

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

**Zhodnocení výhod a nevýhod konvenční a elektrické
mobility**

Bc. Petr Koutský

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Koutský

Ekonomika a management

Název práce

Zhodnocení výhod a nevýhod konvenční a elektrické mobility

Název anglicky

Evaluation of advantages and disadvantages of conventional and electric mobility

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení výhod a nevýhod elektrické mobility pro konkrétní vybrané státy.

Metodika

Diplomová práce bude členěna na teoretickou a analytickou část. V úvodní části bude vymezen teoretický rámec probíraného tématu a budou představeny klíčové skutečnosti, na jejichž základu bude vypracována případová studie řešená v analytické části. Pro teoretickou část bude použita metoda sekundárního sběru relevantních pramenů a jejich komparace.

V analytické části pak bude zpracována případová studie z dostupných dat o konkrétních vozidlech se spalovacími motory a vozidlech s různou mírou elektrifikace pohonného ústrojí. Pomocí sofistikované metody analytického hierarchického procesu budou jednotlivé typy mobility porovnány. Bude využito kritérií z různých oblastí a váhy kritérií stanoví dotazníkové šetření.

Doporučený rozsah práce

80

Klíčová slova

elektromobilita, elektromobil, emise, případová studie

Doporučené zdroje informací

ISHIZAKA, Alessio a Philippe NEMERY. Multi-criteria decision analysis: methods and software. Chichester: John Wiley, 2013. ISBN 978-1-119-97407-9.

Ministerstvo průmyslu a obchodu. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility [online]. 2020
Ministerstvo průmyslu a obchodu a Ministerstvo životního prostředí. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu [online]. 2020

MUNEER, Tariq, Mohan KOLHE a Aisling DOYLE. Electric Vehicles: Prospects and Challenges [online]. Elsevier, 2017. ISBN 9780128030400.

NANAHI, Evanthia. Electric Vehicles for Smart Cities [online]. Elsevier, 2020. ISBN 9780128158029.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – PEF

Vedoucí práce

prof. RNDr. Helena Brožová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 16. 11. 2022

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 11. 2022

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Zhodnocení výhod a nevýhod konvenční a elektrické mobility" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 03. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí diplomové práce paní prof. RNDr. Heleně Brožové, CSc. za cenné rady a konzultace po celou dobu tvorby této závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a blízkým za podporu a trpělivost při mém studiu.

Zhodnocení výhod a nevýhod konvenční a elektrické mobility

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tématem elektromobility. V teoretické části je nejprve pojem elektromobilita vysvětlen a vzápětí na něj navazuje výčet historických milníků, které se podílely na vývoji elektromobilu od 19. století až do jeho dnešní podoby. V následující kapitole je pak pro úplnost popsán pohon osobních automobilů, a to jak vozidel se spalovacím motorem, tak elektrických vozů. V následující kapitole jsou pak rozděleny a popsány jednotlivé typy elektrických vozidel dle míry elektrifikace hnacího ústrojí. Teoretická část práce pokračuje zhodnocením současného stavu elektromobility ve světě s přihlédnutím ke konkrétním vybraným státům, které vystupují i dále v praktické části. V následující kapitole je pro tyto státy uveden energetický mix. Teoretickou část práce pak uzavírá výklad metody analytického hierarchického procesu, která je následně užitá v praktické části.

Analytická část práce obsahuje případovou studii, která srovnává vozy se spalovacími motory s různými typy elektrických vozidel. Tato část je podložena vlastními výpočty, které byly zpracovány výše zmíněnou metodou AHP. Výstupem uvedené studie je pak doporučení konkrétního vozidla, jehož provoz by měl být v daném státě při zohledněných kritériích a jejich vahách kompromisní variantou. V poslední části práce je vedena diskuse nad získanými výsledky a je provedena jejich interpretace.

Klíčová slova:

elektromobilita, BEV, PHEV, ICEV, energetický mix, fosilní paliva, případová studie, AHP

Evaluation of advantages and disadvantages of conventional and electric mobility

Abstract

The thesis deals with the topic of electromobility. In the theoretical part, the concept of electromobility is first explained, followed by a list of historical milestones that have contributed to the development of the electric vehicle from the 19th century to its current form. In the next chapter, the propulsion of passenger cars is described for completeness, including both vehicles with combustion engines and electric vehicles. The following chapter then divides and describes the various types of electric vehicles according to the degree of electrification of the propulsion system. The theoretical part of the thesis continues with an evaluation of the current state of electromobility in the world, considering specific selected countries that are also presented further in the practical part. The energy mix for these countries is presented in the following chapter. The theoretical part of the thesis is concluded with an explanation of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, which is subsequently used in the practical part.

The analytical part of the thesis includes a case study that compares vehicles with combustion engines to various types of electric vehicles. This part is supported by the author's own calculations, which were processed using the aforementioned AHP method. The output of the study is a recommendation for a specific vehicle whose operation would be a compromise variant in the given country, considering the set criteria and their weights. In the final part of the thesis, a discussion is held on the obtained results and their interpretation is performed.

Keywords:

electromobility, BEV, PHEV, ICEV, energy mix, fossil fuels, case study, AHP

1	ÚVOD	11
2	CÍL PRÁCE A METODIKA.....	12
2.1	CÍL PRÁCE	12
2.2	METODIKA.....	12
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	13
3.1	ELEKTROMOBILITA	13
3.2	HISTORIE ELEKTROMOBILU	13
3.3	POHON VOZIDEL	17
3.3.1	<i>Spalovací motory.....</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Elektromotor</i>	<i>19</i>
3.3.3	<i>Baterie elektromobilů, akumulátor</i>	<i>20</i>
3.4	TYPY EVs	23
3.4.1	<i>Battery Electric Vehicle (BEV).....</i>	<i>23</i>
3.4.2	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)</i>	<i>25</i>
3.4.3	<i>Hybrid Electric Vehicle (HEV).....</i>	<i>27</i>
3.4.4	<i>Extended Range Electric Vehicle (EREV).....</i>	<i>28</i>
3.5	SOUČASNÝ STAV ELEKTROMOBILITY VE SVĚTĚ	29
3.5.1	<i>Elektromobilita v ČR</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Elektromobilita v SRN</i>	<i>32</i>
3.5.3	<i>Elektromobilita v Polsku.....</i>	<i>33</i>
3.5.4	<i>Elektromobilita ve Švédsku</i>	<i>34</i>
3.6	ENERGETICKÝ MIX	35
3.7	TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO PRAKTICKOU ČÁST PRÁCE	38
3.7.1	<i>Metoda AHP.....</i>	<i>38</i>
4	VLASTNÍ PRÁCE.....	41
4.1	VÝCHODISKA	41
4.2	VARIANTY.....	42
4.3	KRITÉRIA	43
4.3.1	<i>Doplňující výpočty hodnot kritérií.....</i>	<i>45</i>
4.4	DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ.....	52
4.4.1	<i>Respondenti</i>	<i>53</i>
4.4.2	<i>Zkoumaná témata</i>	<i>53</i>
4.4.3	<i>Výsledky dotazníkového šetření, úrovně 2 a 3.....</i>	<i>53</i>

4.5	PÁROVÉ POROVNÁNÍ VARIANT, ÚROVEŇ 4.....	56
4.6	ZÍSKÁNÍ VÝSLEDKŮ PRO JEDNOTLIVÉ STÁTY.....	58
5	DISKUSE NAD VÝSLEDKY.....	60
5.1	VÝSLEDKY PRO ČR.....	60
5.2	VÝSLEDKY PRO SRN.....	61
5.3	VÝSLEDKY PRO POLSKO.....	63
5.4	VÝSLEDKY PRO ŠVÉDSKO.....	64
5.5	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A ANALÝZA CITLIVOSTI.....	65
6	ZÁVĚR.....	69
7	BIBLIOGRAFIE.....	71
8	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A ZKRATEK.....	77
8.1	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	77
8.2	SEZNAM TABULEK.....	77
8.3	SEZNAM GRAFŮ.....	78
8.4	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	78
PŘÍLOHY	80

1 Úvod

Elektromobilita je v dnešní době velmi frekventovaným tématem pro diskuse v mediích, zasedání vlád, shromáždění výrobců automobilů a všeobecně nabývá na důležitosti pro všechny subjekty spadající pod množinu odvětví automotive. Důvodem je souběh západního tlaku na environmentálně udržitelnou dopravu s minimem emisí skleníkových plynů a technologického pokroku v produkci elektrických vozidel, kteréžto v současné době dosahují přinejmenším srovnatelného výkonu v porovnání s vozidly se spalovacími motory. Aby však elektromobilita, jakožto prezentovaná odpověď na poptávku po ekologicky udržitelné dopravě, nabyla účinnosti, musí být splněn předpoklad čistého energetického mixu. Elektřina určená k pohonu vozidel by měla pocházet z čistých obnovitelných zdrojů energie, jinak dochází pouze k přesunu emisní zátěže z pozemních komunikací do elektráren.

Tato diplomová práce právě tento zmíněný energetický mix bere v potaz a v analytické části řeší případovou studii, která si klade otázku, jaké vozidlo dle stupně elektrifikace pohonného ústrojí je při zahrnutí vybraných finančních, technických a environmentálních kritérií vhodné provozovat ve vybraných státech. Cílem této části práce je tedy při zohlednění získaných hodnot kritérií a jejich vah určit, které vozidlo je nejvhodnější pro provoz v zemích s rozličnými energetickými mixy a doporučit jej jakožto kompromisní variantu.

Práce vychází z teoretických základů, které popisují historický vývoj elektromobilu od jeho vzniku v 19. století až do dnešní doby, dále pokračuje vysvětlením typů pohonů vozidel dneška se speciálním přihlédnutím k elektrickým vozidlům, které rozčleňuje právě dle typu pohonu. Teoretická část práce pokračuje přehledem současného stavu elektromobility ve světě, kde má čtenář možnost zjistit, jak se elektrická vozidla globálně i lokálně podílejí na trhu s novými automobily. Samostatná kapitola je věnována právě energetickému mixu, kde je pro zkoumané státy uveden podíl zastoupení obnovitelných zdrojů na celkové produkci elektřiny. Teoretická východiska uzavírá explance metody AHP, která byla v praktické části využita ke stanovení výsledného pořadí variant pro jednotlivé státy.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem teoretické části práce je vytvoření základního přehledu problematiky elektromobility a zhodnocení jejího současného stavu.

Cílem pro analytickou část je pak doporučení kompromisní varianty, tedy konkrétního typu vozidla z výběru automobilů se spalovacím motorem a elektrických vozů, pro každý z vybraných států. Výstupem je na základě zvolené metody AHP a zkoumaných kritérií seřazení výběru vozidel dle získaného skóre v konkrétních vybraných státech a zhodnocení získaných výsledků.

2.2 Metodika

V teoretické části práce je použita metoda sekundárního sběru relevantních zdrojů, jejich deskripcí a vzájemným porovnáním.

V analytické části práce bylo pro účel stanovení vah zvolených kritérií využito dotazníkového šetření. Otázky v dotazníku byly formulovány tak, aby respondenti odpovídali ve formátu vyhovující použití metody AHP. V případové studii byla využita metoda AHP o čtyřech úrovních, přičemž respondenti měli za úkol stanovit váhy druhé (makro-kritéria) a třetí úrovně (mikro-kritéria). Poslední čtvrtá úroveň získává váhy na základě vzájemného párového porovnávání hodnot kritérií jednotlivých variant. Součinem získaných vah dle metodou AHP vytyčené cesty varianty obdrží skóre v právě zkoumaném kritériu. Součtem skóre ze všech hodnocených kritérií je pak dosaženo výsledku dané varianty. Získaný výsledek má maximalizační charakter, tedy čím vyššího skóre je dosaženo, tím vhodnější je daná varianta. Získáním finálního skóre pro všechny varianty lze stanovit, která z variant je za daných okolností nejlepší a je možné konstatovat, které vozidlo je hledanou kompromisní variantou. Tento výpočet je prováděn pro každou z vybraných zemí zvlášť, a je tedy docíleno celkem čtyř výsledných pořadí.

V řešeném modelu je zároveň testována konzistence odpovědí, jejíž koeficient by neměl přesahovat 10 %. Odpovědi získané dotazníkovým šetřením byly v mnoha případech nekonzistentní a proto, aby bylo možné model prezentovat jako stabilní, bylo nutné provést úpravy odpovědí tak, aby byla zachována respondentova preference, a zároveň naplněna požadovaná konzistence odpovědí.

Na závěr byla rovněž provedena citlivostní analýza, která zkoumá stálost výsledků při změnách vah kritérií.

3 Teoretická východiska

3.1 Elektromobilita

Elektromobilita znamená alternativní řešení pro pohyb dopravních prostředků pomocí elektrické energie. Těmito dopravními prostředky mohou být osobní a nákladní vozidla, autobusy, trolejbusy, vlaky, lodě, motocykly, skútry, kola a výjimečně i malá letadla. Elektromobilita je v posledních desetiletích velmi diskutovaným tématem. Elektromobilita totiž, pokud je správně implementována, může přinést řešení ekologičtější dopravy a spíše tak vyhovuje tlaku západní společnosti na udržitelnou a environmentálně vstřícnou mobilitu. Dnes se automobilový průmysl dostává do situace, kdy dosahují elektrické vozy vesměs technicky srovnatelných výsledků s vozidly využívajícími k pohybu spalovací motory a mohou tak otevřít debatu, který dopravní prostředek je pro daný trh vhodnější. Oproti bakalářské práci, ve které se autor rovněž zabýval elektromobilitou, je v této závěrečné práci zahrnuto v praktické části i právě toto environmentální kritérium, které vstupuje do sestrojeného matematického modelu.

3.2 Historie elektromobilu

V dnešní době se uvažuje o elektromobilech jako o novátorském řešení osobní dopravy, prototypy vozidel s elektrickým pohonem však spatřily světlo světa dříve než první automobily se spalovacím motorem.

Cesta k prvním elektrickým vozidlům nebyla snadná a lemuje jí řada podstatných inovací a vynálezů. První elektrická vozidla využívala baterie s galvanickými články, které nemohly být zpětně nabíjeny. Provoz těchto vozidel tak byl velmi nákladný, jelikož bylo zapotřebí po každém vybití baterie kompletně vyměnit. Zlom, který umožnil další rozmach elektromobilů, nastal v roce 1859, kdy francouzský fyzik Gaston Planté sestrojil první olověný akumulátor, tedy baterii, kterou bylo možno opětovně nabíjet. (1)

Roku 1881 projel ulicemi Paříže prvním dobíjecím elektromobilem francouzský vynálezce Gustave Trouvé, který zdokonalil malý elektromotor od společnosti Siemens a zabudoval jej do tříkolky anglického průkopníka cyklistiky Jamese Starleye. Tento vynález se mu však nepodařilo patentovat. (2)

Elektrická mobilita byla na konci 19. století vnímána i jako potenciální obchodní příležitost. Americký podnikatel William C. Whitney se svým záměrem elektrifikovat taxislužbu v New Yorku,

Chicagu a dalších velkých amerických městech ovšem neuspěl. Problémů s provozem flotily raných elektromobilů byla celá řada. Oproti konkurenci vozidel tažených koňmi či vozidly se spalovacím motorem chyběl elektromobilům potřebný dojezd. Vzdálenost, kterou mohl první komerčně užívaný elektromobil urazit na jedno nabití byla přibližně 25 mil při maximální rychlosti 20 mil/h. Tento nedostatek byl kompenzován nikoliv odstavením vozidla a jeho následným nabitím, nýbrž kompletní výměnou celé sady baterií vážící 725 kg tak, aby vozidlo po přijetí nové baterie mohlo být uvedeno ihned do provozu. Podnik nebyl úspěšný právě kvůli vysokým nákladům na provoz činnosti, zároveň trpěl málo proškoleným personálem a nedostatečnou kvalitou managementu. (3)

Obrázek 1: Elektrické taxi Williama C. Whitneyho



Zdroj: (3)

Svou stopu zanechal elektromobil i v raném motorsportu. V roce 1899 se Camille Jenatzy, belgický závodník a továrník, stal prvním člověkem, který pokořil hranici dosažené rychlosti 100 km/h ve svém voze La Jamais Contente („Věčně nespokojená“). Tento závodní speciál svým tvarem připomínající doutník poháněly dva elektromotory o výkonu 25 kW a dokázaly tento vůz rozpohybovat na rekordních 105,88 km/h. Na přelomu 19. a 20. století to tedy ještě byly elektromobily, kdo udával nejnovější trendy v automobilovém průmyslu. (4)

Elektromobilita zaujala také vynálezce Rakousko-Uherského původu, Františka Křižíka. Ten sestrojil několik prototypů na elektrický pohon. Prvním pokusem byl otevřený kočár, jehož zadní náprava byla poháněna elektromotorem o výkonu 5 kW, sada baterií byla uložena pod sedadly a vůz

byl řízen pákou. Své další úsilí věnoval hybridnímu pohonnému ústrojí. Následující vozy již byly řízeny pedály a volantem, jak tomu je dnes, a využívaly spalovacího motoru, který poháněl dynamo, jež pak napájelo dva stejnosměrné elektromotory ženoucí zadní nápravu. (5)

Hlavní překážkou pro elektromobily se po přelomu století stal Henry Ford. V roce 1908 byl v USA uveden na trh Ford model T. Tento vůz poháněný benzinovým čtyřválcem o objemu 2,9 litru a stál 850 \$, zatímco elektrické alternativy byly k máni minimálně za dvojnásobek. V roce 1923 klesla cena Fordu T na 300 \$, zatímco elektrické vozy podražily na desetinásobek této ceny. Masivní produkce Fordu a bezkonkurenční cena vytlačila elektromobily na okraj automobilového průmyslu. (4)

Nebyl to však jen Ford a jeho statisíce vozidel modelu T, rozvoji elektromobility bránilo i zlevnění pohonných hmot kvůli novým nalezištím ropy a rozšíření infrastruktury čerpacích stanic. Podstatným vynálezem, který natrvalo změnil provoz vozidel se spalovacím motorem, byl elektrický startér patentovaný Charlesem Ketteringem v roce 1912. Do té doby měly totiž elektromobily nad automobily se spalovacími motory výhodu v podobě absence nutnosti ručního startování motoru klikou. Tento proces byl fyzicky náročný, a v krajních případech mohl končit až zraněním automobilisty. (4)

Zájem o vozidla s elektrickým hnacím ústrojím byl na ústupu vzhledem k vysoké pořizovací ceně, nízké cestovní rychlosti a nízkému dojezdu. Po další dekády ovládly bezkonkurenčně automobilový trh vozidla se spalovacími motory, jejichž pohonné jednotky se nadále prudkým tempem zdokonalovaly. Veřejnost se však k elektrickým vozidlům musela vrátit, a to zejména v dobách, kdy nebyla dostupná ropa. Během arabsko-izraelského konfliktu v roce 1973 uvalil OPEC embargo na vývoz ropy vůči USA a cena ropy za barel se přes noc zvýšila o 400 %. Právě v obdobích nejistoty a politické nestability byla vozidla se spalovacím motorem nejzranitelnější. Ropné krize 70. let tak opět otevřeli debatu o elektrické alternativě. (4)

Československo rovněž na přelomu 60. a 70. let chtělo zkoumat elektrické alternativy automobilového provozu. Brněnský Výzkumný ústav elektrických strojů točivých byl v roce 1968 pověřen úkolem zkonstruovat městský automobil na elektrický pohon. Výsledkem se stala tzv. EMA – elektrický městský automobil. EMA byla svého času velmi pokrokové vozidlo, disponovala dvěma elektromotory o výkonu 2 kW, přičemž každý motor byl uložen v jednom zadním kole. Toto uspořádání tak eliminovalo potřebu diferenciálu. Dalším nadčasovým technickým řešením, kterým EMA zefektivňovala svůj provoz, byla možnost rekuperace energie při brždění. Jedná se o jev přeměny kinetické energie vozidla zpět na využitelnou energii, kdy elektromotor energii nevydává, nýbrž

pracuje v generátorovém režimu a získanou energii vrací do napájecí sítě, popřípadě rovnou ukládá do akumulátoru. (6), (7)

Nejvyšší možná rychlost vozidla byla 50 km/h při dojezdu 30 až 50 kilometrů dle způsobu jízdy, sada baterií vážila 300 kg. Komfortu se řidiči a jeho spolujezdci dostalo v obdobné míře jako v brněnské tramvaji té doby, sedačka byla totiž z tohoto dopravního prostředku převzata a potažena koženkou. EMA se navzdory zajímavým technickým řešením do sériové výroby nikdy nedostala, KSČ v roce 1972 rozhodla, že elektrické vozidlo nepotřebuje. (7)

Obrázek 2: EMA: elektrický městský automobil



Zdroj: (7)

Téma elektromobility opět v posledních dvou dekadách stoupalo na důležitosti, přičemž dnes se dostává automobilový průmysl do kritického bodu. Vysoké enviromentální uvědomění společnosti a s ním i spojená poptávka po čistším způsobu dopravy, pokročilý technologický vývoj elektrických vozidel a klíčových komponentů jako jsou akumulátory či elektromotory v současné době sblížil elektromobily a vozidla s konvenčním spalovacím motorem (ICEV) natolik, že běžný účastník silničního provozu nepocítí mezi těmito dvěma způsoby dopravy žádný zásadní rozdíl, vysoké sankce výrobců automobilů za nedodržení emisních norem – všechny tyto faktory pomalu otáčejí směřování motorismu k elektrické budoucnosti.

