

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu

Výběr optimálního hybridního pohonu na základě hustoty dobíjecích stanic

Bc. Patrik PŘIKRYL

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

Tento list vyjměte a nahrad'te zadáním diplomové práce

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod odborným vedením vedoucího práce.

Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a v práci jsem neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Mladé Boleslavi dne 2. ledna 2018

Děkuji Ing. Josefu Bradáčovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad, za jeho odborný přístup, věnovaný čas a metodické vedení diplomové práce. Dále děkuji prof. Ing. Radimu Lenortovi, Ph.D. za podnětné rady a připomínky.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	6
Úvod.....	7
1 Aktuální technické aspekty alternativních pohonů	8
1.1 Elektromobilita.....	8
1.2 Hybridní pohon.....	9
1.3 Další dělení hybridních vozidel.....	13
1.4 Elektromotory	16
1.5 Akumulátory	18
2 Dobíjecí stanice	25
2.1 Druhy dobíjecích stanic.....	25
2.2 Dobíjecí konektory.....	30
2.3 Problematika dobíjecí infrastruktury	34
3 Metody vícekriteriálního rozhodování	38
3.1 Kritéria hodnocení	40
3.2 Metody stanovení vah kritérií	42
3.3 Hodnocení variant rozhodování	44
4 Současná situace plug-in hybridních pohonů v ČR	47
4.1 Přehled aktuálně dostupných hybridních vozidel na trhu v ČR	48
4.2 Dobíjecí infrastruktura v ČR	51
5 Aplikace metod vícekriteriálního rozhodování.....	55
5.1 Formulace rozhodovacího problému.....	55
5.2 Volba kritérií	56
5.3 Stanovení vah kritérií.....	57
5.4 Identifikace variant	60
5.5 Výběr optimálních variant.....	61
5.5.1 Výběr optimální varianty pro oblasti s vyšší hustotou stanic.....	61
5.5.2 Výběr optimální varianty pro oblasti s nižší hustotou stanic.....	62
Závěr	65
Seznam literatury	67
Seznam obrázků a tabulek.....	72

Seznam použitých zkratek a symbolů

AC	Alternating current
B2C	Business to customer
BEV	Battery electric vehicle
CNG	Compressed Natural Gas
ČR	Česká republika
DC	Direct Current
DPH	Daň z přidané hodnoty
HEV	Hybrid electric vehicle
ICE	International Combustion Engine
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MPV	Multi Purpose Vehicles
NEDC	New European Driving Cycle
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
SUV	Sport Utility Vehicles
VW	Volkswagen

Úvod

V dnešní době, kdy se v rámci ochrany životního prostředí stále častěji mluví o přísnější regulaci limitů škodlivých emisí produkovaných dopravními prostředky, přichází zřejmě nevyhnutelná doba elektrifikace dopravy. Vzhledem k faktu, že se tímto směrem vydává čím dál více automobilových výrobců, dá se již dnes s vysokou pravděpodobností předurčit, že právě elektřina je pohonem budoucnosti. Přesto, že se již většina automobilových výrobců rozhodla postupně elektrifikovat svou paletu nabízených vozů, ani velký tlak v podobě sankcí zatím nepřináší na trh větší množství elektrických modelů. Pro výrobce je hlavním problémem nabídnout spotřebitelům elektromobil, který bude svými technickými parametry a především cenou, srovnatelný s konvenčními automobily. Jako určitým mezistupněm, mezi konvenčními vozidly a elektromobily, se jeví hybridní pohon. Vozidla s hybridním pohonem, kombinují výhody obou systémů a představují tak pro výrobce způsob, jak se po přechodnou dobu vyrovnat se stále přísnějšími limity. Nejblíže k čistě elektrickému vozidlu má plug-in hybridní pohon, který umožňuje jízdu čistě na elektřinu, ale zároveň, pokud tuto možnost chce spotřebitel zužitkovat v největší možné míře, musí dobíjet vozidlo elektřinou pomocí dobíjecích stanic. Cílem této diplomové práce je analyzovat současnou nabídku plug-in hybridních automobilů na trhu ČR a na základě metod vícekriteriálního rozhodování stanovit, který z modelů je vhodný pro vybrané cílové skupiny zákazníků vzhledem k hustotě dobíjecích stanic. Práce je členěna do celkem pěti kapitol, z čehož se úvodní tři kapitoly věnují teoretické části. První kapitola shrnuje aktuální technické aspekty alternativních pohonů, jejich členění a problematiku. Dobíjecí infrastrukturou, která je neoddělitelnou součástí rozvoje elektromobilů, a tím pádem také plug-in hybridních vozidel, se věnuje kapitola druhá. Ve třetí kapitole je pak blíže popsána teorie vícekriteriálního rozhodování, pomocí které jsou následně v praktické části vybrány optimální varianty vozidel pro vybrané skupiny uživatelů. V aplikační části se práce věnuje detailněji nejprve analýze současného stavu nabízených plug-in hybridních vozidel, a následně dobíjecí infrastruktuře, vše v rámci ČR. Ve druhé části je pak formulován rozhodovací problém, následně zvolena kritéria rozhodování, jejich váhy, identifikace variant rozhodování a nakonec jsou zvoleny optimální varianty pro jednotlivé vybrané skupiny spotřebitelů.

1 Aktuální technické aspekty alternativních pohonů

V dnešní době nejisté budoucnosti, vzhledem ke snižujícím se zásobám ropy, zvyšujícího se důrazu na globální oteplování a s tím související znečišťování ovzduší vyvíjí lidstvo stále vyšší nároky na alternativní pohony automobilů. Jako alternativu ke klasickým palivům jako je benzín a motorová nafta lze dle Vlka (2004) využít zejména (Vlk, 2004, s. 1):

- „Stlačený zemní plyn (CNG),
- zkapalněné ropné rafinerské plyny,
- bioplyn,
- bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje,
- paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol),
- vodík,
- elektrický proud.“

Získáním alternativ ke klasickým palivům lidstvo řeší především otázku nedostatku ropy a znečišťování ovzduší. Druhým aspektem klasických paliv, respektive pohonů je také jejich účinnost. „Účinnost současných spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30-40 %. Zážehové motory mají účinnost spíše na spodní hranici pásma, vznětové motory jsou na tom o něco lépe. Tato hodnota je z větší části dána účinností samotného termodynamického cyklu, který má jasná fyzikální omezení. Nedá se tedy předpokládat výraznější vylepšení ani v budoucnosti.“ (Hromádka, 2012, s. 65) Spalovací motor tedy dosahuje maximální účinnosti pouze v ideálních podmínkách. V městském provozu se pohybuje účinnost okolo hranice 5%.

1.1 Elektromobilita

Zde přichází na řadu využití elektrického proudu, tedy elektromotorů v automobilech. Naproti spalovacímu motoru dosahuje elektromotor účinnosti až 90% při širokém rozsahu otáček a zatížení. Z pohledu účinnosti se tedy může zdát výroba elektromobilů jako optimální řešení. Elektrický pohon navíc neprodukuje žádné škodlivé emise, celý systém je bezhlučný, spolehlivý a nespotřebovává žádnou energii při stání vozidla.

Bohužel jsou tyto vlastnosti vyváženy patřičnými technickými negativy, tedy především krátká ujetá vzdálenost na jedno nabití a vysoká hmotnost akumulátorů pro uchování energie k elektromotoru. (Hromádka, 2012). Vzhledem k odlišnostem názorů jednotlivých autorů v označování zásobníků elektrické energie ve vozidlech, budou pro tento účel v práci používány pojmy akumulátor, baterie a trakční baterie. Další zápory přicházející s elektromobilitou jsou cena akumulátorů a ekologická zátěž při jejich výrobě a likvidaci, jelikož životnost akumulátorů zdaleka nedosahuje životnosti vozidla. Přes všechna tato úskalí se většina velkých výrobců v automobilovém průmyslu rozhodla jít právě cestou elektromobilů. U všech typů dopravních prostředků je vidět rozšiřující se míra technologie elektrického pohonu. (Folkson, 2014) Skutečností, že se optimističtější budoucnosti těší právě elektromobilita, přispívá také fakt, že ji podporují jak velké energetické společnosti, tak politici z celého světa, díky nimž se rozvíjí potřebná infrastruktura.

Problematika elektromobility

Elektromobilita se stává čím dál častěji cestou světových automobilových výrobců, avšak pouze malé množství z nich je schopno vyrábět vozidla pouze elektrická. Nejznámějším takovým výrobcem je bezpochyby americká společnost Tesla Inc (dále jen Tesla). Ovšem ani tato společnost nedokáže v dnešním prostředí vyrábět a prodávat elektromobily tak, aby byla zisková. Ani mnohá daňová zvýhodnění a vládní dotace pro spotřebitele, jak se zdá nevykompenzují současná negativa elektromobilů.

Tlak zákonodárců a zhoršující se světová environmentální situace neustále zvyšují požadavky na snížení škodlivin v podobě emisních limitů v dopravě. Tyto emisní normy se neustále zpřísňují a aktuálně nejprísrnější limity již nepovolují vjezd vozidlům se spalovacími motory do center velkých měst, přičemž se má situace dále zhoršovat. Výrobci automobilů tedy čelí situaci, kdy spalovací motory již nyní nesplňují legislativní požadavky a zároveň akumulátory pro elektromobily nejsou na takové technické úrovni, aby svými funkcemi uspokojily spotřebitele.

1.2 Hybridní pohon

Ve snaze eliminovat výše uvedená negativa elektromobility a úskalí současných spalovacích pohonných jednotek jsou dnes hromadně vyráběna vozidla

s hybridním pohonem. Hybridní pohon je řešení na přechodnou dobu, dokud nebude k dispozici technologie pro zásobník energie ve vozidle tak, aby vyhovoval potřebám dopravy, jak ji známe dnes.

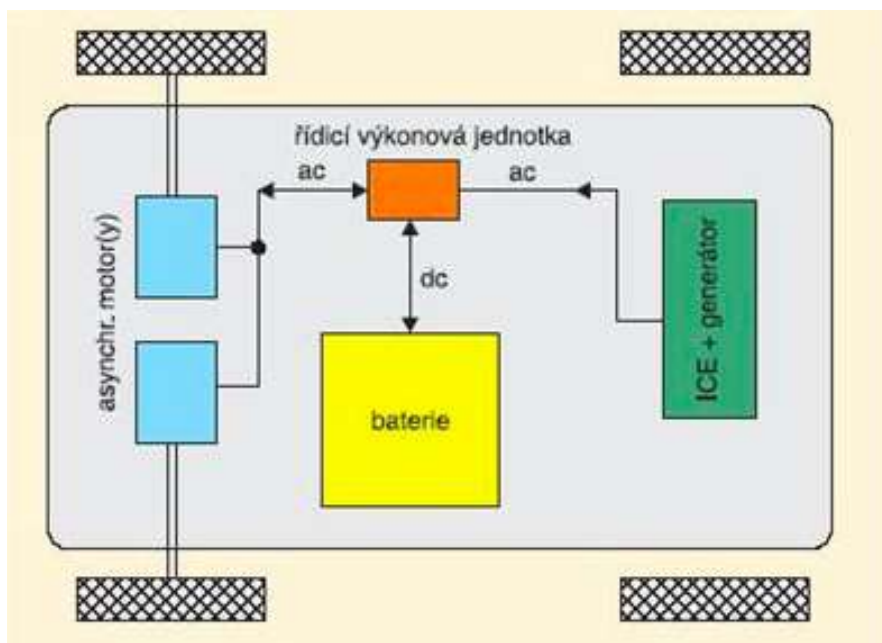
Hybridním pohonem automobilu rozumíme systém, kombinující více typů zdrojů energie, sloužící k pohonu stroje. Setkat se lze nejčastěji s kombinacemi:

- spalovací motor - elektromotor s akumulátory,
- palivový článek - elektromotor s akumulátory,
- spalovací motor - setrvačnick,
- elektromotor s akumulátory - setrvačnick.

U hybridních osobních automobilů docházelo v posledních dvou dekádách především k rozvoji kombinací palivový článek – elektromotor a akumulátory, a spalovací motor – elektromotor a akumulátory. Avšak aktuálně největší podporovatel spojení hybridní technologie palivový článek – elektromotor a akumulátory, německá společnost Daimler AG, dle posledních informací ustupuje od použití palivových článků u osobních automobilů. (Wuttke, 2017) Také tato informace pravděpodobně znamená, že se do budoucna budeme setkávat převážně s kombinací spalovací motor – elektromotor s akumulátory. „Vhodnou kombinací dvou pohonných systémů, spalovacího motoru a elektromotoru, mohou být využity výhody obou systémů.“ (Kameš, 2004, s. 59) Hybridní pohon volí v závislosti na aktuálním režimu jízdy (rozjezd z místa, ustálená rychlost, akcelerace, brzdění) nejvýhodnější režim. „Protože dochází k průběžnému dobíjení baterií v průběhu jízdy, baterie mohou být menší (a levnější) než u klasických elektromobilů“ (Vlk, 2004, s. 10) „Na malé vzdálenosti a v nenáročném terénu jezdí vůz na elektřinu. Spalovací motor se použije teprve v náročném terénu a na větší dálky. Tím se výkon a dosah spojují s efektivitou, šetrností k životnímu prostředí, nehlukností a nízkými náklady. ... Cílem je takové jejich propojení, aby se využilo co nejvíce z jejich specifických předností.“ (Vlk, 2004, s. 3) Pro účely této práce bude využíváno označení – hybridní pohon, či hybridní vozidlo pro vozidla s variantou kombinující spalovací motor s akumulátory. Pohon hybridních vozidel můžeme rozdělit do tří hlavních skupin a to na seriové, paralelní a kombinované uspořádání jejich hnacího ústrojí.

Seriové uspořádání

Hybridní pohon automobilu se seriovým uspořádáním hnacího ústrojí pracuje podobně jako bateriové vozidlo pouze s elektromotorem, přičemž spalovací motor zde slouží pouze pro vytváření elektrické energie. Jednotlivé komponenty jsou při seriovém uspořádání zapojeny za sebou. Jak je vidět na obrázku č. 1, zdrojem energie je v seriovém uspořádání spalovací motor (ICE – International Combustion Engine). Spalovací motor následně pohání generátor, který poté zásobuje elektrickým proudem elektromotory, popř. dobíjí baterie. (Hromádko, 2012) „Spalovací motor může být provozován ve velmi úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce při jedné otáčce. Tím odpadají neekonomické body pracovní charakteristiky, jako je volnoběh ... motor tedy může být nastaven na optimální pracovní rozsah s nejvyšší účinností.“ (Hromádko, 2012, s. 66) Kapacita baterií je při tomto uspořádání značně menší než u čistě elektrického vozidla. Při zatížení, kdy nestačí energie z baterií, dochází k automatickému nastartování spalovacího motoru, který tuto momentální potřebu vykryje. Nevýhodou sériového uspořádání je vícenásobná přeměna energie v celé soustavě. S ohledem na účinnost nabíjení baterie, může systém dosahovat mechanické účinnosti mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou nanejvýše 55%. (Hromádko, 2012)

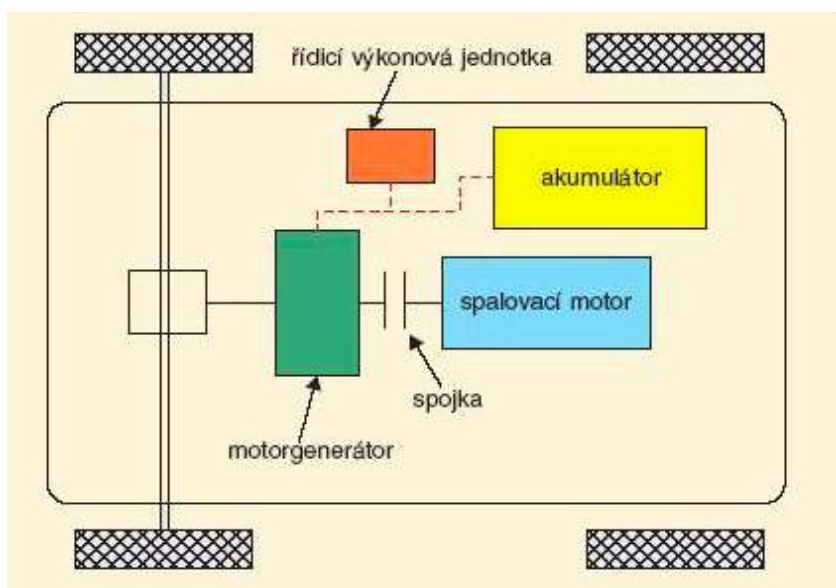


Zdroj: (Hromádko, 2012, s. 66)

Obr. 1 Sériové uspořádání hybridního pohonu

Paralelní uspořádání

Paralelní uspořádání je častou variantou uspořádání hybridního pohonu. Takové vozidlo je vybaveno spalovacím motorem a elektromotorem vzájemně propojenými pomocí mechanické převodovky. Často se lze setkat s umístěním elektromotoru/generátoru (viz obrázek 2 – motorgenerátor) mezi spalovací motor a převodové ústrojí. „Dva zdroje energie jsou propojeny hřídelem a výsledný moment je dán součtem jejich okamžitých momentů. Pokud je tedy využíván pouze jeden motor, druhý rotuje s ním, aniž by dodával výkon (volnoběh), nebo může být odpojen přes spojku. ... Obvyklým režimem paralelního hybridu je, že většinu výkonu dodává spalovací motor a elektromotor se zapojuje v případě akcelerace.“ (Hromádko, 2012, s. 66) „Tímto převýšením točivého momentu poskytuje paralelní hybrid výkonovou rezervu odpovídající výkonu velkoobjemového spalovacího motoru. (Vlk, 2004) Elektrická energie se akumuluje v bateriích s výrazně větším napětím nežli v klasických automobilech (12V). „Kvůli zvýšení účinnosti spalovacího motoru bývají „spotřebiče“, jako posilovač řízení či klimatizace, poháněny elektromotorem. Tím jsou jejich otáčky nezávislé na otáčkách motoru a navíc pokud zařízení nepracuje, není mu dodávána energie“ (Hromádko, 2012, s. 66) Výhodou tohoto uspořádání je možnost kinetické rekuperace, kdy dochází při jízdě z kopce k vypnutí spalovacího motoru a rekuperovaná část energie je využita k dobíjení baterií.

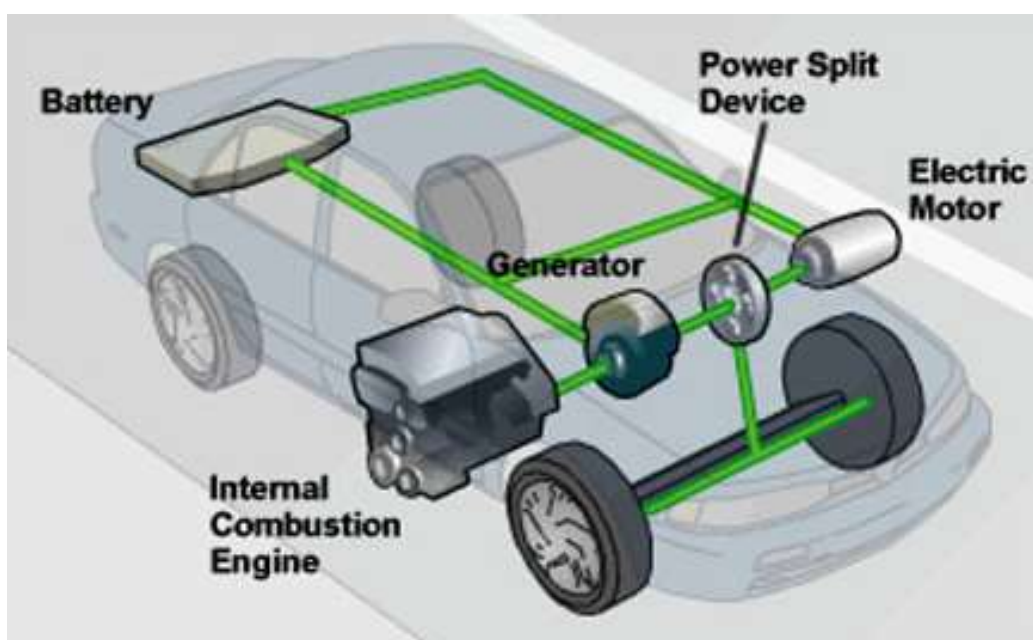


Zdroj: (Hromádko, 2012, s. 66)

Obr. 2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu

Kombinované uspořádání

U většiny dnes prodávaných vozidel s hybridním pohonem je využíváno kombinované uspořádání hnací soustavy. Kombinovaný hybrid disponuje tzv. děličem výkonu. Dělič výkonu určuje, kolik procent výkonu půjde zkrze hnací ústrojí mechanickou cestou (paralelní hybrid), nebo elektrickou cestou (sériový hybrid). Dělič výkonu tedy umožňuje rozdělit výkon obou motorů dle aktuální potřeby. Děje se tak na základě aktuálního jízdního režimu, jakým může být například jízda ve městě (pomalá jízda), na dálnici (jízda ve vyšších rychlostech), akceleraace, prudká akceleraace či brždění nebo jízda z kopce. (AUTOCZ, ©2008) Tuto variantu hybridního uspořádání využívá například Toyota Prius, jedno z neznámějších hybridních vozidel. Graficky je kombinované uspořádání znázorněno na obrázku č. 3. Děličem výkonu (Power Split Device) je zde planetová převodovka.



