

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208T088 Podniková ekonomika a management
provozu

**VÝBĚR VHODNÉHO AUTOMOBILU ZE
SEGMENTU LUXUSNÍCH ELEKTRICKÝCH
SUV MODELŮ**

Diplomová práce

Bc. Pascal SCHÖBEL

Vedoucí práce: Ing. Josef Bradáč, Ph.D.

V tištěné verzi závěrečné práce tento list vyjměte a nahradte zadáním závěrečné práce. V elektronické verzi práce zde vložte oskenované zadání se všemi podpisy.

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval (a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom (a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji Ing. Josefu Bradáčovi, Ph.D. za odborné a profesionální vedení diplomové práce, poskytování užitečných rad a informačních podkladů.

Dále děkuji Ing. Jaroslavu Viglášovi za konzultace v oblasti logické stavby práce.

Obsah

Úvod	9
1 Elektromobilita v automobilovém průmyslu	10
1.1 Technické aspekty elektromobilu	12
1.2 Ekonomické aspekty elektromobilu	18
1.3 Ekologické aspekty elektromobilu	25
1.4 Budoucnost obchodních modelů	26
2 Rozhodování a rozhodovací proces	29
2.1 Etapy rozhodovacího procesu	30
2.2 Prvky rozhodovacího procesu	31
3 Metody vícekriteriálního rozhodování	34
3.1 Tvorba variant a výběr kritérií	34
3.2 Metody stanovení vah	36
3.3 Metody vícekriteriálního hodnocení variant	37
3.4 Obsah formulace rozhodovacího problému	40
4 Výběr vhodného luxusního elektrického modelu SUV	41
4.1 Cíle praktické části práce	41
4.2 Projektový plán	41
5 Přípravná fáze projektu	43
5.1 Formulace rozhodovacího problému	43
5.2 Vymezení segmentu SUV	44
5.3 Situace na trhu elektromobilů	48
5.4 Volba elektrických vozidel SUV	51
5.5 Stanovení hodnotících kritérií	60
5.6 Definice postupu pro získání relevantních kritérií	63
6 Realizační fáze projektu	64
6.1 Stanovení vah hodnocených kritérií	64
6.2 Aplikace metody WSA	66
6.3 Aplikace metody TOPSIS	66
7 Vyhodnocovací fáze	68
7.1 Výběr vhodného elektromobilu	68

Závěr	70
Seznam literatury	71
Seznam obrázků a tabulek	76
Seznam příloh	78

Seznam použitých zkratk a symbolů

AC	Alternating Current – Střídavý proud
AHP	Analytic Hierarchy Process – metoda vícekriteriálního hodnocení variant
AG	Aktiengesellschaft – akciová společnost
AVAS	Acoustic Vehicle Alerting Systém – systém varovného signálu ve vozidlu
BEV	Battery Electric Vehicle – bateriové elektrické vozidlo
CARB	California Air Resources Board
CCS	Combined Charging Systém – kombinovaný dobíjecí systém
CSB	Car Sales Base
CO ₂	Oxid uhličitý
ČEZ	České energetické závody
CDV	Centrum dopravního výzkumu
ČR	Česká republika
DC	Dirrect Current – stejnosměrný elektrický proud
EON	Název distributora elektrické energie a plynu
EU	Evropská unie
EUR	Euro
FCEV	Fuell Cell Electric Vehicle – pohon s palivovými články
CHAdemo	Charge de Move
Li-Ion	Lithium-iontový typ akumulátoru
MPV	Multi Purpose Vehicle – Víceúčelové vozidlo
NEDC	New European Driving Cycle – Nový cyklus výpočtu produkce emisních hodnot dle Evropské komise
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSN	Organizace spojených národů

PHEV	Plug In Hybrid Electric Vehicle – Hybridní elektrické vozidlo do zásuvky
PRE	Pražská energetika
RP	Rozhodovací problém
SDA	Sdružení dovozců automobilů ČR
SUV	Sport Utility Vehicle – sportovně užitkové vozidlo
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
TTW	Tank-to-Well
USD	United States Dollar – americký dolar
VHV	Vícekriteriální hodnocení variant
VKR	Vícekriteriální rozhodování
VW	Volkswagen
V2G	Vehicle to Grid – systém inteligentního dobíjení vozidla
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure – celosvětově sjednocený proces testování vozidel
WSA	Weighted Sum Approach – metoda váženého součtu
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheel
ZEV	Zero Emission Vehicle

Úvod

Automobilový průmysl již několik let čelí velkým změnám. Zatímco spalovací motory ovládaly vozidla po celá desetiletí, hrozí jim, že budou nahrazeny alternativní formou pohonu. Důvody pro tyto změny lze pozorovat nejen ve zpřísnování požadavků na emise Evropskou komisí, rostoucích cen pohonných hmot a rostoucího konkurenčního tlaku z asijských zemí, ale i u globálního vnímání moderní dopravy z pohledu zákazníka (témata ochrany životního prostředí, globálního oteplování apod.).

V tomto ohledu vidí výrobci vozidel velkou šanci úspěchu v technologii plně elektrických pohonů, kvůli kterým museli přizpůsobit nejen nabídku svých pohonů, ale zároveň kompletní portfolio jednotlivých modelů. Proces transformace musí být zajištěn takovým způsobem, aby byl přechod ze strany zákazníka vnímán jako přirozený technologický vývoj moderní doby, jehož nedílnou součástí je právě téma elektromobility.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem se tato diplomová práce věnuje popisu nových aspektů v oblasti elektromobility a současné situaci na evropských trzích. Hlavním cílem práce je pomocí aplikace vybraných metod vícekriteriálního rozhodování zjistit, jaký typ luxusního elektromobilu v segmentu SUV, který se v současnosti prodává, nejvíce odpovídá požadavkům zákazníků.

Práce mapuje jednotlivé oblasti, které mohou být pro úspěšný prodej vozu atraktivní, ať je to pořizovací cena vozidla, nové zážitky z jízdních vlastností nebo i nová přidaná hodnota elektromobilu. V další části bude představena teorie rozhodovacího procesu a s ní spojené metody vícekriteriálního rozhodování.

Praktická část diplomové práce se zabývá výběrem vhodného elektromobilu ze segmentu luxusních SUV na základě preferencí cílové skupiny zákazníků. Výběr včetně konečného rozhodnutí vychází z předem stanovených kritérií a jejich vah získaných z rozhovorů s respondenty pomocí metod pro rozhodování. V závěrečné části práce jsou interpretovány získané výsledky.

Informace k vypracování diplomové práce byly čerpány z dostupných literárních zdrojů a rozhovorů s cílovou skupinou respondentů. V neposlední řadě bylo využito cenných konzultací s vedoucím diplomové práce.

1 Elektromobilita v automobilovém průmyslu

Automobil byl vyvíjen již na konci 19. století. Tenkrát nebyl vynalezen jen pohon se spalovacím motorem, ale zároveň se úspěšně pracovalo na variantě elektrického pohonu (Gaman, 2020). V roce 1835 byl profesorem Sibrandusem Stratinghem z Nizozemí navrhnout a postaven první elektromobil, tedy ještě 50 let před prvním spalovacím motorem Nicolase Otta. Prvním sériově vyráběným vozem byl tříkolový vůz Gustava Trouvého, který byl představen na Světové výstavě v Paříži v roce 1881, jehož výroba byla zahájena o tři roky déle v Londýně.

Na území dnešní České republiky se do historie elektromobility zapsal Ing. František Křížík, který svůj elektromobil s hybridním pohonem představil v roce 1895. Tento projekt disponoval pětikoňovým elektropohonem zadních kol, přičemž baterie se nacházely pod sedadly a ovládal se řídicí pákou. Až jeho druhý vůz se ovládal volantem a pedály tak, jak je známo z dnešních automobilů.

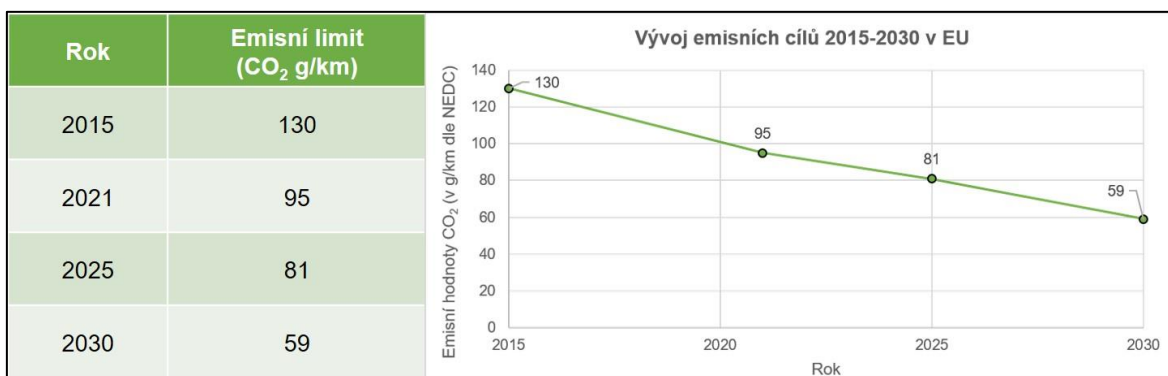
Na Světovém veletrhu v Paříži v roce 1900 byl veřejnosti Ferdinandem Porschem a Ludwigem Lohnerem představen jejich hybridní elektromobil „Lohner-Porsche“, který byl v historii zároveň prvním vozem s pohonem všech kol. V těchto dobách byl elektromobil velmi oblíbeným typem dopravního prostředku především z důvodu své jednoduché konstrukce, spolehlivosti, efektivnějšího zrychlení nebo snadného ovládání. Ekologické přínosy elektrických vozidel byly oceněny především ve velkých městech, kde nízká hlučnost a výrazná redukce znečišťování ovzduší byla další přidanou hodnotou. Nicméně, pořizovací cena tohoto typu individuální dopravy byla primárním důvodem, proč se tato nová technologie neseťkala s masovým úspěchem.

Na konci 20. století probíhaly pokusy využít možných výhod elektrických pohonů v osobních vozidlech, avšak stále bez komerčního úspěchu. Hlavní důvod neúspěchu byl do značné míry způsoben tehdy dostupnými akumulátory, které pouze částečně splňovaly požadavky pro provoz motorových vozidel na silničních komunikacích. K průlomů došlo až v roce 1991 s vynálezem baterií typu Li-Ion, které společnost Sony představila pro jejich videokamery a fotoaparáty a které dodnes lze nalézt v dnešních telefonech, tabletech apod. Hlavní výhodou tohoto typu baterie je vysoká hustota úložiště kapacity bez paměťového efektu a nízkého efektu samovybití. Avšak její hlavní nevýhodou je vyšší pořizovací cena, která

v dimenzích velkých akumulátorů v automobilu v současné době představuje významnou část ceny vozového celku. V posledních letech byly tyto baterie paketovány do větších celků tak, aby byly vhodné pro aplikaci v automobilovém průmyslu z hlediska distribuce elektrické energie a kapacity.

Společnost Tesla byla jednou z prvních OEM výrobců, která v roce 2016 uvedla tuto technologii v automobilovém průmyslu do sériové výroby. Jejich vozy v současné době dosahují dojezdu několika set kilometrů. Tento trend je následován a neustále zdokonalován dalšími výrobci elektromobilů.

Nová éra elektromobility nastartovala především po vyhlášení emisních cílů Evropskou komisí v rámci Pařížské dohody (uzavřeno 2015 v rámci Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu), které jsou platné od roku 2020 do roku 2030 (Evropská komise, 2020). Jednotlivé milníky na snížení emisních limitů jsou uvedeny na obrázku 1. Jak uvádí International Council On Clean Transportation (dále jen ICCT) (2019), tak docílení emisních limitů je v současné době obtížné splnit. Do roku 2030 budou limity již natolik nízké, že bude stěží možné docílit požadovaných hodnot, pokud se stávající nabídka konvenčních spalovacích motorů nezmění.



Zdroj: International Council On Clean Transportation, 2019

Obr. 1 Vývoj emisních cílů do roku 2030

Výrobci automobilů museli kvůli těmto stanoveným limitům okamžitě změnit způsob svých budoucích strategií, tedy jak a kterou cestou řídit své produktové portfolio (Woodword, 2019). Při pohledu na současnou nabídku vozidel lze vyzorovat, že téměř všichni výrobci vsadili na cestu elektrického pohonu v různých alternativách, aby eliminovali nebo maximálně snížili povinné hrazení flotilového pokutování za

překročené maximální limity. Přechod ze zažitých konvenčních pohonných jednotek na elektrické pohony probíhá postupným a dlouhodobým transformačním procesem. Jedním z důvodů je doba na potřebný vývoj vozidla, během kterého se v rámci strategií jednotlivých značek automobilových výrobců fúzuje elektrický a konvenční pohon a až následně je představena plně elektrická verze pohonu (detailně představeno v kapitolách technických aspektů elektromobilu). Euforie z prvních elektromobilů v rámci zahájení novodobé éry vyprchala. Nyní je důležité zviditelnit elektromobilitu více na trhu, aby si spotřebitelé budovali důvěru v novou technologii. Proto je druhým důvodem zvolit takový obchodní model, u něhož je zákazník schopen akceptovat technologický posun z pozitivních i negativních pohledů současné doby.

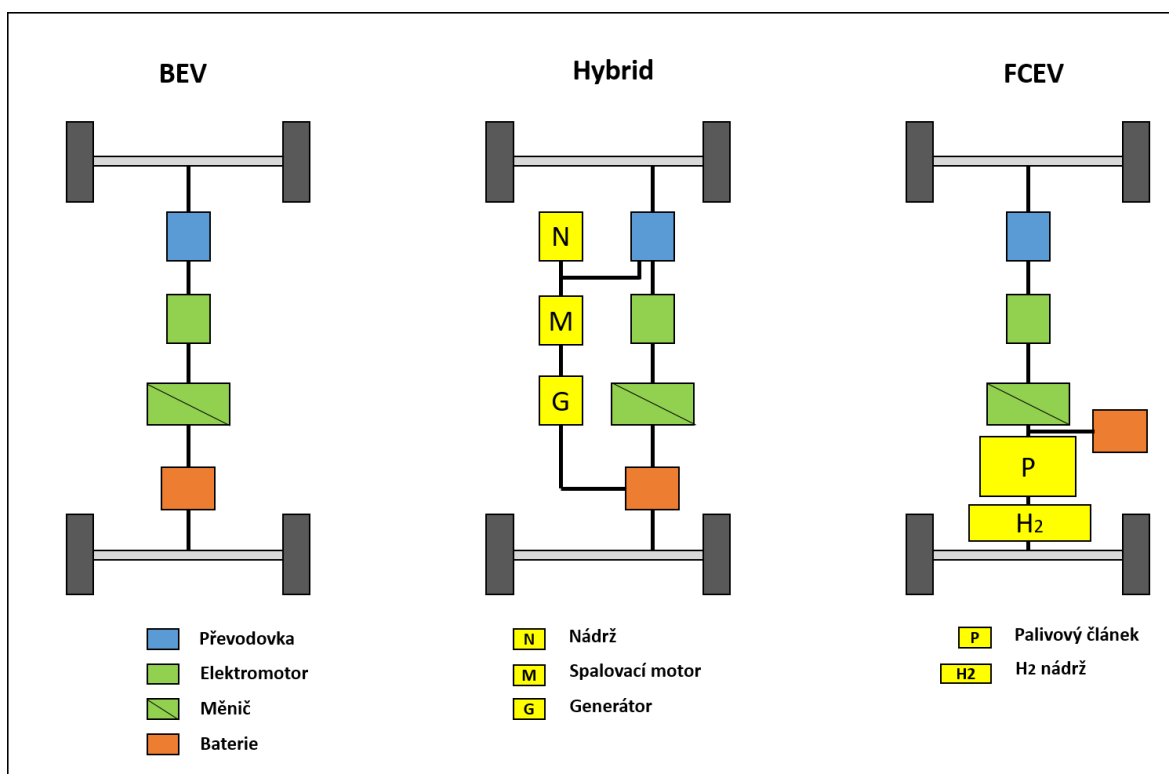
1.1 Technické aspekty elektromobilu

Následující kapitola se zabývá technickými, ekonomickými a ekologickými aspekty elektromobilu, v rámci nich budou srovnávány výhody a nevýhody oproti konvenčním technologiím. Jednotlivé aspekty budou sloužit pro lepší identifikaci hodnotících kritérií pro výběr vhodného elektromobilu.

1.1.1 Elektrické pohony

Konvenční motorové vozidlo se stává elektromobilem ve chvíli, kdy je mechanická hnací soustava se spalovacím motorem nahrazena hnací soustavou s elektrickým motorem. Automobilové společnosti přistupují při navrhování svých konstrukcí elektrických vozidel různými postupy (Karle, 2020). Výrobci mohou během vývoje přistoupit na tzv. Purpose-Design, během kterého je elektromobil vyvinut od samého prvopočátku jako zcela nový vůz své kategorie – výrobcům tento přístup vývoje dává volnost při dosažení co nejoptimálnějších parametrů vozidla (tedy nově vyvinutá elektronická architektura platformy), která je časově a finančně náročnější. Naopak, pokud je základem pro vývoj stávající platforma, tak se jedná o tzv. Conversion-Design. V praxi lze tento přístup pozorovat například u společnosti Volkswagen AG, která upravila konvenční platformu vozu VW Golf a transformovala tento stávající vůz na modifikovanou variantu e-Golf. Automobiloví výrobci tím využívají finančně výhodnějších výrobních synergií, avšak jsou omezeni z pohledu volnosti návrhu. Tento přístup se nejčastěji aplikuje ve chvíli, kdy je cílem paralelní vývoj konvenčního a hybridního pohonu jednoho modelu vozidla. Z dlouhodobého

hlediska strategií výrobců má však cesta Purpose-Designu daleko více předností. Na obrázku 2 je představeno blokové schéma nejdůležitějších prvků pro různé varianty elektrických pohonů (Hromádko, 2012).



Zdroj: Hromádko, 2012

Obr. 2 Typy základních elektrických pohonů

Jak je z obrázků patrné, tak pouze varianta plně elektrického vozidla (Battery Electric Vehicle – BEV) neduplikuje dva typy pohonů současně, což může vést k redukci hmotnosti nebo naopak k doplnění kapacit akumulátorů pro získání větších hodnot dojezdu. Dalším představeným typem je varianta hybridního pohonu, který je kombinací dvou typů pohonů – elektrického a spalovacího motoru. Třetím a posledním typem pohonu je kombinace elektrického a vodíkového pohonu (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV). Strategie jednotlivých výrobců lze z výše uvedených poznatků a emisních limitů odhadovat tak, že krátkodobě modifikují své stávající portfolio na kombinaci dvou pohonů, aby maximálně snížili náklady na emisní pokuty. Z dlouhodobého hlediska se toto řešení nemusí jevit především z nákladového hlediska jako nejoptimálnější, a proto budou tyto technologie v budoucnu zcela nahrazeny plně elektrickým pohonem.

Mezi hlavní výhody týkající se elektrického pohonu patří jeho energetická účinnost (Karle, 2020). Tyto typy pohonných jednotek účinně přeměňují elektrickou energii na energii mechanickou. V pracovní oblasti jako celek vykazují účinnost téměř 90 %, přičemž spalovací motor dosahuje účinnosti pouze 40 %. Dále mohou být elektrické motory během brzdění přepnuty do režimu generátoru tak, že vzniklá brzdná energie (rekuperace) může být využita k dobíjení akumulátoru (tzv. rekuperace). Rekuperace společně s vysokou účinností pohonu přináší nižší spotřebu energie elektromobilu ve srovnání s konvenčními pohony, což vede k odpovídajícím nižším provozním nákladům. Elektrický pohon je navíc díky své relativně jednoduché konstrukci ve srovnání se spalovacím motorem do značné míry bezúdržbový a méně náchylný k opotřebení. Další výhodou každého elektrického pohonu je vysoký točivý moment od první otáčky.

V následující kapitole budou blíže představeny charakteristiky hlavních komponent elektrického pohonu, kterými jsou elektrický trakční motor, převodovka, měnič a bateriový systém.

1.1.2 Komponenty elektrického pohonu

Největší odlišností oproti konvenčnímu způsobu je vlastní **elektrický motor**. Elektromotor neboli trakční motor nahrazuje v elektromobilu spalovací motor používaný v konvenčních vozidlech (Karle, 2020). Pro pohon vozidla musí poskytovat dostatečný točivý moment v širokém rozsahu otáček. Zároveň by měl disponovat vlastnostmi, jako je vysoká účinnost, vysoce citlivá a plynulá regulace otáček a točivého momentu, schopnost rekuperace nebo nižší hmotnosti. Požadavky na legalizaci elektromotoru pro provoz v motorových vozidlech musí splňovat obdobné požadavky na povětrnostní a zátěžové podmínky, jako je tomu u spalovacích motorů.

Elektromotor se skládá ze dvou hlavních komponent – ze statoru a rotoru. Výše uvedené požadavky mohou být realizovány stejnosměrným typem motoru nebo střídavým typem motoru. Stejnosměrné motory mají jednoduchou strukturu stavby, kdy mohou využívat stejnosměrný proud z akumulátoru napřímo a lze je snadno regulovat. Tento typ se využívá spíše v oblasti elektrických kol než v automobilovém odvětví, proto nebudou jeho technické vlastnosti detailněji uvedeny v této práci. Druhým konstrukčním řešením je střídavý typ motoru, který se dále dělí na:

- asynchronní (třífázový – posun napětí v rámci třech fází o 1/3 otáčky), který je v automobilovém odvětví nejčastěji zvoleným typem, především z pohledu ceny a jednoduché konstrukce. Rotor se za rotací magnetického pole zpožďuje,
- synchronní (jednofázový, napájený jednoduchým střídavým napětím např. ze zásuvky). Rotor se otáčí synchronně s rotací magnetického pole.

Z pohledu topologie řešení elektrického motoru je motor v případě hybridního pohonu ve vozidle umístěn sériově nebo paralelně, případně doplněn o plug-in nabíjecí slot. V případě čistě elektrické varianty je elektromotor umístěn v rámci integrovaného převodovkového systému vozidla, napřímo nebo s individuálním pohonem jednotlivých kol (tedy více elektromotorů na jednom vozidle u každého kola).

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak efektivnost elektrického pohonu je díky vysokému točivému momentu vysoká. K nastavení rychlosti je zapotřebí pouze jednostupňový rychlostní redukční převod – díky těmto vlastnostem se běžná manuální převodovka a spojka stává zbytečným prvkem. Díky této skutečnosti spotřebitel již v základní verzi elektromobilu obdrží automatickou **převodovku**.

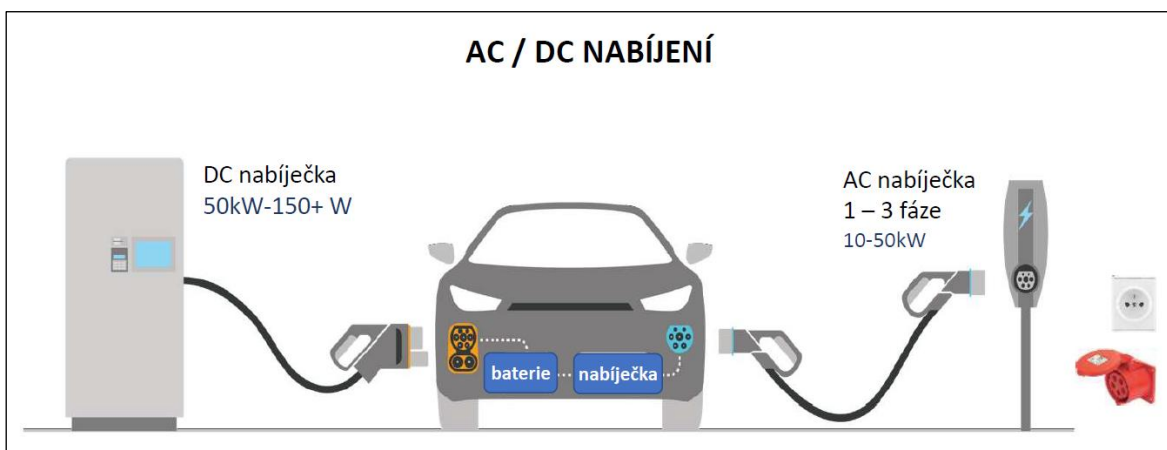
Dalším prvkem architektury elektropohonu je **měníč**, který slouží ke změně parametrů elektrické energie. Trakční měnič slouží k napájení a regulaci trakčního motoru podle zadaných požadavků, zároveň zastává funkce řízení celého elektrického pohonu (diagnostika, komunikace mezi sub-komponentami vozového celku a další funkce).

Poslední hlavní komponentou je **bateriový systém**, který se skládá ze sady baterií a systému dobíjení. V dnešních elektromobilech jsou nejčastěji aplikovány lithium-iontové akumulátory (dále jen Li-Ion), jelikož disponují dlouhou životností (převážně 100 000 km nebo přibližně 10 let, ve výjimečných případech i více kilometrů – dle E. Muska u Tesla Model 3 až 800 000 km) (Horčík, 2019), jsou bezúdržbové a míra samovybití je velmi nízká. Nevýhodami těchto typů baterií je jejich pořizovací cena a postupná degradace nominální kapacity, které budou detailněji představeny v kapitole ekonomických aspektů.