Významné světové automobilky již oznámily své cíle transformovat nabízenou flotilu vozidel se spalovacími motory na flotilu plně elektrických vozidel. Ku příkladu tradiční výrobce automobilů Mercedes-Benz plánuje tuto změnu uskutečnit během jednoho desetiletí. Značka počítá, že již v roce 2025 bude polovinu odbytu tvořit segment plně elektrických vozidel (BEV) a plug-in hybridů (PHEV). V roce 2030 bude podnik nabízet pouze vozy BEV na trzích, kde to infrastruktura dovolí. (8)

Mercedes-Benz není v deklaraci přechodu k výrobě pouze elektrických vozidel jedinou automobilkou. Podobné závazky učinil i výrobce General Motors, který chce obdobnou změnu realizovat k roku 2035. Elektrickou budoucnost předpovídá i koncern Volkswagen, jehož vlastněné dceřiné firmy Audi i Bentley rovněž oznámily přechod k výrobě pouze elektrických vozidel k roku 2033. (8)

3.3 Pohon vozidel

3.3.1 Spalovací motory

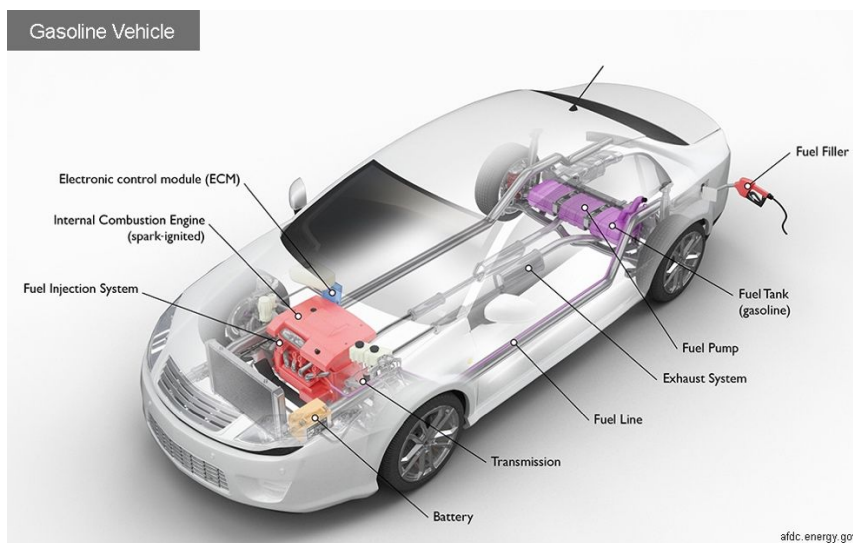
Klasické spalovací motory využívají jevů termodynamiky, když zahořením paliva uvolní chemickou energii vázanou v palivu. Tato energie pak prochází jednotlivými komponenty motoru až k výstupní hřídeli, kde se napojí na hnací ústrojí vozidla.

3.3.1.1 Zážehový motor

Zážehový motor funguje na principu zažehnutí směsi vzduchu a paliva elektrickou jiskrou, tedy zapalovací svíčkou. Nejrozšířenější zážehové motory pracují ve čtyřdobém cyklu: sání, komprese, expanze a výfuk.

V první fázi se posune píst dolů, čímž se ze sacích ventilů do prostoru válce uvolní palivo a vzduch. Ve druhé fázi pak kliková hřídel posune píst nahoru, sací ventil se uzavře a dojde tak ke kompresi paliva a vzduchu. V následující fázi dojde k expanzi čili výbuchu. V horní amplitudě pohybu pístu poskytne zapalovací svíčka jiskru a dojde ke vznícení stlačené směsi a prudkému pohybu pístu směrem dolů. Cyklus uzavírá fáze výfuk, kdy kliková hřídel opět zvedá píst vzhůru, otevírá se výfukový ventil a explodovaná směs opouští prostor válce. (9)

Obrázek 3: průřez vozidlem se zážehovým motorem



Zdroj: (9)

Nejběžnějším palivem vozidla se zážehovým motorem je benzin. Po modifikacích ovšem může motor spalovat například LPG, dřevoplyn, alkohol či propan-butan. Tato alternativní paliva mají ovšem odlišné chemické vlastnosti a ty mají dopad na efektivitu provozu motoru.

Hlavními výhodami provozu vozidel se zážehovým motorem oproti vozidlům se vznětovým motorem je nižší cena a váha motoru, nižší náklady na údržbu i menší hlučnost provozu motoru. Komfortu řidiče přidá i zpravidla vyšší výkon motoru. Zážehový motor má ovšem zpravidla vyšší spotřebu paliva, menší točivý moment v nízkých otáčkách, je náchylnější k vyššímu opotřebení motoru, které je způsobeno ku příkladu nižší kvalitou paliva, a v neposlední řadě je benzin dražší než nafta.

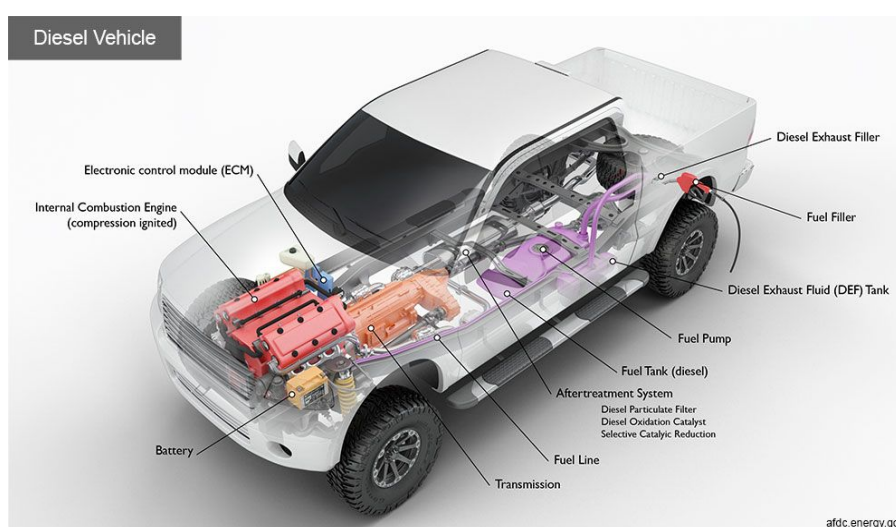
3.3.1.2 Vznětový motor

Vznětový motor neboli dieselový, operuje podobně jako motor zážehový. Opět můžeme pozorovat čtyřdobý cyklus, nicméně s jednou a zásadní obměnou. Ve fázi expanze stlačenou směs nezapaluje zážehová svíčka, palivo se vznítí samo. Toho je docíleno vyšší teplotou a vyšším tlakem na palivovou směs v motoru.

Výhodami dieselového motoru jsou pak nižší spotřeba paliva oproti zážehovým agregátům, delší životnost, nižší cena paliva či vyšší točivý moment v nízkých otáčkách, což umožňuje vozidlům se vznětovým motorem efektivněji převážet těžké náklady. Nevýhodou je pak vyšší pořizovací cena, která je způsobena vyššími požadavky na kvalitnější materiály, ze kterých jsou tvořeny klíčové

komponenty motoru, právě z důvodu výše zmiňovaných vyšších dosahovaných tlaků a teplot ve válcích. Provoz diesellového motoru je hlučnější, tvoří více škodlivých emisí, motor je choulostivější vůči okolní vlhkosti a teplotě vzduchu. Diesellový agregát je vhodný zejména k užívání na delší trasy, kdy má olej dostatečný čas se zahřát na provozní teplotu a operovat tedy v ideálních podmínkách. Motoru nesvědčí krátké pojezdy do cca 15 minut, kdy se nestihne olej dostatečně zahřát, to pak vede k vyššímu opotřebení motoru a i vyšší spotřebě paliva.

Obrázek 4: průřez vozidla se vznětovým motorem



Zdroj: (10)

3.3.2 Elektromotor

Zatímco výše popsané spalovací motory využívají ke vzniku energie jevů termodynamiky, elektromotory těží z jevů elektromagnetických. Energie vzniká elektromagnetickou indukcí, když elektrický proud prochází magnetickým polem. Na rozdíl od komplikovaného mechanického ústrojí spalovacího motoru skládajícího se z pístů, válců, ventilů, klikového hřídele a dalších komponent, elektromotor má klíčové komponenty pouze dva, a sice rotor a stator, které spolu vzájemně interagují. Rozdíly mezi těmito dvěma řešeními zdroje energie ovšem nekončí pouze u principu přeměny energie na mechanický pohyb. (11)

Zatímco spalovací motory vyžadují pro dosažení svého maximálního výkonu a točivého momentu vysokých otáček, elektromotor nabízí opačný průběh křivky závislosti otáček motoru a podávaného výkonu. V praxi to znamená, že elektromobily jsou oproti ICEV v nižších rychlostech

dynamičtější, disponují lepší akcelerací, naopak však ztrácejí výkon ve vyšších otáčkách, potažmo rychlostech. I právě vzhledem k tomu, že elektromotor disponuje maximálním točivým momentem již v nízkých otáčkách, není u elektromobilů nutné zvažovat komplikované vícestupňové převodovky. Neznamená to ovšem, že EV s vícestupňovými převodovkami neexistují, jedná se ovšem o několik málo sportovních modelů. (11)

Komparativní výhodou elektrických vozidel (EV) oproti ICEVs je bezpochyby i tzv. „regenerativní brzdění“, odborně pak rekuperace elektrické energie. Každý elektromotor může změnit směr svého otáčení a místo výdeje energie může energii přijímat, stane se z něj generátor. Dochází k tomu tehdy, když je nutné vozidlo zpomalit, zastavit. Je to tedy přeměna kinetické energie vozidla na energii elektrickou, která je poté uložena do akumulátoru pro další využití. Využíváním rekuperace elektrické energie se provoz EVs zefektivňuje a prodlužuje se aktuální maximální dojezd vozidla. Rekuperace může mít několik intenzit brzdění dle nastavení vozidla, v některých případech je možné vozidlo řídit i pouze jediným pedálem (pedál plynu), poněvadž při nesešlápnutí ani jednoho pedálu vozidlo silně rekuperuje elektrickou energii a tím i intenzivně brzdí. Tato vlastnost je užitečná hlavně při dlouhých klesáních, kdy řidič nemusí „stát na brzdě“ a zahřívát brzdy vozidla a činit je tak v době potřeby méně efektivními. (12)

3.3.3 Baterie elektromobilů, akumulátor

Na úvod je žádoucí vysvětlit rozdíl mezi baterií a akumulátorem. Na rozdíl od akumulátoru (sekundární články) baterie (primární články) není možné znovu po výkonu nabíjet. Ve spojení s moderními elektromobily je tak označení baterie chybné, nebo alespoň zavádějící. Baterie byly vskutku v elektromobilech využívány, dalo se tak v raných letech elektromobility ještě před vynálezem prvního akumulátoru Gastona Plantého z roku 1859. Ve spojení s moderní elektromobilitou ovšem uvažujeme sekundární články, akumulátory.

Akumulátor pracuje na principu přeměny elektrické energie na energii chemickou při nabíjení, naopak při vybíjení se z chemické energie stává elektrická.

Akumulátor je složen z několika modulů, které jsou dále formovány stovkami až tisíci akumulátorových článků. Moduly jsou základním stavebním kamenem akumulátoru, o jejich stavu reportuje battery management system, který kontroluje teplotu v modulech a stará se o udržení optimálních hodnot v každé jednotce. Pro zajištění stavu dlouhodobé akceschopnosti je battery management system velmi důležitý, neboť zajišťuje rovnoměrné využití všech článků v modulu,

zároveň obstarává rovnovážné nabíjení všech článků tak, aby absolvovaly přibližně stejný počet cyklů. Akumulátor by měl být schopen za svůj životní cyklus absolvovat 1000 až 1500 cyklů nabití a vybití, tento údaj se však s každoročními technologickými pokroky nadále posouvá. (13)

Právě akumulátor je nejdiskutovanější komponent u elektrické mobility. Má přímý vliv na prodejní cenu vozidla, maximální možný dojezd či délku nabíjení. Tato důležitá kritéria mobility se pomocí technologického pokroku daří rok od roku uspokojovat lépe a lépe. Ku příkladu 1 kWh kapacity v akumulátoru stála v roce 2010 1100 \$, dnes se blížíme hranici 100 \$ / kWh. (13)

Nezanedbatelný vliv na maximální dojezd EV a tím pádem i podstatnou zátěž pro akumulátor představuje počasí a okolní teplota. Při nižších teplotách se efektivita akumulátoru snižuje, nehledě na to, že se uskladněná elektrická energie v akumulátoru využívá i na ohřev kabiny vozidla a tím se citelně snižuje dojezd vozidla. ICEVs využívají vysokých teplot spalovacího motoru k ohřevu vzduchu, který pak může být dále využit, zatímco EVs musí obětovat část kapacity svého akumulátoru k témuž účelu. Pro zachování dlouhodobé a udržitelné výkonnosti akumulátoru je rovněž silně doporučováno, aby stav nabití akumulátor neklesal pod 20 % své kapacity. Ke stejnému efektu pomáhá i pomalejší nabíjení, tedy nabíjení střídavým proudem, které nedosahuje takového výkonu. Tranzitní nabíjení stejnosměrným proudem při výkonu nad 20 kW může při častém využívání působit negativně na dlouhodobou udržitelnost vysoké maximální kapacity akumulátoru. (13)

3.3.3.1 Recyklace akumulátoru

Recyklace baterií je jednou z klíčových otázek budoucnosti elektromobility. Je to velmi nákladný proces, při kterém se v současné době nedaří zpětně vytěžit maximum z použitých zdrojů. Pokud je ve světovém zájmu minimalizace primární těžby surovin, měla by recyklaci baterií být věnována prioritní pozornost. Pokud je elektromobilita prosazována jako doprava zítřka, musí být odpovědně přistoupeno k vypořádání ekologických stop vzniknuvších vkročením elektromobility do naší budoucnosti.

V současnosti jsou nejrozšířenějším zdrojem energie u EVs lithium-iontové baterie, ty se však nesnadně recyklují. Oproti starším oloveným článkům, které stačilo rozdrtit a roztavit či rozpustit v kyselině, lithium-iontové baterie jsou složeny z mnoha různých komponentů, např. kobalt, nikl či lithium a tyto přístupy recyklace na ně nejsou aplikovatelné. V současné době se tedy recykluje pouze 5 % z celkového světového objemu těchto akumulátorů. Problém představuje i demontáž baterie,

kteřou je potřeba provádět manuálně. Zároveň výrobci vozidel doporučují akumulátory měnit, pokud jim klesne maximální kapacita pod 80 % původní maximální hodnoty. (14)

Při recyklaci li-ion baterií se nejprve odejme obal, ze kterého lze recyklovat ocel, hliník, plast či elektroniku. Pod obalem jsou již bateriové články. Nejprve se musí separovat katody a hliníková sběrná fólie. Toho je docíleno chemickým rozpouštědlem. Nakonec je nutné rozpustit katodové materiály, toho lze docílit hydrometalurgií či pyrometalurgií. Hydrometalurgie je proces, kdy jsou kovy v materiálu obsažené za nízkých teplot solí či kyselinou přeměňovány na kovový roztok. Pyrometalurgie pak pracuje s přeměnou materiálu při vysokých teplotách. Rozhodujícím kritériem pro efektivní a ekologickou recyklaci je výstupní kvalita recyklovaných materiálů. Pokud je kvalita recyklovaného materiálu nižší nežli požadovaná kvalita pro sestavení nového komponentu, vytváří se další ekologická zátěž, jelikož se již jednou zpracovávaný materiál musí podrobit sekundární recyklaci, která je opět energeticky náročná. (15)

Otázka recyklace nabývá na důležitosti s každým rokem. Dle analýz se totiž roku 2025 odhaduje počet vyřazených elektrických vozidel na 540 000 kusů a o dalších 15 let později se uvažuje již přes 46 milionů vyřazených EVs. Tento vývoj bude mít i vliv na trh s recyklovanými bateriemi, za stejné období vzroste kapacita z 26 GWh na 1606 GWh. (14)

Dalším klíčovým aspektem, který by neměl být v souvislosti s elektromobilitou a ruku v ruce s recyklací baterií opomíjen, je odpovědnost za původ zdrojů. S velmi svižným nástupem elektromobilů se váže i otázka, kde budou výrobci automobilů čerpat nepostradatelné zdroje k výrobě klíčových komponentů svých EVs při rostoucí plánované produkci těchto vozidel. Jedním z těchto zásadních prvků, je kobalt. Největší světové zásoby kobaltu leží v Konžské demokratické republice a jeho těžba je spojována s porušováním lidských práv dělníků, ozbrojenými konflikty, neekologickými a neudržitelnými postupy vůči životnímu prostředí a v neposlední řadě dětskou prací. Dle (16) je dolování kobaltu v těchto podmínkách energeticky velmi náročné. K získání tuny tohoto kovu se spotřebuje 50,93 MWh energie. Právě protichůdnost myšlenek zelené udržitelné mobility a dětské práce v Africe je jedním z velikých rozporů, které je třeba vyřešit. Částečnou odpovědí by však mohla být efektivní recyklace baterií, která by měla do jisté míry sytit poptávku po vzácných kovech a odlevit tak primární těžbě v nelidských podmínkách. (17)

3.3.3.2 Dobíjení akumulátoru

Akumulátor je možné nabíjet u plných elektromobilů a plug-in hybridů, jak bude rozvedeno v navazujících kapitolách. V současnosti je jediným v běžném provozu využívaným systémem

nabíjení EVs napájení pomocí kabelu zapojeného do elektrické distribuční sítě. Jak ovšem bylo již řečeno v kapitole „Historie elektromobilu“, na konci 19. století byla alternativou kabelového nabíjení kompletní výměna vybité sady baterií za novou. Toto řešení v současné době ovšem není považováno za reálnou variantu a do dalších úvah nevstupuje.

Pro nabíjení BEVs a PHEVs se používá jak střídavý (AC) tak stejnosměrný (DC) proud. Střídavý proud je používán pro svůj nízký výkon u pomalého nabíjení přes noc. Naopak stejnosměrný proud je pro svůj vysoký výkon využíván v tranzitní dopravě na velké vzdálenosti, kdy je schopen za relativně krátkou dobu strávenou v nabíječce akumulátor nabít o desítky procent. Nabíjení pomocí AC je pro akumulátor šetrnější a z hlediska zachování dlouhodobé vysoké maximální kapacity baterií je preferováno nad nabíjením pomocí DC, které sice dokáže ve velmi krátkém čase dobít podstatnou část baterie, nicméně dlouhodobé stejnosměrné nabíjení má negativní dopad na živostnost jednotky.

AC nabíjení probíhá následovně. Vozidlo se kabelem s konektorem připojí do distribuční sítě, která začne vysílat elektrický proud do EV. Střídavý proud je směřován do palubní nabíječky, která jej přemění na stejnosměrný proud a ten je pak ukládán do akumulátoru. U tohoto stylu nabíjení ovšem může docházet ke ztrátám. Řekněme, že vozidlo nabíjíme z domácí AC stanice o výkonu 11 kW. Vozidlo má ovšem palubní nabíječku, která je schopna maximálního výkonu 3,7 kW. Palubní nabíječka nemůže pracovat s vyšším výkonem se než svým maximálním, proto vozidlo nebude napájet výkonem 11 kW, nýbrž pouze 3,7 kW. V důsledku toho se nabíjecí čas bezmála třikrát prodlouží. (18)

DC nabíjecí stanice jsou schopny přeměnit AC na DC, tudíž obchází palubní nabíječku EV a jsou tak řádově rychlejší než AC stanice. Aby však mohlo dojít k bezpečnému dobití EVs, musí být DC nabíjecí stanice vybaveny systémy, které umožní komunikaci mezi akumulátorem a nabíječkou a zajistí tak potřebnou výměnu informací o stavu baterie a tím pádem je pak možné regulovat rychlost nabíjení adekvátně dle individuálních potřeb konkrétního EV. DC stanice jsou sice řádově rychlejší než stanice AC, nicméně jsou mnohonásobně dražší na výstavbu. I proto je čerpání z energie z DC stanic dražší než proud z AC nabíječek. (18)

3.4 Typy EVs

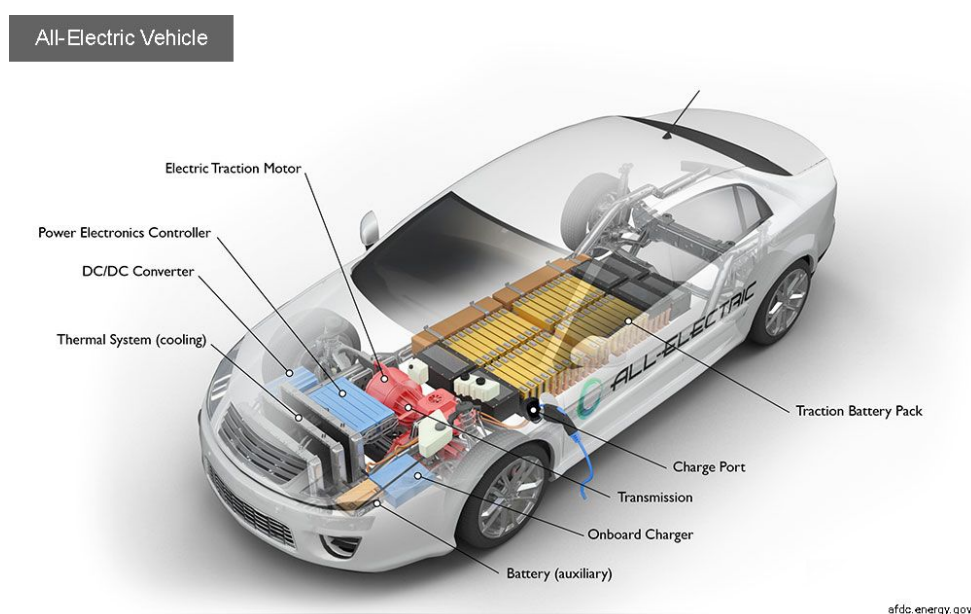
3.4.1 Battery Electric Vehicle (BEV)

BEV jsou plně elektrická vozidla, která využívají k pohybu výhradně svůj elektrický motor. Zdrojem energie pro elektromotor je akumulátor, který je nabíjen připojením do elektrické distribuční sítě. V porovnání s ICEV mají BEV celkově nižší náklady na provoz vozidla, dosahují vyšší efektivity

motoru a jsou i méně nákladně na údržbu, a to sice z důvodu menšího počtu pohyblivých částí v motoru. (13)

V roce 2022 představila automobilka Mercedes-Benz svoji vizi elektrické budoucnosti BEV vozidel. Je jím revoluční model Vision EQXX, čtyřdveřový sedan, jehož půltunový akumulátor dokáže pojmout až 100 kWh elektřiny. BEV EQXX v červnu 2022 absolvovalo na jedno nabití 1202 km dlouhou cestu z německého Stuttgartu do britského závodního okruhu Silverstone. K tomuto nevídanému technologickému úspěchu pomohlo EQXX hned několik pokrokových technologií. Prvně vozidlo dosahuje koeficientu aerodynamického odporu vzduchu pouhých 0,17, dále disponuje solárními panely zabudovanými ve střeše, které snižují spotřebu vysokonapěťových systémů a zvyšují tak maximální dojezd a v neposlední řadě EQXX využívá nejmodernějších křemíkových anod, které umožňují akumulátoru dosáhnout kapacity 200 Wh / kg, tedy cca 30 % úsporu hmotnosti při srovnatelné maximální kapacitě akumulátoru oproti konkurenci. Vozidlo EQXX je zatím stále pouze prototypem, do sériové výroby se zatím neuvažuje. Nicméně podaný výkon předpovídá, jak efektivní mohou být běžné BEVs v budoucnosti. (19), (20)

Obrázek 5: Průřez BEV vozidlem



Zdroj: (21)

Obrázek 6: Mercedes-EQ VISION EQXX



Zdroj: (19)

3.4.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

PHEV jsou vozidla, která disponují jak spalovacím motorem (dieslovým či benzinovým), tak zároveň i elektromotorem, který je napájen vlastním akumulátorem. Ten je stejně jako u BEV nabíjen z distribuční sítě či rekuperací elektrické energie. V praxi tak mohou využívat silných stránek specifických jak pro ICEV, tak i BEV vozidla.

