

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A
KOLEJOVÝCH VOZIDEL



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza důsledků elektrifikace pohonu osobních automobilů
s benzínovým motorem

Analysis of consequence of petrol engine passenger cars
electrification

AUTOR: Tomáš Diviš

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Miloslav Emrich, Ph.D.

PRAHA 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Diviš** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **457662**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza důsledků elektrifikace pohonu osobních automobilů s benzínovým motorem

Název bakalářské práce anglicky:

Analysis of consequence of petrol engine passenger cars electrification

Pokyny pro vypracování:

- 1) Získejte statistická data o provozu osobních benzínových automobilů v ČR
- 2) Proveďte zjednodušené výpočty pro případ úplné elektrifikace osobní dopravy dle bodu 1 zadání
- 3) Analyzujte dopady této elektrifikace

Seznam doporučené literatury:

Český statistický úřad - online dostupný na <https://www.czso.cz/>
Server <https://www.spritmonitor.de/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

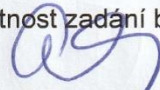
Ing. Miloslav Emrich, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

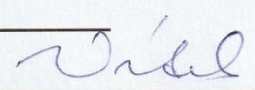
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

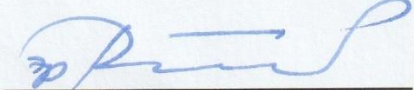
Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Miloslav Emrich, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

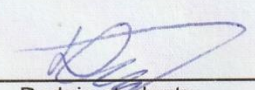

doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valásek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zejména analýzou důsledků, které by v České republice nastaly v případě hypotetické elektrifikace pohonu všech osobních automobilů s benzínovým spalovacím motorem. Za účelem vyhodnocení těchto dopadů se práce také zaměřuje na přibližný výpočet roční spotřeby benzínu osobních automobilů a na roční energetickou náročnost elektromobilů. Z těchto údajů jsou poté analyzovány důsledky předpokládané elektrifikace v energetickém, ekonomickém a environmentálním sektoru a také v oblasti požadavků na rozvoj dobíjecí infrastruktury.

Klíčová slova

Elektrifikace, elektromobilita, důsledky elektromobility, spotřeba benzínu, energetická spotřeba elektromobilů

Abstract

The bachelor thesis focuses primarily on the analysis of consequences that would occur in the Czech Republic in the case of hypothetical electrification of propulsion of all passenger cars with a gasoline combustion engine. In order to evaluate these impacts, the thesis also focuses on the approximate calculation of the annual petrol consumption of passenger cars and on the annual energy demand of electric cars. These data are further used to analyze the consequences of the presumed electrification in the energy, economic and environmental sectors as well as the requirements for the development of the charging infrastructure.

Key words

Electrification, electromobility, consequences of electromobility, petrol consumption, energy consumption of electric cars

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.


.....
podpis

V Praze dne 17. 6. 2018

Tomáš Diviš

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloslavu Emrichovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a za čas, který mi v průběhu zpracování této práce věnoval.

Obsah

1	ÚVOD	8
2	SOUČASNÝ STAV ELEKTROMOBILITY	10
2.1	ROZDĚLENÍ ELEKTROMOBILŮ	10
2.1.1	Hybridní elektromobil.....	10
2.1.1.1	Mild hybrid.....	10
2.1.1.2	Full hybrid.....	11
2.1.1.3	Plug-in hybrid.....	11
2.1.2	Rozdělení dle uspořádání poháněcího ústrojí	12
2.1.2.1	Sériové hybridy	12
2.1.2.2	Paralelní hybridy	12
2.1.2.3	Smíšený hybrid.....	13
2.1.3	Plný elektromobil.....	13
2.2	DOBÍJECÍ INFRASTRUKTURA	14
2.2.1	Veřejné dobíjecí stanice.....	15
2.2.2	Domácí nabíjení	16
3	VÝPOČTOVÁ ČÁST	18
3.1	PRŮMĚRNÝ NÁJEZD ZA ROK	19
3.2	SPOTŘEBA BENZÍNU V OSOBNÍ AUTOMOBILOVÉ DOPRAVĚ	19
3.2.1	Statistické údaje o provozu benzínových automobilů v ČR.....	20
3.2.2	Výpočet měrné spotřeby benzínu	22
3.2.3	Výpočet celkové spotřeby benzínu	25
3.3	SPOTŘEBA ENERGIE BENZÍNOVÝCH AUTOMOBILŮ A ELEKTROMOBILŮ.....	27
4	ANALÝZA DŮSLEDKŮ	34
4.1	ENERGETICKÉ DŮSLEDKY	34
4.1.1	Požadavek maximálního výkonu	36
4.1.2	Potenciál využití větrných elektráren	38
4.1.3	Potenciál využití fotovoltaických elektráren	40

4.2	ENVIRONMENTÁLNÍ DŮSLEDKY	43
4.2.1	Emise CO ₂	44
4.2.2	Emise ostatních sloučenin.....	45
4.3	EKONOMICKÉ DŮSLEDKY	45
4.3.1	Státní rozpočet	45
4.3.2	Ostatní ekonomické důsledky	47
4.4	DŮSLEDKY V OBLASTI DOBÍJECÍ INFRASTRUKTURY	48
4.4.1	Situace na čerpacích stanicích	48
4.4.2	Dobíjecí stanice na sídlištích	49
5	ZÁVĚR.....	51
6	SEZNAM LITERATURY	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	63
	PŘÍLOHA 1.....	I