Zdroj: (National energy education development project, ©2015)

Obr. 3 Kombinované uspořádání hybridního pohonu

1.3 Další dělení hybridních vozidel

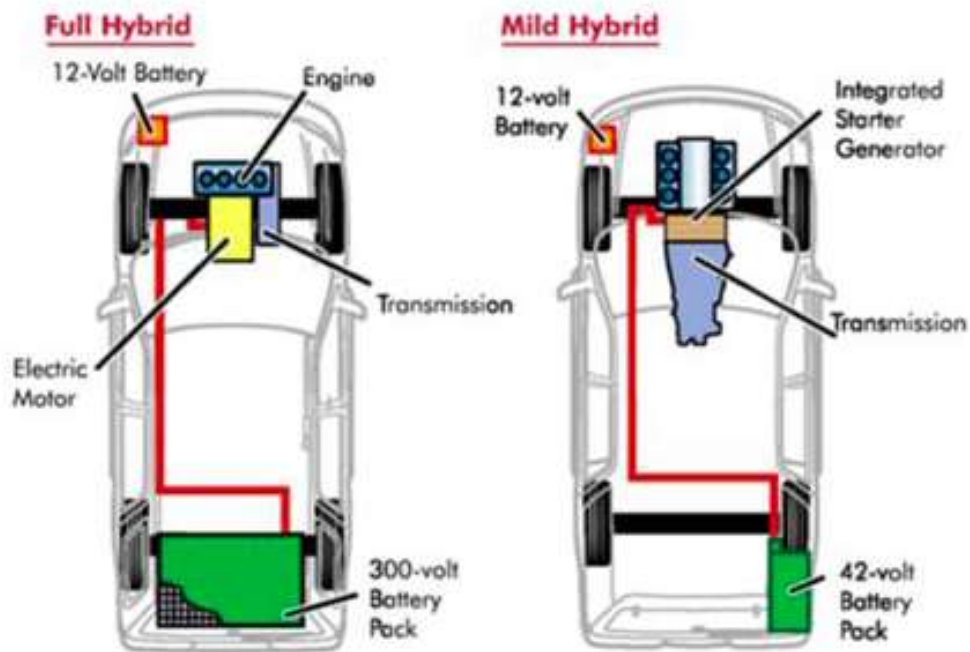
Dalším často využívaným rozdělením hybridních automobilů je dělení dle stupně elektrifikace. Každá z následujících možností kombinuje spalovací motor s elektrickým pohonem v různém poměru. Odlišný poměr každé z variant ukazuje rozmanité možnosti využití elektrického pohonu ve vozidle.

Micro hybrid

V případě micro hybridu, je elektrická energie využívána nikoliv pro samostatný pohon vozidla, nýbrž pouze pro tzv. systém Stop-Start, který může být doplněn o možnost rekuperace brzdové energie. Systém vypíná motor před, či při zastavení vozidla. Opětovný start motoru následně neprobíhá pouze přes startér, se startem pomáhá kondenzátor. Pokud je systém Stop-Start vybaven také možností rekuperace brzdové energie, při brzdění funguje startér jako alternátor a dobíjí akumulátor vozidla. (OENERGETICE.cz, ©2015)

Mild hybrid

Mild hybrid označován také jako medium hybrid či motor assist hybrid je systém pohonu hybridního vozidla, který nedisponuje možností pohybu čistě na elektrický pohon, a pokud ano, pouze se značně omezeným dojezdem, než v případě níže uvedeného full hybridu, srovnání obou variant je znázorněno na obrázku č. 4. Ve většině případů se jedná o elektromotor v kombinaci s menším počtem baterií, který slouží jako asistenční pohonná jednotka ke konvenčnímu spalovacímu motoru. Elektrický pohon tedy slouží především pro pomoc s rozjezdem či následnou akcelerací, například při předjíždění. Vozidla vybavena tímto systémem pohonu mohou vypínat spalovací motor také za jízdy, kdy není potřeba přísun výkonu. Takovou situací může být dojíždění k semaforům či pomaleji jedoucího vozidla.



Zdroj: (Physics, ©2012)

Obr. 4 Grafické srovnání uspořádání systému Full a Mild hybrid ve vozidle

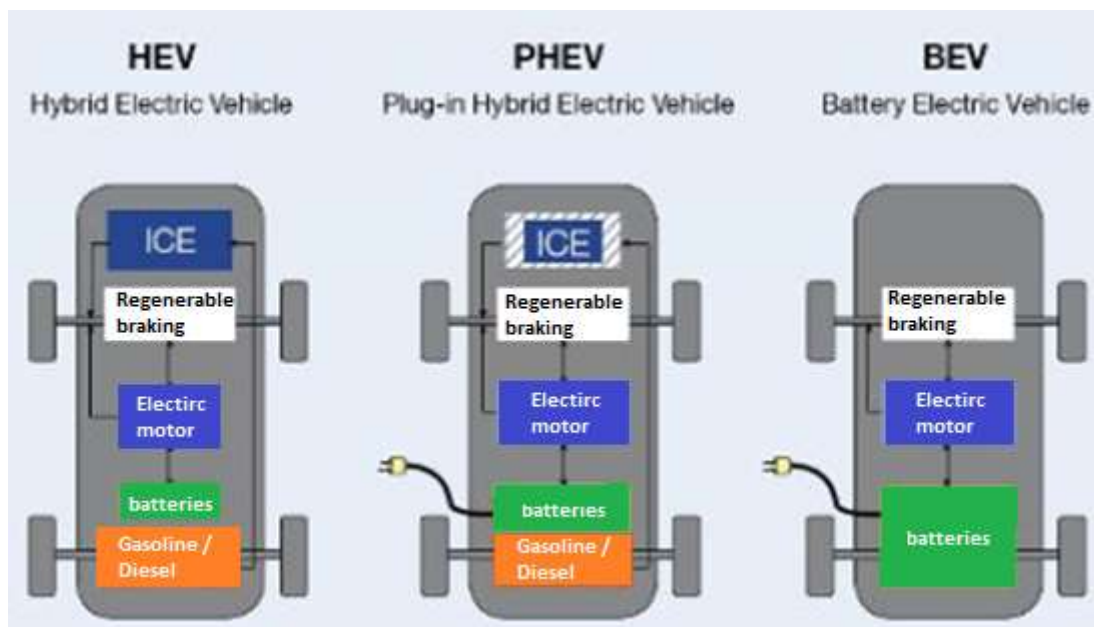
Full hybrid

Pojem Full hybrid, lze volně přeložit jako tzv. plný hybrid. Jedná se o označení hybridního automobilu HEV (Hybrid Electric Vehicle), který je schopen plnohodnotné jízdy pouze na elektrický pohon, disponuje tedy větší kapacitou baterií a tím pádem větším dojezdem nežli Mild hybrid. Zároveň je systém schopen pohybu pouze na spalovací motor. K dobíjení baterií je možné využít spalovací motor či systém rekuperace brzdové energie.

Plug-in

Z výše uvedeného systému full hybridu se později vyvinula důležitá kategorie plug-in hybrid. Plug-in hybridní vozidla fungují na stejném principu jako full hybridy, ovšem jsou obohacena o možnost dobíjení elektrické energie ze standardní elektrické zásuvky. Jedná se o nevyšší stupeň hybridizace. Plug-in vozidla tzv. PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) mohou jezdit pouze na elektrickou energii a nepotřebují už spalovací motor ani jako zdroj energie. Jde o aktuálně nejzajímavější kategorii vozidel pro blízkou budoucnost. To je také důvod, proč se jejich výrobě věnuje většina automobilových výrobců. (OENERGETICE.cz, 2015)

Tento druh hybridního pohonu bude také předmětem zkoumání praktické části diplomové práce. Dalším krokem je plně elektrické vozidlo BEV (Battery Electric Vehicle). V tom případě ale již nelze hovořit o hybridním pohonu, nýbrž tato vozidla jsou osazena pouze elektromotory s bateriemi. Srovnání tří variant elektrifikace je vyobrazeno na obrázku č. 5.



Zdroj: (SHOCKING SOLUTIONS – TRANSFORMING TRANSPORTATION, ©2009)

Obr. 5 Porovnání pohonů HEV, PHEV a BEV ve vozidle

1.4 Elektromotory

V zásadě je možno při stavbě elektromotorů využít celou řadu tradičních principů trakčních pohonů. „Trakční elektromotory určuje zejména hodnota momentu, menší význam má hodnota výkonu. Konstrukce musí být spolehlivá a ve velkém rozsahu otáček musí být dostatečný výkon. Důležitá je kompaktní stavba, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké udržovací náklady a výhodná cena.“ (Hromádko, 2012, s. 48) Elektromotory se nejčastěji dělí na stejnosměrné a střídavé.

Stejnoseměrné motory

„Elektrické pohony se stejnosměrnými motory představují v současnosti konstrukčně vyspělé jednotky s vynikajícími vlastnostmi ...“ (Maixner, 2006, s. 103) Stejnoseměrný motor má několik variant, jedna z nich může být **stejnoseměrný motor s cizím buzením**. Tato varianta stejnosměrného motoru „... vykazuje

zvláště výhodné tahové charakteristiky, jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu a kontinuální přechod z jízdy na brždění“ (Hromádko, 2012, s. 48) Jedná se o motory, které jsou kvůli těmto výhodám využívány u elektrických vozidel, kde je možno je napájet přímo z baterií. Další variantou je **stejnoseměrný motor sériový**. Takový motor disponuje dobrým počátečním točivým momentem, který ovšem klesá se stoupajícími otáčkami. Vzhledem k velkému točivému momentu za nízkých otáček se tyto motory využívají převážně pro vozidla elektrické trakce, jakými jsou například metro, vlaky či tramvaje. Setkat se lze také s **paralelním stejnoseměrným elektromotorem**, v případě tohoto uspořádání klesá točivý moment pomaleji a to souměrně s otáčkami. Takové motory jsou často využívány u plně elektrických vozidel. Posledním rozšířenějším uspořádáním elektromotoru je tzv. **kompaktní elektromotor**, který kombinuje předchozí dvě varianty. Disponuje sériovo-paralelním uspořádáním, čímž kombinuje výhody obou variant, jak sériové tak paralelní. Výhoda stejnoseměrných motorů ční v jejich přetížitelnosti, „... pro trvalý výkon po dobu jedné hodiny je přetížitelnost 20% nad trvalým výkonem. Krátkodobě při rozjezdu je přetížitelnost až 100%. Hraniční otáčky jsou omezeny cca na 7000 min⁻¹. Všeobecně je tedy třeba vícestupňové převodovky.“ (Hromádko, 2012, s. 48) Mezi výhody stejnoseměrných motorů je možno zařadit jejich technickou vyspělost, jednoduché řízení a cenovou výhodnost. Naopak mezi nevýhody lze zařadit náchylnost některých částí k poruchám, a proto musí být udržovány. Dále se jedná o jejich maximální obvodovou rychlost, omezenou rotační frekvencí, která činí již zmíněných 7000 ot.min⁻¹. Dalším omezením jsou účinnost a výkon, které jsou u stejnoseměrných motorů nižší nežli u motorů střídavých, které budou dále představeny níže. (Hromádko, 2012)

Střídavé motory

Prvním popisovaným střídavým motorem je **asynchronní motor**. Podstatná výhoda asynchronních motorů je především v tom, že odpadají některé technické části stejnoseměrných motorů, tím lze dosáhnout až 20 000 ot.min⁻¹. (Vlk, 2004) „Střídavé motory vytlačují u elektrovozidel stále více stejnoseměrné motory, ... oproti stejnoseměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu podstatně menší a lehčí, proto lze počítat s výkonovou hmotností asi 1 kg/kW. Motor je dále jednodušší konstrukce, robustní, bezúdržbový a silně přetížitelný. ... Podle toho jestli se rotor otáčí asynchronně nebo synchronně s točivým polem, rozdělují se na

asynchronní motory a synchronní motory.“ (Hromádka, 2012, s. 49-50). **Synchronní motor s permanentními magnety** je varianta pohonu, která umožňuje razantně zmenšit zastavěný objem motoru. Synchronní motor má podobnou konstrukci jako asynchronní, avšak oproti asynchronnímu motoru se jeho rotor otáčí stejnou rychlostí (synchronně). „Magnetické pole vybuzené permanentními magnety je bezdrátové. To vede k vysoké účinnosti.“ (Vlk, 2004, s. 126) Jedná se o motory, které jsou nyní využívány pro pohon hybridních vozidel ve většině případů velkých automobilových výrobců dnešní doby. Výjimkou není ani největší výrobce hybridních vozidel Toyota Motor Corporation (dále jen Toyota), dále jsou jimi například Opel automobile (dále jen Opel), Chevrolet, Hyundai Motor Company (dále jen Hyundai), Bayerische Motoren Werke AG (dále jen BMW) či Ford Motor Company (dále jen Ford). V tabulce č. 5 lze identifikovat silné stránky jednotlivých motorů dle Hromádka. (2012) V případě že je motor nejlépe splňuje, je označen číslem 10.

motor	cena	účinnost	hmotnost	Přetížitelnost	spolehlivost	stav vývoje
stejnosemerný	10	7	6	10	7	10
asynchronní	8	8	6	10	9	9
synchronní	8	10	7	10	9	8

Zdroj: (Hromádka, 2012, s. 52)

Tab. 1 Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů

1.5 Akumulátory

Akumulátory hrají klíčovou roli pro masivnější rozšíření elektromobilů a hybridních vozidel. Velcí světoví automobiloví výrobci staví obrovské továrny na akumulátory a investují nemalé částky na jejich vývoj. Následující řádky se zabývají jejich úskalími. Následně jsou zde také popsány nejčastější druhy akumulátorů, se kterými je možné se v technické praxi setkat.

Problematika akumulátorů

V dnešní době se vše mobilizuje, zmenšuje, elektrifikuje, avšak největším omezením pro další zmenšování a všeobecně využití elektrické energie je stále problematika jejího ukládání. V souvislosti s globálním oteplováním a proměnou dopravy tak, jak je známá dnes se čím dál tím více hovoří o elektromobilech

a hybridních vozidlech. Právě tou cestou se rozhoduje jít stále větší množství automobilových výrobců. Vývoj akumulátorů určuje další cestu elektrifikace dopravy. Stále častěji se však hovoří o nerostném bohatství, které je zapotřebí pro jejich výrobu. Stejně tak o dopadech výroby akumulátorů na životní prostředí, kde již vzniklo mnoho studií, které srovnávají zatížení životního prostředí mezi výrobou, provozem a likvidací akumulátorů v elektromobilech oproti běžnému konvenčnímu řešení dnešních automobilů. „Trakční baterie jsou, co se týká proniknutí na trh elektrických bateriových vozidel, nejdůležitějším komponentem elektropohonu. ... Jejich energetická hustota, tedy obsah energie na jednotku hmotnosti, určuje jejich dojezd.“ (Hromádko, 2012, s. 52) Na trakční baterie používané k zásobě elektrické energie ve vozidlech pro elektromotory jsou kladeny zejména následující požadavky (Hromádko, 2012):

- Životnost minimálně 5 až deset let,
- bezúdržbovost,
- možnost rychlého nabíjení akumulátorů,
- cena akumulátoru by neměla přesahovat hranici 150/EUR za kWh.

Vývoj baterií za posledních několik desítek let neprošel zásadní změnou, podařilo se pouze snížit hmotnost, zvýšit bezpečnost a omezit samovybíjení. Hlavní problémy však stále přetrvávají, jsou jimi doba nabíjení baterií a nepříznivý poměr mezi hmotností akumulátoru a kapacitou uložení energie. Přičemž ve vozidle nejde jen o hmotnost, ale také o objem akumulátorů, který může oproti klasické palivové nádrži značně omezovat prostor ve vozidle. Nejde ovšem pouze o větší zastavěný objem ve vozidle, nýbrž také o změnu rozložení váhy. Těžší akumulátory, nežli palivová nádrž, musejí být rozmístěny rovnoměrně ve vozidle tak, aby neovlivňovaly jízdní vlastnosti vozidla. Příklad umístění baterií v hybridním vozidle můžeme vidět na obrázku č. 6.



Zdroj: (Straub, 2011)

Obr. 6 Umístění baterií ve vozidle Toyota Prius Plug-in Hybrid

Zajímavé porovnání hmotnosti a objemu zásobníků elektrické energie ve vozidle dle jednotlivých typů, včetně alternativních pohonů vůči dráze ujeté s klasickou nádrží benzínu o objemu 67 litrů porovnává následující tabulka č. 2. (Hromádko, 2012)

zdroj energie	benzín	nafta	ethanol	methanol	vodík tekutý	olověná baterie
účinnost (%)	20	30	23	23	20	70
objem (l)	67	46	86	97	250	2040
hmotnost (kg)	47	32	67	75	124	5300

Zdroj: (Hromádko, 2012, s. 52)

Tab. 2 Hmotnostní a objemové porovnání nádrží různých druhů energie vztažené k dráze ujeté s 67 litry benzínu

„U hybridních vozidel jsou zavedeny stejné typy baterií jako u bateriových elektrických vozidel. Je však třeba zohlednit to, že baterie hybridních vozidel jsou často nabíjeny a vybíjeny pouze částečně než zásobník energie bateriových elektrických vozidel. Volba závisí především na struktuře a koncepci hybridního pohonu.“ (Hromádko, 2012, s. 76) Mezi rozhodující parametry akumulátorů patří **měrná energie**. Potřebné množství energie lze spočítat podle dojezdu, který požadujeme. Nejvhodnější je použití akumulátorů, které vykazují nejvyšší hodnotu

měrné energie, uvádí se v Wh/kg. Dalším sledovaným parametrem je **měrný výkon**, který „ovlivňuje maximální rychlost a zrychlení vozu. Velikost hodnoty měrného výkonu určitých akumulátorů plně nahrazuje měrný výkon spalovacího motoru.“ (Vlk, 2004, s. 130) Jedním ze zásadních parametrů je také **doba nabíjení**, která se pohybuje v rozmezí několika hodin, záleží na druhu akumulátoru. Stejně jako známe nabíjení například u mobilních telefonů, akumulátory ve vozidle se mohou dobíjet rychleji do 80 % jejich kapacity, zbylých 20% většinou trvá až stejně dlouho, jako prvních 80 %. Výhodou takových akumulátorů je jejich delší životnost. Právě **životnost** je také jeden z hlavních parametrů akumulátorů, a závisí jak vyplývá z předchozích částí právě na způsobu nabíjení a vybíjení akumulátoru. Životnost „určuje počet kilometrů, které vůz překoná s použitím jedné sady akumulátorů.“ (Vlk, 2004, s. 130) Důležitým, až zásadním parametrem do budoucna je také **recyklovatelnost** akumulátorů. Stejně jako se jednou zúží zásoby ropy, může tak dojít k vytěžení důležitých kovů, nezbytných pro výrobu akumulátorů. Proto je možnost alespoň částečné recyklace používaných akumulátorů zcela zásadní. Elektrickou energii lze získávat neustále například ze solárních panelů a je tedy nevyčerpatelná, ovšem bez recyklovatelných materiálů pro akumulátory se může lidstvo jednoho dne ocitnout ve stejném bodě, jako v případě docházejících ložisek ropy. Posledním z hlavních parametrů akumulátorů je **cena**. Cena hybridních vozidel a elektromobilů je zcela klíčová především nyní, kdy se výrobci snaží vyrábět a prodávat taková vozidla v co nejvyšších objemech. Avšak dosavadní cenová nevýhodnost v porovnání s konvenčními motory jim v tomto směru nenahrává. A právě vyšší cena vozidel na elektrický pohon je ovlivněna zejména cenou akumulátorů. Následující část se věnuje nejčastěji používaným akumulátorům v hybridních vozidlech.

Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou jedny z neznámějších zásobníků elektrické energie, jejich předností je především spolehlivost, poměrně dobrý výkon a především nízká cena. Naopak nejzávažnějším problémem je jejich vysoká hmotnost, kvůli které si olověné akumulátory našly místo pouze v prvních prototypch osobních vozidel s elektrickým a hybridním pohonem. Takovým vozem byla první a druhá generace modelu EV1 od výrobce General Motors. Kvůli jejich hmotnosti se v dnešní době olověné akumulátory nacházejí pouze ve vozidlech, kde není

klíčová váha stroje. Olověný akumulátor akumuluje jen omezené množství energie, v průměru se jedná okolo 40 Wh/kg. Olověné akumulátory se dělí na dva typy, jsou jimi akumulátory **startovací** a **trakční**. První jmenované jsou známé jako „autobaterie“ a využívají se primárně ke startu spalovacího motoru. Takové akumulátory se nehodí k uchovávání elektrické energie pro hybridní pohony. Naopak odlišné technické řešení mají trakční olověné akumulátory. „Olověné baterie pro elektrovozidla mohou dnes již být přibližně 800krát nabity a vybity. Olověné baterie použité pro startování mají parametry životnosti a počet cyklů dvakrát větší než pro účely elektropohonu. Je to dáno vyšším namáháním v případě pohonu vozidla.“ (Hromádka, 2012, s. 54) Jejich cenově výhodná výroba a dlouhodobé praktické zkušenosti mohou za jejich stále silné zastoupení v elektrických vozidlech. „Dosavadní zkoušky prokázaly životnost olověných akumulátorů používaných pro pohon vozidel asi čtyři roky nebo 300 cyklů nabíjení, vybití a dojezd 25 000km.“ (Hromádka, 2012, s. 54) Takové akumulátory jsou odolnější proti častému vybití a nabíjení, navíc nejsou tolik náchylné proti problémům vzniklým při úplném vybití, jako je tomu u olověných startovacích akumulátorů. V dnešní době jsou používány např. u vysokozdvizných vozíků, jejich místo v automobilech přebírají modernější typy baterií.

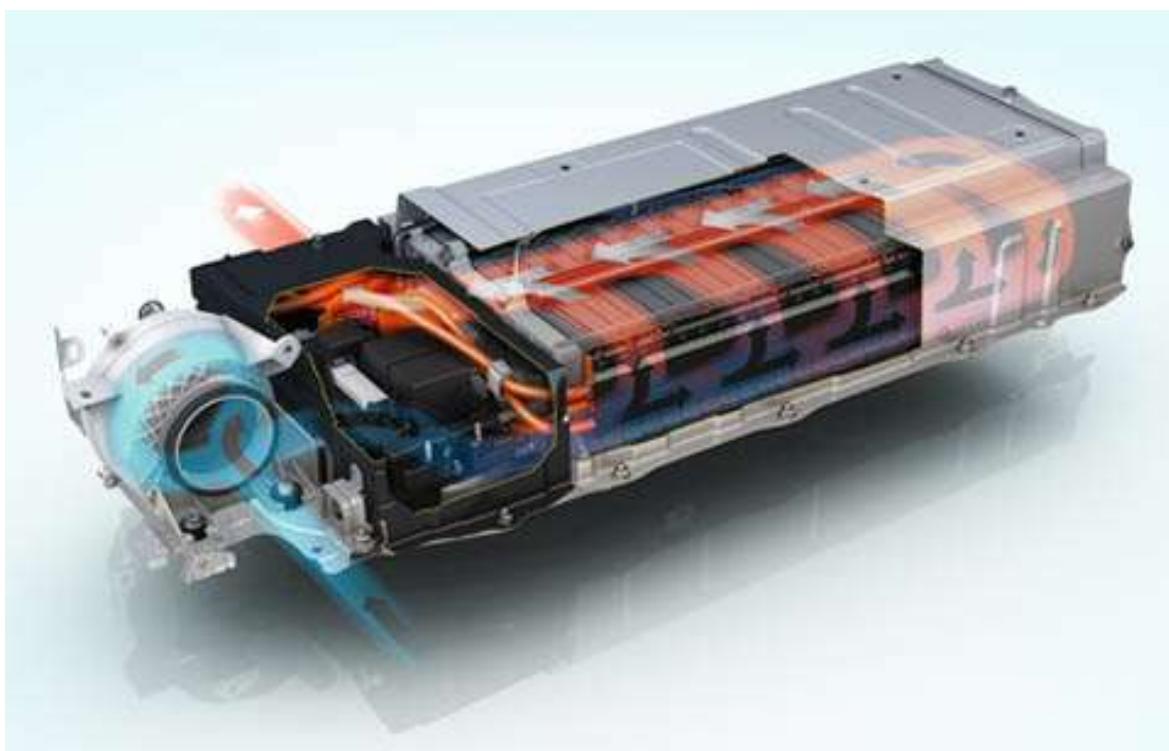
Akumulátory niki-kadmium

Akumulátory niki-kadmium hrají ve světě elektrifikace vozidel velkou roli. „Jsou ve spotřebitelském oboru vyráběny jako malé, plynotěsné, uzavřené knoflíkové články. Jako velké baterie jsou dosud používány ve tvaru otevřených článků. Mají-li být pro elektrovozidlo vyrobeny jako bezúdržbové, musí být vyvinuty v plynotěsné verzi, ... Vozidlo vybavené tímto typem baterií dosahuje většího dojezdu, až o 50 % než s olověnými bateriemi stejné hmotnosti. Za jistých podmínek vzniká paměťový efekt.“ (Hromádka, 2012, s. 54-55) Pro dosahování plné kapacity baterie musí docházet k cykliskému (pravidelnému) vybití akumulátoru. Niki-kadmiové akumulátory mají vyšší pořizovací náklady, než olověné akumulátory, zároveň ale disponují více jak dvojnásobnou životností. Dle Hromádka jde až o 1500 nabíjecích cyklů při dojezdu cca 120 000 km. Zásadním záporem tohoto typu akumulátoru je jednoznačně kov kadmium používaný k jejich výrobě. (Hromádka, 2012) Kadmium je **jedovatý těžký kov**, a přesto že je tento

typ akumulátoru plně recyklovatelný a bezúdržbový, jsou s jeho používáním a výrobou spjata environmentální rizika. (Vlk, 2004)

Akumulátory nikel-metalhybrid

Dalším typem akumulátoru, jenž je zároveň velmi podobný nikel-kadmiovému akumulátoru je článek na bázi nikel-metalhybrid. Tato varianta akumulátoru, označována také jako Ni-MH, je opět hojně využívána pro pohon strojů. (Hromádka, 2012). „Baterie nikel-metalhybrid jsou neškodné okolnímu prostředí. Mimoto mají ve srovnání s bateriemi nikel-kadmiovými vyšší výkon i energetickou hustotu, nemohou ale být tak často nabíjeny a vybíjeny. Také u nich se vyskytuje paměťový efekt. Problémy jsou dále s poměrně vysokou cenou a relativně **nákladnou recyklací na konci životnosti.**“ (Hromádka, 2012, s. 55-56) U akumulátorů typu nikel-metalhybrid je životnost v podobě nabíjecích cyklů poloviční, oproti typu akumulátoru nikel-kadmium. (Vlk, 2004) Tímto typem akumulátorů byly osazeny také nejprodávanější hybridní vozidla, kdy je automobilový výrobce Toyota montoval do předchůdce svého nejpůvodnějšího modelu Prius. Ni-MH akumulátor pro model Prius je na následující obrázku č. 7.



Zdroj: (Hořčík, 2010)

Obr. 7 Ni-MH akumulátor v Toyotě Prius

Akumulátory lithium-ion

Lithium-iontový, nebo také často zkráceně označovaný jako lion akumulátor, je v současné době nejrozšířenějším typem zásobníku elektrické energie pro hybridní vozidla. „Typický tvar článku je válcový. Lithium-iontové baterie mají vysokou energetickou a výkonovou hustotu a stejnou cyklovou pevnost jako baterie nikel-metalhydridové. Měrná energie dosahuje 120 až 130 Wh/kg a životnost až 1000 cyklů. Paměťový efekt se u nich nevyskytuje.“ (Hromádko, 2012, s. 55-56) Jejich kapacita je ovšem velmi citlivá na okolní teploty. Pokud není okolní teplota na optimálních 5-30 stupních celsia, může dojezd vozidla s tímto typem akumulátorů klesnout o více jak třetinu. Dalším negativem je jejich poměrně vysoká výrobní cena. (Hromádko, 2012) Tento typ baterie přesto využívají výrobci u svých hybridních vozidel čím dál tím častěji. U svých modelů je začal využívat například automobilový výrobce Opel, dále také Volkswagen či nejvýznamnější výrobce hybridních vozidel – Toyota. Toyota je začala instalovat do své poslední verze nejnovějšího hybridního vozidla Prius (model 2017).

Vybrané údaje výše popsaných akumulátorů shrnuje a porovnává následující tabulka č. 3. Mezi porovnávanými parametry je hustota energie vyjádřená ve vztahu Watthodin na kilogram a Watthodin na litru, tedy porovnává energii k váze a objemu. Životnost je pak definována jako rozsah cyklů (vybití-nabití akumulátoru) a počtu let, kdy je možné akumulátor používat bez významnějšího snížení kapacity. Posledním a velmi důležitým parametrem je cena udávána jako poměr EUR k jednotce výkonu v kilovattech.

typ baterie	hustota energie		životnost		cena
	Wh/kg	Wh/l	cyklů	let	
olovo	30-50	70-120	50-1000	3-5	100-150
Nikel-kadmium	40-60	80-130	až 2000	3-10	225-350
Nikel-metalhybrid	60-80	150-200	500-1000	5-10	225-300
Lithium-ion	90-120	160-200	1000	5-10	až 275

Zdroj: (Hromádko, 2012, s. 53)

Tab. 3 Přehled vybraných údajů jednotlivých typů baterií

2 Dobíjecí stanice

Dobíjecí stanice, tedy místo, kde je možné připojit vozidlo k elektrické síti, jsou v ČR na vzestupu. Potenciál v nich vidí jak stát, který skrze jejich infrastrukturu chce rozšířit elektromobilitu všeobecně, tak soukromé subjekty, které v nich vidí lukrativní byznys budoucnosti. Setkat se s nimi lze i ve veřejných prostorech, v případě jejich umístění například v obchodních centrech. V této kapitole jsou blíže popsány druhy dobíjecích stanic, jejich rozdělení, technické parametry a současný rozvoj.

2.1 Druhy dobíjecích stanic

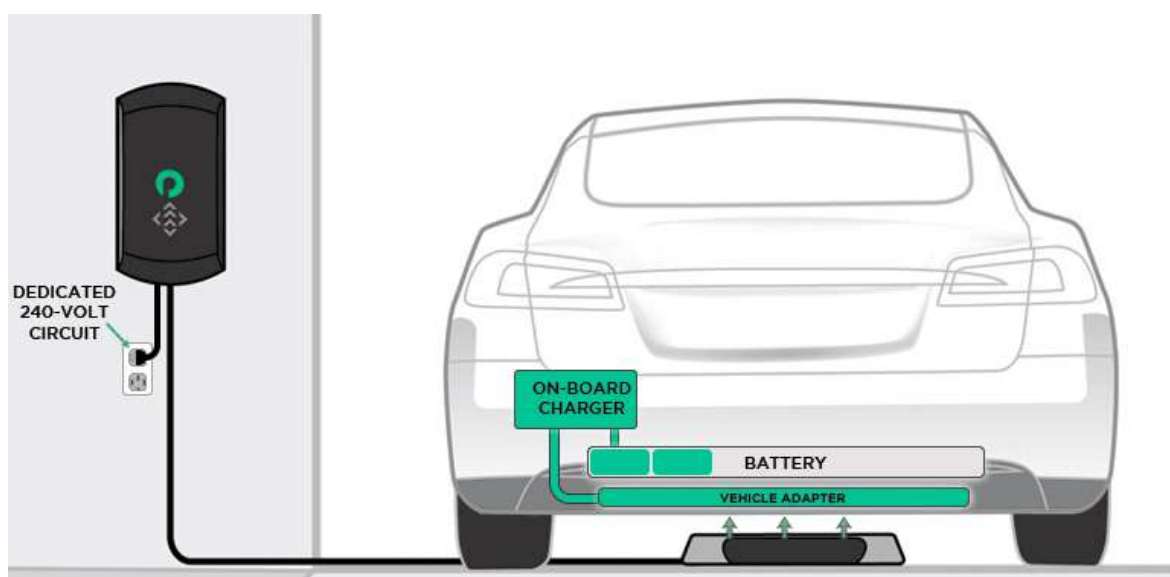
Obecně lze dělit dobíjecí stanice dle přístupnosti a místa instalace (Košťál, 2011, s. 10):

- **„veřejné nabíjení** – na veřejně přístupných místech nebo u silnic,
- **poloveřejné nabíjení na soukromých plochách** – parkovací objekty, obchodní střediska nebo hotelová parkoviště,
- **polosoukromé nabíjení na soukromých plochách** – nabíjecí možnosti pro osoby, které pravidelně dojíždějí za prací (pendleři), jakož i pro služební a firemní vozidla na firemních pozemcích,
- **soukromé nabíjení na soukromých pozemcích** – pravděpodobně doma v garáži.“

Z doposud provedených šetření vychází najevo, že elektromobily resp. hybridní vozidla se nejčastěji pohybují tam, kde jsou k dispozici veřejné dobíjecí stanice, avšak nejčastěji se nabíjí v soukromé oblasti. Proto také německé národní grémium pro elektromobilitu NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) založené v roce 2010, vyzdvihuje význam polosoukromého a soukromého nabíjení. (Košťál, 2011, s. 10) Ovšem ne každý má možnost dobíjet svůj automobil doma před domem či v garáži. Jednak proto, že neparkují v garáži, či vůbec nevlastní dům, nýbrž byt a z něj se samozřejmě vozidlo nabíjí obtížně. Navíc pokud se jedná o elektromobily, největší a nejbližší využití se plánuje ve městech, obzvlášť ve velkých městských aglomeracích kde je smogová situace nejhorší, tedy v centrech měst, žádné rodinné domy nenajdeme. Převážná většina lidí zde bydlí v bytech výškových budov, kde neexistuje možnost dobít vozidlo proudem z domácnosti.

Veřejnost se také čím dál častěji setkává s podporou elektromobility od soukromých subjektů jako jsou zaměstnavatelé. V rámci pracovní doby mají zaměstnanci možnost dobíjet svá vozidla přímo na parkovišti u zaměstnavatele. Takové plochy spadají do polosoukromé oblasti. Počet takových míst však bývá omezen a rozhodně nepokryje případnou hromadnou poptávku. A jelikož je zřejmé, že širší rozšíření elektromobility ve městech je omezeno právě nemožností dobíjet vozidlo v soukromé či polosoukromé oblasti, opět přichází na řadu dočasný trend hybridních vozidel. Rozšíření hybridů napomůže celé elektromobilitě zkrze postupné rozšiřování potřebné infrastruktury a především pomocí šíření povědomí o této problematice u široké veřejnosti.

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, akumulátory plug-in hybridních vozidel, stejně jako akumulátory elektromobilů, lze dobíjet z elektrické sítě pomocí nabíjecí jednotky. Taková jednotka může být **externí** (v nabíjecí stanici) či **interní** (ve vozidle). Nabíjení hybridních a elektrických vozidel může probíhat i bezkontaktně, například pomocí adaptéru ve vozidle, který přijímá energii z podložky, nad kterou majitel vozu zaparkuje, jak znázorňuje obrázek č. 8.



Zdroj: (Yamauchi, 2017)

Obr. 8 Bezkontaktní nabíjení akumulátorů vozidla pomocí adaptéru

Ve většině případů však probíhá nabíjení pomocí vodivého spojení, tedy kabelem. „Nabíjení elektrických vozidel popisuje norma IEC 61851-1:2001 (odpovídá ČSN EN 61851-1 Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 1:

Všeobecné požadavky“ (Košťál, 2011, s. 10) K propojení vozu a dobíjecí stanice pomocí kabelu se standardně využívají 3 koncepce. První a nejčastější je případ, kdy je kabel vybaven dvěma konektory, tedy kabel je přenosný a většinou jej vozí majitel vozu s sebou. Druhou koncepcí je případ, kdy je kabel na jedné straně pevně spojen s nabíjecí jednotkou, konektor je tedy pouze na jedné straně, kde se připojuje k vozu. Třetí koncepcí je možnost, kdy je kabel pevně spojen s vozidlem a osazen konektorem pro připojení k dobíjecí stanici.

V případě obecného rozdělení dobíjecích stanic lze popsat dva hlavní druhy (hybrid.cz, ©2014):

- nabíjecí stanice do 22 kW/32 A na střídavý proud (AC)
- nabíjecí stanice nad 22 kW/32 A na stejnosměrný proud (DC)

„Nabíjecí stanice do 22 kW/32A na střídavý proud (AC) vlastně nabíječky ani nejsou. Skutečné nabíječky jsou v tomto případě umístěny přímo v elektromobilu. Jde o tzv. palubní nabíječky. Nabíjecí stanice do 22 kW je vlastně jen konektor, který posílá střídavý proud (AC) do nabíječky v elektromobilu.“ (hybrid.cz, ©2014) Palubní nabíjecí jednotka poté mění střídavý proud na stejnosměrný a posílá jej do baterií. Vzhledem k výše popsanému, bude v této práci využíván pojem „dobíjecí stanice“ pro jakýkoli dobíjecí bod, se kterým se vozidlo propojuje z důvodu potřeby dobítí, bez ohledu na skutečnost, že dobíjecí stanice nemusí obsahovat nabíjecí zařízení, nýbrž nabíjecí zařízení (jednotku) může obsahovat přímo vozidlo (interní nabíjecí jednotka).

Akumulátory vozidel jsou napájeny stejně jako většina domácích spotřebičů pomocí stejnosměrného proudu. Standardní elektrické vedení, které vede až do domácnosti, přenáší střídavý proud, v klasické domácí zásuvce (nazývané SCHUKO) je pak 230 V střídavého proudu. „Většina moderní elektroniky je postavena na integrovaných obvodech a bateriích, které pro svou činnost potřebují proud stejnosměrný (DC), proto je možné je nabíjet pouze pomocí nabíječky s napájecím zdrojem, který mění AC střídavý proud z domácí elektrické zásuvky na DC stejnosměrný proud.“ (EVEXPERT, ©2016)

Nabíjení střídavým proudem AC

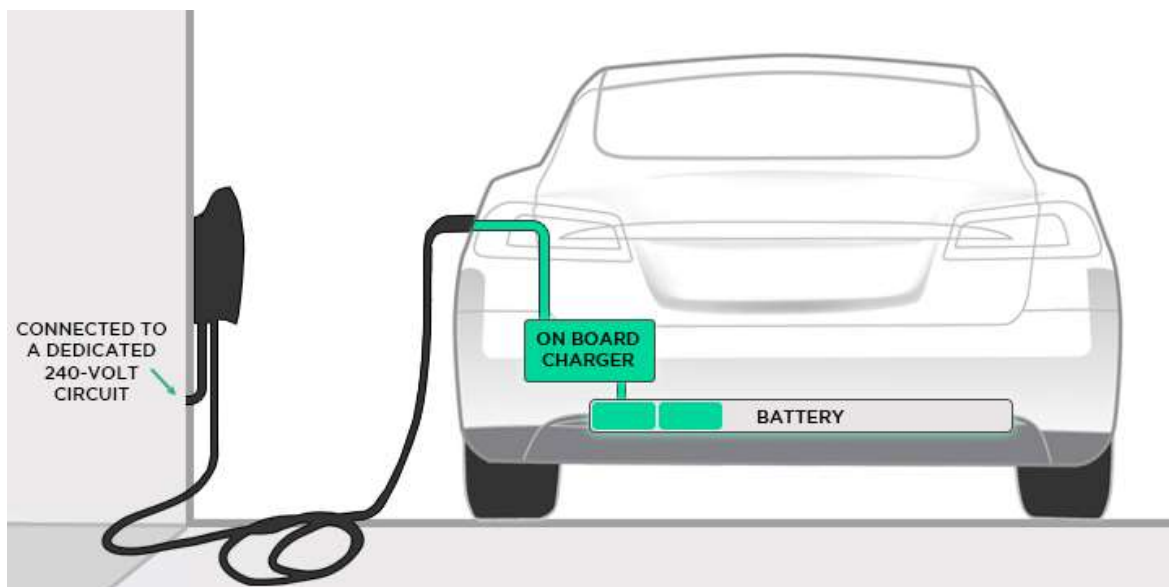
Pokud je vozidlo nabíjeno střídavým proudem je pro nabíjení akumulátorů vozidla využívána nabíjecí jednotka integrovaná ve vozidle. Pokud je tedy možno dobíjet

vozidlo střídavým proudem, musí mít takové vozidlo integrovanou nabíjecí jednotku. Jednotka ve vozidle přijímá střídavý proud a posléze jej mění na stejnosměrný, ten poté posílá dále do akumulátorů vozidla. Klíčovým faktorem pro způsob dobíjení vozidla je tedy jeho zabudovaná palubní nabíjecí jednotka (nabíječka). Tato nabíječka limituje rychlost dobíjení akumulátorů z nejdostupnějších a nejrozšířenějších dobíjecích stanic poskytujících střídavý proud AC (např. domácí zásuvka). „Maximální možná rychlost nabíjení je tedy závislá na maximální výkonové zatížitelnosti zásuvky nebo nabíjecí stanice avýkonu palubní nabíječky, potažmo dána počtem fází, které je schopna využít.“ (EVEXPERT, ©2016) Nejběžněji se lze setkat se třemi typy zásuvek, které poskytují střídavý proud:

- jednofázová zásuvka 3,7kW (SCHUKO),
- třífázová zásuvka 11kW (16 A),
- třífázová zásuvka 22kW (32 A).