K pohybu používají PHEV buď spalovací motor, elektromotor či oba pohony najednou. V nižších rychlostech využívají PHEV primárně elektrický motor, který v městském provozu dosahuje vyšší efektivity, naopak při vysokých rychlostech na delších trasách je pak primárně využíván spalovací motor, který pracuje optimálně ve vyšších otáčkách.

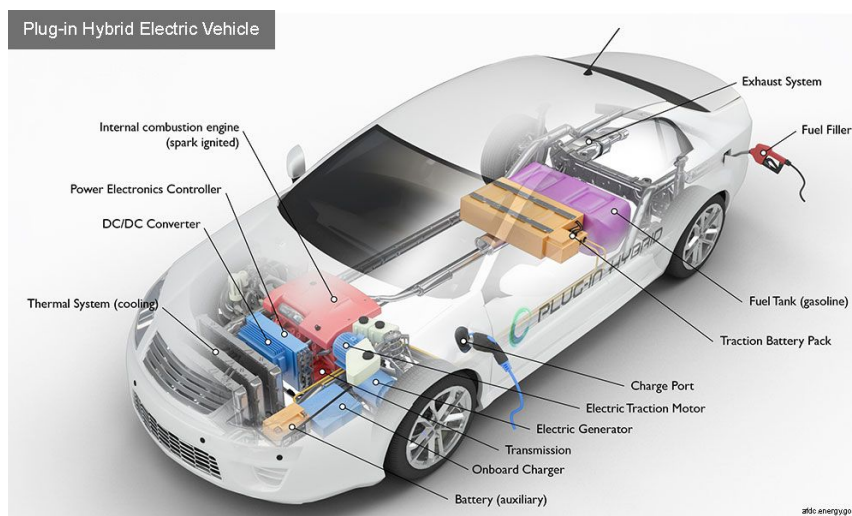
Při konstrukci PHEVs dochází k řadě nutných kompromisů, prvně je nutné do vozidla integrovat těžký a prostorově významný akumulátor. Spalovací motor je tradičně umístěn vpředu vozidla, baterie se tedy musí vměstnat do zadní části vozu, což do značné míry omezuje kapacitu úložného prostoru vozidla, objem nádrže paliva pro spalovací motor či prostor pro cestující na zadních sedadlech. Průměrný maximální dojezd PHEVs pouze na elektřinu se v dnešní době pohybuje mezi 30 a 50 km, na trhu už je ovšem možné zakoupit vozy, které na elektrický pohon na jedno nabití ujedou přes 100 km.

Teoreticky PHEV čerpá to nejlepší z klasických technologií ICEV a vypůjčuje si i silné stránky od plných elektromobilů. Vozidlo je možné provozovat jako BEV ovšem s limitovaným dojezdem, nebo i jako ICEV, nicméně v tomto režimu dosahuje pouze chabých výsledků bez potřebné přidané hodnoty a jen s nízkou efektivitou. Aby totiž PHEVs fungovaly dle zamýšlené strategie, je nutné po každém vybití akumulátoru jej opět nabít. Scénář běžného užívání PHEVs byl totiž koncipován na předpokladu, že uživatel vozidla si po většinu dní dokáže obsloužit svoji potřebu po mobilitě v rámci jednoho cyklu nabití a vybití akumulátoru.

Dle údajů z roku 2019 téměř polovina Čechů dojíždí do práce vlastním vozidlem, přičemž průměrná vzdálenost do zaměstnání činí 18 kilometrů. (22) Klíčová informace pro konstruktéry PHEVs je tedy poptávaný denní dojezd vozidla, který se v průměru může pohybovat kolem 40 kilometrů. Právě na tuto vzdálenost je pak uzpůsobena velikost akumulátoru. Jak bude dokázáno v analytické části, provoz vozidla na elektřinu je totiž ekonomicky výhodnější nežli provoz ICEV, proto je žádoucí maximalizovat poměr ujetých kilometrů na elektřinu. Jak již ovšem bylo zmíněno, aby byla strategie minimalizace provozních nákladů úspěšná, musí se akumulátor každý den znovu nabíjet.

V momentě, kdy vozidlo nemá k dispozici nabitý akumulátor, musí použít spalovací agregát. Ten má ovšem ztíženou činnost, jelikož vozidlo s sebou stále vozí těžké baterie, a tento fakt se posléze projeví na zvýšené spotřebě dražšího z paliv, tedy benzínu či nafty. Pokud tedy pracuje samostatně spalovací motor bez dopomoci elektromotoru, nezanedbatelně se zvýší náklady na provoz vozidla. Dále i kvůli snížení objemu palivové nádrže je pak uživatel PHEV nucen častěji zastavovat k doplnění pohonných hmot u čerpacích stanic. Komparativní výhodu v podobě úspory běžných nákladů na provoz PHEV oproti ICEV si hybridy drží pouze tehdy, je-li akumulátor pravidelně dobíjen.

Obrázek 7: průřez PHEV vozidlem



Zdroj: (23)

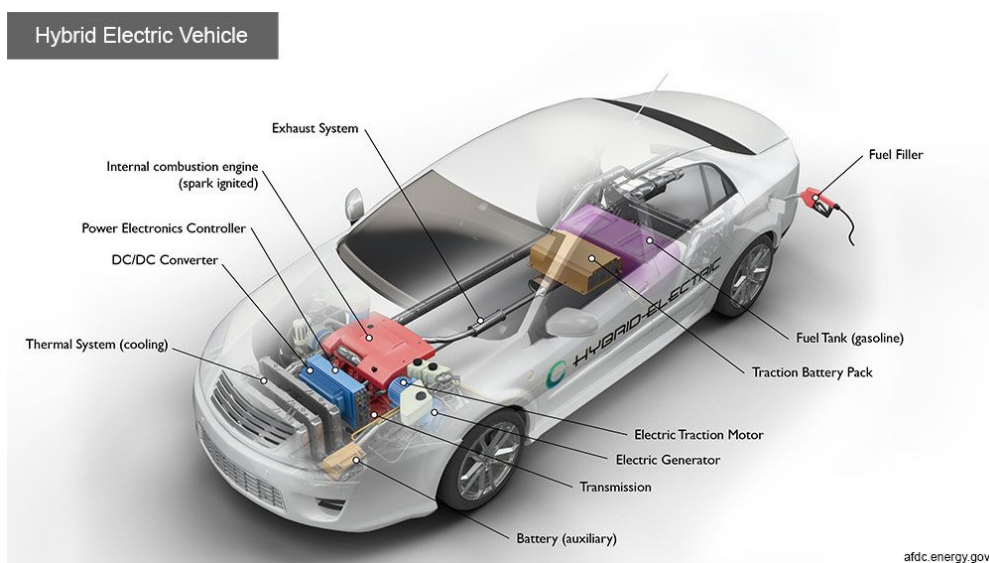
3.4.3 Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Další významnou skupinou EVs jsou HEV, tedy hybridní vozidla. HEV můžeme v zásadě dělit na dvě skupiny – mild hybridy (MHEV) a full hybridy (FHEV).

MHEV jsou vozidla, která spojují spalovací motor s malým 24 V či 48 V elektromotorem, který pouze krátce pomáhá s akcelerací vozidla. Cílem tohoto spojení je snížení spotřeby paliva a emisí skleníkových plynů. Při běžném provozu MHEV uživatel téměř nemá šanci pozorovat rozdíl oproti klasickým ICEV. (24)

FHEV jsou vozidla, která mohou být krátkodobě poháněna čistě na elektřinu. Opět zde spolupracuje spalovací motor s elektrickým motorem, nicméně u FHEV dostává elektromotor oproti MHEV větší autonomii. FHEV disponují zpravidla malým akumulátorem, který může poskytnout elektromotoru energii na samostatný pohon kol na několik set metrů. Akumulátor se dobývá rekuperací elektrické energie či pomocí spalovacího motoru, HEV není možné připojit do elektrické distribuční sítě. (24)

Obrázek 8: průřez HEV vozidlem



Zdroj: (25)

3.4.4 Extended Range Electric Vehicle (EREV)

Posledním zmíněným typem EVs je EREV, tedy elektrické vozidlo s prodlužovačem dojezdu. Jedná se v první řadě o elektromobil, tedy k pohonu kol je určen pouze elektromotor. Vozidlo ovšem disponuje ještě spalovacím motorem tzv. prodlužovačem dojezdu z anglického range-extender.

Princip fungování EREVs je nastaven tak, že pokud to kapacita akumulátoru umožní, je elektromotor napájen právě z baterie. Pokud je ovšem nutné urazit větší vzdálenost, zapojí se do procesu spalovací motor. Spalovací agregát ovšem slouží výhradně k dobíjení akumulátoru jako dynamo.

Momentálně se EREVs těší největší popularitě na čínském trhu. Vozidlo Li L9 je rodinné SUV, které disponuje akumulátorem o kapacitě 44,5 kWh doplněným o 1,5 litrový benzinový generátor. Čistě na elektřinu uloženou v akumulátoru vozidlo urazí 180 km, celkový maximální dojezd však činí 1135 km díky objemné nádrži na 65 litrů paliva. (26)

Evropské zástupce skupiny EREV bychom mohli nalézt v podobě londýnského taxi vyráběného firmou Geely. V minulosti vyrábělo EREVs i BMW, konkrétně se jednalo o model i3 REx. Malé městské BMW se však již nevyrábí, skloubení v podstatě plného elektromobilu s malým spalovacím motorem původně určeným pro motocykly se ukázalo jako nákladné a servisně náročné řešení. (27)

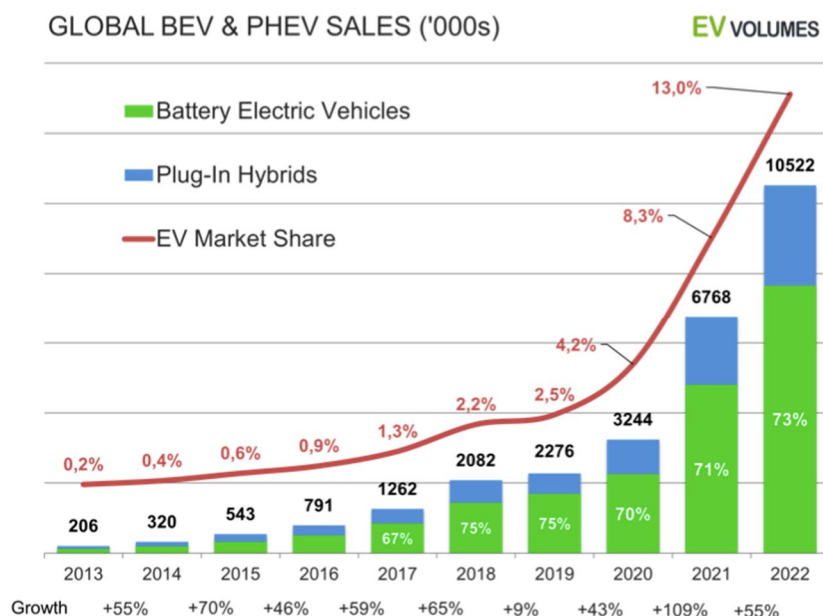
3.5 Současný stav elektromobility ve světě

Dle (28) světový odbyt EVs je už dekádu na prudkém vzestupu. V roce 2013 elektrická vozidla zaujímala pouze okrajovou a spíše kuriozní roli na automobilovém trhu při podílu 0,2 % na celkovém objemu prodaných nových vozidel. V porovnání s loňským rokem 2022 je však situace dramaticky odlišná, kdy EVs již zaujímají nezanedbatelnou část vozového parku nových prodaných automobilů, konkrétně představují již 13 % celkového ročního objemu prodeje a celkem tedy 10,5 milionu vozidel. Ačkoliv se současný automobilový trh potýká s výzvami v podobě nedostupnosti rozličných komponentů pro nová vozidla, rozvířené geopolitické situace způsobené válkou na Ukrajině či zvýšené opatrnosti odběratelů nových vozidel v souvislosti s očekávanou ekonomickou recesí, podíl prodaných nových EVs na celkovém objemu nadále stoupá. I když se tedy v dnešní době celosvětově vyrábí méně vozidel než v období před pandemií koronaviru Covid-19, BEV a PHEV automobilům se daří zaujímat čím dál důležitější pozici na trhu. (28)

Globálně největším hráčem na poli elektromobility je Čína. V roce 2021 se v Číně prodalo necelých 3,4 milionů EVs, v roce 2022 to bylo však dokonce 6,18 milionu, tamní trh s EVs tak zaznamenal strmý meziroční růst o cca 80 %. Čína je tak největším světovým odbytištěm pro elektromobily, když pojme nadpoloviční většinu, konkrétně 58 %, celosvětového trhu s EVs. (28)

Evropský trh nezaznamenal tak strmý růst jako ten čínský, počet prodaných EVs tak vzrostl pouze o 15 %. Důvodem pro pomalejší tempo růstu může být vysoký prodej EVs v letech 2020 a 2021, kdy se mohla nadměrně nasýtit poptávka po tomto typu vozů, následně může hrát roli ruská agrese na Ukrajině. (28)

Obrázek 9: světový odbyt BEVs a PHEVs



Zdroj: (28)

3.5.1 Elektromobilita v ČR

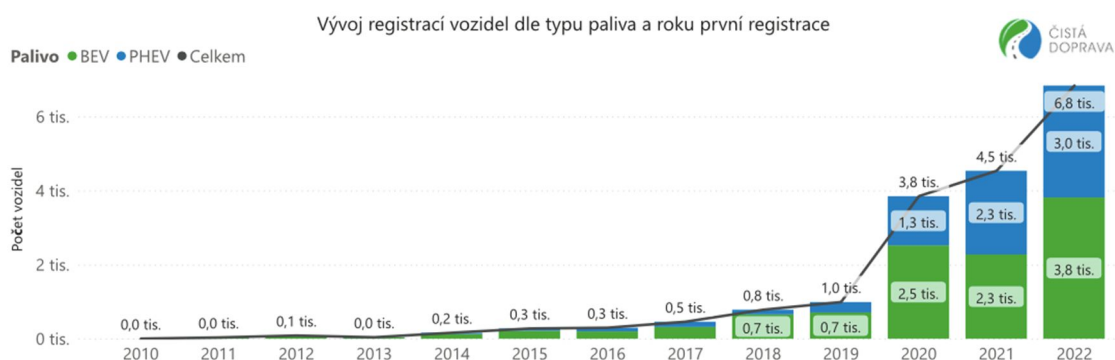
V České republice nabírá elektromobilita na intenzitě teprve v posledních letech, kdy se z nižších stovek registrovaných BEV a PHEV automobilů stávají tisícovky ročně. V kontextu celkového objemu registrací ovšem podíl EVs nenabírá významných hodnot, v ČR se tak stále jedná o pouze okrajový způsob osobní dopravy. Nicméně rostoucí trend nových registrací BEV a PHEV by měl pokračovat i do budoucna. Výrobci automobilů jsou pod přísnými pokutami motivováni k nabídce a prodeji ekologicky šetrnějších vozidel, proto hledají možnosti, jak elektrické varianty svých modelů dostat ke koncovým uživatelům.

Od roku 2020 do roku 2022 byla značkou s největším počtem nových registrací BEV automobilů Škoda, dále se umístila Tesla, Hyundai, Volkswagen a Mercedes-Benz. Škoda v tomto období nově zaregistrovala 2 980 vozidel, Tesla 944, Hyundai 792, Volkswagen 780 a luxusní značka Mercedes-Benz si připsala 481 registrací. Celkem se v tomto období uvedlo do provozu 8611 plných elektromobilů. Regionem s nejhojnější registrací je Hlavní město Praha s necelými 40 %, dále pak Středočeský kraj s necelou čtvrtinou. (29)

Co se PHEV týče, bylo v období let 2020 až 2022 sečteno 6 609 nových registrací, z toho bylo opět cca 63 % vozidel přihlášeno v Hlavním městě a Středočeském kraji. Znovu je nejčastěji registrovanou značkou Škoda s 1 859 kusy, dále následuje Mercedes-Benz s 1 039 PHEV a zmíním i BMW, které registrovalo 622 vozidel. (29)

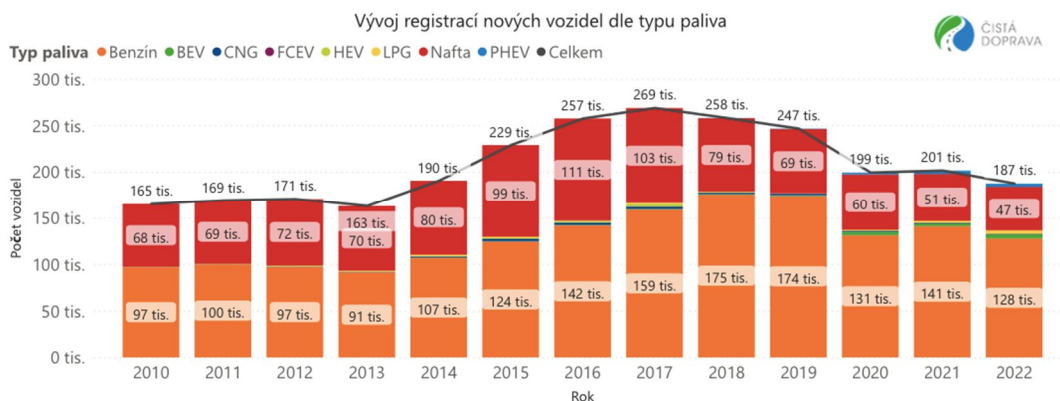
V ČR není nákup PHEV a BEV vozidel pro běžné spotřebitele nikterak vládně subvencován. Výhod se dostává pouze ve formě bezplatného parkování v zónách rezidentního stání či zproštění od platby dálničního poplatku. V současné době ovšem mohou obce, státní podniky, či neziskové organizace zažádat o dotaci prostřednictvím Státního fondu životního prostředí ČR ministerstva životního prostředí ve výši několika statisíců Kč na nákup plně elektrického bateriového vozidla či vodíkového automobilu a příslušné nabíjecí stanice. (30)

Obrázek 10: vývoj prvních registrací BEV a PHEV v ČR



Zdroj: (29)

Obrázek 11: vývoj prvních registrací vozidel dle typu paliva v ČR



Zdroj: (29)

3.5.2 Elektromobilita v SRN

Německo je po Číně dle (31) druhou zemí co do počtu prodaných nových EVs v roce 2021. SRN obhájila svoji pozici s 10,2 % globálního trhu s EVs před USA s 9,3 %. Aktuálnější data z roku 2022 podle německého federálního úřadu pro motorovou dopravu (32) vypovídají o trvalém rostoucím zájmu o elektromobilitu v SRN. Za rok 2022 byl počet registrací BEV vozidel téměř roven počtu registrací vozidel s dieslovým agregátem. Počet EVs se tak na silničních komunikacích nadále zvyšuje, prodeje BEVs překonaly 336 000 prodaných kusů z roku 2021 o 32 %, prodeje PHEVs se rovněž zvýšily z 325 000 kusů na 362 000.

Obrázek 12: roční registrace vozidel v SRN

Kraftstoffart	Anzahl 2022	Anzahl 2021	Veränderung gegenüber 2021 in %
Insgesamt	2.651.357	2.622.132	+1,1
darunter			
Benzin	863.445	972.588	-11,2
Diesel	472.274	524.446	-9,9
Flüssiggas	15.006	10.118	+48,3
Erdgas	1.846	3.916	-52,9
Hybrid	827.321	754.588	+9,6
darunter Plug-in	362.093	325.449	+11,3
Elektro (BEV)	470.559	355.961	+32,2

Zdroj: (32)

Jedním z hlavních důvodů vysokého zastoupení EVs ve vozovém parku Německa jsou vysoké dotace pro nákup PHEV a BEV automobilů. Tyto dotace z 2/3 hradí stát a z 1/3 se podílí samotná automobilka. Jak je vidno na obrázku č. 13, do konce loňského roku mohla osoba pořizující si plný elektromobil v hodnotě až 1 milion Kč počítat se subvencí 225 000 Kč, tedy 22,5 % z pořizovací ceny vozidla. Letos se však subvence snižuje na 16,88 % a pro rok 2024 to bude pouze 11,25 %. Co se podpory prodeje PHEV týče, ta byla koncem roku 2022 zastavena úplně. Skutečnosti snížení subvencí u segmentu BEVs a úplná eliminace podpory u PHEVs měly za vliv skokový nárůst registrací nových EVs v prosinci 2022. Německo zaznamenalo nejsilnější měsíc, co se této disciplíny týče, od dob před pandemií Covidu-19, když se zaregistrovalo 314 318 nových vozidel, z toho většina (55,4 %) patřící

do skupiny EVs (33). Bude ovšem dále zajímavé sledovat, jak se budou EVs prodávat v roce 2023 právě z důvodu snížení subvencí na nákup těchto vozidel.