1 Úvod

Většina světového vozového parku je v současnosti poháněná spalovacími motory, které již po více než století umožňují masový nárůst dopravy po celém světě. Zároveň však provoz těchto motorů představuje globální problémy, a to zejména kvůli produkci výfukových plynů, které stále více znečišťují ovzduší a dle některých studií [1] způsobují globální oteplování skrze produkci CO₂ jako hlavní složku zplodin. Další nepříjemností jsou stále zmenšující se zásoby ropy [2], která je hlavní surovinou pro výrobu většiny paliv. Evropská unie již navíc několik let vydává emisní normu Euro, která stanovuje emisní limity oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, uhlovodíků a pevných částic na ujetý kilometr pro osobní a nákladní automobily [3]. Tato postupně vydávaná a stále se zpřísňující norma nutí společně s emisními limity CO₂ výrobce automobilů vyvíjet čím dál ekologičtější vozy. Důležitou roli při inovaci motorů hrají také nově vznikající emisní zóny v centrech některých měst po celém světě. Jedním z řešení současné situace je vývoj a prodej hybridů, při jejichž provozu je využívána kombinace spalovacího motoru a elektromotoru, či samotných elektromobilů, které jsou ve skutečnosti starší než spalovací motory. První totiž začaly vznikat v Evropě a v Americe během první poloviny 19. století, kdy i přes svou nízkou rychlost převládaly nad vozy se spalovacími motory, jelikož poskytovaly větší komfort, zejména kvůli čistému provozu a snazšímu ovládní. Po vynálezu elektrického startéru a rozvinutí dopravní infrastruktury, která vyžadovala vozidla s delším dojezdem, produkce elektromobilů začala stagnovat [4]. Stále aktuálnější environmentální problémy však způsobily rozvoj elektromobility až do dnešní doby, kdy elektřina zaujímá v dopravě velmi významné postavení - pohání vozidla jako vlaky, tramvaje, trolejbusy, ale i elektrická kola a automobily. Nevýhodou elektromobilů však i dnes stále zůstávají vyšší pořizovací náklady, nízký maximální dojezd, doba nabíjení a stav dobíjecí infrastruktury. Ačkoliv přechod od spalovacích motorů k elektromotorům v oblasti osobních automobilů není ať už v regionálním či globálním měřítku vůbec jednoduchý, je pravděpodobné, že elektrifikace pohonu automobilů v budoucnu z výše uvedených důvodů do určité míry nastane. Tato skutečnost bude mít ovšem za následek různé změny v průmyslových, ekonomických, ale i v jiných odvětvích.

Cílem této práce je poukázat a analyzovat tyto důsledky na hypotetickém případě, při kterém by v České republice všechny benzinové osobní automobily jezdily na pohon čistě elektrický. Práce se zabývá pouze benzinovými automobily a nikoliv naftovými z toho

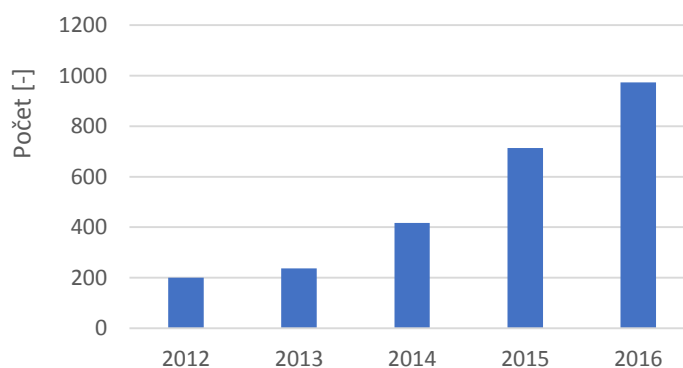
důvodu, že lze na základě statistických údajů o celkové roční spotřebě benzínu v dopravě určit mnohem přesněji roční spotřebu benzínu osobních automobilů, než by tomu bylo u nafty. Spotřeba benzínu v osobní automobilové dopravě následně slouží jako podklad pro výpočty nutné k analýze uvažované elektrifikace. Tato odlišnost v přesném určení spotřeby paliva je způsobena tím, že mezi dopravní prostředky, které k pohonu využívají benzín, patří z největší části zejména osobní automobily, zatímco nafta kromě automobilů pohání z velké části také letadla, lodě a stroje v železniční dopravě. I benzín samozřejmě slouží k pohonu např. motocyklů, drobné zahradní techniky či mikrobusů, zastoupení těchto vozidel v celkové spotřebě benzínu ovšem není tak významné jako vliv zmiňovaných dopravních prostředků ve spotřebě nafty.

Protože je rozvoj elektromobility v České republice zatím stále ještě v počátcích a v povědomí běžných lidí se o těchto vozidlech příliš neví, je první část této práce věnována popisu současného stavu elektromobility v osobní automobilové dopravě. Některé druhy elektromobilů navíc bývají v různých zdrojích uváděny odlišně, tudíž je do této části zařazen také stručný popis těchto vozidel. Druhá část práce se zaměřuje na výpočet roční energetické náročnosti předpokládaného počtu elektromobilů, ze které je následně ve třetí část této práce vyhodnocena většina důsledků předpokládané elektrifikace.

Jelikož tato práce začala vznikat v roce 2017, je většina výpočtů provedena na základě tehdy nejaktuálnějších statistických údajů, tj. z roku 2016.

2 Současný stav elektromobility

V České republice bylo ke konci r. 2016 dle Centrálního registru vozidel (CRV) registrováno celkem 974 elektrických osobních automobilů [5]. Důvody nízkého rozšíření elektromobilů jsou zejména ekonomické. Cena těchto vozidel je větší než cena klasických automobilů, trh s elektromobily je u nás málo rozvinutý a navíc chybí dostatečná podpora ze strany vlády [6]. Vývoj počtu elektrických osobních automobilů během posledních let dle CRV ukazuje obr. 1.



obr. 1 - Registrované osobní elektrické automobily v ČR (celkem) [5]

2.1 Rozdělení elektromobilů

Jak již bylo zmíněno, definice jednotlivých kategorií elektromobilů se v různých zdrojích liší. Tato kapitola tedy slouží ke stručnému objasnění těchto pojmů a dále definuje, který typ elektromobilů bude v práci uvažován jako náhrada za benzínové automobily.

