÍKLAD – STANOVENÍ VAH KRITÉRIÍ.....	38
4.6.	PŘÍKLAD – PROPOČET METODOU TOPSIS	42
5.	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	48
5.1.	METODY ZÍSKÁNÍ VAH KRITÉRIÍ	48
5.2.	VÝSLEDKY UŽITÍ METODY TOPSIS	49
5.2.1.	Rozbor výsledků pro Saatyho metodu.....	49
5.2.2.	Rozbor výsledků pro metodu pořadí	51
5.2.3.	Srovnání výsledků obou příkladů.....	52
6.	ZÁVĚR	54
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
8.	PŘÍLOHY.....	64

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Elektrické taxi Williama Whitneyho.....	13
Obrázek č. 2: EMA: elektrický městský automobil	14
Obrázek č. 3: PRE dobíjecí stanice v ČR.....	29
Obrázek č. 4: PRE dobíjecí stanice v Praze	29
Obrázek č. 5: ČEZ dobíjecí stanice v ČR.....	31
Obrázek č. 6: ČEZ dobíjecí stanice v Praze	31
Obrázek č. 7: EV ready lampa na Vinohradech	35
Obrázek č. 8: Dotazníková otázka.....	41

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Renault ZOE data	17
Tabulka č. 2: Škoda Enyaq data	18
Tabulka č. 3: Tesla Model 3 data	18
Tabulka č. 4: BMW i3 data	20
Tabulka č. 5: Toyota Prius data.....	21
Tabulka č. 6: Mercedes-Benz A 250e data.....	21
Tabulka č. 7: Volkswagen Golf 1,4 TSI PHEV data.....	22
Tabulka č. 8: Odhadované počty automobilů a čerpacích stanic pro rok 2030.....	25
Tabulka č. 9: Ceník služeb PRE.....	28
Tabulka č. 10: Ceník služeb ČEZ.....	30
Tabulka č. 11: Škoda Octavia data.....	37
Tabulka č. 12: Škoda Karoq data	37
Tabulka č. 13: Toyota Yaris data	38
Tabulka č.14: Sloučená tabulka sledovaných dat všech zvolených vozů	39
Tabulka č. 15: Výpočet nákladů na 100 ujetých km	39
Tabulka č. 16: Výpočet vah kritérií Saatyho metodou.....	40
Tabulka č. 17: Výpočet vah kritérií metodou pořadí.....	41
Tabulka č. 18: TOPSIS normovaná tabulka „r“ užitím rovnice č. 1	43
Tabulka č. 19: TOPSIS tabulka „v“ pro Saatyho metodu užitím rovnice č. 2	44
Tabulka č. 20: TOPSIS tabulka „v“ pro metodu pořadí užitím rovnice č. 2.....	44
Tabulka č. 21: TOPSIS hledání ideální a bazální varianty, Saatyho příklad	45
Tabulka č. 22: TOPSIS hledání ideální a bazální varianty, příklad pořadí	46
Tabulka č. 23: Porovnání hodnot vah kritérií podle zvolené metody	48
Tabulka č. 24: Umístění variant pro Saatyho metodu	50

Tabulka č. 25: Umístění variant pro metodu pořadí.....	51
--	----

Seznam rovnic

Rovnice č. 1: TOPSIS vzorec pro normalizaci.....	43
Rovnice 2 TOPSIS vzorec pro výpočet vážené normované tabulky.....	43
Rovnice č. 3: TOPSIS vzorec pro výpočet vzdálenosti od ideální varianty.....	46
Rovnice č. 4: TOPSIS vzorec pro výpočet vzdálenosti od bazální varianty.....	46
Rovnice č. 5: TOPSIS vzorec pro výpočet podobnosti s ideální variantou	47

Seznam použitých zkratk - chronologicky

EMA – elektrický městský automobil

BMS – z angličtiny: battery management systém, česky: systém řízení akumulátoru

EV – z angličtiny: electric vehicle, česky: elektromobil

ICEV – z angličtiny: internal combustion engine vehicle, česky: vozidlo se spalovacím motorem

BEV – z angličtiny: battery electric vehicle, česky: plný elektromobil

CO₂ – oxid uhličitý

HEV – z angličtiny: hybrid electric vehicle, česky: vozidlo s hybridním pohonem

FHEV – z angličtiny: full hybrid electric vehicle, česky: plně hybridní vozidlo

PHEV – z angličtiny: plug-in hybrid vehicle, česky: hybridní vozidlo s možností nabíjení z nabíjecího bodu

USA – Spojené státy americké

NAP CM – Národní akční plán čisté mobility

MHD – městská hromadná doprava

EU – Evropská unie

ČR – Česká republika

CNG – z angličtiny: compressed natural gas, česky: stlačený zemní plyn

LNG – z angličtiny: liquefied natural gas, česky: zkapalněný zemní plyn

DC – z angličtiny: direct current, česky: stejnosměrný proud

HDP – hrubý domácí produkt

PID – Pražská integrovaná doprava

VO – veřejné osvětlení

V2G – z angličtiny: vehicle to grid, česky: vozidlo zapojené do sítě

VAV – vícekritériální analýza variant

PN/100 – provozní náklady na 100 ujetých kilometrů

MD – maximální dojezd vozidla

OZP – objem zavazadlového prostoru

E_{CO_2} – emise oxidu uhličitého

Z 0-100 – zrychlení z 0 na 100 km/h

TOPSIS – z angličtiny: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, česky:
metoda seřazení variant podle vzdálenosti od bazální varianty

MAX – maximalizační povaha kritéria

MIN – minimalizační povaha kritéria

Úvod

Bakalářská práce se zabývá elektromobilitou na našem území se speciálním důrazem na město Prahu. Teoretická část popisuje současný stav elektromobility jak ve světě, tak v ČR. Seznamuje čtenáře se základními pojmy tohoto alternativního způsobu dopravy, vysvětluje rozdíly mezi elektromobily a vozy s konvenčními spalovacími motory a předkládá scénáře vývoje tohoto způsobu dopravy. V závěru teoretické části se nachází kapitola, která sumarizuje současný stav elektromobility v Praze, nastiňuje možné scénáře vývoje a uvádí možná řešení základních potřeb uživatelů elektromobilů.

V analytické části byla zpracována případová studie. Z 10 vybraných vozů je danými metodami a při zohlednění uvedených kritérií a jejich vah doporučena kompromisní varianta, tedy vůz, který při stanoveném zadání dosahoval nejlepších výsledků. Tato případová studie může čtenáři pomoci v rozhodovacím procesu pořízení nového vozu v kontextu alternativního elektrického pohonu vůči klasickému vozu se spalovacím motorem.

Cíl práce a metodika

Cíl práce

Cílem teoretické části práce je vytvoření přehledu o současném stavu elektromobility v ČR se speciálním důrazem na hl. město Prahu.

Cílem pro analytickou část práce je čtenáři na základě stanovených metod a kritérií doporučit kompromisní variantu při výběru z vozů s elektrifikovaným hnacím ústrojím a klasickými spalovacími motory.

Metodika

Teoretická část práce je zpracována metodou sekundárního sběru relevantních zdrojů, jejich deskripcí a komparací.

V analytické části je užíváno několik metod. V rámci případové studie bylo nutné stanovit váhy kritérií. K tomu bylo užito celkem tří metod. První užitá metoda se nazývá Saatyho metoda, která vzájemným poměřováním preferencí kritérií stanovila výsledné váhy kritérií pro první zadání příkladu analytické části. Druhé zadání pak vzešlo z dotazníkového šetření. Poslední metoda užitá v této části byla metoda pořadí. Z výsledků dotazníku byly touto metodou stanoveny váhy kritérií.

V druhé části řešeného problému bylo za účelem stanovení kompromisních variant užito metody TOPSIS. Tato metoda pracuje v několika krocích. Nejprve je nutné výchozí tabulku znormovat. To je dosaženo užitím následujícího vzorce: $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$.

Posléze vstupují do úvahy stanovené váhy: $v_{ij} = w_j * r_{ij}$. Nyní, když je spočtena vážená znormovaná tabulka, můžeme užitím dalších vzorců stanovit vzdálenosti od fiktivní

ideální a fiktivní bazální varianty: $S^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} * v_j^*)^2}$, $S^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$.

Posledním krokem metody TOPSIS je pak podrobit všechny varianty poslednímu vzorci, který určuje, jak daleko se nachází vybraná varianta od bazální, nejhorší varianty: $C_i^* =$

$$\frac{S_i^-}{(S_i^* - S_i^-)}$$

Teoretická východiska

Historie elektromobilu

V dnešní době se uvažuje o elektromobilech jako o moderním a ekologickém řešení osobní dopravy. Málokdo však ví, že se první pokusy o sestrojení funkčního vozidla na elektrický pohon datují již kolem poloviny 19. století. Experimenty však nebyly příliš úspěšné, baterie byly tou dobou velmi drahé, těžké a nebylo možno je po výkonu nabíjet.

Zlom přinesl až rok 1859, kdy francouzský fyzik Gaston Planté vynalezl olověnou baterii, kterou již bylo možné znovu nabít, tudíž se jednalo o první akumulátor. Do veřejné nabídky se elektromobily dostaly až o 34 let později, kdy byly představeny na chicagském autosalonu v roce 1893. Na konci století se dokonce elektromobil sestrojený Belgičanem Camillem Jenatzym ujal světového rekordu, když překonal rychlost 100 km/h.

Elektromobilita vzbudila zájem nadšenců i na našem území, v tehdejší Rakousko-Uhersku. Byl jím František Křižík, který v roce 1895 sestrojil svůj první elektromobil. Stroj se řídil pákou, disponoval výkonem 5 koňských sil a akumulátor byl uložen nad zadní nápravu pod sedadlem řidiče a spolujezdce.

Elektromobilita byla tou dobou velmi atraktivní, americký podnikatel William C. Whitney s ní chtěl prorazit do každého většího města v zemi formou taxíků. Nízký dojezd by byl kompenzován nikoliv klasickým nabitím, ale přímo výměnou prázdného akumulátoru za nový, plně nabitý. Toto řešení se však ukázalo jako velmi nákladné a vozy měly, mimo jiné, i časté problémy se spolehlivostí (1), (2).

Obrázek č. 1: Elektrické taxi Williama Whitneyho



Zdroj: (3)

Další překážkou pro rozvoj elektromobility se pak stal Henry Ford. Jeho továrny produkovaly desítky tisíc vozů, které byly finančně dostupnější, servisně méně náročné, a i díky nízké ceně ropy provozně atraktivnější. V roce 1912 americký inženýr Charles Kettering vynalezl elektrický startér pro vozy se spalovacími motory, čímž rozdíl mezi startováním elektrického a spalovacího motoru již nebyl patrný. Do té doby se musely vozy se spalovacím motorem startovat klikou, což bylo nejenom fyzicky náročné, ale mohlo i v krajních případech vyústit až ve zranění automobilisty.

Zájem o automobily s elektrickým hnacím ústrojím postupně upadal. Důvodem byl nízký dojezd vozidel, nízká cestovní rychlost, a hlavně vysoká cena. Na dalších několik desítek let upadly elektromobily do pomyslného zapomnění. Veřejnost se k tomuto alternativnímu pohonu však musela vrátit, a to hlavně v dobách, kdy nebyla všem dostupná ropa. Jsou to období politické nejistoty či místních válek (arabsko-izraelský konflikt), které mají velký vliv na cenu a dostupnost ropy ve světě – např. období ropné krize v 70. letech.

I tehdejší Československo bylo ropnou krizí rovněž poznamenáno, výstupem snahy reagovat na drahou ropu a smog v ulicích může být projekt elektrického městského automobilu – EMA. Toto vozítko mělo dojezd 30 až 50 km a dosahovalo maximální

rychlosti 50 km/h. Tento malý elektromobil disponoval i technologií, která je již zcela běžná v současné době, totiž možností rekuperace elektrické energie při zpomalování. EMA měla dva elektromotory, každý o výkonu 3 kW a každý poháněl jedno kolo. Vůz měl obsloužit 2 dospělé a 2 děti. EMA skončila jako úspěšný prototyp, který však vývoj elektromobility nikam posunout nemohl, svět pouze čekal, až cena ropy klesne (4). Zároveň se do veřejného povědomí začaly více dostávat informace o tom, jak ovlivňují automobily se spalovacím motorem ovzduší. Všechny tyto faktory přispěly ke skutečnosti, že se téma elektromobility znovu otevřelo a že dnes je veřejnosti přístupno vícero alternativních variant ke klasickému spalovacímu motoru (2), (5).

Obrázek č. 2: EMA: elektrický městský automobil



Zdroj: (4)

Elektromobil

V následující části se budu zabývat odlišnostmi mezi elektromobilem (EV) a konvenčním automobilem se spalovacím motorem (ICEV) a uvedu nezbytně nutné technologické náležitosti o principu fungování elektromotoru. Dále shrnu různé typy elektrifikovaných vozidel a proberu rozdíly mezi nimi. V každé kapitole vyberu konkrétní vozy disponující popsanými technologiemi a poskytnu o nich data, se kterými budu později pracovat v analytické části.

Elektromotor

Klasický spalovací motor využívá při zahoření paliva jevů termodynamiky, zatímco elektromotor využívá jevů elektromagnetických. Spalovací motor se skládá z mnoha součástí, ku příkladu z klikového mechanismu, jehož součástí jsou válce, písty, ventily, klikový hřídel a další komponenty, zatímco elektromotor využívá pouze rotor a stator. Rozdíly ale nekončí u principu přeměny energie na mechanický pohyb, odlišnosti pokračují i do průběhu výkonu těchto dvou řešení.

Zatímco spalovací motor potřebuje vysoké otáčky, aby dosáhl svého maximálního výkonu a točivého momentu, elektromotor naopak uživateli poskytuje maximální točivý moment a výkon už od velmi nízkých otáček. V praxi to pak znamená, že elektromobil je v nízkých rychlostech dynamičtější než automobil, který potřebuje na vyvinutí podobného výkonu vyšší otáčky. Právě vzhledem k vysokému točivému momentu elektromotoru není u elektromobilů potřeba vícestupňová manuální nebo automatická převodovka jako je tomu u ICEV. Elektromobilu, který využívá při jízdě velký rozsah otáček, stačí od pouhého uvedení vozidla k pohybu po vyvinutí maximální rychlosti pouhý jeden převodový stupeň nazývaný reduktor (6). Výhodou elektromotoru je ovšem i fakt, že nevyžaduje chlazení, jak to je u spalovacího motoru.

Rekuperace energie

Další devizou elektrického motoru je schopnost výroby elektrické energie. Tato schopnost je dána faktem, že každý elektromotor se zároveň umí chovat i jako generátor, tudíž ve chvíli, kdy je potřeba brzdit či zpomalit vůz, elektromotor změnil směr otáčení a místo výdeje energie, začne energii generovat. Jedná se tedy o přeměnu kinetické energie vozu na elektřinu, která je poté uložena do akumulátoru. Tento proces může nastat i bez toho, aniž by řidič sešlápl pedál brzdy. Některé EV jsou tak říditelné i jediným pedálem, jelikož zpomalování vozidla při nesešlápnutém pedálu plynu může navozovat pocit silnějšího brždění.