Obrázek 13: výše dotací na BEV a PHEV v SRN

Incentive	To 31 December 2022	To 31 December 2023*	To 31 December 2024*
BEVs up to €40,000 net list price (€45,000 from 1 January 2024)	€9,000 (net, €6,000 government + €3,000 carmaker)	€6,750 (net, €4,500 government + €2,250 carmaker)	€4,500 (net, €3,000 government + €1,500 carmaker)
BEVs up to €65,000 net list price	€7,500 (net, €5,000 government + €2,500 carmaker)	€4,500 (net, €3,000 government + €1,500 carmaker)	€0 (net, €0 government + €0 carmaker)
PHEVs up to €40,000 net list price	€6,750 (net, €4,500 government + €2,250 carmaker)	€0 (net, €0 government + €0 carmaker)	€0 (net, €0 government + €0 carmaker)
PHEVs up to €65,000 net list price	€5,625 (net, €3,750 government + €1,875 carmaker)	€0 (net, €0 government + €0 carmaker)	€0 (net, €0 government + €0 carmaker)

Zdroj: (34)

3.5.3 Elektromobilita v Polsku

V Polsku, stejně jako ve výše zmíněných zemích, roste počet registrovaných EVs. Údaje k červnu 2021 hlásí, že na silnicích Polska je v provozu 26 985 BEV a PHEV vozidel, o rok později se však počet těchto vozidel zvýšil o 80 % na 48 883. Poměr BEV a PHEV vozidel je přibližně vyrovnaný, o pár stovek více je však provozovaných BEV automobilů. (35)

V Polsku je rovněž k nalezení velké množství plně elektrických autobusů, které obsluhují městské linky a razantně tak snižují lokální emise skleníkových plynů v městských zástavbách. V současnosti v polských městech operuje flotila čítající přes 700 plně elektrických autobusů, 162 z nich ve Varšavě, 78 autobusů vozí cestující v Krakově a 59 plných elektrických autobusů obsluhuje ulice Poznaň. Významnou událostí roku 2022 pak byl fakt, že se elektrické autobusy staly nejvíce provozovanou motorizací v tomto segmentu, když obsadili první příčku s 36 % vozového parku před dieselvými autobusy se zastoupením 35 % na trhu. (36) Důležitým faktorem, který může toto významné zastoupení vysvětlovat, je hojný výskyt továren hned několika výrobců elektrických vozidel. Své elektrické autobusy v Polsku staví ku příkladu Volvo, MAN, Solaris či Scania. (35)

V roce 2021 se implementoval finanční podpůrný plán „Mój Elektryk“ tedy „Můj Elektromobil“, který soukromým i právnickým osobám poskytne poměrně štědré dotaci na nákup plného elektromobilu. Soukromá osoba tak může počítat při nákupu BEV v ceně do 48 000 EUR

s maximální výší subvence 4 000 EUR. V červnu 2022 bylo k dispozici celkem 2232 nabíjecích stanic, z toho 29 % zabírají rychle dobíjecí stanice se stejnosměrným proudem. (35) Pro porovnání v Česku bylo ke konci roku 2022 dostupných celkem 1364 dobíjecích stanic, nadpoloviční většinu zabírají pomalejší AC stanice (37). Česko je však 4krát menší zemí co se rozlohy týče, zatím tedy lze konstatovat, že je ČR, co se týče dobíjecí infrastruktury, lépe vybaveno než Polsko.

Polsko má rovněž ambice vyrábět své vlastní EVs. Státem vlastněná společnost ElectroMobility Poland (EMP) potvrdila začátek výroby vlastních elektromobilů pod značkou Izera. Nové polské elektromobily by měly začít opouštět továrny nejdříve na konci roku 2025, nicméně při pohledu na současnou globální situaci lze očekávat zpoždění. EMP plánuje do výroby vozidel zahrnout primárně polské dodavatele komponentů a zvýšit tak domácí přidanou hodnotu v automobilovém průmyslu. (38)

3.5.4 Elektromobilita ve Švédsku

Švédsko se svými 10,5 miliony obyvatel mělo v roce 2021 v provozu zhruba 5 milionů vozidel. Automobilový průmysl hraje ústřední roli švédské ekonomiky, kde reprezentuje nejobemnější exportní i importní odvětví. V roce 2021 vyvezlo Švédsko motorová vozidla v hodnotě 20,5 miliard dolarů, zatímco dovoz dosáhl v témže roce 16,5 miliard dolarů. Automobilový průmysl zde zaměstnává přibližně 140 000 lidí. (39)

Švédsko je jedním z lídrů v odvětví výroby a používání alternativních paliv a obnovitelné energie. Zavázalo se do roku 2030 snížit emise oxidu uhličitého o 40 % v porovnání s rokem 1990. Aby dosáhlo tohoto cíle, motivovalo své občany k nákupu PHEV a BEV automobilů. Do listopadu roku 2022 mohl tak každý spotřebitel počítat s podporou 70 000 švédských korun (cca 140 000 Kč) na nákup plného elektromobilu a 45 000 švédských korun (cca 90 000 Kč) na nákup PHEV při zohlednění skutečnosti, že od dotované sumy se odečte 583 SEK za každý gram oxidu uhličitého, který konkrétní vozidlo vypouští do ovzduší za každý ujetý kilometr. (39) Tato subvence však momentálně není platná. Dle (40) je od 8. 11. 2022 program „climate-bonus“ zrušen a není možné dotace čerpat. Pro tento krok uvedla vláda důvod, že pořizovací cena a provozní náklady EVs jsou již srovnatelné s ICEVs a z této příčiny již není nutné zaniknuvší rozdíl dorovnávat. Dotační program byl rovněž koncipován na logice bonus-malus, tedy vozidla, která splňovala stanovené předpoklady byla zvýhodněna, naopak vozidla, která představovala dodatečnou ekologickou zátěž, byla sankcionována. Sankce vůči ICEVs však pozastaveny nebyly.

V roce 2021 bylo nově registrováno 301 006 vozidel, přičemž podíl nabíjitelných vozidel, tedy BEV a PHEV, činil 45 %. V roce 2022 bylo celkově registrováno méně nových vozidel, pouze 288 003, nicméně podíl EVs vzrostl na 56 % z celkové sumy, registrovalo se tedy o přibližně 26 000 EVs více. Zároveň došlo k propadu nových registrací PHEVs o 15 %, zatímco BEVs si meziročně připsaly skokový nárůst 65 %. Právě tento fakt má za důsledek pozitivní efekt snížení průměrných emisí CO_2 z 89 g / km v roce 2021 na 69 g / km v roce 2022 pro celý vozový park nově registrovaných vozidel ve Švédsku. (41)

3.6 Energetický mix

Energetický mix znamená poměr či rozčlenění podílů jednotlivých zdrojů elektrické energie na celkové produkci elektřiny v dané zemi. Zdroje elektřiny se dále mohou členit na primární a sekundární. Primárními zdroji jsou takové zdroje, které pocházejí z přírody, lidstvo je tedy nemůže vyrobit. Primární zdroje dále členíme na neobnovitelné a obnovitelné. Mezi neobnovitelné zdroje se řadí fosilní paliva, kterými jsou uhlí, zemní plyn či ropa. Do obnovitelných přírodních zdrojů energie (OZE) pak zahrnujeme slunce, vítr, vodu, geotermální zdroje a další. (42) V této kapitole je rozebrán energetický mix jednotlivých států, které byly vybrány pro vstup do matematického modelu v praktické části práce.

Jak napoví tabulka č. 1, hlavním zdrojem elektrické energie v ČR byla v roce 2022 fosilní paliva. Historicky se na našem území těží hnědé i černé uhlí, které je pak využíváno v elektrárnách. Podstatný podíl na energetickém mixu také tvoří dvě jaderné elektrárny, jedna v Temelíně a druhá v Dukovanech. Obnovitelné zdroje energie zaujímají pouze doprovodnou roli v energetickém mixu ČR s příspěvkem pouhých 12,8 %.

Tabulka 1: energetický mix ČR za rok 2022

ČR	2022	
	Produkce [TWh]	podíl na produkci
Fosilní paliva	38,8	49,68 %
Hnědé uhlí	30,5	39,05 %
Černé uhlí	2,7	3,46 %
Zemní plyn	5,3	6,79 %
Další neobnovitelné zdroje	0,3	0,38 %
Jaderná energie	29,3	37,52 %
OZE	10	12,80 %

Větrná energie	0,6	0,77 %
Biomasa	2,4	3,07 %
Solární energie	2,4	3,07 %
Hydroenergie	2,1	2,69 %
Další obnovitelné zdroje	2,5	3,20 %
Celková produkce	78,1	100,00 %

Zdroj: (43), vlastní zpracování

Německo v roce 2011 prohlásilo, že do konce roku 2022 ukončí produkci elektrické energie z jaderných zdrojů. Prohlášení bylo mimo jiné vyvoláno jadernou havárií v japonské Fukušimě. (44) Nicméně dle posledních zdrojů (45) jsou momentálně v provozu ještě poslední tři německé jaderné elektrárny. Elektrárny byly ponechány v chodu v reakci na energetickou krizi vyvolanou ruskou agresí na Ukrajině, elektřinu by měly dodávat do poloviny dubna letošního roku.

SRN ovšem dlouhodobě podporuje zisk elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Byla to právě již zmiňovaná válka na Ukrajině, která zjevila německou závislost na importu ruského zemního plynu a tím pádem tak postavila nutnost rozvoje infrastruktury k zisku energie z vlastních větrných a solárních zdrojů vysoko na seznam priorit. O kompletním rozpadu energetického mixu SRN za rok 2022 informuje tabulka č. 2.

Tabulka 2: energetický mix SRN za rok 2022

SRN	2022	
	Produkce [TWh]	podíl na produkci
Fosilní paliva	213,2	43,55 %
Hnědé uhlí	106,3	21,72 %
Černé uhlí	55,3	11,30 %
Zemní plyn	45,7	9,34 %
Další neobnovitelné zdroje	5,9	1,21 %
Jaderná energie	32,8	6,70 %
OZE	243,5	49,74 %
Větrná energie	123,5	25,23 %
Biomasa	41,9	8,56 %
Solární energie	57,6	11,77 %
Hydroenergie	16,1	3,29 %
Další obnovitelné zdroje	4,4	0,90 %
Celková produkce	489,5	100,00 %

Zdroj: (46) vlastní zpracování

Polsko je tradičním výrobcem elektřiny z primárně fosilních zdrojů energie, hlavní roli stále hrají uhelné elektrárny. V plánech je však tuto závislost na uhlí pomalu transformovat do jiných segmentů energetiky. V době před ruskou agresí na Ukrajině bylo zamýšleno přejít z ekologicky nejméně šetrného uhlí na přijatelnější zemní plyn, nicméně i v důsledku války bylo koncem roku 2022 usneseno, že v Polsku budou do deseti let stát dvě nové jaderné elektrárny, jedna bude postavena americkým koncernem Westinghouse, druhou elektrárnu zprovozní Jižní Korea. (47)

V Polsku by mohlo dojít i k vyššímu zastoupení obnovitelných zdrojů na energetickém mixu. V únoru letošního roku byla schválena novela zákona o investicích do větrných elektráren, která rozvolňuje jedny z nejpřísněji nastavených předpisů, co se do výstavby nových větrných turbín týče v celé EU. Do roku 2030 by tak vláda chtěla vyrobit přibližně 2krát více elektřiny z větrných zdrojů, než je tomu v současnosti (48). Detailní pohled na energetický mix Polska přináší tabulka č. 3.

Tabulka 3: energetický mix Polska za rok 2022

Polsko	2022	
	Produkce [TWh]	podíl na produkci
Fosilní paliva	130,2	80,62 %
Hnědé uhlí	42,7	26,44 %
Černé uhlí	75,7	46,87 %
Zemní plyn	9,1	5,63 %
Další neobnovitelné zdroje	2,7	1,67 %
OZE	31,3	19,38 %
Větrná energie	18,8	11,64 %
Biomasa	1,6	0,99 %
Solární energie	9,3	5,76 %
Hydroenergie	1,6	0,99 %
Celková produkce	161,5	100,00 %

Zdroj: (49), vlastní zpracování

Švédsko, jak prezentuje tabulka č. 4, má ze všech zmiňovaných zemí nejčistší energetický mix. Na území království nenajdeme ani jednu uhelnou elektrárnu, tamní energetický mix je ze dvou třetin tvořen vodními a větrnými elektrárnami, poslední třetinu mixu obsluhují jaderné elektrárny. Ovšem i Švédsko čekají v budoucnu energetické výzvy. Dle (50) lze očekávat zdvojnásobení spotřeby elektřiny do roku 2035 a s tím se přirozeně váže i otázka, kde se má tato elektřina vzít. Vláda usednuvší do

úřadu na konci roku 2022 chce změnit motto energetické politiky státu z původního „100 % elektřiny z obnovitelných zdrojů“ na „100 % elektřiny bez fosilních zdrojů“ a tím i odpovědět na otázky očekávané zvýšené spotřeby. Současný premiér vyslovil poptávku Švédska po minimálně dvou nových jaderných reaktorech, které by měly být postaveny pod odborným vedením Francie. (51)

Tabulka 4: energetický mix Švédska za rok 2022

Švédsko	2022	
Zdroj	Produkce [TWh]	podíl na produkci
Jaderná energie	50,1	31,06 %
OZE	111,2	68,94 %
Větrná energie	32,8	20,33 %
Hydroenergie	69,8	43,27 %
Další obnovitelné zdroje	8,6	5,33 %
Celková produkce	161,3	100,00 %

Zdroj: (52), vlastní zpracování

3.7 Teoretická východiska pro praktickou část práce

3.7.1 Metoda AHP

V praktické části práce se řešitel zabývá případovou studií, kde jsou komparována vozidla s různou mírou elektrifikace hnacího ústrojí. Prezentovaných výsledků bylo dosaženo pomocí metody analytického hierarchického procesu (AHP) o čtyřech úrovních. AHP se řadí mezi metody vícekritériální analýzy variant (VAV).

Metoda AHP byla vynalezena uznávaným univerzitním profesorem Thomasem L. Saatyem na konci 70. let minulého století. Tato metoda má za účel pomoci nalézt řešiteli kompromisní řešení při zohlednění vícero hodnotících kritérií a variant. Metoda má dle (53) 4 kroky, které vedou k získání konečného pořadí zvažovaných variant.

V prvním kroku se nejdříve model strukturuje. Struktura problému, který je řešen v této práci, je vyjádřena na obrázku č. 15. Nejprve je tedy nutné si vytyčit cíl daného zkoumání. V tomto případě je cílem „doporučení kompromisní varianty pro vybrané státy: ČR, SRN, Polsko a Švédsko“. Výstupem by tak měly být 4 tabulky s ohodnocenými variantami pro dané státy. Další úroveň se již zabývá kritérii, která výběr ovlivňují. V této práci jsou kritéria rozčleněna na makro-kritéria a mikro-kritéria. Takto jsou tedy obsazeny úrovně 2 a 3. Posledním patrem ve struktuře jsou pak samotné varianty.

Druhým krokem metody je pak stanovení vah kritérií na základě párového porovnání kritérií a variant. Výhodou metody AHP je fakt, že řešitel nemusí přesně kvantifikovat svoji preferenci. Pro udělení vyčíslitelných preferencí stačí pouze vyslovit poměrný verdikt např. varianta X je pro mě o trochu více přijatelná než varianta Y, dochází tedy k slabé preferenci X před Y a dle AHP bychom tento údaj měli kvantifikovat číslem 3. Naopak hodnotu preference Y proti X označíme číslem 1/3. Čím silnější je preference, tím vyšší číslo na škále od 1 do 9 smíme použít. Číslo 1 značí indiferenci, tedy nezaujatost. (53)

Tabulka 5: příklad párového porovnávání s výslednými vahami

	X	Y	Z	Geometrický průměr	váhy
X	1,00	3,00	5,00	2,47	0,64
Y	0,33	1,00	3,00	1,00	0,26
Z	0,20	0,33	1,00	0,41	0,10
suma				3,87	1,00

Vlastní zpracování

Pokud je k dispozici kompletní párové porovnání, lze extrahovat výsledné váhy. Váhy jsou zjišťovány pro variantu či kritérium udávané v řádku. Váha, či jinak řečeno skóre, je výsledkem podílu geometrického průměru hodnot z jednoho řádku vůči sumě hodnot geometrických průměrů všech řádků. (53)

Posledními dvěma kroky AHP jsou pak doplňkové zkoušky pevnosti a konzistentnosti výsledků. Konzistence testuje, zda-li jsou výsledky párového porovnávání v logickém souladu. Pokud by řešitel vícekritériálního problému totiž uvedl, že jablka jsou slabě preferována nad banány a zároveň banány jsou silně preferovány na kiwi, logickým závěrem by měla být velmi silná preference jablek před kiwi. Pokud bychom však v takovémto modelu zaznamenali odpověď, že je kiwi preferováno nad jablky, model není konzistentní a výsledek může být zkreslen. Právě tato zkouška konzistence má odhalit protimluvy a získané váhy verifikovat. (53)

Za konzistentní sadu dat je považován takový model, kde platí CR (consistency ratio) < 10 %. CR lze spočítat jako $CR = CI / RI$. Jako CI je označován tzv. consistency index, který lze dopočítat $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$. RI je pak náhodný index, který vyjádřil T. Saaty v roce 1977, viz. obrázek č. 14.

Obrázek 14: RI index

Table 2.6 Random indices from Saaty (1977).

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Zdroj: (53), str. 32

Konzistence pro modelový příklad z tabulky č. 5 vychází po přepočtu 0,0332. Příklad je tedy konzistentní, CR = 3,32 % a stanovené váhy jsou verifikovány. (53)

Čtvrtým krokem je citlivostní analýza. Cílem provedení citlivostní analýzy je zjistit, jak moc je výsledek modelu náchylný na změnu vstupních dat. Modely stojící na párovém porovnání mohou být často neobjektivně postaveny, proto malá změna vstupních dat může zapříčinit velikou změnu ve výsledku. Pokud model spustíme několikrát s mírně pozměněnými daty a pokaždé se dobereme jiného výsledku nebo jinými slovy odlišného závěrečného pořadí variant, model je citlivý a jeho výsledky by měly být řádně zkontrolovány, než na jejich základě bude činěno podstatné rozhodnutí. (53)

V momentu, kdy jsou zvážena všechna kritéria a varianty s ohledem k jednotlivým kritériím, je možné dopočítat konečné pořadí variant. Výsledku je dosaženo součtem součinů vah kritérií a variant v individuálních cestách naznačených v kroku 1, tedy součin těch vah a kritérií, které jsou propojeny v rámci struktury modelu. Finální hodnota tohoto součtu vah je pak výsledkem pro jednu variantu. Po provedení takového součtu s ohledem na cesty dle struktury pro všechny varianty je vhodné provést kontrolu, zda bylo dosaženo správného výsledku. Pokud jsou součiny provedeny správně, měl by součet výsledků preferencí variant být roven 1. (53)

4 Vlastní práce

V analytické části práce je řešena případová studie, která srovnává konkrétní vozidla s různou mírou elektrifikace hnacího ústrojí v individuálních podmínkách vybraných států. Konkrétními státy jsou Česká republika, Spolková republika Německo (SRN), Polská republika a Švédské království. Případová studie využívá sofistikovanou metodu analytického hierarchického procesu, která sestaví žebříček preferovaných variant pro každou ze zvažovaných zemí. Cílem této části je tedy pomocí vícekritériální analýzy variant seřadit dle vhodnosti užívání jednotlivá vozidla a pro konkrétní země doporučit potenciálnímu uživateli tzv. kompromisní variantu, tedy vozidlo, které by měl při vybraných kritériích a jejich vahách v dané zemi provozovat.

4.1 Výhodiska

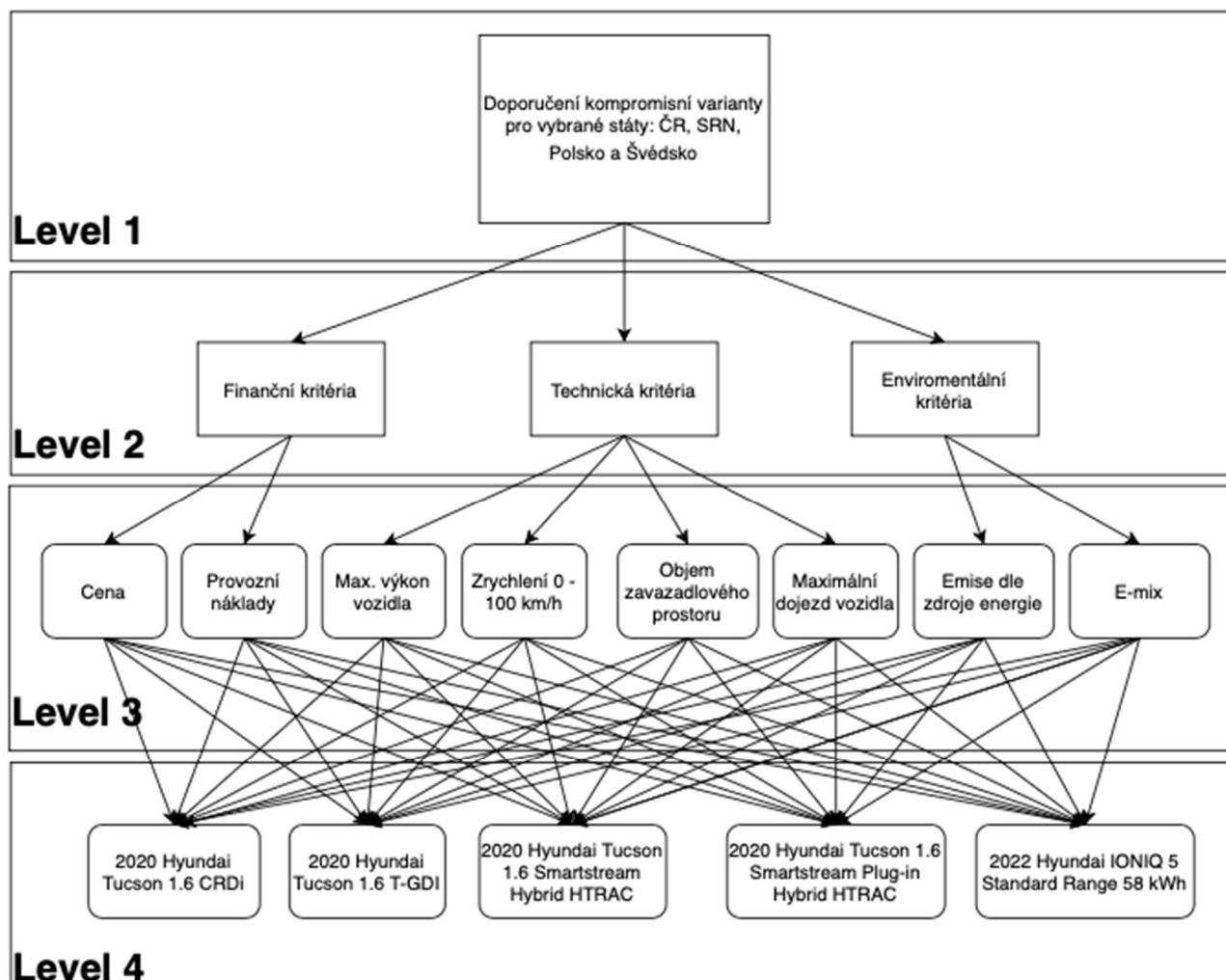
Případová studie zjednodušeně řeší rozhodovací problém, kdy si uživatel osobního automobilu má vybrat, který automobil dle pohonné jednotky by měl ve zkoumaných státech provozovat. Pro účel rozhodování bylo stanoveno celkem 8 kritérií, z toho 2 kritéria finančního charakteru, 4 kritéria technického charakteru a zbylá 2 kritéria nabývají enviromentální povahy. Tato kritéria pak individuálně hodnotí 5 vozidel, a sice vozidla s benzinovým a dieselovým motorem, hybridní vozidla HEV a PHEV, a nakonec plný elektromobil, tedy BEV.