2.1.1 Hybridní elektromobil

Slouží-li k pohonu společně s elektromotorem i spalovací motor, jedná se o tzv. hybridní elektromobil (HEV - hybrid electric vehicle), kdy kombinace obou motorů snižuje emisní produkci automobilu během provozu. Dle míry hybridizace lze tuto skupinu rozdělit do dalších kategorií. [7]

2.1.1.1 Mild hybrid

Mild hybrid není určený pro čistě elektrický provoz a ke svému provozu využívá téměř po celou dobu jízdy spalovací motor, zatímco elektromotor se podílí na pohonu pouze v určitých situacích, např. při rozjezdu nebo při zrychlování. Tyto hybridy je tedy možné provozovat jen pomocí spalovacího motoru, tudíž jsou na dobíjecí infrastrukturu nezávislé.

Příkladem je Audi A8 3.0 TFSI. [7; 8]



obr. 2 - Audi A8 3.0 TFSI [9]

2.1.1.2 Full hybrid

Tento typ může být poháněn buď samotným spalovacím motorem, či pouze elektromotorem, nebo kombinací obojího. Samotné full hybridy ovšem nelze dobít z nabíjecí infrastruktury. Mezi plné hybridy patří např. Toyota Yaris Hybrid. [10; 11]



obr. 3 - Toyota Yaris hybrid [12]

2.1.1.3 Plug-in hybrid

Slovem plug-in se označují taková hybridní vozidla, jejichž baterii je možno dobít z elektrické sítě. Akumulátory mívají větší kapacitu a jsou tedy dimenzovány na větší dojezdy. Plug-in hybridy lze také teoreticky pohánět pouze spalovacím motorem, závislost na dobíjecí infrastruktuře je tedy částečná. Příkladem je BMW i8. [13; 14]

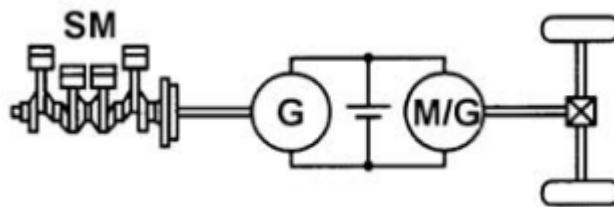


obr. 4 - BMW i8 [15]

2.1.2 Rozdělení dle uspořádání poháněcího ústrojí

2.1.2.1 Sériové hybridy

V sériovém uspořádání dle obr. 5 není mechanická vazba mezi spalovacím motorem a elektromotorem. Spalovací motor v tomto konceptu pohání generátor, ze kterého se vyrobená energie odvádí do trakčního akumulátoru. Pokud baterie není schopna zajistit momentální požadovanou energii k provozu, spalovací motor se zapne automaticky. Pohon nápravy je zajištěn elektromotorem pomocí redukčního převodu - bez použití převodovky. Nevýhodou tohoto řešení je několikanásobná přeměna energie z mechanické na elektrickou/chemickou, která kvůli účinnosti nabíjení akumulátoru způsobuje vysoké ztráty, je-li vozidlo v provozu delší dobu. Sériovým hybridem byl např. Fisker Karma. [7; 16; 17]

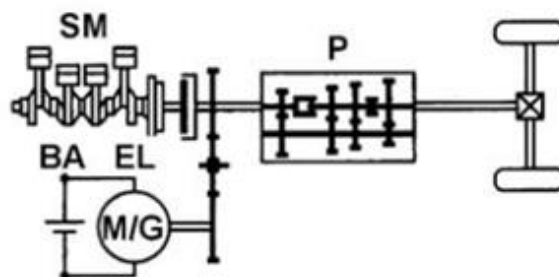


obr. 5 - Sériový hybrid - uspořádání [16];

SM - spalovací motor; G - generátor; M/G - elektromotor/generátor

2.1.2.2 Paralelní hybridy

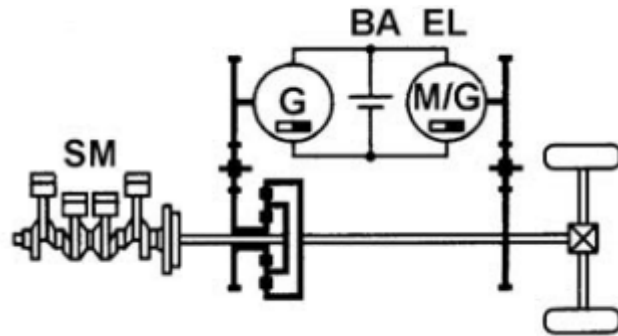
Koncepce tohoto typu je na obr. 6. Mezi spalovacím motorem a elektromotorem je mechanická vazba, na pohonu vozidla se tedy může podílet každý motor zvlášť, nebo oba dohromady - např. při předjíždění, kdy je potřeba vyšší okamžitý výkon. Pro pohon spalovacím motorem je nutná spojka a převodovka, která bývá společná i pro elektricky poháněnou část. Paralelní hybridy dosahují v porovnání se sériovými vyšších účinností při vyšších rychlostech a jsou nejčastěji vyráběným typem hybridů. Jako příklad lze uvést Volkswagen Golf GTE. [7; 16]



obr. 6 - Paralelní hybrid - uspořádání [16]; P - převodovka, BA - baterie

2.1.2.3 Smíšený hybrid

Konstrukčně nejkomplicovanějším a nejdražším druhem je smíšený hybrid, který spojuje výhody obou zmíněných systémů. Uspořádání motorů, převodů a dalších součástí bývá různé. Jedna z možností je na obr. 7, kdy se výkon rozděluje do dvou větví, přičemž část energie se přenáší přímo na kola a část putuje do generátoru, kde je dále princip obdobný jako u sériových hybridů. Smíšeným hybridem je např. Toyota Prius. [16]



obr. 7 - Smíšený hybrid - uspořádání [16]