Podle typu zásuvky se nabíjení střídavým proudem dělí na pomalé a rychlé.

- **Pomalé dobíjení střídavým proudem** – takto lze označit pomalé dobíjení jednofázovým střídavým proudem o velikosti max. 16 A. V takovém případě je při nabíjení využívána nabíjecí jednotka integrovaná ve vozidle, tento proces znázorňuje obrázek č. 9. Vozidlo je připojeno k elektrické síti, kdy dochází k proudění střídavého proudu do interní nabíjecí jednotky. Jednotka následně mění střídavý proud na stejnosměrný a nabíjí akumulátory. (Mannekes, 2012, In Kredbová, 2013)
- **Rychlé dobíjení střídavým proudem** – je variantou nabíjení pro vozidla s typem vestavěné nabíjecí jednotky, která dokáže využít tři fáze. Zásuvkou, která je takto dimenzována a je hojně rozšířena je 400V, 16 A zásuvka využívána v domech např. k pohonu míchaček, cirkulárek a pod. Většina dnešních menších elektromobilů či hybridů naráží právě na tento problém. Pokud vestavěná nabíjecí jednotka neumožňuje dobíjet vozidlo třífázovým proudem, je dobíjení střídavým proudem omezeno pouze na pomalé dobíjení jednofázovým proudem. Ovšem i vozidlo s méně praktickou nabíječkou, která neumí využít třífázovou zásuvku, lze dobíjet rychle. Řešením je nabíjení stejnosměrným proudem (DC). (Čapek, 2015)

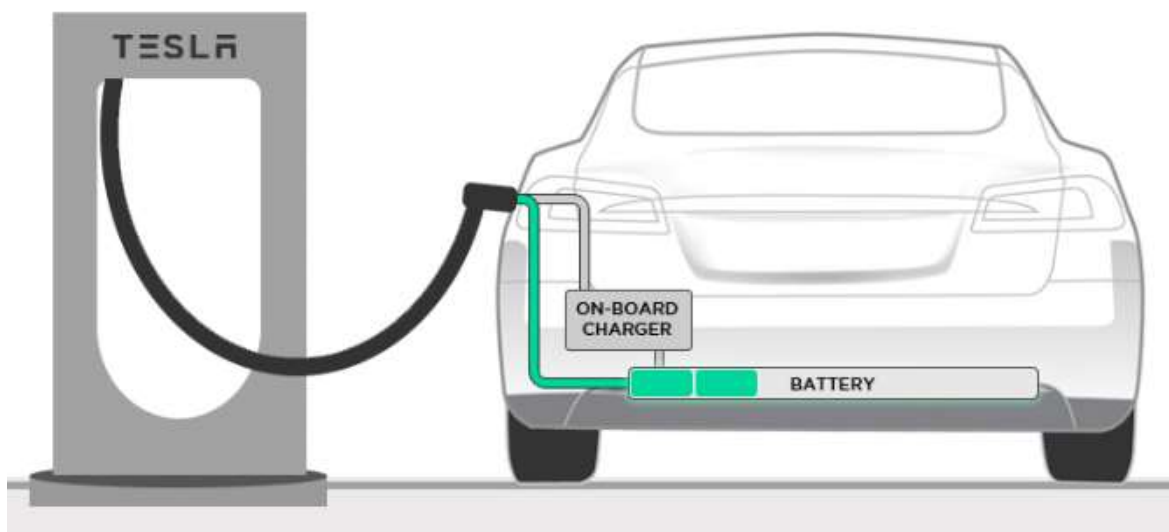


Zdroj: (Yamauchi, 2017)

Obr. 9 Nabíjení akumulátorů vozidla pomocí integrované dobíjecí jednotky

Nabíjení stejnosměrným proudem DC

Nabíjení stejnosměrným proudem je označováno jako rychlonabíjení. Je řešeno „... pomocí DC nabíjecí stanice, která umí střídavý proud (AC) změnit na stejnosměrný (DC). Poté "obejde" palubní nabíječku elektromobilu a tento stejnosměrný proud posílá přímo do baterie, přesně podle instrukcí řídicího systému nabíjení ve vozidle. Nabíjení tedy není omežováno výkonem palubní nabíječky a probíhá podstatně rychleji.“ (EVEXPERT, ©2016) Grafické znázornění principu nabíjení pomocí stejnosměrného proudu, kdy DC dobíjecí stanice obchází dobíjecí jednotku vozidla je znázorněno na obrázku č. 10. V tomto případě tedy není výkon nabíjecí jednotky limitován zabudovanou nabíječkou. „Takováto nabíjecí stanice je ale technologicky podstatně složitější a mnohonásobně dražší než AC nabíjecí stanice ...“ (EVEXPERT, ©2016) DC dobíjecí stanice vyžadují výkonné odběrné místo, které poskytuje dostatek elektrické energie. Finanční a technická náročnost brání širšímu rozšíření těchto velmi žádaných rychlodobíjecích stanic.



Zdroj: (Yamauchi, 2017)

Obr. 10 Nabíjení akumulátorů vozidla pomocí DC dobíjecí stanice (TESLA)

DC dobíjecí stanice musí během dobíjení s vozidlem komunikovat namísto interní dobíjecí jednotky tak, aby bylo možné upravovat vstupující výkon na základě aktuální kondice akumulátorů. Tato komunikace probíhá skrze komunikační modul, konkrétně konektor DC dobíjecí stanice.

2.2 Dobíjecí konektory

Dobíjecí konektory lze rozdělit na 3 typy. Konektory pro AC dobíjení a DC dobíjení a jejich kombinaci. Konektorem je myšlen typ zásuvky. V případě dobíjení střídavým proudem (AC) skrze zásuvky popsané výše (SCHUKO a třífázové zásuvky) je speciální konektor pro dobíjení na druhé straně kabelů k nabíjení určených, tedy na straně kabelu, který se připojuje k vozidlu. Lze se však setkat se sofistikovanými AC dobíjecími stanicemi, které jsou vybaveny stejnými konektory jako dobíjené vozidlo. DC dobíjecí stanice disponují již pouze speciálními standardizovanými konektory pro dobíjení. Vzhledem k faktu, že se doposud automobiloví výrobci neshodli na jednotném konektoru jak pro AC tak DC dobíjení, činí dobíjení vozidel kvůli většímu počtu typů konektorů značné problémy. Pro majitele elektrovozidel a plug-in hybridů to znamená hledat u každé dobíjecí stanice optimální způsob spojení vozidla s dobíjecí stanicí. Z toho důvodu je na trhu dostupných mnoho kabelů a redukcí.

Typy konektorů pro dobíjení střídavým proudem AC

- **Typ 1**, podle norem SAE J1172 / IEC 62196-2 je tento typ konektoru nejčastěji využíván ve Spojených státech amerických (dále jen USA) a Japonsku. Využívají je především automobiloví výrobci jako Chevrolet, Ford, Mitsubishi Group (dále jen Mitsubishi), Nissan Motor Company Ltd. (dále jen Nissan) či Toyota.
- **Typ 2**, podle normy IEC 62196-2 nazýván také jako Mannekes „... je upřednostňován německými výrobci automobilů. Tento robustní a pro používání jednoduchý konektorový systém umožňuje přenášet velké výkony, a to u jednofázové verze až 3,7 kW, u tří- fázové verze dokonce až 43 kW.“ (Košťál, 2011, s. 11) Tento typ konektoru je preferován evropskými výrobci automobilů jako například AUDI AG (dále jen AUDI), BMW, Mercedes-Benz (dále jen Mercedes), Dr.Ing. h.c. F. Porsche AG, Groupe Renault, Volvo Group (dále jen Volvo) či Volkswagen. U svých vozů jej však využívá také například Tesla.
- **GB part 2** je typ konektoru, který byl vyvinut speciálně pro čínský trh. Je vybaven inovativním uzamykáním během nabíjení. (PHOENIX CONTACT, ©2013)

Typy konektorů pro dobíjení stejnosměrným proudem DC

- **Typ 1** dle normy IEC 62196-3 vychází z typu 1 normy IEC 62196-2 pro AC nabíjení. Pro stejnosměrné nabíjení je tedy využíván opět výrobci z USA stejně jako tomu bylo u typu pro dobíjení střídavým proudem.
- **Typ 2** vychází z varianty Typu 2 pro AC dobíjení, splňuje normu IEC 62196-3. Využíván je převážně evropskými automobilkami.
- **GB Part 3** vyhovuje opět normě IEC 62196-3. Vychází z typu GB part 2 pro AC nabíjení, primárně pro čínský trh.
- **CHAdeMO** (Change de move) taktéž splňuje normu IEC 62196-3, je však využíván především Japonskými automobilkami jako Toyota, Nissan, Mitsubishi a Kia Motors Corporation, ale také evropskými výrobci Automobiles CITROËN či Peugeot. Nevýhodou tohoto konektoru je jeho vyšší hmotnost a fakt, že geometrie tohoto konektoru neumožňuje vytvořit

kombinovanou variantu konektoru pro AC/DC dobíjení. (Kredbová, 2013)
Přehled výše popsaných konektorů znázorňuje obrázek č. 11.



Zdroj: (Enorth, ©2017)

Obr. 11 Přehled standardizovaných dobíjecích konektorů

Typy konektorů pro kombinované dobíjení AC a DC proudem

Standardizovány a hojně rozšiřovány jsou nyní 2 typy kombinovaných konektorů, tzv. CSS (combined charging system). V obou případech se jedná o spojení AC konektorů vybavených dvěma dodatečnými kontakty, umožňujícími dobíjení stejnosměrným proudem. CSS „... je kombinovaný zásuvný systém nabíjení pro nabíjení elektromobilů střídavým (AC) a stejnosměrným (DC) proudem. Prostřednictvím nabíjecí zásuvky elektromobilu můžete nabíjet nabíjecími konektory AC i DC: ve vozidle je zapotřebí pouze jedno rozhraní.“ (PHOENIX CONTACT, ©2017) Na jakém principu fungují kombinované konektory, znázorňuje obrázek č. 12. Jeden konektor jak pro AC nabíjení přes noc, či při delším stání na parkovišti, tak pro rychlé nabíjení při delší cestě během několika minut na odpočívadle. Systém CSS „... je vytvořen v souladu s normami IEC 62196-3 a SAE J1772. Existují geometrie konektorů pro typ 1 (Severní Amerika) a pro typ 2

(Evropa). Systém byl vyvinut spolu s předními výrobci automobilů a používá se již v mnoha elektromobilech. V roce 2013 již Evropská komise stanovila používání zásuvného systému nabíjení CCS typ 2 podle IEC 62196 jako vlastní standard pro celou Evropu.“ (PHOENIX CONTACT, ©2017)



Zdroj: (PHOENIX CONTACT, ©2017)

Obr. 12 Schéma principu kombinovaných konektorů

- **Typ 1** je využíván především na území USA a Japonska. Konektory využívají například automobilky Toyota, Ford, Honda Motor Company, Ltd. či Nissan.
- **Typ 2** je kombinovaným konektorem, kterým disponují vozidla evropských automobilových výrobců jako je BMW Daimler AG, Volkswagen Group či Fiat Chrysler Automobiles N.V. Do svých vozů je však instalují například také Tesla, nebo Hyundai.

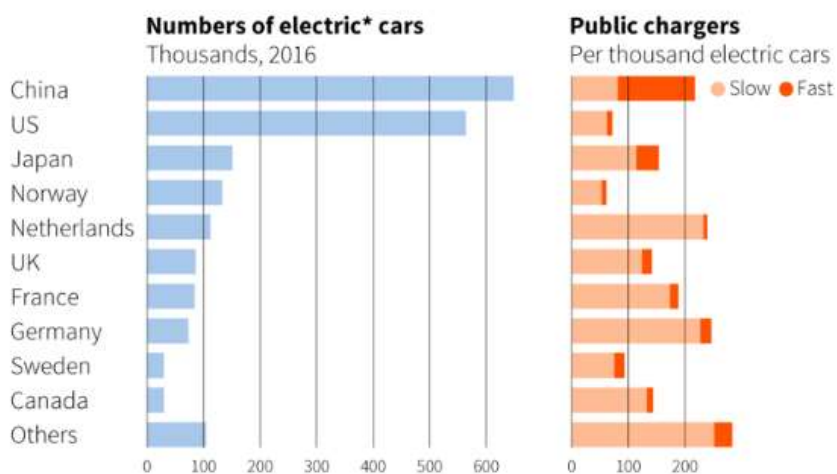
Nelineární nabíjení

V rámci problematiky dobíjecích stanic je dobré zmínit nelineární dobíjecí charakteristiku, která dobíjení provází. Akumulátory jsou schopny přijímat energii

na základě jejich aktuálního stavu nabití, teplotě a dalších proměnných. Stejně jako je tomu například při nabíjení mobilních telefonů, také akumulátory ve vozidlech se dobíjí velmi rychle na hranici cca 80 %. Poté proud sycení pomalu klesá, čili dobíjení zbylých 20 % trvá v poměru k celému procesu nabíjení velmi dlouho. V případě dobíjení vozidla, kdy je během cesty potřeba vozidlo dobít je čas důležitou komoditou, z toho důvodu se vyplatí akumulátory dobíjet k hranici 80 % jejich kapacity a poté pokračovat v cestě. (Čapek, 2015)

2.3 Problematika dobíjecí infrastruktury

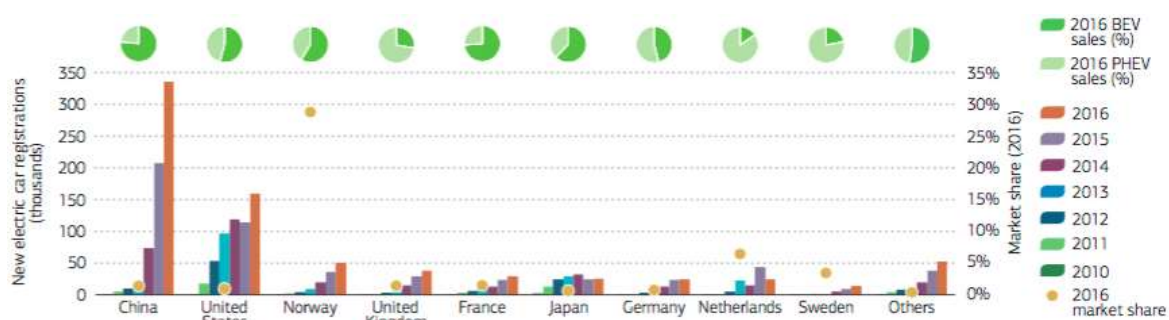
V Norsku je dnes jedno ze tří prodaných aut buď plně elektrický vůz, či plug-in hybrid. Norsko podporuje elektromobilitu mnohými programy, jako je osvobození od DPH při nákupu nových plug-in hybridů a elektromobilů, osvobození od daně při registraci vozidla, mýtného, parkovacích poplatků a mimo jiné také umožňuje zdarma dobíjení na veřejných dobíjecích stanicích, kterých je v Norsku mnoho, přesto je ale problém najít volnou dobíjecí stanici. Situaci graficky znázorňuje obr. č. 11. V jeho levé části je vyobrazen počet elektrických vozidel (plně elektrických vozidel včetně plug-in hybridních automobilů) v tisících kusů ve vybraných nejeletrifikovanějších zemích světa. V pravé části se nachází přehled počtu dobíjecích stanic, rozděleno na pomalé dobíjecí stanice (světle oranžová) a rychlé dobíjecí stanice (tmavě oranžová), v poměru na tisíc elektrických vozidel. Z přehledu je zřejmé, že právě Norsko má mezi nejvyspělejšími zeměmi v tomto ohledu nejméně dobíjecích stanic na tisíc elektrických vozidel.



Zdroj: (Reuters, ©2017)

Obr. 13 Podíl dobíjecích stanic na počtu elektrických vozidel ve vybraných zemích světa

Problémy s elektromobilitou v Norsku jsou však zřejmější při porovnání obr. č. 13 a č. 14, kdy druhý jmenovaný obrázek znázorňuje růst počtu elektrických vozidel mezi roky 2010 až 2016, podle kterého se agresivní podpora elektromobility v Norsku projevuje stabilním růstem. To by nebylo až tak kritické, ovšem z obrázku je také patrný zásadní rozdíl oproti ostatním zmíněným zemím. Jde o podíl elektrických vozidel na celkovém počtu vozidel (tzv. market share). V roce 2016 činil tento podíl v Norsku téměř 30 %, následuje Nizozemsko a Švédsko s cca 5% procenty a Francie, Anglie, Čínská lidová republika, které překročili hranici 1 %. Zde je vidět výrazný rozdíl mezi Norskem a zbytkem světa. Pokud je v zemi pouze zanedbatelné množství elektrických vozidel, nemá nedostatek dobíjecích stanic na dopravu takový dopad. Ovšem pokud například ve městech, s vyšším podílem elektrických vozidel nejsou k dispozici dobíjecí stanice, popř. proud pro jejich napájení, znamená to velký problém. V případě konvenčních pohonů natankují vozidla klasická paliva během pár minut a uvolní místo pro plnění dalším zájemcům. Ovšem v případě elektrických vozidel znamená dobíjení baterií minimálně desítky minut, popř. jednotky hodin. Vozidla většinu času stojí, např. během pracovní doby bez povšimnutí. Jakmile je vozidlo nabito, dále zabírá místo případným dalším zájemcům o nabíjení.

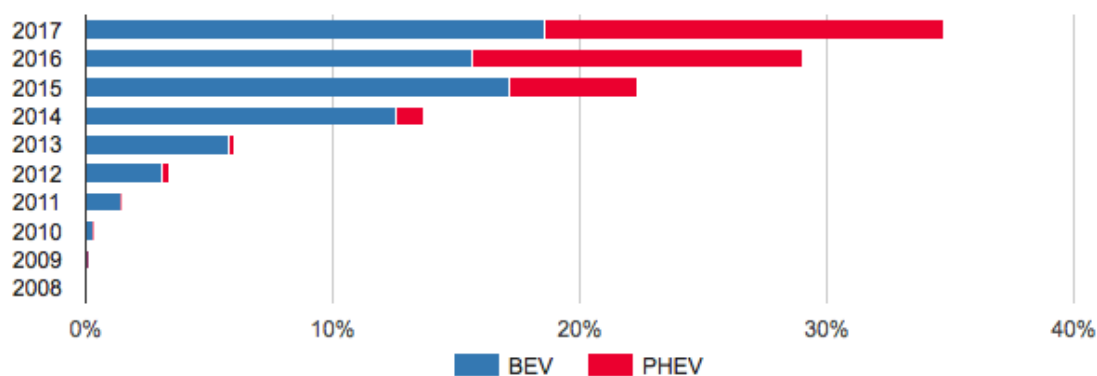


Zdroj: (International Energy Agency, ©2017)

Obr. 14 Vývoj počtu dobíjecích stanic v mezi roky 2010 a 2016 včetně tržního podílu elektrických vozidel a poměru elektromobilů/plug-in hybridů ve vybraných zemích světa

Norsko, mimo masivní podpory elektromobility pomocí podpůrných programů, uvalilo vysoké dodatečné daně na pořízení automobilu s konvenčním pohonem. Země samozřejmě nepodporuje elektromobilitu pouze programy na nákup elektrických vozidel, nýbrž rozšiřuje také potřebnou infrastrukturu. Avšak při ročním 25% přírůstu dobíjecích stanic, přibude za stejné období 100 % vozidel,

kteřé tuto infrastrukturu využívají. Kromě problémů s infrastrukturou se však objevuje další problém elektromobility všeobecně. Nedostatkovou záležitostí, jak již bylo zmíněno, začíná být v nabíjecích špičkách také proud, kterého ve městech, v momentě zapojení tisíců vozidel najednou, není dostatek. Situace dosáhla úrovně, kdy norská asociace elektrických vozidel vydala doporučení, ve kterém nedoporučuje nákup elektromobilu domácnostem bez přístupu k soukromému dobíjení, například přes noc doma v garáži. Většina obyvatel Norských měst však nemá k takovým nabíjecím bodům přístup a proto jim nezbyvá nic jiného, než vyhledávat veřejnou dobíjecí síť. Přes zmíněná varování však dosáhl podíl nově zakoupených elektrických vozidel v září 2017 téměř 50 % vůči všem prodaným vozidlům v tomtéž měsíci. Konkrétně se zde prodalo 3850 elektromobilů a 2674 elektrických hybridů. (Hořčík, 2017) V roce 2017 dosáhlo Norsko 35% podílu vozidel, které je možno dobíjet elektrickým proudem. Rapidní nárůst celkového podílu nabíjecích elektrických vozidel znázorňuje obrázek č. 15. Za pouhých 7 let se Norsko kvůli masivní podpoře elektromobility stalo zemí s třetinovým zastoupením elektrických vozidel v dopravě a ukázalo světu úskalí, které elektromobilita přináší.