Rekuperace elektrické energie má tedy za účel zefektivnit využívání energie a prodloužit tak dojezd vozidla (7). Tato vlastnost je obzvláště užitečná při dlouhém

prudkém klesání, kdy řidič nemusí dlouho brzdit, čímž zahřívá brzdové kotouče a tím je činí méně účinnými.

Baterie elektromobilů, akumulátor

Na začátek je nutné uvést základní rozdíl mezi baterií a akumulátorem. Akumulátor je, na rozdíl od baterie, schopný opětovného dobíjení. Akumulátor je u plných elektromobilů ta nejdůležitější a nejnákladnější část vozu.

Akumulátor se skládá z modulů, které jsou tvořeny stovkami až tisíci akumulátorových článků. Akumulátorové články mohou mít tvar válce či hranolu, a každý tvar má své výhody i nevýhody. Společnost Tesla používá články válcového typu, které jsou energeticky účinné a zároveň levné na výrobu. VW a BMW používají hranolové články, které jsou skladnější, lépe se chladí, nejsou drahé na výrobu, neposkytují ale takovou energetickou hustotu a mohou v komparaci s ostatními články dosahovat menšího celkového počtu nabití a vybití, tzv. cyklů. Renault, Nissan či Chevrolet pak využívají pouzdrového typu. Tyto články jsou velmi skladné, problém však může nastat s přehříváním či tlakem v akumulátoru.

Články jsou usazeny do modulů, stavebních kamenů celého akumulátoru. Každý modul pak obsahuje senzory, které měří teplotu, i napětí a odesílají tato data do tzv. battery management system (BMS), tedy systému řízení akumulátoru, které drží dohled nad všemi moduly a stará se o udržení optimálních hodnot v každé jednotce. Pro prodloužení životnosti článků je BMS velmi důležitý, stará se nejen o ideální pracovní prostředí, ale i o rovnoměrné nabíjení všech článků tak, aby se nezkracoval jejich životní cyklus.

Akumulátor vydrží obvykle 1 000 až 1 500 cyklů, tyto technologie se však nadále vyvíjejí a je možné, že se v horizontu 10 let zdokonalí i na 10 000 cyklů (8). Jak bylo výše zmíněno, důležitým parametrem akumulátoru je jeho cena. V tomto měřítku se cena vyvíjí velmi pozitivně, v roce 2010 jednotka kWh kapacity akumulátoru stála 1 100 \$. O 9 let později se již bavíme pouze o zlomku této ceny, za jednotku kWh kapacity akumulátoru se již platí pouze 156 \$. Tento příznivý trend je dán o dost vyšší účinností akumulátorů, zlepšením výrobních procesů a zvýšenou energetickou hustotou.

Velký vliv na dojezd automobilu a tím pádem i nezanedbatelnou zátěž pro akumulátor představuje ohřev kabiny vozu a chladné počasí obecně. Automobil

s klasickým spalovacím motorem využívá právě teploty motoru, aby ohřál i kabinu vozu, elektromobil však musí obětovat část kapacity akumulátoru, aby dosáhl stejného efektu.

Pro zachování dlouhodobě vysoké maximální výkonnosti akumulátoru je rovněž nutné, aby je uživatel nevybíjel přibližně pod 20 % dostupné kapacity. Na životnosti rovněž přidá i pomalejší nabíjení, nabíjecí výkony nad 20 kW mohou při častém užívání rovněž dlouhodobě snížit životnost celého ústrojí (8).

Plný elektromobil (BEV)

Plný elektromobil je vůz, jenž využívá k pohybu výhradně svůj elektromotor. Zdrojem energie pro plný elektromobil je akumulátor, který je napájen z distribuční sítě, či částečně rekuperací během jízdy (9). Jako zástupce BEV vozidel uvedu Renault ZOE, Škodu Enyaq a Teslu model 3.

Tabulka č. 1: Renault ZOE data

Renault ZOE R110 Z.E. 52 kWh	
Cena [Kč]	845 000
Výkon [kW]	80
Spotřeba paliva [l/100 km]	0
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	17,2
Dojezd s nulovými emisemi [km]	395
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	315
Akcelerace 0–100 km/h [s]	11,4
Objem zavazadlového prostoru [l]	338
Lokální emise CO ₂ [g/km]	0

Zdroj: (10), (11), vlastní zpracování

Renault ZOE je na světovém trhu od roku 2012. Jedná se o malé kompaktní vozidlo určené primárně do města. Renault vůz postupně vylepšuje jak po stránce technické, tak designové, je tedy atraktivní volbou i dnes. V ČR proběhlo v roce 2020 144 registrací ZOE (12).

Tabulka č. 2: Škoda Enyaq data

Škoda Enyaq iV 60	
Cena [Kč]	1 059 000
Výkon [kW]	132
Spotřeba paliva [l/100 km]	0
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	16,6
Dojezd s nulovými emisemi [km]	390
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	310
Akcelerace 0–100 km/h [s]	8,7
Velikost zavazadlového prostoru [l]	585
Lokální emise CO ₂ [g/km]	0

Zdroj: (13), (14), vlastní zpracování

Škoda Enyaq je druhý BEV značky Škoda. Prvním se stala malá Škoda Citigo iV s kapacitou akumulátoru 36,8 kWh a teoretickým dojezdem až 252 km. Enyaq má však ambice dobývat i mimoměstská území. V prosinci 2020 zaznamenal tento vůz 741 registrací, čímž se stal vůbec druhým nejregistrovanějším BEV za celý rok (12). Nutno však podotknout, že žádný z těchto Enyaqů neputuje do rukou koncového zákazníka, jedná se totiž pouze o testovací vozy (15).

Tabulka č. 3: Tesla Model 3 data

Tesla Model 3 Standard Range Plus	
Cena [Kč]	1 324 900
Výkon [kW]	239
Spotřeba paliva [l/100 km]	0
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	14,9
Dojezd s nulovými emisemi [km]	448
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	335
Akcelerace 0–100 km/h [s]	5,6
Velikost zavazadlového prostoru [l]	542
Lokální emise CO ₂ [g/km]	0

Zdroj: (16), (17), vlastní zpracování

Tesla je automobilka zaměřující se výhradně na BEV vozidla. Model 3 je však první z modelů, který nespadá do třídy luxusních vozů. Jelikož je vyráběn v USA, může

potenciální kupce v Evropě odradit cena, která je poměrně vyšší než v právě v zemi výroby. V Kalifornii totiž základní Tesla 3 Standard Range začíná na 37 990 \$, což při současném kurzu znamená částku kolem 800 000 Kč (18). Cíl sestrojít téměř pro všechny dostupné BEV je naplňován kontinent od kontinentu. Tesla je rovněž velkým průkopníkem v oblasti automobilových software a infotainment systémů. Za poměrně značný příplatek můžete do své Tesly objednat i autopilota, který uživateli usnadní dlouhé cesty a umožní tak odpočinek i za jízdy.

Hybridní elektromobil (HEV)

Hybridní pohon znamená, že vozidlo využívá k pohybu nejenom elektromotor, ale i klasický konvenční spalovací motor. V následujících kapitolách představím různá řešení hybridních pohonů a poukážu několik konkrétních hybridních vozů, které využívají danou technologii.

Sériový hybrid

Sériový hybrid využívá podobné technologie jako diesel-elektrická lokomotiva. Spalovací motor slouží v tomto případě pouze jako generátor elektrické energie, která posléze putuje do akumulátoru. Elektromotor posléze čerpá energii právě z akumulátoru, spalovací agregát tedy nepřenáší svůj výkon na hnané ústrojí. Toto řešení se používá ku příkladu u elektromobilů, kterým je potřeba zvýšit základní dojezd (19).

Konkrétní vůz, který tuto technologii využívá, je BMW i3. Tento malý, původně plný, elektromobil nabízel příplatkovou možnost tzv. range extender (prodlužovače dojezdu). Jedná se o dvouválcový benzinový motor o objemu 650 cm³, který je uložen nad zadní nápravou. Tento malý agregát, se spustí pouze tehdy, klesne-li hodnota nabití akumulátoru pod určitou úroveň. Základní dojezd i3 se pohybuje od 150 km do 200 km, velmi záleží na zvoleném jízdním módu a stylu řízení řidiče. Range extender ovšem umožní s plně nabitým akumulátorem a plnou 9 litrovou benzinovou nádrží urazit až 300 km (20). Nejsilnější stránkou sériového hybridu je pak provoz ve městě. V situacích, kdy je nutno často zastavovat a znovu se rozjíždět je daleko efektivnější elektromotor, právě kvůli okamžité dostupnosti točivého momentu (9). BMW však s narůstajícími kapacitami akumulátorů přestalo range extender dodávat. Od roku 2019 tak neexistuje možnost

zakoupení nové i3 s benzínovým agregátem (21). Pro mé šetření však použiji data dostupná z doby prodeje range extenderu.

Tabulka č. 4: BMW i3 data

BMW i3 Range Extender	
Cena [Kč]	975 000
Výkon [kW]	125
Spotřeba paliva [l/100 km]	0,6
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	14,1
Dojezd [km]	300
Reálný dojezd [km]	235
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	150
Akcelerace 0–100 km/h [s]	8,1
Velikost zavazadlového prostoru [l]	260
Lokální emise CO ₂ [g/km]	13

Zdroj: (20), (22), vlastní zpracování

Full hybrid (FHEV)

Full hybrid má oproti sériovému tu výhodu, že může využít spalovacího motoru i k pohonu kol. Kola tak mohou být hnána jak elektrickým motorem, tak spalovacím, ale i jejich kombinací. Jednotlivé motory se spouští v situacích, kdy operují nejefektivněji. V nízkých rychlostech operuje elektromotor, ve vyšších se posléze připojuje spalovací jednotka. Při nutnosti prudce akcelarovat pracují oba motory dohromady, tudíž výsledný výkon je pak součtem výkonů obou motorů (19).

Klasickým reprezentantem tohoto pohonu je Toyota Prius. Tento typ vozidla má pouze velmi malou kapacitu akumulátoru, pouhých 1,3 kWh. Vynahrazuje to však benzínovým čtyřválcem, který má 70 kW, elektromotor o výkonu 53 kW pak je umístěn v převodovce. Vozidlo dokáže jet pouze na elektrický pohon, ten je však kvůli nízké kapacitě akumulátoru velmi krátký. Dojezd je tedy spočítán jako podíl objemu benzínové nádrže a udávané spotřeby. Elektromotor v tomto voze má hlavní úlohu v rozpořbování vozidla, sám dokáže pohánět automobil jen do rychlosti 55 km/h.

Tabulka č. 5: Toyota Prius data

Toyota Prius Hybrid	
Cena [Kč]	810 900
Výkon [kW]	90
Spotřeba paliva [l/100 km]	4,6
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	neudáno
Dojezd [km]	900
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	2
Akcelerace 0–100 km/h [s]	10,8
Velikost zavazadlového prostoru [l]	501
Lokální emise CO ₂ [g/km]	94

Zdroj: (23), (24), vlastní zpracování

Plug-in hybrid (PHEV)

PHEV je vozidlo, které oproti výše jmenovaným typům má možnost dobíjet akumulátor ze sítě. PHEV má často větší kapacitu akumulátoru oproti výše zmíněnému FHEV, což umožňuje ujet podstatně větší vzdálenost čistě na elektřinu bez lokálních emisí.

Zde zmíním vozidlo Mercedes-Benz A 250e. Tento vůz je vybaven benzinovým čtyřválcem o výkonu 117 kW a elektromotorem o výkonu 75 kW. Akumulátor poskytuje dojezd čistě na elektřinu až 75 kilometrů, její kapacita je tedy taková, aby na čistě elektrický pohon dopravila většinu dojíždějících do práce a z práce na jedno nabití (25).

Tabulka č. 6: Mercedes-Benz A 250e data

Mercedes-benz A 250e	
Cena [Kč]	995 830
Výkon [kW]	160
Spotřeba paliva [l/100 km]	1,4
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	15,3
Dojezd s nulovými emisemi [km]	75
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	50
Akcelerace 0–100 km/h [s]	6,6
Velikost zavazadlového prostoru [l]	310

Lokální emise CO2 [g/km]	24
--------------------------	----

Zdroj: (26), (27), vlastní zpracování

Dalším vozem z kategorie PHEV je Volkswagen Golf PHEV. Golf a výše popsaný Mercedes jsou přímými konkurenty v této motorizaci a jak je vidět v tabulkách, ve všech parametrech jsou velmi vyrovnaní.

Tabulka č. 7: Volkswagen Golf 1,4 TSI PHEV data

Volkswagen Golf 1,4 TSI PHEV	
Cena [Kč]	881 900
Výkon [kW]	150
Spotřeba paliva [l/100 km]	1,3
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	11
Dojezd s nulovými emisemi [km]	50
Reálný dojezd s nulovými emisemi [km]	40
Akcelerace 0–100 km/h [s]	7,6
Velikost zavazadlového prostoru [l]	272
Lokální emise CO2 [g/km]	29

Zdroj: (28), (29), vlastní zpracování

Elektromobilita ve světě

Všeobecný přehled

Elektromobilita zažívá v poslední dekádě obrovský vzestup. Za rok 2020 se celosvětově prodalo 3 240 000 kusů BEV a PHEV. Největším trhem byla do roku 2019 Čína, která se pozice jedničky ujala v roce 2015. Za minulý rok přibylo v Číně 1 337 000 nových BEV a PHEV, což je pouze o pár desítek tisíc méně než na celém evropském trhu, kde se prodalo 1 395 000 kusů. Nově je tak od roku 2020 jedničkou právě Evropa. Nejvíce si polepšilo Německo, které předčilo v prodej téměř čtyřnásobně lidnatější USA, a stalo se tak druhým nejaktivnějším národním trhem (30). Predikce podle studie skupiny Strategy& má trh s EV ještě veliký potenciál růst a očekávají, že čísla prodeje během 5 let porostou ještě o 344 % (31).

Německo

Německo je tradičním producentem automobilů, vždyť právě tam se motorem poháněné kočáry narodily. Automobilky se však primárně soustředily na výkonné a tím pádem i emisně náročné vozy, proto se nyní může zdát, že za průkopníkem v elektromobilitě, americkou Teslou, poněkud zaostávají. Automobilky se však tuto nepřijemnost snaží za každou cenu zvrátit, vynakládají nemalé prostředky na výzkum v oblasti akumulátorů a elektromotorů, aby byla tato technologická mezera umazána.

V roce 2020 bylo v Německu nově registrovaných 2 917 000 vozů, z toho 18,1 % činily vozy HEV, které si meziročně polepšily o 120,6 % a 6,7 % trhu patřilo BEV, které si polepšily o více než dvojnásobek, 206,8 % (32). Tento masivní nárůst má na svědomí intenzivní podpora státu, a i samotných automobilek. Na koupi nového EV do pořizovací ceny 40 000 € přispěje vláda částkou 3 000 €, automobilky pak uhradí dalších 3 000 €. Od léta 2020 do konce roku však platilo zvýšení dotovaného základu vládou na 6 000 €, což činí příspěvek dohromady 9 000 €.