2.1.3 Plný elektromobil

Je-li automobil poháněn jedním či více elektromotory, které získávají elektrickou energii z akumulátoru, jedná se o tzv. plný elektromobil (BEV - battery electric vehicle). Tato vozidla je nutné před jízdou nabít ze zásuvky nebo z veřejné dobíjecí stanice. Elektromotor může při jízdě fungovat ale také jako generátor, kdy převádí mechanickou energii zpět na elektřinu a ukládá jí do baterie. Tento proces se nazývá rekuperace a uplatňuje se při brzdění. Plnými elektromobily jsou např. vozy BMW i3, Nissan Leaf či Tesla Model S. [13; 18]



obr. 8 - BMW i3 [19]

V uvažované situaci právě plné elektromobily nahradí všechny automobily s benzínovými spalovacími motory. To tedy znamená, že benzín jako palivo v osobní automobilové dopravě v uvažovaném případě zcela vymizí a bude nahrazen pouze elektřinou.

2.2 Dobíjecí infrastruktura

Hypotetická elektrifikace pohonu benzínových automobilů bude mít značný vliv na požadavky v oblasti dobíjecí infrastruktury. Z tohoto důvodu jsou v této části shrnuty dosavadní možnosti dobíjení elektromobilů, které budou posléze také sloužit jako vstupní data při analýze důsledků týkající se dobíjecí infrastruktury.

Přenos energie při dobíjení může být zprostředkován buď střídavým proudem (AC - alternating current), nebo stejnosměrným proudem (DC - direct current). Při AC nabíjení, které je charakterizováno pomalejší rychlostí přenosu elektrické energie, je nabíjecí stanice součástí vozidla, čímž je zvýšena hmotnost automobilu a tím pádem také spotřeba. Naopak při použití stejnosměrného proudu je nabíječka součástí dobíjecí infrastruktury a přenos energie je rychlejší [20]. Z hlediska rychlosti se rozlišují tři základní typy dobíjení:

- a) Pomalé, s výkonem 3 - 11 kW, většinou střídavým proudem
- b) Standardní, s výkonem do 22 kW, většinou střídavým proudem
- c) Rychlé/ultrarychlé s výkonem vyšším než 22 kW stejnosměrným proudem.

Nejrychlejším systémem je Tesla Supercharger s výkonem až 135 kW [13; 21].

Délku nabíjení kromě výkonu ovlivňuje také nelineární dobíjecí charakteristika akumulátoru, která ukazuje, že rychlým dobíjením lze baterii nabít jen do přibližně 80 % kapacity. Poté již výrazně roste odpor a baterii lze na 100 % dobít pouze malým výkonem a tím pádem za dlouho. Nelze tedy předpokládat, že se např. baterie o kapacitě 22 kWh při použití 11 kW výkonu nabije za 2 hodiny. Pro představu lze počítat plné dobíjení průměrného vozidla za 8 hodin při použití výkonu 3 kW. Dobíjení 80 % kapacity baterie výkonem 50 kW lze kalkulovat za zhruba půl hodiny, kdy při této rychlosti přenosu vystačí 1 minuta dobíjení na přibližně 4 kilometry dojezdu [13]. Baterii také není možné kvůli riziku poškození úplně vybit, minimální stav nabití je zhruba 20 - 30 %. Připojení vozidla na napájecí síť je řešeno pomocí kabelů, které jsou zakončeny několika různými typy konektorů, tzv. standardů, kdy tyto konektory musí být kompatibilní se zásuvkou v příslušném elektromobilu či v nabíjecí stanici. Používané standardy se ovšem na různých dobíjecích stanicích liší. Mezi nejpoužívanější, které jsou uvedeny na obr. 9 - 12, patří [13]:

- IEC 62196-3 - tzv. Combo II (CCS)
- IEC 62196-2 - tzv. Mennekes Type 2
- JEVS G105 - tzv. ChaDeMo
- SAE J1772 - tzv. Yazaki

Z důvodu sjednocení standardů byla Evropskou unií vydána směrnice 2014/94/EU, která uděluje povinnost nově vznikajícím dobíjecím stanicím používat typy Mennekes Type 2 a Combo II (pro DC). [13]



obr. 9 - Combo II
[13]



obr. 10 - ChaDeMo
[13]



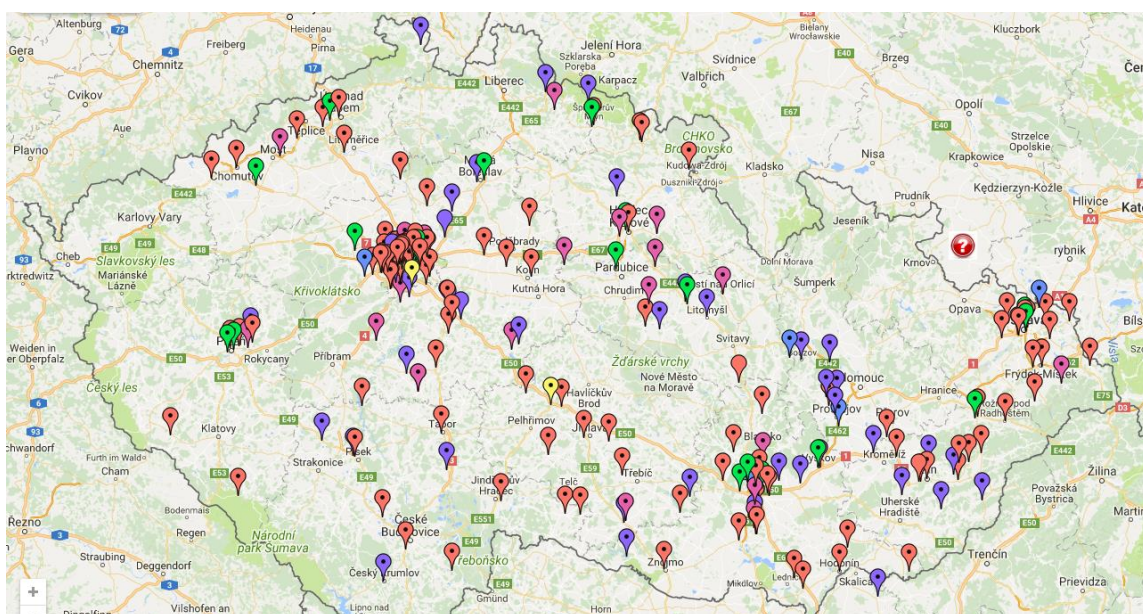
obr. 11 - Mennekes
Type 2 [13]