Dále je nutné zjistit, jak jsou jednotlivá kritéria procesu rozhodování důležitá, je tedy zapotřebí zjistit jejich váhu. K tomuto účelu bylo využito dotazníkového šetření, které mělo za účel zjistit, jak jsou pro respondenty při rozhodování důležitá jednak makro-kritéria, tedy faktory ekonomické, technické a enviromentální povahy, ale i mikro-kritéria, tedy jak jsou vzájemně důležitá jednotlivá subkritéria patřící do podmnožiny makro-kritérií.

Předposledním krokem je vzájemné porovnání hodnot mikro-kritérií jednotlivých variant a vyčíslení vzájemných preferencí vozů ve zkoumaných disciplínách dle příslušnosti k vybraným státům.

V posledním kroku po propočtení vah jednotlivé varianty obdrží v každém státu výslednou hodnotu, která již značí konečnou míru preference, se kterou by si mohl uživatel vybrat daný vůz pro účel provozu na tamních silnicích.

Obrázek 15: Struktura případové studie řešené pomocí AHP



Vlastní zpracování

4.2 Varianty

Jak již bylo zmíněno, model pracuje s 5 variantami. Varianta v této případové studii představuje konkrétní vozidlo. Automobily byly vybrány tak, aby mohl být naplněn cíl této práce, tedy varianty disponují různou mírou elektrifikace hnacího ústrojí a jsou mezi sebou navzájem porovnávány při zohlednění vybraných kritérií.

Pro zachování co největší míry objektivity modelu byly vybrány vozidla od stejné značky, konkrétně Hyundai. Hyundai nabízí širokou variaci motorizací svého modelu Tucson, a sice benzinové a naftové

varianty, mild-hybridní varianty rovněž v benzínu i naftě, hybridní variantu a plug-in hybridní variantu. Tucson ovšem ještě nemá plně elektrickou specifikaci, Hyundai však nabízí i rozměrově srovnatelný model IONIQ 5.

Do modelu tedy byly vybrány zážehové (v tabulkách označováno jako „B“, Tucson 1.6 TGD-I) a vznětové (v tabulkách označováno jako „N“, Tucson 1.6 CRDi) varianty bez mild-hybrid systému modelu Tucson, hybridní (HEV, Tucson 1.6 Smartstream Hybrid HTRAC) a plug-in hybridní (PHEV, Tucson 1.6 Smartstream Plug-in Hybrid HTRAC) varianta téhož modelu a segment plných elektromobilů reprezentuje IONIQ 5 Standard Range 58 kWh (BEV). Tím, že vybrané varianty pochází od stejného výrobce a dokonce 4 z 5 těchto vozidel nesou totožné označení modelu, lze minimalizovat dopad ostatních v modelu nezahrnutých kritérií, které ovlivňují rozhodovací chování ohledně výběru nového vozidla.

Údaje o těchto variantách byly čerpány ze stránek výrobce, konkrétně z ceníku a technických prospektů (54), doplňující údaje typu objem palivové nádrže atp. pak byly čerpány ze stránky www.auto-data.net (55).

4.3 Kritéria

Jak již bylo zmíněno, do modelu vstupuje celkem 8 konkrétních mikro-kritérií. Jsou jimi cena vozidla [Kč], Provozní náklady [Kč / 100 km], maximální výkon vozidla [kW], akcelerace vozidla z 0–100 km / h [s], objem zavazadlového prostoru [l], maximální dojezd vozidla [km], emise dle zdroje energie [g CO_2 / 100 km] a energetický mix udávaný v dosažených vahách na základě párového porovnávání.

Jednotlivá výše zmíněná mikro-kritéria dále náleží do svého makro-kritéria. Konkrétně tedy cena a provozní náklady patří k finančním kritériím, maximální výkon, akcelerace vozidel, objem zavazadlového prostoru a maximální dojezd patří do skupiny technických kritérií a emise dle zdroje energie a kritérium E-mixu pak náleží k množině enviromentálních kritérií.

Tabulka 6: Příslušnost mikro-kritérií k makro-kritériím

Mikro-kritéria	Makro-kritéria
Cena	Finanční kritéria
Provozní náklady	
Max. výkon	Technická kritéria
Zrychlení 0–100	

Objem zavazadlového prostoru	Enviromentální kritéria
Max. dojezd	
Emise dle zdroje energie	
E-mix	

Vlastní zpracování

Zvolená kritéria byla vybrána pro vstup do modelu z důvodu objektivního základu, na němž jednotlivé hodnoty stojí. V rámci modelu je ovšem zahrnuto jedno kritérium, které do značné míry kvantifikuje individuální subjektivní preference řešitele. Jedná se o kritérium „E-mix“, které bude dále rozvedeno v podkapitole níže.

Zmíněná kritéria samozřejmě nejsou jedinými aspekty rozhodovacího procesu o nákupu vozidel za stovky tisíc Kč. Do reálného procesu v běžném životě jistě vstupuje celá další řada rozhodovacích uzlů, jako je ku příkladu design vozidla, poptávaný společenský status, který koupě vozidla může přinést, pojištění automobilů, financování, záruka od výrobce na živostnost klíčových komponentů vozidla, servisní dostupnost a nákladnost, v případě EVs rozvinutost dobíjecí infrastruktury v místě nejčastějšího provozu vozidla, poptávaná výbava vozu, nabízené bezpečnostní prvky popřípadě výsledky nárazové zkoušky vozidla, komfort řízení, ergonomie kabiny či jednoduchost ovládání tzv. infotainment systému, státní podpora provozu ekologických vozidel v dané zemi a mnoho dalších aspektů a hledisek, které každá fyzická a právnická osoba vnímá ze svého vlastního individuálního a subjektivního úhlu pohledu. Pro účel této případové studie však je vhodné vycházet z objektivních hodnot relevantních kritérií, které do rozhodovacího procesu jistě patří.

Hodnoty kritérií jsou ovšem v rámci řešeného případu různé. Jelikož případová studie hodnotí provoz EVs proti ICEVs v několika vybraných zemích, je vhodné, aby hodnoty vybraných kritérií tuto skutečnost promítly. Z celkových 8 kritérií zůstává 5 aspektů neměnných, jedná se o cenu, maximální výkon, zrychlení 0-100 km/h, objem zavazadlového prostoru (OZP) a maximální dojezd. Kritéria provozních nákladů, emisí CO_2 dle zdroje energie a E-mixu jsou individuálně dopočítávána pro každou zemi zvlášť a v modelu vytvářejí pohyblivou složku, která pak ovlivňuje celkový výsledek.

Tabulka 7: kritéria bez nutnosti dopočtení hodnoty

Kritéria bez výpočtu	Cena [Kč]	Výkon [kW]	Z 0-100 [s]	OZP [l]
N	769.990	85	12,1	546
B	699.990	110	10,3	577

HEV	869.990	169	8	616
PHEV	999.990	195	8,2	558
BEV	1.169.990	125	8,5	584

Vlastní zpracování

V tabulce č. 7 jsou prezentována kritéria, která nevyžadují individuální dopočtení. Cena je nepopíratelně velmi důležité kritérium, které v modelu nesmí být opomenuto. Byly použity standartní ceny dle českého ceníku udávaného výrobcem. Pro přesnější vyjádření kritéria cena by mohly být uvedeny ceny vozidel na jednotlivých trzích, mohla by být rozvedena ekonomická situace obyvatelstva států, tedy průměrný hrubý měsíční příjem a případně i státní podpora elektromobility daným státem. Pro účel této práce ale vycházejme z plochého údaje české ceny.

Kritéria maximálního výkonu pohonné jednotky a akcelerace vozidel se mohou jevit jako substituční prvky, tedy čím vyšší je maximální výkon (maximalizační kritérium), tím nižších hodnot nabývá akcelerace z 0-100 km/h (minimalizační kritérium). Z dostupných dat je ovšem možné vyčíst, že nejvýkonnější varianta PHEV nedosahuje nejnižší hodnoty kritéria zrychlení. V tomto ohledu tedy může být prokázána nekonzistence, proto je v modelu kritérium zrychlení ponecháno.

Posledním kritériem z tabulky č. 7 je OZP. Toto kritérium slouží jako vyjádření praktičnosti vozidla a má rovněž maximalizační charakter. Ve voze je tedy poptáván, pokud možno, co největší OZP.

4.3.1 Doplnující výpočty hodnot kritérií

Některá výše zmíněná kritéria nejsou veřejně udávaná a pro jejich vyčíslení je nutné provést několik dílčích výpočtů. V podkapitolách níže je rozvedena kvantifikace kritérií, které vyžadují složitější propočítání.

4.3.1.1 Provozní náklady

Provozní náklady jsou prvním kritériem, které je nutné pro každou zemi samostatně propočítat. K vyčíslení je nutné znát hned několik údajů. Řešitel zde zpracovává individuální spotřeby paliva / elektrické energie jednotlivých vozidel a individuální ceny pohonných hmot pro jednotlivé státy. V tomto propočtu tedy zůstávají spotřeby vozidel udávané výrobcem konstantní, pro každou zemi se mění pouze cena pohonných hmot. Dále je nutné vypořádat měnový kurz, jelikož každá z vybraných zemí užívá vlastní měnu. K přepočtu byl použit kurz ČNB k datu 1. 3. 2023. (56) Pro stanovení cen

paliva, tedy nafty, benzínu a elektřiny byla užitá průměrná hodnota za období 21. 11. 2022 až do 27. 2. 2023 dle (57), (58) a (59).

Výpočet nákladů u PHEV byl proveden dle zamýšlené teorie užívání PHEV vozidel, a sice tak, že prvně vozidlo plně spotřebuje elektřinu uloženou v akumulátoru a teprve poté, kdy je kapacita vyčerpána, spustí svůj spalovací motor. Varianta PHEV urazí čistě na elektrickou energii cca 75 kilometrů, po zbylých 25 kilometrech tedy musí pracovat spalovací jednotka.

Tabulka 8: cena paliv

Palivo	Cena v ČR	Cena v SRN	Cena v Polsku	Cena ve Švédsku
Nafta	38,31 Kč	42,63 Kč	38,23 Kč	49,99 Kč
Benzin	37,53 Kč	40,76 Kč	33,07 Kč	41,10 Kč
Elektřina	8,11 Kč	11,56 Kč	3,94 Kč	6,37 Kč

Vlastní zpracování, zdroj (57), (58), (59)

Tabulka 9: spotřeby paliva variant

Varianty	Spotřeba nafty l / 100 km	Spotřeba Benzínu l / 100 km	Spotřeba el. Energie kWh / 100 km
N	4,8	-	-
B	-	6,7	-
HEV	-	5,5	-
PHEV	-	1,4	17,7
BEV	-	-	16,7

Vlastní zpracování, zdroj: (54)

Tabulka 10: výsledné hodnoty kritéria provozní náklady [Kč / 100 km]

Varianty	PN ČR	PN SRN	PN Polsko	PN Švédsko
N	183,89 Kč	204,62 Kč	183,50 Kč	239,95 Kč
B	251,45 Kč	273,09 Kč	221,57 Kč	275,37 Kč
HEV	206,42 Kč	224,18 Kč	181,89 Kč	226,05 Kč
PHEV	164,47 Kč	216,54 Kč	100,73 Kč	145,46 Kč

BEV	135,45 Kč	192,99 Kč	65,86 Kč	106,40 Kč
-----	-----------	-----------	----------	-----------

Vlastní zpracování

Z výsledné tabulky je pak zřejmé, že zemí s nejlevnějšími palivy je Polsko. Nejdražší provoz vozidel pak uživatele čeká v Německu. Nejeekonomičtějším typem vozidla je plný elektromobil, nejvíce se prodraží benzinová varianta.

4.3.1.2 Maximální dojezd vozidla

Kritérium maximálního dojezdu vozidla bylo do modelu zařazeno proto, že jedním z argumentů proti elektromobilitě je nedostatečný maximální dojezd PHEV a BEV na jedno nabití. I pro toto kritérium je ovšem nutné provést dopočet tak, aby byla u všech variant dosaženo maximálního dojezdu stejnou metodou výpočtu.

U kritéria maximálního dojezdu je nezbytná znalost výrobcem udávané spotřeby paliva vozidel, maximálního objemu nádrží a maximální kapacity baterií. Jednoduchým podílem je možné vyčíslit teoretický maximální dojezd.

Opět u PHEV nastává komplikovanější výpočet. Jelikož je povaha kritéria nastavena na maximální dojezd na jedno nabití a na jednu celou nádrž, změní se i celková spotřeba paliva PHEV varianty. Maximální dojezd PHEV varianty tak byl stanoven podílem maximální využitelné kapacity akumulátoru a udávanou spotřebou elektriny na 100 km. Tato hodnota se dále sečte s dalším podílem, tentokrát se jedná o podíl objemu benzinové nádrže s teoretickou spotřebou paliva. Po využití plné kapacity akumulátoru až do vyprázdnění nádrže vozidlo využívá pouze spalovací motor. Proto musíme uvažovat signifikantní zvýšení spotřeby paliva oproti udávané 1,4 l / 100 km. Pod kapotou PHEV varianty se nachází totožný motor, který lze nalézt u varianty HEV. Z dostupných dat od výrobce víme, že spotřeba HEV varianty je 5,5 l / 100 km, což je dolní hranice výrobcem udávané kombinované spotřeby vozidla. V rámci této studie pro nedostatek kvalitních dat tedy uvažujeme, že PHEV varianta s vybitým akumulátorem dosahuje spotřeby ve výši horní hranice kombinované spotřeby HEV, tedy 5,9 l / 100 km. Realita bude ovšem zcela jistě jiná, PHEV totiž nyní na rozpočítání svých necelých dvou tun přichází o pohonnou jednotku, která pracuje neefektivněji v nízkých rychlostech a otáčkách, tedy v rozmezí nízké efektivity zážehového agregátu. V běžném provozu by však PHEV ještě mělo možnost svůj akumulátor za jízdy dobíjet rekuperací. Objem rekuperované energie je však odvislý od topografického profilu cesty a stylu řízení řidiče, jedná se tedy o individuální a subjektivní aspekt,

nebude tedy do modelu dále zahrnován. Údaje vyčíslené v tabulce níže jsou přiděleny jednotlivým variantám bez ohledu na zemi provozu.

Tabulka 11: maximální dojezd variant

Varianty	Maximální dojezd
N	1125 km
B	805 km
HEV	945 km
PHEV	785 km
BEV	347 km

Vlastní zpracování

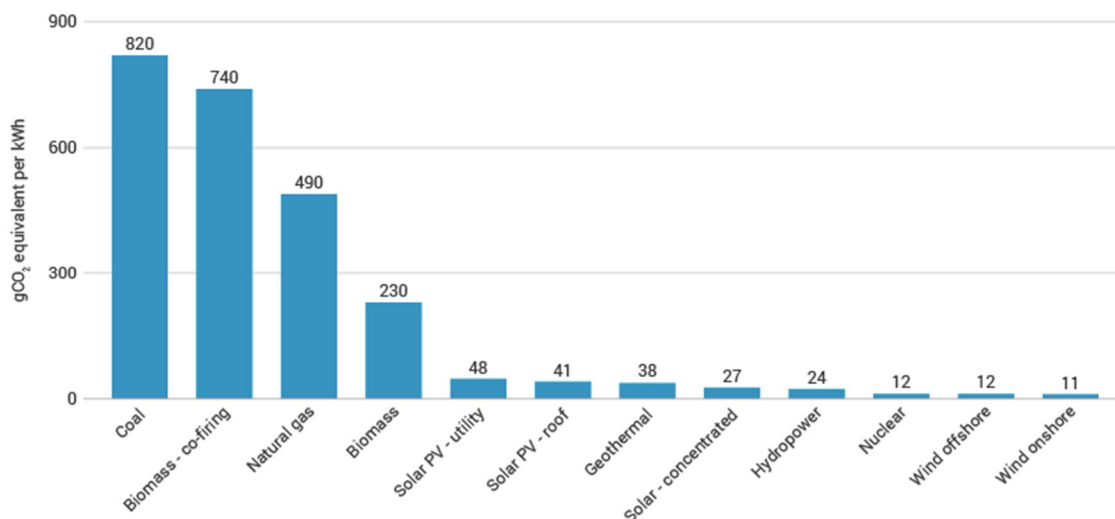
4.3.1.3 Emise CO₂ dle zdroje energie

Do modelu jsou zahrnuty i kritéria enviromentálního charakteru. Jedním z nich je kritérium emisí CO₂, tedy škodlivého skleníkového plynu, jehož emitace do ovzduší je rok od roku přísněji monitorována. Původně bylo zvažováno do modelu zahrnout lokální emise CO₂, což je ovšem disciplína, ve které by v užitém režimu výpočtu zcela jasně dominoval BEV a PHEV a takto jednoznačná dominance by mohla výsledky šetření do jisté míry zkreslovat. Proto je k tomuto kritériu přistoupeno poněkud obširněji a k jeho vyčíslení je potřebná znalost hned několika informací.

V první řadě je klíčové si uvědomit, že ačkoliv BEV a PHEV (pokud je tedy PHEV provozováno v čistě elektrickém režimu) neprodukují žádné lokální emise CO₂. Elektřina, která je uskladněna v jejich akumulátorech, se však musela prvně někde vyrobit. Výroba elektřiny ovšem není vždy a všude ekologická, proto je v tomto kritériu významně přihlíženo k energetickému mixu vybraných zemí.

Dále, dle (60) máme obecnou představu o tom, kolik gramů CO₂ je vypouštěno do ovzduší za každou vyrobenou kWh elektrické energie dle užitého paliva. Nejméně ekologické je přirozeně spalování fosilních paliv, grafu níže tak vévodí uhlí, spalování fosilních paliv s biomasou a zemní plyn. U obnovitelných zdrojů ovšem také nalezneme, byť minimální, emise CO₂, ty jsou ovšem produkovány na začátku životního cyklu těchto elektráren ve formě emisně i materiálově náročné výroby klíčových komponentů či samotné výstavby zařízení. Spalování biomasy se ovšem bez podstatných emisí CO₂, neobejde, ačkoliv se také jedná o OZE.

Obrázek 16: přehled produkce CO₂ podle typu paliva



Zdroj: (60)

Na základě této znalosti je pak možné aplikovat jednotlivé energetické mixy zkoumaných států z kapitoly 3.6 a dle podílu jednotlivých typů paliva na energetickém mixu si tak spočítat, kolik emisí CO₂ bude do ovzduší vypuštěno za každou vyrobenou kWh elektrické energie.

V tabulce č. 12 je vidět, že Polsko, jehož elektřina pochází z 80 % z fosilních zdrojů, je jednoznačně nejméně ekologickým producentem energie, když výroba 1 kWh elektřiny vypustí do ovzduší tolik emisí CO₂, jako produkce 37 kWh elektřiny ve Švédsku. Právě tento podstatný rozdíl je vhodné v modelu zachytit. Švédsko totiž nevyužívá k výrobě elektřiny žádných fosilních paliv, nejdůležitějšími pilíři švédské energetiky jsou hydroelektrárny a jaderné elektrárny, které dohromady pokryjí cca ¾ celkové státní produkce této komodity.

Tabulka 12: emise CO₂ při produkci 1 kWh podle vybraných států

Státy	g CO ₂ / kWh
ČR	396 g
SRN	346 g
Polsko	635 g
Švédsko	17 g

Vlastní zpracování

K dopočítání emisí CO_2 , které jsou v dané zemi vypouštěny elektrárnami do ovzduší, aby mohly vybrané PHEV a BEV varianty urazit 100 km stačí již pouze zohlednit spotřebu elektrické energie vozidel. Výrobce udává, že PHEV varianta potřebuje 17,7 kWh / 100 km, BEV varianta pak ke stejnému účelu spotřebuje 16,7 kWh.

Co se variant ICEVs a HEV týče, vycházíme-li z logiky uvedeného kritéria emise CO_2 dle zdroje energie, je právě tímto zdrojem vlastní spalovací motor. Výrobce udává emise CO_2 pro jednotlivá vozidla v g / km, zadanou hodnotu je tedy nutné vynásobit stem, aby bylo vyhověno stanovené jednotce [g CO_2 / 100 km].

Tabulka č. 13 prezentuje dopočítané emise CO_2 pro všechny varianty v modelovaných zemích. Varianty ICEV a HEV mají hodnotu konstantní, jelikož nezáleží na energetickém mixu dané země, ve které jsou provozované, jejich zdroj energie, tedy spalovací motor, produkuje stále stejný objem emisí. K rozdílu ovšem dochází u variant PHEV a BEV, kde již do výpočtu vstupuje zohledněný energetický mix.

Tabulka 13: výsledné hodnoty kritéria emise CO_2 dle zdroje energie

Emise CO_2 dle zdroje energie	ČR [g CO_2 / 100 km]	SRN [g CO_2 / 100 km]	Polsko [g CO_2 / 100 km]	Švédsko [g CO_2 / 100 km]
N	13700 g	13700 g	13700 g	13700 g
B	15000 g	15000 g	15000 g	15000 g
HEV	12500 g	12500 g	12500 g	12500 g
PHEV	10141 g	9265 g	14384 g	3433 g
BEV	6605 g	5779 g	10609 g	276 g

Vlastní zpracování

Všimněme si, že v řešeném modelu provoz PHEV v Polsku vyprodukuje více emisí CO_2 než provoz běžného diesellového spalovacího motoru. Situace je přesně obrácená ve Švédsku, kdy emise naftového motoru vyprodukované za 100 ujetých km jsou ekvivalentem vzdálenosti bezmála 5000 km procestovaných v BEV.