Právě nejčastěji prodávaný EV roku 2020 se stal Renault ZOE s 30 376 prodanými kusy (32). Měsíční splátka na leasing tohoto EV totiž u prodejce Autohaus Koenig, který má své pobočky na více než 50 místech v Německu, vycházela na 29 € (33) v současném kurzu se jedná přibližně o 750 Kč. Náklady na pořízení nového ZOE tak byly téměř zcela kryty dotacemi. V roce 2019 byla průměrná mzda Němců 3 994 €, podíl měsíčního příjmu směřujícímu k financování nového vozu by tak byl 0,73 % (34).

Německo si však uvědomuje, že pro pohodlnou transformaci vozového parku směrem k EV, potřebuje současně podporovat výstavby potřebné infrastruktury. Německo uvolní na výstavbu dobíjecích stanic 2,5 miliard €. V současné době Německo registruje 27 730 nabíjecích stanic, přičemž aby byl podchycen intenzivní rozvoj elektromobility, mělo by stanic být ještě více. Celkem by mělo být k dispozici 7 000 rychlodobíjecích a 70 000 standartních stanic. Dobíječky by měly být dostupné na všech čerpacích stanicích (35).

Norsko

Norsko je první zemí světa, kde roční prodej aut na elektrický pohon převýšil prodeje klasických automobilů na spalovací motory. Podíl prodaných EV v roce 2020

činil 54,3 %, přičemž před 10 lety to bylo pouhé 1 %. Konkrétní čísla udávají, že se vloni v Norsku prodalo 76 789 nových elektrických vozů, největší trh s EV je nyní Evropa, za loňský rok se prodalo 1 395 000 EV (36), (37), (38).

Norsko, ačkoliv jako země disponuje velkými zásobami ropy a zemního plynu, chce kompletně k roku 2025 zakázat distribuci ICEV. V prosinci 2020 dokonce poměr prodaných EV vůči automobilům ICEV dosáhl 66,7 %. Vysvětlení tohoto fenoménu leží ve vládní podpoře elektromobility. Uživatelé EV jsou osvobození od plateb mýtného, daně silniční, registračního poplatku, mohou volně parkovat na placených parkovištích, či mohou ve městech využívat pruhy pro MHD, na veřejných dobíjecích stanicích se pak nemusí platit za čerpanou elektřinu (39), (40).

Elektromobilita je tedy stimulována nadmíru štědře, zvláště když uvážíme, že cena paliva se pohybuje kolem 40 Kč/litr, jedna z nejvyšších evropských hodnot. S rozvinutou elektromobilitou ale musí ruku v ruce jít i adekvátní infrastruktura, která umožní uživatelům EV celé země snadnou dobíjecí strategii. V Norsku byl stimul poptávky po EV řádově vyšší než investice do infrastruktury. Vedoucí projektu Electro mobility of the City of Oslo, Sture Portvik, v roce 2017 řekl, že každý rok rozšiřuje počet dobíjecích stanic města o 26 %, problémem však je, že počet elektromobilů v ulicích ročně naroste až o 100 % (40).

Současný stav elektromobility v ČR

NAP CM

Původní Národní akční plán čisté mobility (NAP CM), vznikl v roce 2015 jako odpověď na požadavek směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU. Tato směrnice nařizuje, aby státy Evropské unie (EU) vytvořily svůj národní rámec pro rozvoj vozidel využívající alternativních paliv, a to primárně v silniční dopravě. V roce 2019 byla vypracována aktualizace tohoto dokumentu, z níž budu vycházet ve své práci.

Důležitým momentem bylo rovněž přijetí Pařížské dohody o změně klimatu. Zde se všechny členské státy domluvily, že budou společně držet růst globální průměrné teploty pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí (41).

Strategické cíle NAP CM

V aktualizaci NAP CM nalezneme tyto cíle pro čistou mobilitu. Prvním cílem je celkové snížení spotřebované energie. Další cíl je snížení emisí oxidu uhličitého (CO₂) a poslední je snižování emisí a zdraví škodlivých látek. Souhrnná energetická bilance ČR z roku 2019 uvádí, že v letech 2013 až 2017 meziročně stoupá spotřebovaná energie v dopravě o 2,55TWh/rok a produkce oxidu uhličitého CO₂ roste o 0,68 Mt/rok (41). I na tento nárůst reaguje Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu, který diktuje zavádění nových úspor energie při tempu 0,8 %/rok na celou ČR do roku 2030. V oblasti dopravy to pak znamená snižování spotřeby o 0,68 TWh ročně. Co se snižování emisí CO₂ produkovaného fosilními palivy týče, musí se meziročně snižovat emise o 0,2 Mt (41). NAP CM rovněž udává následující tabulku s odhadovaným počtem vozidel a dobíjecích stanic pro rok 2030.

Tabulka č. 8: Odhadované počty automobilů a čerpacích stanic pro rok 2030

Vozidla	Rok 2030
Elektromobily	220 000 - 500 000
EV Busy	800 - 1 200
CNG OA	20 000 - 44 600
CNG busy	1 740 - 2 650

LNG kamiony	3 500 - 6 900
LPG	170 000 - 250 000
Vodík OA	40 000 - 50 000
Vodíkové autobusy	870
Dobíjecí body / plnicí stanice	Rok 2030
Elektrické	19 000 - 35 000
CNG	350 - 400
LNG	30
Vodík	80

Zdroj: (41), vlastní zpracování

Hodnoty znázorněné v tabulce č. 8 naplňují stanovené cíle úspor energie však jen z 10 až 20 % jak v oblasti snižování spotřeby energie, tak při plnění emisních cílů. Zbylých 80 až 90 % cílů v oblastech snižování jak emisí, tak spotřeby energie bude dosaženo převodem neefektivních způsobů automobilové dopravy na efektivnější dopravu kolejovou (41).

Dalším cílem je pak stimulace poptávky po EV. NAP CM vychází z predikcí, že do 10 let bude vozový park ČR tvořen až ze 7 % elektromobily. Nízký scénář odhaduje 220 000 EV, čehož by mělo být dosaženo i státní podporou na pořízení elektromobilu jak pro státní správu, tak i pro podnikatele.

Dalším cílem, který je souběžný s rostoucím podílem EV vozů, je rozvoj infrastruktury dobíjecích stanic. NAP CM očekává při nízkém scénáři dodávky 1000 až 1 500 GWh elektřiny/rok a při vysokém scénáři 2 000 až 3 000 GWh elektřiny/rok. Při nízkém scénáři se očekává 18 000 veřejně přístupných dobíjecích stanic v roce 2030 a při vysokém scénáři pak 35 000 dobíjecích bodů.

Memorandum o budoucnosti automobilového průmyslu v České republice

Toto prohlášení vzniklo v roce 2017, podepsali jej ministr průmyslu a obchodu Jiří Havlíček a za Sdružení automobilového průmyslu pak jeho prezident Bohdan Wojnar. Jedním z východisek pro toto prohlášení je fakt, že „*Automobilový průmysl vytváří 9 % HDP České republiky, zaměstnává 150 000 lidí přímo, nepřímo pak včetně dodavatelského řetězce téměř 400 000 lidí, a zajišťuje 25 % exportu České republiky*“ (42). Další základnou pro toto prohlášení je nutnost udržení konkurenceschopnosti tohoto

odvětví, ať už právě pro jeho bohatou tradici, tak pro statisíce lidí, které tento průmysl živí. Memorandum se zabývalo moderními technologiemi v dopravě, elektromobilitou, autonomním řízením či šířením osvěty o elektromobilitě. Co se však záměru mé práce týče, volá po: analýze možnosti podpory nákupu a provozu elektromobilů, zrychlených odpisech pro elektromobily, analýze a umožnění využití operativního leasingu při podpoře nákupu elektromobilů, označení EV pro zvýhodnění v městském provozu, či osvobození EV od správních poplatků za registraci vozidla (43).

Dnes již můžeme v ulicích měst pozorovat BEV a PHEV, které nesou registrační značky začínající na „EL“. Jsou to právě BEV a PHEV, které dosáhnou na tuto registraci, jelikož byl stanoven limit emisí 50 g CO₂/km, což jsou schopny splnit samozřejmě BEV a velmi těsně i PHEV (44).

Dobíjecí infrastruktura

V Česku se nachází více jak 500 veřejných nabíjecích stanic. V porovnání s výše zmíněným Německem se jedná o pouhý zlomek, nicméně elektromobilita není u nás zatím tak rozvinuta. Tyto veřejné dobíjecí stanice mají posloužit cestujícím na delší vzdálenosti, jsou tedy rozmístěny podél hlavních tahů v ČR, ale i třeba na parkovištích nákupních řetězců. Dále se na našem území nalézají přibližně 170 rychlonabíjecích stanic. Tyto stanice jsou schopné výkonu 50 kW a více, využívají stejnosměrného proudu (DC), čili energie se ukládá přímo do akumulátoru a neprochází palubní nabíječkou, která často limituje potenciál nabíjecí stanice (45). Tyto ultrarychlé stanice jsou schopny nabít vysokokapacitní akumulátory BEV během několika desítek minut, jejich největší přínos tedy leží na dálničních odpočívkách, aby cestujícím ušetřily ztrátu času při nabíjení.

Obecně se počítá se třemi druhy výkonů nabíjecích stanic. Rezidenční dobíjení je pomalá forma dobíjení elektromobilu, nejideálněji využívána přes noc. Jelikož výkon nabíječky bude nízký, doba dobití se bude pohybovat v rozmezí 6 až 10 hodin.

Další typ nabíjení se jmenuje „Body zájmu“. Uživatel BEV zaparkuje před muzeem, nákupním střediskem či úřadem a během několika málo hodin se vrátí ke svému vozu, který je mezitím nabíjen. Tento typ bude výkonnější než rezidenční nabíjení, jelikož doba, kdy se uživatel vrátí k používání svého BEV bude kratší.

Poslední typ je tzv. Tranzitní nabíjení. Jedná se výše zmiňované rychlonabíječky, které budou rozprostřeny podél dálnic na odpočívkách či čerpacích stanicích. Jejich cílem je BEV co nejrychleji nabít a uvést zpět do provozu (46).

Skupina PRE

Pražská energetika v současnosti provozuje 2 projekty pojící se s elektromobilitou, na které získala dotaci z Operačního programu Doprava. Jedná se o výstavbu Metropolitní sítě a Páteřní sítě PRE. Metropolitní síť je projekt, v jehož rámci bude vystavěno 112 doplňkových nabíjecích stanic převážně na území Prahy, které mají za účel poskytnout uživatelům EV možnost nabít svůj vůz. Páteřní síť je pak projekt realizovaný po celém území ČR, je zaměřen na podporu a rozvoj klíčové tranzitní sítě rychlonabíjecích stanic. Cílem obou projektů je tak zkvalitnit současnou infrastrukturu a zvýšit hustotu sítě. Ceny za odebranou energii se liší. Pokud jste stálým zákazníkem PRE, určitě se vyplatí zřídit si jejich čerpací kartu. Cena čerpání energie je uvedena v tabulce níže (47).

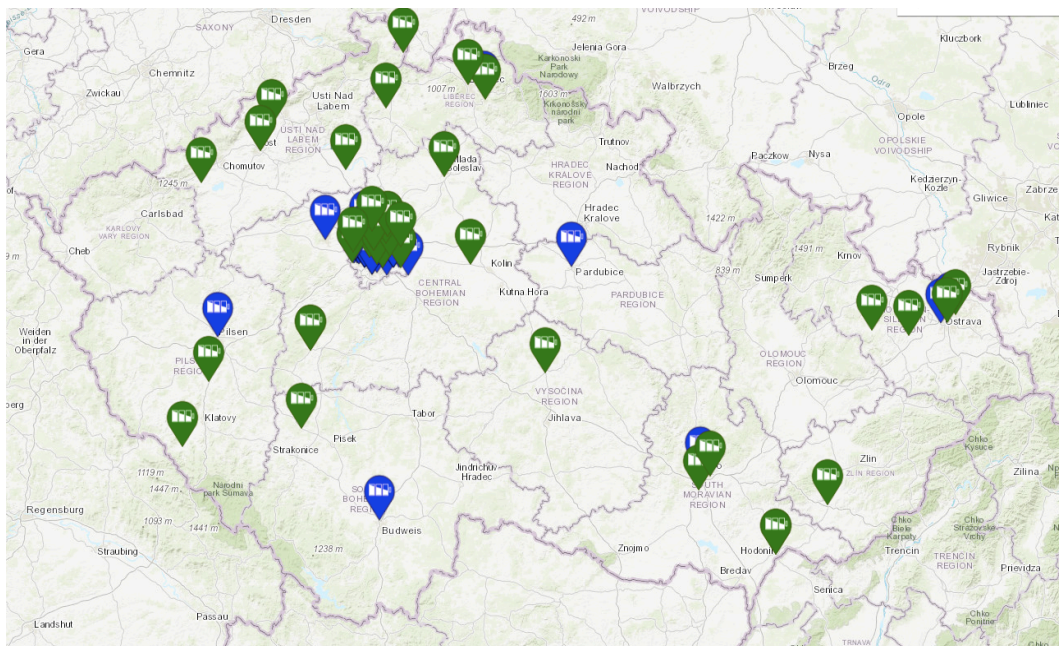
Tabulka č. 9: Ceník služeb PRE

Kvartální poplatek za kartu	Cena za kWh energie v Kč	Cena dobíjení za minutu
30 Kč	2,5 Kč	0,2 Kč

Zdroj: (47), vlastní zpracování

Poslední sloupec v tabulce č. 9 „cena dobíjení za minutu“ se platí pouze pokud je EV připojen déle než 120 minut. Tento poplatek by tak měl odradit uživatele EV od zbytečného blokování stanice. Pokud uživatel kartu PRE nemá, poplatky za nabíjení se vztahují na čas strávený u stanice, za 1 hodinu na 22 kW nabíječe se účtuje 60 Kč, na výkonnějších, 50 kW a více, stanicích pak 100 Kč za hodinu.

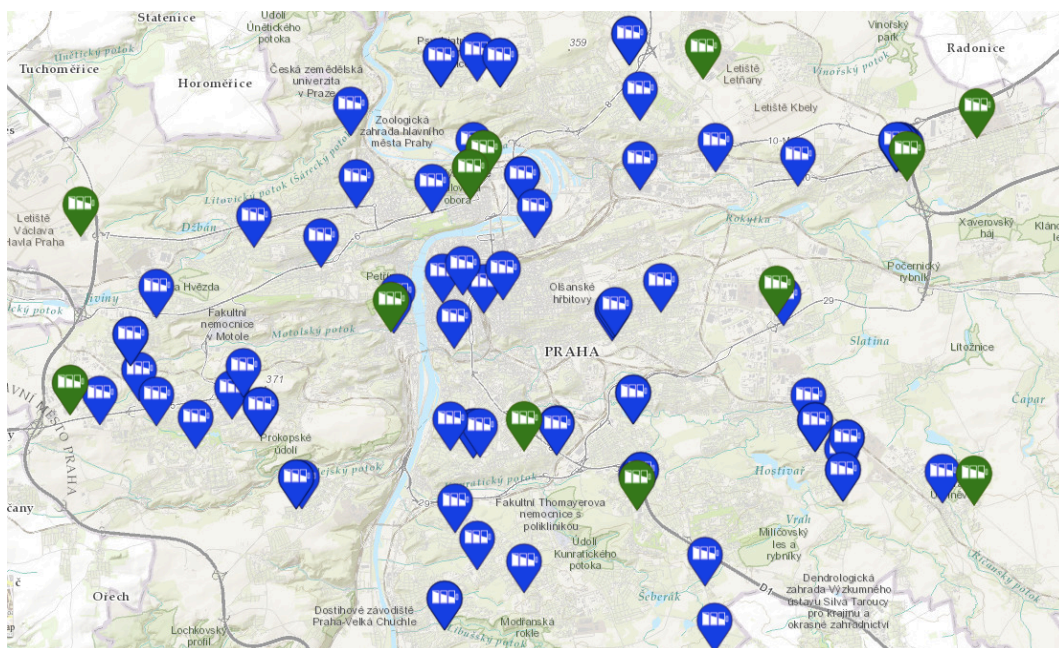
Obrázek č. 3: PRE dobíjecí stanice v ČR



Zdroj: (48)

Jak vyplývá z obrázku č. 3, PRE se soustředí primárně na Prahu a její okolí. Modrý zobáček značí klasickou, pomalejší stanici, zelený pak rychlou nabíječku s výkonem na 50 kW.