obr. 12 - Yazaki
[13]

2.2.1 Veřejné dobíjecí stanice

V České republice existuje přibližně 270 veřejných dobíjecích stanic [22], které se vyskytují zejména v okolí větších měst. Provozovatelé těchto stanic jsou nejčastěji velké energetické společnosti jako např. ČEZ, E.ON, PRE. Použití veřejných dobíjecích stanic je profesionální řešení, ale přináší s sebou v důsledku konkurenčního boje provozovatelů některé nepřijemnosti. Uživatel musí splnit určité podmínky, jako např. podpis zákaznické smlouvy a používání čipu, kterým se při dobíjení autorizuje. Mapa dobíjecích stanic je uvedena na obr. 13. Modré značky představují klasické zásuvky, červené a fialové třífázové zásuvky, zelené rychlodobíjecí DC stanice a žluté systém Tesla Supercharger. [23; 24]



obr. 13 - Mapa dobíjecích stanic [24]

Rozlišujeme 2 základní typy stanic:

a) DC dobíjecí stanice

Součástí této nabíjecí stanice je integrovaný kabel, který bývá zakončen standardem Combo II nebo ChaDeMo. Některé DC stanice mohou být vybaveny také zásuvkou či integrovaným kabelem pro AC dobíjení. Nabíjecí výkon bývá nad 22 kW. [13]

b) AC dobíjecí stanice

Tato stanice je vybavena zásuvkou nebo integrovaným kabelem. Při použití zásuvky má uživatel vlastní kabel, jehož standard musí být se zásuvkou kompatibilní. Používá se typ Mennekes. Při použití integrovaného kabelu jsou používány typy standardů Mennekes (u vozidla i dobíjecí stanice) a Yazaki (u vozidla). Nabíjecí výkon bývá zpravidla do 22 kW. [13]

Z hlediska bezpečnosti je vhodným způsobem propojení vozidla s nabíjecí infrastrukturou bezdrátový indukční systém, při kterém je energie přenášena pomocí elektromagnetických vln z primárního vinutí, umístěného v nabíjecí podložce, do sekundárního vinutí v elektromobilu, ze kterého je vzniklý proud odváděn do trakční baterie. V porovnání s kabelovým systémem se jedná komfortnější řešení, jelikož se nabíjení po příjezdu na podložku spustí automaticky a po odjezdu se samo vypne. Je ovšem potřeba přesné najetí na nabíjecí podložku. [25]

2.2.2 Domácí nabíjení

Elektromobily lze doma dobíjet pomocí AC zásuvek, toto řešení ale s sebou přináší jisté nevýhody. K dobíjecímu kabelu musí být dokoupena redukce, jelikož jednofázové ani třífázové zásuvky nejsou standardy pro elektromobil. Klasické zásuvky navíc nejsou dimenzovány na několikahodinové namáhání v podobě dobíjení akumulátoru, celý proces si tedy vyžaduje dodatečné jištění na přívodním kabelu. Jelikož je v běžné domácí zásuvce fázové napětí 230 V a maximální protékající proud bývá omezen hodnotou 16 A, nejvyšší možný výkon nabíjení teoreticky činí 3,7 kW, většinou ovšem bývá zhruba 3 kW. Domácí nabíjení představuje v současnosti více jak 90 % veškerého nabíjení elektromobilů. [13; 21] Jedním z možných rozhraní pro profesionální dobíjení elektromobilů, které se používá zejména pro domácí nabíjení, ale i pro nabíjení na dobíjecích stanicích, jsou tzv. wallboxy, které představují mezistupeň mezi kabelovou přípojkou a vidlicí nabíjecího kabelu. Jelikož zde nedochází ke vzniku přechodového proudu, minimalizuje toto řešení riziko vzniku

požáru. Tato varianta je levnější než standardní dobíjecí stanice, ale disponuje stejnou inteligencí pro komunikaci a sledování přenosu. [13]

V současné době probíhá v Evropě snaha o rozvoj tzv. smart grids neboli chytrých sítí. Podstata tohoto systému spočívá v tom, že samotný elektromobil připojený např. k zásuvce slouží jako akumulátor energie, který je v případě potřeby (např. při vysokém odběru či při odstávce) schopen dodávat elektrickou energii zpět do sítě jiným spotřebičům. Poněkud velkou nepříjemností tohoto systému však zůstává fakt, že se elektromobil může začít kdykoliv vybíjet a v případě náhlé potřeby nebude plně nabit. S častějším vybíjením akumulátoru navíc roste počet nabíjecích cyklů, čímž klesá kapacita baterie a také životnost. [26]

3 Výpočtová část

Hlavním cílem této kapitoly je přibližně určit roční energetickou náročnost elektromobilů, tj. energii spotřebovanou během jednoho roku elektromobily, které v uvažované situaci nahradí všechny automobily s benzínovými spalovacími motory. Z této energetické náročnosti budou poté vyhodnoceny důsledky uvažované elektrifikace. Zmíněnou roční spotřebu energie lze určit různými způsoby. Je např. možné pokusit se odhadnout průměrnou roční spotřebu elektřiny elektromobilů vztaženou na sto kilometrů jízdy a pomocí průměrného ročního nájezdu určit, jaké množství energie by tedy bylo během jednoho roku těmito vozidly spotřebováno. Takový odhad je ovšem problematický, jelikož spotřeba elektromobilů není v průběhu roku konstantní, protože zde hraje velkou roli, zda má řidič během jízdy zapnuté topení či klimatizaci.