Zdroj: (European Alternative Fuel Observatory, ©2017a)

Obr. 15 Přehled růstu podílu elektromobilů a plug-in hybridů na norském trhu v letech 2008 až 2017

Norsko je důkazem toho, že na masovější rozšíření elektromobility je zapotřebí dostatek času. Bez potřebného budování infrastruktury a zdrojů elektrické energie, nelze dosáhnout masivnějších výsledků elektrifikace dopravy. (Bednář, 2017)

Sjednocení dobíjecích stanic více poskytovatelů

Dalšímu rozvoji elektromobility v ČR, podle manažera útvaru čisté technologie skupiny ČEZ Tomáše Chmelíka, brání problémy spojené se samotným nabíjením mezi poskytovateli a odběrateli. Podle něj není problém s dobíjecí technologií, kdy ve většině případů každý majitel elektrického vozidla může nabíjet na jakékoli dobíjecí stanici v ČR. Úskalí spatřuje v chybějící platformě pro sjednocení plateb. Dobíjecí stanice mají různé provozovatele, tzn. také jiné podmínky, ceny a hlavně vlastní smlouvy. V takovém případě je nutné se informovat o jednotlivých dobíjecích stanicích předem, a uzavírat různé typy smluv. (Zatloukal, 2017) Řešením může být německý projekt Hubeject. „Hubeject GmbH, společný podnik firem BMW Group, Bosch, Daimler, EnBW, RWE a Siemens, představuje průmyslovým odborníkům portfolio řešení zaměřených na evropské propojení dobíjecích sítí pro elektromobily. Na základě obchodní a datové platformy nabízí poskytovatelům služeb e-mobility příležitost rozšířit nabídku produktů včetně e-Roamingu. Tato služba umožňuje řidičům elektrických vozidel přístup ke všem veřejným dobíjecím místům vznikajícím v evropských energetických sítích pouze na základě smlouvy s jedním z poskytovatelů.“ (Autojob, ©2012) V roce 2017 sdružuje společnost Hubeject již 300 poskytovatelů dobíjecích stanic. Její zájmy jsou zatím především v Evropě a celkem svou platformou spojuje dobíjecí stanice ve 24 státech. (HUBJECT, ©2017) Vyjímkou již není ani ČR, kde jsou do projektu zapojeny 2 společnosti a to EVSELECT s.r.o. (projekt EVMAPA) a QMX s.r.o. (projekt Polyfazer). První jmenovaná společnost nabízí svým klientům, skrze projekt EVMAPA, desítky nabíjecích stanic v ČR, které lze pomocí jednoho účtu jednoduše využívat.

3 Metody vícekriteriálního rozhodování

Pokud se provádí rozhodnutí pouze na základě jednoho kritéria, např. finančního, jde o monokriteriální rozhodování. V daném případě je rozhodování jednodušší. „Případy, kdy je možno při rozhodování brát v úvahu jen jedno kritérium, jsou spíše výjimkou.“ (Gros, 2015, s. 59) Takové rozhodování je méně pracné i časově náročné, je zde však vyšší riziko zanedbaní faktorů, které mohou být pro volbu řešení důležité. Pro zohlednění více kritérií v rámci rozhodování je k dispozici disciplína vícekriteriálního rozhodování. (Štědroň a kol., 2015) Disciplína vícekriteriálního rozhodování se věnuje řešení rozhodovacích problémů, kterým každý čelí v běžném osobním či profesním životě. V každé situaci, ale především v momentě, kdy důsledky rozhodnutí mohou ovlivnit život na několik příštích let, je při rozhodování snaha o **komplexní posouzení situace**. „A právě tato snaha o komplexnost se projeví tím, že rozhodnutí neprobíhá podle jednoho ukazatele, ale budeme brát při rozhodnutí (výběru optimálního řešení) v úvahu více hledisek (kritérií). Tato kritéria pak v praxi bývají většinou protichůdná v tom smyslu, že použití jednotlivých hledisek samostatně povede k odlišným rozhodnutím – výběru různých optimálních řešení.“ (Štědroň a kol., 2015, s. 51) Metody vícekriteriálního rozhodování mají pak za cíl stanovit doporučení pro určení tzv. **kompromisního rozhodnutí**. Kompromisní rozhodnutí je takové rozhodnutí, které se v optimální míře snaží reflektovat všechna uvažovaná kritéria.

Struktura rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces lze dekomponovat na jednotlivé etapy (fáze). Popis struktury rozhodovacího procesu v odborné literatuře není jednotný, liší se převážně počtem etap, resp. podrobností dekompozice. Podle Štědroňe lze dělit multikriteriální rozhodovací proces detailněji na tyto etapy (2015):

1. **Důkladná analýza rozhodovací situace** zahrnující získávání potřebných dat, informací, následně jejich analýzu a vyhodnocení. „Při této analýze musíme vyjít z prozkoumání a popisu současného stavu ...“ (Štědroň a kol., 2015, s. 53) Výsledkem této etapy je identifikace problému, který bude následně řešen.

2. **Stanovení globálního cíle** je etapou pojednávající o tom, čeho chceme daným rozhodnutím dosáhnout. Jedná se o konkretizaci představy, jak má vypadat stav problému po rozhodnutí.
3. **Stanovení kritérií rozhodování**, pro následné posuzování a hodnocení navržených variant řešení rozhodovacího procesu.
4. **Stanovení preferencí (vah) kritérií**
5. **Identifikace možných rozhodnutí**, jejichž cílem je získání množiny možných variant řešení. „Vzhledem ke své základní funkci, kdy varianty řešení rozhodovacích problémů tvoří výchozí bázi pro kvalitní rozhodnutí, je tvorba variant jednou z nejdůležitějších fází řešení rozhodovacích problémů.“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 127) Přesto pro účely této práce není nutné tuto teorii více popisovat, jelikož v praktické části, kde bude použito vícekriteriální rozhodování, budou již varianty známy. Půjde pouze o výběr a stanovení počtu variant řešení v rozhodovacím problému. „Jak ukazuje praxe, s kvalitou variantních řešení úzce souvisí také kvantita variant. Pokud má rozhodovatel možnost volit mezi mnoha variantami, existuje pravděpodobnost, že mezi těmito variantami existuje taková, která zajistí optimální řešení rozhodovacího problému, i když platí, že existencí velkého množství variant není nalezení této optimální varianty stoprocentně zaručeno.“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 127)
6. **Sběr a analýza informací o možných rozhodnutích.** „Získávání údajů o možných rozhodnutích se liší podle toho, zda se jedná o kvantitativní nebo kvalitativní kritéria. U kvantitativních kritérií lze jejich hodnoty pro možná rozhodnutí v jednodušším případě získat z existující informační základny ...“ (Štědroň a kol., 2015, s. 55) V případě kvalitativních kritérií se získávání hodnot řeší pomocí expertních metod.
7. **Výběr hodnotící metody**
8. **Výpočet**, tedy aplikace zvolené metody, či metod multikriteriálního rozhodování na hodnoty příslušných kritérií.
9. **Analýza výsledku** je etapou, kde je nutné učinit podrobnou analýzu výsledků výpočtů a vyvodit z ní odpovídající závěry. V rámci hodnocení může být výsledkem:

- „Určení buď celkově **nejvýhodnější (optimální) varianty**, nebo
- Určení tzv. preferenčního uspořádání variant, tj. Jejich seřazení podle celkové výhodnosti ...“ (Fotr, Švecová, 2010)

Pro zlepšení přehlednosti se doporučuje výsledky výpočtů znázornit graficky pomocí vhodných grafů.

10. Rozhodnutí je etapa, jejímž cílem je výběr varianty určené k realizaci.

11. Implementace rozhodnutí. V této etapě jde o realizaci zvolené varianty, tedy uplatnění řešení v praxi.

12. Hodnocení rozhodnutí je poslední etapou, zahrnující vyhodnocení odchylek dosažených výsledků od stanovených cílů. Hodnocení by mělo být provedeno jak po aplikaci řešení v praxi, tak s delším časovým odstupem po realizaci.

V následující části práce budou popsány detailněji etapy 3, 4 a 7 rozhodovacího procesu. Jedná se o klíčové etapy, které zajistí kvalitní volbu optimálního řešení.

3.1 Kritéria hodnocení

„Kritéria hodnocení prezentují hlediska zvolená rozhodovatelem (na základě jeho hodnotové soustavy ...), která slouží k posouzení výhodnosti jednotlivých variant rozhodování z hlediska dosažení, resp. stupně plnění dílčích cílů řešeného rozhodovacího problému.“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 26) Kritéria tedy přímo vyplývají z cílů též stanovených rozhodovatelem. Většinou se kritéria hodnocení stanovují podle cílů řešení, proto spolu těsně souvisí. Cíle můžeme vyjadřovat jako (Fotr, Švecová, 2010):

- **maximalizace** (resp. zvýšení), např. užitku, zisku, rentability,
- **minimalizace** (resp. snížení), např. ztrát, nákladů, chyb,
- či **dosažení konkrétních hodnot** těchto veličin, kdy kritéria k těmto cílům tvoří např. zisk, náklady, rentabilita aj.

„Například zlepšení pracovních podmínek na pracovišti může být rozděleno na tři oblasti (kritéria), a to hlučnost, exhalace a míra osvětlení“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 27) Při uplatňování kritérií v rámci posuzování výhodnosti konkrétních variant

rozhodování, je třeba rozlišovat kritéria, která mohou být vyjádřena (Fotr, Švecová, 2010):

- číselně, tzn. kvantitativní kritéria, a
- slovně, tzn. kvalitativní kritéria.

Příkladem kvantitativních kritérií může být výše zisku, čas potřebný k realizaci, či rentabilita kapitálu. Nopak příkladem kritérií s širším pojetím tedy kvalitativních kritérií mohou být např. dopad na jméno firmy, či sociálně politická kritéria. Předností kvantitativních kritérií jsou zejména jejich jednoznačná náplň, jasný smysl pro rozhodovatele a snadná měřitelnost. (Fotr, Švecová, 2010)

Zásady tvorby kritérií

Jak již bylo naznačeno, hlavním „vodítkem při stanovení kritérií hodnocení jednotlivých variant jsou především **cíle**, kterých chce rozhodovatel řešením rozhodovacího problému dosáhnout, neboť kritéria hodnocení slouží zejména pro stanovení stupně splnění těchto cílů ...“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 121) Pro každý dílčí cíl, na kterém rozhodovateli záleží, by měl být zastoupen určitým kritériem hodnocení. Příkladem může být výběr nového strojního zařízení, kdy je podstatné vzít v úvahu nejen cenu a maximální kapacitu zařízení, nýbrž také ekologickou nezávadnost, hlučnost či náklady na provoz. (Fotr, Švecová, 2010) Zvolená kritéria by měla být vybírána tak, aby mohla být v dalších etapách rozhodovacího procesu bez výhrad použitelná. Dle teorie jsou proto na tvorbu kritérií kladeny následující specifické požadavky (Fotr, Švecová, 2010):

- **Úplnost souboru kritérií** je požadavek, týkající se zohlednění kritérií, které umožňují vzhledem k řešenému problému posouzení a zohlednění všech důsledků, jak pozitivních tak negativních. „Neúplný soubor kritérií znamená, že některé aspekty řešeného problému se nezvažují, a tím se určité (zpravidla nežádoucí) důsledky variant nezjišťují, a nemohou být proto předmětem hodnocení“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 124)
- **Operacionalita souboru kritérií** představuje požadavek, aby každé kritérium bylo jasné a mělo jednoznačný smysl. Mělo by být tedy pro rozhodovatele plně srozumitelné. Je proto důležité, jednoznačně definovat jednotlivá kritéria, a to především v případě, kdy do rozhodovacího procesu

vstupují či se jinak účastní jiné subjekty než rozhodovatel, a to v jakékoli etapě.

- **Neredundance souboru kritérií** představuje soubor, který „... musí být zvolen tak, aby každý aspekt vcházel do hodnocení variant řešení daného problému pouze jednou. Soubor kritérií je redundantní tehdy, když dochází buď k částečnému, nebo úplnému překrývání kritérií (k duplicitě)“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 125) Užitečným nástrojem, kterým je možné předejít duplicitě kritérií je tzv. strom kritérií. Částečné překrývání jednotlivých kritérií je možno akceptovat, avšak do jaké míry, rozhoduje opět sám rozhodovatel.
- **Minimální rozsah souboru kritérií** vyjadřuje požadavek na množství kritérií. „... počet kritérií by měl být co nejmenší, neboť se tím značně zjednodušuje závěrečné hodnocení variant řešení problému a výběr varianty určené k realizaci.“ (Fotr, Švecová, 2010, s. 126) Tento požadavek lze podpořit agregací více kritérií do menšího počtu kritérií komplexnějšího charakteru.
- **Nezávislost kritérií** je požadavkem na závislosti mezi jednotlivými kritérii, přičemž by tyto vazby neměly být příliš těsné. Realitou však je, že většinou spolu nějak souvisí. Proto se doporučuje závislosti mezi jednotlivými kritérii alespoň vyvážit. Například zmenšení ekologické stopy výrobku znamená zvýšení jeho produkční ceny a naopak. V takovém případě by měla zvolená kritéria cena a výše ekologické stopy jasnou závislost.

Z výše uvedeného je zřejmé, že jsou některé specifické požadavky na tvorbu kritérií protichůdné a nezle všem stejnou měrou vyhovět. Například požadavek na minimální rozsah kritérií doporučuje minimalizaci počtu zvolených kritérií, avšak tím se popírá požadavek na úplnost souboru kritérií. Z toho důvodu je nutné při tvorbě kritérií volit určitý kompromis. (Fotr, Švecová, 2010)

3.2 Metody stanovení vah kritérií

Proces vícekritériálního rozhodování vyžaduje stanovení váhy jednotlivých kritérií. „Váhy kritérií (někdy nazývané též koeficienty významnosti) jsou číselně vyjádřeným odrazem jejich významnosti ... Čím je kritérium významnější (resp. přesněji, čím za významnější je rozhodovatel považuje), tím je jeho váha vyšší.“

(Fotr, Švecová, 2010, s. 163) Na druhou stranu, méně významnému kritériu je přiřazena nižší váha. V teorii se během času vytvořilo větší množství různých způsobů pro stanovení vah kritérií, přičemž se ličí především svou složitostí. Metody stanovení vah kritérií se podle Fotra a Švecové dělí do dvou základních skupin podle toho, zda je stanovení vah závislé na znalosti důsledků variant či nikoliv. V případě, že je nutné znát informaci o důsledku variant, využívá se kompenzační metoda pro stanovení vah kritérií. (2010) V této práci bude využito metod, pro které není stanovení vah kritérií závislé na znalosti důsledků jednotlivých variant. Mezi tyto metody patří (Fotr, Švecová, 2010, s. 164):

- „metody přímého stanovení vah, mezi které patří **bodová stupnice, alokace 100 bodů** a metoda stanovení vah kritérií **porovnáním kritérií pomocí jejich preferenčního pořadí ...**,
- metody založené na párovém srovnání významnosti kritérií zahrnující **metodu párového srovnání** (někdy nazývanou jako Fullerův trojúhelník) a **Saatyho metodu.**“

Úvodní tři metody, tedy metoda bodové stupnice, alokace 100 bodů a porovnání kritérií pomocí jejich preferenčního pořadí jsou si podobné tím, že určování významnosti vah jednotlivých kritérií se posuzuje napřímo. (Fotr, Švecová, 2010) Pro účely této práce bude využito metody bodovací stupnice, popisem této metody se věnuje následující část.

Bodovací metoda

Pro usnadnění určení vah kritérií je možné využít bodovací metody. „Bodovací metoda předpokládá, že je rozhodovatel schopen kvantitativně ohodnotit důležitost kritérií v nějaké předem zvolené bodovací stupnici ...“ (Jablonský, 2007, s. 275) Rozhodovatel by měl zvolit bodovou stupnici tak, aby reflektovala významnost jednotlivých kritérií. Proto je vhodné, aby se rozhodovatel před stanovením bodové stupnice zamyslel nad vztahem mezi nevíce a nejméně významným kritériem. Právě tato dvě kritéria určují rozpětí samotné bodové stupnice. „Příkladem stupnice s nižší rozhodovací schopností může být pětibodová stupnice (1, 2, 3, 4, 5), s vyšší rozlišovací schopností devítibodová stupnice (1,2, ..., 9). Čím považuje rozhodovatel kritérium za významější, tím větší počet bodů mu přiřadí. (Fotr, Švecová, 2010, s. 165) Samotný výpočet vah kritérií lze provést pomocí vzorce

(1), který se získá označením bodového ohodnocení i -tého kritéria symbolem p_i . (Jablonský, 2007)

$$v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (1)$$

v_i – váhy jednotlivých kritérií

p_i – bodové ohodnocení i -tého kritéria

n – počet kritérií

$i = 1, 2, \dots, n$

3.3 Hodnocení variant rozhodování

Teorie zabývající se multikriteriálním rozhodováním popisuje možná i více jak sto hodnotících metod. Hodnotící metody se liší primárně svou náročností. Některé lze jednoduše vypočítat na papíře, složitější je možné vypočítat s pomocí tabulkového editoru a ty nejsložitější vyžadují speciální počítačové programy. (Štědroň a kol., 2015) Podle Štědroň je však mnoho metod identických, pouze jsou uváděny dle autora s jinými názvy, či drobnými modifikacemi. Autoři, kteří se ve svých knihách věnují vícekriteriálnímu rozhodování, jako například Jablonský, Štědroň či Fotr a Švecová, popisují pouze metody hodnocení variant, které nazývají jako jednoduché, resp. jednodušší. Výsledkem těchto metod je transformace hodnot jednotlivých kritérií na bezrozměrnou veličinu, která je bezpochyby hodnocením jednotlivých variant a může být vnímána jako jejich hodnota či užitek. (Fotr, Švecová, 2010) Mezi takové metody je možno řadit např. metodu váženého pořadí, metodu bazické varianty, Saatyho metodu či metodu TOPSIS. Právě poslední jmenovaná metoda TOPSIS bude využita pro hodnocení variant v rámci praktické části práce.

Metoda hodnocení variant – TOPSIS

Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions), je hodnotící metodou variant, která měří vzdálenosti od tzv. fiktivních variant kalkulovaných z daného souboru variant. Metoda hodnotí varianty podle jejich nejmenší vzdálenosti od varianty **ideální** (tj. varianta s nejlepšími kritériálními hodnotami) resp. největší vzdálenosti od varianty **bazální** (tj. varianta s nejhoršími kritériálními hodnotami). (Jablonský, 2007)

Metoda TOPSIS předpokládá, že jsou všechna kritéria maximalizačního typu. „Minimalizační kritérium lze přetransformovat na maximalizační tak, že nové kritérium bude udávat rozdíl oproti nejhorší (tedy nejvyšší) kritériální hodnotě.“ (Jablonský, 2007, s. 281) Příkladem takového kritéria může být cena, v tom případě se kritérium upraví tak, aby udávalo rozdíl s nejdražší variantou. Poté lze o takovém kritériu hovořit jako o maximalizačním. Výsledkem metody TOPSIS je pak optimální varianta, tedy varianta s nejmenší vzdáleností od ideální varianty a současně největší vzdáleností od též fiktivní, nejhorší (bazální) varianty. Samotný výpočet lze provést v několika krocích. Nejprve se zkonstruuje normalizovaná kritériální matice R . Toho lze docílit transformací původních kritériální hodnoty y_{ij} na hodnoty r_{ij} dle vztahu (2).

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

r_{ij} – hodnota normalizované kritériální matice

y_{ij} – původní kritériální hodnota

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, k$

Následně se spočítají hodnoty vážené kritériální matice $W = (w_{ij})$ dle vzorce (3), kde v_j je váhou j -tého kritéria.

$$w_{ij} = v_j r_{ij} \quad (3)$$

w_{ij} – hodnota vážené kritériální matice

v_j – váha j -tého kritéria

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, k$

Z takto vypočítaných prvků matice W , lze určit ideální variantu s nejlepšími kritériálními hodnotami (H_1, H_2, \dots, H_k) a následně také bazální variantu s nejhoršími kritériálními hodnotami (D_1, D_2, \dots, D_k). Výpočet vzdáleností jednotlivých variant od ideální varianty lze provést dle vzorce (4), vzdálenosti od bazální varianty dle vztahu (5).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2} \quad (4)$$

d_i^+ - vzdálenost i -té varianty od ideální varianty

w_{ij} – hodnota vážené kritériální matice

$H_j = \max_i (w_{ij})$

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, k$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2} \quad (5)$$

d_i^- - vzdálenost i -té varianty od bazální varianty

w_{ij} – hodnota vážené kritériální matice

$D_j = \min_i (w_{ij})$

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, k$

Pořadí jednotlivých variant se stanoví dle vzorce (6), resp. dle výsledků jednotlivých relativních vzdáleností variant od bazální varianty.