Obrázek č. 4: PRE dobíjecí stanice v Praze



Zdroj: (48)

Většina nabíječek v Praze je pomalejšího typu, tj. důsledek toho, že uživatelé EV v Praze většinou nebudou potřebovat tzv. tranzitní způsob nabíjení.

Skupina ČEZ

Skupina ČEZ v současné době provozuje více než 250 dobíjecích stanic po celé republice. V současnosti se jedná o největší síť stanic v ČR, od ledna do září 2020 proběhlo 143 000 dobití EV (49). Ve většině případů se jedná o stanice rychlonabíjecí stanice s výkony nad 50 kW, které jsou rozprostřené po celé ČR.

ČEZ udává zajímavost, že první veřejná „jaderná“ rychlodobíjecí stanice dobila za rok 2020 5,2 MWh energie, což by stačilo na ujetí 40 000 km, to znamená cestu kolem světa. Jadernou nabíjecí stanicí se mívá dobíječka v Dukovanech, která je napájena čistě jadernou energií z přilehlé elektrárny. Tato elektřina tedy nezatěžuje planetu žádnými skleníkovými plyny ani jinými emisemi (50).

Jelikož však ČEZ poskytuje služby převážně rychlých dobíjecích stanic, promítá se to i do ceny energie. ČEZ nabízí několik tarifů, ze kterých si zákazník může vybrat, komparaci provedu mezi nejsilnějším tarifem „TAXI“ a neregistrovaným uživatelem.

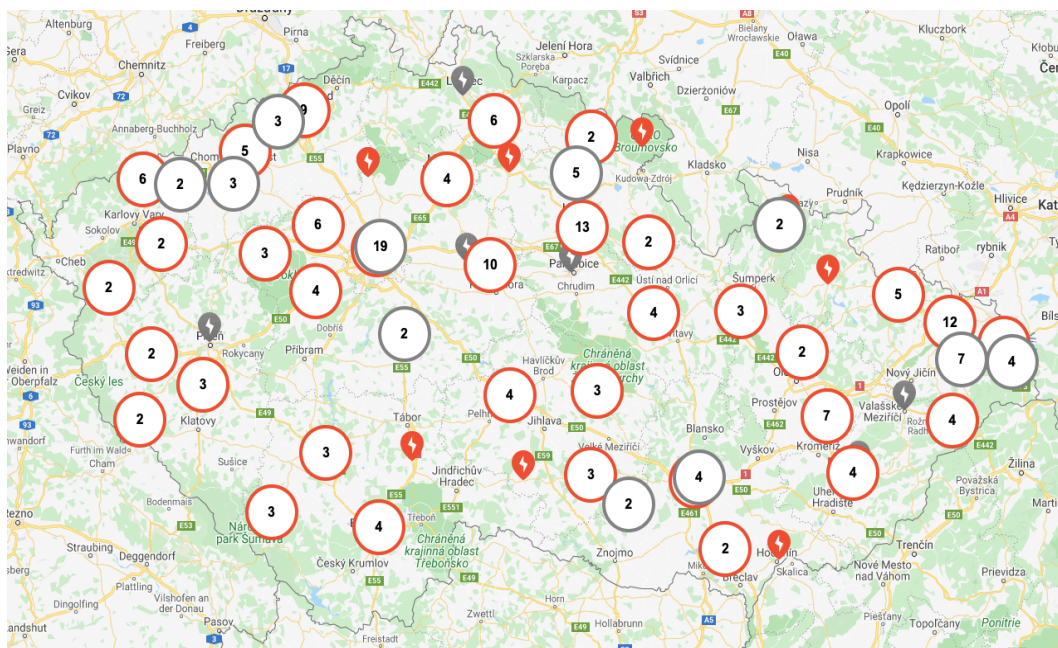
Tabulka č. 10: Ceník služeb ČEZ

	Měsíční paušál	Poplatek za odběr 1 kWh	Volné jednotky
Tarif TAXI	1 750 Kč	3,5 Kč	500
Neregistrovaný uživatel	0 Kč	9,5 Kč	0

Zdroj: (51), vlastní zpracování

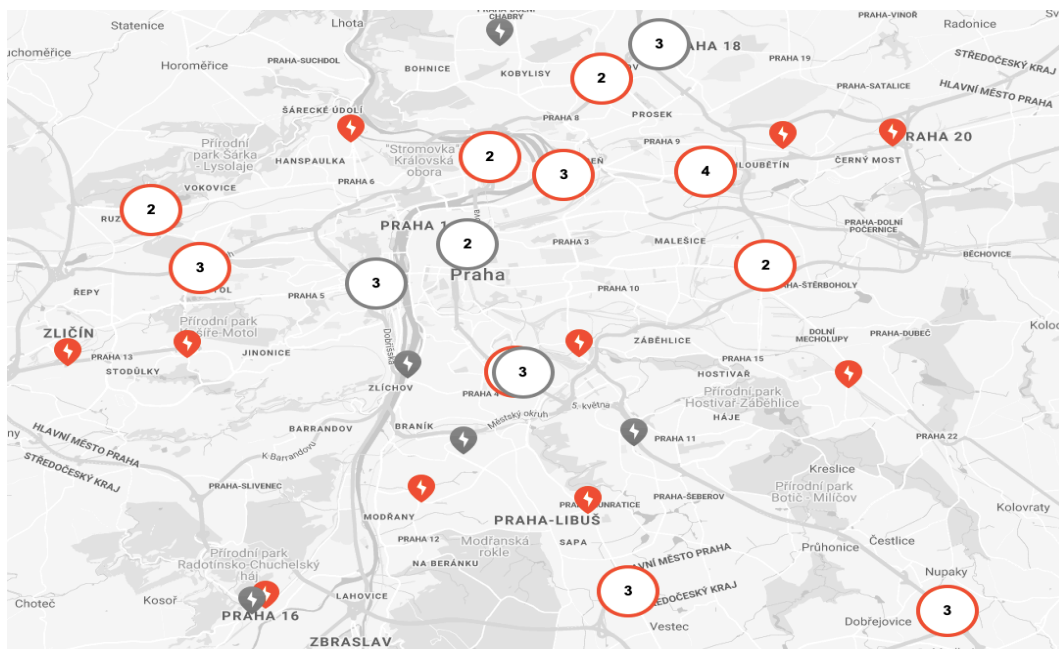
Volné jednotky znamenají počet předplacených kWh, které má uživatel měsíčně k dispozici, poplatek za 1 kWh se pak týče přečerpání předplaceného paušálu. Pro neregistrovaného řidiče by to znamenalo, že pokud by chtěl nabít svou novou Škody Enyaq iV 80 s kapacitou akumulátoru 82 kWh, zaplatil by 780 Kč. Maximální udávaný dojezd takového vozu je 460 km, se spotřebou 17,8 kWh/100 km. Při této taxě platí zákazník 1,7 Kč za ujetý kilometr. Na následujících obrázcích můžeme vidět současnou infrastrukturu dobíjecích stanic ČEZ. Je v jistém smyslu opačná proti PRE, jelikož většina stanic je rozmístěna po celé ČR a jedná se o rychlé dobíječky s vyšším výkonem. Stanice s šedým rámováním jsou pomalejší dobíječky, oranžový okraj pak znamená rychlou dobíječku se stejnosměrným proudem.

Obrázek č. 5: ČEZ dobíjecí stanice v ČR



Zdroj: (52)

Obrázek č. 6: ČEZ dobíjecí stanice v Praze



Zdroj: (52)

Státní podpora elektromobility

Státní podpora elektromobility v Česku není zdaleka tak štedrá jako například u našich západních sousedů či v Norsku. Některé výhody pro užívání BEV a PHEV však

evidujeme, např. za elektromobil se neplatí daň silniční. Elektřina pro běžnou spotřebu, tedy i nabíjení EV, je zatížena nižší spotřební daní než pohonné hmoty. Dále BEV a některé PHEV, jak je zmíněno výše, dosahují na speciální registrační značky se začátečními písmeny „EL“, v případě BEV se jedná o výhody parkování v rezidenčních (modrých) zónách a jízdy ve vyhrazených pruzích. Vozidla s touto značkou jsou rovněž osvobozena od registračního poplatku, u nás se v současné době jedná o 800 Kč. Držitelé těchto značek jsou rovněž ušetřeni dálničních poplatků, roční známka stojí 1 500 Kč (53).

Elektromobilita v Praze

Praha je největším městem ČR. V roce 2019 zde žilo 1 324 000 obyvatel, což bylo tehdy 12,4 % populace ČR a město se podílelo na HDP země z 27,2 % (54). Geograficky jí náleží pozice v pevném středu Čech, je tedy i významným dopravním uzlem. I z těchto důvodů lze usuzovat, že rozvoj elektromobility právě v tomto městě bude nejintenzivnější.

Současný stav

Pražská integrovaná doprava (PID) každoročně přepraví 1,3 miliardy cestujících (údaj před dobou globální pandemie Covid-19). Každý den obslouží přibližně 1,8 milionu návštěvníků města. Kolem 30 % cestujících přepraví autobusy, metro a tramvaje, o zbytek se stará železnice, pak o minimální počet cestujících přívozy a lanovky (55).

K 30. 9. 2020 bylo v celé ČR registrováno 5 542 BEV vozidel, z toho 2 365 právě v Praze, tj. 42,7 % (56). Praha se zavázala v Klimatickém závazku Hl. m. Prahy, že v horizontu 20 let (2010 až 2030) sníží emise CO₂ o 45 %. Zároveň chce dosáhnout uhlíkové neutrality v roce 2050.

Nyní se Praha však soustředí na tzv. „velkou elektromobilitu“, totiž autobusovou dopravu, která je v městské zástavbě méně efektivní. V Praze se totiž přepraví po tzv. elektrické trakci 75 % cestujících a k tomu je zapotřebí pouze 65 % výkonů energie. Zbylých 35 % výkonů putuje k autobusům, lanovkám a přívozům (57).

E-trakce je tak výkonově i emisně efektivnější. Je logické, že město řeší právě emise svého vozového parku, nad nimi má totiž největší možnou kontrolu. Samozřejmě lze stimulovat poptávku po osobních automobilech BEV a PHEV i jinými způsoby, má-li však Praha snížit své emise v dohledné době, musí první kroky učinit sama ve svém vozovém parku. Praha se připravuje na Clean vehicle directive, což je nařízení Evropské komise, které udává, že od roku 2025 je nutno pořizovat 60 % nových vozidel v „čistém standardu“. Z těchto 60 % nových vozů má pak být polovina zcela bezemisních a druhá polovina pouze čistých vozů (57).

Vize pražské elektromobility

Právě z důvodu snižování emisí Praha činí pokusy o implementaci parciálních trolejbusů a výhledově i hybridních autobusů do stálých linek. V současné době toho budiž důkazem elektrifikace linky 140 či linky 119, která vozí cestující na ruzyňské letiště. Praha má rovněž v plánu zakoupit 140 kusů hybridních autobusů, od kterých si slibuje snížení emisí o 25 % bez nutnosti investic do infrastruktury (57).

Co se však veřejné dobíjecí infrastruktury pro uživatele EV týče, má Praha rovněž přichystané řešení. Pracuje se třemi scénáři, vysoký, střední a nízký. Ve vysokém scénáři se uvažuje až 200 000 BEV a 80 000 PHEV v ulicích Prahy. Pro ně by pak bylo připraveno 7 000 dobíjecích stanic a 12 rychlonabíjecích hubů.

Střední scénář, který je považován za variantu pravdě nejpodobnější, eviduje 130 000 BEV a až 60 000 PHEV vozidel v ulicích města. Obsloužit je má 4 500 nabíjecích stanic a 8 rychlonabíjecích hubů.

Nízký scénář pak počítá s 60 000 BEV a do 20 000 PHEV. Rychlonabíjecí huby budou 4 a klasických stanic bude pouze 2 000 (57). Tisícovky zmiňovaných nabíjecích stanic mají být rezidenčního typu, tedy parkovací stanice s nízkým výkonem.

Řešením tohoto problému mají být i z části tzv. EV ready lampy. Jsou to speciálně upravené lampy veřejného osvětlení (VO), které budou schopné poskytnout elektrickou energii až dvěma zaparkovaným EV v dosahu. V roce 2020 již bylo vylepšeno 13 lamp na EV ready platformu, nacházejí se na Vinohradech. Potenciál této technologie je až 3 000 takto modifikovaných jednotek VO. V letošním roce 2021 by mělo ve městě přibýt přes 300 takovýchto lamp, je však otázkou, zda Praha v současné situaci pandemie může alokovat potřebné finanční prostředky (58).

Obrázek č. 7: EV ready lampa na Vinohradech



Zdroj: (59)

Výhledově je ovšem i velmi důležité zajistit, aby EV zapojena v těchto stanicích bylo možné nabíjet koordinovaně. Pokud se kolem páté hodiny odpolední zapojí do všech dostupných stanic EV, nastane velký nápor na síť, a to může mít vliv i směrem k ceně elektřiny. Pokud ovšem bude využíváno systému „smart chargingu V2G“ (Vehicle-to-Grid), může naopak elektřina v akumulátorech EV pomoci distribuční síti při sycení poptávky po elektrické energii v domácnostech a teprve poté v noci, kdy je elektřina nejlevnější, nabít svůj vlastní akumulátor. Tento systém zajistí nejen cenovou stálost elektřiny, ale pomůže i stabilitě její distribuce (60). Ačkoliv v rámci teorií se jedná o téměř spásné řešení, je třeba vyřešit otázky technického provedení či ekonomických aspektů.

Vlastní práce

Jako téma pro praktickou část práce jsem si vybral vícekritériální analýzu variant (VAV). V této části budu pracovat s daty o EV a ICEV a zvolenou metodou doporučím kompromisní řešení daného problému. VAV pracuje s konkrétními daty o variantách, varianty v našem případě znamenají automobily, a tato data mezi sebou porovnává na základě zvolené metody a tzv. váhy kritéria. Kritéria jsou v našem případě jednotlivé disciplíny, ve kterých se vozy porovnávají, může to být např. cena či maximální výkon pohonné jednotky. Váha kritéria pak kvantifikuje důležitost vybraného kritéria.