Jelikož je cílem této práce poukázat na důsledky uvažovaného využití elektromobility v širších souvislostech, byl zde zvolen takový postup řešení, při kterém se v prvním kroku určí přibližnou metodou celková průměrná spotřeba benzínu osobních automobilů vztažená na sto kilometrů jízdy a pomocí průměrného ročního nájezdu a počtu benzínových automobilů se zjistí celková roční spotřeba benzínu v osobní automobilové dopravě. Z tohoto důvodu se tedy práce zabývá pouze benzínovými automobily, jelikož lze u těchto vozidel určit spotřebu paliva mnohem přesněji, než by tomu bylo u automobilů, které k pohonu využívají naftu. Vypočtenou spotřebu benzínu v osobní automobilové dopravě je totiž možné na závěr porovnat s hodnotou celkové spotřeby benzínu v dopravě, kterou uvádí statistika Ministerstva dopravy. Jak již bylo řečeno, mezi dopravní prostředky, které k pohonu využívají benzín, patří, samozřejmě kromě určitého zastoupení motocyklů, mikrobuseů a drobné zahradní techniky, zejména automobily. Vypočtený údaj lze tedy porovnat s dobrou přesností a rozhodnout, zda je reálný. U naftových motorů by byla situace složitější, jelikož je úřady udáván údaj o spotřebě motorové nafty, která kromě automobilů pohání z velké části také lodě, letadla a stroje v železniční dopravě.

Je-li tedy známo množství benzínu, které se během jednoho roku spotřebuje všemi automobily, lze pomocí výhřevnosti benzínu zjistit, kolik energie tato vozidla spotřebují.

Z této hodnoty lze následně při znalosti účinnosti benzínových automobilů určit, jaká část energie se využije na samotný pohon vozidla. Předpoklad je dále takový, že tato energie je stejná jak pro benzínové automobily, tak pro elektromobily. Při započítání vlivu topení, klimatizace a účinnosti elektromobilů lze následně zjistit, kolik energie bude za rok elektromobily spotřebováno. Vstupními údaji do následujících výpočtů jsou data ze statistik

či z literatury.

3.1 Průměrný nájezd za rok

Jedním z parametrů pro určení roční spotřeby benzínu je tedy průměrná vzdálenost, kterou urazí řidič během jednoho roku. Různé prameny se v této hodnotě ovšem velmi liší.

Nájezd udávaný v literatuře

Práce [27] udává s odvoláním na českou pobočku TÜV SÜD průměrný nájezd 10 000 km za rok. Z [28] vyplývá hodnota nájezdu 10 585 km. Naopak nižší hodnotu udává průzkum rakouského autoklubu VCÖ, který uvádí společně s [29] údaj 6 880 km (průzkum byl proveden pro ČR) [30]. Dle pojišťovny Generali ujedou řidiči nejčastěji mezi 10 000 a 20 000 km [31].

Nájezd určený z autobazarů

Roční nájezd může být také určen pomocí dat z autobazarů, jelikož je u nabízených vozidel uvedeno datum uvedení do provozu a celková ujetá vzdálenost. Za účelem zjištění této hodnoty byl v rámci práce proveden průzkum autobazaru sauto.cz, kde bylo vybráno sto automobilů, u kterých je prodejcem uveden rok i měsíc uvedení do provozu. Z důvodu minimalizování rizika stočení tachometru byla zvolena pouze ta vozidla, která jsou prodávána prvním vlastníkem. Vyhodnocení tohoto průzkumu je uvedeno v Příloze 1. Ze získaných dat vyplývá, že průměrný roční nájezd těchto vozidel je přibližně 15 000 km.

Výše uvedené zdroje tedy udávají hodnotu průměrného ročního nájezdu v rozmezí mezi 6 880 km až 20 000 km. Jedná se o rozsáhlý interval hodnot, z toho důvodu je nutné správnou hodnotu určit další analýzou, která je uvedena v kapitole 3.2.3.

3.2 Spotřeba benzínu v osobní automobilové dopravě

Dalším krokem při zjištění roční spotřeby benzínu osobních automobilů je určení průměrné spotřeby benzínu vztažené na sto kilometrů jízdy. Jelikož nelze zjistit tuto hodnotu u každého registrovaného vozidla zvlášť, je pro výpočet vhodné vytvořit zjednodušený model vozového parku. Tento model může být sestaven např. tak, že bude celkový počet benzínových automobilů na základě statistických dat rozdělen do kategorií podle zdvihového objemu motoru. Dále budou do každé kategorie přiřazena ta vozidla, která patří v ČR mezi nejčastěji provozovaná. U těchto automobilů bude následně zjištěna průměrná

spotřeba paliva vztažená na sto kilometrů jízdy, a jelikož je cílem vypočítat celkovou spotřebu benzínu přibližně, bude předpokládáno, že je tato měrná spotřeba platná pro celou kategorii. Protože jsou známy počty automobilů v jednotlivých kategoriích, lze následně pomocí průměrného ročního nájezdu určit celkovou roční spotřebu benzínových automobilů a porovnat jí s hodnotou spotřeby benzínu v dopravě.