Každý výrobce udává nominální dojezd vozidla (výpočet dle laboratorních přístupů podle předpisů homologačních institucí dle WLTP cyklu, Evropské unie apod.), které

se, od již výše zmíněných kapacit liší. U základních elektromobilů je dojezd udáván od ca. 200 km až po nominální dojezd okolo 600 km. Dojezd elektromobilu není určen pouze kapacitou baterie. Nominální hodnota dojezdu se může od skutečného dojezdu lišit – pokles může být ovlivněn variabilní hmotností vozidla (např. počet osob), stylem jízdy a aktivitami během ní (provoz klimatizace a topení může vést k redukci dojezdu až o jednu třetinu). Jakmile je potřeba vozidlo, respektive akumulátor nabít, uživatel musí v rámci dostupné dobíjecí infrastruktury vyhledat dobíjecí stanici.

Vlastní **nabíjení baterií** probíhá buď interně (integrovaná nabíjecí jednotka) nebo externí dobíjecí stanicí. K využití nabíjecí jednotky je nutno napájet bateriový systém vhodným, standardizovaným dobíjecím kabelem. Baterie jsou nabíjeny stejnosměrným proudem a jejich konkrétní velikosti a typ proudu (stejnosměrný nebo střídavý proud) je rozlišen na dva hlavní typy – AC dobíjecí princip (Alternating Current) a DC dobíjecí princip (Direct Current) (Karle, 2020). Oba principy jsou představeny na následujícím obrázku (viz Obr. 3) a v další části výkladu.



Zdroj: Gaman, 2020

Obr. 3 Princip AC/DC nabíjení

AC dobíjení – typ interního dobíjení akumulátoru střídavým proudem za pomoci palubní nabíječky vozidla, která je součástí každého elektromobilu. Úlohou palubní nabíječky je konverze střídavého proudu ze sítě na stejnosměrný proud, který je vyslán do baterie automobilu. AC dobíjecí typ je aplikován především v domácím sektoru z důvodu nízkých pořizovacích nákladů (jednoduché Wallboxy, domácí zásuvky). Pro tento princip se využívají konektory typu Mennekes Type 2 nebo

TESLA standardní konektor (standardizované konektory jsou představeny na obrázku 4). Nevýhodou je delší doba dobíjecího cyklu, který u jednoduchých zásuvek dosahuje v rámci jednofázového proudu maximálně 16 A a u třífázového proudu 32 A. V případě rychlonabíjecího cyklu v rámci AC nabíjení lze docílit až dvojnásobných hodnot, tedy 32 A u jednofázového a 64 A u třífázového proudu. Celkem lze dosáhnout nabíjecího výkonu v rozsahu od 10 až 50 kW (nabíjení vozu trvá dle kapacity akumulátoru a výkonu nabíjení 5 a více hodin). Rychlonabíjecí cyklus vyžaduje vyšší pořizovací cenu za rychlodobíjecí zásuvku, avšak je schopna redukovat dobíjecí cyklus až o čtyřnásobek.

DC dobíjení – typ externího dobíjení akumulátoru stejnosměrným proudem za pomoci nabíjecí jednotky, která je umístěna uvnitř nabíjecí stanice (rychlodobíjecí stanice). Vozidlo je nabíjeno standardizovaným rozhraním dobíjecího kabelu (v Evropě využíváno standardů Combined Charging System CCS2, případně standardem TESLA). Po připojení bateriového systému na externí nabíjecí stanici dojde k deaktivaci interní nabíjecí jednotky, která je po dobu dobíjení nahrazena externí jednotkou. Jelikož DC nabíjecí princip dosahuje vyšších dobíjecích výkonů než AC princip, tak je využíván především ve veřejné dobíjecí infrastruktuře. Dobíjecí výkony začínají dle typu dobíjecí stanice od 50 kW až do 150 kW. Nabíjení vozu trvá dle kapacity akumulátoru a výkonu přibližně 1 hodinu, přičemž je s režimem konstantního proudu nejrychleji dosažena 80 % kapacita stavu nabití (např. po 30 minutách). Zbývajících 20 % jsou dosaženy dle parametrů baterie za obdobný časový úsek. Výrobci proto uvádí nominální hodnotu DC nabíjení pro hodnoty 80 % stavu nabití. Na některých místech jsou instalovány dobíjecí stanice, které jsou schopny dosáhnout vyšších nabíjecích výkonů, a to až hodnoty do 350 kW, kdy doba dobíjení trvá 20-40 minut. Lze očekávat, že s růstem prodeje elektromobilů se tento trend rozšíří. Nevýhodou DC principu nabíjení jsou vysoké pořizovací náklady na nabíjecí stanici.

Typ dobíjení	Severní Amerika	Japonsko	Evropa a zbytek světa	Čína	Všechny trhy
AC	 J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdeMO	 CCS2	 GB/T	

Zdroj: Enel X, 2019

Obr. 4 Standardizace nabíjecích systémů

Na závěr této kapitoly je nutno zmínit tématiku bezpečnosti během procesu nabíjení. Jelikož je během nabíjení elektromobilu využito velmi vysokých hodnot nabíjecích proudů a k tomu odpovídající vysoké napětí, je zapotřebí, aby byl dodržen bezpečnostní nabíjecí koncept (Volkswagen Group, 2020). Jedná se o vybavení dobíjecí stanice ochranou proti přepětí, zabezpečení vysokonapěťového systému vozidla apod. Každý prodejce, jako je například automobilový výrobce Volkswagen AG, který v současnosti prodává široké portfolio elektromobilů s kombinovaným nebo plnohodnotným elektrickým pohonem, je povinen zákazníkovi sdělit informace týkající se bezpečnosti obsluhy vozidla během prodeje nového vozidla, případně i online instrukce, jak bezpečně k elektromobilu přistupovat (vhodné pro pole AfterSales).

1.2 Ekonomické aspekty elektromobilu

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňuje nákupní rozhodování spotřebitele pro elektromobil, jsou ekonomické aspekty. Tyto aspekty lze rozdělit do dvou hlavních skupin, kterými jsou náklady na pořízení nového elektromobilu a náklady na provoz a údržbu vozu (Gaman, 2020).

Pořizovací cenu elektromobilu je nutno zohlednit pouze v určitém časovém období. V současné době má plně elektrický automobil v okamžiku pořízení stále vyšší pořizovací cenu (za předpokladu stejného vozového segmentu v konvenčním provedení), a to včetně veřejných státních podpor. Jak již bylo vysvětleno v rámci kapitoly týkající se hlavních komponent elektromobilu, největším nositelem nákladů je bateriový systém vozu. Cena baterie je určena především její kapacitou, která se

uvádí v kilowatthodinách (kWh) - tato hodnota určuje dojezd a úroveň výkonu elektromotoru.

Zatímco základní části pohonu mají téměř shodné náklady ve srovnání s konvenčním motorem, tak Li-Ionový bateriový systém je největším nositelem vícenákladů elektromobilu. Podle Shanklemana (2017) tvoří cena akumulátorů přibližně 30-50 % pořizovací ceny bateriového automobilu. Jeho prognóza týkající se poklesu cen baterií ukazuje, že ceny meziročně klesají o více jak 10 %. Snížení nákladů akumulátorů se dosud využívá jen u masových elektromobilů, jako je například u modelu Škoda CITIGO^e iV, kdy primárním cílem produktu je cenově dostupný plně elektrický elektromobil. Zajímavou ukázkou je výpočet ceny baterií u tohoto modelu (stav prodejní ceny pro zákazníka ze srpna 2020 je 512 200,- Kč). (ŠKODA AUTO a.s., 2020), kdy baterie má kapacitu o velikosti 36,8 kWh. Při ceně ca. 190 USD za 1 kWh by byla cena samotného bateriového celku 7.000 USD, což je přibližně 154 000 Kč (kurz 22 Kč/USD). Samotná cena baterie tak tvoří 30 % celkové ceny vozidla. U kategorie vozů, která se primárně zaměřuje na delší distanci dojezdu, se meziroční úspory pořizovacích cen baterií aplikují do zvýšení jejich kapacit, díky kterým je dosažen vyšší dojezd.

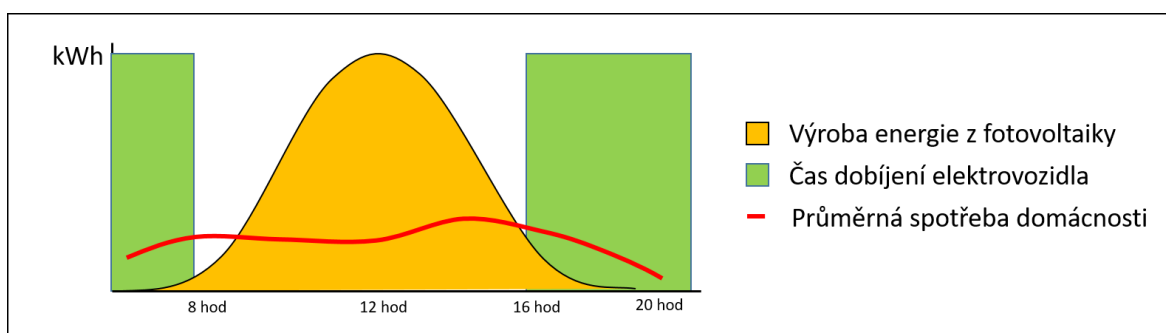
Jakmile se potenciální zákazník začne zabývat koupí elektromobilu, neobejde se bez otázky, jak se meziročně budou pohybovat **provozní náklady**. Provozní náklady zahrnují spotřebu vozu (v kWh / 100 km) a náklady na dobíjení akumulátorů (Kč / kWh), životnost jednotlivých komponent a tím spojené plánované nebo dokonce i neplánované servisní návštěvy (Gaman, 2020).

Spotřeba elektromobilu závisí na mnoha faktorech, jako je styl jízdy, hmotnost vozidla, provozní teplota atd. Průměrná spotřeba u vozu střední třídy je přibližně 16 kWh / 100 km, u vozu vyšších tříd a SUV je hodnota průměrně 20 kWh / 100 km (Wieler, J., 2020).

Průměrná cena domácího nabíjení se pohybuje přibližně na hodnotě 4,80 Kč bez speciálních tarifů od distributorů (ČEZ, E.ON, PRE), tarifní cena zahrnuje zároveň levnější režim, který je zpravidla nastaven jednou za den po dobu 8 hodin (zpravidla v nočních hodinách). Tím lze dosáhnout až 50 % úspory, tedy 2,40 Kč za 1 kWh. Průměrná cena veřejného nabíjení je opět závislá na mnoha parametrech (Březinová, 2020). Řidič bez registrace zaplatí distributorovi elektrické energie za 1

kWh přibližně 9,- Kč za AC dobíjení a 11,- Kč za DC dobíjení. Ceny za veřejné dobíjení se po registraci výrazně sníží na hodnoty přibližně 3-4,- Kč za AC dobíjení a na 6,- Kč za DC dobíjení. Na závěr představení ceníku jednotlivých distributorů je nutno zmínit možnost předplatného balíku (paušál), díky kterému lze předplatit určité množství veřejné energie a dosáhnout dodatečného snížení ceny o 1 korunu.

Nejeden zájemce o elektromobil řeší otázku, zda je možné kombinovat tyto placené služby distributorů se systémem fotovoltaiky v rámci domácího nabíjení. Při detailním zamyšlení nad touto kombinací lze graficky znázornit, že se produktivita energie z fotovoltaického panelu neslučuje s převážným časem, kdy je vozidlo v domácím prostředí nutno dobíjet, tedy převážně přes noc. Slučitelnost představuje obrázek 5.



Zdroj: Gaman, 2020

Obr. 5 Slučitelnost fotovoltaiky a elektromobilu

Jak je z grafické ilustrace patrné, tak největší výdej energie dokáže fotovoltaika do akumulátoru předat v 12:00 hodin, což je v době, kdy se většina majitelů svých vozidel nachází mimo bydliště (v zaměstnání).

Z pohledu životnosti komponent odpadá řada dílů ze složitějšího konvenčního pohonu, jako jsou oleje, filtry, zapalovací svíčky nebo spojka a výfukový systém, které je nutné po určitých intervalech měnit v servisu. Díky rekuperačním možnostem se zároveň zvyšuje životnost brzdového systému včetně brzdové kapaliny. Díky tomu vzniká nejen finanční úspora, ale zároveň i časová úspora – díky elektromobilu lze očekávat snížení četnosti návštěv servisů a zároveň nemá povinnost podstupovat měření emisí. Nejčastějšími servisními úkony se stanou kontroly řízení, klimatizace, kol a pneumatik a dolévání kapaliny do ostřikovačů (Karle, 2020). Otázkou zůstává, jak vážným tématem je životnost integrovaného

akumulátoru. Jak ukazuje dlouhodobá studie společnosti Geotab z roku 2020, tak degradace kapacity baterií je velmi pomalá (Argue, 2020). V rámci flotily 6 300 elektromobilů vyrobených v roce 2015 docházelo v průměru ke ztrátě 2,3 % kapacity za jeden rok (záruka na ztrátu nominální kapacity až o 20 % ze strany výrobce). Dle studie bylo zároveň zjištěno, že největší vliv na stárnutí bateriového systému má především časté používání vysoce výkonných dobíjecích procesů (DC) nad 40 kW. Dalším výrazným vlivem jsou provozní teploty, kdy již při teplotách od 23 °C dochází k rychlejší degradaci kapacity baterie – to může mít za následek, že stav akumulátoru se může lišit od toho, v jakém regionu byl aktivně využíván, tedy zda pochází ze severní (např. Finsko, Švédsko) nebo jižní země, jako je například Španělsko nebo Itálie.

V rámci pořizovacích a provozních nákladů v oblasti nastartování nové éry elektromobility hrají významnou roli jednotlivé **státní a veřejné podpory**. Ve vybraných státech je na nákup a provoz BEV a některých hybridních modelů poskytnuta finanční i nefinanční podpora (European Automobile Manufacturers Association, 2020). V pořizovací fázi se jedná o finanční příspěvek v podobě pevně stanovené částky nebo v podobě procentuálního podílu z pořizovací ceny. V současné době je tato „prémie“ v rámci České republiky vyplacena pouze firemním zákazníkům, avšak je nutno splnit několik podmínek, přičemž nelze pořídit elektromobil z levnější kategorie (podmínkou je vyplacení minimálně 20 % příspěvku z celkové pořizovací ceny, avšak minimální výše dotace je 250 000,-). Soukromá osoba musí výši pořizovací ceny hradit v plné výši (Hamalčíková, 2019). V sousední zemi Německo jsou prodejní akce podpořeny nejen ze strany státu, který přispívá všem zákazníkům na koupi nového vozu dotací ve výši 6 000 EUR, ale i ze strany výrobce slevou ve výši 3 000 EUR (omezení na nákup elektromobilu do maximální výše 40 000 EUR). Výše dotace je v tomto případě omezena do 31. 12. 2021 (Srb, 2020). Během provozní fáze je všem majitelům elektromobilu odpuštěna silniční daň (daňové zvýhodnění, platby mýtného poplatku) (ŠKODA Storyboard, 2019). Mezi nefinanční způsoby zvýhodnění je v některých zemích majitelům elektromobilů nabídnuta možnost využití dodatečného jízdního pruhu. Jak je patrné z výše uvedených informací, tak státní podpory každého státu jsou řízeny odlišně. Intenzita státní podpory se projevuje na počtu registrovaných

elektromobilů, které budou blíže představeny v rámci kapitoly týkající se aktuální situace elektromobilového trhu v roce 2020.

Po seznámení čtenáře s ekonomickými aspekty elektromobility je představen výsledek dlouhodobého testu aktivního uživatele elektromobilu, který shrnuje a vyhodnocuje celkové srovnání provozních nákladů mezi modelem VW Golf sedmé generace se spalovacím motorem 1.5 TSI EVO 6G s výkonem 96 kW a jeho elektrické verze e-Golf s výkonem 100 kW. Kompletní srovnání dle skutečně získaných výsledků z vlastní praxe představuje obrázek 6. Tato analýza nezohledňuje případný domácí wallbox, který společnost ČEZ nabízí dle výkonu od 16 000,- Kč do 40 000,- (stav červenec 2020).

	Pořizovací cena (CZK)	Nájezd	Pohonné hmoty				Servis	Daň (dálniční)	Rozdíly nákladů (CZK)	
			Spotřeba / 100km	Prům. cena paliva / l, kWh	Cena paliva / 100 km	Cena paliva / rok			Počet / rok	Pořizovací cena
eGolf	940.000,-	20.000 km	14,1 kWh*	3,7 / kWh	0,52	10.434	1.000	0	+184.000	-25.066
Golf 1.5 TSI	756.000,-	20.000 km	5 l	30 / l	1,5	30.000	5.000	1500		

* Při kombinovaném dobíjení vozidla 50% domácí nabíjení, 50% veřejné nabíjení

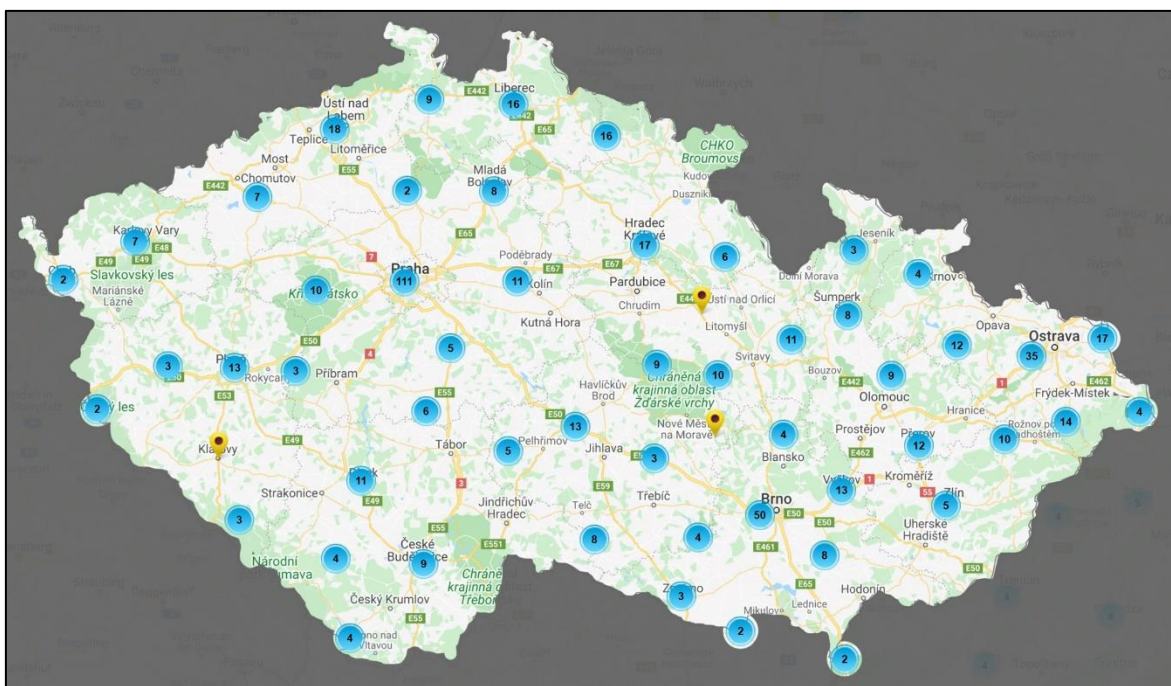
Zdroj: Gaman, 2020

Obr. 6 Nákladové srovnání elektromobilu a spalovacího motoru

Po analýze přehledu je nutno zmínit ještě jeden důležitý faktor, kterým je návratnost vložených finančních prostředků. V tomto modelu je návratnost koupě a provozu elektromobilu odhadována po 7 letech a 4 měsících. V případě koupě domácího wallboxu je nutno jej též započítat do návratnosti investic, čímž by se návratnost prodloužila přibližně o jeden další rok dle zvoleného modelu. Při zohlednění měnící se proměnných, jako je zvyšování cen pohonných hmot, systém dálničních poplatků a cen servisních úkonů se návratnost investice může z dlouhodobého hlediska stát kratší. S ohledem na četné používání rychlonabíjecích stanic nad 40 kW, které dle Gamana (2020) způsobí nejvyšší rychlost degradace kapacity akumulátoru vozidla, lze očekávat, že fleetová vozidla budou mít nižší zůstatkovou hodnotu, než vozidla ze soukromého sektoru (za předpokladu, že se vozidla budou dobíjet primárně v AC dobíjecích wallboxech).

Poslední částí kapitoly týkající se ekonomických aspektů, která zároveň přesahuje částečně do technických aspektů, je **infrastruktura elektromobilů**. Jedná se o soustavu sítě nabíjecích stanic. Jak již bylo představeno v předchozích kapitolách,

v současné době existují různé typy dobíjecích systémů – od soukromých wallboxů až po veřejné rychlodobíjecí a vysokovýkonné rychlodobíjecí stanice. Aktuálně je z pohledu zákazníka právě téma dobíjecí infrastruktury vnímáno jako jeden z největších nevýhod elektromobility, především z důvodu vlastnictví stanice a hustoty veřejného zasíťování. Na obrázku 7 je představena současná situace všech veřejných dobíjecích stanic v České republice (stav 29. 08. 2020), která v současné době čítá přibližně 450 veřejných dobíjecích stanic, přičemž je nejrozšířenější dobíjecí rychlostí výkon 50 kW (v rámci DC).



Zdroj: EVMAPA, 2020

Obr. 7 Mapa dobíjecích stanic v České republice

Z mapy lze vyčíst, že zasíťování dobíjecích stanic je umístěno především ve vysoce frekventovaných oblastech. Dle Ing. Tomáše Chmelíka, Ph.D. (2020), vedoucí divize elektromobility ve společnosti ČEZ, je hlavním přáním zákazníka pokrýt dobíjecí síť i v nízko frekventovaných oblastech, avšak jen pro nutnost, kdyby vozidlu náhodou v tomto místě docházela kapacita akumulátoru. Problém je ten, že s instalací a údržbou dobíjecí stanice jsou též spojeny pořizovací a údržbové náklady. Síť infrastruktury se s ohledem na potenciální růst prodeje elektromobilů bude muset rozšiřovat tak, aby byl dodržen doporučený poměr veřejných dobíjecích

stanic v poměru 1:10, kdy na 10 elektromobilů spadá právě 1 nabíjecí stanice, ideálně v provedení DC.

Nabíjení elektromobilu, v případě veřejného nabíjení, je možné rozdělit do 3 skupin (Gaman, 2020):

- parkovací nabíjení (P+R) – spojeno s účelem vyřízení delších nákupů, návštěva kulturních zařízení nebo pracovních schůzek, které mohou trvat 2-4 hodiny,
- komerční zastávka (oportunitní nabíjení) – vyřízení rychlých nákupů, návštěva gastronomického zařízení, přičemž doba pro využití nabíjení lze odhadovat na 45-60 minut,
- rychlé nabíjení (hubové nabíjení) – nutnost nabíjení z důvodu absolvování delších cest, které překročí standardní dojezd vozidla (cestování), zpravidla v rámci bezpečnostních přestávek v rámci 20-30 minut.

Veškeré zbývající dobíjecí situace se budou odehrávat v rámci domácího sektoru (domácí wallbox). Gaman dále uvádí, že odhadovaný počet dobíjení v domácím prostředí se pohybuje v rámci 50 % (dobíjení přes noc), 20 % dobíjení probíhají na pracovišti (situace P+R), 25 % spadá na dobíjecí veřejné dobíjecí stanice spojeny s komerční zastávkou a zbývajících 5 % je využito v rámci rychlonabíjecích hubů.

Dodavatelé elektrické energie, jako je například společnost ČEZ a EON podporují v současné době svoji efektivní nabíjecí strukturu tak, že uživatel elektromobilu využije mapu dostupných stanic v rámci mobilní aplikace k plánování tras (Chmelík, 2020). Distributor elektrické energie Innogy aktuálně pracuje na konceptech budoucnosti rozšířené o schopnosti mobilních systémů, jako je například integrace rezervačních slotů na konkrétní typ požadované dobíjecí stanice bez ohledu na provozovatele stanice zohledňující jednu platební metodu napříč zeměmi.

Poslední zajímavostí je snaha automobilových výrobců o zajištění dostatečné pokrytí infrastruktury. Výrobci Audi, Mercedes-Benz, BMW, VW a Ford založili firmu Ionity, která zajišťuje plnohodnotné zprovoznění tzv. High Power Charging (dále jen HPC) neboli vysokovýkonného dobíjení (Wieler J., 2020). HPC je důležité v případě, že uživatel chce nabíjet baterii vozidla, která disponuje 50 kWh a více, v akceptovatelném čase.

1.3 Ekologické aspekty elektromobilu

Elektrický pohon je bezemisní a během jízdy elektrický automobil neemituje žádné významné znečišťující látky do ovzduší. Tato čistá elektrická vozidla jsou v souladu s přísnými emisními normami právních předpisů California Air Resources Board (dále jen CARB) amerického státu Kalifornie klasifikována jako „Zero Emission Vehicle“ (dále jen ZEV). V rámci Evropské Unie elektrická vozidla nepřispívají emisní zátěži v rámci celé flotily automobilového výrobce. Tyto nulové emise však platí pouze při lokálním pohledu (Hromádko, 2012).

Elektromobil na první pohled během svého provozu neprodukuje žádné přímé emise. V optimálním případě, pokud je pro nabíjení využita pouze regenerativně vytvořená energie, tak by tomu skutečně tak bylo. Avšak navrácená energie z rekuperace nedokáže v současné době pokrýt kompletní nabití akumulátoru, a proto je zapotřebí vždy větší množství energie získat z externího zdroje. Výrobou této externí energie vznikají externí emisní hodnoty, které se do tvorby emisních hodnot vozidla během celého životního cyklu započítávají.