Výsledkem VAV je pak doporučení jedné z variant jako tzv. kompromisní varianty, tedy nejlepší varianty při zahrnutí všech zohledněných kritérií a jejich vah.

Východiska

Na začátek je nutné uvést, jak problém koncipovat. Při řešení zadané úlohy budu při sestavování vah kritérií vycházet z perspektivy uživatele automobilu. Či že ačkoliv jsou ekologičnost a dodržování emisních limitů v globálním měřítku velmi důležité, běžný uživatel by spíše preferoval nižší provozní náklady vozidla než jeho šetrnost k životnímu prostředí. V rámci řešení problému výběru z řady EV a ICEV vozidel tedy přihlédnu k některým možným faktorům, které ovlivňují rozhodování zájemce o nový vůz.

Kritéria

Pro účely mé práce volím následující kritéria: cena vozu [Kč], maximální výkon pohonné jednotky [kW], provozní náklady na 100 km [Kč] (PN/100), maximální možný dojezd s plnou nádrží / akumulátorem [km] (MD), objem zavazadlového prostoru [l] (OZP), lokální emise CO₂ [g/km] (E CO₂) a zrychlení z 0–100 km/h [s] (Z 0-100). Cena je zde určena bez DPH.

Provozní náklady budou jednotlivě propočítány pro každé vozidlo. Pro vozidla se spalovacími motory využiji sazby cestovních náhrad benzinu či nafty z roku 2020. Pro vozidla s elektrickým pohonem pak budu předpokládat členství u skupiny PRE, kdy se za

jednotku kWh platí 2,5 Kč. Cena benzínu činila 32 Kč/litr a cena nafty pak 31,8 Kč/litr (61).

Samozřejmě při výběru nového vozidla hraje velkou roli i vzhled vozu, pověst značky, osobní preference kupce a velké množství jiných kritérií. Jelikož jsou však tyto proměnné těžko kvantifikovatelné a ze zásady subjektivní, nebude je v tomto příkladu zohledňovat. Kritérium, které by však bylo vhodné zahrnout do rozhodování je kritérium bezpečnosti. Jelikož však většina vybraných vozů dosáhla nejvyšších hodnocení v testech Euro NCAP, je toto kritérium pro tento příklad nepodstatné.

Varianty

Variantami jsou v našem případě konkrétní vozy. Výše byly zmíněny některé automobily s elektrickým pohonem, aby však práce srovnávala výhody a nevýhody EV a ICEV, je nutné zařadit do výběru variant i ICEV vozidla.

Nejprodávanejším vozem v roce 2020 byla Škoda Octavia, která zaznamenala 9,41 % registrací. V posledních letech rovněž zaznamenává vzestup trh s SUV vozy, dalším kandidátem tedy bude i Škoda Karoq, která vloni uzmula necelá 4 % trhu. Posledním ICEV zastoupeným v problému bude Toyota Yaris. Malý městský automobil se stal 15. nejprodávanejším vozem uplynulého roku (12).

Tabulka č. 11: Škoda Octavia data

Škoda Octavia 2,0 TDI	
Cena [Kč]	612 900
Výkon [kW]	85
Spotřeba paliva [l/100 km]	3,5
Dojezd [km]	1 200
Akcelerace 0–100 km/h [s]	10,3
Velikost zavazadlového prostoru [l]	600
Lokální emise CO ₂ [g/km]	102

Zdroj: (62), vlastní zpracování

Tabulka č. 12: Škoda Karoq data

Škoda Karoq 2,0 TDI	
----------------------------	--

Cena [Kč]	804 900
Výkon [kW]	1101
Spotřeba paliva [l/100 km]	5
Dojezd [km]	1 000
Akcelerace 0–100 km/h [s]	8,6
Velikost zavazadlového prostoru [l]	521
Lokální emise CO ₂ [g/km]	130

Zdroj: (63), vlastní zpracování

Tabulka č. 13: Toyota Yaris data

Toyota Yaris 1,5 Dynamic Force	
Cena [Kč]	380 000
Výkon [kW]	92
Spotřeba paliva [l/100 km]	5,2
Dojezd [km]	770
Akcelerace 0–100 km/h [s]	9
Velikost zavazadlového prostoru [l]	286
Lokální emise CO ₂ [g/km]	122

Zdroj: (64), vlastní zpracování

Metody

V praktické části byly užity celkem 3 metody. Jedná se o metodu pořadí, Saatyho metodu a pak metodu TOPSIS, z angličtiny Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, čili metodu, která seřazuje varianty podle vzdálenosti od nejhorší, tzv. bazální varianty. Metoda pořadí byla použita při tvorbě vah kritérií pro výsledky dotazníkového šetření preferencí. Saatyho metoda pak byla použita rovněž pro tvorbu vah kritérií, v tomto případě však pro subjektivní pohled řešitele. Metodou TOPSIS byl pak řešen příklad pro obě varianty, jak dotazníkovou, tak subjektivní.

Příklad – stanovení vah kritérií

Problém má simulovat předkupní fázi výběru nového vozu, totiž analýzu možných variant a poukázání na kompromisní doporučené řešení. Příklad pracuje s 10 variantami vozů a se 7 kritérii. Problém byl rozpracován dvěma způsoby. Rozdíl mezi zpracováními

je ve vahách kritérií. Jedna hodnota kritérií byla stanovena řešitelem, druhá pak byla odvozena z dotazníkového šetření.

Tabulka č.14: Sloučená tabulka sledovaných dat všech zvolených vozů

Varianty	Cena [tis. Kč]	Výkon [kW]	OZP [l]	PN/100 km [Kč]	MD [km]	E CO2 [g/km]	Z 0- 100 [s]
Renault ZOE R110 52 kWh	845,0	80	338	43	395	0	11,4
Škoda Enyaq iV 60	1 059,0	132	585	41,5	390	0	8,7
Tesla Model 3 standard range	1 324,9	239	542	37,25	448	0	5,6
BMW i3 Range Extender	975,0	125	260	54,45	300	13	8,1
Toyota Prius Hybrid	810,9	90	501	147,2	900	94	10,8
Mercedes-Benz A 250e	995,8	160	310	89,45	650	24	6,6
Volkswagen Golf PHEV	881,9	150	272	69,1	850	29	7,6
Škoda Octavia 2,0 TDI	612,9	85	600	111,3	1 200	102	10,3
Škoda Karoq 2,0 TDI	804,9	110	521	159	1 000	130	8,6
Toyota Yaris 1,5	380,0	92	286	166,4	770	122	9

Zdroj: (10), (11), (13), (14), (16), (17), (20), (22), (23), (24), (26), (28), (62), (63), (64), vlastní zpracování

Tabulka č. 14 shrnuje údaje o všech 10 variantách. Pro úplnost je nutné tabulku doplnit o výpočet provozních nákladů na 100 ujetých km. Cena za benzin činila 32 Kč/litr, cena za naftu pak 31,8 Kč/litr a 1 kWh je kompenzována tarifem od PRE při ceně 2,5 Kč za jednotku. Tyto náklady tak představují pouze hodnotu, kolik stojí energie spotřebovaná na 100 ujetých kilometrů.

Tabulka č. 15: Výpočet nákladů na 100 ujetých km

varianty	Benzin	Nafta	Elektřina	Spotřeba el. Energie kWh/100 km	Spotřeba paliva /100 km [l]	PN 100/km
Renault ZOE	NE	NE	ANO	17,2	0	43
Škoda Enyaq	NE	NE	ANO	16,6	0	41,5
Tesla Model 3	NE	NE	ANO	14,9	0	37,25
BMW i3	ANO	NE	ANO	14,1	0,6	54,45
Toyota Prius	ANO	NE	NE	0	4,6	147,2
Mercedes-Benz A	ANO	NE	ANO	15,3	1,6	89,45

Volkswagen Golf	ANO	NE	ANO	11	1,3	69,1
Škoda Octavia	NE	ANO	NE	0	3,5	111,3
Škoda Karoq	NE	ANO	NE	0	5	159
Toyota Yaris	ANO	NE	NE	5,2	0	166,4

Zdroj: (61), vlastní zpracování

Aby však mohla být úloha řešena, je nutné stanovit váhy zvolených kritérií. V prvním případě byla vypracována Saatyho metoda. Jedná se o komplexnější prošetření kritérií, která jsou stavena v souboji důležitosti proti sobě řádek se sloupcem. Do tabulky se postupně zadávají preference. Preference můžeme vyjádřit na škále od 1 do 9, kdy číslo 1 značí rovnocennost obou kritérií, zatímco číslo 9 indikuje absolutní preferenci před srovnávaným kritériem. Ku příkladu vezměme řádek „cena“. Jako první srovnáváme cenu s cenou. Tato kritéria jsou identická. Pokud srovnáváme identická kritéria obdrží vždy při hodnocení číslo 1. Číslo 1 značí indiferenci, nikdy nám tak nevstoupí do řešení. Dále je srovnávána cena s výkonem. Zde obdržela cena číslo 7, je tedy velmi silně preferována před kritériem výkonu. Aby byla zachována konzistence a metoda byla provedena správně, musí se tato obdržaná 7 promítnout i ve zpětném hodnocení výkonu vůči ceně. Když totiž pohlédneme do řádku „výkon“, vidíme, že je v prvním sloupci porovnáván s cenou. Hodnota zde je 1/7, je to tedy vždy převrácená hodnota oproti původní preferenci. Tímto zlomkem naopak značíme, že preferovaným kritériem je právě to druhé, srovnávané. Kritérium cena rovněž obdrželo absolutní preferenci před kritériem maximálního dojezdu. Výsledných vah kritérií je pak dosaženo pomocí geometrického průměru. Každý řádek je podroben geometrickému průměru. Průměry se posléze sečtou a výsledná váha kritéria je pak podílem geometrického průměru daného kritéria ku sumě geometrických průměrů. Suma výsledných vah musí být rovna 1.

Tabulka č. 16: Výpočet vah kritérií Saatyho metodou

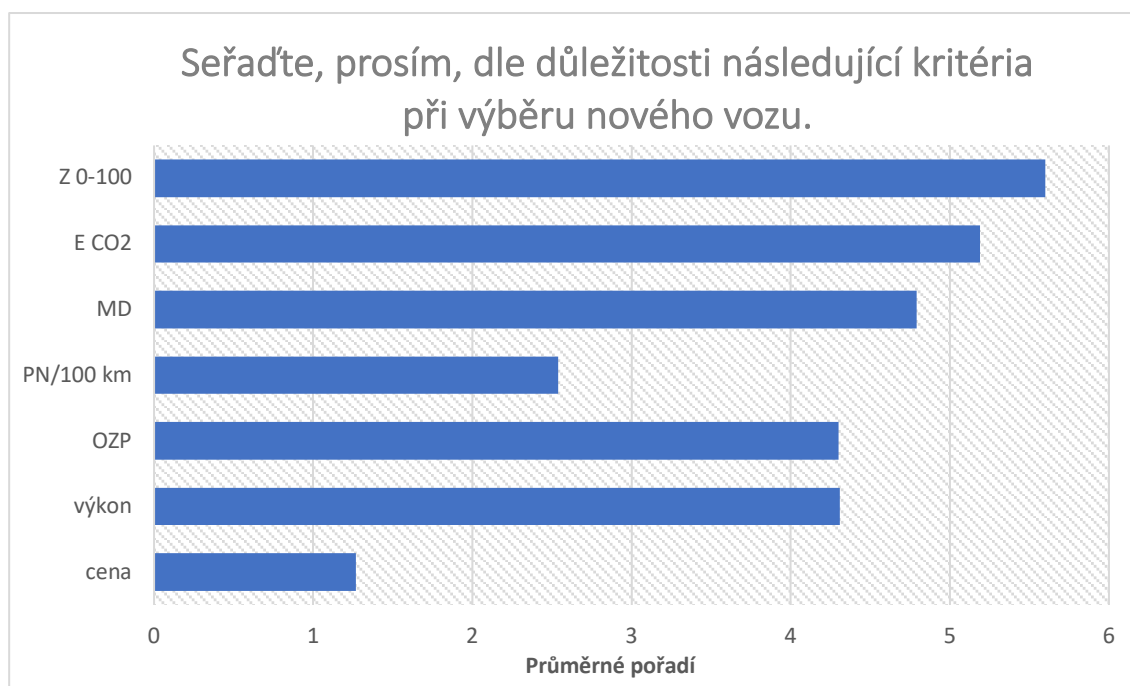
Matice vah kritérií Saaty	Cena	Výkon	OZP	PN/100	MD	E CO2	Z 0-100	Geom. Průměr	Výsledné váhy
Cena	1	7	5	3	9	5	9	4,58389756	0,404
Výkon	1/7	1	1/5	1/7	1/3	1/7	1	0,29498646	0,026
OZP	1/5	5	1	1/5	3	1/3	5	1	0,088
PN 100	1/3	7	5	1	7	3	7	2,89759532	0,256

MD	1/9	3	1/3	1/7	1	1/5	5	0,55328813	0,049
E CO2	1/5	7	3	1/3	5	1	7	1,74363903	0,154
Z 0-100	1/9	1	1/5	1/7	1/5	1/7	1	0,26455583	0,023
Suma								11,3379623	1,000

Zdroj: vlastní zpracování

Druhý zvolený způsob stanovení vah kritérií vychází z dotazníkového šetření. Respondentům byla položena jediná otázka. Šetření se zúčastnilo 70 osob.

Obrázek č. 8: Dotazníková otázka



Zdroj: vlastní dotazníkové šetření

Respondenti měli za úkol seřadit kritéria dle důležitosti, čím nižší číslo, tím důležitější dané kritérium je. Výstupem 70 odpovědí je tak průměrné pořadí kritérií. Rozhodujícím faktorem pro většinu z respondentů byla cena, která zaznamenala průměrné pořadí 1,27. Na druhém místě za cenou zůstávají náklady na 100 ujetých km s průměrným pořadím 2,54. Vzhledem k vzrůstajícímu důrazu na ekologičnost vozů se oproti očekávání překvapivě na předposlední příčce umístilo kritérium emisí CO2 s průměrným pořadím 5,19. Výpočet vah kritérií probíhal následovně.

Tabulka č. 17: Výpočet vah kritérií metodou pořadí

Dotazník preferencí	průměrné pořadí	podíl	konečná váha kritéria
---------------------	-----------------	-------	-----------------------

Cena	1,27	0,045	0,200
Výkon	4,31	0,154	0,154
OZP	4,3	0,154	0,171
PN 100	2,54	0,091	0,185
MD	4,79	0,171	0,154
E CO2	5,19	0,185	0,091
Z 0-100	5,6	0,200	0,045
Suma	28	1,000	1,000

Zdroj: vlastní dotazníkové šetření

Nejprve sečteme hodnoty průměrných pořadí. Posléze každou individuální hodnotu průměrného pořadí podělíme se sumou průměrů. V této chvíli jsme již skoro hotovi, jelikož už nám vychází podíly, které se po jediné úpravě již stanou opravdovými vahami. Nyní, jelikož se jedná o metodu pořadí a nejnižší hodnota je nejdůležitější, se podíly obrátí. Tedy Z 0-100, kritérium, které zaznamenalo vůbec nejhorší průměrné pořadí, má největší podíl 0,2. Skutečná váha tohoto kritéria je však daleko nižší a našli bychom ji právě u nejspěšnějšího kritéria z dotazníku, ceny. Podíly se tak zamění podle konečného umístění v žebříčku průměrného pořadí, první kritérium cena bere největší podíl od Z 0-100, dále druhé PN 100 vezmou podíl od E CO2 atd. Rovněž je nutné, aby se suma konečných vah kritérií rovnala 1. Metoda pořadí je však metodou málo efektivní. Jasný vítěz dotazníku, cena, má váhu pouze 0,2, ačkoliv OZP, který měl průměrné pořadí až 4,3, má stále poměrně důstojnou hodnotu 0,171.