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (6)$$

c_i = ukazatel relativní vzdálenosti i -té varianty od bazální varianty

d_i^- - vzdálenost i -té varianty od bazální varianty

d_i^+ - vzdálenost i -té varianty od ideální varianty

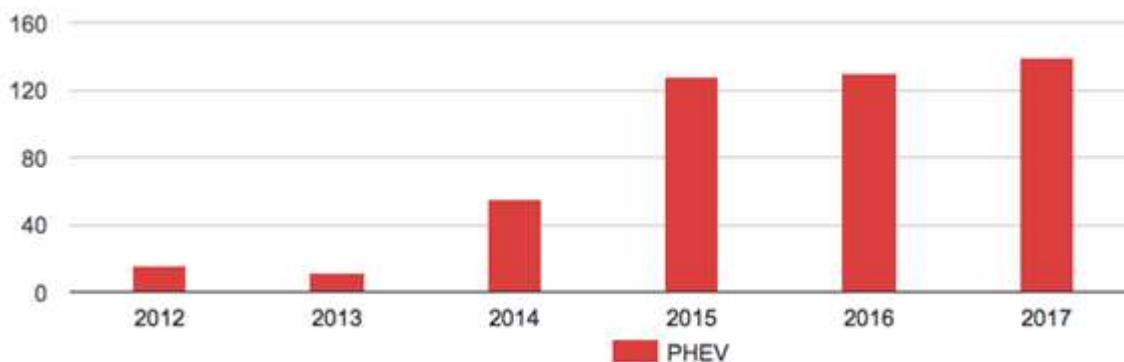
$i = 1, 2, \dots, n$

„Hodnoty c_i jsou z intervalu $<0, 1>$. Nabývají hodnoty 0 pro bazální variantu a hodnoty 1 pro ideální variantu. Varianty lze tedy uspořádat podle klesajících hodnot ukazatele c_i .“ (Jablonský, 2007, s. 282)

4 Současná situace plug-in hybridních pohonů v ČR

V této kapitole bude přiblížena aktuální situace, tedy stav k 1. 12. 2017, týkající se plug-in hybridních vozidel a dobíjecí infrastruktury na území ČR. Popisován je zde trh osobních automobilů, jelikož výsledkem této práce má být poskytnutí lepší informovanosti o problematice a případných možnostech využití plug-in hybridů pro fyzické osoby.

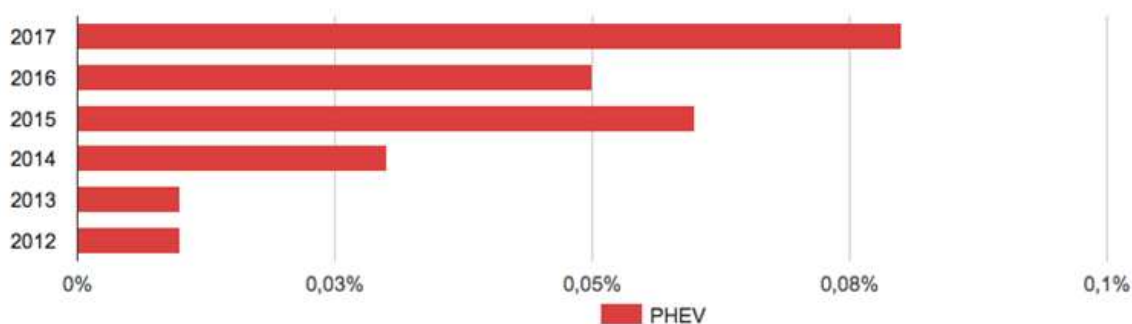
V současné době poskytuje stát dotace na plug-in hybridní vozidla pouze veřejné správě a firmám vlastněným z min. 50 % obcí či krajem. Taková podpora činí max. 200 000 Kč na nákup nového plug-in osobního vozidla. Dosavadní ministr životního prostředí, Richard Brabec, který tyto dotace představil, také oznámil, že se jedná o pilotní projekt dotací, který bude následně využit pro přípravu dotačních programů pro fyzické osoby. (Hořčík, 2016) V případě zavedení státních dotací pro fyzické osoby lze očekávat výrazné zvýšení zájmu o plug-in hybridní vozidla stejně tak, jako tomu bylo při zavedení dotačních programů např. v Norsku. Povědomí o nadcházející době elektrifikace se postupně šíří po ČR, ať už s rozrůstající se dobíjecí infrastrukturou, tak např. skrze informace o přípravě nových plug-in hybridních modelů společnosti ŠKODA AUTO a.s., které by měly dorazit již v roce 2019. Doposud však v poměru k vozidlům s konvenčním motorem není o plug-in hybridní vozidla příliš velký zájem. Jak je ale možno vidět na obr. č. 16, celkový počet nově registrovaných plug-in hybridů v ČR meziročně roste.



Zdroj: (European Alternative Fuel Observatory, ©2017b)

Obr. 16 Přehled růstu celkového počtu plug-in hybridů na českém trhu v letech 2012 až 2017

V datech roku 2017 nejsou zahrnuty údaje z posledního kvartálu, dá se tedy předpokládat, že počet nově registrovaných plug-in hybridních vozidel v ČR přesáhne hranici 160 kusů. Přesto je podíl nově registrovaných plug-in hybridů k celkovému počtu nově registrovaných vozidel v ČR stále mizivý. Tuto situaci graficky znázorňuje obr. č. 17, též bez počtů posledního kvartálu roku 2017.



Zdroj: (European Alternative Fuel Observatory, ©2017b)

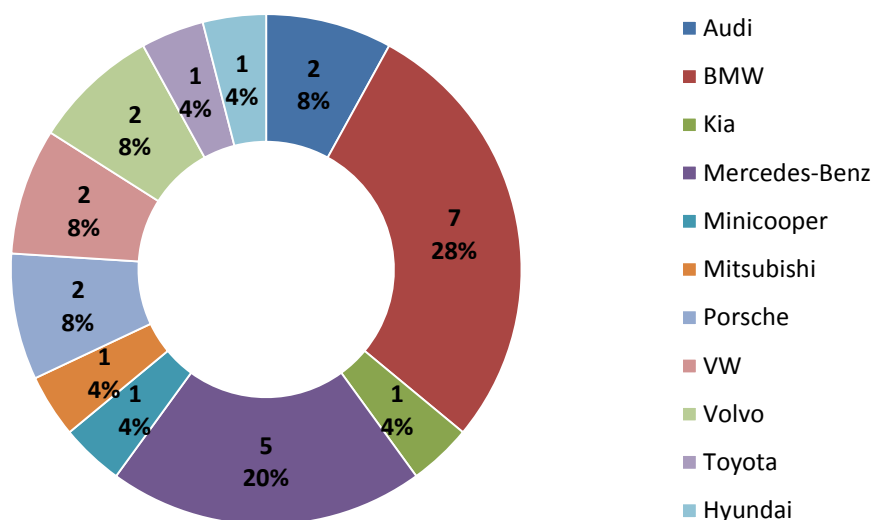
Obr. 17 Přehled růstu podílu plug-in hybridů na českém trhu v letech 2012 až 2017

Celkově je v ČR registrováno více než 480 plug-in osobních hybridních vozidel, což činí méně než 0,1% z celkového počtu osobních vozidel registrovaných na území ČR. Tato čísla jsou jasným důkazem, že elektrifikace osobní přepravy je bez dotačních programů státu velmi pomalá. Ovšem přímé dotace jsou pouze o snížení případných pořizovacích nákladů na vozidlo. Dá se očekávat, že pokud stát začne tímto způsobem pobízet fyzické osoby k nákupu ať už elektrických vozidel, tak plug-in hybridů, jejich prodeje se budou zvyšovat rychleji na úkor prodejů vozidel s konvenčním motorem. Lze předpokládat, že cena není aktuálně jedinou překážkou, která brání větším prodejům. Konečný spotřebitel také vnímá potřebu dobíjecích stanic, jejichž infrastruktura musí být též kontinuálně podporována.

4.1 Přehled aktuálně dostupných hybridních vozidel na trhu v ČR

Tato podkapitola se věnuje přehledu dostupných plug-in hybridních osobních vozidel v ČR k 1. 12. 2017. Jedná se o vozidla dostupná skrze oficiální distribuční síť jednotlivých automobilových výrobců v ČR. K tomuto datu byl v ČR k dispozici výběr z 25 modelů plug-in hybridních vozidel. Například v roce 2012 to byly pouze tři modely. Z těchto údajů je zřejmý trend rozšiřování plug-in hybridů. Během pěti

let se zvýšil počet modelů s touto technologií o téměř 90% a je zřejmé, že o jejich produkci má zájem čím dál tím větší počet výrobců. Nyní plug-in hybridy v ČR nabízí 11 automobilových výrobců. Jejichž procentuální podíl na českém trhu znázorňuje obrázek č. 18.



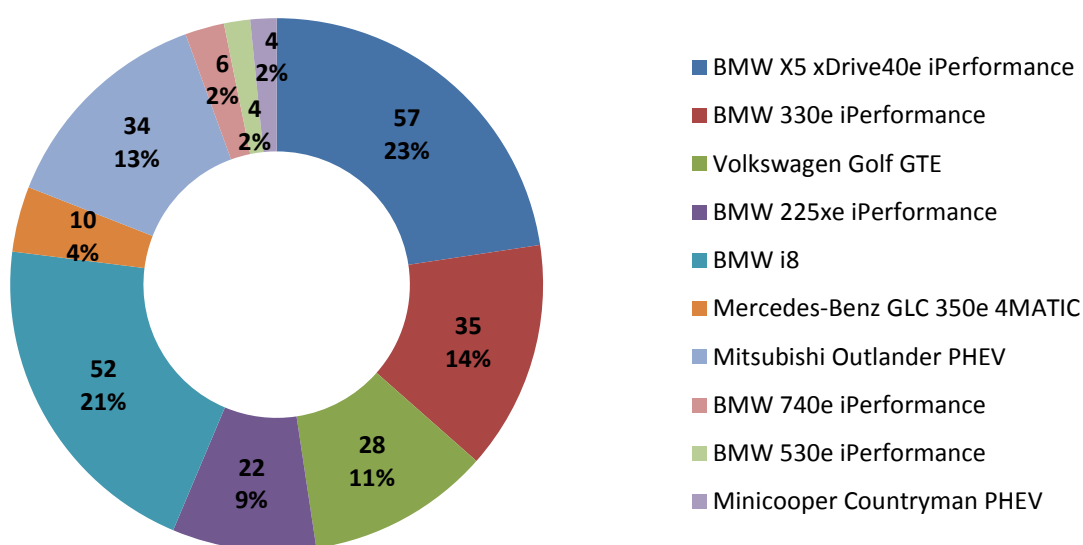
Obr. 18 Počet plug-in hybridů dostupných v ČR dle jejich výrobců k 1. 12. 2017

Spotřebitelé mohou vybírat plug-in hybridní vozidla z celkem 8 kategorií. Kategorie jsou uváděny dle sdružení Eafo (European Alternative Fuels Observatory) a jsou následující.

- **Malá** - BMW i3 Rex
- **Hatchback** - Audi A3 Sportback e-Tron, Hyundai Ioniq PHEV, Toyota Prius PHEV, Volkswagen Golf GTE
- **Větší** - BMW 330e iPerformance, Kia Optima PHEV, Mercedes-Benz C 350e, Volkswagen Passat GTE, Volvo V60 PHEV
- **Velká** - BMW 530e iPerformance, Mercedes-Benz E 350e
- **Luxusní** - BMW 740e iPerformance, Mercedes-Benz S500e, Porsche Panamera PHEV
- **Sportovní** - BMW i8

- **SUV** – Audi Q7 e-tron quattro, BMW X5 xDrive40e iPerformance, Mercedes-Benz GLC 350e 4MATIC, Mercedes-Benz E 500e, Minicooper Countryman PHEV, Mitsubishi Outlander PHEV, Porsche Cayenne PHEV, Volvo XC90 T8 Twin Engine
- **MPV** - BMW 225xe iPerformance

Struktura nabízených modelů se mění v čase, aktuálně se tedy paleta nabízených plug-in hybridů úspěšně rozšiřuje. Počet kusů nejprodávanějších deseti plug-in hybridů se základem v roce 2017, znázorňuje obr. č. 19.



Zdroj: (European Alternative Fuel Observatory, ©2017d)

Obr. 19 Přehled počtů deseti nejprodávanějších plug-in hybridů v ČR mezi roky 2011 až 2017

Zpracovaná data od roku 2011 ukazují, že doposud nejprodávanějším modelem je BMW X5 xDrive40e iPerformance s 57 prodanými kusy. Druhým modelem v pořadí je sportovní BMW i8, třetím pak BMW 330e iPerformance již s větším odstupem. Následuje SUV Mitsubishi Outlander PHEV se 34 kusy a na pátém místě s 28 kusy se nachází Volkswagen Golf GTE. Těsně pod hranicí deseti procent je BMW 225xe iPerformance s celkem 22 kusy. Jednotlivé modely jsou však na trhu odlišnou dobu, budoucí úspěšnost nových modelů se tedy teprve projeví.

4.2 Dobíjecí infrastruktura v ČR

Jak již bylo zmíněno, dobíjecí infrastruktura je pro rozvoj elektromobility klíčová. Uvědomuje si to také Ministerstvo dopravy ČR, které v rámci projektu „Operační program Doprava“ vyhlásilo další podporu v rámci rozvoje infrastruktury pro alternativní paliva. Konkrétně podpoří 130 milionů korun rozvoj dalších 125 dobíjecích stanic, tak aby byla vytvořena páteřní síť na českých silnicích. V ČR by tak do roku 2023 mělo vzniknout 500 dobíjecích míst, na což má Ministerstvo dopravy vyčleněno v rámci „**Národního akčního plánu čisté mobility**“ z roku 2015 1,2 miliardy korun. (Ministerstvo dopravy, ©2017) Národní akční plán čisté mobility počítá s tím, že největší efekt pro elektromobilismus přinesou veřejné finanční zdroje v případě budování infrastruktury. Toho se má docílit pomocí podpory další výstavby veřejných dobíjecích stanic, kterých by mělo vzniknout doroku 2020 až 1300. Z toho by mělo být 500 rychlodobíjecích a 800 běžných dobíjecích stanic, umístěných například na parkovištích nákupních středisek, obchodů, či zábavních center. Cena dobíjecí stanice se pohybuje u běžnějších, pomalejších dobíjecích stanic okolo 250 tisíc korun. (Zatloukal, 2017) V případě rychlodobíjecích bodů se cena pohybuje od jednoho a půl až po dva miliony korun. Do rozvoje dobíjecí infrastruktury se zapojují také velké společnosti jako například ČEZ, který plánuje v následujících dvou letech, tedy do konce roku 2019, vybudovat dalších 42 rychlodobíjecích stanic. Společnost E.ON zase plánuje propojení infrastruktury dobíjecích stanic s členskými státy EU. E.ON chce v roce 2017 začít budovat na hlavních dálničních tazích v ČR 15 nových dobíjecích stanic. Jedná se o součást projektu tzv. NEXT-E, který vybrala Evropská komise v rámci programu CEF (Connecting Europe Facility), který bude spolufinancovat téměř devatenácti miliony EUR. V rámci projektu NEXT-E by mělo být nainstalováno celkem 252 rychlodobíjecích stanic. Budovat by se měly v 6ti zemích, konkrétně v ČR, Maďarsku, Slovinsku, Chorvatsku, Rumunsku a na Slovensku. Tím by měla vzniknout důležitá síť dobíjecích stanic v těchto zemích. Na projektu spolupracuje společnost E.ON, MOL Group, HEP group, PETROL a automobiloví výrobci Nissan a BMW. Cílem projektu je také získat informace a zkušenosti, které budou dále využity pro plán budoucí celkové infrastruktury dobíjecích stanic v EU a v konečném důsledku poslouží k vytvoření plánu a harmonogramu zavádění elektromobilů. Projekt NEXT-E by měl být dokončen

do konce roku 2020. (Hybrid.cz, ©2017) E.ON však zmiňuje také problematiku rozšiřující se dobíjecí infrastruktury. Dle společnosti E.ON komplikuje výstavbu nových stanic nejen nejednotná metodika ze strany stavebních úřadů, ale také financování a zajištění významného příkonu na nabíjecích stanicích. (Hybrid.cz, ©2016)

Struktura a počet dobíjecích stanic v ČR

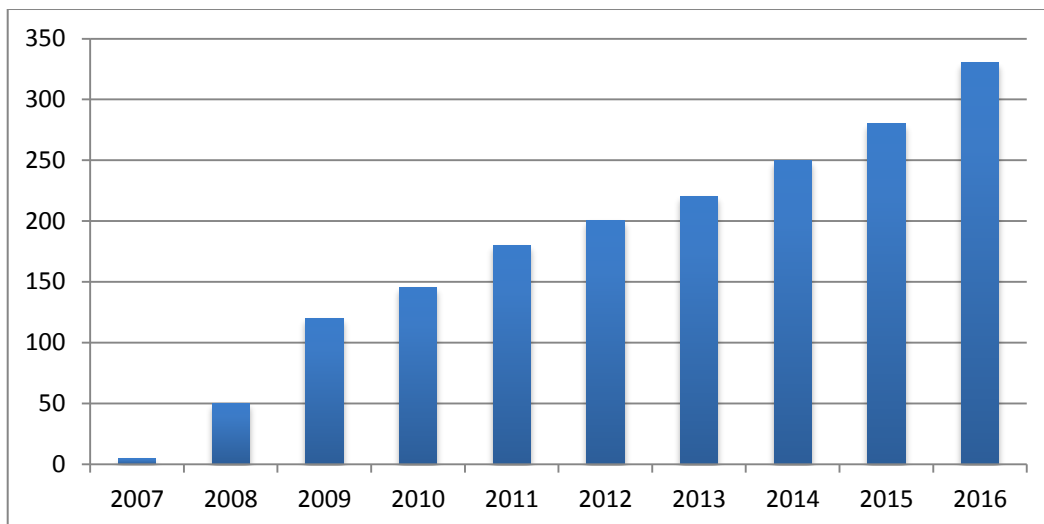
V rámci této podkapitoly je popisován aktuální stav počtu veřejně dostupných, tedy veřejných a poloveřejných dobíjecích stanic. Jednak z pohledu struktury poskytovatelů, tak dle typů technologií jednotlivých dobíjecích stanic. Pro účel této podkapitoly bude rozlišováno mezi pojmy dobíjecí stanice, místo a přípojka. Dobíjecí stanicí je myšleno prostranství, kde se může nacházet několik dobíjecích míst a množství různých konektorů (kabelů s odlišným konektorem). Klíčovou roli v dobíjecí infrastruktuře mnoha zemí hrají velké energetické společnosti, ČR v tomto případě není výjimkou. Skupina ČEZ již provozuje 91 veřejných dobíjecích míst. Jedná se o 40 rychlodobíjecích a 51 běžných pomalých dobíjecích míst. Pro představu, dobíjení na stanicích skupiny ČEZ vyjde na půl roku na 2 700 korun bez DPH, tedy 450 korun bez DPH měsíčně. (EMOBILITA, ©2017) Pražská energetika provozuje celkem 34 dobíjecích stanic, z čehož pouze 2 jsou rychlodobíjecí. (Poi.cz, ©2017) Jednu rychlou a jednu pomalou dobíjecí stanicí vybudovala také společnost E.ON. (E-on, ©2017) Celkový počet dobíjecích stanic vybudovaných velkými distributory v ČR je znázorněn na obr. č. 20.



Zdroj: (Česká televize, ©2017)

Obr. 20 Přehled počtu dobíjecích stanic vybudovaných velkými distributory elektřiny (PRE, ČEZ, E.ON, innogy) dle krajů

Další dobíjecí stanice budují například obchodní řetězce, nákupní centra, hotely či jen fanoušci elektromobility. Celkem je v ČR již přes 300 dobíjecích stanic a jejich počet konstantně roste. Vývoj počtu dobíjecích stanic, mezi roky 2007 až 2016, znázorňuje obrázek č. 21.



Zdroj: (Zpracováno dle OENERGETICE.cz, ©2017)

Obr. 21 Vývoj počtu dobíjecích stanic v ČR mezi roky 2007 a 2016

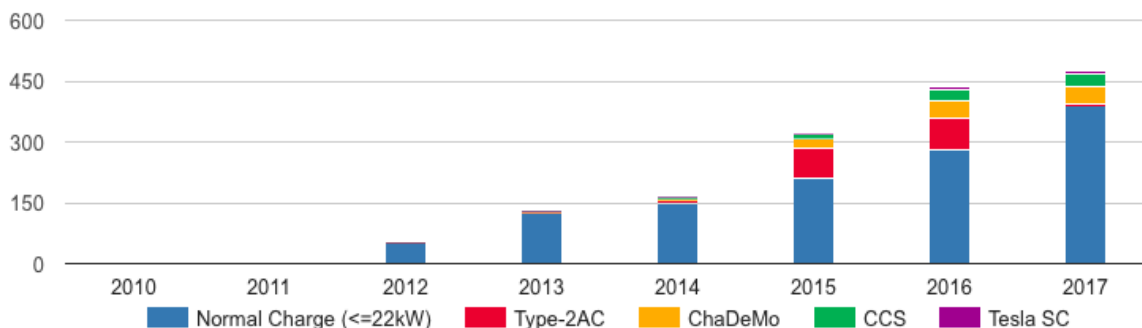
Z celkového počtu zhruba 330 dobíjecích stanic připadá většina z nich na velká, či větší města, další stanice jsou umístěny na páteřních či strategických bodech české dopravní infrastruktury. Polohu jednotlivých dobíjecích stanic v ČR znázorňuje obr. č. 22.