3.2.1 Statistické údaje o provozu benzínových automobilů v ČR

V České republice bylo k 31. 12. 2016 dle Centrálního registru vozidel (CRV) registrováno celkem 5 307 808 osobních automobilů, z toho téměř 63 % benzínových [5]. CRV dále uvádí rozdělení těchto vozidel do dalších kategorií, které je uvedeno v tabulce 1. Toto rozdělení bude použito při tvorbě výše popsaného zjednodušeného modelu vozového parku.

Typ	Počet
celkem benzínových automobilů	3 337 837
benzínové s objemem motoru nižším než 1400 cm ³	2 161 593
benzínové s objemem motoru 1400 - 1999 cm ³	1 040 307
benzínové s objemem motoru 2000 cm ³ a více	135 561

tabulka 1 - Registrované osobní automobily v ČR [5]

Nyní je nutné do každé z těchto kategorií přiřadit ta vozidla, která patří v ČR mezi nejčastěji provozovaná vozidla. K dispozici je soubor statistických dat z CRV [32], který u každého konkrétního registrovaného automobilu uvádí druh paliva, rok výroby a také zdvihový objem motoru. V této statistice se ovšem vyskytují zavádějící informace, jako např. že počet vozidel Škoda Rapid, vyrobených mezi lety 2012 - 2016, je necelých 500. Dle statistiky Svazu dovozců automobilů (SDA) bylo ovšem jen v roce 2016 v ČR registrováno těchto vozidel 11 359 [33]. V souboru se navíc vyskytují různé chybné názvy automobilů, jako např. „ŠKJODA FABIA“, „ŠKMODA FABIA“ a další. Z těchto důvodů nebyla tato statistika považována za relevantní a údaje z ní nebyly použity. Ačkoliv některé i zdroje, např. [34], uvádějí statistiky o automobilech s největším počtem registrací, jedná se při nejlepším o údaje staré několik let, které neodpovídají současnému stavu vozového parku. Ke zjištění přibližného počtu nejčastěji provozovaných vozidel bylo tedy nutné zvolit alternativní metodu. Ta spočívá v tom, že jsou od r. 2016 do r. 2005 známy počty konkrétních nových automobilů, které byly během tohoto období zaregistrovány. Zdrojem těchto dat je Svaz dovozců automobilů. Tato statistika ovšem končí v roce 2005 a dřívější

údaje již nejsou dostupné. Diplomová práce [35] ovšem uvádí statistiku nejprodávanějších vozů z let 1999 - 2004 také dle SDA. Jelikož je cílem určit spotřebu benzínu přibližně, byl zjednodušený model vozového parku, tj. model deseti nejčastěji provozovaných automobilů, vytvořen jako součet počtů vozidel v obou uvedených kategoriích, tedy součet nejčastěji registrovaných z let 2005 - 2006 a nejprodávanějších z let 1999 - 2004.

Statistika o nejčastěji registrovaných vozidlech z let 2005 - 2016 je uvedena v tabulce 2. Nejregistrovanějším vozidlem v tomto období je tedy Škoda Octavia, nejvyšší zastoupení z hlediska obchodních tříd automobilů mají ovšem vozy nižší střední třídy.

Vozidlo	Třída	Počet	Vozidlo	Třída	Počet
Škoda OCTAVIA	Střední	245 079	Ford FIESTA	Malé	36 919
Škoda FABIA	Malé	244 992	Kia CEED	Nižší střední	33 466
Škoda SUPERB	Vyšší střední	50 461	Škoda YETI	C-SUV	33 460
Volkswagen GOLF	Nižší střední	47 332	Ford FOCUS	Nižší střední	32 165
Škoda RAPID	Nižší střední	44 635	Škoda ROOMSTER	MPV	31 460
Hyundai i30	Nižší střední	43 653	Volkswagen PASSAT	Střední	29 852

tabulka 2 - Nejčastěji registrované osobní automobily v letech 2005 - 2016 [33]

Údaje o nejprodávanějších vozidlech z let 1999 - 2004 jsou zpracovány v tabulce 3. Zde je patrné, že nejvíce se na českém trhu v tomto období prodávali automobily malé a nižší střední třídy.

Vozidlo	Třída	Počet	Vozidlo	Třída	Počet
Škoda FABIA	Malé	214 328	Toyota YARIS	Malé	11 434
Škoda OCTAVIA	Střední	118 794	Opel CORSA	Malé	11 032
Škoda FELICIA	Malé	99 302	Peugeot 307	Nižší střední	10 665
Peugeot 206	Malé	22 687	Renault THALIA	Malé	9 184
Opel ASTRA	Nižší střední	18 531	Ford MONDEO	Střední	8 928
Volkswagen PASSAT	Střední	15 950	Škoda SUPERB	Vyšší střední	8 865
Volkswagen GOLF	Nižší střední	15 592	Renault CLIO	Malé	8 783
Renault MEGANE	Nižší střední	15 375	Fiat PUNTO	Malé	8 184
Ford FOCUS	Nižší střední	14 735	Nissan ALMERA	Nižší střední	7 087
Volkswagen POLO	Malé	12 336	Ford FIESTA	Malé	6 181
Daewoo MATIZ	Mini	11 557	Seat CORDOBA	Malé	6 104

tabulka 3 - Nejprodávanější automobily v ČR v letech 1999 - 2004 [35]

Součty počtů vozidel z těchto dvou kategorií jsou uvedeny v tabulce 4.