1.3.1 Well to Wheel

Well-to-Wheel (dále jen WTW) analýza slouží k porovnání množství vyprodukovaných emisí skleníkových plynů přepočtených na produkci oxidu uhličitého CO₂ v g/km a energetickou náročnost v MJ/100 km pro jednotlivé druhy paliv dle jízdního cyklu NEDC (cyklus WTW není součástí cyklu WLTP). Tato analýza je složena ze dvou dílčích částí, kterými jsou Well-to-Tank (dále jen WTT) a Tank-to-Wheel (dále jen TTW).

1.3.2 Well to Tank

Analýza WTT je zaměřena na produkci skleníkových plynů a energetickou náročnost pro tu část životního cyklu, která začíná získáním paliva včetně jeho výroby až po dokončení části přepravy do nádrže elektromobilu (tedy do baterie). Zahrnuje těžbu surovin potřebné na výrobu paliva, logistické a distribuční cesty do čerpacích stanic nebo případných dalších distribučních míst.

1.3.3 Tank to Wheel

Analýza TTW se zaměřuje na fázi produkce skleníkových plynů a energetickou náročnost spotřebováním paliva ve vozidle během provozu. Tato část analýzy je

stěžejní z pohledu elektromobility z toho důvodu, že se koncentruje na účinnost jednotlivých typů pohonů. Jak již bylo zmíněno, rozdíl v účinnosti mezi elektrickým a konvenčním pohonem se pohybuje zhruba na úrovni 50 %.

Ve srovnání s konvenčním motorem je v kabině elektromobilu dosažena velmi nízká hluchnost i během vyšších rychlostí, která zároveň vede ke zlepšení kvality života obyvatel a ostatních účastníků silničního provozu uvnitř měst. V městských oblastech s převládajícími nízkými rychlostmi může nízká úroveň hluchnosti dokonce vést k tomu, že elektromobil nebude včas rozpoznán chodcem nebo cyklistou. Z tohoto důvodu budou muset od července 2021 všechny nově registrované elektromobily vydávat varovný signál, která musí být aktivní až do rychlosti 20 km/h. Tento systém se nazývá „Acoustic Vehicle Alerting System“ (dále jen AVAS).

V závěru této kapitoly týkající se ekologických aspektů je nutno zmínit skutečnost, že z důvodu eliminace komponent, které se integrují do sestavy konvenčních automobilů, odpadá velká řada servisních úkonů. Mezi tyto servisované díly například patří katalyzátor, benzínové pumpy, nádrže na olej a dalších. Zároveň lze do výčtu zmínit spotřební materiál, jako jsou oleje. Pokud se dlouhodobě zredukuje výroba, distribuce a likvidace výše uvedených dílů, tak lze očekávat menší zátěž na životní prostředí. Otázkou zůstává, jaký dopad na životní prostředí bude mít likvidace, respektive recyklace trakčních baterií, jakmile budou vyřazeny z provozu.

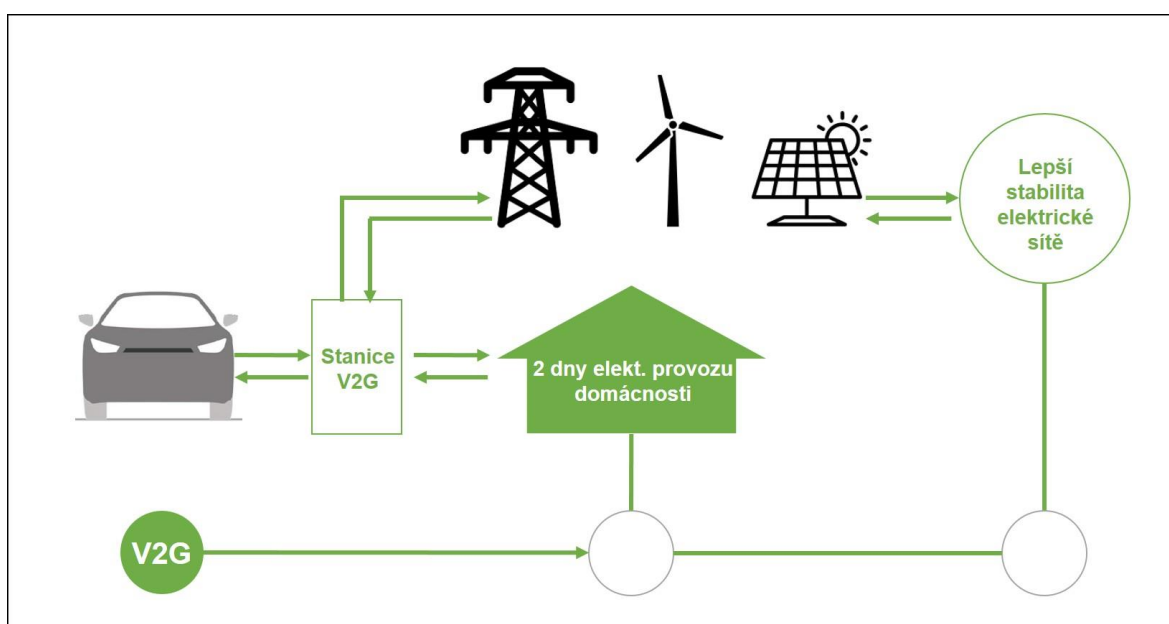
1.4 Budoucnost obchodních modelů

Jak bylo zmíněno ve výše uvedeném výkladu, elektromobilita má vliv nejen na automobilové výrobce včetně divize After-Sales, na dodavatele elektrické energie nebo zákaznické sítě. Tento trend má dopady na další dodavatelské řetězce nebo nové způsoby myšlení v rámci technologií a poskytování paketovaných služeb.

Velký potenciál z pohledu výzkumných a vývojových oblastí má divize elektrokomponent, v rámci, které se zabývají specializované firmy vývojem jednotlivých součástí nebo celým systémem, jako je právě bateriový systém (Gaman, 2020). Díky těmto technologickým pokrokům lze v budoucnosti aplikovat stále efektivnější technologie pro optimalizaci parametrů dnes známých nedostatků elektromobilů. Jednou z oblastí je vývoj nových materiálů, které mohou efektivněji pracovat v různých provozních podmínkách (optimalizace tepelně vodivostních materiálů, izolační materiály apod.), zároveň i aplikace lehčích materiálů během stavby

karoserie vozidla, díky kterým lze dosáhnout dodatečných ujetých kilometrů na jedno nabití. Logistické služby zahrnující zároveň výrobní procesy zkoumají potřeby jejich zákazníků především z pohledu dopravy, skladování a likvidace lithiových baterií.

Kromě specializovaných inovačních firem se i samotní výrobci automobilů zabývají v době transformace o modifikaci jejich obchodních modelů. Například automobilový výrobce Nissan testuje v rámci jejich programu „Nissan Intelligent Mobility“ systém inteligentní infrastruktury, tzv. Vehicle to Grid (dále jen V2G). Jedná se o koncept, kdy nevyužitá elektrická vozidla je připojeno na domácí nabíjecí síť a během doby mimo provoz lze zbývající kapacitu akumulátoru využít na napájení domácnosti (dle odhadů Nissan lze průměrnou domácnost napájet až 2 dny) nebo v rámci cenových zvýhodnění dodavatelského tarifu část nevyužitou elektřiny prodat zpět distributorovi. V době levnějších tarifů se poté vůz začne znovu nabíjet. Principiální znázornění V2G je představeno na následujícím snímku (viz Obr. 8).



Zdroj: Nissan, 2020

Obr. 8 Technologie Nissan Vehicle to Grid

Dalším novým konceptem obchodního modelu v oblasti dodavatelů služeb může být paketování dnes známých služeb. Jedním z příkladů může být návštěva kulturního zařízení (například kino), kdy si zákazník přes internet zakoupí paketovanou službu

zohledňující vstupenku do kina a předem určené parkovací místo s přístupem na dobíjecí stanici po dobu návštěvy zařízení (Chmelík, 2020).

Jak lze pozorovat, elektromobilita přináší spoustu nových příležitostí, kde mohou být aplikovány zcela nové přístupy a změny chování výrobního a zákaznického sektoru. Vývoj elektromobility je poháněn několika navzájem provázanými skutečnostmi (environmentální pohled, způsoby pobídek, disponibilní technologie, rozšíření nabídky elektromobilů, a především růst zájmu ze strany uživatelů). Na druhou stranu mohou právě tyto skutečnosti být vnímány jako zdroje nejistoty z dlouhodobého hlediska – například, zda regulace budou sloužit pouze pro nastartování nového trhu nebo zda elektromobilita zůstane obecně regulovaným trhem. Dalším příkladem může být rychlost překonání, respektive stárnutí technologií infrastruktury, nebo zda zájem zákazníků o elektromobily skutečně bude odpovídat predikcím.

2 Rozhodování a rozhodovací proces

V každodenním životě se s procesem rozhodování setkává téměř každý jedinec, který na základě svých rozhodnutí volí, co si ráno dát ke snídani, jak se obléknout nebo jakou cestou se vydá do práce. Jedná se o typy rozhodování, které jsou operativní a nemusí mít v krátkém období v případě nesprávné volby závažné následky (Eiselt, Sandblom, 2012). V oblasti elektromobility se již před transformačním procesem ze spalovacích motorů na elektrické pohony museli uskutečnit vážná strategická rozhodnutí, které s sebou nesou jistou míru rizika do budoucnosti a v případě nesprávné volby mohou vést až k existenčním dopadům daného výrobce. Na začátku této éry stál management před řadou výzev, jako je správné načasování uvedení prvního elektromobilu na trh, řízení portfolia včetně transformace navázaných dodavatelských řetězců nebo finanční a investiční rozhodnutí, jak nabídnout konečnému zákazníkovi nejvhodnější produkt, za který bude ochoten zaplatit.

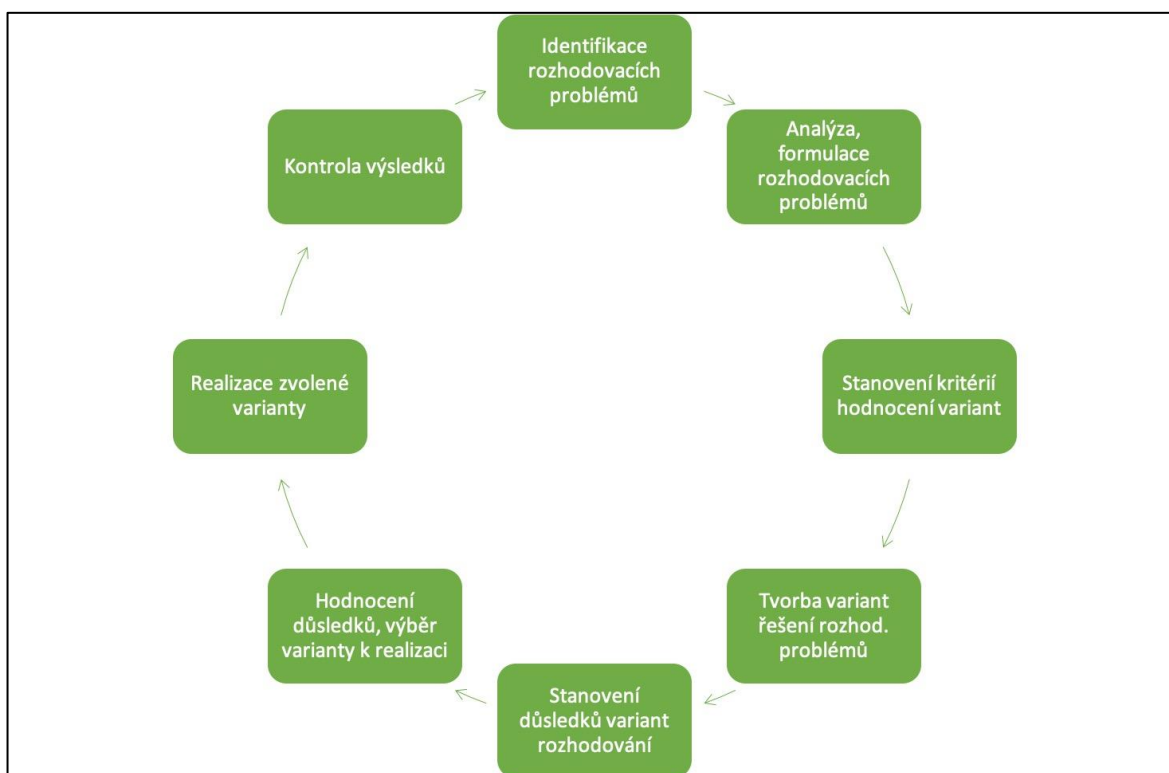
Dříve, než bude detailněji představen rozhodovací proces, je nutno blíže představit důležité pojmy, které jsou s vlastním procesem spojeny (Fábry, 2011). Úvodním pojmem je **model**, který reprezentuje reálný systém, který slouží pro efektivnější a jednodušší pochopení reálných vazeb jednotlivých činností systému. Jinými slovy se jedná o transformaci zjednodušené reality, která zohledňuje pouze nejdůležitější ukazatele (nutné vztahy, určité vlastnosti, výtah preferované oblasti systému určena pro daný účel) - pro účel zhotovení této práce budou charakterizovány pouze rozhodovací modely. Dalším pojmem je **rozhodování**, přičemž se jedná o proces výběru právě jedné neoptimálnější varianty z množiny variant zohledňující předem stanovená kritéria za účelem dosažení stanoveného jednoho nebo více cílů. Každý proces rozhodování obsahuje **řešitele** (neboli analytika), který předkládá rozhodovateli dosažené doporučení pro rozhodování. **Rozhodovatel** na základě těchto doporučení provádí na základě rozhodovacího modelu závěrečné rozhodnutí. Každý proces rozhodování vychází z předem stanoveného cíle. Tento **cíl** je hlavním důvodem a motivací, proč rozhodovací model sestavit. Každý cíl rozhodování musí splňovat standard dle metodiky „S.M.A.R.T.“, tedy musí být specifický, měřitelný, dosažitelný, realistický a musí být sledován v čase. Dalším termínem je **varianta**, která reprezentuje možný výsledek rozhodovacího modelu (množina variant musí obsahovat nejméně dva prvky). Tyto varianty jsou mezi

sebou porovnávají a hodnoceny pomocí jejich **kritérií**. Pokud se v modelu posuzuje více kritérií, tak se jedná o multikriteriální (vícekriteriální) rozhodování.

2.1 Etapy rozhodovacího procesu

Fotr a Švecová definují rozhodovací proces jako „procesy řešení rozhodovacích problémů, tj. problémů s více (alespoň dvěma) variantami řešení“ (Fotr, Švecová, 2016, str. 20). V případě, že by existovala pouze jediná varianta řešení, nejednalo by se o rozhodovací proces, avšak je možno jej doplnit do tzv. jednovariantního hodnocení etalonovou variantou, se kterou by se daná varianta rozhodování posuzovala (porovnání vzorků, aplikováno v oblasti managementu kvality).

Rozhodovací proces lze rozdělit pomocí více způsobu do jednotlivých etap. Následující obrázek 9 představuje rozdělení procesu do celkem osmi etap.



Zdroj: Fotr, Švecová (2016)

Obr. 9 Etapy rozhodovacího procesu

První etapou je identifikace rozhodovacího problému (dále jen RP). V rámci této fáze dochází k získávání informací a jejich analýze z různých zdrojů. Výsledkem je identifikace určité situace, kterou je nutno řešit. V následující fázi, fázi analýzy a formulace RP, dochází k hlubšímu poznání problému a jsou definovány základní

prvky a podstaty určující vznik problému a cíle k jeho řešení. V závěru této etapy dochází k formulaci rozhodovacího problému. Následující fáze se zabývají oblastí vícekritériálního rozhodování:

- stanovení vah kritérií – sestavení kritérií, dle kterých jsou posuzovány a hodnoceny navržené varianty pro řešení RP,
- tvorba variant řešení – nalezení a formulace směrů činností tak, že bude zajištěno dosažení cílů řešení RP,
- stanovení důsledků variant – zjištění odhadovaných dopadů na základě předchozích zkušeností pro jednotlivé varianty rozhodování (z hlediska souboru kritérií hodnocení),
- hodnocení důsledků variant – určení min/ max/ uspořádání variant/ nejvýhodnější varianta – na základě uspořádání probíhá výběr varianty, která se bude realizovat.

Předposlední etapou je realizace zvolené varianty, v rámci, které již dochází k implementaci rozhodnutí do reálného systému (např. zahájení výstavby budovy, start aktivit na vývojovém projektu atd.). Na závěr cyklu probíhá vyhodnocení dosažených výsledků (odchylka simulací od reality). V případě potřeby další optimalizace nedostatečného výsledku rozhodování je nutno cyklus opakovat.

V podstatě lze tyto výše uvedené etapy rozdělit do třech hlavních fází – **přípravná fáze** (1. etapa, která se částečně překrývá s druhou etapou), **realizační fáze** (počínaje 2. etapou do 7. etapy) a **vyhodnocovací fáze** (etapa 8).

V rámci analýzy dalších literárních zdrojů lze spatřit obdobné přístupy k rozhodovacímu procesu. Štědroň a kolektiv (2015) rozdělují proces ještě detailněji, a to na 12 etap – analýza rozhodovací situace, stanovení cílů a jejich dekompozic, určení kritérií pro rozhodování, stanovení preferencí (tedy vah kritérií), identifikace možných rozhodnutí, sběr dat a jejich analýza o možném rozhodnutí, volba hodnotící metody, vlastní výpočtová fáze, analýza výsledků, rozhodnutí a jeho implementace a závěrečné hodnocení rozhodnutí.

2.2 Prvky rozhodovacího procesu

Fotr a Švecová dělí rozhodovací proces na pět základních prvků, mezi které patří cíl rozhodování, kritéria rozhodování, subjekt a objekt rozhodování, varianty

rozhodování vč. jejich důsledků a stavů světa (Fotr, Švecová, 2016). Pod termínem **cíle rozhodování** se rozumí takový stav, kterého se má dosáhnout řešením rozhodovacího problému. Tento cíl může být dekomponován do dílčích cílů, které se navzájem doplňují nebo mohou být v konfliktu (jedna úroveň cíle snižuje úroveň druhého cíle). Lze je rozdělit na přímá a nepřímá kritéria, přičemž pomocí prvního naplnění je měřeno naplnění cíle dle stupnice naplnění a při nepřímém přístupu naplnění cíle dochází ke zprostředkovanému dosažení informace s využitím vhodnějších veličin. Dále mohou být kritéria rozlišena na maximalizační a minimalizační. S ohledem na elektromobilitu lze jako maximalizační příklad uvést dojezd elektromobilu, které dokáže překonat na jedno plné nabití akumulátoru. Z minimalizačního pohledu lze pak uvést právě dobu nabití, kdy zákazník očekává, že doba potřebná na dobití akumulátoru bude co nejkratší. Z pohledu vyjádření a měření mohou být kritéria dále dělena na kvantitativní (číselné vyjádření) a kvalitativní (slovní vyjádření, obtížnější na měření). V rámci **kritérií rozhodování** jsou rozhodovatelem předem stanoveny hlediska, která slouží k posouzení vhodnosti jednotlivých variant během rozhodování s ohledem na plnění definovaných cílů rozhodovacího problému. Jako **subjekt rozhodování** se rozumí jedinec nebo skupina lidí, která je zodpovědná za volbu varianty, která se bude realizovat. V rámci těchto subjektů je nutno zohlednit mezi statutárním rozhodovatelem (tento subjekt disponuje pravomocí k volbě varianty, která se bude realizovat včetně zodpovědnosti za případné následky a účinky varianty) a skutečným rozhodovatelem (tento subjekt realizuje rozhodnutí). **Objektem rozhodování** se rozumí organizační jednotka, v rámci, které se problém formuloval a stanovil cíl jeho řešení a jehož se rozhodování týká (například výrobní program jednoho vozidla). S tímto objektem je úzce spojena **varianta rozhodování**, která je možným způsobem chování rozhodovatele v okamžiku, kdy má nastat řešení problému nebo splnění stanoveného cíle. Účinek rozhodnutí dále ukazuje na efektivnost daného rozhodnutí – jako např. bylo dosaženo očekávaného výsledku zvolené varianty. Posledním faktorem jsou **stavy světa** neboli rizikové situace, které lze pochopit jako budoucí vzájemně se vylučující situace, které po implementaci zvolené varianty mohou nastat a tím pádem mohou ovlivnit důsledek variant s ohledem na výše uvedená kritéria hodnocení.

Z výše uvedeného výkladu lze vyzorovat, že rozhodovací proces může být ovlivněn řadou faktorů, které konečné řešení mohou ovlivnit. Nejvýznamnějšími faktory jsou (Fotr, Švecová, 2016):

- charakter a závažnost rozhodovacího problému,
- podmínky pro rozhodování (míra rizika a jistoty, disponibilní čas pro rozhodnutí),
- osobnost rozhodovatele (přístup a styl rozhodování, předchozí zkušenosti a další vlastnosti).

Z výše uvedených prvků lze určit míru jistoty rozhodovacího problému. Rozhodování může proběhnout **za jistoty**, kdy jsou známy veškeré důsledky variant rozhodování. Rozhodovatel tak má k dispozici úplnou informaci o stavu světa. Pokud úplné informace nejsou k dispozici, tak se jedná o rozhodování **za rizika**. V tuto chvíli má rozhodovatel k dispozici možné budoucí stavy světa a zná pravděpodobnosti a důsledky variant pro tyto budoucí stavy. Pokud rozhodovateli nejsou známy ani pravděpodobnosti důsledků, s jakou dané stavy světa nastanou, tak se jedná o rozhodování **za nejistoty**.

Posledním aspektem rozhodovacího procesu je jeho složitost a algoritmizace. Problémy mohou být **dobře strukturované** (obsahují zejména kvantifikovatelné proměnné, varianty jsou hodnoceny dle jednoho kvantitativního kritéria) nebo **špatně strukturované** (varianty se hodnotí dle většího počtu kritérií, nelze řešit dle standardizovaného postupu).

3 Metody vícekriteriálního rozhodování

Vícekriteriální rozhodování neboli multikriteriální rozhodování (dále jen VKR) je disciplínou, která se zaměřuje na řešení rozhodovacích situací. V tomto případě se jedná o disciplínu, během které se provádí rozhodnutí pomocí více kritérií. Pokud by rozhodnutí bylo usneseno na základě jediného kritéria, tak se hovoří o tzv. monokriteriálním rozhodnutí, které může být jednodušší (tedy méně pracné a méně časově nákladné), avšak může zároveň dojít k zanedbání důležitých faktorů či aspektů, které může pro konečné rozhodnutí být velmi důležité. Jako příklad lze uvést faktor ekonomického charakteru, při kterém je stanoven finanční cíl na konci realizace určitého projektu. Číselné vyjádření finální hodnoty nemůže vyjádřit zkušenosti dodavatelů (silné a slabé stránky). Pokud projekt vyžaduje takové rozhodnutí, které nese v tomto případě cenový pohled a zároveň kvalitativní, technické a další aspekty, které nemohou být číselně vyjádřeny, tak je nutno aplikovat vybranou metodu VKR. Obzvlášť v situacích, kdy nesprávné rozhodnutí může vést ke špatně zvoleným strategickým cílům, které mají negativní dopady na podniky. Proto je obzvlášť důležité řídit se postupem vyhotovení rozhodovacího procesu, který byl uveden v předchozí kapitole.

3.1 Tvorba variant a výběr kritérií

Varianty řešení rozhodovacích problémů tvoří významnou bázi pro kvalitní rozhodnutí, proto je jejich tvorba významnou částí v procesu řešení rozhodovacích problémů (Fotr, Švecová, 2016). Kvalita definovaných variant ovlivňuje kvalitu celého řešení. S tím souvisí i kvantita zvolených variant v souboru. Na jednu stranu může velké množství nabízených variant usnadnit rozhodovateli nalézt takové řešení, které pro něj bude neoptimalnější. Na druhou stranu může velké množství vést k tomu, že například dvě nabízené varianty ve velkém výběrovém souboru si jsou tak blízké, že rozhodovatel může stát před výzvou, kdy se rozhoduje mezi příliš malými detaily a konečné rozhodnutí tak může být časově náročnější. Přístupů, jak varianty tvořit, je mnoho. Základním předpokladem je ten, zda je rozhodovateli známý soubor variant řešení problémů či nikoliv (příkladem je opakovaný problém, známý postup řešení). V případě, že jsou varianty známé, tak lze hovořit o rozhodování za jistoty.

Veškeré metody VKR jsou založeny na předpokladu různých faktorů významnosti jednotlivých kritérií. Různá významnost jednotlivých kritérií je vyjádřena jejich vahou. Čím důležitější kritérium je (určeno hodnotitelem nebo na základě dotazovaných), tím je váha kritéria vyšší. Součet normovaných vah všech kritérií v souboru je roven jedné.

Určení a **výběr kritérií** je důležitou součástí obecného postupu VKR, v rámci, kterého jednotlivá kritéria musí být zvolena co nejvhodněji. Tato kritéria jsou důležitým nástrojem pro měření, díky kterým je zjištěno, z kolika procent různá rozhodnutí odpovídají dílčím cílům. Tyto dílčí cíle musí mít přiděleno odpovídající kritérium pro zjištění jeho naplnění (viz prvky rozhodovacího procesu).

Během tvorby katalogu kritérií je dle Fotra a Švecové (2016) nutno zohlednit pět důležitých požadavků. Prvním z nich je požadavek na úplnost souboru kritérií. V případě nedokonalého souboru lze opomenout některé důsledky variant, což může vést ke zvolení méně vhodné varianty. Dalším požadavkem je srozumitelnost a jednoznačnost souboru kritérií. Pomocí přesného a jednoznačného popisu je kritérium možno lépe změřit. Dále je nutno, aby se jednotlivá kritéria navzájem nepřekrývala nebo v rámci souboru nedocházelo k duplikování kritérií. Jak již bylo zmíněno v předchozím výkladu, tak model je zjednodušeným obrazem reálného systému. Proto by v rámci rozhodovacího modelu měl být výčet kritérií minimální, nejnutnější rozsah (například pomocí sloučení dílčích kritérií do souhrnného kritéria). Posledním požadavkem je nezávislost kritérií – kritéria na sobě musí být vzájemně nezávislá, v případě existence závislých kritérií je nutno je modifikovat nebo odstranit.