Zdroj: (NABIJENI ELEKTROMOBILU, ©2017)

Obr. 22 Poloha jednotlivých dobíjecích stanic v ČR

Na obr. č. 22 lze rozlišit výkon dobíjecí stanice dle barevné legendy. Hodnoty pro jednotlivé barvy jsou následující modrá/fialová (230V, schuko zásuvka), červená/růžová (400V), zelená (40kW) a žlutá (135kW, Tesla Supercharger). Dobíjecí stanice s vyšším výkonem než 230V mohou dle tohoto rozlišení disponovat nabíjecími konektory nižších výkonů. Legenda tedy určuje maximální výkon konektoru, který stanice nabízí. Vývoj počtu včetně struktury jednotlivých typů konektorů dle dostupných dat sdružení eafo, znázorňuje obr. č. 23.



Zdroj: (European alternative fuels observatory, ©2017c)

Obr. 23 Vývoj počtu a struktury jednotlivých typů konektorů v ČR

5 Aplikace metod vícekriteriálního rozhodování

Tato práce se na základě výše uvedených skutečností zaměřuje na vyšší pochopení problematiky hybridních vozidel a poskytuje pomoc při výběru plug-in hybridního vozidla nejpočetnější skupině spotřebitelů, tedy rezidentů měst v bytových domech. Takové vozidlo respektuje jejich potřeby, tedy možnost dobíjet vozidlo na veřejných a poloveřejných nabíjecích stanicích. Právě města jsou místem, kde dochází k prvotnímu rozvoji infrastruktury a hybridní vozidlo pro ně tak bude mít vyšší užitek. ČR nyní podporuje nákup hybridních vozidel v rámci dotačních programů pro veřejnou správu a kraje. Tento pilotní projekt má otestovat fungování budoucího dotačního systému pro fyzické osoby, u kterých se předpokládá narůstající zájem. Také proto se praktická část práce věnuje trhu B2C, tedy trhu mezi obchodními společnostmi (výrobci automobilů) a fyzickými osobami (koncovými zákazníky). Pro účely vícekriteriálního rozhodování jsou vytvořeny skupiny uživatelů hybridních automobilů, kteří mají na vozidlo odlišné nároky. Nároky uživatelů se liší především dle místa jejich bydliště, tedy území, na kterém se s vozidlem pohybují. Pro vozidla s plug-in hybridním pohonem je hustota dobíjecích stanic klíčová, a proto byl tento nárok vybrán jako rozhodující. Pro účely rozhodování jsou vytvořeny dvě oblasti s odlišnou hustotou veřejných a poloveřejných dobíjecích stanic. Vzhledem k faktu, že velká část spotřebitelů nemá možnost dobíjení vozidla z polosoukromých a soukromých dobíjecích stanic, není s tímto typem dobíjení dále kalkulováno. Detailnímu popisu rozhodovacího problému a jednotlivých skupin uživatelů se věnuje následující podkapitola.

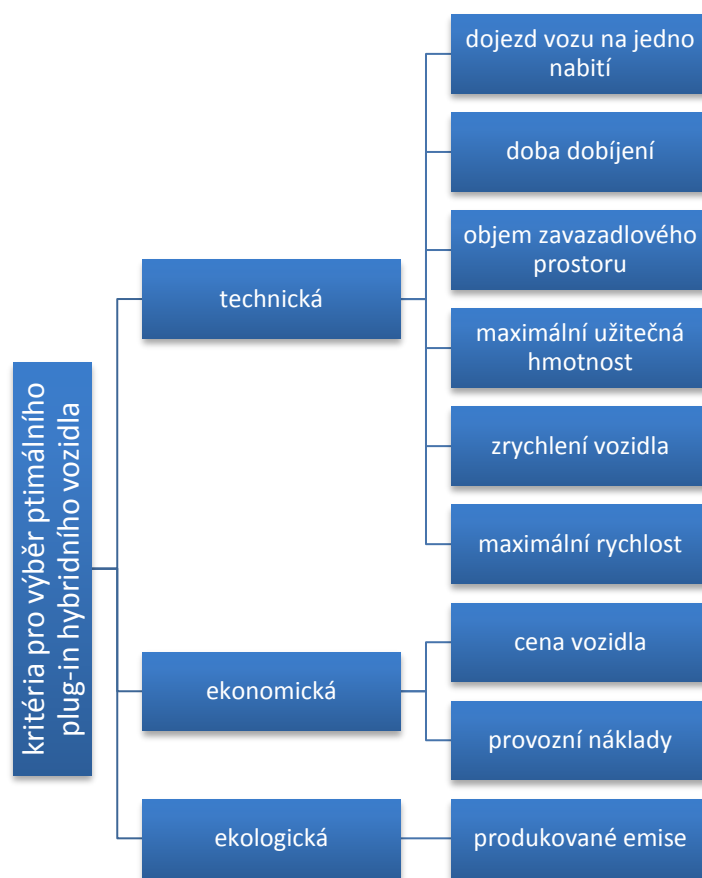
5.1 Formulace rozhodovacího problému

Cílem řešení rozhodovacího problému je určit optimální osobní plug-in hybridní vozidlo pro dvě úrovně hustoty dobíjecích stanic v ČR. Jedna s nižší hustotou dobíjecích stanic (1 stanice/40km²) a druhá s vyšší hustotou dobíjecích stanic (1 stanice/10km²). Příkladem oblasti s nižší hustotou dobíjecích stanic je Jihlava. Území s vyšší hustotou reprezentují centra velkých měst, např. Prahy či Brna. V těchto oblastech jsou následně uvažovány vždy dvě skupiny uživatelů, jedna s denním nájездem do 30 km a druhá s nájездem do 70 km. Celkem budou tedy vybrány optimální varianty (vozidla) čtyři, a to pro každou skupinu zvlášť. Přičemž

práce předpokládá, že uživatelé plug-in hybridních vozidel budou chtít z vozidel maximálně profitovat, a pro jízdu maximálně využívat elektrickou energii.

5.2 Volba kritérií

Mezi kritéria, která byla vyhodnocena jako významná pro výběr optimálního plug-in hybridního vozidla jsou kritéria jak technická, ekonomická, tak ekologické povahy. Tato kritéria byla získána pomocí rozhodovacího stromu, který je vyobrazen na obr. č. 24.



Obr. 24 Přehled vybraných kritérií pro stanovení souboru kritérií

Mezi technická kritéria byl zařazen **dojezd vozu na jedno nabití**, čímž je myšlena vzdálenost, kterou vozidlo ujede při plně nabitých akumulátorech za ideálních podmínek podle metodiky NEDC (New European Driving Cycle). Dalším zvoleným kritériem je doba nabíjení. Kalkulováno je s nejkratší možnou dobou uváděnou výrobcem a liší se především podle toho, zda je možno vozidlo dobíjet stejnosměrným proudem či nikoliv. Tedy zda vozidlo podporuje rychlonabíjení. Dalším kritériem je objem zavazadlového prostoru. Kritérium maximální užitečná

hmotnost zohledňuje maximální množství nákladu, které je možno do vozidla naložit. Zároveň jej lze označit za nepřímý parametr velikosti vozidla. Jízdní charakteristiku vozidla pak zohledňují kritéria zrychlení z 0 na 100 km/h a maximální rychlost. Do ekonomických kritérií lze zařadit cenu vozu a provozní náklady. Cena vozu určuje cenu základního modelu nového vozu včetně DPH. Jako ukazatel provozních nákladů slouží pro účely této práce kombinovaná spotřeba elektrické energie daného vozidla. Posledním kritériem v samostatné skupině zaměřené na ekologii je produkce emisí vozu. Jelikož při provozu na elektrický pohon vozidlo neprodukuje žádné škodlivé emise, při rozhodování jsou relevantní emise produkované při jízdě na konvenční motor, resp. kombinovaný provoz (spalovací motor/elektromotor). Kritéria doba nabíjení, zrychlení vozidla, cena vozidla, provozní náklady a produkované emise jsou minimalizačního charakteru, proto je nutné převést tato kritéria před samotnými výpočty na kritéria maximalizačního typu. Pro všechny skupiny uživatelů jsou uvažována stejná kritéria, v jednotlivých případech se bude lišit pouze jejich váha.

5.3 Stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah jednotlivých kritérií je využita bodovací metoda. V tom případě rozhodovatel přiřadí body k jednotlivým kritériím pomocí bodovací stupnice. Využita bude stupnice s vyšší rozlišovací schopností, konkrétně desetibodová stupnice (1, 2, ..., 10). Přehled vah, získaných pomocí vztahu (1) z bodového ohodnocení, k jednotlivým kritériím na základě různých denních nájezdů pro dvě úrovně hustoty dobíjecích stanic shrnuje tabulka č. 4.

Kritérium		Váhy kritérií							
		nižší hustota dobíjecích stanic				vyšší hustota dobíjecích stanic			
		nájezd 30 km/den		nájezd 70 km/den		nájezd 30 km/den		nájezd 70 km/den	
		body	váha	body	váha	body	váha	body	váha
K ₁	dojezd vozu na jedno nabití dle NEDC (km)	8	0,16	10	0,17	5	0,12	7	0,14
K ₂	doba dobíjení (min)	7	0,14	10	0,17	5	0,12	6	0,12
K ₃	objem zavazadlového prostoru (l)	6	0,12	6	0,10	4	0,09	4	0,08
K ₄	maximální užitečná hmotnost (kg)	5	0,10	5	0,08	5	0,12	5	0,10
K ₅	zrychlení vozidla z 0 na 100 km/h	6	0,12	6	0,10	6	0,14	6	0,12
K ₆	maximální rychlost (km/h)	4	0,08	7	0,12	3	0,07	6	0,12
K ₇	cena vozidla (Kč)	10	0,20	10	0,17	10	0,23	10	0,20
K ₈	provozní náklady (kWh/100 km)	1	0,02	1	0,02	1	0,02	1	0,02
K ₉	produkované emise dle NEDC(g/km)	4	0,08	4	0,07	4	0,09	4	0,08
Celkem		51	1,00	59	1,00	43	1,00	49	1,00

Tab. 4 Přehled vah jednotlivých kritérií pro vybrané skupiny uživatelů

Z již provedených průzkumů je zřejmé, že rozhodujícím kritériem pro výběr osobního automobilu, je cena. (Pokorný, 2010) Z toho důvodu je ohodnoceno toto kritérium deseti body. Druhým ekonomickým kritériem jsou náklady na provoz vozidla tj. spotřeba elektrické energie na 100 km ujeté vzdálenosti. Toto kritérium je ohodnoceno pouze jedním bodem, a to hned z několika důvodů. Provozovatelé nabízejí většinou paušální platby za dobíjení, nehledě na to, kolik spotřebitel skutečně odebere energie. Ovšem samotná cena spotřebované energie je velmi nízká. Váhy kritérií dojezd vozu na jedno nabití, doba dobíjení, maximální rychlost a objem zavazadlového prostoru se svou významností liší podle denních nájezdů a úrovně hustoty dobíjecích stanic. Váhy těchto kritérií, jsou specificky upraveny pro každou ze čtyř uvažovaných modelových situací. Budou tedy rozhodující při volbě každé optimální varianty. V případě kritéria dojezd vozu na jedno nabití je nejnižší váha stanovena u modelové situace spotřebitele pohybujícího se v oblasti s vyšší hustotou dobíjecích stanic a denním nájezdem do 30 km. V takovém případě není pro spotřebitele obtížné najít nabíjecí stanici a zároveň ji nepotřebuje tak často, jako spotřebitel ve stejné hustotě dobíjecích stanic, ale s denním nájezdem 70 km. Naopak v případě nižší hustoty dobíjecích stanic je spotřebitel s denním nájezdem 70 km velmi citlivý na maximální dojezd vozidla. Pro spotřebitele v této modelové situaci je tento údaj klíčový, stejně jako kritérium ceny vozidla. Nadruhou stranu spotřebitel s denním nájezdem 30 km v oblasti s nižší hustotou stanic není na maximální možný dojezd vozidla natolik senzibilní, přesto pro něj kritérium zůstává významným. Obdobným způsobem byly stanoveny rozdílné váhy pro kritérium doba dobíjení. Odlišné váhy kritéria maximální rychlost, jsou stanoveny na základě předpokladu, že se spotřebitel pohybuje v oblasti s vyšší hustotou dobíjecích stanic (ve městě) nižší rychlostí. Naopak v oblasti s nižší hustotou (pravděpodobně i mimo město), bude spotřebitel cestovat vyššími rychlostmi. Zároveň v případě vyššího počtu denně ujetých kilometrů, bude spotřebitel pravděpodobně cestovat po úsecích s vyšší povolenou rychlostí, tj. váha kritéria maximální rychlost, je pro modelové situace s denním nájezdem 70 km vyšší. Objem zavazadlového prostoru je též důležitým aspektem při výběru osobního vozidla, z toho důvodu je stejnojmenné kritérium ohodnoceno šesti body v modelových situacích s nižší hustotou dobíjecích stanic a čtyřmi body v případě vyšší hustoty dobíjecích stanic. Nižší počet bodů v druhém případě vychází z předpokladu, že spotřebitel ve velkém městě má např. častěji možnost nákupu

věcí každodenní spotřeby. (Pokorný, 2010). Významným kritériem zohledňujícím výkonovou charakteristiku vozidla je zrychlení z 0 na 100 km/h. Kritérium je ohodnoceno šesti body. Následuje kritérium maximální užitečná hmotnost, ohodnoceno pěti body. Toto kritérium nepřímo reprezentuje velikost vozidla, nýbrž spotřebitelé za své finanční prostředky očekávají co největší materiální hodnotu, nelze kritérium považovat za nevýznamné. Jediné ekologické kritérium v souboru je množství produkovaných emisí. Vzhledem k zvyšujícím se nárokům na ekologii a zároveň k předpokladu, že spotřebitel kupující hybridní vozidlo tak činí s ekologickými úmysly, nelze toto kritérium váhově zanedbat. Na druhou stranu kombinovaná hodnota produkovaných emisí vybraných plug-in hybridů je oproti konvenčním pohonům méně než poloviční. Kritérium produkce emisí je ohodnoceno čtyřmi body.

5.4 Identifikace variant

V rámci stanovení variant (vozidel) rozhodovacího problému bude práce vycházet ze statistiky nejprodávanějších vozidel v ČR. Konkrétně byla vybrána 4 vozidla, z čehož jsou 3 vozidla mezi nejprodávanějšími plug-in hybridy za posledních 7 let (viz obr. č. 19), a jedno nové vozidlo od Toyoty. Toyota Prius PHEV byla uvedena na český trh v polovině roku 2017 a jako jeden z celosvětově neprodávanějších modelů bude pravděpodobně úspěšným modelem také v ČR. Vzhledem k nejvyšší váze u kritéria cena, byla mezi varianty rozhodování vybrána taková vozidla, která jsou si cenově podobná. Ve vybrané skupině tedy záměrně nefigurují vozidla z kategorie označené jako sportovní, stejně jako další velmi drahé modely, včetně SUV. Mezi vybranými vozidly tak figurují tři kategorie vozidel popisovaných v podkapitole 4.1. Jsou jimi kategorie SUV (Mitsubishi Outlander PHEV), jediné vozidlo disponující rychlodobíjením, dále kategorie hatchback (Volkswagen Golf GTE, Toyota Prius PHEV) a MPV (BMW 225xe iPerformance). Jedná se o modely, které jsou na spodní cenové hranici v rámci kategorie plug-in hybridních vozidel. Přes jejich vyšší cenu, oproti vozidlům s konvenčním motorem, mají největší potenciál nahrazovat právě vozidla s klasickými spalovacími motory. Tabulka č. 5 sumarizuje vybraná vozidla a jejich hodnoty k jednotlivým kritériím.

Kritérium	Plug-in hybridní vozidlo			
	SUV	hatchback	MPV	hatchback
	Mitsubishi Outlander PHEV	Volkswagen Golf GTE	BMW 225xe iPerformance	Toyota Prius PHEV
K ₁	60	50	40	50
K ₂	50	135	180	120
K ₃	451	272	468	359
K ₄	510	500	515	325
K ₅	11	7,6	6,7	11,1
K ₆	170	222	202	162
K ₇	1179900	1039900	963300	990900
K ₈	13,4	11,7	11,85	5,2
K ₉	41	37	47,5	23

Zdroj: (BMW Česká republika, 2017a, 2017b, 2017c; European Alternative Fuels Observatory, 2017e; MITSHUBISHI MOTORS, 2017; Toyota, 2017; Volkswagen, 2017)

Tab. 5 Přehled vybraných vozidel (variant) včetně jednotlivých kritériálních hodnot

5.5 Výběr optimálních variant

Cílem této podkapitoly je stanovit optimální varianty, tedy vozidlo s plug-in hybridním pohonem, pro celkem čtyři modelové situace s různým denním nájezdem počtu kilometrů. Dvě modelové situace (denní nájezd 30 a 70 km) v oblasti s vyšší a nižší hustotou dobíjecích stanic. K volbě optimálních variant, je využito vícekritériálního hodnocení. Výsledky jsou stanoveny pomocí metody TOPSIS, pořadí vozidel stanovuje ukazatel c_i , který znázorňuje relativní vzdálenosti i -té varianty od bazální varianty, tzn. čím je ukazatel vyšší, tím je vozidlo pro modelovou situaci vhodnější.

5.5.1 Výběr optimální varianty pro oblasti s vyšší hustotou stanic

Optimální varianta pro denní nájezd 30 km

V případě denního nájezdu 30 km v oblasti s vyšší hustotou dobíjecích stanic bylo stanoveno, pomocí vícekritériálního rozhodování, pořadí variant viz tabulka č. 6.

Vozidlo	Mitsubishi Outlander PHEV	Volkswagen Golf GTE	BMW 225xe iPerformance	Toyota Prius PHEV
c_i	0,3537004	0,5790084	0,5925525	0,5707087
Pořadí	4	2	1	3

Tab. 6 Přehled pořadí variant při nájezdu 30 km/den - vyšší hustota dobíjecích stanic

Pro modelovou situaci, která reprezentuje spotřebitele z velkého města, který denně urazí 30 km, se jako optimální varianta ukázalo vozidlo BMW 225xe iPerformance. Následuje vozidlo Volkswagen Golf GTE s těsným rozdílem před modelem Toyoty Prius PHEV. Na čtvrtém místě skončilo Mitsubishi Outlander.

Optimální varianta pro denní nájezd 70 km

Výsledky pro stejnou hustotu dobíjecích stanic, avšak pro spotřebitele s více než dvojnásobným denním nájezdem 70 km, znázorňuje tabulka č. 7.

Vozidlo	Mitsubishi Outlander PHEV	Volkswagen Golf GTE	BMW 225xe iPerformance	Toyota Prius PHEV
c_i	0,3931041	0,5643154	0,5629907	0,5624416
Pořadí	4	1	2	3

Tab. 7 Přehled pořadí variant při nájezdu 70 km/den - vyšší hustota dobíjecích stanic

Dle výpočtů je optimálním vozidlem pro tuto situaci Volkswagen Golf GTE před BMW 225xe iPerformance. S velmi malým rozdílem následuje Toyota Prius a poslední příčku znovu obsadil model od Mitsubishi.

5.5.2 Výběr optimální varianty pro oblasti s nižší hustotou stanic

Optimální varianta pro denní nájezd 30 km

Modelová situace s nižší hustotou dobíjecích stanic a denním nájezdem 30 km je situace představující spotřebitele z menšího města, který uskutečňuje kratší denní cesty. Výsledky sumarizuje tabulka č. 8.

Vozidlo	Mitsubishi Outlander PHEV	Volkswagen Golf GTE	BMW 225xe iPerformance	Toyota Prius PHEV
c_i	0,4308120	0,5414802	0,5378804	0,5576990
Pořadí	4	2	3	1

Tab. 8 Přehled pořadí variant při nájezdu 30 km/den - nižší hustota dobíjecích stanic

Zde vychází jako optimální varianta nejlépe Toyota Prius, následuje Model VW Golf GTE, BMW 225xe iPerformance a na posledním místě opět SUV Outlander od Mitsubishi.

Optimální varianta pro denní nájezd 70 km

Poslední modelovou situaci představuje denní nájezd 70 km v oblasti s nižší hustotou dobíjecích stanic. Spotřebitel se v této situaci pohybuje po menším městě, a na kritéria dojezd vozu a doba dobíjení je stejně citlivý jako na cenu vozidla. Výsledky pro tuto modelovou situaci jsou obsahem tabulky č. 9.

Vozidlo	Mitsubishi Outlander PHEV	Volkswagen Golf GTE	BMW 225xe iPerformance	Toyota Prius PHEV
c_i	0,5110744	0,5023120	0,4683368	0,5386234
Pořadí	2	3	4	1

Tab. 9 Přehled pořadí variant při nájezdu 70 km/den - nižší hustota dobíjecích stanic

S větším náskokem je zde na prvním místě Toyota Prius, následovaná modelem Mitsubishi Outlander. Zde se projevila dojezd tohoto vozidla, který je nejvyšší z vybraných vozidel, obdobně jako doba dobíjení. Na třetím místě se umístil model VW Golf před modelem BMW 225xe iPerformance, který skončil na poslední příčce.