4.3.1.4 E-mix

Posledním kritériem, které bylo v modelu dopočítáváno je vyjádření preferencí ohledně energetického mixu. Jak již bylo výše avizováno, toto kritérium může být hodnoceno jako nejméně objektivní, jelikož pro stanovení koeficientu preferencí bylo užito úsudku řešitele.

Pro kvantifikaci tohoto kritéria bylo použito párového porovnávání variant, které odpovídá metodě AHP. V kontextu E-mixů jednotlivých států se tak řešitel tázal, zda by v dané zemi provozoval spíše tu či onu variantu. K tomu, aby ovšem řešitel zachoval objektivitu, musel být stanoven rámec rozhodování při udělování preferencí.

Pokud podíl fosilních paliv na energetickém mixu dané země odpovídá cca polovině produkované elektřiny, nemá uživatel žádnou preferenci vůči žádné z variant. Situace je tedy nerozhodná a neprůkazná a uživatel se nepřiklání k žádnému z nabízených vozidel, vůči jednotlivým variantám je inertní a každá varianta má tak totožný parametr důležitosti. Tento typ rozhodování je zastoupen Českou republikou, kdy fosilní paliva tvoří 49,68 % E-mixu.

Pokud však tvoří fosilní paliva většinou část E-mixu, není žádný důvod, proč by měl uživatel uvažovat o elektrifikaci svého osobního vozu, jelikož koupě EVs nikterak neřeší emisní zátěž dané země. V modelu takto vystupuje Polsko a uživatel tak silně preferuje užívání vozidel ICEV a HEV vozidel, jelikož už svoje spalovací motory na fosilní paliva mají a nevytvářejí tak dodatečnou ekologickou zátěž náročnou produkcí drahých akumulátorů a jejich následnou recyklací.

Pokud má ovšem stát vysoký podíl obnovitelných a nízkoemisních zdrojů na svém energetickém mixu, je modelový uživatel intenzivně nakloněn hnací ústrojí svého vozidla elektrifikovat, jelikož tím skutečně může snížit produkci skleníkových plynů na daném území. Tento konkrétní případ se týká Švédska, jelikož tamní E-mix skutečně tvoří plodné podhoubí pro udržitelnou elektromobilitu.

Poslední v této podkapitole nejmenovanou zemí je Německo, u kterého bude stanovení hodnoty kritéria E-mixu více rozvedeno. SRN produkuje nejvíce elektřiny z obnovitelných zdrojů celkem 49,74 %, přičemž fosilní paliva zaujímají rovněž podstatnou část E-mixu 43,55 %. Na samotném okraji pak stojí jaderná elektřina, vůči níž panuje v Německu poměrně silná averze, ta nese zodpovědnost za 6,7 % tamní vyrobené elektřiny. Je to právě součet poměrů OZE a jaderné energie na celkovém E-mixu SRN, který zapříčiňuje slabou preferenci PHEV a BEV vozidel.

Tabulka 14: párové porovnání v rámci kritéria E-mixu pro SRN

Varianty	N	B	HEV	PHEV	BEV
N	1	1	1	1/2	1/3
B	1	1	1	1/2	1/3
HEV	1	1	1	1/2	1/3
PHEV	2	2	2	1	1/2
BEV	3	3	3	2	1

Vlastní zpracování

V tabulce č. 14 je vyjádřena matice preferencí jednotlivých variant v rámci kritéria E-mixu. Párové porovnávání probíhá způsobem, kdy varianta z řádku je porovnávána s variantou ze sloupce. Číselné vyjádření znamená sílu preference varianty z řádku vůči variantě ze sloupce. Jmenovitě tedy varianta PHEV je preferována silou „2“ oproti variantě N. Naopak musí být dodrženo, že pokud je PHEV preferováno silou „2“ oproti N, musí hodnota v řádku N být „1/2“ proti hodnotě PHEV. Více o teoretické aplikaci metody se může čtenář dozvědět v kapitole 3.7. Výsledné váhy stanovené touto metodou jsou v modelu užity jakožto hodnota kritéria s maximalizačním charakterem.

Tabulka 15: výsledné hodnoty kritéria E-mixu

Varianty	ČR	SRN	Polsko	Švédsko
N	0,2000	0,1240	0,3065	0,0456
B	0,2000	0,1240	0,3065	0,0456
HEV	0,2000	0,1240	0,3065	0,0456
PHEV	0,2000	0,2341	0,0519	0,2973
BEV	0,2000	0,3940	0,0287	0,5660

Vlastní zpracování

Výsledná kritéria vyčísluje tabulka č. 15. Výše popisovaná logika stanovení preferencí jednotlivých vozidel s přihlédnutím k E-mixu jednotlivých zemí tedy odpovídá získaným hodnotám. V Polsku 91,95 % celkové hodnoty kritéria zaujímají ICEV a HEV varianty a na elektromobilitu zbývá pouhých 8,05 % možné kapacity. Naopak ve Švédsku zaujímají 86,33 % kapacity kritéria PHEV a BEV.

4.4 Dotazníkové šetření

Ke stanovení vah jednotlivých kritérií vstupujících do modelu bylo využito dotazníkového šetření. Vzhledem k podstatě aplikované metody a náročnosti spojené s vyhodnocením dotazníků bylo rozhodnuto oslovit celkem 5 respondentů. V případě hlubšího šetření problému ovšem doporučuji získat širší datový vzorek.

4.4.1 Respondenti

Bylo rozhodnuto oslovit celkem 5 respondentů, kteří poskytnou svoji zpětnou vazbu k řešenému problému. Řešitel si přál do úzkého vzorku zahrnout muže a ženy různých věkových kategorií s různými pracovními zkušenostmi.

První oslovený je muž, cca 40 let, 20 let zkušeností v sektoru financování a pojišťování vozidel. Druhým z oslovených je muž, cca 60 let, pracovní zkušenost v odbytu automobilového průmyslu 35 let. Třetí oslovenou je žena, cca 40 let, 15 let zkušeností v sektoru financování a pojišťování vozidel. Čtvrtým osloveným je muž, cca 25 let, začínající žurnalista. Poslední oslovenou osobou je studentka, cca 25 let.

4.4.2 Zkoumaná témata

Respondenti byli požádáni o vyplnění sešitu v programu MS Excel (viz. přílohová část), ve kterém měli za úkol uvést své osobní preference výše pojmenovaných kritérií. Na prvním dotazníkovém listu byli respondenti seznámeni s metrikou vyjádření preferencí, druhý list srovnává preference makro-kritérií, třetí list pak kvantifikuje váhu mikro-kritérií. Respondenti tak dostali za úkol kvantifikovat konečné váhy kritérií úrovně 2 a 3 dle obrázku č. 15.

4.4.3 Výsledky dotazníkového šetření, úrovně 2 a 3

Respondenti vyjádřili stejnou metodou párového porovnávání, která je ku příkladu popsána v kapitole 4.3.1.4 či v teoretické části 3.7. svoje osobní preference jednotlivých mikro a makro kritérií. Po získání váhy byla provedena zkouška konzistence. Respondenti v tomto ohledu ovšem nedosáhli uspokojivého výsledku, kdy index CR nabýval hodnot vyšších než 0,1. Proto, aby mohlo být s modelem dále pracováno, musel řešitel do odpovědí dotazníku vstoupit a zadané hodnoty minimálně upravit tak, aby byla zachována původní myšlenka a preference respondenta, avšak při zachování konzistence $CR < 0,1$. Zásah byl nutný, jelikož nekonzistentní model nelze považovat za spolehlivý a použitelný.

Po provedení minimální úpravy odpovědí tak, aby bylo vyhověno požadované hladině konzistence, je již možné vyčíslit individuální váhy jednotlivých respondentů. Do modelu ovšem vstoupí jenom jedna váha od každého kritéria, proto řešitel ze získaných individuálních vah využije průměrnou hodnotu.

Tabulka 16: výsledné hodnoty makro-kritérií

Respondent	Finanční kritéria	Technická kritéria	Enviromentální kritéria
R1	0,7306	0,1884	0,0810
R2	0,2790	0,0719	0,6491
R3	0,4806	0,1140	0,4054
R4	0,7306	0,1884	0,0810
R5	0,1884	0,0810	0,7306
průměr	0,4819	0,1287	0,3894

Vlastní zpracování

Tabulka č. 16 odhaluje získané váhy makro-kritérií od respondentů a jejich průměr, který vstupuje do modelu. Tento průměr je tak odpovědí na váhy úrovně č. 2. Jak je z tabulky patrné, respondenti se ve svých preferencích poměrně široce rozcházejí. Naopak respondenti č. 1 a 4 mají ovšem stejný názor. Do modelu však vstoupí průměrné váhy, finanční kritéria tak dosahují nejvyšší důležitosti 48,19 %, následují možná trochu překvapivě enviromentální kritéria s váhou 38,94 % a nejméně důležitá jsou vybraná technická kritéria, ta obsluhují pouze 12,87 % rozhodovacího procesu.

Na třetím listu sešitu byli respondenti pověřeni vyplněním preferencí důležitosti jednotlivých subkritérií. Jelikož finanční a enviromentální skupina kritérií obsahuje každá pouze dvě kritéria, není třeba ověřovat konzistenci dosažených hodnot. Technická kritéria jsou ovšem zastoupena čtveřicí mikro-kritérií, zde je tedy nutné konzistence odpovědí ověřovat. Z 5 respondentů odpovídal konzistentně pouze jediný, a sice respondent č. 4. U zbylých dotazovaných byla naměřena inkonzistence odpovědí v rozsahu od 0,13 po 0,27. I zde tedy bylo nutné provést zásahy do získaných odpovědí tak, aby výsledky mohly být prezentovány dále.

Tabulka 17: výsledné hodnoty finančních mikro-kritérií

Respondent	Cena vozidla	Provozní náklady
R1	0,8750	0,1250
R2	0,1667	0,8333
R3	0,1667	0,8333
R4	0,7500	0,2500
R5	0,1667	0,8333
Průměr	0,4250	0,5750

Vlastní zpracování

Tabulka č. 17 nám udává finální výsledné hodnoty pro jednotlivá finanční subkritéria. Hodnoty kritérií jsou poměrně vyrovnané, slabě jsou však preferovány menší provozní náklady vozidla nad pořizovací cenou automobilu. Každopádně když se zaměříme na jednotlivé odpovědi respondentů, zjistíme, že mají poměrně silnou osobní preferenci ať vůči ceně či provozním nákladům. Pouze průměr tyto hodnoty sloučil do vcelku smířlivého dělení rozhodovacího vlivu.

Tabulka 18: výsledné hodnoty technických mikro-kritérií

Respondenti	Max. výkon	Zrychlení 0 - 100 km/h	OZP	Maximální dojezd vozidla
R1	0,5057	0,2638	0,1642	0,0663
R2	0,0761	0,0643	0,3146	0,5449
R3	0,0993	0,0485	0,3119	0,5403
R4	0,4494	0,0467	0,1404	0,3636
R5	0,0761	0,0643	0,5449	0,3146
Průměr	0,2413	0,0975	0,2952	0,3659

Vlastní zpracování

V tabulce č. 18 jsou vyčísleny finální hodnoty vah technických subkritérií. Když ovšem vezmeme v potaz tabulku č. 16, je zřejmé, že se tato kritéria budou na celkovém pořadí jednotlivých variant podílet pouze minimálně. Technická kritéria totiž obdržela pouze 12,87 % rozhodovací moci.

Nejdůležitějším z nejméně důležitých kritérií je však maximální dojezd vozidla. Respondenti tak dávají najevo, že nechtějí trávit mnoho času na čerpacích nebo nabíjecích stanicích. Dále necelých 30 % rozhodovacího procesu tvoří praktičnost vozidla, tedy OZP. Maximální výkon je pro respondenty 2,5krát tak důležitý, jako zrychlení 0-100 km/h.

Tabulka 19: výsledné hodnoty enviromentálních mikro-kritérií

Respondenti	Emise CO2 dle zdroje energie	E-mix
R1	0,8333	0,1667
R2	0,8333	0,1667
R3	0,8333	0,1667
R4	0,8750	0,1250
R5	0,1667	0,8333
Průměr	0,7083	0,2917

Vlastní zpracování

Tabulka č. 19 prezentuje výsledné váhy pro enviromentální subkritéria. Zde se 80 % respondentů shoduje ve velmi silné preferenci kritéria propočtených skutečných provozních emisí vozidel.

Dotazníkové šetření tak do řešené studie přineslo váhy k úrovním 2 a 3 dle obrázku č. 15. Aby bylo možno splnit zadání a odpovědět tak na úroveň 1, zbývá už jenom stanovení vah variant vztažených k jednotlivým mikro-kritériím z úrovně 3.

4.5 Párové porovnání variant, úroveň 4

V kapitole 4.3 byly vyčísleny konečné hodnoty kritérií pro všechny zahrnuté státy. S těmito hodnotami následně pracuje tato kapitola, ve které dochází v rámci jednoho kritéria k párovému porovnání jednotlivých variant vozidel. Pro kritéria, jejichž hodnoty zůstávají ve všech zohledněných státech stejné, stačí provést párové porovnání pouze jednou. Párové porovnání variant v disciplínách, jejichž hodnoty jsou v rámci mezinárodního prostoru proměnlivé, musí být provedeno individuálně pro každý stát. Výsledkem párového porovnání variant jsou pak váhy, které lze již položit do součinu s vahami získanými v úrovních 2 a 3 a konečně tedy dospět k seřazení jednotlivých variant dle výsledných preferencí pro každý stát.

V této úrovni srovnávání variant je užito, s výjimkou jednoho kritéria, párové porovnání na bázi absolutních hodnot. Myšlenku rozvedu na příkladu porovnání variant v rámci kritéria ceny. Srovnávám variantu N v řádku s variantou B ve sloupci. Varianta N má u minimalizačního kritéria ceny hodnotu 769990, varianta B má přiřazenou hodnotu 699990. V tomto případě z povahy minimalizačního kritéria je nižší položka považována za lepší, tudíž položí hodnota tohoto párového porovnání výpočtu $699990 / 769990$. Výsledná hodnota je menší než 1, tudíž variantu N nepreferuji nad variantou B. V opačném případě s vědomím výše zmíněného, kdy porovnávám variantu B v řádku s variantou N ve sloupci, pokládám výpočet párového srovnání $769990 / 699990$. Výsledná hodnota je větší než jedna, dochází k preferenci levnější varianty.

Tohoto režimu výpočtu hodnoty párového srovnání bylo využito u 7 z 8 kritérií, kdy váhy vznikly poměřováním absolutních hodnot kritérií při zohlednění povahy kritéria (maximalizační / minimalizační). Pouze u kritéria E-mix došlo k alternativnímu výpočtu, který je podrobně popsán v kapitole 4.3.1.4.

Jelikož se jedná o systematizovaný výpočet na základě podílu neměnných hodnot, není nutné ověřovat konzistenci odpovědí, získané konečné váhy tak pokládejme za verifikované.

Tabulka 20: výsledné váhy variant pro ČR

Kritéria	N	B	HEV	PHEV	BEV
Cena	0,2266	0,2493	0,2005	0,1745	0,1491
Palivové náklady	0,1962	0,1435	0,1748	0,2193	0,2663
Max. výkon vozidla	0,1243	0,1608	0,2471	0,2851	0,1827
Zrychlení 0-100 km / h	0,1518	0,1784	0,2296	0,2240	0,2161
OZP	0,1895	0,2003	0,2138	0,1937	0,2027
Maximální dojezd vozidla	0,2806	0,2010	0,2358	0,1960	0,0865
Emise CO2 dle zdroje energie	0,1554	0,1419	0,1703	0,2100	0,3223
E-mix	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000

Vlastní zpracování

Tabulka 21: výsledné váhy variant pro SRN

Kritéria	N	B	HEV	PHEV	BEV
Cena	0,2266	0,2493	0,2005	0,1745	0,1491
Palivové náklady	0,2143	0,1605	0,1956	0,2025	0,2272
Max. výkon vozidla	0,1243	0,1608	0,2471	0,2851	0,1827
Zrychlení 0-100 km / h	0,1518	0,1784	0,2296	0,2240	0,2161
OZP	0,1895	0,2003	0,2138	0,1937	0,2027
Maximální dojezd vozidla	0,2806	0,2010	0,2358	0,1960	0,0865
Emise CO2 dle zdroje energie	0,1458	0,1332	0,1598	0,2156	0,3456
E-mix	0,1240	0,1240	0,1240	0,2341	0,3940

Vlastní zpracování

Tabulka 22: výslední váhy variant pro Polsko

Kritéria	N	B	HEV	PHEV	BEV
Cena	0,2266	0,2493	0,2005	0,1745	0,1491
Palivové náklady	0,1343	0,1112	0,1355	0,2447	0,3742
Max. výkon vozidla	0,1243	0,1608	0,2471	0,2851	0,1827
Zrychlení 0-100 km / h	0,1518	0,1784	0,2296	0,2240	0,2161
OZP	0,1895	0,2003	0,2138	0,1937	0,2027
Maximální dojezd vozidla	0,2806	0,2010	0,2358	0,1960	0,0865
Emise CO2 dle zdroje energie	0,1904	0,1739	0,2086	0,1813	0,2458
E-mix	0,3065	0,3065	0,3065	0,0519	0,0287

Vlastní zpracování

Tabulka 23: výsledné váhy variant pro Švédsko

Kritéria	Nafta	Benzin	HEV	PHEV	BEV
Cena	0,2266	0,2493	0,2005	0,1745	0,1491
Palivové náklady	0,1462	0,1274	0,1552	0,2412	0,3298
Max. výkon vozidla	0,1243	0,1608	0,2471	0,2851	0,1827
Zrychlení 0-100 km / h	0,1518	0,1784	0,2296	0,2240	0,2161
OZP	0,1895	0,2003	0,2138	0,1937	0,2027
Maximální dojezd vozidla	0,2806	0,2010	0,2358	0,1960	0,0865
Emise CO2 dle zdroje energie	0,0177	0,0161	0,0194	0,0706	0,8762
E-mix	0,0456	0,0456	0,0456	0,2973	0,5660

Vlastní zpracování

4.6 Získání výsledků pro jednotlivé státy

Dle teorie z kapitoly 4.7 zbývá k dokončení metody AHP již pouze vyčíslení výsledků jednotlivých variant ve vybraných státech. Vyčíslení této hodnoty je provedeno součinem jednotlivých vah z úrovní 2, 3 a 4 pro každou variantu v každém kritériu v každé zemi zvlášť. Následně je uveden příklad výpočtu výsledného skóre varianty N pro ČR.

Tabulka 24: režim výpočtu výsledného skóre pro variantu N v ČR

N	Váha Ú. 4	váha Ú. 3	Váha Ú. 2	Výsledná preference
Cena	0,2266	0,4250	0,4819	0,0464
PN	0,1962	0,5750		0,0544
Max. výkon	0,1243	0,2413	0,1287	0,0039
Z 0 - 100	0,1518	0,0975		0,0019
OZP	0,1895	0,2952		0,0072
Max. dojezd	0,2806	0,3659		0,0132
Emise CO2 dle zdroje energie	0,1554	0,7083	0,3894	0,0429
E-MIX	0,2000	0,2917		0,0227
Suma				0,1925

Vlastní zpracování

V tabulce č. 24 je názorně předveden režim výpočtu výsledného skóre varianty N pro ČR. Ve výpočtu jsou zahrnuty váhy získané dotazníkovým šetřením, tedy konkrétně váhy úrovní 2 a 3, tak i váhy vzniknuvší vzájemným porovnáváním jednotlivých variant s ohledem na zvolená kritéria, tedy úrovní 4. Konečný výsledek varianty je uveden v řádku „Suma“, kde je proveden součet všech jednotlivých součinů dle kritérií.

Tímto názorným způsobem bylo provedeno všech 20 výpočtů pro 5 variant ze 4 zemí. Všechny výpočty jsou k dispozici v příloženém sešitu v programu MS Excel. V následující kapitole je provedena prezentace získaných skóre jednotlivých vozidel a výsledné hodnoty jsou detailně interpretovány.

5 Diskuse nad výsledky

5.1 Výsledky pro ČR

Dle grafu č. 1 je kompromisní variantou, tedy nejlepší volbou při zohledněných kritériích a jejich vahách, pro českého uživatele automobilu plný elektromobil IONIQ 5. Výsledek je ovšem velmi těsný, jelikož mezi nejlepší a nejhorší variantou stojí rozdíl necelých 6 % preferenční váhy. Pohledem na tabulku je tak patrné, že takto malý rozdíl mezi jednotlivými vozidly v reálném rozhodovacím procesu dává možnost vyniknout jiným aspektům při výběru vozu, které nejsou v řešené studii zahrnuty.

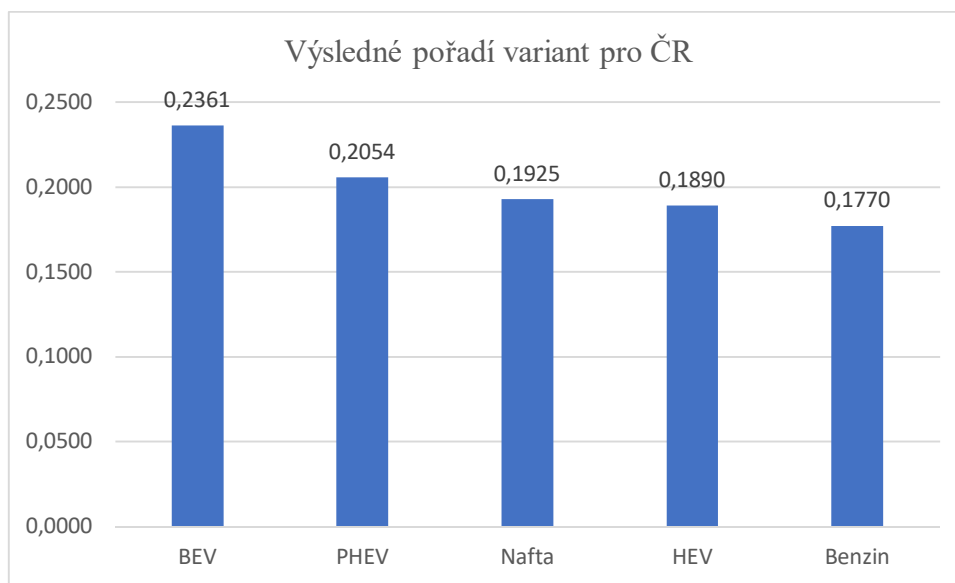
Nicméně hlavním faktorem, který zapříčinil obsazení prvních dvou příček vozidly schopnými jízdy čistě na elektrický pohon, jsou silné výsledky v environmentálním kritériu emisí CO_2 dle zdroje energie. Environmentální kritéria nesou dle úrovně 2 rozhodovací sílu necelých 39 % a zároveň mikro-kritérium emisí CO_2 následně obdrželo dalších 70 % v úrovni 3. To vytváří prostředí, ve kterém dle párového porovnání variant na úrovni 4 dosahují citelně lepšího výsledku vozy, které zanechávají malou ekologickou stopu. Zároveň v ČR z hlediska mikro-kritéria E-mixu nedochází k žádnému ovlivnění výsledků modelu, jelikož není stanovena žádná preference pro provoz ani jedné z nabízených variant, každé vozidlo si tak v tomto kritériu připisuje stejnou fixní hodnotu.