Vhodným a přehledným nástrojem je tzv. strom hodnotících kritérií. Tento obsahuje ve výchozím stavu hlavní cíl, který je zároveň nultou úrovní stromu. V případě této práce se tak jedná o volbu neoptimalnějšího vozidla v dané kategorii. Nultá úroveň je dále rozdělena do dalších dílčích cílů, kterými jsou již zmíněné aspekty elektromobilů, tedy první úroveň stromu. Tyto aspekty jsou následně větveny do dalších dílčích úrovní stromů (1. úroveň), které jsou nositeli jednotlivých kritérií (například v rámci technických aspektů se může jednat o parametry nebo provoz vozidla). Pokud není dosaženo dostatečně podrobných úrovní, tak dochází k dalšímu větvení, v tomto případě 2. úroveň (v případě studie lze například

parametry vozidla dále větvit do podkategorií, jako je hmotnost vozidla, rozměry apod.).

3.2 Metody stanovení vah

Většina metod VKR požaduje **stanovení vah kritérií** jako vstupní hodnoty. Tyto hodnoty slouží k určení metody pro výpočet vah kritérií (Štědroň a kol., 2015). Pokud je možno preference číselně vyjádřit, tak lze aplikovat přímé metody stanovení vah kritérií či jejich modifikace (tzv. Metfesselovy alokace 100 bodů), dále bodovací metody nebo Saatyho metody, během které rozhodovatel odhaduje poměry vah z dvojic daných kritérií (napřímo nebo pomocí slovních popisů). Pokud preference kritérií nelze vyjádřit číselně, tak jsou aplikovány metody výpočtu normovaných vah kritérií z pořadí jejich důležitosti nebo metoda párového srovnání (tzv. Fullerova metoda).

Fotr a Švecová (2016) uvádí, že volba metody lze určit dle nutnosti znalosti dopadů jednotlivých variant. Pokud stanovení vah kritérií závisí na znalosti dopadů vah, tak se aplikuje kompenzační metoda pro stanovení vah kritérií. V případě, že znalost dopadů variant řešení je nezávislá, tak je možné aplikovat metody postupného rozvrhu vah, tedy metody přímého srovnání vah a metody založené na párovém srovnání významnosti stanovených kritérií (metoda párového srovnávání, Saatyho metoda).

Tato práce předpokládá, že znalost dopadů variant není vyžadována a že posuzování významnosti jednotlivých kritérií bude hodnoceno přímou metodou (tedy rozhodovatel je schopen pomocí vhodného uspořádání své vyjádření předat analytikovi v číselné podobě). Z tohoto důvodu bude nyní blíže představena metoda bodového hodnocení, díky které jsou stanoveny váhy kritérií.

Metoda určení vah pomocí bodové stupnice je založena na přiřazení určitého počtu bodů dle předem stanovené stupnice ke každému kritériu (např. od 1 do 6 bodů). Rozhodovatel pomocí tohoto bodování hodnotí význam každého kritéria dle jeho preferencí. Bodová stupnice je závislá na diferenci významnosti jednotlivých kritérií, přičemž je nutno vhodně rozvrhnout stupnici – například hodnotící stupnice, která bude šestibodová, má nižší rozlišovací schopnost než stupnice, která bude mít bodů dvacet. Rozhodovatel má tak možnost, rozdělit více bodů na jedno kritérium (například v rámci pěti kritérií aplikuje u dvou aspektů stejně vysokou

preferenci než u ostatních kategorií, které mohou mít o mnoho nižší úroveň preference).

Jakmile analytik obdrží kompletní bodové hodnocení všech kritérií, tak dochází k **uspořádání kritérií a určení vah kritérií** dle jejich důležitosti. Kritéria jsou seřazena sestupně dle důležitosti, respektive dle počtu získaných bodů z šetření. Tím je zajištěn tzv. přehled nenormovaných vah všech kritérií (suma bodů jednotlivých kritérií je roven celkovému součtu všech obdržených bodů). Posledním krokem je stanovení normovaných vah všech kritérií (počet bodů z pohledu bodového hodnocení vyděleno celkovým součtem počtů bodů, přičemž suma všech normovaných vah je rovna 1).

3.3 Metody vícekritériálního hodnocení variant

Metod, které lze aplikovat v rámci vícekritériálního hodnocení variant (dále jen VHV), je velké množství, přičemž nelze tvrdit, že právě jedna z metod je právě ta nejlepší či nejhorší. Volba aplikované metody je závislá na každé individuální situaci, avšak pro každou úlohu musí platit, že je správně chápáno řešení dané metody a že data vstupního souboru jsou správná (Jablonský, 2011). Proto je pro správnou volbu důležitá znalostní úroveň rozhodovatele, který nedokáže výsledek aplikované metody správně vyhodnotit z důvodu neporozumění nebo jiných důsledkových faktorů.

Fotr a Švecová (2016) dělí přístupy k vícekritériálnímu hodnocení variant, které vedou k převodu na bezrozměrné vyjádření, na tři základní skupiny – na vícekritériální funkci užitku za jistoty (přiřazování variant rozhodování užitekem, který je vyjádřen reálným číslem), na jednoduché metody stanovení hodnoty variant a na metody párového srovnání variant.

Štědroň a kol. (2015) dělí metody dle obtížnosti matematického výpočtu. Mezi metody s jednodušší výpočetní obtížností uvádí lexikografickou metodu, metodu váženého součtu (tzv. metoda WSA), metodu globálního kritéria, metodu vzdálenosti od fiktivní varianty (tzv. metoda TOPSIS) a metodu Analytic Hierarchy Process (tzv. metoda AHP). Do složitějších metod jsou Štědroňem a kol. uvedeny permutační metody, metody PROMETHEE, AGREPREF, metody třídy ELECTRA a metody GAIA, MAPPAC, PRAGMA, ORESTE a PRIAM. Pro výběr aplikované metody je nutno stanovit cíl rozhodnutí, které může být vyjádřeno právě jednou

nejvhodnější variantou nebo pomocí více vhodných řešení problému. Dalším klíčem k nalezení vhodné metody je konečná vypovídající informace dosaženého výsledku – zda je pro volbu rozhodnutí nutno znát jen pouhý grafický výstup nebo zda rozhodovatel preferuje úplný výčet výpočtů včetně získaných výsledků.

V rámci této práce budou zvoleny celkem dvě metody VKH, a to metoda váženého součtu a metoda vzdálenosti od fiktivní varianty. Cílem je zjistit, zda bude výsledek při aplikaci jednodušší metody v rámci výběru optimálního vozidla výrazně odlišný od přístupu TOPSIS, který je na zpracování náročnější, ale zároveň více objektivní. Pro úplnost výkladu budou nyní tyto dvě aplikované metody detailněji popsány.

3.3.1 Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu (dále jen WSA) vychází z principu maximalizace užitku rozhodovatele a je založena na konstrukci lineární funkce jeho užitku na stupnici od 0 do 1. Nejhorší varianta daného kritéria bude mít užitek 0, zatímco nejlepší varianta má užitek 1. U ostatních variant se bude užitek pohybovat mezi oběma krajními hodnotami (Fábry, 2011).

Při aplikaci metody WSA se nahrazují prvky y_{ij} vstupní kriteriální maticí hodnotami y'_{ij} , které představují užitek varianty X_i při hodnocení podle kritéria Y_j . Vztah (1), díky kterému lze získat hodnoty y'_{ij} pro maximalizační kritéria, je definován následovně:

$$y'_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}, \quad (1)$$

kdy D_j je nejnižší (nejhorší při maximalizaci) kriteriální hodnotou kritéria Y_j ; H_j je nejvyšší (nejlepší při maximalizaci) kriteriální hodnotou kritéria Y_j . Užitek y'_{ij} pro nejhorší kriteriální hodnotu $y_{ij} = D_j$ bude roven 0 a pro nejlepší kriteriální hodnotu $y_{ij} = H_j$ bude roven 1. V případě minimalizačního kritéria platí aplikace vztahu 2

$$y'_{ij} = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j}. \quad (2)$$

Celkový užitek varianty X_i je vypočten jako vážený součet dílčích užiteků podle jednotlivých kritérií podle následujícího vzorce (3):

$$u(X_i) = \sum_{j=1}^k v_j y'_{ij}, \quad (3)$$

Varianty lze uspořádat podle klesajících hodnot užítku $u(X_i)$, přičemž je varianta s nejvyšší hodnotou užítku považována za kompromisní neboli nejlepší možné řešení (Kampf, 2002).

3.3.2 Metoda vzdálenosti od fiktivní varianty

Druhou metodou je metoda vzdálenosti od fiktivní varianty (dále jen TOPSIS). Principem této metody je minimalizace vzdálenosti od ideální varianty. Jako ideální variantu lze charakterizovat právě takovou, při které všechny hodnoty kritérií dosahují nejlepších možných hodnot. Jak uvádí Korviny (2020), tak metoda TOPSIS poskytuje úplné uspořádání množiny všech variant, tj. je určena i pro výběr nejlepší varianty, přičemž požadovanými vstupními údaji jsou kritériální hodnoty pro jednotlivé varianty a váhy definovaných kritérií. Kritériální hodnoty jsou uspořádány v kritériální matici $Y = (y_{ij})$, kdy y_{ij} je hodnota i -té varianty hodnocené podle j -tého kritéria.

Postup vyhotovení se dělí na čtyři kroky. Prvním úkonem je konstrukce normalizované kritériální matice $R = (r_{ij})$ dle následujícího vztahu (4):

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (y_{ij})^2}}, \quad (4)$$

kdy r_{ij} je daným prvkem matice R a y_{ij} značí prvek i -té varianty dle j -tého kritéria.

V druhém kroku je vyjádřena vážená kritériální matice $W = (w_{ij})$ podle vzorce (5):

$$w_{ij} = v_j r_{ij}, \quad (5)$$

kdy w_{ij} je daným prvkem matice W ; v_j značí váhu kritéria a r_{ij} ozančuje daný prvek matice R . Dále je nutno vytvořit ideální variantu $H = (h_1, \dots, h_m)$, která tvoří nejlepší hodnoty variant dle jednotlivých kritérií a bazální variantu $D = (d_1, \dots, d_m)$, která reprezentuje nejhorší hodnocení podle všech kritérií.

V rámci třetího kroku jsou vypočteny vzdálenosti variant od ideální varianty (6) a bazální varianty (7), a to pomocí následujících vztahů:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2}, \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2}, \quad (7)$$

kdy d_i^+ značí vzdálenost od ideální varianty a d_i^- vzdálenost od bazické varianty a ostatních hodnot, které jsou totožné ve vztahu d_i^+ ; w_{ij} je daným prvkem matice W ; w_{ij} značí prvky matice W ; h_j označuje j -tou hodnotu matematického zápisu H a d_j označuje j -tou hodnotu matematického zápisu D .

V posledním kroku dochází ke zjištění ukazatelů vzdáleností všech variant od bazální varianty. Ukazatel je vypočítán ze vztahu (8):

$$c_{ij} = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad (8)$$

kdy c_{ij} značí vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty.

Výsledné hodnoty se nachází v intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, kdy hodnota 0 je přiřazena bazální variantě a hodnota 1 je přiřazena k ideální variantě. V závěru jsou hodnoty c_i seřazeny sestupně, kdy je varianta s nejvyšší hodnotou považována za kompromisní řešení.

3.4 Obsah formulace rozhodovacího problému

Na závěr kapitoly je nutno shrnout nejdůležitější poznatky, které jsou nutné pro formulaci rozhodovacího problému. Každá formulace RP musí obsahovat cíl zkoumání, v rámci této diplomové studie týkající se volby vhodného elektromobilu v kategorii SUV je nutno stanovit omezující podmínky – disponibilní vozidla pro výběr včetně definice klíčových kritérií pro rozhodování, stanovení rozhodovatele, analytika a respondentů; zvolená metoda pro odhad vah jednotlivých kategorií včetně metody rozhodování a struktura, resp. charakteristika rozhodovacího problému (míra jistoty, strukturovanost, kvalita vstupních zdrojů).

4 Výběr vhodného luxusního elektrického modelu SUV

Na základě skutečností a získaných znalostí z úvodní části práce budou tyto poznatky aplikovány v rámci praktického projektu z automobilového průmyslu. Hlavní motivací je identifikace optimálního řešení takové konfigurace automobilu, která bude zohledňovat aktuální trend segmentu SUV a zároveň bude navazovat na rostoucí trh, respektive zvyšující se poptávku po elektromobilitě.

V úvodu kapitoly bude definován hlavní cíl praktické části práce a veškeré dílčí kroky k jeho naplnění. V návaznosti na stanovený cíl bude sestaven sumarizační plán kompletního projektu. Projektový plán bude obsahovat veškeré nutné úkony, které jsou potřebné k dosažení hlavního a dílčích cílů. V závěru praktické části budou vyhodnoceny získané výsledky.

4.1 Cíle praktické části práce

Hlavním cílem projektu je **výběr vhodného luxusního elektrického vozidla ze segmentu SUV**.

Teoretická část projektu bude dále obsahovat dva dílčí cíle, díky kterým bude možné splnit hlavní cíl. Prvním dílčím cílem je **stanovení skupiny prémiových elektrických vozidel SUV** zahrnující popis jejich klíčových vlastností, výhod a nevýhod a analýzu prodejů za minulá období. Ke splnění tohoto dílčího cíle je nutno vymezit segment SUV v prostředí elektromobility. Druhým dílčím cílem je **stanovení vah pro vhodně zvolená hodnotící kritéria**. Hodnotící kritéria a jejich váhy budou získány na základě individuálních preferencí skupiny uživatelů vozidel ze segmentu prémiových SUV.

4.2 Projektový plán

Projektový plán bude rozdělen do třech fází – na přípravnou, realizační a vyhodnocovací fázi.

V rámci přípravné fáze bude nejprve formulován rozhodovací problém. Dále je nutno vyhotovit analýzu dostupných informací týkající se vozidel. Tím bude možné dosáhnout naplnění prvního dílčího cíle, kterým je výběr vhodných vozidel pro realizační část. V dalším kroku jsou stanoveny hodnotící kritéria. Pro zajištění informací ke stanovení vah od respondentů bude definován vhodný postup.

Druhou fází projektu je realizační část, jejímž cílem je stanovení vah hodnotících kritérií. Na základě těchto vah bude zahájena výpočtová část pomocí aplikace metod WSA a TOPSIS.

Poslední částí projektového plánu je vyhodnocovací fáze, v rámci, které budou vyhodnoceny a interpretovány získané výsledky. Tím budou zajištěny veškeré nutné vstupy pro zajištění odpovědi na hlavní cíl práce, čímž je volba vhodného elektromobilu ze segmentu prémiových SUV.

Sumarizace projektového plánu je shrnuta do tabulky 1.

Tab. 1 Plán projektu

Hlavní fáze projektu	Popis dílčích činností
Přípravná fáze	Formulace rozhodovacího problému
	Vymezení segmentu SUV (hlavní ukazatele, výhody/nevýhody, vývoj segmentu)
	Současná situace na trhu elektromobility
	Výběr skupiny prémiových elektrických vozidel SUV a jejich podrobná analýza
	Stanovení hodnotících kritérií
	Zajištění vstupních informací od respondentů
Realizační fáze	Vyhodnocení a stanovení vah hodnotících kritérií
	Aplikace a výpočet dle metody WSA
	Aplikace a výpočet dle metody TOPSIS
Vyhodnocovací fáze	Vyhodnocení a interpretace dosažených výsledků
	Výběr vhodného prémiového elektromobilu ze segmentu SUV

5 Přípravná fáze projektu

Dle projektového plánu bude v této kapitole vymezen segment SUV zohledňující současnou situaci elektromobility. Současně bude definován postup pro zajištění hodnotících kritérií včetně jejich vah. Na konci této kapitoly budou stanoveny závěry dílčích cílů této fáze, které budou důležitými vstupy pro realizační fázi projektu.

5.1 Formulace rozhodovacího problému

Cílem rozhodovacího problému je nalezení vhodného modelu ze segmentu luxusních elektrických SUV modelů pro vybranou skupinu zákazníků. Skupinu zákazníků tvoří jedenáct vybraných respondentů, kteří aktivně užívají vozidlo, které svým charakterem spadá do prémiové třídy, do kategorie SUV nebo je vybaveno elektrickým pohonem (BEV nebo PHEV). Důvodem tohoto rozdělení na menší charakteristiky je aktuálně nízký tržní podíl kategorie prémiových plně elektrických SUV modelů. Uživatelů, které splní veškeré tři podmínky, není na území České republiky mnoho, a proto je tržní podíl tohoto segmentu velmi nízký. Relevantní informace budou od respondentů získány z hodnotících pohovorů. Pro úplnost a potvrzení vhodnosti kritérií z oblasti elektromobility budou vedeny rozhovory se zástupcem prodejní sítě prémiových elektromobilů a zástupcem z distribuční sítě pro elektrickou energii.

Modely vozidel, z nichž je vybírán ten nejvhodnější, jsou představeny v kapitole zabývající se volbou a analýzou elektrický vozidel SUV. Do klíčových kritérií budou spadat především aspekty z pohledu elektromobility, dále technické, bezpečnostní, komfortní a v neposlední řadě ekonomické požadavky. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, budou kritéria přehledně zvolena a uvedena do stromu hodnotících kritérií. Detailní struktura kritérií je představena v kapitole stanovení kritérií a jejich kategorií.

Uživatelé vozidel se v rámci rozhovorů staví do role rozhodovatele, přičemž autor práce je analytikem (řešitel problému). Varianty jsou rozhodovatelům předem známy, lze tedy prohlásit, že se jedná o rozhodování za jistoty. Pro stanovení vah bude aplikována metoda přímého stanovení vah pomocí bodové stupnice od 0 do 10.

Pro vyhodnocení srovnaných vozidel je aplikována disciplína vícekriteriálního rozhodování pomocí dvou aplikovaných metod pro kvantitativní kritéria. Prvním zvoleným přístupem je metoda váženého součtu (WSA). Jelikož tato metoda nezohledňuje rozdíly kritériálních hodnot u kvantitativních kritérií, tak bude aplikována složitější metoda vzdálenosti od fiktivní varianty (TOPSIS), která má vyšší validitu hodnocení. Cílem je zjištění rozdílnosti výsledků (tedy odhalení rozdílných výsledků pořadí) při aplikaci dvou odlišně náročných metod.

Rozhodovací problém se řadí do kategorie dobře strukturovaného rozhodovacího problému, který obsahuje snadno kvantifikovatelné proměnné. Hodnoty posuzovaných kritérií jsou získány z oficiálních zdrojů výrobců vozidel, přičemž preference zákazníků (respektive bodování) je určena jimi samotnými.

5.2 Vymezení segmentu SUV

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, tak hlavním cílem práce je výběr vhodného modelu vozu ze segmentu SUV, který bude mít elektrický pohon a spadá do prémiové třídy. Proč byl právě zvolen segment SUV, bude představeno v následujícím výkladu.

Na úvod je nutno podrobněji vysvětlit pojem SUV. Pod touto zkratkou se skrývá název Sport Utility Vehicle, přeloženo jako sportovní užitkové vozidlo. Vozidla lze obecně rozdělit dle jejich druhu karosérie a dle tržních segmentů.

V případě rozdělení dle druhu karosérie se vozidla liší především jejich vzhledem (Kovanda, 2016). Mezi základní tvary karoserie patří provedení Sedan a Liftback, Kombi, Kupé, Hatchback, MPV, Kabriolet, Limuzína, VAN, Spider, Offroad, a právě zmíněné SUV. V případě SUV se jedná o druh či design karoserie, která disponuje velkým vnitřním prostorem pro posádku a dostatečnou velikostí zavazadlového prostoru. Díky robustní konstrukci a vyšší světlé výšce má vozidlo schopnost překonat menší překážky v terénu. Další výhodou zvýšeného podvozku je výše umístěná poloha sedaček pro cestující. Oblíbenou volbou ze strany zákazníka je možnost zvolit vůz s pohonem všech čtyř kol. Vozidla SUV mají převážně uzavřený typ karoserie (tedy karoserie je stálá). Mezi zástupce SUV lze uvést Audi Q5, Range Rover Evoque a mnoho dalších. Díky aktuálnímu trendu výrobci zkouší kombinovat typ karoserie SUV s jiným druhem karoserie. Příkladem může být kombinace SUV s druhem karoserie kupé (Mercedes-Benz GLE Coupé), přičemž jsou stále

zachovány přednosti, jako jsou komfortní vnitřní rozměry, avšak záď vozu je provedena ve sportovním charakteru. Dalším příkladem fúze je řešení modelu Volkswagen T-Roc Cabriolet, kdy je karoserie SUV rozšířena o vlastnosti kabrioletu.

Pokud jsou vozidla dělena dle tržních segmentů (obchodních tříd), tak jsou primárně rozdělena dle jejich velikostí. Jednotlivé kategorie těchto segmentů jsou rozděleny na mini, malé, nižší střední, střední, vyšší střední, luxusní, MPV, sportovní a SUV/terénní vozy. Poslední uvedený segment je dále dělen na další subsegmenty. Přehled segmentace včetně subsegmentů pro třídu SUV / terénní vozy dle Sdružení dovozců automobilů ČR (dále jen SDA) představuje tabulka 2.

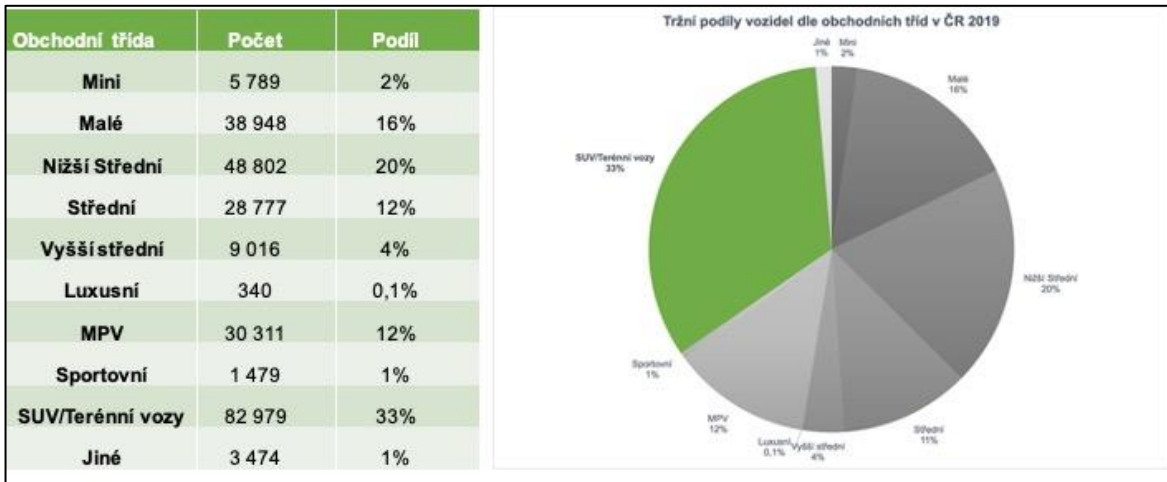
Tab. 2 Přehled segmentů a subsegmentů třídy SUV dle SDA

Segment	Subsegment	Popis	Zástupce el. SUV
SUV vozy	SUV-B	Mini SUV a crossovery	Peugeot e-2008
	SUV-C	Malá SUV a crossovery	Kia Niro
		Nižší střední SUV	Mercedes-Benz EQC
	SUV-D	Střední a vyšší střední SUV	SDA neuvádí
	SUV-E	Velká SUV	Audi e-Tron

Zdroj: Sdružení dovozců automobilů ČR, 2020

5.2.1 Tržní podíly segmentu SUV v České republice

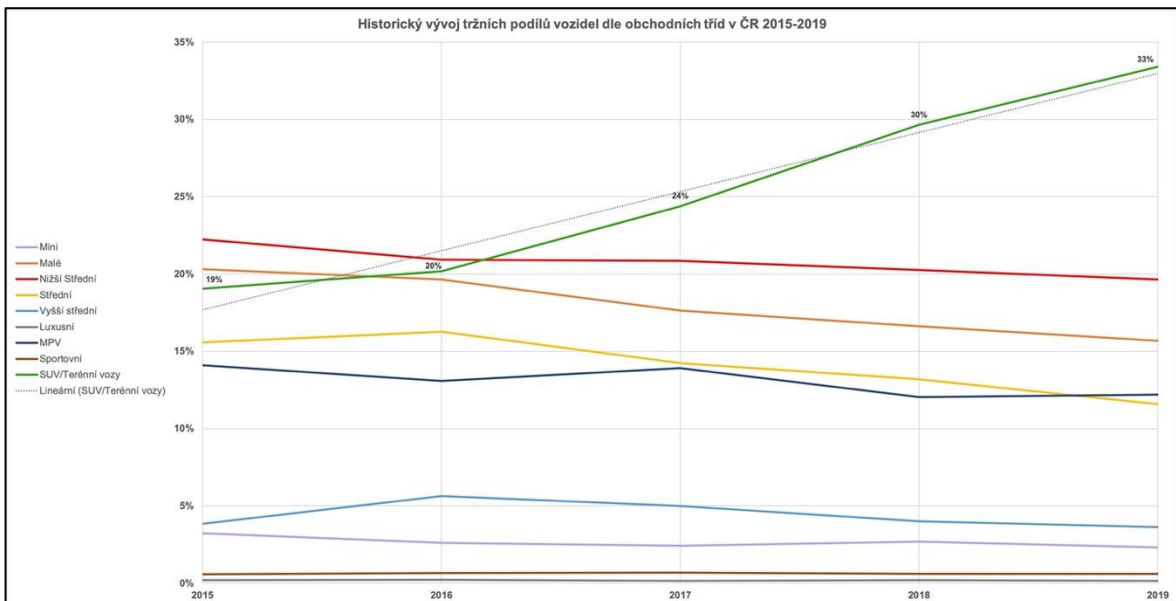
Za rok 2019 bylo na českém trhu registrováno 249 915 nových vozidel (počet registrovaných vozidel dle SDA). Na následujícím grafu (viz Obr. 10) jsou představeny podíly všech výše uvedených tržních segmentů v České republice za ukončený výrobní rok 2019, přičemž kategorie SUV dominuje tržnímu podílu s hodnotou 33 %.