Příklad – propočet metodou TOPSIS

TOPSIS je metoda, která je vnímána jako geometrický systém s počtem m bodů v n -rozměrném prostoru. Doporučená kompromisní varianta tak má největší možnou vzdálenost od nejhorší, bazální, varianty a nejmenší možnou vzdálenost od varianty ideální. Bazální varianta je určena selekcí nejhorších výsledků kritérií daných variant a jejich kombinací. Ideální varianta je určena naopak, ze všech kritérií variant jsou vybrány pouze nejlepší hodnoty (65).

Metoda se skládá z šesti kroků. Nejprve je nutné předložit výchozí tabulku, která obsahuje zkoumaná data. V našem případě se jedná o tabulku 14. Posléze je užito vzorce,

kterým se tabulka normalizuje. Normalizovaného r_{ij} je dosaženo podílem jednotlivých hodnot kritérií ku odmocnině ze sumy všech umocněních hodnot kritérií.

Rovnice č. 1: TOPSIS vzorec pro normalizaci

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Zdroj: (65)

Užitím tohoto vzorce získáme následující normovanou tabulku č. 18. Hodnoty, se kterými budeme následně pracovat, už nemají žádné jednotky, těch byly zbaveny normováním.

Tabulka č. 18: TOPSIS normovaná tabulka „r“ užitím rovnice č. 1

varianty	cena	výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Renault ZOE	0,2962	0,1883	0,2419	0,1310	0,1671	0,0000	0,4078
Škoda Enyaq	0,3713	0,3106	0,4187	0,1264	0,1650	0,0000	0,3112
Tesla Model 3	0,4645	0,5625	0,3879	0,1135	0,1895	0,0000	0,2003
BMW i3	0,3418	0,2942	0,1861	0,1659	0,1269	0,0567	0,2897
Toyota Prius	0,2843	0,2118	0,3586	0,4485	0,3808	0,4098	0,3863
Mercedes-Benz A	0,3491	0,3765	0,2219	0,2725	0,2750	0,1046	0,2361
Volkswagen Golf	0,3092	0,3530	0,1947	0,2105	0,3596	0,1264	0,2718
Škoda Octavia	0,2149	0,2000	0,4294	0,3391	0,5077	0,4447	0,3684
Škoda Karoq	0,2822	0,2589	0,3729	0,4844	0,4231	0,5668	0,3076
Toyota Yaris	0,1332	0,2165	0,2047	0,5070	0,3258	0,5319	0,3219

Zdroj: vlastní zpracování

Do této chvíle probíhají obě řešení příkladu stejně, výchozí tabulka je totiž identická pro oba případy. V následujícím kroku se však hodnoty začnou lišit. Nyní totiž vstoupí do procesu váhy kritérií. Jelikož byly váhy určeny různými metodami, nabývají odlišných hodnot. Po znormování výchozí tabulky hledáme totiž váženou normovanou hodnotu.

Rovnice 2 TOPSIS vzorec pro výpočet vážené normované tabulky

$$v_{ij} = w_j * r_{ij}$$

Zdroj: (65)

Proces získávání výsledných vah kritérií je vysvětlen v předchozí kapitole. Nyní však získáme v_{ij} , tedy vážené normované hodnoty, vynásobením r_{ij} jednotlivými vahami kritérií. Pro Saatyho metodu stanovení vah vyšly následující hodnoty.

Tabulka č. 19: TOPSIS tabulka „v“ pro Saatyho metodu užitím rovnice č. 2

varianty	cena	výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Renault ZOE	0,1197	0,0049	0,0213	0,0347	0,0082	0,0000	0,0094
Škoda Enyaq	0,1500	0,0081	0,0368	0,0335	0,0081	0,0000	0,0072
Tesla Model 3	0,1877	0,0146	0,0341	0,0301	0,0093	0,0000	0,0046
BMW i3	0,1381	0,0076	0,0164	0,0440	0,0062	0,0087	0,0067
Toyota Prius	0,1149	0,0055	0,0316	0,1188	0,0187	0,0631	0,0089
Mercedes-Benz A	0,1410	0,0098	0,0195	0,0722	0,0135	0,0161	0,0054
Volkswagen Golf	0,1249	0,0092	0,0171	0,0558	0,0176	0,0195	0,0063
Škoda Octavia	0,0868	0,0052	0,0378	0,0899	0,0249	0,0685	0,0085
Škoda Karoq	0,1140	0,0067	0,0328	0,1284	0,0207	0,0873	0,0071
Toyota Yaris	0,0538	0,0056	0,0180	0,1344	0,0160	0,0819	0,0074
Váhy	0,404	0,026	0,088	0,265	0,049	0,154	0,023

Zdroj: vlastní zpracování

Pro váhy stanovené dotazníkovým šetřením pak vychází samozřejmě jiná data. Je to dáno tím, že hodnoty vah kritérií jsou nastavené odlišně.

Tabulka č. 20: TOPSIS tabulka „v“ pro metodu pořadí užitím rovnice č. 2

varianty	cena	výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Renault ZOE	0,0592	0,0290	0,0414	0,0242	0,0257	0,0000	0,0183
Škoda Enyaq	0,0743	0,0478	0,0716	0,0234	0,0254	0,0000	0,0140
Tesla Model 3	0,0929	0,0866	0,0663	0,0210	0,0292	0,0000	0,0090
BMW i3	0,0684	0,0453	0,0318	0,0307	0,0195	0,0052	0,0130
Toyota Prius	0,0569	0,0326	0,0613	0,0830	0,0586	0,0373	0,0174
Mercedes-Benz A	0,0698	0,0580	0,0379	0,0504	0,0424	0,0095	0,0106

Volkswagen Golf	0,0618	0,0544	0,0333	0,0389	0,0554	0,0115	0,0122
Škoda Octavia	0,0430	0,0308	0,0734	0,0627	0,0782	0,0405	0,0166
Škoda Karoq	0,0564	0,0399	0,0638	0,0896	0,0652	0,0516	0,0138
Toyota Yaris	0,0266	0,0333	0,0350	0,0938	0,0502	0,0484	0,0145
Váhy	0,2	0,154	0,171	0,185	0,154	0,091	0,045

Zdroj: vlastní zpracování

S takto znormovanými a zváženými daty se můžeme přesunout k dalšímu kroku metody TOPSIS.

Navazující krok hledá ideální a bazální variantu. V tomto kroku již vstupuje do uvažování i charakter kritéria. Charakter může být buď maximalizující (MAX) či minimalizující (MIN). Příkladem kritéria MAX je výkon, čím větším výkonem vůz disponuje, tím lépe. Úplně klasickým příkladem MIN charakteru je kritérium ceny, tu pochopitelně z pohledu uživatele chceme co nejmenší. Nyní tedy přemýšlíme nad zváženou normovanou tabulkou a hledáme podle charakteru kritéria ideální a bazální varianty.

Tabulka č. 21 popisuje tyto varianty pro příklad vycházející ze Saatyho metody. Příkladem budiž první kritérium, cena. Hodnota nelepší varianty kritéria je 0,0538, kterou bychom našli u Toyoty Yaris. Nejhorší varianta má pak hodnotu 0,1877, která je k nalezení u vozu značky Tesla. Ideální variantou je v tomto případě menší číslo, jelikož charakter kritéria je MIN. Naopak u kritéria OZP je charakter MAX čili hodnota pro nejlepší variantu je 0,0378, která patří ke Škodě Octavii, zatímco nejmenším objemem zavazadlového prostoru disponuje BMW i3, které dosáhlo na hodnotu pouze 0,0164. Pro úplnost je nutné podotknout, že tyto hledané ideální a bazální varianty jsou tedy fiktivní. Kalkulují pouze s nejlepšími a nejhoršími možnými výsledky.

Tabulka č. 21: TOPSIS hledání ideální a bazální varianty, Saatyho příklad

	cena	výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Váhy	0,404	0,026	0,088	0,265	0,049	0,154	0,023
Povaha kritéria	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MIN
Nejlepší varianta v*	0,0538	0,0146	0,0378	0,0301	0,0249	0,0000	0,0046
Nejhorší varianta v-	0,1877	0,0049	0,0164	0,1344	0,0062	0,0873	0,0094

Zdroj: vlastní zpracování

Následující tabulka pro druhé zadání pracuje na stejném principu, jen se proměňují data v tabulce. „Vítězové a poražení“ však zůstávají stejní, pokud připadla ideální varianta ceny Toyotě Yaris, bude v této kategorii nejlepší variantou i zde. V této tabulce činí rozdíl v hodnotách právě stanovená váha kritérií.

Tabulka č. 22: TOPSIS hledání ideální a bazální varianty, příklad pořadí

	cena	výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Váhy	0,2	0,154	0,171	0,185	0,154	0,091	0,045
Povaha Kritéria	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MIN
Nejlepší varianta v*	0,0266	0,0866	0,0734	0,0210	0,0782	0,0000	0,0090
Nejhorší varianta v-	0,0929	0,0290	0,0318	0,0938	0,0195	0,0516	0,0183

Zdroj: vlastní zpracování

Nyní se budeme zabývat výpočtem vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Každá varianta je podrobena dvojici vzorců, jejichž cílem je prozkoumat, jak moc se blíží zkoumaným nejlepším a nejhorším variantám.

Rovnice č. 3: TOPSIS vzorec pro výpočet vzdálenosti od ideální varianty

$$S^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

Zdroj: (65)

Rovnice č. 4: TOPSIS vzorec pro výpočet vzdálenosti od bazální varianty

$$S^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Zdroj: (65)

Aplikací těchto vzorců počítáme euklideánskou vzdálenost jednotlivých variant od ideální a bazální varianty (66). Dostáváme se na téměř samotný konec metody. Každé variantě je tedy přiřazen další sloupec S^* a S^- .

K určení kompromisní varianty tak chybí už jen aplikace posledního vzorce. Tento vzorec, vyjádřený níže, měří podobnost varianty k ideálnímu řešení. Výsledkem celého našeho snažení je tedy sloupec C^* , v němž hledáme maximální hodnotu, jinými slovy maximální podobnost ideální variantě. Celkové výsledky a hodnocení analytické části práce jsou k prostudování v kapitole Výsledky a diskuse.

Rovnice č. 5: TOPSIS vzorec pro výpočet podobnosti s ideální variantou

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* - S_i^-)}$$

Zdroj: (65)

Výsledky a diskuse

V následující kapitole se budu zabývat rozбором výsledků analytické části. Nejprve zhodnotím metody a výsledky z části stanovení vah kritérií a posléze okomentuji výstupy získané metodou TOPSIS, na jejichž základě proběhne doporučení kompromisní varianty. Posléze provedu srovnání výstupů užitých metod.

Metody získání vah kritérií

K získání vah kritérií bylo užito dvou metod. První metoda se nazývá Saatyho metoda. Je to metoda, která umožňuje řešiteli poměrně výrazně vyjádřit své subjektivní preference a adekvátně je podle nich kvantifikovat. Druhou metodou byla metoda pořadí. Tato metoda je velmi základní, a tím pádem i výrazně nepřesná. Na následující tabulce vysvětlím rozdíly mezi získanými vahami kritérií.

Tabulka č. 23: Porovnání hodnot vah kritérií podle zvolené metody

Váhy	Cena	Výkon	OZP	PN/100 km	MD	E CO2	Z 0-100
Saatyho metoda	0,404	0,026	0,088	0,256	0,049	0,154	0,023
metoda pořadí	0,200	0,154	0,171	0,185	0,154	0,091	0,045

Zdroj: vlastní zpracování

Je zřejmé, že hodnoty u Saatyho metody nabývají „extrémnějších“ hodnot než u metody pořadí. Uvedu příklad na kritériu cena.

V tabulce č. 16, kde jsou uvedeny konkrétní hodnoty pro Saatyho metodu, vidíme, že kritérium cena bylo vždy, ať už slabě či absolutně, preferováno před druhým, srovnávaným kritériem. Bylo za to také odměněno velmi silnou hodnotou váhy 0,404. I v případě metody pořadí bylo kritérium ceny ustanoveno nejdůležitějším kritériem. Cena se totiž umístila v průměrném pořadí 1,27, tzn., že pro valnou většinu respondentů se jednalo o nejdůležitější kritérium. Pro ilustraci druhé v pořadí byly až provozní náklady, které drží hodnotu 2,54. Rozdíl je tedy poměrně značný. Váha kritéria cena pro metodu pořadí však vychází na pouhých 0,2. Váha je tedy bezmála poloviční oproti váze stanovené Saatyho metodou.

Druhým příkladem, extrémnějším, je pak kategorie výkonu. Z tabulky 16 je zřejmé, že kritérium výkonu bylo vždy upozaděno před srovnávaným kritériem, pouze v jednom případě bylo indiferentní vůči akceleraci vozidla 0-100 km/h. Kritérium tak má pouze muší váhu 0,026. Zatímco v případě metody stanovení vah pořadím má výkon velmi solidní váhu 0,154. Tento nepoměr je dán tím, že metoda pořadí není tak citlivá k osobním preferencím, její hodnoty nenabývají takový rozptyl. Nejvyšší hodnota u metody pořadí je 0,2 a nejnižší 0,045. Naopak u Saatyho metody jsou systémem preference každého kritéria proti každému váhy stanoveny přísněji, nejvyšší hodnota je 0,404 a nejnižší 0,023. V případě metody pořadí nabývá nejnižší hodnota solidních 22,5 % nejvyšší hodnoty, zatímco pro Saatyho metodu je to 5,7 %.

Metoda pořadí je tedy tolerantnější v tom smyslu, že pokud varianta dosahuje nejhoršího výsledku v jedné kategorii, může dohnat ztrátu v jiných, pro danou variantu solidnějších, kategoriích. Právě naopak pro příklad počítaný Saatyho metodou je pro varianty, které v kritériu cena nedosáhly nejlepších výsledků, těžké tuto ztrátu umazat, jelikož ke kritériím, ve kterých dané varianty vynikají, není přikládána dostatečná váha.

Výsledky užití metody TOPSIS

V této kapitole rozeberu výsledky řešených problémů, uvedu pro obě metody stanovení vah kritérií kompromisní varianty a provedu deskripci odlišností výsledků obou variant.