Technická kritéria výsledné pořadí neovlivnila téměř vůbec, rozdíl mezi nejlepší a nejhorší variantou je dle hodnot z tabulky níže 0,0096. Z toho lze usuzovat, že jsou si varianty v této disciplíně vyrovnané. Zároveň nesmí být opomenut fakt, že technická kritéria obdržela řekněme pouze doprovodnou roli, co se týče schopnosti výrazně ovlivnit výsledek, když dle dotazníku byla jejich celková váha stanovena na nevýrazných 12,87 %.

Ačkoliv je IONIQ 5 nejdražším srovnávaným vozidlem, dosáhla varianta BEV v součtu finančních kritérií nejlepšího výsledku. Za tímto výsledkem stojí nejlepší výkon v disciplíně provozních nákladů, kterým byla dle dotazníku stanovena větší váha důležitosti než právě pořizovací ceně. Druhý nejlepší výsledek pohledem finančních kritérií je připisán naftovému Tucsonu, který disponuje druhou nejnižší pořizovací cenou a třetími nejnižšími provozními náklady. Varianta PHEV má sice po BEV druhou nejvyšší hodnotu v kategorii provozních nákladů, nicméně oproti naftové variantě je o 230 000 Kč dražší, což model promítl a usadil PHEV na třetí místo před benzinovou variantou. HEV varianta pak zavírá pořadí dle finančních parametrů. Zvýšenou cenu oproti benzinové verzi nedokázali nižší provozní náklady v modelu zohlednit.

Celkově však EVs obsadily první dvě příčky a model tedy doporučuje rozhodovateli využít spíše EVs oproti ICEVs. Rozhodující vliv měly tedy výše zmíněné nízké provozní náklady těchto variant a výborné výsledky v kritériu emisí dle zdroje energie.

Graf 1: výsledné pořadí variant pro ČR



Vlastní zpracování

5.2 Výsledky pro SRN

Graf č. 2, který prezentuje výsledky studie pro Německo zůstává, co se konečného pořadí variant týče, stejný jako graf hodnotící ČR. Jelikož kritéria, jejichž hodnota se v pohybu mezi státy mění, jsou pouze tři, a sice provozní náklady, emise CO_2 dle zdroje energie a E-mix, může být v následujících hodnoceních odpuštěno od interpretace výsledků technických kritérií, jelikož jejich hodnota zůstává stejná neohledně na právě zkoumaný stát. Za způsobený rozdíl ve výsledcích studie mezi státy jsou tedy zodpovědná pouze kritéria finanční z hlediska provozních nákladů a všechna zahrnutá environmentální kritéria.

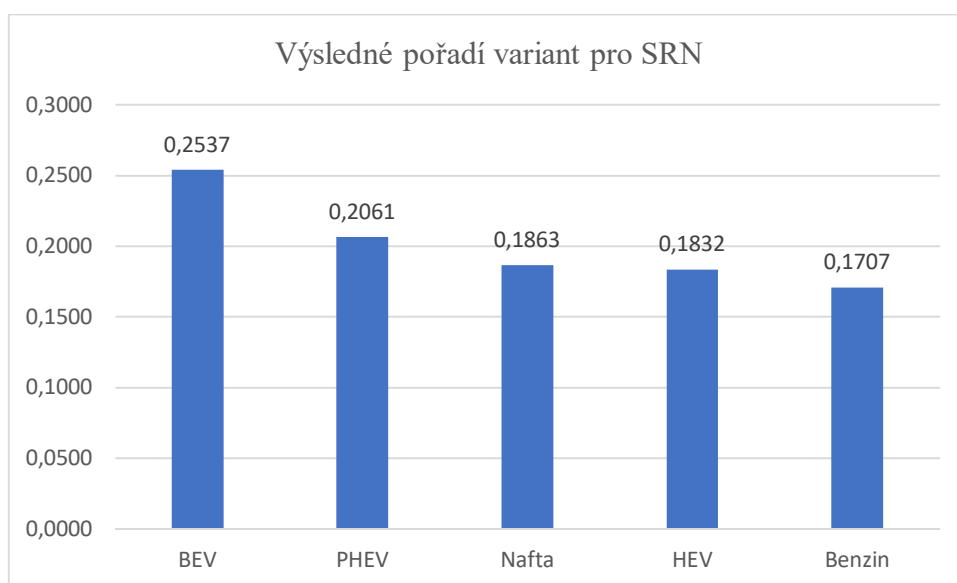
Z pohledu kritéria provozních nákladů se v Německu, stejně jako v ČR, nejvíce vyplatí provozovat plný elektromobil. Nicméně elektřina v SRN je citelně dražší než v ČR, rozdíly v provozních nákladech ICEV a EV variant jsou tedy citelně nižší. V ČR stojí 100 km v naftové variantě 183 Kč a 100 km v BEV variantě 135 Kč, v SRN je to ovšem už 205 Kč v naftovém Tucsonu

a 193 Kč v IONIQ 5. Dá se tedy konstatovat, že v ČR je levnější provoz diesellového vozidla než v SRN provoz plně elektrického automobilu. Nejlepší celkový výsledek z finančních kritérií patří naftové variantě, za kterou se poté umístila benzinová varianta. Při zohlednění kritéria pořizovací ceny EV varianty již nedokázaly na efektivnějších provozních nákladech získat dostatečné skóre, aby sesadily ICEV varianty z prvních dvou příček.

Aby tedy platilo výsledné pořadí dle tabulky níže, musely EV varianty zaznamenat zlepšení v enviromentálních kritériích. Když vezmeme v potaz tabulku č. 13, kde je prezentována zátěž CO_2 na vyprodukovanou jednotku kWh elektrické energie, SRN má oproti ČR čistší energetický mix a EV varianty tak mají v důležitém kritériu emisí CO_2 dle zdroje energie komparativní výhodu. Zároveň v modelovém příkladu pro SRN dosahují EV varianty vyšších preferencí i z hlediska mikro-kritéria E-mixu. S přihlédnutím k tomu, že enviromentální kritéria obdržela dle vah z úrovně 2 rozhodovací moc necelých 39 %, a zároveň v obou enviromentálních mikro-kritériích zaznamenaly EV varianty zlepšení, je zachování výsledného pořadí automobilů obhájeno.

Výsledky jsou ovšem opět, stejně jako v případě ČR, velmi vyrovnané. Znovu je na místě podotknout, že model sestává pouze z 8 vybraných kritérií, kdyby byla do modelu zahrnuta další finanční kritéria typu „roční částka pojistného“, „roční servisní náklady“ či „měsíční splátka úvěru poskytnutého na vozidlo při úrokových sazbách zkoumaných zemí“ model by mohl prezentovat jiná výsledná pořadí.

Graf 2: výsledné pořadí variant pro SRN



Vlastní zpracování

5.3 Výsledky pro Polsko

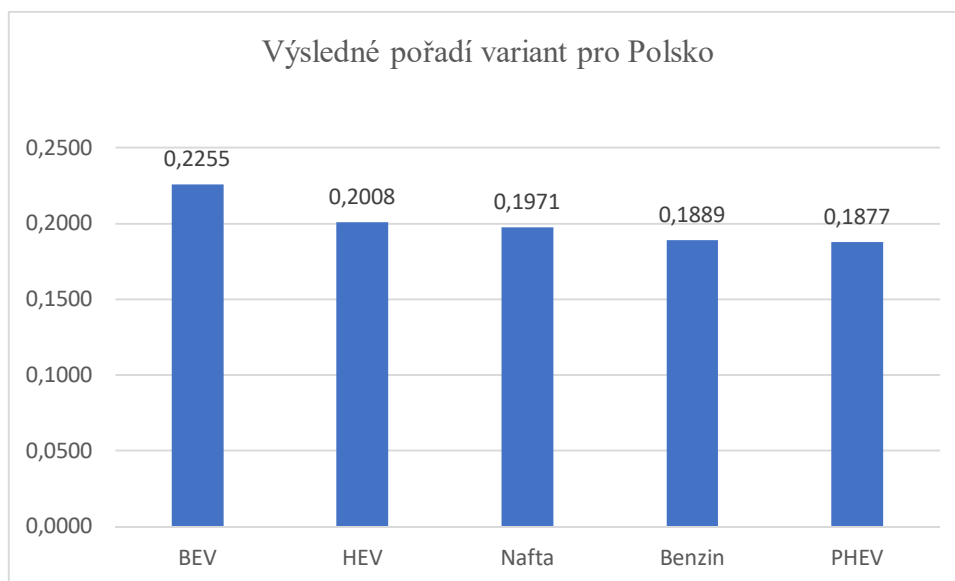
V grafu č. 3 jsou prezentovány výsledky variant pro Polsko. Model IONIQ 5 je stále kompromisní variantou pro daný trh navzdory faktu, že energetický mix Polska je z více jak 80 % zastoupen fosilními zdroji.

Co se kritéria provozních nákladů týče, Polsko má v současnosti nejlevnější pohonné hmoty i elektřinu. Jednotka kWh elektřiny v Polsku stojí necelé 4 Kč, zatímco v Německu si uživatel připlatí na 11,5 Kč / kWh. Nejekonomičtější variantou z hlediska 100 ujetých km je tak jednoznačně BEV varianta. Za tuto jízdu uživatel zaplatí 66 Kč, tedy 3krát méně, než by cestující zaplatil za stejnou vzdálenost absolvovanou v benzínovém vozidle. V kontextu vyšší preference provozních nákladů nad pořizovací cenou vozidel tak BEV a PHEV varianty na území Polska dominují ICEV.

Do výpočtu konečného pořadí variant se v případě Polska promítl osobní pohled řešitele na mikro-kritérium E-mixu. Jak ukazuje tabulka č. 15, uživatelé automobilů by v Polsku měli silně preferovat ICEVs nad EVs. Logika, z níž tak řešitel usuzuje je popsána v kapitole č. 4.3.1.4, E-mix. Tato diskriminace má ovšem v celkové váze rozhodování uložené tomuto subkritériu jen malý celkový význam v konečném pořadí variant. Důležitější z environmentálních mikro-kritérií je disciplína Emise CO_2 dle zdroje energie. I v případě Polska je v modelu stále neekologičtější provoz BEV varianty. Oproti všem ostatním zemím se však na druhém místě nenachází PHEV varianta, která zaujímá předposlední místo před benzínovým Tusconem.

Celkově vzato je výsledek BEV a PHEV variant v Polsku oproti ostatním zkoumaným zemím nejhorší. IONIQ 5 se ovšem navzdory tomuto tvrzení opět stal kompromisní variantou. Důvodem budiž citelné zlepšení v nejdůležitějším finančním makro-kritériu, které dokázalo zastoupit významnou ztrátu skóre v environmentálním sektoru. Ovšem při nastavení modelu by se dalo očekávat, že se do čela konečného pořadí variant postaví jedna z ICEV možností.

Graf 3: výsledné pořadí variant pro Polsko



Vlastní zpracování

5.4 Výsledky pro Švédsko

Grafu č. 4, který seřazuje varianty dle konečného skóre pro Švédsko absolutně dominuje varianta BEV. Tento fakt není překvapením, jelikož Švédsko má ze zúčastněných zemí nejčistší energetický mix a nejvyšší ceny benzínu a nafty.

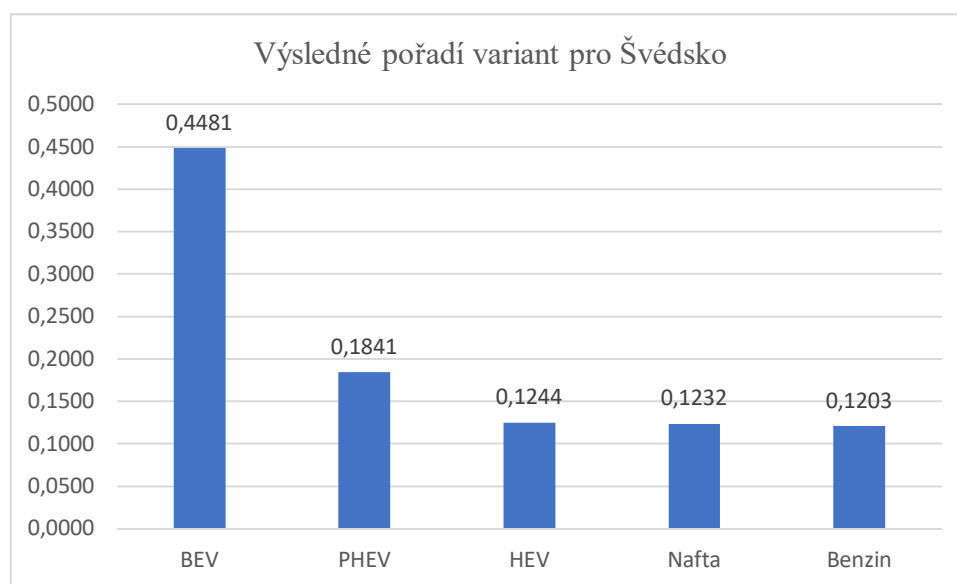
Hlavní příčinou tak vysokého hodnocení jsou absolutní preference BEV varianty v enviromentálních kritériích. Švédsko je totiž dle E-mixu a emisí CO_2 podle zdroje energie nejvhodnější zemí na provoz plně elektrického vozidla. Hodnota kritéria E-mixu byla stanovena tak, že uživatel je ve Švédsku velmi silně motivován k provozu bezemisního vozidla, jelikož tamní elektřina je produkována z obnovitelných zdrojů při velmi nízkých výrobních emisích CO_2 na jednu vyrobenou kWh. Koupí bezemisního vozidla tak uživatel může skutečně přispět ke snížení uhlíkové stopy daného státu. Kritérium emisí CO_2 dle zdroje energie je úzce spjato s již komentovaným E-mixem, emise CO_2 vypouštěné do ovzduší na jednu vyrobenou kWh elektřiny v Polsku jsou ekvivalentem 37 kWh elektřiny vyprodukované na území Švédska. Tyto hodnoty přímo vstupují do hodnot kritérií BEV a PHEV variant a řádově se tak liší od vozidel se spalovacím motorem.

Švédsko je rovněž zemí s velmi drahými pohonnými hmotami, cena litru nafty se pohybuje kolem 50 Kč, litr benzínu se nakupuje za 41 Kč. Elektřina je naproti tomu levnější než v Německu i

Česku, cena za 1 kWh je stanovena na cca 6,5 Kč. I tato skutečnost tak přispívá jako podpůrný faktor pro provoz plně elektrických vozidel.

Švédsko dle modelu vychází jako nejvhodnější země pro provozování EVs. Samozřejmě, že tento teoretický model nemůže zohlednit např. samovolné vybíjení baterie při nízkých teplotách takto daleko na severu, což má vliv na maximální dojezd EVs či nutnost využívání značné kapacity akumulátoru pro ohřev kabiny vozidla, což rovněž zmenšuje okamžitý maximální dojezd vozidla. Ovšem při takto definovaných kritériích v teoretické rovině je Švédsko zemí, kde se potenciál pro provoz EVs jeví nejslibněji.

Graf 4: výsledné pořadí variant pro Švédsko



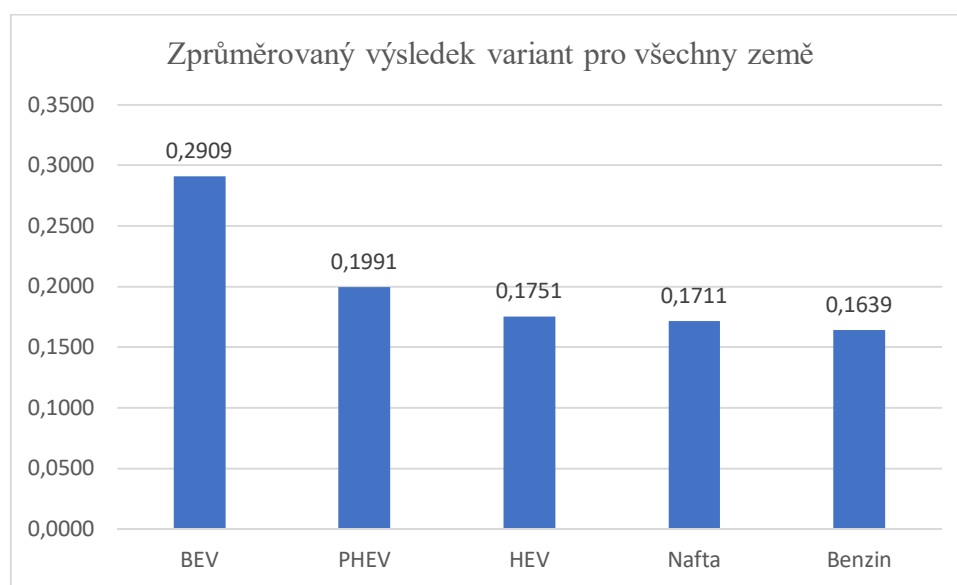
Vlastní zpracování

5.5 Celkové zhodnocení výsledků a analýza citlivosti

Graf č. 5 znázorňuje celkové průměrné umístění variant v modelu. Nepřekvapivě, po individuálních prvenstvích ve všech státech, se kompromisní variantou pro zkoumané země stává BEV vozidlo. Konkrétně skóre získané ve Švédsku tuto tabulku citelně ovlivňuje, když BEV varianta na této půdě absolutně dominovala. Dále si povšimněme, jak jsou ostatní varianty mezi sebou vyrovnané. Rozdíl mez 2. a 5. místem tvoří pouhých 3,52 %. Tedy model poukazuje na neohroženého vítěze a daleko pod ním se nachází víceméně stejně neúspěšné varianty.

Úspěch plného elektromobilu ve zkoumaném modelu je dán hned několika faktory. Řešitel práce očekával, že váhy stanovené dotazníkem na úrovni 2 budou nabývat jiných hodnot. Původně bylo předpokládáno, že nejdůležitější pro uživatele budou finanční kritéria, poté budou následovat technická kritéria a teprve potom se ocitnou v doprovodné roli cca 10 - 15 % rozhodovací váhy kritéria enviromentální povahy. Předpoklad byl naplněn jen částečně, když si své pozice vyměnila technická kritéria a enviromentální kritéria. Faktory ovlivňující životní prostředí tak dostaly daleko větší váhy, než bylo původně očekáváno. Komparativním výhodám, jichž BEV a PHEV vozidla dosahují oproti ICEV automobilům tak byla přidělena podstatně větší rozhodovací váha. V tomto ohledu řešitel doporučuje pro další zkoumání vycházet z širšího vzorku respondentů, kde by vzniklo méně prostoru pro statistické odchylky.

Graf 5: zprůměrovaný výsledek variant pro všechny země



Vlastní zpracování

Dalším faktorem, který se promítl do výsledků, je přístup ke stanovení vah variant v ohledu ke kritériu ceny, tedy váhy vystupující na úrovni 4. Tato váha byla stanovena vzájemným párovým porovnáváním absolutních hodnot (cen vozidel) tak, aby nemohlo dojít k odchylce. Nicméně uživatel se tímto způsobem nemusí vždy rozhodovat.

V níže prezentovaném řešení byly váhy stanoveny na základě relativního párového porovnání ceny, hodnoty použité pro stanovení váhy variant pro úroveň 4 z pohledu ceny prezentuje tabulka č. 25.

Tabulka 25: párové porovnávání variant v kritériu cena, relativní porovnávání

cena	N	B	HEV	PHEV	BEV	váhy
N	1	1/3	3	5	7	0,2638
B	3	1	5	7	9	0,5100
HEV	1/3	1/5	1	3	5	0,1296
PHEV	1/5	1/7	1/3	1	3	0,0636
BEV	1/7	1/9	1/5	1/3	1	0,0329

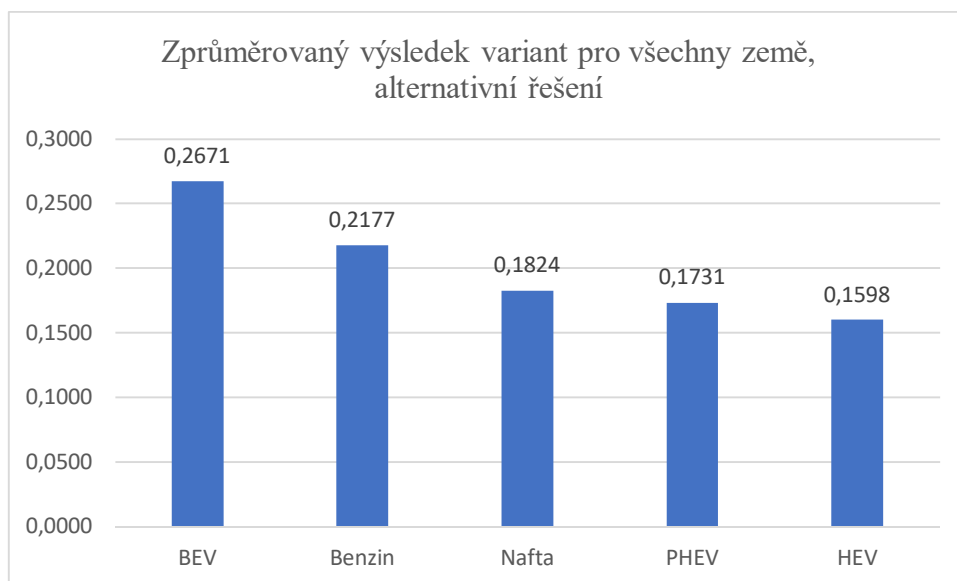
Vlastní zpracování

Pro získání vah z tabulky č. 25 bylo tedy použito logiky uvažování v rámci daného uzavřeného modelu. Získané hodnoty tedy vyplývají z párového porovnání na škále od 1 – 9, kdy se řešitel rozhoduje, zda preferuje tu či onu variantu nikoliv na základě absolutní vzdálenosti jedné ceny od druhé, nýbrž na relativní, tedy jak je které konkrétní vozidlo vzdáleno od optimální, tedy nejnižší, ceny nejlepší varianty.