Zdroj: Sdružení dovozců automobilů ČR, 2020

Obr. 10 Tržní podíly vozidel dle obchodních tříd v ČR 2019

Jelikož na trhu funguje princip substitučního efektu, tak dochází k situaci, kdy se na jednu stranu zvyšuje poptávka po segmentu SUV, avšak na druhou stranu klesá poptávka po vozech z jiných obchodních tříd. Zmíněný substituční efekt lze vypočítat z historického vývoje tržních podílů, který je pro roky 2015 až 2019 znázorněn na následujícím grafu (viz Obr. 11):



Zdroj: Sdružení dovozců automobilů ČR, 2020

Obr. 11 Vývoj tržních podílů vozidel dle obchodních tříd v ČR 2015-2019

Zelená křivka představuje segment SUV, který od roku 2016 meziročně roste o přibližně 4 %. Zároveň je patrné, že právě třídy malých vozů (oranžová křivka), nižší střední (červená křivka) a střední třída (žlutá křivka) právě od roku 2016 trvale klesají. Pro úplnost je nutno dodat, že v roce 2015 tvořil segment SUV 19 %, přičemž malá třída dosahovala podílových hodnot 20 % a nižší střední třída vykazovala s hodnotou 22 % největší podíl. Výrobci nahrazují vybrané neatraktivní modely z nižších tříd menšími crossovery a vozy středních tříd jsou nahrazeny SUV ekvivalentem ve shodné velikosti.

Veškeré výše uvedené skutečnosti pouze podtrhují vysoký důvod pro rozhodnutí o koupi právě vozidla z kategorie SUV (lze tvrdit, že 33 % zvolí své vozidlo z tohoto segmentu). Z tohoto důvodu se tato práce zabývá detailním zkoumáním faktorů v oblasti SUV.

5.2.2 Výhody a nevýhody vozidla SUV

Jak již bylo zmíněno výše, vozidla SUV přináší spoustu výhod. Tyto výhody jsou nosnými tématy, proč zákazníci volí s oblibou právě tento druh automobilu (Wieler, 2019). Mezi hlavní výhody lze zmínit vyšší poloha sedadel a s tím spojený lepší výhled z vozu, respektive přehled o dění v průběhu jízdy. Posádka je zároveň díky robustnější karoserii během nehody více chráněna před možným zraněním. Dalším důvodem pro pořízení tohoto typu vozidla může být vyšší světlá výška vozu, díky kterému lze zdolat příležitostné terénní průjezdy po nezpevněných cestách bez rizika, že se poškodí důležité komponenty motoru, případně podvozku. Z komfortního hlediska přináší SUV nejen velký prostor uvnitř kabiny a zavazadlového prostoru, ale zároveň i větší možnost variability. Uživatel si dle situace může interiér svého vozu upravit podle svých aktuálních potřeb. Poslední zde uvedenou výhodou je prestiž. Nejedná se o technický aspekt, ale řada uživatelů volí tento segment z různých módních nebo prezentačních účelů.

Bohužel automobily SUV zároveň přinášejí řadu nevýhod. První nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Vhodným příkladem jsou dva modely od automobilového výrobce KIA MOTORS, který nabízí své modely Ceed (nižší střední třída) a XCeed (crossover). V základní konfiguraci výbavy Comfort disponují oba modely identickou základní výbavou a shodným motorem 1.0 T-GDi GPF. Model Ceed je aktuálně nabízen za pořizovací cenu 354 980 Kč a model XCeed za pořizovací cenu 444 980

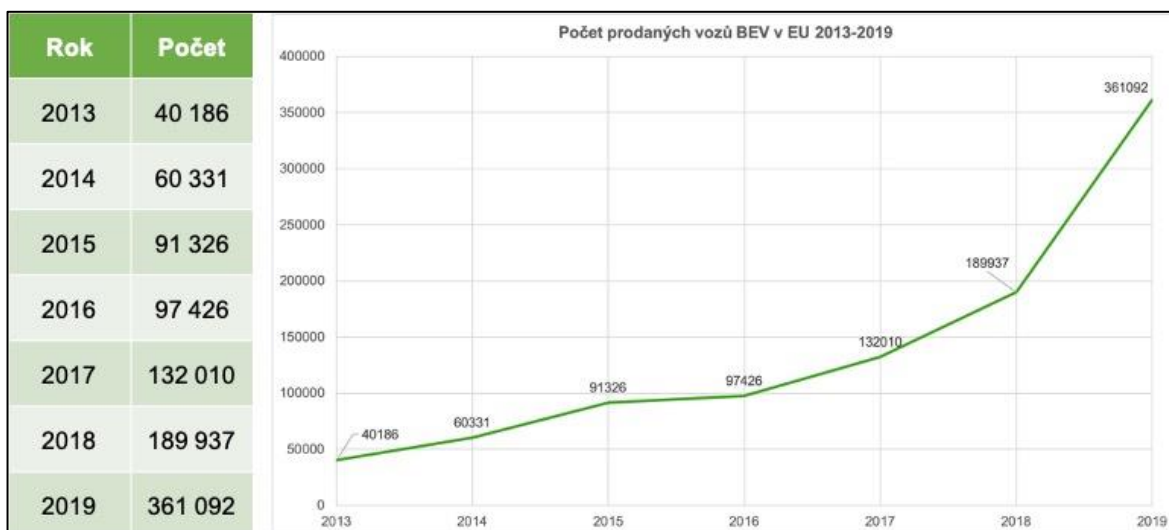
Kč. Příplatek za provedení téměř shodného modelu v provedení SUV tak činí přibližně 25 % (KIA MOTORS, 2020). Další nevýhodou je samotná pohotovostní hmotnost vozidla. Jak uvádí Wieler z ADAC (2019), tak je SUV oproti nižší variantě vozidla o 20 % nebo 250 kg těžší, což má za následek zvýšení průměrné spotřeby paliva. Vyšší hmotnost není jediným aspektem, kvůli kterému se zvyšuje spotřeba. Dalším faktorem je tvar karoserie, která má větší čelní plochu a tím horší aerodynamické vlastnosti.

Z důvodu větší hmotnosti samotného vozidla (obzvláště v případě varianty s pohonem všech čtyř kol) a vyšších aerodynamických hodnot C_w se zvyšuje nejen vlastní spotřeba paliva, ale zároveň dochází k produkci vyšších emisních hodnot. Při pohledu na srovnání emisních hodnot dvou vozidel od automobilového výrobce Škoda, kterými jsou modely Octavia a Karoq (opět za předpokladu identické výbavy a stejné motorizace 1.5 TSI) lze zjistit, že model Karoq produkuje o 14 g CO₂ / km více než model Octavia (Autobible, 2020). Pro výrobce to znamená, že musí uhradit vyšší flotilovou pokutu za nedosažený emisní cíl, která v současnosti dosahuje výše 95 EUR za každý gram CO₂ nad povolenou hranici (Evropská komise, 2020).

V tomto okamžiku je nutno se pozastavit nad těmito dvěma trendy. Prvním trendem je rostoucí obliba vozidel SUV, která vytlačují nižší segment v rámci celkové poptávky a tím způsobují nárůst flotilových emisních pokut pro výrobce automobilů. Druhým trendem je ohled na životní prostředí a snaha Evropské komise neustále snižovat hranici nepokutovaných emisních zón. Tedy takové hranice, kterých nelze dosáhnout za předpokladu, že budou zachovány zaběhlé technologie spalovacích motorů. Z tohoto důvodu lze pozorovat, že transformační proces na elektromobilitu byl u většiny výrobců zahájen v segmentu SUV. Současná tržní situace z pohledu elektromobility v segmentu SUV bude představena v následující kapitole.

5.3 Situace na trhu elektromobilů

Elektromobilita zaznamenává v posledních letech výrazný progres v oblasti prodeje osobních vozidel. Grafické znázornění vývoje počtu prodaných vozidel s plně elektrickým pohonem na území Evropské Unie představuje obrázek 12 (ilustrace zohledňuje pouze pro typ BEV bez PHEV).

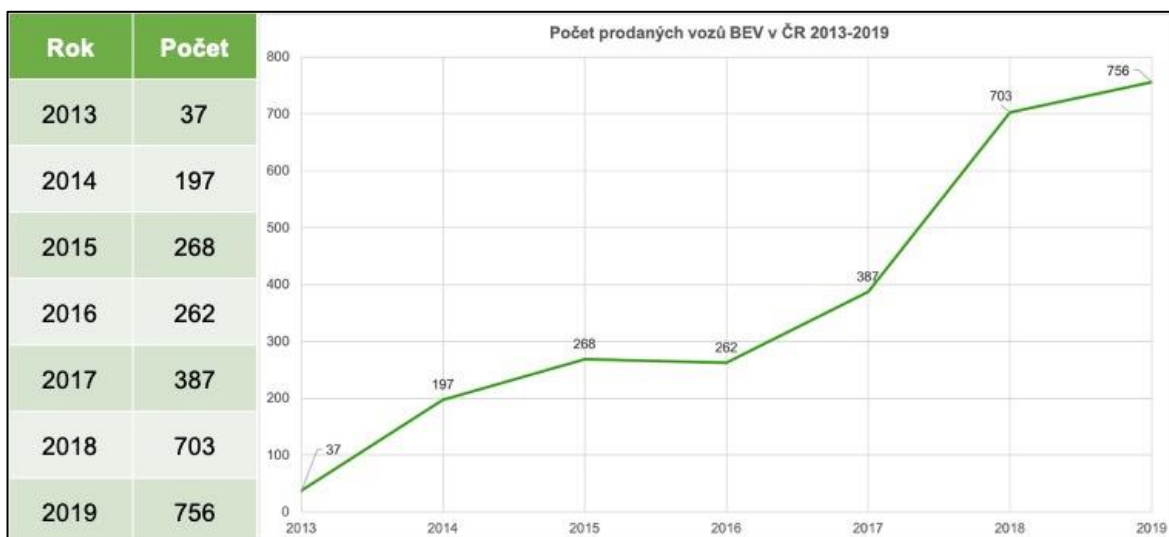


Zdroj: Carsalesbase, 2020

Obr. 12 Vývoj počtů prodaných vozidel na území EU 2013-2019

Zrychlení tempa růstu lze pozorovat především od začátku roku 2017. Důvody mohou být širší nabídka modelů nebo růst podpůrných aktivit ze strany států (dotace na pořízení vozu, daňové úlevy). Dle mezinárodních statistických údajů ICCT dochází od tohoto roku meziročně k růstu tržních podílů o přibližně 0,4 %. Pro úplnost výkladu jsou představena prodejní čísla po třech prvních uzavřených kvartálech roku 2020, kdy bylo zákazníkům dodáno 422 945 vozidel BEV. Tato hodnota pokračující trend růstu plně elektrických pohonů pouze potvrzuje. Největším evropským podílem elektromobilů disponuje Norsko (31,2 %), kde jsou státní podpory a síla infrastruktury jedny z nejvyšších v rámci EU. S výrazným odstupem tržních podílů následují země Nizozemsko (5,4 %) a Švédsko (2 %). V rámci této statistiky spadá Česká republika do zemí EU-13, která dosahuje evropských tržních podílů ve výši 0,3 %.

Detailní situace pro ČR je pravidelně sledována v rámci databáze SDA a Centrem dopravního výzkumu (dále jen CDV). Pro připomenutí bylo v roce 2019 registrováno celkově 249 915 nových vozidel, z čehož je právě 756 vozidel poháněno plně elektrickým pohonem (Kadula, 2020). V porovnání se zeměmi Evropské Unie se na první pohled zdá, že zájem o elektrické pohony je v rámci České republiky zanedbatelný. Avšak i zde dochází k postupnému růstu tržních podílů, který právě začal obdobně jako v ostatních zemích EU na začátku roku 2017. Kompletní vývoj registrací vozidel BEV představuje obrázek 13.



Zdroj: Sdružení dovozců automobilů ČR, 2020

Obr. 13 Vývoj počtů prodaných vozidel na území ČR 2013-2019

Celkové sumy zahrnují absolutní hodnoty prodaných vozidel s pohonem BEV včetně značky Tesla, která je v rámci statistik SDA uvedena separátně. Mezi rokem 2018 a 2019 lze pozorovat pokles tempa růstu prodaných vozidel – zákazníci upřednostňovali především vozidla typu PHEV. Zajímavostí jsou hodnoty registrovaných vozidel BEV od ledna do září 2020, kdy celkový počet dosahuje hodnoty 1 732 prodaných vozidel (SDA, 2020). Při počtu 148 320 celkově prodaných vozidel dosáhl tržní podíl BEV téměř hodnoty 1,2 %, což je výrazný nárůst oproti předcházejícímu roku.

S ohledem na analyzované trhy lze tvrdit, že segment elektromobilů bude za stále stejných podmínek dále růst. Lze očekávat, že díky rostoucímu trendu může dojít k okamžiku, kdy elektromobilita začne postupně nahrazovat stávající spalovací motory a postupně je vyčlení ze své tržní pozice. Shankleman (2017) odhaduje, že k tomuto okamžiku dojde v roce 2038. Zákazník v tomto okamžiku bude akceptovat elektromobilitu s ohledem na již rozvinutější technologie. S ohledem na očekávaný pozitivní vývoj elektromobility lze očekávat, že výrobci elektromobilů budou alokovat větší podíl svých vývojových kapacit právě do tohoto typu pohonu. Proto se práce bude dále zabývat analýzou parametrů BEV pohonu, který je schopen nejlépe pokrýt zákaznické preference.

5.4 Volba elektrických vozidel SUV

V úvodu této kapitoly je nutno připomenout závěry dvou předchozích kapitol, které odůvodnily volbu vozidla ze segmentu prémiových SUV, jehož součástí je plně elektrický pohon (BEV). Tato kapitola se bude zabývat výběrem 4 vozidel, která splňují tato kritéria. Po nominaci vozidel budou tyto detailněji představeny z technického a ekonomického pohledu.

5.4.1 Situace na trhu elektrických SUV

Volba vozidel bude probíhat rešerší z dostupných databází nejprodávanějších vozidel. Analyzovány budou dostupné evropské a české databáze elektromobilů za ukončený prodejní rok 2019 a situace prvních dvou uběhlých kvartálů v roce 2020.

Tabulka 3 zobrazuje výčet nejprodávanějších modelů BEV v Evropě pro rok 2019. S více než 18 000 prodanými vozy je Audi e-Tron nejprodávanějším vozem z kategorie prémiových SUV. Další vůz splňující premise výběru je Jaguar I-Pace s celkovým počtem prodaných vozů 12 232. Posledním vozidlem v představeném seznamu je vůz Tesla Model X, kterých bylo prodáno 7 861 kusů.

Tab. 3 Nejprodávanější vozidla BEV v Evropě v roce 2019

Pořadí	Model	Segment	Prodej 2019	Tržní podíl
1	Tesla Model 3	Jiné dle SDA	95 168	26,36 %
2	Renault Zoe	Malé	45 129	12,50 %
3	Nissan Leaf	Nižší střední	31 792	8,80 %
4	Volkswagen e-Golf	Nižší střední	28 710	7,95 %
5	BMW i3	Malé	23 882	6,61 %
6	Hyundai Kona EV	C-SUV	21 790	6,03 %
7	Audi e-Tron	E-SUV	18 382	5,09 %
8	Jaguar I-Pace	C-SUV	12 232	3,39 %
9	Smart Fortwo ED	Mini	11 815	3,27 %
10	Kia Niro EV	B-SUV	10 139	2,81 %
11	Tesla Model S	Jiné dle SDA	8 635	2,39 %
12	Hyundai Ioniq Electric	Nižší střední	8 533	2,36 %
13	Tesla Model X	Jiné dle SDA	7 861	2,18 %
	Ostatní		37 024	10,25 %
	Celkový počet		361 092	

Zdroj: Carsalesbase, 2020

Pro přesnější posouzení vhodnosti volby těchto vozidel je představena situace pro rok 2019 na území České republiky (viz Tab. 4). Zde se pořadí i počet prodaných

vozidel, respektive tržní podíly výrazně liší. Jedním z důvodů je nejasná informace o konkrétních číslech prodaných vozidel od výrobce Tesla. SDA slučuje jejich celkem 3 nabízené modely do jedné položky. Proto lze celkovou hodnotu Modelu X pouze odhadovat, například dle poměrů tržních podílů evropských databází.

Nejprodávanějšími vozidly z kategorie prémiových SUV v ČR jsou Jaguar I-Pace a Audi e-Tron. Tyto modely jsou následovány modelem Mercedes-Benz EQC, avšak je nutno brát v potaz, že se tento vůz začal v roce 2019 teprve dodávat zákazníkům. Tesla Model X s přibližně 8-10 odhadovaných počtů kusů se umístila na celkově čtvrtém místě.

Tab. 4 Nejprodávanější vozidla BEV v České republice v roce 2019

Pořadí	Model	Segment	Prodej 2019	Tržní podíl
1	BMW i3	Malé	101	13,36 %
2	Nissan Leaf	Nižší střední	94	12,43 %
3	Hyundai Ioniq Electric	Nižší střední	90	11,90 %
4	VW e-Golf	Nižší střední	72	9,52 %
5	Hyundai Kona EV	C-SUV	48	6,35 %
6	Jaguar I-Pace	C-SUV	47	6,22 %
7	Audi e-Tron	E-SUV	47	6,22 %
8	Nissan NV200	MPV	45	5,95 %
9	Volkswagen e-Up!	Mini	32	4,23 %
10	Škoda Citigo ^e iV	Mini	28	3,70 %
11	Mercedes-Benz EQC	C-SUV	11	1,46 %
12	Renault Zoe	Malé	8	1,06 %
13	Tesla Model 3, S, X*	Jiné dle SDA	120	15,87 %
	Ostatní		13	1,72 %
	Celkový počet		756	

Zdroj: Sdružení dovozců automobilů ČR, 2020

Jak již nyní ukazují oficiální statistiky SDA (2020), tak právě tato vozidla zaznamenávají již před ukončením roku 2020 další růst prodeje. Především u modelu Mercedes-Benz EQC s počtem 22 prodaných vozů lze očekávat výrazný růst zájmu ze strany zákazníka. Společnost Tesla zvýšila celkový počet prodaných vozidel na téměř trojnásobnou hodnotu (celkem 328 prodaných vozidel všech tří modelů).

Po analýze výše uvedených statistických prodejů vozidel BEV budou v dalších kapitolách analyzována nejprodávanější, respektive nejoblíbenější vozidla z dané kategorie, kterými jsou Audi e-Tron, Jaguar I-Pace, Tesla Model X a Mercedes-Benz

EQC. U těchto vozidel lze předpokládat, že budou mít identickou cílovou skupinu zákazníků. Předpokládá se, že zákazníci těchto vozidel budou cíleně volit prémiovou značku s vyšší pořizovací cenou a těžit z výhod typických pro vozidla typu SUV. Samozřejmě je nutno zmínit, že za své peníze budou očekávat prvotřídní parametry plně elektrického pohonu. Pro úplnost je dodáno, že právě z těchto důvodů nebyl vybrán vůz Hyundai Kona EV, který sice dominuje trhu elektrických SUV, ale je určen jiné cílové skupině zákazníků.

Tato vozidla budou v následujících kapitolách detailněji představena, a to z pohledu technických parametrů typických pro kategorii SUV a BEV a z ekonomického pohledu. Vzhledem k vysokému očekávání zákazníka od prémiového vozidla bude brán zřetel vždy na nejvyšší výbavu vozidla včetně nejvýkonnějšího elektromotoru a kapacity baterie.

Úvodní tabulka 5 představuje vstupní konfigurace analyzovaných vozidel. Úplný přehled technických parametrů zohledňující veškeré nutné rozměry, hmotnosti a parametry k elektrickému pohonu jsou uvedeny v rámci přílohy 1. U kategorie prémiových SUV lze očekávat řadu asistenčních a prémiových komfortních systémů, úplný seznam je představen v příloze 2.

Veškeré informace obsažené v rámci příloh byly sestaveny na základě dostupných parametrů od výrobců vozidel (výbavové stupně odpovídají nabídkám výrobců v době psaní práce), společnosti ADAC a databází Euro NCAP (2020).

Tab. 5 Vstupní konfigurace analyzovaných vozidel

Model	Pohon	Název výbavy	Pořizovací cena
Audi e-Tron	S quattro 370 kW, Aku 95 kWh	e-Tron S	2 452 900,- Kč
Jaguar I-Pace	EV400 294 kW, Aku 90 kWh	I-Pace HSE	2 511 355,- Kč
Mercedes-Benz EQC	400 4MATIC, 300 kW, Aku 80 kWh	Linie AMG	2 028 148,- Kč
Tesla Model X	Performance 449 kW, Aku 100 kWh	Performance	2 926 200,- Kč

Zdroj: Oficiální ceníky jednotlivých výrobců, 2020

5.4.2 Audi e-tron

Prvním představeným elektromobilem je Audi e-Tron (viz Obr. 14). Po představení konceptu e-Tron Quattro následovalo jeho sériové provedení v roce 2018. Vůz se vyrábí v CO₂ neutrální továrně v belgickém Bruselu a zákazníkům byl první kus předán v březnu 2019. Na konci tohoto roku bylo světu představeno jeho derivátní provedení, které nese přídomek Sportback. Jedná s o fúzi karoserie SUV a kupé.



Zdroj: Netcarshow, 2020

Obr. 14 Audi e-Tron: Exteriér a interiér

E-Tron se velikostně řadí do kategorie E-SUV, tedy do největšího podsegmentu. Stojí tak po boku svého konvenčního sourozence, Audi Q7. Vůz má celkovou délku 4 901 mm, celkovou výšku 1 629 mm a celkovou šířku 1 935 mm. Světla výška vozidla dosahuje hodnoty 172 mm. Výška od sedáku po střechu na předních místech činí 1 011 mm a na zadních místech 980 mm. Prostor pro nohy ve 2. řadě sedadel činí 993 mm. Při pohledu do zavazadlového prostoru nalezne zákazník celkový objem o velikosti 660 litrů při nesklopených sedačkách. Další úložný prostor neboli Frunk (Front Trunk, tedy přední zavazadlový prostor) se nachází pod přední kapotou, díky kterému je k dispozici dodatečných 60 litrů, celkově tedy 720 litrů.

Základní výbava se nazývá e-Tron, střední stupeň výbavy se nazývá Advanced, sportovnější provedení je označováno jako S-Line a nejluxusnější verze se nazývá e-Tron S. První tři jmenované výbavy disponují základním pohonem 50 quattro (výkon 230 kW při maximálním točivém momentu 540 Nm). Nejvyšší výbava e-Tron S, která je stěžejním modelem pro detailní analýzu, disponuje výkonným elektromotorem, který se nazývá S quattro. Standardní výkon elektromotoru je 320 kW, avšak lze aktivovat krátkodobý mód zvyšující výkon až na 370 kW při točivém

momentu 973 Nm po dobu 8 s. Po uplynutí 4,5 s vozidlo dosáhne rychlosti 100 km/h, maximální rychlost vozidla je 210 km/h. Kapacita akumulátoru v rámci výbavy e-Tron S je 95 kW (brutto), přičemž je uživateli k dispozici kapacita o velikosti 86 kWh (netto). Při kombinované spotřebě 26,8 kWh na 100 km dle WLTP lze absolvovat celkovou vzdálenost až 360 km. Pokud uživatel volí AC dobíjení, tak lze akumulátor s konektorem Type 2 dobít při 11 kW za přibližně 9 hodin. Zákazník si může za příplatek pořídit palubní nabíječku, která umožní v režimu AC dobít vozidlo výkonem 22 kW. V případě DC režimu je zákazníkovi umožněno nabíjet vůz výkonem 150 kW, díky kterému je dosaženo 80 % nabití kapacity baterie za 30 minut.

Požizovací cena základní výbavy činí 1 884 900,- Kč, cena nejvyšší verze e-Tron S začíná na ceně 2 452 900,- Kč.

Z pohledu bezpečnosti tento vůz dosahuje maximálního hodnocení Euro NCAP, tedy 5 hvězd z pěti. Při detailním hodnocení bezpečnosti dospělých pasažérů obdržel 91 %, z pohledu přepravy dětí 85 %, ochrany chodců 71 % a asistenčních systémů, které přispívají bezpečnosti 76 %.

5.4.3 Jaguar I-Pace

Dalším představeným elektromobilem je model Jaguar I-Pace (viz Obr. 15) od britského výrobce Jaguar Land Rover. Obdobně jako u předchozího vozu se jedná o první sériově vyráběný elektromobil této společnosti, které spatřilo světlo světa v roce 2018. Společně s modelem Jaguar E-Pace (vůz se spalovacím motorem) se I-Pace vyrábí v rakouském Grazu v továrně Magna Steyr Fahrzeugtechnik.