Shrnutí

V rámci shrnutí výsledků podkapitoly 5.5 lze pozorovat jistý trend aktuálně vyráběných plug-in hybridních vozidel. Tři vozidla, konkrétně Volkswagen Golf GTE, BMW 225xe iPerformance a Toyota Prius PHEV svými velmi těsnými rozdíly výsledků v modelových situacích s vyšší hustotou dobíjecích stanic naznačují, že automobiloví výrobci svými plug-in hybridními modely míří právě do velkých měst,

kde je již dobíjecí infrastruktura více rozvinuta. Nejvýznamnějším kritériem při výběru vozu je bezesporu cena. Tu výrobci u vybraných modelů drží těsně kolem milionu korun. Stejně tak jsou vozidla vyrovnána technickými parametry, kterými dosahují velmi podobného dojezdu vozu na jedno nabití, v průměru lehce pod 50 km.

Pro oblasti s nižší hustotou dobíjecích stanic již výsledky nejsou tak vyrovnané, v obou modelových situacích zde vítězí Toyota Prius. Svou přívětivou cenou, nízkými emisemi a poměrně dobře vyrovnanými parametry dojezdu vozu a doby dobíjení obsadila první příčku, jak pro denní nájezd 30, tak 70 km v rámci oblastí s nižší hustotou dobíjecích stanic.

Závěr

Elektromobilita je pojem, který se čím dál tím častěji skloňuje nejen v politických kruzích, ale také u široké veřejnosti. Problémy konvenčních motorů, jako je otázka budoucnosti ropy, či aféra falšování emisních testů koncernu Volkswagen, jen prohlubují povědomí o predikované elektrifikaci dopravy. Většina velkých automobilových výrobců se během posledních deseti let již pro elektřinu rozhodla. Výroba plug-in hybridních vozidel pro ně představuje perfektní volbu, jak budovat know-how výroby elektromobilů a zároveň poskytnout spotřebitelům vhodnou alternativu pro postupný přechod na plně elektrická vozidla.

Tato diplomová práce se zaměřila na detailnější přiblížení problematiky plug-in hybridních vozidel a dobíjecí infrastruktury s cílem podpory spotřebitelů při nákupu těchto vozidel v ČR. Pro objektivní vyhodnocení bylo využito metod vícekriteriálního rozhodování. Jako klíčový aspekt elektromobility se zdá být dobíjecí infrastruktura. Z toho důvodu byly pro vícekriteriální rozhodování stanoveny čtyři modelové situace, přičemž dvě počítají s využíváním vozidla spotřebitelem v oblasti s vyšší a dvě s nižší hustotou dobíjecích stanic. V každé z oblastí jsou tedy uvažovány dvě situace, jedna s denním nájezdem 30 a druhá 70 km.

Výchozím bodem pro volbu optimálních variant k jednotlivým modelovým situacím byla analýza současné situace. Analyzován byl B2C trh plug-in hybridních osobních vozidel, oficiálně dostupných v ČR k datu 1. 12. 2017. Na základě analýzy dostupnosti a prodejů byla stanovena čtyři vozidla, která byla následně zvolena jako varianty pro vícekriteriální rozhodování. Rozhodující kritéria byla vybrána ze tří oblastí, a to technická, ekonomická a ekologická. Pro určení vah kritérií bylo využito bodovací metody. Stanovená kritéria jsou pro všechny modelové situace totožná, v jednotlivých situacích se liší pouze váha kritérií. Pro samotné stanovení optimálních variant pro každou z modelových situací bylo použito metody vícekriteriálního rozhodování TOPSIS.

Vyhodnocení ukázalo, že v oblasti s vyšší hustotou dobíjecích stanic, tedy ve velkých městech, jsou vozidla svými výsledky velmi těsně vyrovnaná. Pro denní nájezd 30 km mělo nejlepší výsledek vozidlo BMW 225xe iPerformance, pro nájezd 70 km pak VW Golf GTE. Těsný rozdíl ovšem ukazuje, že přesně do tohoto

prostředí je většina plug-in hybridních vozidel vyvíjena. V oblasti s nižší hustotou dobíjecích stanic pak pro oba uvažované denní nájezdy zvítězil vůz Toyota Prius PHEV. Vyšší náskok je pravděpodobně dán výhodnou cenou a vyrovnanými technickými parametry, které přináší jeden z nejnovějších plug-in hybridních modelů na českém trhu.

Nyní lze jen odhadovat, kdy na silnicích začnou převládat vozidla, která nevyužívají konvenčních pohonů, avšak s velkou pravděpodobností budou tato vozidla využívat k pohonu elektrickou energii. Je také otázkou, jak velkou změnou pro ekologii bude přechod na bezemisní pohony. Není zcela zřejmé, jaké dopady bude mít na environmentální prostředí výroba a recyklace akumulátorů, včetně výroby elektrické energie pro jejich dobíjení. Plug-in hybridní pohony jsou však bezesporu krokem, který přinese elektromobilitu blíže běžným spotřebitelům, podpoří rozvoj nezbytné dobíjecí infrastruktury a povede k celkové proměně struktury dnes nabízených vozidel.

Seznam literatury

AUTO CZ: Hybridní automobily 2 [online]. 2008 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracudaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>

BEDNÁŘ, Marek. *Norská elektrická pohádka nabírá hořkého konce, takhle to opravdu nepůjde* [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/norska-elektricka-pohadka-nabira-horke-konce-takhle-to-opravdu-nepujde/>

BMW ČESKÁ REPUBLIKA: Elektrifikované BMW i. [online]. 2017b [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/topics/fascination-bmw/bmw-iperformance/prehled.html>

BMW ČESKÁ REPUBLIKA: Elektrizující jízdní dynamika. [online]. 2017a [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/2-series/activetourer/2014/iperformance.html>

BMW ČESKÁ REPUBLIKA: Technické údaje. [online]. 2017c [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/2-series/activetourer/2014/technical-data.html#tab-9>

ČAPEK, Jan. Možnosti nabíjení elektromobilů - základní info. In: *Elektroforum* [online]. 2015 [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: <http://www.elektroforum.cz/viewtopic.php?t=19>

ČESKÁ TELEVIZE: Elektromobily jsou na vzestupu, ale jejich budoucnost záleží na technickém pokroku a penězích [online]. 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/ekonomika/2194276-elektromobily-jsou-na-vzestupu-ale-jejich-budoucnost-zalezi-na-technickem-pokroku>

EMOBILITA: Jak se stát zákazníkem [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/jak-se-stat-zakaznikem.html>

ENORTH: Nový nabíjecí pilotní národní standard 2016 [online]. 2015 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://auto.enorth.com.cn/system/2015/12/29/030724108.shtml>

E-ON: Kde můžete „natankovat“ zdarma? [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/o-nas/media/tiskove-zpravy/kde-muzete-natankovat-zdarma->

EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY: Czech Republic [online]. 2017b [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/content/czech-republic>

EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY: Electric vehicle charging infrastructure [online]. 2017c [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/electric-vehicle-charging-infrastructure>

EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY: Fuels & Vehicles [online]. 2017e [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/fuels-vehicles/phev>

EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY: Norway [online]. 2017a [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/content/norway>

EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY: Vehicle stats [online]. 2017d [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/vehicle-statistics/m1>

EVEXPERT: AC / DC nabíjení [online]. 2016 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/ac-dc-nabijeni>

FOLKSON, R. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance*. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2014. 784 s. ISBN 978-0-85709-742-2.

FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-808-6929-590.

GROS, I. -- DYNTAR, J. *Matematické modely pro manažerské rozhodování.: 2. upravené a rozšířené vydání*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2015. ISBN 978-80-7080-910-5.

HOŘČÍK, Jan. *NEUVĚŘITELNÉ: polovina nově prodaných aut v Norsku je do zásuvky!* [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/neuveritelne-polovina-nove-prodanych-aut-v-norsku-je-do-zasuvky>

HOŘČÍK, Jan. *Obce a kraje získají na nákup elektromobilu až 230 000 Kč* [online]. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/obce-kraje-ziskaji-na-nakup-elektromobilu-az-230-000-kc>

HOŘČÍK, Jan. *Toyota zůstane u NiMH baterií* [online]. 2010 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/toyota-zustane-u-nimh-baterii>

HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada Publishing, 2012. 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.

HUBJECT [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://www.hubject.com/en/>

HYBRID.CZ: E.ON plánuje rozšířit síť nabíjecích stanic v Česku [online]. 2016 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/eon-planuje-rozsirit-sit-nabijecich-stanic-v-cesku>

HYBRID.CZ: Evropská unie podpoří budování rychlodobíjecí infrastruktury ve střední Evropě [online]. 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z:

<http://www.hybrid.cz/evropska-unie-podpori-budovani-rychlodobijeci-infrastruktury-ve-stredni-evrope>

HYBRID.CZ: Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět [online]. 2014 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-nenaletet>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: *Global EV Outlook 2017* [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: http://www.iea.org/media/topics/transport/Global_EV_Outlook_2017_Leaflet.pdf

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-808-6946-443.

KOŠŤÁL, Josef. *Elektromobilita. Elektro a Automa 2011* [online]. 2011 [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2011/09/Elektro_09_2011_output/web/Elektro_09_2011_opf_files/pdfs/Elektro_09_2011__.pdf

KREDBOVÁ, Hana. *VLIV DOSTUPNOSTI DOBÍJECÍCH STANIC NA PRODEJNOST ELEKTROMOBILŮ* [online]. Mladá Boleslav, 2013 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK Ewic48DMIKfXAhUJBBBoKHUYqBs4QFggwMAE&url=http%3A%2F%2Fis.savs.cz%2Flide%2Fclovek.pl%3Fzalozka%3D7%3Bid%3D2433%3Bstudium%3D2082%3Bzp%3D1860%3Bdownload_prace%3D1%3Blang%3Dcz&usq=AOvVaw1GXre2Ywv74Fnmkil0SYXR

MAIXNER, Ladislav. *Mechatronika: učebnice*. Brno: Computer Press, 2006. Učebnice (Computer Press). ISBN 80-251-1299-3.

MINISTERSTVO DOPRAVY: *Ministerstvo dopravy poskytne na podporu infrastruktury pro alternativní paliva 130 milionů korun* [online]. 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Ministerstvo-dopravy-poskytne-na-podporu-infrastru>

MITSHUBISHI MOTORS: *Mitsubishi outlander PHEV - PARAMETRY* [online]. 2017 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.cz/modely/outlander-phev/parametry/>

NABIJENI ELEKTROMOBILU: *Asociace elektromobilového průmyslu* [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?msa=0&mid=1KYfZCqxw3Yei4TUz7gKFKowAlsc&ll=49.80946327379031%2C15.665279868446305&z=8>

NATIONAL ENERGY EDUCATION DEVELOPMENT PROJECT: The EVs Are Coming! The EVs Are Coming! (Part I) [online]. 2015 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: http://www.need.org/blog_home.asp?Display=94

OENERGETICE.CZ: Hybridní systémy pro pohon automobilů [online]. 2015 [cit. 2017-09-30]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu/>

OENERGETICE.CZ: V ČR je již přes 300 nabíjecích míst pro elektromobily, růst pokračuje [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/rychle-zpravy/v-cr-je-jiz-pres-300-nabijecich-mist-pro-elektromobily-rust-pokracuje/>

PHOENIX CONTACT: Combined Charging System (CCS) [online]. 2017 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz/>

PHOENIX CONTACT: Solutions for E-Mobility [online]. 2013 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/global/web_dwl_promotion/Bro_E-Mobility_Eng_low.pdf

PHYSICS: How Do Hybrid Vehicles Impact the Environment? [online]. 2012 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://blogs.umass.edu/p139eck/2012/10/24/types-of-hybrid-vehicles/>

POI.CZ: Nabíjecí stanice PRE [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://www.poi.cz/index.php?poi=zazna1&c_idkat=3398&nazev=Nab%C3%ADjec%C3%AD%20stanice%20PRE

POKORNÝ, František. Ovlivňování spotřebitele při nákupu automobilů [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=28069. Bakalářská práce. PEF MENDELU.

REUTERS: Carmakers plan 400 Europe car charging stations by 2020 [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://uk.reuters.com/article/uk-electricity-autos-charging/carmakers-plan-400-europe-car-charging-stations-by-2020-idUKKBN1D30YE>

SHOCKING SOLUTIONS – TRANSFORMING TRANSPORTATION: Hybrid, PHEV, HEV, BEV What does it all mean? [online]. 2009 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://shockingsolutions.wordpress.com/2009/05/28/hybrid-phev-hev-bev-what-does-it-all-mean/>

STRAUB, Alexandra. First drive: 2013 Prius Plug-in Hybrid [online]. 2011 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://driving.ca/toyota/prius/reviews/road-test/first-drive-2013-prius-plug-in-hybrid-2>

ŠTĚDRŮŇ, Bohumír, Petr MOOS, Marcela PALÍŠKOVÁ, Otto PASTOR, Miroslav SVÍTEK a Libor SVOBODA. *Manažerské rozhodování v praxi*. V Praze: C.H. Beck, 2015. 304 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-587-9.

TOYOTA: *Prius Plug-in e-Katalog* [online]. 2017 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/novy-prius-plug-in/index.json#/ajax/%2Fnew-cars%2Fnovy-prius-plug-in%2Febrochure.json>

VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

VOLKSWAGEN: *Golf GTE - Technická data* [online]. 2017 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: https://cdn.volkswagen.cz/media/Kwc_Basic_DownloadTag_Component/28067_brochures-68302-child-download-downloadTag/default/189e23f8/1502279295/Golf-GTE-technicka-data.pdf

WUTTKE, Walther. A new alliance for Hydrogen *DAIMLER* [online]. 20. 04. 2017 [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/innovation/next/a-new-alliance-for-hydrogen.html>

YAMAUCHI, Mia. TESLA CHARGING: THE COMPLETE GUIDE TO CHARGING AT HOME, IN PUBLIC AND AUTONOMOUSLY [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://www.pluglesspower.com/learn/tesla-model-s-charging-home-public-autonomously/>

ZATLOUKAL, Jiří. *Jak elektromobilizovat Česko? EU na podporu věnuje 900 milionů* [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/jak-elektromobilizovat-cesko-eu-na-podporu-venuje-900-milionu-1324850>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Sériové uspořádání hybridního pohonu	11
Obr. 2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu	12
Obr. 3 Kombinované uspořádání hybridního pohonu	13
Obr. 4 Grafické srovnání uspořádání systému Full a Mild hybrid ve vozidle	15
Obr. 5 Porovnání pohonů HEV, PHEV a BEV ve vozidle	16
Obr. 6 Umístění baterií ve vozidle Toyota Prius Plug-in Hybrid.....	20
Obr. 7 Ni-MH akumulátor v Toyotě Prius.....	23
Obr. 8 Bezkontaktní nabíjení akumulátorů vozidla pomocí adaptéru	26
Obr. 9 Nabíjení akumulátorů vozidla pomocí integrované dobíjecí jednotky	29
Obr. 10 Nabíjení akumulátorů vozidla pomocí DC dobíjecí stanice (TESLA).....	30
Obr. 11 Přehled standardizovaných dobíjecích konektorů	32
Obr. 12 Schéma principu kombinovaných konektorů	33
Obr. 13 Podíl dobíjecích stanic na počtu elektrických vozidel ve vybraných zemích světa.....	34
Obr. 14 Vývoj počtu dobíjecích stanic v mezi roky 2010 a 2016 včetně tržního podílu elektrických vozidel a poměru elektromobilů/plug-in hybridů ve vybraných zemích světa	35
Obr. 15 Přehled růstu podílu elektromobilů a plug-in hybridů na norském trhu v letech 2008 až 2017	36
Obr. 16 Přehled růstu celkového počtu plug-in hybridů na českém trhu v letech 2012 až 2017.....	47
Obr. 17 Přehled růstu podílu plug-in hybridů na českém trhu v letech 2012 až 2017	48
Obr. 18 Počet plug-in hybridů dostupných v ČR dle jejich výrobců k 1. 12. 2017.....	49

Obr. 19 Přehled počtů deseti nejprodávanějších plug-in hybridů v ČR mezi roky 2011 až 2017.....	50
Obr. 20 Přehled počtu dobíjecích stanic vybudovaných velkými distributory elektřiny (PRE, ČEZ, E.ON, innogy) dle krajů	52
Obr. 21 Vývoj počtu dobíjecích stanic v ČR mezi roky 2007 a 2016	53
Obr. 22 Poloha jednotlivých dobíjecích stanic v ČR	54
Obr. 23 Vývoj počtu a struktury jednotlivých typů konektorů v ČR	54
Obr. 24 Přehled vybraných kritérií pro stanovení souboru kritérií.....	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů.....	18
Tab. 2 Hmotnostní a objemové porovnání nádrží různých druhů energie vztahované k dráze ujeté s 67 litry benzínu.....	20
Tab. 3 Přehled vybraných údajů jednotlivých typů baterií	24
Tab. 4 Přehled vah jednotlivých kritérií pro vybrané skupiny uživatelů.....	58
Tab. 5 Přehled vybraných vozidel (variant) včetně jednotlivých kritériálních hodnot	61
Tab. 6 Přehled pořadí variant při nájezdu 30 km/den - vyšší hustota dobíjecích stanic.....	62
Tab. 7 Přehled pořadí variant při nájezdu 70 km/den - vyšší hustota dobíjecích stanic.....	62
Tab. 8 Přehled pořadí variant při nájezdu 30 km/den - nižší hustota dobíjecích stanic.....	63
Tab. 9 Přehled pořadí variant při nájezdu 70 km/den - nižší hustota dobíjecích stanic.....	63

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Patrik Příklad		
STUDIJNÍ OBOR	6208T088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Výběr optimálního hybridního pohonu na základě hustoty dobíjecích stanic		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
KATEDRA	KAT - Katedra automobilové techniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2018
POČET STRAN	74		
POČET OBRÁZKŮ	24		
POČET TABULEK	9		
POČET PŘÍLOH	-		
STRUČNÝ POPIS	<p>Cílem diplomové práce je analyzovat současnou nabídku plug-in hybridních automobilů na trhu ČR a na základě metod vícekritériálního rozhodování stanovit, který z modelů je vhodný pro vybrané cílové skupiny zákazníků vzhledem k hustotě dobíjecích stanic. Práce se věnuje výběru optimální varianty osobního plug-in hybridního vozidla pro celkem 4 modelové situace na B2C trhu. Jedná se o 2 situace s různým denním nájezdem v oblasti s nižší a 2 s vyšší hustotou dobíjecích stanic. Pro nalezení optimálních řešení jednotlivých modelových situací bylo využito metody vícekritériálního rozhodování TOPSIS. Diplomová práce se ve svých třech teoretických kapitolách věnuje obecně problematice elektromobility, dále se věnuje dobíjecím stanicím a popisuje způsoby vícekritériálního rozhodování. Praktická část analyzuje současnou situaci plug-in hybridních vozidel včetně dobíjecí infrastruktury v ČR. Ve druhé části je pak využito vícekritériální rozhodování pro určení optimálních variant zvolených modelových situací.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Plug-in, hybrid, elektromobilita, dobíjecí infrastruktura, vícekritériální rozhodování, TOPSIS		
PRÁCE OBSAHUJE UTAJENÉ ČÁSTI: Ne			

ANNOTATION

AUTHOR	Patrik Příklad		
FIELD	6208T088 Business Management and Production		
THESIS TITLE	Selection of the optimal hybrid drive based on the density of the charging stations		
SUPERVISOR	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
DEPARTMENT	KAT - Department of Automotive Technology	YEAR	2018
NUMBER OF PAGES	74		
NUMBER OF PICTURES	24		
NUMBER OF TABLES	9		
NUMBER OF APPENDICES	-		
SUMMARY	<p>The aim of the thesis is analyze the current offer of plug-in hybrid vehicles on the Czech market and determine which models are suitable for selected target groups of customers due to density of charging stations. The decision will be based on multi-criteria decision methods. The thesis focuses on selecting optimal variants of a personal plug-in hybrid vehicle of 4 model situations on the B2C market. There are 2 model situations in the area with lower density of the charging stations and 2 situations in area with higher density of the charging stations. The TOPSIS multi-criterion decision-making method was used in order to find optimal solutions of individual model situations. In the three theoretical chapters thesis deals with electromobility issues, charging stations and also describes methods of multicriteria decision making. In the practical part of thesis is analyzed the current situation of plug-in hybrid vehicles, including the charging infrastructure in the Czech Republic. In the second part is used multi-criteria decision making to determine optimal variants of selected model situations.</p>		
KEY WORDS	Plug-in, hybrid, electromobility, charging infrastructure, multi-criteria decision making, TOPSIS		
THESIS INCLUDES UNDISCLOSED PARTS: No			