Pokud tedy genezi této váhy pojmem tímto způsobem, značně se toto rozhodnutí projeví v konečném pořadí variant. Jelikož úroveň 2 stanovila finančnímu makro-kritériu nejdůležitější rozhodovací roli, stane se z benzinového automobilu (nejlevnější porovnávaný vůz) kompromisní varianta pro český i polský trh. Benzinový Tucson se tak v řešení se silným důrazem na kritérium ceny v žádné zemi neumístí na horší než druhé příčce.

Jak prezentuje graf č. 6, benzinová varianta se z nejhorší varianty pro původní řešení stala druhou nejlepší variantou pro řešení se zvýšeným rozhodovacím vlivem ceny. Ačkoliv byl zásah do hodnot nového zadání poměrně značný, má tento výkyv výsledků výpovědní hodnotu o citlivosti sestrojeného modelu. Změnou režimu výpočtu hodnoty váhy jednoho z osmi zkoumaných kritérií bylo dosaženo sice stejné souhrnné nejlepší varianty (BEV), nicméně se dramaticky proměnilo pořadí ostatních zkoušených variant.

Graf 6: zprůměrovaný výsledek variant pro všechny země s důrazem na kritériu ceny



Vlastní zpracování

6 Závěr

Přestože jsou elektromobily lidstvu známy již od 19. století, je to právě až v dnešní době, kdy nabývají na největší relevanci. Důvodem pro tuto skutečnost je poptávka po ekologické a udržitelné dopravě, která by západní svět zase přiblížila deklarovanému cíli uhlíkové neutrality. Dalším faktorem, který z elektromobility činí v současné době přijatelnou alternativu, je technický pokrok elektrických vozidel. Vozidla se spalovacím motorem a elektrické vozy jsou si v současnosti až na několik aspektů vyrovnanými konkurenty. Klíčovým faktorem je však cena. Bateriová vozidla zatím v současnosti nelze vyrábět levněji než vozidla se spalovacími motory, proto se mnoho vlád rozhodlo finančně podpořit nákup elektrických vozidel, aby byl rozdíl v prodejních cenách kompenzován. Další kritérium, které je ovšem s elektromobilitou nutné sledovat je energetický mix. Má-li elektromobilita skutečně přinést očekávanou úlevu od nadbytečné produkce skleníkových plynů, je žádoucí, aby elektřina, kterou elektromobily pro svůj pohyb využívají, pocházela z čistých zdrojů. Pokud totiž elektřinu v daném státě produkují primárně uhelné elektrárny, jedná se pouze o přesun ekologické zátěže z pozemních komunikací do těchto elektráren.

Z praktické části práce vyplývá zjištění, že kompromisní variantou pro všechny zohledněné státy, tedy Českou republiku, Spolkovou republiku Německo, Polsko a Švédsko, je plný elektromobil. Primárním důvodem tohoto výsledku je vysoká váha environmentálních kritérií v rozhodovacím modelu a oproti variantám se spalovacím motorem nízké provozní náklady, které rovněž obdržely vysokou důležitost. Důležitost kritérií byla zjišťována dotazníkovým šetřením, jehož výstup bych doporučil dalším badatelům ověřit v rozsáhlejší vzorku respondentů. Výsledek ovšem hodnotím jako překvapivý, jelikož před získáním odpovědí od dotazovaných bylo očekáváno, že druhým nejdůležitějším kritériem bude technická vybavenost vozu, nikoliv minimalizace environmentální stopy. Zároveň je nutné podotknout, že v řešené studii bylo zahrnuto pouze 8 vybraných kritérií, přičemž do rozhodovacího procesu o výběru vozidla běžně vstupují desítky aspektů.

Lze ovšem konstatovat, že elektrická vozidla dosahují lepších výsledků v důležitém kritériu provozních nákladů a dominují v disciplíně environmentálních kritérií. Co se technických kritérií týče, zkoumaná vozidla dosahují velmi vyrovnaných výkonů, v modelu pozorovaný rozdíl je nevýznamný. Užitá metoda AHP ovšem reflektuje, že jsou elektromobily dražší než vozidla se spalovacími motory, nicméně tento rozdíl je více než vyrovnán zmíněnými silnými vlastnostmi elektromobilů.

Celkově vzato, pokud bude udržován nastolený trend technologických pokroků, elektromobily ve střednědobém výhledu zaujmou ještě důležitější postavení na trhu než nyní. Tlak na výrobce

automobilů k produkci a odbytu environmentálně šetrnějších a udržitelnějších vozů pomalu upozadí vývoj spalovacích motorů a plný elektromobil bude na trhu nejvíce nabízeným vozidlem.

7 Bibliografie

1. Kurzweil, Peter. Gaston Planté and his invention of the lead–acid battery - The genesis of the first practical rechargeable battery. *ScienceDirect*. [Online] 15. Červenec 2010. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378775310000546?token=A7EEDA80CAE870B2F14777673ADA1DA7A38C68D24C0603AE95CE625C5BFF684CDC4798F604BD60057384DE7E77908152&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230124084808>.
2. Desmond, Kevin. *Gustave Trouvé: French electrical genius (1839-1902)*. Jefferson : North Carolina: McFarland & Company, Inc., Publishers, 2015. ISBN 978-0786497096.
3. Madrigal, Alexis C. The Electric Taxi Company You Could Have Called in 1900. *The Atlantic*. [Online] 15. Březen 2011. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/03/the-electric-taxi-company-you-could-have-called-in-1900/72481/>.
4. Wilson, Kevin A. Car and Driver. *Worth the Watt: A Brief History of the Electric Car, 1830 to Present*. [Online] 17. Srpen 2022. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.caranddriver.com/features/g15378765/worth-the-watt-a-brief-history-of-the-electric-car-1830-to-present/>.
5. Červenka, Jan. První český elektromobil z roku 1895 měl hybridní pohon, který používá BMW i3. *E.ON*. [Online] 25. Červen 2019. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.eon.cz/energy-globe/temata-a-novinky/prvni-cesky-elektromobil-vznikl-v-roce-1895-a-mel-hybridni-pohon-ktery-pouziva-bmw-i3/>.
6. R is for Recuperation. *Volkswagen News Room*. [Online] 2023. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/r-is-for-recuperation-4863>.
7. Tuzemský elektromobil EMA předběhl dobu o desítky let. *elektrina.cz*. [Online] 14. Prosinec 2018. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.elektrina.cz/elektromobil-ema>.
8. Eisenstein, Paul E. Mercedes-Benz Goes All-Electric By 2030. *Forbes Wheels*. [Online] 4. Říjen 2021. [Citace: 24. Leden 2023.] <https://www.forbes.com/wheels/news/mercedes-benz-all-electric-2030/>.
9. How Do Gasoline Cars Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] [Citace: 11. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-gasoline-cars-work>.
10. How Do Diesel Vehicles Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] 2023. [Citace: 27. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-diesel-cars-work>.

11. Březinová, Jana. Poznejte tajemství elektromotoru. *elektrina.cz*. [Online] 7. Únor 2020. [Citace: 11. Únor 2023.] <https://www.elektrina.cz/jak-funguje-elektromotor>.
12. Naylor, Sam. Regenerative braking: what is it and how does it work? *Auto Express*. [Online] 6. Listopad 2020. [Citace: 11. Únor 2023.] <https://www.autoexpress.co.uk/tips-advice/353643/regenerative-braking-what-it-and-how-does-it-work>.
13. Elektromobily, jejich baterie a jak nabíjet. *EV EXPERT*. [Online] 2019. [Citace: 11. Únor 2023.] <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie>.
14. Svět čelí nové výzvě: recyklace baterií z elektromobilů. *hybrid.cz*. [Online] 18. Červenec 2022. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://www.hybrid.cz/svet-celi-nove-vyzve-recyklace-baterii-z-elektromobilu/>.
15. Vytlačil, Petr. Recyklace li-ion baterií – úvod. *oenergetice.cz*. [Online] 23. Únor 2018. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/recyklace-lithium-ion-baterii-uvod>.
16. Mokříš, Jakub. Jsou elektromobily doopravdy ekologické? *Portál Řidiče*. [Online] 5. Listopad 2022. [Citace: 9. Březen 2023.] <https://www.portalridice.cz/clanek/jsou-elektromobily-ekologicke>.
17. Lawson, Michele F. The DRC Mining Industry: Child Labor and Formalization of Small-Scale Mining. *wilsoncenter.org*. [Online] 1. Září 2021. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://www.wilsoncenter.org/blog-post/drc-mining-industry-child-labor-and-formalization-small-scale-mining>.
18. AC / DC nabíjení u elektromobilů a jejich rozdíl. *evexpert.cz*. [Online] 2022. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/ac-dc-nabijeni>.
19. VISION EQXX breaks own efficiency record. *Mercedes-Benz Group*. [Online] 2022. [Citace: 13. Únor 2023.] <https://group.mercedes-benz.com/innovation/product-innovation/technology/vision-eqxx-efficiency-record-england.html>.
20. VISION EQXX: Nové měřítko účinnosti. *mercedes-benz.cz*. [Online] 2022. [Citace: 13. Únor 2023.] <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/the-brand/eqxx/stage.module.html>.
21. How Do All-Electric Cars Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] [Citace: 13. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>.
22. ČTK. Cesty do práce vyjdou Čechy v průměru na tisícovku měsíčně. Mnozí ale za dojíždění platí i více než 30 tisíc za rok. *Hospodářské Noviny*. [Online] 23. Duben 2019. [Citace: 19. Únor 2023.] <https://domaci.hn.cz/c1-66558940-cesty-do-prace-vyjdou-cechy-v-prumeru-na-tisicovku-mesicne-nejcasteji-dojizdeji-vlastnim-autem-nebo-hromadnou-dopravou>.

23. How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] [Citace: 13. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>.
24. Dale, Nathan. The Difference Between Full Hybrid, Mild Hybrid and Plug-in Hybrid Cars. *Evans Halshaw*. [Online] 8. Duben 2021. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://www.evanshalshaw.com/blog/difference-between-full-mild-and-plug-in-hybrid/>.
25. How Do Hybrid Electric Cars Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] 2023. [Citace: 27. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>.
26. EREV or Extended Range Electric Vehicle explained. *arenaev.com*. [Online] 3. Prosinec 2022. [Citace: 19. Února 2023.] https://www.arenaev.com/erev_or_extended_range_electric_vehicle_explained-news-1103.php.
27. Majurník, Jan. Test ojetiny: BMW i3 REX – Jistota dojezdu, či drahý špás? *garaz.cz*. [Online] 18. Srpen 2020. [Citace: 20. Únor 2023.] <https://www.garaz.cz/clanek/test-ojetiny-bmw-i3-rex-21004483>.
28. Irlé, Roland. Global EV Sales for 2022. *EV-Volumes*. [Online] 2023. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>.
29. Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM. *Čistá Doprava*. [Online] 2023. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/>.
30. Vrchota, Matouš. Česko rozdává štědré dotace na elektromobily! Ale vy se k nim nedostanete. *Elektrické Vozy*. [Online] 1. Červen 2022. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://elektrickevozy.cz/clanky/ceska-republika-dotace-na-nakup-elektromobilu>.
31. Visualizing 10 Years of Global EV Sales by Country. *Visual Capitalist*. [Online] Visual Capitalist, 8. Srpen 2022. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-10-years-of-global-ev-sales-by-country/>.
32. Jahresbilanz 2022. *Kraftfahrt-Bundesamt*. [Online] 2023. [Citace: 15. Březen 2023.] https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/2022/2022_n_jahresbilanz_generische.html?nn=3547466&fromStatistic=3547466&yearFilter=2022&fromStatistic=3547466&yearFilter=2022.
33. Kane, Mark. Germany: Massive Plug-In Car Sales Surge In December 2022. *inside EVs*. [Online] 12. Leden 2023. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://insideevs.com/news/630785/germany-plugin-car-sales-december2022/>.
34. Will phase-out of incentives threaten EV uptake in Germany? *Autovista 24*. [Online] 25. Leden 2023. [Citace: 15. Březen 2023.] <https://autovista24.autovistagroup.com/news/will-phase-out-ev-incentives-germany-threaten-uptake/>.

35. Poland Drives E-Mobility. *PSPA*. [Online] 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] https://pspa.com.pl/wp-content/uploads/2022/09/PSPA_Poland_Drives_e-Mobility_Report_2022_EN-1.pdf.
36. Over 700 e-buses today in Poland. Last year the share of electric city buses exceeded the one of diesel ones. *Sustainable BUS*. [Online] 24. Květen 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-buses-poland-700/>.
37. Veřejné dobíjecí stanice v ČR. *Čistá Doprava*. [Online] 31. Prosinec 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.cistadoprava.cz/stanice-ceska-republika/>.
38. Randall, Chris. ElectroMobility Poland postpones production of first model til 2025. *Electrive*. [Online] 20. Leden 2023. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.electrive.com/2023/01/20/electromobility-poland-postpones-production-of-first-model-til-2025/>.
39. SWEDEN ELECTRIC VEHICLES MARKET OVERVIEW. *International Trade Administration*. [Online] Department of Commerce, United States of America, 10. Květen 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.trade.gov/market-intelligence/sweden-electric-vehicles-market-overview>.
40. Randall, Chris. Sweden drops EV subsidies with immediate effect. *Electrive*. [Online] 8. Listopad 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.electrive.com/2022/11/08/sweden-drops-ev-subsidies-with-immediate-effect/>.
41. 2022 – a strong year for the electric car. *Mobility Sweden*. [Online] 3. Leden 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2022/2022-ett-starkt-ar-for-elbilen.
42. Co je to energetický mix. *eon.cz*. [Online] 2023. [Citace: 2. Březen 2023.] <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/zelena-elektrina/co-je-to-energeticky-mix/>.
43. Public net electricity generation in Czech Republic in 2022. *Energy Charts*. [Online] Fraunhofer ISE, 2023. [Citace: 2. Březen 2023.] <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=CZ&chartColumnSorting=default&interval=year&year=2022>.
44. ČTK. Německo opouští jadernou energii. *Deník CZ*. [Online] 30. Květen 2011. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://www.denik.cz/ekonomika/nemecko-opusti-jadernou-energii20110530.html>.
45. —. V německé vládní koalici se znovu otevírá spor ohledně jaderné energie. *O Energetice*. [Online] 2. Leden 2023. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrany/v-nemecke-vladni-koalici-se-znovu-otevira-spor-ohledne-jaderne-energie>.

46. Public net electricity generation in Germany in 2022. *Energy Charts*. [Online] Fraunhofer ISE, 2023. [Citace: 2. Březen 2023.] <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=DE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=2022&source=public>.
47. Palata, Luboš. Polsko mohutně odstartovalo stavbu jaderných elektráren. Česko pospává. *iRozhlas*. [Online] 8. Listopad 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] https://www.irozhlas.cz/komentare/jaderne-elektrarny-polsko-komentar-palata_2211080629_cen.
48. Budín, Jan. Změna zákona v Polsku může přinést prudký rozvoj pevninských větrných elektráren. *O Energetice*. [Online] 3. Únor 2023. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://oenergetice.cz/vetrne-elektrarny/zmena-zakona-v-polsku-muze-prinest-prudky-rozvoj-pevninskych-vetrnych-elektraren>.
49. Public net electricity generation in Poland in 2022. *Energy Charts*. [Online] Fraunhofer ISE, 2023. [Citace: 2. Březen 2023.] <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=PL&chartColumnSorting=default&interval=year&year=2022>.
50. Grecman, Daniel. Švédsko by mohlo do roku 2035 zdvojnásobit svou spotřebu elektřiny. *O Energetice*. [Online] 17. Prosinec 2022. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/svedsko-by-mohlo-do-roku-2035-zdvojnásobit-svou-spotrebu-elektriny>.
51. ČTK. Švédsko podle premiéra potřebuje nejméně dva nové jaderné reaktory. *O Energetice*. [Online] 3. Leden 2023. [Citace: 19. Březen 2023.] <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/svedsko-podle-premiera-potrebuje-nejmene-dva-nove-jaderne-reaktory>.
52. Public net electricity generation in Sweden in 2022. *Energy Charts*. [Online] Fraunhofer ISE, 2023. [Citace: 2. Březen 2023.] <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=SE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=2022>.
53. Alessio Ishizaka, Philippe Nemery. *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2013. 978-1-119-97407-9.
54. Ke stažení, ceník a další informace. *Hyundai*. [Online] 2023. [Citace: 27. Únor 2023.] <https://www.hyundai.com/cz/modely/tucson/ke-stazeni.html>.
55. 2021 Hyundai Tucson IV specs, Fuel consumption, Dimensions. *auto-data.net*. [Online] 2023. [Citace: 27. Únor 2023.] <https://www.auto-data.net/en/hyundai-tucson-iv-generation-7995>.

56. Kurzy devizového trhu. *Česká Národní Banka*. [Online] 1. Březen 2023. [Citace: 1. Březen 2023.] <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/index.html?date=01.03.2023>.
57. Electricity prices. *Global Petrol Prices*. [Online] 2023. [Citace: 1.. Březen 2023.] https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/.
58. Czech Republic Gasoline prices, 27-Feb-2023. *Global Petrol Prices*. [Online] 2023. [Citace: 1. Březen 2023.] https://www.globalpetrolprices.com/Czech-Republic/gasoline_prices/.
59. Czech Republic Diesel prices, 27-Feb-2023. *Global Petrol Prices*. [Online] 2023. [Citace: 1. Březen 2023.] https://www.globalpetrolprices.com/Czech-Republic/diesel_prices/.
60. How can nuclear combat climate change? *World Nuclear Association*. [Online] [Citace: 8. Březen 2023.] <https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx>.
61. How Do Diesel Vehicles Work? *U.S. Department of Energy*. [Online] [Citace: 11. Únor 2023.] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-diesel-cars-work>.
62. The all-new VISION EQXX by Mercedes-EQ Concept. *mbusa.com*. [Online] [Citace: 13. Únor 2023.] <https://www.mbusa.com/en/future-vehicles/vision-eqxx>.

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Elektrické taxi Williama C. Whitneyho	14
Obrázek 2: EMA: elektrický městský automobil	16
Obrázek 3: průřez vozidlem se zážehovým motorem.....	18
Obrázek 4: průřez vozidla se vznětovým motorem	19
Obrázek 5: Průřez BEV vozidlem	24
Obrázek 6: Mercedes-EQ VISION EQXX	25
Obrázek 7: průřez PHEV vozidlem	27
Obrázek 8: průřez HEV vozidlem	28
Obrázek 9: světový odbyt BEVs a PHEVs	30
Obrázek 10: vývoj prvních registrací BEV a PHEV v ČR	31
Obrázek 11: vývoj prvních registrací vozidel dle typu paliva v ČR.....	31
Obrázek 12: roční registrace vozidel v SRN	32
Obrázek 13: výše dotací na BEV a PHEV v SRN.....	33
Obrázek 14: RI index	40
Obrázek 15: Struktura případové studie řešené pomocí AHP.....	42
Obrázek 16: přehled produkce CO ₂ podle typu paliva	49

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: energetický mix ČR za rok 2022.....	35
Tabulka 2: energetický mix SRN za rok 2022	36
Tabulka 3: energetický mix Polska za rok 2022.....	37
Tabulka 4: energetický mix Švédska za rok 2022.....	38
Tabulka 5: příklad párového porovnávání s výslednými vahami.....	39
Tabulka 6: Příslušnost mikro-kritérií k makro-kritériím.....	43
Tabulka 7: kritéria bez nutnosti dopočtení hodnoty	44
Tabulka 8: cena paliv	46
Tabulka 9: spotřeby paliva variant	46
Tabulka 10: výsledné hodnoty kritéria provozní náklady [Kč / 100 km]	46

Tabulka 11: maximální dojezd variant	48
Tabulka 12: emise CO ₂ při produkci 1 kWh podle vybraných států	49
Tabulka 13: výsledné hodnoty kritéria emise CO ₂ dle zdroje energie	50
Tabulka 14: párové porovnání v rámci kritéria E-mixu pro SRN	51
Tabulka 15: výsledné hodnoty kritéria E-mixu	52
Tabulka 16: výsledné hodnoty makro-kritérií	54
Tabulka 17: výsledné hodnoty finančních mikro-kritérií.....	54
Tabulka 18: výsledné hodnoty technických mikro-kritérií	55
Tabulka 19: výsledné hodnoty enviromentálních mikro-kritérií.....	55
Tabulka 20: výsledné váhy variant pro ČR.....	57
Tabulka 21: výsledné váhy variant pro SRN.....	57
Tabulka 22: výslední váhy variant pro Polsko	57
Tabulka 23: výsledné váhy variant pro Švédsko	58
Tabulka 24: režim výpočtu výsledného skóre pro variantu N v ČR.....	58
Tabulka 25: párové porovnávání variant v kritériu cena, relativní porovnávání	67

8.3 Seznam grafů

Graf 1: výsledné pořadí variant pro ČR.....	61
Graf 2: výsledné pořadí variant pro SRN.....	62
Graf 3: výsledné pořadí variant pro Polsko.....	64
Graf 4: výsledné pořadí variant pro Švédsko	65
Graf 5: zprůměrovaný výsledek variant pro všechny země	66
Graf 6: zprůměrovaný výsledek variant pro všechny země s důrazem na kritériu ceny	68

8.4 Seznam použitých zkratk

BEV	- battery electric vehicle, plný elektromobil
PHEV	- plug-in hybrid electric vehicle, plug-in hybridní elektromobil
HEV	- hybrid electric vehicle, hybridní elektrické vozidlo
B	- benzinová varianta v řešeném modelu
N	- naftová varianta v řešeném modelu
ICEV	- internal combustion engine vehicle, vozidlo se spalovacím motorem
AHP	- analytic hierarchy proces, metoda analytického hierarchického procesu
EV	- electric vehicle, elektrické vozidlo

CO_2	- carbon dioxide, oxid uhličitý
SRN	- Spolková republika Německo
AC	- alternating current, střídavý proud
DC	- direct current, stejnosměrný proud
PN	- provozní náklady
OZP	- objem zavazadlového prostoru
Z 0 – 100	- zrychlení 0 – 100 km/h

Přílohy

V systému UIS byly uloženy následující přílohy:

1. DP_-_PK,_dotaznik_formular.xlsx
2. DP_-_PK,_vypocty.xlsx