Zdroj: Netcarshow, 2020

Obr. 15 Jaguar I-Pace: Exteriér a interiér

I-Pace spadá do kategorie C-SUV, respektive do nižší střední třídy. Se svými rozměry o celkové délce 4 682 mm, celkové výšce 1 565 mm a celkové šířce 1 895 mm leží přímo mezi menším konvenčním modelem E-Pace a větším modelem F-Pace. Světlá výška je variabilní, může nabývat hodnot od 142 do 230 mm. Výška od sedáku po střechnu na předních místech činí 1 014 mm a na zadních místech 968 mm. Prostor pro nohy ve 2. řadě sedadel činí 889 mm. Objem zavazadlového prostoru je ve srovnání s předchozím e-Tronem o něco menší, činí 638 litrů, který je doplněn o dalších 27 litrů v přední části (Frunk).

Základní výbava se nazývá I-Pace S, střední stupeň výbavy se nazývá I-Pace SE a vrcholná verze vystupuje pod názvem I-Pace HSE. Všechny tři jmenované výbavy disponují identickým elektropohonem o výkonu 294 kW při maximálním točivém momentu 696 Nm o pohonu 4x4. Výkon pohonné jednotky umožňuje vozidlu dosáhnout rychlost 100 km/h po 4,8 s, přičemž maximální rychlost vozidla je 200 km/h. Kapacita akumulátoru je u všech verzí výbavy shodná. Brutto hodnota kapacity činí 90 kWh, přičemž je uživateli k dispozici 84,70 kWh. Kombinovaná spotřeba 23,0 kWh na 100 km dle WLTP cyklu umožňuje dojezd na jedno nabití až 470 km. V rámci AC dobíjení lze I-Pace nabíjet výkonem 11 kW, plné dobití je dle ADAC dosaženo za 9 hodin. Při DC režimu je zákazníkovi umožněno nabíjet vůz výkonem až 100 kW, díky kterému je dosažen stav nabití na 80 % po 45 minutách.

Požizovací cena základní výbavy činí 2 113 628,- Kč, cena nejvyšší verze I-Pace HSE startuje na hodnotě 2 511 355,- Kč.

Obdobně jako e-Tron dosahuje i I-Pace maximálního hodnocení pěti hvězd v rámci Euro NCAP. Při detailním hodnocení obdržel 91 % v kategorii bezpečnosti dospělých pasažérů, z pohledu přepravy dětí 81 %, při ochraně chodců 73 % a v rámci poslední kategorie asistenčních systémů získal 81 %.

5.4.4 Mercedes-Benz EQC

V roce 2016 vznikla z důvodu očekávaného vzestupu elektromobility nová divize Mercedes-Benz EQ (viz Obr. 16). Jak uvádí koncern Daimler, tak se jedná o značku, která se přímo zaměřuje v rámci elektromobility nejen na osobní vozidla Mercedes-Benz a Smart, ale zároveň na související produkty a služby. Prvním sériově prodávaným vozidlem této divize je právě model Mercedes-Benz EQC, který se začal prodávat od poloviny roku 2019 a vyrábí se v německých Brémách.



Zdroj: Netcarshow, 2020

Obr. 16 Mercedes-Benz: Exteriér a interiér

Stejně jako Jaguar I-Pace spadá i Mercedes-Benz EQC do kategorie C-SUV. Disponuje téměř identickými rozměry, jako model GLC Coupé. Rozměry dosahují celkové délky 4 762 mm, celkové výšky 1 624 mm a celkové šířky 1 884 mm. Světlá výška je mezi představenými modely nejnižší. Dosahuje hodnoty pouze 97 mm. Co se týče rozměrů vnitřního prostoru, tak je výška od sedáku po střechnu na předních místech 1 045 mm a na zadních místech 980 mm. Prostor pro nohy ve 2. řadě sedadel je s rozměrem 233 mm velice skromný, vůz disponuje nejmenším prostorem v rámci všech čtyř vozidel. Zároveň EQC disponuje nejmenším objemem zavazadlového prostoru, který nepřekračuje hodnotu 500 litrů.

Výkon motoru, který je pro všechny stupně výbav identický, dosahuje hodnot 300 kW při maximálním točivém momentu 760 Nm. Vozidlo disponuje pohonem všech čtyř kol (dva asynchronní motory). Rychlost 100 km/h lze dosáhnout po 5,1 s, přičemž jeho maximální rychlost je 180 km/h. Při analýze kapacity akumulátoru lze zjistit, že i ta nabízí napříč všemi analyzovanými vozy nejnižší hodnotu. Brutto hodnota je 85 kWh, přičemž je uživateli k dispozici pouze 80 kWh. ADAC udává průměrnou kombinovanou spotřebu 22,6 kWh na 100 km dle WLTP cyklu, nejvyšší možný dojezd je 413 km. Mercedes-Benz umožňuje modelu EQC v rámci AC režimu nabíjet výkonem pouze 7,4 kW při jedné fázi, díky čemuž je plné dobití docíleno po 11 hodinách. Při DC režimu je zákazníkovi umožněno nabíjet vůz výkonem až 110 kW, díky čemuž je dosaženo plné nabití přibližně po 40 min.

Požizovací cena základní výbavy činí 1 972 300,- Kč, cena nejvyšší verze Linie AMG startuje na částce 2 028 148,- Kč (za předpokladu, že zákazník volí k AMG linii i interiér v provedení Linie AMG).

Z pohledu bezpečnosti dosahuje tento vůz maximálního hodnocení 5 hvězd. Při detailním hodnocení bezpečnosti obdržel v kategorii dospělých pasažérů 96 %, dále v kategorii přepravy dětí 90 %, ochrany chodců 75 % a z pohledu asistenčních systémů 75 %.

5.4.5 Tesla Model X

Posledním a zároveň nejdéle produkováným elektromobilem, je Tesla Model X (viz Obr. 17). Tento elektromobil se začal prodávat v červnu roku 2016. Pod vedením ředitele společnosti Elona Muska se jedná již o třetí model značky Tesla, avšak o první vůz ze segmentu SUV, který čerpá z bohatých zkušeností jeho předchůdců (Roadster a Model S). Vůz je vyráběn v kalifornském Fremontu. Před samotným zahájením detailního popisu je nutno zmínit jednu zajímavost, že společnost Tesla spolupracovala s koncernem Daimler AG, pod kterou spadá značka Mercedes-Benz, na některých společných projektech (Smart ForTwo s elektropohonem, výroba baterií a dalších).



Zdroj: Netcarshow, 2020

Obr. 17 Tesla Model X: Exteriér a interiér

SDA neuvádí Model X ve svých výčtech tržních segmentů, ale díky svým enormním rozměrům lze tento model zařadit do kategorie E-SUV. S celkovou délkou o velikosti 5 037 mm při celkové výšce 1 626 mm a celkové šířce 2 070 mm se jedná o největší elektromobil, který je v rámci práce podroben detailní analýze. K tomu přispívá i nejvyšší světlá výška vozidla, která dosahuje hodnoty 223 mm. Nejen vnější, ale i

vnitřní rozměry dosahují vysokých hodnot. Výška od sedáku po střechu na předních místech dosahuje 1 059 mm, přičemž hodnoty na zadních místech činí 1 039 mm. Prostor pro nohy ve 2. řadě sedadel činí 975 mm. Při zachování srovnatelných pěti sedaček (pro lepší porovnání s ostatními vozidly) dosahuje objem zavazadlového prostoru až 2 180 litrů. K této hodnotě náleží další úložný prostor Frunk o velikosti 187 litrů.

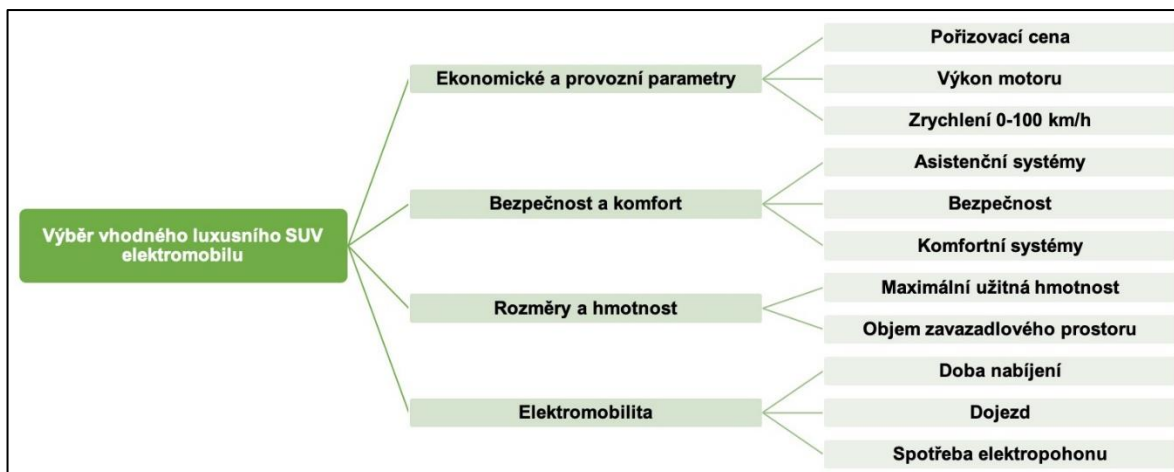
Základní model se nazývá Long Range a vyšší verze vystupuje pod názvem Performance. Nižší výbava se soustřeďuje na celkový dojezd na jedno nabití baterie. V tomto případě Tesla implementuje elektropohon o výkonu 310 kW s udávaným dojezdem přibližně 507 km. Verze Performance se zaměřuje na vysoký výkon elektromotoru (udávaný dojezd je nižší, dosahuje hodnoty 487 km). V této konfiguraci dosahuje výkon hodnot 449 kW při maximálním točivém momentu 525 Nm a pohonem 4x4, díky kterému lze dosáhnout rychlosti 100 km/h již po 2,8 s. Maximální rychlost (250 km/h) a kapacity akumulátorů (brutto hodnota 100 kWh, netto hodnota není zveřejněna, bude předpokládán průměr ve výši rozdílu 7%, tedy 93 kWh). Kombinovaná spotřeba činí 22,6 kWh na 100 km dle WLTP cyklu. V rámci AC dobíjení lze Model X nabíjet výkonem 16,5 kW (pouze třífázová funkce), plného dobití může být dosaženo za 7 hodin. Při DC režimu je zákazníkovi umožněno nabíjet vůz výkonem 200 kW v rámci sítě Tesla Supercharger, díky kterému může být dosaženo 80 % stavu nabití již po 38 minutách – nutno připomenout, že tento elektromobil disponuje největší kapacitou akumulátoru. Je nutno uvést, že vozidla Tesla mohou využívat jak veřejnou síť s CCS konektory (např. Ionity), tak nabíjecí síť Tesla s konektorem TESLA Supercharger. Majitelé vozidel Tesla tak mají oproti vlastníkům elektromobilů od jiných automobilek širší výběr nabíjecích stanic v rámci celkové infrastruktury.

Požizovací cena výbavy Long Range činí 2 458 200,- Kč, cena verze Performance začíná na hodnotě 2 926 200,- Kč.

Z pohledu bezpečnosti i tento vůz dosahuje maximálního hodnocení Euro NCAP (5 hvězd). Při detailním hodnocení bezpečnosti dospělých pasažérů obdržel 98 %, z pohledu přepravy dětí 81 % a ochrany chodců 72 %. Díky asistenčním systémům autonomního charakteru (viz přehled funkcionalit v příloze 3) dosahuje hodnocení bezpečnosti 94 %.

5.5 Stanovení hodnotících kritérií

Ke stanovení kritérií pro hodnocení jednotlivých vozidel je sestaven strom hodnotících kritérií (viz Obr. 18).



Obr. 18 Strom hodnotících kritérií

Nultá úroveň stromu představuje hlavní cíl zkoumání, čímž je volba vhodného luxusního elektrického modelu SUV. První úroveň stromu již představuje skupinu ukazatelů, kterými jsou ekonomické a provozní parametry, bezpečnostní a provozní parametry, rozměrové a hmotnostní údaje vozidla a kategorii, která se zaměřuje na parametry elektromobility. Každá skupina je dále větvena do druhé úrovně stromu obsahující jednotlivá kritéria. Jejich detailní popis je představen v následujících kapitolách.

Vymodelováním stromu jsou dodrženy dva z pěti požadavků na soubor kritérií (úplnost souboru kritérií a nezávislost kritérií). Díky vhodně zvoleným kritériím je dodržena podmínka zamezení duplikace a zachování nejnutnějšího rozsahu. Posledním požadavkem je jednoznačnost kritérií, která je dosažena stanovením takových kritérií, která jsou kvantitativně měřitelná.

5.5.1 Ekonomické a provozní parametry

Obsahem první skupiny ukazatelů jsou ekonomické a provozní parametry vozidla. Kritériem spadajícím do ekonomické oblasti je vlastní **pořizovací cena** vozidla. Pro měření tohoto kritéria bude, jak již bylo zmíněno v kapitole 5.4, vozidlo vybaveno nejvyšším výbavovým stupněm bez dalších mimořádných doplňkových výbav. Pořizovací ceny pochází z oficiálních ceníků prodejců vozidel k datu 06.10.2020.

Cílem je minimalizace této hodnoty (Kč). Dalším kritériem, spadajícím již do provozních parametrů, je **výkon motoru**. V rámci výpočetní fáze bude výkon měřen v kilowattech (kW), přičemž očekávání zákazníka je maximální možná hodnota. Posledním kritériem je ukazatel akcelerace, případně zrychlení vozidla. V rámci technických parametrů je tato hodnota udávána jako doba zrychlení z klidu na rychlost 100 km/h. Z pohledu zákazníka je očekáváno, že tato hodnota bude minimální.

5.5.2 Bezpečnost a komfort

V rámci druhé skupiny ukazatelů jsou uvedena kritéria, která se soustřeďují na bezpečnostní a komfortní vlastnosti vozidla. Prvním kritériem jsou moderní **asistenční systémy**. Jedná se o podpůrné systémy, které pomáhají řidiči překonat pomocí aktivního sledování okolí různé dopravní situace (např. asistence udržení vozidla v jízdním pruhu). Z tohoto důvodu se dá tedy očekávat maximální systémová podpora ze strany zákazníka, přičemž bude kladen důraz na množství integrovaných prvků (tedy celkový počet). Druhým kritériem je celková **bezpečnost** vozidla. V rámci Evropské Unie jsou všechna vozidla testována společností Euro NCAP, která uvádí celkový počet bezpečnostních hvězd a procentuální vyjádření bezpečnosti jednotlivých kategorií. Čím vyšší je procentuální hodnota, tím je vozidlo bezpečnější. Pro analýzu bude tedy použita maximalizační podmínka průměrné hodnoty všech čtyř bezpečnostních oblastí. Posledním kritériem jsou **prémiové komfortní systémy**. Jelikož je cílem nalézt vozidlo z prémiové třídy, tak lze očekávat, že zákazník bude požadovat nadstandardní komfort, například masážní funkce sedadel nebo moderní technologie v oblasti multimediálních systémů. Z tohoto důvodu vyplývá podmínka, obdobně jako u asistenčních systémů, dosáhnout nejvyššího počtu (celkový počet prémiových komfortních prvků).

5.5.3 Rozměry a hmotnost

Třetí skupina ukazatelů se zaměřuje na rozměrové a hmotnostní specifikace vozidla. Jedno z kritérií je **maximální užitná hmotnost**. Jedná se o hodnotu, která je definována jako „souhrnná hmotnost osob, nákladu a provozního či pracovního zařízení, které lze do automobilů naložit“ (Sajdl, 2020). Cílem této hodnoty je její maximalizace (kg). Druhým kritériem je **objem zavazadlového prostoru** (l, příp. dm³). V tomto případě je nutno definovat jednotné podmínky pro všechna vozidla.

První podmínkou je nezahrnutí kabinových úložných prostorů (schránky před spolujezdcem, úložné prostory ve dveřích apod.). Druhou podmínkou je jednotná poloha sedadel, přičemž musí platit, že v případě alternativní třetí řady sedaček nesmí být tato řada zahrnuta do výpočtu. Další podmínkou je, že sedačky musí být připraveny k přepravě osob, nesmí být tedy sklopeny. Poslední podmínkou je zahrnutí oblasti Frunk, který je novou možností dodatečného úložného prostoru v oblasti elektromobilů. Zákazník bude od tohoto kritéria očekávat maximálně možný objem úložného prostoru.

5.5.4 Elektromobilita

Poslední skupinou ukazatelů jsou parametry specifické pro elektromobily. Prvním kritériem je **doba nabíjení**. Na úvod je třeba uvést, že zákazník očekává, že doba nabití bude co nejkratší (tedy minimalizační podmínka). Na základě této skutečnosti bude pro výpočet zahrnuto DC nabíjení, které je dle výše uvedeného právě rychlejším procesem. Dalším předpokladem pro výpočet doby nabíjení je rychlost výkonu DC nabíjecích stanic. V rámci výpočtů bude použit jeden výkon nabíjení, který je určen dle nejrozsáhlejšího celkového počtu DC dobíjecích stanic na území ČR (dle kapitoly 1.2 se v tomto případě jedná o 50 kW). Výrobci u svých elektromobilů uvádí maximálně možné hodnoty, avšak bez dostatečného pokrytí infrastruktury nelze v současné době těchto hodnot dosáhnout. Posledním faktem jsou uvedené doby nabíjení v rámci DC, kdy výrobci uvádí stav nabití kapacity baterie na úroveň 80 % (nabíjení konstantním proudem do fáze dosažení konstantního napětí). Výpočet doby nabíjení bude vycházet ze vztahu (9):

$$t_{(\min)} = \frac{C_{(kWh)} * 0,8}{P_{(kW)}} * 60 , \quad (9)$$

kdy $t_{(\min)}$ značí celkový čas potřebný na nabití akumulátoru na 80 % v minutách, $C_{(kWh)}$ uvádí netto kapacitu akumulátoru v kWh a $P_{(kW)}$ uvádí výkon DC nabíjecí stanice. Dalším kritériem v oblasti elektromobility je **dojezd** elektromobilu na jedno úplné nabití baterie. V tomto případě je cílem dosáhnout maximálního dojezdu bez potřeby vyhledání nabíjecí stanice. Hodnota dojezdu je uvedena v km. Posledním kritériem je kombinovaná **spotřeba elektropohonu**. Obdobně, jako je tomu u spalovacích motorů, je i zde kladen důraz na co nejnižší hodnotu. Údaje jsou uvedeny dle standardizovaných WLTP hodnot, a to v jednotce kWh/100 km.

Kompletní srovnání relevantních parametrů elektromobilů z pohledu všech zmiňovaných kritérií je představeno v rámci přílohy 4.

5.6 Definice postupu pro získání relevantních kritérií

Následující blok výkladu se již bude zaměřovat na získání nutných informací pro stanovení vah pro výše představená kritéria. Jak již bylo zmíněno v rámci stanovení rozhodovacího problému, tak budou jednotlivá kritéria ohodnocena během individuálních hodnotících rozhovorů aktivních uživatelů vozidel, kteří splňují minimálně jednu podmínku charakteru svého vozidla (segment SUV, prémiová třída, vozidlo s elektrickým pohonem), zástupcem prodejní sítě prémiových elektromobilů a zástupcem z distribuční sítě pro elektrickou energii. Kategorie ve skupině ukazatelů „elektromobilita“ budou respondenty hodnoceny jak v případě, kdy elektromobil vlastní, tak i v případě, kdy nejsou vlastníkem. Rozhovor bude vždy veden tak, že hlavním cílem bude zjištění důležitosti daného kritéria (např. důležitost v případě pořízení elektromobilu). Otázky pro rozhovory budou předem jednotně stanoveny dle přílohy 5.

6 Realizační fáze projektu

Dle projektového plánu budou v realizační fázi stanoveny váhy hodnotících kritérií ze získaných informací od respondentů. Poté proběhne výpočetní část, tedy aplikace metod WSA a TOPSIS.

6.1 Stanovení vah hodnocených kritérií

Váhy hodnocených kritérií byly získány na základě vedených rozhovorů, které probíhaly v časovém období od 7. 9. do 2. 10. 2020 převážně na místě výkonu práce respondenta nebo vzdálenou formu přes aplikaci Skype. Každý rozhovor byl naplánován na 30 min, přičemž časová dotace byla vždy dostatečně naplněna.

Informace týkající se vozidel majitelů a kategorizace vozidel jsou představeny v tabulce 6. Veškerá vozidla slouží majitelům pro služební i soukromé účely (vyjma respondentky č. 8, která využívá své vozidlo pouze pro soukromou potřebu).

Tab. 6 Vstupní konfigurace analyzovaných vozidel

Č.	Pohlaví	Model vozu	SUV	BEV/PHEV	Premium
1	Muž	Škoda Kodiaq	X		
2	Muž	Škoda Kodiaq	X		
3	Muž	Škoda Kodiaq RS	X		
4	Muž	Škoda Superb PHEV		X	
5	Muž	Dodge RAM	X		X
6	Žena	Mercedes-Benz ML	X		X
7	Muž	BMW i8 Roadster		X	X
8	Žena	Hyundai Kona Electric		X	
9	Muž	Volkswagen e-Golf		X	
10	Muž	Tesla Model 3		X	X
11	Muž	Tesla Model S		X	X

První oblast rozhovorů, tedy individuální strukturované rozhovory s respondenty obsahovaly otázky týkající se vlastnictví a užívání vozidla s ohledem na zkoumané kategorie (značka, segment, pohon, pozitiva a negativa vlastněného vozu). Další blok otázek se zabýval samotnou elektromobilitou, primárně s ohledem na důvody pořízení, případně nepořízení a s tím spojené pozitivní a negativní zkušenosti. Poslední blok rozhovoru shrnul bodování kritérií, která byla předem pevně stanovena. Každý respondent ohodnotil kritéria na stupnici od 1 do 10 body, kterými vyjádřil svojí úroveň důležitosti navrhnutých kritérií (čím nižší bodové hodnocení,

tím nižší důležitost a naopak). Počet bodů udělených v rámci 11 stanovených kritérií bylo možno opakovat (například 7 bodů mohlo být uděleno pro 2 nebo více kategorií), díky kterému mohlo být dosažena suma 1 210 bodů od všech 11 hodnotících respondentů.

Celkový počet získaných bodů v rámci bodového hodnocení je 844 (70 % z celkových možných bodů). Při pohledu na preference v rámci skupin kritérií je pro uživatele nejdůležitější jejich bezpečnost a komfort (29,38 %) avšak téměř identické významnosti dosahuje skupina, která se zaměřuje na elektromobilitu (29,27 %). Na třetím místě se umístily ekonomické a provozní parametry (26,54 %) a s výrazným odstupem rozměrové a hmotnostní vlastnosti vozidel (14,81 %). Při pohledu na jednotlivá kritéria obdržela úroveň bezpečnosti nejvyšší počet bodů (normovaná váha 0,1078), která byla těsně následována kritérii ze skupiny elektromobility, a to dojezd vozidla (0,1055) a doba nabíjení (0,1019). Výsledné váhy jednotlivých skupin a kritérií jsou představeny v rámci přílohy 6, jejich součet je roven 1.

Druhá oblast rozhovorů byla již vedena s prodejcem, tedy z oblasti prémiových vozidel (SUV, elektromobily) a distributorem elektrické energie.

V případě zástupce prodejny prémiových vozidel se zákazníci primárně zajímají o pocit prestiže a volby značky, která je právě pro ně oblíbená (v případě této práce se jedná o neměřitelné hodnoty). Další důraz je dle prodejce kladen na bezpečnost vozidla, asistenční a komfortní systémy a přístup k servisním službám. Pořizovací cena vozidel se v rámci prémiových elektromobilů a SUV nachází skutečně až na dalších pozicích zájmu. Zajímavou informací z rozhovoru byla oblast poradenství v případě elektromobilů. Prodejce zmínil, že je vhodnou strategií oddělit prodejní místa, tedy neprodávat konvenční modely a elektromobily v rámci jednoho zákaznického centra.

Z pohledu distributora elektrické energie je pro zákazníka nejdůležitější spotřeba elektromobilu a s tím spojená otázka, jaká je nabídka zvýhodněných tarifů jednotlivých distributorů. Tarify mohou být nastaveny tak, že lze předplatit předem stanovený objem kWh pro nabíjení vozidla (za zvýhodněnou cenu) a k tomu zahrnout výdaje elektrické energie určené pro domácnost. Zákazníci dále řeší otázku týkající se domácího nabíjení a s tím spojenou investici do domácího

wallboxu. Posledním důležitým aspektem je dostatečné pokrytí infrastruktury nabíjecích stanic.

Na základě těchto informací lze pouze potvrdit, že kritéria, jako jsou bezpečnost vozu, asistenční a komfortní systémy nebo právě oblasti elektromobility byla zvolena vhodně.

6.2 Aplikace metody WSA

První aplikovanou metodou vícekritériálního hodnocení je metoda váženého součtu (WSA). Vlastní výpočet je realizován v programu Microsoft Excel (viz příloha 7), který je doplněn o závěrečnou validaci pomocí výpočetního algoritmu Sanna (viz příloha 8). Tabulka 7 již představuje řazení výsledných řešení podle užítku u od nejvyšší po nejnižší hodnoty včetně stanovení kompromisního řešení.

Tab. 7 Výsledky vícekritériálního hodnocení – metoda WSA

Model elektromobilu	u (hodnota užítku)	Pořadí
Tesla Model X	0,7180	Kompromisní řešení
Mercedes-Benz EQC	0,4559	2.
Audi e-Tron	0,3676	3.
Jaguar I-Pace	0,3572	4.