Rozbor výsledků pro Saatyho metodu

Kompromisní variantou se pro příklad vycházející ze Saatyho metody stává Renault ZOE. Co se týče ceny, jakožto pro tento příklad rozhodujícího kritéria, se ZOE pohybuje prakticky v průměru zvoleného vozového parku. Jeho cena začíná na 845 tisících Kč, průměrná cena všech zvolených vozů je pak 869 tisíc Kč. Paradoxně je ZOE nejhorším vozem ve dvou kritériích, a to sice ve výkonu a zrychlení 0-100 km/h. Při tomto rozložení vah kritérií to však nevádí, jelikož váha těchto dvou kritérií je dohromady pouhých 0,049. Malý Renault však dosahoval výborných výsledků v sekci emisí CO₂ a v kritériu provozních nákladů. V těchto dvou kritériích ovšem dosahují nejlepších hodnocení vozy BEV. Nad nimi se však Renaultu podařilo zvítězit právě kvůli své ceně.

Druhým v pořadí stojí Volkswagen Golf. Tento PHEV vůz si vedl velmi solidně ve všech kategoriích, na vítězství to však nestačilo. Klíčové jsou zde kategorie emisí a provozních nákladů, kde se PHEV nemůže BEV rovnat a při zmiňovaném nastavení vah kritérií je tak málo platné, že je Golf o tolik výkonnější a dynamičtější.

Nejvýše umístěným ICEV vozidlem se stala Škoda Octavia, vozu náleží až páté místo. Ačkoliv disponuje největším objemem zavazadlového prostoru a nejvyšším maximálním dojezdem ze skupiny, na vyšší příčky to nestačilo. Ani fakt, že cena Octavie byla druhou nejnižší zkoumanou hodnotou, nedokázal přebít emisní a provozní neefektivitu.

Na sedmé příčce se umístil vůz Tesla Model 3. Tento BEV vynikal v kategoriích výkonu, emisí, zrychlení 0-100 i provozních nákladů, ale bohužel pro Teslu i negativně v kritériu ceny. Právě pro tento EV byla vysoká cena pomyslným katem lepšího hodnocení.

Nejlevnějším zkoumaným vozem byla Toyota Yaris. S cenou začínající na 380 tisících Kč by se zdálo, že při váze 0,404 na tomto kritériu je téměř rozhodnuto. Opak je však pravdou a pro svoje vysoké provozní náklady a výrazné emise obsazuje nejlevnější varianta 8. příčku.

Seznam uzavírá ICEV Škoda Karoq. Tento automobil zanechává vůbec největší emisní stopu a cenově se blíží PHEV a levnějším variantám BEV vozů, které právě v této kategorii nejvíce dominují.

Tabulka č. 24: Umístění variant pro Saatyho metodu

Umístění	Varianta	C^*
1.	Renault ZOE	0,6775
2.	Volkswagen Golf	0,6000
3.	Škoda Enyaq	0,5886
4.	BMW i3	0,5883
5.	Škoda OCTAVIA	0,5426
6.	Mercedes-Benz A	0,5125
7.	Tesla model 3	0,5052
8.	Toyota Yaris	0,4993
9.	Toyota Prius	0,3912
10.	Škoda Karoq	0,3473

Zdroj: vlastní zpracování

Rozbor výsledků pro metodu pořadí

Kdybychom vycházeli z vah kritérií stanovených pomocí dotazníkového šetření, museli bychom výběr kompromisní varianty změnit.

Nejlepší variantou se totiž v tomto případě stává Tesla Model 3. Tento BEV, kromě toho, že je nejdražším vozidlem z výběru, dominoval téměř všem ostatním kategoriím.

Na druhém místě ale změna nenastala, Volkswagen Golf se vypořádal i s pozměněnými hodnotami vah kritérií. Jak již bylo zmíněno výše, Golf podává solidní výkonnost ve všech zkoumaných aspektech a opakované druhé místo tak nemusí být překvapením.

O druhou příčku však byl sveden velmi těsný souboj, Škoda Enyaq zaostala o pouhé 0,003. Stejně jako v prvním příkladu si ponechává, byť těsně, třetí příčku.

Škoda Octavia si o jedno místo polepšila, strůjcem tohoto zlepšení může být trojnásobná důležitost kritéria maximálního dojezdu, ve kterém je Octavia jednoznačně nejlepší.

Renault ZOE, BEV, které uzmulo vítěznou příčku v tabulce výše, obsadilo pouze páté místo.

Mercedes-Benz, který měl být přímým konkurentem Volkswagenu Golf, zůstal za očekáváním a opakuje svůj výkon šesté příčky.

Zhoršení zaznamenalo BMW i3, které v hodnocení obsadilo až sedmou příčku. Klíčový vliv na tento pokles výsledku má malý objem zavazadlového prostoru a nízký maximální dojezd vozu, jejichž hodnota kritérií podstatně vzrostla.

Na posledních třech příčkách se umístily stejné vozy jako v tabulce č. 24 byť v jiném pořadí. Zajímavé ovšem je, že tyto vozy od sebe dělí pouhých 0,0028 vzdálenosti.

Tabulka č. 25: Umístění variant pro metodu pořadí

Umístění	Varianta	C*
1.	Tesla Model 3	0,5763
2.	Volkswagen Golf	0,5544
3.	Škoda Enyaq	0,5514

4.	Škoda Octavia	0,5312
5.	Renault ZOE	0,5073
6.	Mercedes-Benz A	0,4884
7.	BMW i3	0,4727
8.	Škoda Karoq	0,3953
9.	Toyota Yaris	0,3936
10.	Toyota Prius	0,3925

Zdroj: vlastní zpracování

Srovnání výsledků obou příkladů

Klíčovým faktorem se staly hodnoty vah kritérií. Jak již bylo popsáno výše, váhy vycházející ze Saatyho metody byly striktnější než váhy dosazené metodou pořadí. Právě tento fakt umožnil, že kompromisní variantou druhého příkladu se stal nejdražší vůz. Pro porovnání Tesla Model 3 je 3,5x dražší než Toyota Yaris, nejlevnější vůz výběru.

Metoda pořadí, jak již bylo popsáno výše, je základní metodou stanovení vah. Ačkoliv je poměrně uživatelsky přívětivá, její užití s sebou nese rizika nepřesnosti. V našem případě to znamenalo, že příklad, v němž byly užity váhy pocházející právě z této metody, byl poměrně benevolentní k méně důležitým kritériím. Z dotazníkového šetření vyplynulo, že emise CO₂ mají až předposlední důležitost při výběru nového vozu. Toto kritérium však bylo odměněno váhou 0,091. Předposledním kritériem podle důležitosti pro Saatyho metodu byl výkon. Ten však dostal váhu pouze 0,026. Metoda tedy ubírá váhu kritériím, která byla jasně zvolena jako dominantní, rozhodující faktor, a naopak přidává kritériím, jejichž důležitost není tak vysoká. V případě ceny, která byla zvolena jako hlavní faktor ovlivňující rozhodování, ať už v dotazníkovém šetření či v Saatyho metodě, se jedná o podstatný rozdíl. Saatyho metoda přisoudila ceně hodnotu 0,404, zatímco metoda pořadí určila pouze hodnotu 0,2. Čili váha vycházející ze Saatyho metody je dvojnásobná oproti hodnotě metody pořadí.

Právě tato disproporce otevírá dveře nepřesnostem ve zkoumání a nízké objektivitě výsledků. Důkazem budiž i rozptyl vzdáleností od nejhorší reálné varianty ke kompromisní variantě.

V případě Saatyho dosáhla nejhorší varianta, Škoda Karoq, pouze na 51,3 % hodnoty kompromisní varianty, Renaultu ZOE. V případě metody pořadí se nůžky

rozevřely méně, nejhorší varianta dosáhla 68,1 % hodnoty kompromisní varianty pro tento příklad. Výsledky pro metodu pořadí jsou tedy více zhuštěné, jsou si více podobné.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracování přehledu o současném stavu vývoje elektromobility na našem území a nastínit možné scénáře vývoje tohoto způsobu dopravy. V rešeršní části byly nejprve popsány a vysvětleny rozdíly mezi elektromobily a klasickými spalovacími motory. Zde pak bylo vysvětleno, v čem mohou být elektromobily inovativní a předčít tak současné konvenční spalovací motory. Dále byly popsány různé stupně elektrifikace pohonných jednotek elektromobilů, byly vysvětleny pojmy hybrid, plug-in hybrid či plný elektromobil a byly vymezeny rozdíly mezi těmito typy alternativních pohonů.

V následující části byl popsán současný stav elektromobility ve světě a posléze podrobněji ve vybraných zemích, včetně ČR. Elektromobilita je jednoznačně na vzestupu, důvodem je tlak na automobilky vyvíjený v souvislosti se stále více ekologicky orientovanými normami, podíl elektromobilů na světovém vozovém parku se bude i nadále zvětšovat. Výrobci jsou tak nuceni nabízet k životnímu prostředí šetrnější vozy, aby se tak vyhnuli přísnému sankcionování. Zvolenými zeměmi byli Německo a Norsko. Norsko je, co se do poměru registrací nových elektromobilů týče, světovou jedničkou. Nabízí nám tak možnost se přiučit, jak vzbudit v občanech o elektromobilitu zájem. Tato mince má ale rovněž dvě strany, při implementaci elektromobility na našem území bychom se měli i z případu Norska poučit a uvědomit si, že ruku v ruce s podporou udržitelné mobility musí přijít i adekvátní investice do nabíjecí infrastruktury. Druhou vybranou zemí bylo Německo. Náš západní soused se rozhodl v minulém roce rovněž intenzivně podpořit elektromobilitu a může nám tak poskytnout příklad, jak v naší zemi posunout elektromobilitu z okrajové záležitosti do pozice spolehlivého způsobu dopravy. Dále se pak kapitola věnuje ČR. Zde je klíčový dokument Národní akční plán čisté mobility, který predikuje scénáře vývoje elektromobility na našem území. Dále je zde rozebírána síť dobíjecích stanic s přihlédnutím k největším distributorům, skupinám ČEZ a PRE. Poslední částí literární rešerše je kapitola věnovaná Praze. Zde je popsán současný stav elektromobility v metropoli, jaké jsou další vize a cíle. Praha musí snižovat své emise, toho chce docílit pořízením elektrobusů a trolejbusů a postupnou elektrifikací

autobusových linek. Pasivně pak chce podpořit zájem o elektromobilitu u občanů výstavbou tisíců veřejně přístupných dobíjecích stanic.

Náplní analytické části je pak případová studie. Příklad pracuje s 10 automobily, 3 z nich jsou plně elektromobily, 2 jsou plug-in hybridy, další 2 jsou automobily s hybridním pohonem a zbylé 3 vozy mají klasické spalovací motory. Cílem pro analytickou část bylo pomocí zvolené metody doporučit potenciálnímu kupci jeden z vozů. Problém byl rozložen na dva příklady, jeden počítal se subjektivními preferencemi řešitele, preference druhého příkladu vzešly z dotazníkového šetření. Ke stanovení vah kritérií byla v prvním případě užita Saatyho metoda, v případě dotazníku pak metoda pořadí. Následně byla provedena metoda TOPSIS, která řadí varianty podle vzdálenosti od nejhorší, fiktivní bazální, varianty. V prvním případě řešitelových preferencí se stal kompromisní variantou Renault ZOE, pro preference stanovené dotazníkovým šetřením se kompromisní variantou stala Tesla Model 3. V obou případech tak zvítězil plný elektromobil. Tento úspěch elektromobilů je ale dán poměrně silnou vahou kritérií ekologičnosti a provozních nákladů, ve kterých typicky elektromobily dominují.

Celkově se dá konstatovat, že elektromobilita bude pro lidstvo stále více důležitá, možná důležitější než kdy předtím. Svět velmi pomalu míří k tzv. uhlíkové neutralitě, klade stále větší důraz na čistější ovzduší a celkový pokles emisí. Elektromobilita může pomoci obzvláště ve velkých městech, kde je koncentrace emisí z výfukových plynů velmi vysoká, jelikož však plně elektromobily neprodukují žádné lokální emise, mohla by se atmosféra ve městech výhledově významně proměnit. V současné době má ale elektromobilita stále mnoho záporů, které odrážejí veřejnost od koupě elektrických vozů, jmenovitě nízký maximální dojezd, dlouhá doba nabíjení či vysoká pořizovací cena. Je však nutné si uvědomit, že technologie se budou i nadále vyvíjet, kapacity akumulátorů se budou zvyšovat a nabíječky budou výkonnější. Ať už to nakonec bude štedrá podpora ze strany vlád či limitovaná nabídka konvenčních spalovacích motorů ze strany výrobců automobilů, elektromobilita se dříve či později prosadí jako dominantní způsob osobní dopravy.

Seznam použitých zdrojů

1. **WAGENKNECHT, Martin.** Historie elektromobilů: 1. díl - úsvit elektromobilů. *fDrive.cz*. [Online] 20. Září 2016. [Citace: 3. Únor 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>.
2. **VEJBOR, Jan.** Stručná historie elektromobilů. *Asociace pro elektromobilitu České republiky*. [Online] 2015. [Citace: 3. Únor 2021.] <http://www.elektromobily-os.cz/stručná-historie-elektromobilu>.
3. **MARDIGAL, Alexis C.** The electric taxi you could have called in 1900. *The Atlantic*. [Online] 15. Březen 2011. [Citace: 3. Únor 2021.] <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/03/the-electric-taxi-company-you-could-have-called-in-1900/72481/>.
4. **KŘEČEK, Jan.** EMA: český elektromobil, kterému nebylo přáno předběhnout dobu. *autickar.cz*. [Online] 4. srpen 2017. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.autickar.cz/clanek/ema-cesky-elektromobil-kteremu-nebylo-prano-predbehnout-svou-dobu/>.
5. **WAGENKNECHT, Martin.** Historie elektromobilů: 2. díl - když dojde ropa. *fDrive.cz*. [Online] 30. Říjen 2016. [Citace: 3. Únor 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/historie-elektromobilu-2-dil---kdyz-dojde-ropa-354>.
6. **Škoda.** Jak funguje elektrický motor? *Škoda storyboard*. [Online] 17. květen 2018. [Citace: 3. únor 2021.] <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/jak-funguje-elektricky-motor-10-otazek-a-odpovedi/>.
7. **NEYLOR, Sam.** Regenerative braking: what is it and how does it work? *Auto Express*. [Online] 6. listopad 2020. [Citace: 3. únor 2021.] <https://www.autoexpress.co.uk/tips-advice/353643/regenerative-braking-what-it-and-how-does-it-work>.
8. **Evexpert.** Elektromobily a jejich baterie. *evexpert.cz*. [Online] 2019. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/elektromobily-a-jejich-baterie>.
9. **Škoda.** škoda - storyboard. *Druhy elektromobilů - znáte je všechny?* [Online] Škoda, 21. březen 2019. [Citace: 4. únor 2021.] <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>.