Z výpočtů dle metody WSA je patrné, že v rámci srovnání čtyř elektromobilů je kompromisním řešením vůz Tesla Model X, který je následován vozem Mercedes-Benz EQC. Třetí vůz v pořadí je Audi e-Tron, přičemž poslední místo obsadil Jaguar I-Pace.

6.3 Aplikace metody TOPSIS

Jako druhým aplikovaným přístupem byla definována metoda vzdálenosti od fiktivní varianty (TOPSIS). Obdobně jako u metody WSA byl výpočet realizován v programu Microsoft Excel včetně ověření správnosti výsledků za pomocí doplňku Sanna (viz přílohy 7 a 8). Výsledné hodnoty ukazatele vzdáleností variant od ideální varianty c jsou seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu do tabulky 8.

Tab. 8 Výsledky vícekriteriálního hodnocení – metoda TOPSIS

Model elektromobilu	c (rel. ukazatel vzdálenosti variant od ideální varianty)	Pořadí
Tesla Model X	0,7221	Kompromisní řešení
Audi e-Tron	0,3197	2.
Mercedes-Benz EQC	0,2698	3.
Jaguar I-Pace	0,2259	4.

Výsledky metody TOPSIS představují shodné kompromisní řešení, jako tomu je v případě aplikace metody WSA. V tomto případě se tedy jedná o elektromobil Tesla Model X. Změna nastává v případě vozidel na druhé a třetí pozici. Na druhém místě se zde umístil model Audi e-Tron, přičemž Mercedes-Benz EQC zaujímá třetí pozici. Poslední místo obsadil obdobně jako v případě metody WSA model Jaguar I-Pace. Získané výsledky budou detailněji interpretovány v závěrečné fázi projektu.

7 Vyhodnocovací fáze

7.1 Výběr vhodného elektromobilu

Ze všech analyzovaných vozidel lze v případě obou aplikovaných metod elektromobil **Tesla Model X** právem označit jako **kompromisní řešení** této studie.

V rámci metody WSA dominovalo vozidlo se svými vstupními hodnotami v 8 z 11 požadavcích, což vedlo k dosažení vysoké hodnoty užitku ($u = 0,7180$). Při pohledu na stanovení užiteků kritérií dosahovala Tesla v osmi případech ideální varianty. U zbývajících 3 kritérií se jednalo vždy o bazální variantu daného kritéria, a to v případě nejvyšší pořizovací ceny, v celkovém počtu prémiových komfortních systémů a v případě doby nabíjení akumulátoru. Při detailnějším zamyšlení lze nejvyšší pořizovací cenu okomentovat nejen v segmentu luxusních elektrických SUV tak, že právě ona kompenzuje 8 dalších preferovaných kritérií, které jí pomohly k dosažení kompromisního řešení. S odstupem přes 35 % se s celkovou hodnotou užitku umístil model Mercedes-Benz EQC ($u = 0,4559$) na druhém místě. Tento model dosáhl nejvyššího počtu bazálních variant (celkem 4), avšak dokázal v kritériích s vysokou vahou ztrátu dohnat, především u kritérií doby nabíjení a kombinované spotřeby. Vozidlo Audi e-Tron, které se umístilo na třetím místě ($u = 0,3676$), obdrželo nejvyšší hodnoty užitku v kategorii komfortních systémů, čímž dosáhlo v rámci této analýzy jediné ideální varianty ze stanovených kritérií. Další silnou stránku tohoto modelu je prostor v oblasti zavazadlového prostoru a prostoru Frunk. Na posledním místě hodnocení se umístil vůz Jaguar I-Pace ($u = 0,3676$). V rámci stanovených kritérií tento model nedosáhl žádné ideální varianty, avšak se na této pozici umístil jen těsně za Audi. Silnou stránkou tohoto vozidla jsou kritéria z oblasti elektromobility, tedy krátká doba nabíjení, dojezd na jedno nabití a nízká spotřeba v porovnání s bazální variantou.

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, tak se na prvním místě i v případě metody TOPSIS umístil vůz Tesla Model X s hodnotou relativního ukazatele 0,7721. Druhé místo obsadil v tomto případě elektromobil Audi e-Tron a na třetím místě se umístil Mercedes-Benz EQC. Poslední pozice, která patří modelu Jaguar I-Pace, zůstává beze změny a je shodná s metodou WSA.

Z výše získaných poznatků lze shrnout, že pokud chtějí rozhodovatele dosáhnout rychlejší odpovědi na otázku, který z uvedených vozidel je tou neoptimálnější

volbou, tak se doporučuje aplikovat přístup metody váženého pořadí. Tím je dosaženo srozumitelné interpretace při nízké výpočetní náročnosti. Nevýhodou je nezohlednění rozdílů kriteriálních hodnot parametrů. Pokud rozhodovatel disponuje vyšší časovou dotací, tak lze díky metodě TOPSIS dosáhnout vyšší validity celkového hodnocení.

V případě této studie lze pozorovat, že se kompromisní řešení u obou metod neliší. Autor práce uvádí, že tomu je primárně z toho důvodu, že elektromobil Tesla Model X vskutku dominoval svými parametry ve většině hodnocených kritérií. Tím pádem je v této situaci metoda WSA dostačujícím nástrojem. Pokud nastane takový případ, kdy vstupní parametry budou mít zanedbatelné rozdíly, tak je vhodnější volbou metoda TOPSIS, která nabízí detailnější informovanost rozhodovatele napříč všemi analyzovanými hodnotami, respektive kritérii.

Závěr

Tato diplomová práce popisuje rostoucí trend v oblasti elektromobility a s ní spojené aspekty z technického a ekonomického pohledu. Pomocí aplikace vybraných metod z oblasti teorie rozhodování řeší volbu vhodného prémiových elektromobilu z kategorie SUV. Práce byla rozdělena do dvou částí, a to na teoretickou a praktickou.

Teoretická část shrnuje technické, ekonomické a ekologické aspekty elektromobility. Dále charakterizuje proces rozhodování. V závěru je uveden postup vícekriteriálního rozhodování, v rámci něhož jsou stanovena hodnotící kritéria a jejich váhy a aplikovány metody pro hodnocení variant.

Praktická část práce se zaměřila na naplnění hlavního cíle, čímž byl výběr vhodného automobilu ze segmentu luxusních elektrických SUV modelů, který je dostupný na českém trhu a splňuje hlavní požadavky a očekávání zákazníků. Pomocí vhodných postupů, jako je mapování segmentu SUV mezi dalšími obchodními třídami a analýza současného trhu elektromobilů, byla zvolena celkem čtyři vozidla pro detailní šetření (Audi e-Tron, Jaguar I-Pace, Mercedes-Benz EQC a Tesla Model X). Práce stanovuje celkem 11 kritérií pro výběr prémiového vozidla ze segmentu plně elektrických SUV. Bodové hodnocení pro stanovení vah jednotlivých kritérií bylo získáno během individuálních rozhovorů s respondenty. Pomocí dvou aplikovaných metod vícekriteriálního rozhodování (metoda WSA a metoda TOPSIS) byl dosažen hlavní cíl práce, tedy výběru vhodného automobilu ze segmentu luxusních elektrických SUV modelů.

Na první pozici se umístil po aplikaci obou metod elektromobil Tesla Model X a je za stanoveného rámce doporučenou volbou v rámci diplomové práce. Druhé a třetí místo se liší v závislosti na aplikované výpočetní metodě. V případě metody WSA obsadil model Mercedes-Benz EQC druhou pozici, přičemž se na třetím místě umístil vůz Audi e-Tron. U metody TOPSIS si poslední dvě jmenovaná vozidla vyměňují své pozice z důvodu odlišného postupu výpočtu. Na poslední pozici se umístilo v rámci obou aplikovaných metod vozidlo Jaguar I-Pace.

Seznam literatury

Knihy a monografické publikace:

EISELT, H. a C. SANDBLOM. *Operations Research. A Model – Based Approach*. 2. vyd. Heidelberg: Springer, 2012. 464 s. ISBN 978-3-642-31053-9.

FÁBRY, J. *Matematické modelování*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2011. 180 s. ISBN 978-80-7431-066-9.

FOTR, J. a L. ŠVECOVÁ A KOL. *Manažerské rozhodování. Postupy, metody a nástroje*. 3. vyd. Praha: Ekopress, 2016. 474 s. ISBN 978-80-87865-33-0.

GAMAN, P. *S elektrickým pohonem do budoucnosti*. Praha: Pegatech s.r.o., 2020. Neoznačený materiál.

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilových škol*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2012. 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.

CHMELÍK, T. *Elektromobilita z pohledu energetiky*. Praha: ČET, a.s., 2020. Neoznačený materiál.

JABLONSKÝ J. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2011. 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3.

KARLE, A. *Elektromobilität. Grundlagen und Praxis*. 4. vyd. Mnichov: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2020. 240 s. ISBN 978-3-446-46078-2.

KOVANDA, J. A KOL. *Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. 242 s. ISBN 978-80-01-05893-0.

ŠTĚDRŇ, B. A KOL. *Manažerské rozhodování v praxi*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2015. 275 s. ISBN 978-80-7400-587-9.

Webové stránky:

ADAC, *adac.de* [online]. Autokatalog – Automarken & Modelle, 2020 [2020-XX-XX]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle>

Audi.cz [online]. Audi e-Tron – Ceníky a katalogy, 2020 [2020-XX-XX]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/e-tron-rozcestnik/e-tron-s/ceniky-a-katalogy>

Argue, Ch., geotab.com [online]. What can 6.000 electric vehicles tell us about EV battery health? 2020 [2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>

Autobible.cz [online]. Škoda Karoq – 1.5 TSI (150 k), 2020 [2020-10-01]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/katalog/skoda/karoq/karoq/1-5-tsi-150-hp/27142>

Březinová, J., elektrina.cz [online]. Kolik stojí nabíjení elektromobilů? 2020 [2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/kolik-stoji-nabijeni-elektromobilu>

Carsalesbase.com [online]. Europe EV segment, 2020 [2020-10-XX]. Dostupné z: <https://carsalesbase.com/category/car-sales-europe/europe-by-segment/ev-segment/>

Enel X, evcharging.enelx.com [online]. The Different EV Charging Connector Types, 2019 [2019-04-20]. Dostupné z: <https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types>

Euroncap.com [online]. The European New Car Assessment Programme, 2020 [2020-XX-XX]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en>

European Automobile Manufacturers Association, acea.be [online]. Electric vehicles: tax benefits and purchase incentives, 2020 [2020-07-09]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/Electric_vehicles-Tax_benefits_purchase_incentives_European_Union_2020.pdf

EVMAPA, evmapa.cz [online]. Mapa dobíjecích stanic pro elektromobily, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://www.evmapa.cz/>

Evropská komise, ec.europa.eu [online]. CO2 emission performance standards for cars and vans (2020), 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en

Greenspeed.de [online]. 2020 Tesla-Autopilot – Übersicht & Vergleich [2020-XX-XX]. Dostupné z: <https://greenspeed.de/ausstattung/tesla-autopilot-uebersicht-vergleich/>

Hamalčíková, K., elektrina.cz [online]. Dotace na elektromobily 2020: Jaguar I-Pace či Teslu X už firmy musí pořídít bez dotace, 2019 [2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/dotace-na-elektromobily-2020-vyse-dotace-5-dotacni-vyzva>

Horčík, J., hybrid.cz [online]. Baterie elektromobilů Tesla Model 3 má životnost 800 000 km, tvrdí Elon Musk, 2019 [2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/baterie-elektromobilu-tesla-model-3-ma-zivotnost-800-000-km-tvrdi-elon-musk>

International Council On Clean Transportation, theicct.org [online]. CO₂ Emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles in the European Union, 2019 [2019-01-01]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-LCV-CO2-2030-ICCTupdate_201901.pdf

International Council On Clean Transportation, theicct.org [online]. European Vehicle Market Statistics, 2020 [2020-10-XX]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/European_vehicle_market_statistics_20192020_20191216.pdf

Jaguar.cz [online]. Jaguar I-Pace – Katalogy a ceníky, 2020 [2020-10-XX]. Dostupné z: <https://www.jaguar.cz/request-a-brochure/index.html>

Kadula, L., cdv.cz [online]. Tisková zpráva, 2020 [2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/tz-v-roce-2019-se-o-ctvrtinu-zvysil-pocet-osobnich-vozidel-s-externim-nabijenim/>

Kampf, R., dk.upce.cz [online]. Vícekriteriální rozhodování – metoda WSA, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/32111/CL377.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

KIA MOTORS, kia.cz [online]. Kia Ceed, 2020 [2020-10-01]. Dostupné z: <https://www.kia.com/cz/modely/ceed/>

KIA MOTORS, kia.cz [online]. Kia XCeed, 2020 [2020-10-01]. Dostupné z: www.kia.com/cz/modely/xceed

Korviny, P., *korviny.cz* [online]. Teoretické základy vícekriteriálního rozhodování, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: https://korviny.cz/Korviny/soubory/teorie_mca.pdf

Machala, M., *auto.cz* [online]. Škoda Octavia 1.5 TSI 110 kW – Podruhé a líc. O hodně, 2020 [2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/skoda-octavia-1-5-tsi-110-kw-podruhe-a-lip-o-hodne-134168?kapitola=1>

Mercedes-Benz [online]. Mercedes-Benz EQC oficiální ceník, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/ceniky/ceniky.module.html>

Nissan.cz [online]. Technologie Vehicle To Grid, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/experience-nissan/inteligentni-mobilita.html>

Sajdl, J., *autolexicon.net* [online]. Užitečná hmotnost, 2020 [2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/uzitecna-hmotnost/>

Sdružení dovozců automobilů ČR, *Sda-cia.cz* [online]. Registrace vozidel v ČR, 2020 [2020-10-02]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?p#str=prehled>

Sdružení dovozců automobilů ČR, *Sda-cia.cz* [online]. Přehled obchodních tříd, 2020 [2020-09-30]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/clanek.php?id=4000>

Shankleman, J., *bloomberg.com* [online]. The Electric Car Revolution Is Accelerating, 2017 [2017-07-06]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-07-06/the-electric-car-revolution-is-accelerating>

Srb, L., *elektrickevozy.cz* [online]. Německo zvyšuje dotace na elektromobily, 2020 [2020-06-04]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/nemecko-zvysuje-dotace-na-elektromobily>

ŠKODA AUTO a.s., *skoda-auto.cz* [online]. CITIGO^e iV, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigoe-iv>

ŠKODA Storyboard, *skoda-storyboard.com* [online]. Dotace na nákup, nulová daň nebo žádné mýtné aneb jak podpořit emobilitu, 2019 [2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/dotace-na-nakup-nulova-dan-nebo-zadne-mytne-aneb-jak-podporit-emobilitu/>

Tesla.com [online]. Model X – oficiální stránky výrobku [2020-XX-XX]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/modelx

Volkswagen Group, volkswagen.cz [online]. Bezpečnost při používání elektromobilu: otázky a odpovědi, 2020 [2020-08-XX]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/elektricke-vozy/vse-o-elektromobilite/bezpecnost-pri-pouzivani-elektromobilu-otazky-a-odpovedi>

Wieler, J., adac.de [online]. Stromverbrauch Elektroautos: Aktuelle Modelle im ADAC Test, 2020 [2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

Wieler, J., adac.de [online]. SUV gegen Standardmodell – was ist die bessere Wahl, 2019 [2019-09-26]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/kauf Tipps/suv-standardmodell-vergleich/>

Woodward, M., deloitte.com [online]. New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles, 2019 [2019-XX-XX]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Vývoj emisních cílů do roku 2030	11
Obr. 2 Typy základních elektrických pohonů	13
Obr. 3 Princip AC/DC nabíjení.....	16
Obr. 4 Standardizace nabíjecích systémů	18
Obr. 5 Slučitelnost fotovoltaiky a elektromobilu	20
Obr. 6 Nákladové srovnání elektromobilu a spalovacího motoru	22
Obr. 7 Mapa dobíjecích stanic v České republice	23
Obr. 8 Technologie Nissan Vehicle to Grid	27
Obr. 9 Etapy rozhodovacího procesu	30
Obr. 10 Tržní podíly vozidel dle obchodních tříd v ČR 2019	46
Obr. 11 Vývoj tržních podílů vozidel dle obchodních tříd v ČR 2015-2019.....	46
Obr. 12 Vývoj počtů prodaných vozidel na území EU 2013-2019	49
Obr. 13 Vývoj počtů prodaných vozidel na území ČR 2013-2019	50
Obr. 14 Audi e-Tron: Exteriér a interiér	54
Obr. 15 Jaguar I-Pace: Exteriér a interiér	55
Obr. 16 Mercedes-Benz: Exteriér a interiér	57
Obr. 17 Tesla Model X: Exteriér a interiér	58
Obr. 18 Strom hodnotících kritérií.....	60

Seznam tabulek

Tab. 1 Plán projektu	42
Tab. 2 Přehled segmentů a subsegmentů třídy SUV dle SDA	45
Tab. 3 Nejprodávanější vozidla BEV v Evropě v roce 2019	51
Tab. 4 Nejprodávanější vozidla BEV v České republice v roce 2019	52

Tab. 5 Vstupní konfigurace analyzovaných vozidel	53
Tab. 6 Vstupní konfigurace analyzovaných vozidel	64
Tab. 7 Výsledky vícekriteriálního hodnocení – metoda WSA	66
Tab. 8 Výsledky vícekriteriálního hodnocení – metoda TOPSIS	67

Seznam příloh





Příloha 1 Srovnání technických parametrů elektromobilů	79
Příloha 2 Přehled asistenčních a komfortních systémů	80
Příloha 3 Obsah funkcí Autopilot 3.0	81
Příloha 4 Srovnání hodnocených elektromobilů	82
Příloha 5 Struktura otázek pro rozhovor s respondenty	83
Příloha 6 Výsledné stanovení vah skupin a kritérií	84
Příloha 7 Vícekriteriální hodnocení – výpočet dle metody WSA.....	85
Příloha 8 Metoda WSA - validace výsledků v Sanna.....	86
Příloha 9 Vícekriteriální hodnocení – výpočet dle metody TOPSIS.....	87
Příloha 10 Metoda TOPSIS - validace výsledků v Sanna.....	88

Příloha 1 Srovnání technických parametrů elektromobilů

Audi e-Tron		Jaguar I-Pace		Mercedes-Benz EQC		Tesla Model X	
							
Model	E-Tron (GE)	Model	I-Pace EV400	Model	EQC 400 (293)	Model	Model X
Typ	S quattro	Typ	HSE AWD	Typ	AMG Line 4MATIC	Typ	Performance
Základní cena typu	2 452 900,- Kč	Základní cena typu	2 511 355,- Kč	Základní cena typu	2 028 148,- Kč	Základní cena typu	2 926 200,- Kč
Model od	03/19	Model od	10/18	Model od	06/19	Model od	06/16
Třída vozidla	E-SUV	Třída vozidla	C-SUV	Třída vozidla	C-SUV	Třída vozidla	E-SUV
Motor		Motor		Motor		Motor	
Název	S quattro	Název	EV400	Název	400 4MATIC	Název	Performance
Typ	Atmosférický	Typ	Atmosférický	Typ	Atmosférický	Typ	Atmosférický
Točivý moment	973 Nm	Točivý moment	696 Nm	Točivý moment	760 Nm	Točivý moment	525 Nm
Pohon	4x4	Pohon	4x4	Pohon	4x4	Pohon	4x4
Druh pohonné hmoty	Elektřina	Druh pohonné hmoty	Elektřina	Druh pohonné hmoty	Elektřina	Druh pohonné hmoty	Elektřina
Stavba motoru	Asynchronní	Stavba motoru	Permanent-Synchron	Stavba motoru	Asynchronní	Stavba motoru	Asynchronní
Výkon	370 kW	Výkon	294 kW	Výkon	300 kW	Výkon	449 kW
Max. rychlost	210 km/h	Max. rychlost	200 km/h	Max. rychlost	180 km/h	Max. rychlost	250 km/h
Zrychlení 0/100 km/h	4,5 s	Zrychlení 0/100 km/h	4,8 s	Zrychlení 0/100 km/h	5,1 s	Zrychlení 0/100 km/h	2,8 s
Rozměry a hmotnosti		Rozměry a hmotnosti		Rozměry a hmotnosti		Rozměry a hmotnosti	
Délka	4 901 mm	Délka	4 682 mm	Délka	4 762 mm	Délka	5 037 mm
Výška	1 629 mm	Výška	1 565 mm	Výška	1 624 mm	Výška	1 626 mm
Šířka	1 935 mm	Šířka	1 895 mm	Šířka	1 884 mm	Šířka	2 070 mm
Rozvor	2 928 mm	Rozvor	2 990 mm	Rozvor	2 873 mm	Rozvor	2 965 mm
Objem zav. prostoru	660 l	Objem zav. prostoru	638 l	Objem zav. prostoru	500 l	Objem zav. prostoru	2 180 l (5 sedaček)
Objem Frunk	60 l	Objem Frunk	27 l	Objem Frunk	0 l	Objem Frunk	187 l
Hmotnost	2 695 kg	Hmotnost	2 208 kg	Hmotnost	2 495 kg	Hmotnost	2 487 kg
Max. užitná hmotnost	550 kg	Max. užitná hmotnost	462 kg	Max. užitná hmotnost	445 kg	Max. užitná hmotnost	633 kg
Světlná výška	172 mm	Světlná výška	142 mm	Světlná výška	97 mm	Světlná výška	223 mm
Spotřeba, akumulátor		Spotřeba, akumulátor		Spotřeba, akumulátor		Spotřeba, akumulátor	
Kombinovaná (WLTP)	26,8 kWh/100km	Kombinovaná (WLTP)	23,0 kWh/100km	Kombinovaná (WLTP)	22,6 kWh/100km	Kombinovaná (WLTP)	22,6 kWh/100km
Brutto kapacita aku	95 kWh	Brutto kapacita aku	90 kWh	Brutto kapacita aku	85 kWh	Brutto kapacita aku	100 kWh
Netto kapacita aku	86 kWh	Netto kapacita aku	84,70 kWh	Netto kapacita aku	80 kWh	Netto kapacita aku	-
Dojezd	360 km	Dojezd	470 km	Dojezd	413 km	Dojezd	487 km
AC – typ konektoru	Type 2	AC – typ konektoru	Type 2	AC – typ konektoru	Type 2	AC – typ konektoru	Type 2
AC – nabíjecí funkce	1-fázový, 3-fázový	AC – nabíjecí funkce	1-fázový, 3-fázový	AC – nabíjecí funkce	1-fázový	AC – nabíjecí funkce	3-fázový
AC nabíjecí výkon	2,3-11,0 kW	AC nabíjecí výkon	2,3-11,0 kW	AC nabíjecí výkon	2,3-7,4 kW	AC nabíjecí výkon	2,3-16,5 kW
AC doba nabíjení	9 hod	AC doba nabíjení	8,6 hod	AC doba nabíjení	11 hod	AC doba nabíjení	7 hod
DC – typ konektoru	CCS	DC – typ konektoru	CCS	DC – typ konektoru	CCS	DC – typ konektoru	CCS, Tesla S-CH
DC nabíjecí výkon	50 kW	DC nabíjecí výkon	100 kW	DC nabíjecí výkon	110 kW	DC nabíjecí výkon	200 kW
DC doba nabíjení	30 min (80 %)	DC doba nabíjení	45 min (80 %)	DC doba nabíjení	40 min (80 %)	DC doba nabíjení	38 min (80 %)
Dojezd	360 km	Dojezd	470 km	Dojezd	413 km	Dojezd	487 km
Bezpečnost EuroNCAP		Bezpečnost EuroNCAP		Bezpečnost EuroNCAP		Bezpečnost EuroNCAP	
Celkové hodnocení	5 hvězd	Celkové hodnocení	5 hvězd	Celkové hodnocení	5 hvězd	Celkové hodnocení	5 hvězd
Ochrana dospělých	91 %	Ochrana dospělých	91 %	Ochrana dospělých	96 %	Ochrana dospělých	98 %
Ochrana dětí	85 %	Ochrana dětí	81 %	Ochrana dětí	90 %	Ochrana dětí	81 %
Ochrana chodců	71 %	Ochrana chodců	73 %	Ochrana chodců	75 %	Ochrana chodců	72 %
Asistenční systémy	76 %	Asistenční systémy	81 %	Asistenční systémy	75 %	Asistenční systémy	94 %
Počet airbagů	6	Počet airbagů	6	Počet airbagů	6	Počet airbagů	5