10. **Renault Česká republika.** Ceníky. *Renault Česká republika*. [Online] 2021. [Citace: 12.2.. únor 2021.] <https://cdn.group.renault.com/ren/cz/pdf/pricelists/zoe-price.pdf.asset.pdf/c27ea76223.pdf>.
11. **Electric Vehicle Database.** Renault ZOE ZE50 R110. *Electric vehicle database*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>.
12. **Svaz dovozců automobilů.** Statistiky ke stažení. *Svaz dovozců automobilů*. [Online] 6. leden 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.sda-cia.cz/repository-volnedostupna?lang=CZ>.
13. **Škoda.** Konfigurator. *Škoda auto*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.skoda-auto.cz/modely/enyaq/enyaq-iv>.
14. **Electric Vehicle Database.** Skoda Enyaq iV 60. *Electric vehicle database*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://ev-database.org/car/1279/Skoda-Enyaq-iV-60>.
15. **TOMÍŠEK, Marek.** prosinci se v Česku zaregistrovalo víc elektromobilů než v celém předchozím roce. *fdrive.cz*. [Online] 12. leden 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/v-prosinci-se-v-cesku-zaregistrovalo-vic-elektromobilu-nez-v-celem-predchozim-roce-6378>.
16. **Tesla Česko.** Model 3. *Tesla*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] https://www.tesla.com/cs_cz/model3.
17. **Electric Vehicle Database.** Tesla Model 3 Standard Range Plus. *Electric vehicle database*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus>.
18. **COSES, Ben.** 2021 Tesla Model 3. *U.S. News*. [Online] 8. leden 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://cars.usnews.com/cars-trucks/tesla/model-3>.
19. **DUSIL, Tomáš.** Hybridní pohony aneb není hybrid jako hybrid: Čím se liší plug-in hybrid od mild hybridu a full hybridu? *auto.cz*. [Online] 15. červenec 2018. [Citace: 4. únor 2021.] <https://www.auto.cz/hybridni-pohony-aneb-neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-lisi-plug-in-hybrid-od-mild-hybridu-a-full-hybridu-123123>.
20. **GROHMAN, Jan.** Range extender pro BMW i3 - podrobnosti. *hybrid.cz*. [Online] 16. říjen 2013. [Citace: 4. únor 2021.] <http://www.hybrid.cz/range-extender-pro-bmw-i3>.

21. **HORČÍK, Jan.** BMW ruší range extender pro elektromobil i3. *hybrid.cz*. [Online] 4. říjen 2018. [Citace: 12. únor 2021.] <http://www.hybrid.cz/bmw-rusi-range-extender-pro-elektromobil-i3>.
22. **Ultimate specs.** BMW i3 94Ah Range extender specs. *ultimatespecs.com*. [Online] 2019. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/BMW/114719/BMW-i3-94Ah-Range-Extender.html>.
23. **Toyota.** Modely Prius. *toyota.cz*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.toyota.cz/new-cars/prius/konfigurator?path=engine/8ce29243-9376-4d0e-9c82-80841d56e517/c0310e01-f2f8-4677-b072-28305308c682/833f0b39-b992-47b1-9450-51fc82b937c0&c=b4da34a1-391c-4b57-a153-13ac02e8da7f>.
24. **Auto data.** 2018 Toyota Prius IV (XW50, facelift 2018) 1.8 (122 Hp) Hybrid e-CVT. *auto-data.net*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.auto-data.net/en/toyota-prius-iv-xw50-facelift-2018-1.8-122hp-hybrid-e-cvt-41889>.
25. **SKALICKÝ, Matěj.** Test plug-in hybridu Mercedes-Benz A 250e. *auto-mania.cz*. [Online] 28. srpen 2020. [Citace: 5. únor 2021.] <https://auto-mania.cz/test-plug-in-hybridu-mercedes-benz-a-250e-2020/>.
26. **Mercedes-Benz Česká republika.** Naše vozidla. *mercedes-benz.cz*. [Online] Mercedes-Benz, 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/car-konfigurator.html/motorization/CCci/CZ/cs/A-KLASSE/KOMPAKT-LIMOUSINE>.
27. **STEGEMANN, Bernard.** Teilzeitstromer mit Stufenheck im Test. *automotorundsport.de*. [Online] 6. červenec 2020. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.auto-motor-und-sport.de/test/mercedes-a-250-e/>.
28. **Volkswagen Česká republika.** Volkswagen konfigurátor. *konfigurator.volkswagen.cz*. [Online] Volkswagen, 2021. [Citace: 12. únor 2021.] https://konfigurator.volkswagen.cz/cc-cz/cs_CZ_VW19/V/model-selection/075?GrossNetSwitch=GROSS&variant=Style.
29. **CLARKE, Paul.** Volkswagen Golf 1.4 TSI 204 PS 6 SPEED DSG. *greencarguide.co.uk*. [Online] [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.greencarguide.co.uk/green-car-guides/volkswagen-golf-gte-1-4-tsi-204-ps-6-speed-dsg/>.

30. **IRLE, Roland.** Global Plug-in Vehicle Sales Reached over 3,2 Million in 2020. *evvolumes.com*. [Online] 2021. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>.
31. **KUHNERT Felix, STÜRMER Christoph, a kol.** E-mobility sales review Q4. *strategyand.pwc.com*. [Online] Strategy&, říjen 2020. [Citace: 12. únor 2021.] <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/studien/2020/e-mobility-sales-review-q4/e-mobility-sales-review-q4.pdf>.
32. *Marktbericht. Auto Motor und Sport*. 1, Stuttgart : Motor Presse Deutschland, 2021, Sv. 4.
33. **MAREK, Jan.** Důsledek dotací v Německu je automobil zdarma. A co v Česku? *seznamzpravy.cz*. [Online] 15. červenec 2020. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/dusledek-dotaci-v-nemecku-je-elektromobil-zdarma-a-co-v-cesku-112561>.
34. **Statista.** Durchschnittlicher Bruttomonatverdienst von vollzeitbeschäftigten Arbeitnehmern. *statista.com*. [Online] 2021. [Citace: 6. únor 2021.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/237674/umfrage/durchschnittlicher-bruttomonatsverdienst-eines-arbeitnehmers-in-deutschland/>.
35. **VOŘÍŠEK, Martin.** V Německu zdvojnásobí dotaci pro nákup elektromobilu, na každé benzínce bude muset být nabíječka. *oenergetice.cz*. [Online] 8. červen 2020. [Citace: 6. únor 2021.] <https://oenergetice.cz/elektromobilita/nemecku-zdvojnaso-bi-dotaci-nakup-elektromobilu-kazde-benzince-bude-muset-byt-nabijeka>.
36. **ČTK.** Elektromobilů se v Norsku poprvé prodalo více než aut se spalovacím motorem. *aktualne.cz*. [Online] 5. leden 2021. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/elektromobily-a-jejich-baterie>.
37. **STROBL, Gunther.** Warum Norwegen bei Elektroautos so weit vorne liegt. *Der Standard*. [Online] 3. červen 2019. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.derstandard.at/story/2000104225558/warum-norwegen-bei-elektroautos-so-weit-vorne-liegt>.
38. **EV-Volumes.** Global plug-in vehicle sales reched over 3,2 million in 2020. *evvolumes.com*. [Online] 2021. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>.

39. **MAZAL, Marek.** Smutné konce norské elektrické pohádky. Večer není přes kabely k hnutí. *Autoforum.cz*. [Online] 10. říjen 2018. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.autoforum.cz/zajimavosti/smutne-konce-norske-elektricke-pohadky-vecer-na-ulicich-pres-kabely-neni-k-hnuti/>.
40. **BEDNÁŘ, Marek.** Norská elektrická pohádka nabírá hořkého konce, takhle to opravu nepůjde. *autoforum.cz*. [Online] 20. září 2017. [Citace: 5. únor 2021.] <https://www.autoforum.cz/zajimavosti/norska-elektricka-pohadka-nabira-horke-konce-takhle-to-opravdu-nepujde/>.
41. **Česko - Ministerstvo průmyslu a obchodu.** Aktualizace národního akčního plánu čisté mobility. *mpo.cz*. [Online] 6. květen 2020. [Citace: 6. únor 2021.] <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>.
42. —. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *mpo.cz*. [Online] 11. říjen 2017. [Citace: 6. únor 2021.] <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/memorandum-o-budoucnosti-automobiloveho-prumyslu-v-cr-a-akcni-plan-o-budoucnosti-automobiloveho-prumyslu-v-cr---232552/>.
43. —. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *mpo.cz*. [Online] 11. říjen 2017. [Citace: 6. únor 2021.] <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/memorandum-o-budoucnosti-automobiloveho-prumyslu-v-cr-a-akcni-plan-o-budoucnosti-automobiloveho-prumyslu-v-cr---232552/>.
44. **ZELINKA, Jiří.** „EL“ registrační značky pro elektromobily - k čemu opravňují i některé hybridy? *autohled.cz*. [Online] 5. listopad 2020. [Citace: 7. únor 2021.] <https://www.autohled.cz/magazin/ldquo-el-ldquo-registracni-znacky-pro-elektromobily-ndash-k-cemu-opravnuji-i-nektere-hybridy/2620>.
45. **SVATOŠ Patrik, PULTZNER Martin.** Jak, kde a za kolik nabít elektromobil? *fdrive.cz*. [Online] 30. březen 2020. [Citace: 8. únor 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/jak-kde-a-za-kolik-nabit-elektromobil-kompletni-pruvodce-5005>.
46. **CHMELÍK, Tomáš.** Čistá mobilita. *mzp.cz*. [Online] 10. květen 2019. [Citace: 8. únor 2021.] https://www.mzp.cz/cz/cista_mobilita_seminar.
47. **PRE.** Chci dobíjet pravidelně. *premobilita.cz*. [Online] PRE. [Citace: 9. únor 2021.] <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/dobijeni-na-prepoint/chci-dobijet-na-prepoint/chci-dobijet-pravidelne/>.

48. —. pre mobilita. *Mapa dobíjecích stanic PREpoint*. [Online] PRE, 2021. [Citace: 11. únor 2021.] <https://www.premobilita.cz/cs/dobijeni-elektromobilu/mapa-dobijecich-stanic-prepoint/>.
49. **ČEZ**. emobilita skupina čez. *elektromobilita.CZ*. [Online] 2021. [Citace: 11. Únor 2021.] <https://www.elektromobilita.cz>.
50. —. Za první rok provozu dodala česká „jaredná“ rychlodobíječka bezemisní elektřinu na cestu kolem světa. *skupina ČEZ*. [Online] 4. únor 2021. [Citace: 11. únor 2021.] <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/za-prvni-rok-provozu-dodala-ceska-jaderna-rychlodobijicka-bezemisni-elektřinu-na-cestu-kolem-sveta-134365>.
51. —. Jak se stát zákazníkem. *Emobilita ČEZ*. [Online] 22. duben 2020. [Citace: 11. únor 2021.] <https://www.elektromobilita.cz/cs/jak-se-stat-zakaznikem>.
52. —. Mapa dobíjecích stanic. *Emobilita ČEZ*. [Online] 2021. [Citace: 11. únor 2021.] <https://www.elektromobilita.cz/cs/mapa-dobijecich-stanic>.
53. **Svaz průmyslu a dopravy České republiky**. Firmám usnadní využívání elektromobilů příručka Daňové otázky elektromobility. *Ministerstvo financí České republiky*. [Online] 28. duben 2020. [Citace: 8. únor 2021.] <https://www.mfcr.cz/cs/aktualne/tiskove-zpravy/2020/firmam-usnadni-vyuzivani-elektromobilu-p-38349>.
54. **Český statistický úřad**. Statistická ročenka Hl. m. Prahy. *Český statistický úřad*. [Online] 18. prosinec 2020. [Citace: 8. únor 2021.] <https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-hl-m-prahy-2020>.
55. **Magistrát Hl. m. Prahy**. Polad' Prahu. *Dokumenty P+*. [Online] 2018. [Citace: 8. únor 2021.] <https://poladprahu.cz/download/>.
56. **Hybrid.cz**. Hybrid.cz. *Nejvíce elektromobilů je v Praze, plynových aut v Moravskoslezském kraji*. [Online] 20. listopad 2020. [Citace: 9. únor 2021.] <http://www.hybrid.cz/nejvice-elektromobilu-je-v-praze-plynovych-aut-v-moravskoslezskem-kraji>.
57. **BERÁNEK, Jaromír**. Chceme se podílet na dobíjecí síti v Praze, zní z magistrátu. Plánujeme postavit 4 500 chytrých pouličních lamp. *Elektromobilita 2020*. Praha : Hospodářské noviny, 10. říjen 2020.

58. **FIALA, Libor.** Chceme se podílet na dobíjecí síti v Praze, zní z magistrátu. Plánuje postavit 4500 chytrých pouličních lamp. *Elektromobilita 2020*. Praha : Hospodářské noviny, 19. říjen 2021.
59. **Magistrát Hl. m. Prahy.** *cistoustopou.cz*. *V Praze je 13 EV ready pouličních lamp, v příštím roce jich přibude 350*. [Online] Magistrát Hl. m. Prahy, 5. září 2020. [Citace: 9. únor 2021.] <https://www.cistoustopou.cz/autem/clanek/v-praze-je-13-ev-ready-poulicnich-lamp-v-pristim-roce-jich-pribude-350-1553>.
60. **VOTRUBA, Stanislav.** Chceme se podílet na dobíjecí síti v Praze, zní z magistrátu. Plánuje postavit 4500 chytrých pouličních lamp. *Elektromobilita 2020*. Praha : Hospodářské noviny, 10. říjen 2020.
61. **MAULWURF, Adolf.** Nové sazby cestovních náhrad pro rok 2020. *epravo.cz*. [Online] 31. leden 2020. [Citace: 20. únor 2021.] <https://www.epravo.cz/top/clanky/nove-sazby-cestovnich-nahrad-pro-rok-2020-110489.html>.
62. **Škoda.** Konfigurátor. *skoda-auto.cz*. [Online] Škoda, 2021. [Citace: 20. únor 2021.] <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/engine-scenic?activePage=engines&color=8E8E&configurationId=&extraEquipments=&id=CZE%3Bskoda%3B2021%3BNX3345%3B2%3BGYOKYOK%3Bmda20210216125215%3Bcs-CZ%3B%3B63001%3B63001&interior=BG&modifiedPages=trimlines&snapshotVersion=>
63. —. konfigurátor. *skoda-auto.cz*. [Online] Škoda, 2021. [Citace: 20. únor 2021.] <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/engine-scenic?activePage=engines&color=8E8E&configurationId=&extraEquipments=&id=CZE%3Bskoda%3B2021%3BNU737Z%3B1%3BGYO3YO%3Bmda20210216125215%3Bcs-CZ%3B%3B62001%3B62001&interior=AD&modifiedPages=trimlines%7Cengines&snapshotVersion=>
64. **Toyota.** Modely Yaris. *Konfigurátor Toyota*. [Online] 2021. [Citace: 20. únor 2021.] <https://www.toyota.cz/new-cars/yaris/yaris-2020/konfigurator?path=engine/09a6531a-c3f1-4d2d-b4d3-eb45cbb35478/7b77d85b-8f26-4645-82ac-22154a7d6293/33e1c617-f88c-42aa-ba48-1b4f456e00d4&c=c0c1e1f8-d52f-4ee3-a982-fa17ea75ba85>.

65. **TILLMAN Frank A., CASSONE Deandra T.** *A Professional's Guide to Decision Science and Problem Solving*. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Education, Inc., 2021. 978-0-13-286978-2.
66. **ISHIZAKA Alessio, NEMERY Philippe.** *Multi-Criteria Decision Analysis*. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2013. 978-1-119-97407-9.

Přílohy

1. Soubor „Data_BP_Elektromobilita_v_Praze_a_její_očekávaný_vývoj“ ve formátu xlsx