Zdroj: ADAC, 2020

Příloha 2 Přehled asistenčních a komfortních systémů

Audi e-Tron		Jaguar I-Pace		Mercedes-Benz EQC		Tesla Model X	
							
Asistenční systémy		Asistenční systémy		Asistenční systémy		Asistenční systémy	
Asistent brzdění	X	Asistent brzdění	X	Asistent brzdění	X	Asistent brzdění	X
Predikce čelního nárazu	X	Predikce čelního nárazu	X	Predikce čelního nárazu	X	Predikce čelního nárazu	X
Predikce bočního nárazu	-	Predikce bočního nárazu	-	Predikce bočního nárazu	-	Predikce bočního nárazu	X
Adaptivní tempomat	X	Adaptivní tempomat	X	Adaptivní tempomat	X	Adaptivní tempomat	X
Inteligent. světlomety	X	Inteligent. světlomety	X	Inteligent. světlomety	X	Inteligent. světlomety	X
Asistent jízdních pruhů	X	Asistent jízdních pruhů	X	Asistent jízdních pruhů	X	Asistent jízdních pruhů	X
Pilotovaná změna jízdních pruhů	-	Pilotovaná změna jízdních pruhů	-	Pilotovaná změna jízdních pruhů	-	Pilotovaná změna jízdních pruhů	X
Rozpoznání dopravních značek	X	Rozpoznání dopravních značek	X	Rozpoznání dopravních značek	X	Rozpoznání dopravních značek	X
Rozpoznání semaforů	-	Rozpoznání semaforů	-	Rozpoznání semaforů	-	Rozpoznání semaforů	X
Hlídkání mrtvého úhlu	X	Hlídkání mrtvého úhlu	X	Hlídkání mrtvého úhlu	X	Hlídkání mrtvého úhlu	X
Zpětná kamera 360°	X	Zpětná kamera 360°	X	Zpětná kamera 360°	X	Zpětná kamera 360°	X
Parkovací asistent	X	Parkovací asistent	X	Parkovací asistent	X	Parkovací asistent	X
Pilotovaná jízda a přivolání vozu	-	Pilotovaná jízda a přivolání vozu	-	Pilotovaná jízda a přivolání vozu	-	Pilotovaná jízda a přivolání vozu	X
Rozpoznání chodců	X	Rozpoznání chodců	X	Rozpoznání chodců	X	Rozpoznání chodců	-
Rozpoznání únavy	X	Rozpoznání únavy	X	Rozpoznání únavy	-	Rozpoznání únavy	-
Asistent nočního vidění	X	Asistent nočního vidění	-	Asistent nočního vidění	-	Asistent nočního vidění	-
Dálniční asistent	-	Dálniční asistent	-	Dálniční asistent	-	Dálniční asistent	X
CELKEM	12	CELKEM	11	CELKEM	10	CELKEM	14
Premiové komfortní systémy		Premiové komfortní systémy		Premiové komfortní systémy		Premiové komfortní systémy	
Digitální zpětná zrcátka		Adaptivní pneumatické odpružení podvozku		Head-Up displej s rozšířenou realitou		Křídlové dveře Falcon Wing Doors	
Head-Up displej s rozšířenou realitou		Informační systém PIVI PRO		Příprava elektromobilu pro Car-Sharing		Automatické otevírání, zavírání bočních dveří	
OLED technologie infotainmentu		Head-Up displej		Řízení vozu dle GLONASS		Adaptivní pneumatické odpružení podvozku	
Haptická odezva dotykových displejů		Sound System Meridian		Multimediální systém pro zadní posádku		7-místné provedení sedaček	
Projekce obrazů světlometů na vozovku		Odvětrávání předních sedadel		Masážní funkce předních sedadel		Sound System	
Ionizátor vzduchu s parfémem		Dálkové ovládání garážových vrat		Odvětrávání předních sedadel		Nové funkce AP vozidla během život. cyklu	
Klimatizace s detekcí obsazeného místa		Ionizátor vzduchu		Komfortní program ENERGIZING		Dálkové ovládání garážových vrat	
Masážní funkce předních sedadel				Sound System Burmester			
Odvětrávání předních sedadel				Ionizátor vzduchu s parfémem			
Nezávislá komfortní klimatizace				Bezdotykové ovládání interiéru			
3D Sound System Bang & Olufsen							
CELKEM	11	CELKEM	7	CELKEM	10	CELKEM	7





Zdroj: ADAC, 2020

Příloha 3 Obsah funkcí Autopilot 3.0

Verze Autopilotu (AP)	AP 1.0	AP 2.0	AP 2.5	AP 3.0	Plně autonomní potenciál
Asistent udržování vozu v jízdním pruhu s automatickým zatáčením, zrychlení a brždění	X	X	X	X	X
Adaptivní tempomat s distanční regulací	X	X	X	X	X
Protikolizní systém	X	X	X	X	X
Varovná funkce čelního a bočního nárazu	X	X	X	X	X
Hlídní jízdního pruhu s alarmem	X	X	X	X	X
Automatická změna jízdního pruhu za pomoci ukazatele směru na dálnici	X	X	X	-	X
Automatické parkování	X	X	X	-	X
Přivolání vozidla včetně automatického otvírání a zavírání garážových vrat	X	X	X	-	X
Inteligentní přivolání vozidla do odstupe max. 50 metrů	-	X (USA)	X (USA)	-	X (EU 6 m)
Mód hlídání vozidla bez nahrávání videa	-	X	X	X	X
Mód hlídání vozidla včetně nahrávání videa	-	-	X	X	X
Funkce černé skříně „Dashcam“	-	-	X	X	X
Kompletně automatická změna jízdního pruhu na dálnicích	-	X	X	-	X (USA)
Automatické navigování na dálničních křižení	-	X	X	-	X
Automatické najíždění a sjíždění z/na dálnici	-	X	X	-	X
Rozpoznání dopravních značek (rychlostní)	X	-	-	-	-
Rozpoznání dopravních značek (Stůj)	-	-	-	X	X
Rozpoznání semaforů	-	-	-	X	X
Možnost budoucího plně autonomního řízení	-	X	X	X	X

Zdroj: Greenspeed, 2020

Příloha 4 Srovnání hodnocených elektromobilů

	 Audi e-Tron	 Jaguar I-Pace	 Mercedes-Benz EQC	 Tesla Model X	
Skupina	Kritéria	Audi e-Tron	Jaguar I-Pace	Mercedes-Benz EQC	Tesla Model X
Ekonomické a provozní parametry	Pořizovací cena (Kč)	2 452 900	2 511 355	2 028 148	2 926 200
	Výkon motoru (kW)	370	294	300	449
	Zrychlení 0-100 km/h (s)	4,5	4,8	5,1	2,8
	Asistenční systémy (počet ks)	12	11	10	14
Bezpečnost a komfort	Bezpečnost* (%)	81	82	84	86
	Přímiové komfortní systémy (počet ks)	11	7	10	7
	Maximální užitná hmotnost (kg)	550	462	445	633
Rozměry a hmotnost	Objem zavazadlového prostoru (l)	720	665	500	2367
	Doba nabíjení** (min)	83	81	77	96
	Dojezd (km)	360	470	413	487
Elektromobilita	Spotřeba elektropohonu (kWh / 100km)	26,8	23	22,6	22,6

* Průměrná hodnota 4 skupin Euro NCAP
 ** Výpočet 80% kapacity baterie při výkonu 50 kW

Příloha 5 Struktura otázek pro rozhovor s respondenty

Průběh a otázky rozhovoru s respondenty

Úvod

- Seznámení respondenta s cílem diplomové práce
- Seznámení respondenta s konceptem rozhovoru
- Seznámení respondenta s časovou dotací rozhovoru (přibližně 30 min)
- Seznámení respondenta se zachováním anonymity osobních údajů

Rozhovor

Obecné dotazy

Splňuje Vaše vozidlo minimálně 1 z níže uvedených požadavků?

- Segment SUV
- Premiová značka
- Elektrický pohon

Jakou značku a model vozu aktivně využíváte?

K jakému užitku jste pořídil/a Váš vůz?

- Služební
- Soukromý

Jaké hlavní požadavky ovlivnily volbu Vašeho vozu (min. 3 důvody)?

Pokud existují, tak jaké hlavní nevýhody pozorujete na Vašem stávajícím vozidle?

Elektromobilita – uživatel vlastní vůz s elektrickým pohonem

Jaké byly hlavní motivace pořízení vozidla s elektrickým pohonem?

V případě, že byste pořídil/a další elektromobil, změnil/a byste konfiguraci vozidla?

Elektromobilita – uživatel nevlastní vůz s elektrickým pohonem

Zajímá Vás téma elektromobility v automobilovém průmyslu?

Jaké jsou hlavní důvody, že nevlastníte automobil s elektrickým pohonem?

Jaké 3 parametry by v případě pořízení elektromobilu byly pro Vás nejdůležitější?

Bodování kritérií

- Představení tabulky s hodnocenými kritérii a bodové stupnice (1-10, 1 nejméně důležité, 10 nejvíce důležité kritérium, body se smí opakovat)

Pomocný seznam kritérií pro bodové hodnocení

Ekonomické a provozní požadavky	Bezpečnostní a komfortní požadavky	Hmotnostní a rozměrové požadavky	Elektromobilita
Požizovací cena	Bezpečnost	Maximální užitná hmotnost	Doba nabíjení
Výkon motoru	Asistenční systémy	Objem zavazadlového prostoru	Dojezd
Zrychlení 0-100 km/h	Komfortní systémy		Spotřeba

Příloha 6 Výsledné stanovení vah skupin a kritérií

Skupina	Body	Normovaná váha skupiny	Kritéria	Body	Normovaná váha kritéria
Ekonomické a provozní parametry	224	0,2654	Pořizovací cena	72	0,0853
			Výkon motoru	79	0,0936
			Zrychlení 0-100 km/h	73	0,0865
			Asistenční systémy	77	0,0912
Bezpečnost a komfort	248	0,2938	Bezpečnost	91	0,1078
			Premiové komfortní systémy	80	0,0948
			Maximální užitná hmotnost	51	0,0604
Rozměry a hmotnost	125	0,1481	Objem zavazadlového prostoru	74	0,0877
			Doba nabíjení	86	0,1019
Elektromobilita	247	0,2927	Dojezd	89	0,1055
			Spotřeba elektropohonu	72	0,0853
Suma	844	1	Suma	844	1

Příloha 7 Vícekriteriální hodnocení – výpočet dle metody WSA

Metoda WSA														
Vstupní hodnoty														
Požadavek	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
Kritérium	Proizvodci cena Kč	Výkon motoru kW	Zrychlení 0-100 km/h s	Asistenční sys. počet ks	Bezpečnost %	Komfortní sys. počet ks	Užitná hmotnost kg	Objem zav. prostoru l	Doba nabíjení min	Dojezd km	Spotřeba kWh/100 km			
Jednotka														
Audi e-Tron	2452900	370	4,5	12	81	11	550	720	83	360	26,8			
Jaguar I-Pace	2511355	294	4,8	11	82	7	462	665	81	470	23			
Mercedes Benz EQC	2028148	300	5,1	10	84	10	445	500	77	413	22,6			
Tesla Model X	2926200	449	2,8	14	86	7	633	2367	96	487	22,6			
Váha (součet 1)	0,0853	0,0936	0,0865	0,0912	0,1078	0,0948	0,0604	0,0877	0,1019	0,1055	0,0853			
Vytvoření ideální a bazální varianty														
Ideální varianta (H)	2926200	449	5,1	14	86	11	633	2367	96	487	26,8			
Bazální varianta (D)	2028148	294	2,8	10	81	7	445	500	77	360	22,6			
Absolutní hodnota (H-D)	898052	155	2,3	4	5	4	188	1867	19	127	4,2			
Normalizovaná kritériální matice R														
Audi e-Tron	0,527029615	0,490322581	0,260869565	0,5	0	1	0,558510638	0,117836101	0,684210526	0	0	0,866141732	0,904761905	0
Jaguar I-Pace	0,46193873	0	0,130434783	0,25	0,2	0	0,090425532	0,088377076	0,789473684	0,866141732	0	0,417322835	0	1
Mercedes Benz EQC	1	0,088709677	0	0	0,6	0,75	0	0	1	0	1	0	1	1
Tesla Model X	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
Stanovení užitékú kritérií														
Audi e-Tron	0,044956626	0,045894194	0,022565217	0,0456	0	0,0948	0,033734043	0,010334226	0,069721053	0	0	0,086447368	0,091377953	0,07717619
Jaguar I-Pace	0,039403374	0	0,011282609	0,0228	0,02156	0	0,005461702	0,00775067	0,080447368	0,091377953	0	0,044027559	0,0853	0,0853
Mercedes Benz EQC	0,09853	0,003623226	0	0	0,06468	0,0711	0	0	0,1019	0,044027559	0,0853	0	0,1055	0,0853
Tesla Model X	0	0,0936	0,0865	0,0912	0,1078	0	0,0604	0,0877	0	0,1055	0,0853	0,1055	0,1055	0,0853
Váha	0,0853	0,0936	0,0865	0,0912	0,1078	0,0948	0,0604	0,0877	0,1019	0,1055	0,0853	0,1055	0,1055	0,0853
Stanovení celkového užítku varianty														
Audi e-Tron	0,3676 3.													
Jaguar I-Pace	0,3573 4.													
Mercedes Benz EQC	0,4559 2.													
Tesla Model X	0,7180 Kompromisní řešení													

Zdroj: Excel

Příloha 8 Metoda WSA - validace výsledků v Sanna

Metoda váženého součtu - WSA

Aktuální úloha pro 4 varianty a 11 kritérií
 dne 19.10.2020 - 8:03:24

Vstupní data:

	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	Cena	Vykon	Zrychlení	Asist_sys	Bezpečnost	Komfort_sys	Užit_hmotnosilbjem_zav	prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba				
Audi e-tron	2452900	370	4,5	12	81	11	550	720	83	360	26,8			
Jaguar I-Pace	2511355	294	4,8	11	82	7	462	665	81	470	23			
MB EQC	2028148	300	5,1	10	84	10	445	500	77	413	22,6			
Tesla ModelX	2926200	449	2,8	14	86	7	633	2367	96	487	22,6			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			

Upravená vstupní data:

	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	Cena	Vykon	Zrychlení	Asist_sys	Bezpečnost	Komfort_sys	Užit_hmotnosilbjem_zav	prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba				
Audi e-tron	473300	370	0,6	12	81	11	550	720	13	360	0			
Jaguar I-Pace	414845	294	0,3	11	82	7	462	665	15	470	3,8			
MB EQC	898052	300	0	10	84	10	445	500	19	413	4,2			
Tesla ModelX	0	449	2,3	14	86	7	633	2367	0	487	4,2			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			
Ideální	898052	449	2,3	14	86	11	633	2367	19	487	4,2			
Bazální	0	294	0	10	81	7	445	500	0	360	0			

Normalizovaná kritériální matice R:

	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
	Cena	Vykon	Zrychlení	Asist_sys	Bezpečnost	Komfort_sys	Užit_hmotnosilbjem_zav	prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba	u(variant)			
Audi e-tron	0,52703	0,49032	0,26087	0,50000	0,00000	1,00000	0,55851	0,11784	0,68421	0,00000	0,36762			
Jaguar I-Pace	0,46194	0,00000	0,13043	0,25000	0,20000	0,00000	0,09043	0,08838	0,78947	0,86614	0,35724			
MB EQC	1,00000	0,03871	0,00000	0,00000	0,60000	0,75000	0,00000	0,00000	1,00000	0,41732	0,45592			
Tesla ModelX	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	1,00000	0,71801			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			

Zdroj: Excel, doplněk Excel Sanna

Priloha 9 Vícekriteriální hodnocení – výpočet dle metody TOPSIS

METODA TOPSIS													
Vstupní hodnoty													
Kritérium	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Jednotka	kč	kW	s	kW	Zrychlení 0-100 km/h	Asistenční sys. počet ks	Bezpečnost %	Komfortní sys. počet ks	Užitná hmotnost kg	Objem zav. prostoru l	Doba nabíjení min	Dojezd km	Spotřeba kWh/100 km
Audi e-Tron	2452900	370	4,5	12	81	11	81	11	550	720	83	470	26,8
Jaguar I-Pace	2511355	294	4,8	11	82	7	82	7	462	665	81	470	23
Mercedes Benz EQC	2028148	300	5,1	10	84	10	84	10	445	500	77	413	22,6
Tesla Model X	2926200	449	2,8	14	86	7	86	7	633	2367	96	487	22,6
Váha	0,0853	0,0936	0,0865	0,0912	0,1078	0,0948	0,1078	0,0948	0,0604	0,0877	0,1019	0,1055	0,0853
Normalizovaná kritériální matice R													
4999965,31	717,59	8,78	23,69	166,54	1055,77	2610,23	169,10	870,77	47,63	0,41343	0,56265	0,41343	0,56265
Audi e-Tron	0,49058	0,51561	0,51236	0,50664	0,48636	0,61588	0,41343	0,49063	0,41343	0,53975	0,46287	0,53975	0,46287
Jaguar I-Pace	0,50227	0,40970	0,54651	0,46442	0,49236	0,39192	0,47900	0,47900	0,53975	0,47429	0,47448	0,47429	0,47448
Mercedes Benz EQC	0,40563	0,41807	0,58067	0,42220	0,50437	0,59989	0,42149	0,19155	0,45535	0,90682	0,56771	0,56928	0,47448
Tesla Model X	0,58524	0,62570	0,31880	0,59108	0,51638	0,39192	0,59956	0,09682	0,59956	0,09682	0,56771	0,56928	0,47448
Vážená kritériální matice W													
Audi e-Tron	0,04185	0,04826	0,04432	0,04621	0,05243	0,05839	0,03147	0,05002	0,03147	0,02419	0,05002	0,04362	0,04799
Jaguar I-Pace	0,04284	0,03835	0,04727	0,04236	0,05308	0,03715	0,02643	0,04881	0,02643	0,02234	0,04881	0,05694	0,04119
Mercedes Benz EQC	0,03460	0,03913	0,05023	0,03850	0,05437	0,05308	0,02546	0,04640	0,02546	0,01680	0,04640	0,05004	0,04047
Tesla Model X	0,04992	0,05857	0,02758	0,05391	0,05567	0,03715	0,03621	0,05785	0,03621	0,07953	0,05785	0,05900	0,04047
Vytvoření ideální a bazální varianty													
Ideální varianta (H)	0,03460	0,05857	0,02758	0,05391	0,05567	0,03715	0,03621	0,05785	0,03621	0,07953	0,05785	0,05900	0,04047
Bazální varianta (D)	0,04992	0,03835	0,05023	0,03850	0,05243	0,03715	0,02546	0,01680	0,02546	0,01680	0,05785	0,04362	0,04799
Výpočet vzdálenosti od ideální varianty													
Audi e-Tron	5,25091E-05	0,000106182	0,000280318	5,93044E-05	1,04741E-05	0	2,2547E-05	0,0003062161	1,30726E-05	0,000236759	5,65729E-05	0,06244918	0,06951224
Jaguar I-Pace	6,79564E-05	0,000408753	0,000387983	0,000133435	6,70344E-06	0,000450761	9,57028E-05	0,003270091	5,81003E-06	4,24226E-06	5,13132E-07	0,06951224	0,07272424
Mercedes Benz EQC	0	0,00037772	0,000513107	0,000237218	1,67586E-06	2,81725E-05	0,000115677	0	8,03827E-05	0	0	0	0,02857584
Tesla Model X	0,000234729	0	0	0	0	0,000450761	0	0	0,000131089	0	0	0	0
Výpočet vzdálenosti od bazální varianty													
Audi e-Tron	5,51984E-05	9,82709E-05	3,49185E-05	5,93044E-05	0	0,000450761	3,60837E-05	5,46369E-05	6,13684E-05	0	0	0	0,02983499
Jaguar I-Pace	5,00882E-05	0	8,72961E-06	1,48261E-05	4,18965E-07	0	9,49867E-07	3,07333E-05	8,17035E-05	0,000177617	4,63102E-05	0,02028233	0,02686188
Mercedes Benz EQC	0,000234729	6,12492E-07	0	0	3,77069E-06	0,000253553	0	0	0,000131089	4,12336E-05	5,65729E-05	0,02686188	0,07425242
Tesla Model X	0	0,000408753	0,000513107	0,000237218	1,04741E-05	0	0,000115677	0,0003334861	0	0,000236759	5,65729E-05	0,07425242	0
Výpočet ukazatele C _j													
Audi e-Tron	0,3196	2.											
Jaguar I-Pace	0,2259	4.											
Mercedes Benz EQC	0,2697	3.											
Tesla Model X	0,7221	Kompromisní řešení											

Zdroj: Excel

Příloha 10 Metoda TOPSIS - validace výsledků v Sanna

Metoda TOPSIS

Aktuální úloha pro 4 varianty a 11 kritérií
dne 19.10.2020 - 8:03:45

Vstupní data:

	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	Cena	Výkon	Zrychlení	Asist_svs	Bezpečnost	Komfort_svs	Užit_hmotnost	Užit_hmotnost	zav_prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba			
Audi e-tron	2452900	370	4,5	12	81	11	550	720	83	360	26,8			
Jaguar I-Pace	2511355	294	4,8	11	82	7	482	665	81	470	23			
MB EQC	2028148	300	5,1	10	84	10	445	500	77	413	21,6			
Tesla ModelX	2926200	449	2,8	14	86	7	633	2367	96	487	22,6			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			

Upravená vstupní data:

	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	Cena	Výkon	Zrychlení	Asist_svs	Bezpečnost	Komfort_svs	Užit_hmotnost	Užit_hmotnost	zav_prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba			
Audi e-tron	2452900	370	4,5	12	81	11	550	720	83	360	26,8			
Jaguar I-Pace	2511355	294	4,8	11	82	7	482	665	81	470	23			
MB EQC	2028148	300	5,1	10	84	10	445	500	77	413	21,6			
Tesla ModelX	2926200	449	2,8	14	86	7	633	2367	96	487	22,6			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			

Normalizovaná kritériální matice R:

	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	Cena	Výkon	Zrychlení	Asist_svs	Bezpečnost	Komfort_svs	Užit_hmotnost	Užit_hmotnost	zav_prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba			
Audi e-tron	0,49058	0,51561	0,51236	0,50664	0,48636	0,61588	0,52084	0,27584	0,49083	0,41343	0,56265			
Jaguar I-Pace	0,50227	0,40970	0,54651	0,46442	0,49236	0,39192	0,43759	0,25477	0,47900	0,53975	0,48287			
MB EQC	0,40563	0,41807	0,58067	0,42220	0,50437	0,55989	0,42149	0,19155	0,45535	0,47429	0,47448			
Tesla ModelX	0,58524	0,62570	0,31880	0,59108	0,51638	0,39192	0,59956	0,90682	0,56771	0,55928	0,47448			
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			

Vážená kritériální matice W:

	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
	Cena	Výkon	Zrychlení	Asist_svs	Bezpečnost	Komfort_svs	Užit_hmotnost	Užit_hmotnost	zav_prcDoba_nabijeni	Dojezd	Spotřeba	di-	di+	ci
Audi e-tron	0,04185	0,04826	0,04432	0,04622	0,05244	0,05838	0,05148	0,02418	0,05001	0,04860	0,04800	0,06244	0,02933	0,31965
Jaguar I-Pace	0,04285	0,03835	0,04727	0,04237	0,05059	0,03715	0,02644	0,02234	0,04881	0,05692	0,04119	0,06950	0,02028	0,22587
MB EQC	0,03460	0,03913	0,05022	0,03852	0,05438	0,05307	0,02547	0,01680	0,04640	0,05001	0,04048	0,07271	0,02686	0,26976
Tesla ModelX	0,04993	0,05857	0,02757	0,05393	0,05568	0,03715	0,03623	0,07951	0,05785	0,05898	0,04048	0,02857	0,07424	0,72208
Váhy	0,08531	0,09360	0,08649	0,09123	0,10782	0,09479	0,06043	0,08768	0,10190	0,10545	0,08531			
Ideální	0,03460	0,05857	0,02757	0,05393	0,05568	0,03715	0,03623	0,07951	0,05785	0,05898	0,04048	0,02857	0,07424	0,72208
Bazální	0,04993	0,03835	0,05022	0,03852	0,05438	0,05307	0,02547	0,01680	0,04640	0,05001	0,04048	0,07271	0,02686	0,26976

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Pascal Schöbel		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208T088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Výběr vhodného automobilu ze segmentu luxusních elektrických SUV modelů		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2021
POČET STRAN	88		
POČET OBRÁZKŮ	18		
POČET TABULEK	8		
POČET PŘÍLOH	10		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se zabývá analýze prémiových elektromobilů z třídy SUV zohledňující jejich technické a ekonomické aspekty.</p> <p>Cílem diplomové práce je výběr vhodného typu elektromobilu z kategorie SUV dostupný na trhu v ČR pomocí vybraných metod vícekriteriálního hodnocení.</p> <p>Teoretická část práce se zabývá popisem elektromobility zohledňující jejich technické, ekonomické a ekologické aspekty. Dále popisuje rozhodovací proces a metody vícekriteriálního rozhodování.</p> <p>V praktické části práce je pomocí metod vícekriteriálního hodnocení (WSA, TOPSIS) je zvolen vhodný prémiový elektromobil z kategorie SUV, čímž se stalo díky svým parametrům a vlastnostem vozidlo Tesla Model X.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Elektromobil, elektromobilita, SUV, vícekriteriální rozhodování, metoda TOPSIS, metoda WSA, Tesla Model X, Audi e-Tron, Mercedes-Benz EQC, Jaguar I-Pace		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Pascal Schöbel		
FIELD	6208T088 Business Administration and Operations		
THESIS TITLE	Selection of a suitable vehicle from the segment of premium electrical SUV models		
SUPERVISOR	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2021
NUMBER OF PAGES	88		
NUMBER OF PICTURES	18		
NUMBER OF TABLES	8		
NUMBER OF APPENDICES	10		
SUMMARY	<p>The main focus of this diploma thesis is the analysis of premium electrical vehicles in the SUV class respecting their technical and economic aspects.</p> <p>The aim of the diploma thesis is to select a suitable type of electro vehicle from the SUV category available on the Czech market while using multiple-criteria decision methods.</p> <p>The theoretical part describes the electromobility respecting their technical, economic and ecological aspects. Further it describes the process of decision-making and the methods of multicriteria decision.</p> <p>In the research part, using multi-criteria evaluation methods (WSA, TOPSIS), is chosen a suitable premium electric vehicle of the SUV category, which thanks of its parameters and properties, became the vehicle Tesla Model X.</p>		
KEY WORDS	Electro vehicle, electromobility, SUV, multiple-criteria decision-making, TOPSIS method, WSA method, Tesla Model X, Audi e-Tron, Mercedes-Benz EQC, Jaguar I-Pace		