Vozidlo	Počet
Škoda FABIA	459 320
Škoda OCTAVIA	363 873
Škoda FELICIA	99 302
Volkswagen GOLF	62 924
Škoda SUPERB	59 326
Ford FOCUS	46 900
Volkswagen PASSAT	45 802
Škoda RAPID	44 635
Hyundai i30	43 653
Ford FIESTA	43 100

tabulka 4 - Předpokládané počty nejčastěji provozovaných automobilů v ČR

Těchto deset vozidel tedy tvoří již zmíněný výpočtový model vozového parku. Pro zjištění roční spotřeby benzínu všech benzínových automobilů je dále nutné u těchto vozidel určit spotřebu benzínu vztaženou na sto kilometrů jízdy.

3.2.2 Výpočet měrné spotřeby benzínu

K určení měrné spotřeby benzínu bylo použito rozdělení vozidel dle tabulky 1, kde bylo z každé kategorie objemu motoru vybráno 10 konkrétních vozidel, která spadají mezi nejčastěji provozovaná vozidla dle tabulky 4 a která jsou zároveň vyráběná v příslušných motorizacích.

U těchto automobilů byla určena průměrná spotřeba paliva vztažená na sto kilometrů jízdy na základě údajů z německého webu spritmonitor.de, kam uživatelé různých vozů nahrávají jimi uraženou vzdálenost a množství spotřebovaného paliva. Jedná se tedy o skutečné spotřeby při reálném provozu, nikoliv o spotřeby při laboratorních podmínkách, které udávají výrobci. Vyhledávání na tomto webu umožňuje tříditi osobní automobily dle značky, spotřebovávaného paliva, typu převodovky, roku výroby, maximálního výkonu motoru a minimálního počtu najetých kilometrů. Do statistik tak byla vybrána ta benzinová vozidla, u nichž lze při definování výkonu a roku výroby jednoznačně určit, že spadají do příslušné kategorie objemu motoru dle [36]. Z důvodu zpřesnění spotřeby byly do této statistiky zařazeny takové automobily, které mají najeto více než 1500 kilometrů. Vybraná vozidla v kategorii objemu motoru do 1400 cm³, definované vyhledávací parametry

(výkon a rok výroby) a jednotlivé spotřeby z tohoto webu jsou uvedeny v tabulce 5.

Vozidlo	Objem motoru (zaokrouhleno) [cm ³]	Výkon [kW]	Roky výroby	Počet aut ve statistice	Spotřeba [l/100km]
Škoda FABIA	1200	47	2003 - 2007	122	6,50
Škoda FABIA	1200	81	2014 - 2016	253	6,22
Škoda FABIA	1200	66	2014 - 2017	179	5,91
Škoda OCTAVIA	1000	85	2012 - 2018	52	6,13
Škoda OCTAVIA	1200	63	2013 - 2018	13	5,70
Ford FIESTA	1300	60	2008 - 2018	451	6,81
Škoda FELICIA	1300	50	1994 - 2001	123	6,94
Volkswagen GOLF	1400	59	2003 - 2009	328	7,03
Škoda RAPID	1000;1200;1400	- ¹	- ¹	364	6,29
Hyundai i30	1400	74	2015 - 2018	39	7,01

tabulka 5 - Vozidla s objemem motoru do 1400 cm³ a jejich spotřeby dle [37]

Stejným způsobem byl proveden průzkum vozidel ve zbývajících dvou kategoriích.

Vozidlo	Objem motoru (zaokrouhleno) [cm ³]	Výkon [kW]	Roky výroby	Počet aut ve statistice	Spotřeba [l/100km]
Škoda OCTAVIA	1800	118	2007 - 2013	329	8,09
Škoda OCTAVIA	1600	74	1996 - 2010	59	7,64
Škoda OCTAVIA	2000	162	2013 - 2016	263	8,55
Škoda FABIA	2000	85	2000 - 2006	29	7,63
Škoda FABIA	1600	77	2007 - 2009	79	7,15
Škoda FELICIA	1600	55	1994 - 2001	76	7,36
Volkswagen GOLF	1800	132	1997 - 2003	40	9,26
Škoda SUPERB	1800	118	2008 - 2015	131	8,19
Ford FOCUS	1600;1800	85	1998 - 2010	632	8,07
Volkswagen PASSAT	1600	92	1996 - 2005	27	8,81

tabulka 6 - Vozidla s objemem motoru 1400 - 2000 cm³ a jejich spotřeby [37]

¹ Nebylo při vyhledávání definováno - všechna vyráběná benzínová vozidla mají objem motoru do 1400 cm³.

V poslední kategorii vozidel se zdvihovým objemem motoru nad 2000 cm³ je potíž v podobě nedostatku automobilů spadajících mezi nejčastěji provozovaná vozidla dle tabulky 4, která disponují požadovaným objemem motoru a lze je na webu spritmonitor.de jednoznačně definovat. K doplnění statistiky tak byly vybrány dva vozy Ford Mondeo, kterých je v ČR dle stejné úvahy provozováno 22 711 (součet prodaných a registrovaných vozidel z výše uvedených období).

Vozidlo	Objem motoru (zaokrouhlo) [cm ³]	Výkon [kW]	Roky výroby	Počet aut ve statistice	Spotřeba [l/100km]
Volkswagen GOLF	2800	150	1997 - 2003	36	10,35
Volkswagen GOLF	2300	125	1997 - 2002	25	10,23
Volkswagen GOLF	3200	184	2003 - 2009	86	11,21
Volkswagen PASSAT	2800	142	1996 - 2005	41	11,63
Volkswagen PASSAT	4000	202	2000 - 2005	24	13,45
Volkswagen PASSAT	2300	125	2000 - 2005	14	9,52
Škoda SUPERB	3600	191	2008 - 2015	47	10,74
Škoda SUPERB	2800	142	2001 - 2008	10	10,55
Ford MONDEO	2500	162	2007 - 2014	43	9,88
Ford MONDEO	2500	151	1996 - 2000	13	10,26

tabulka 7 - Vozidla s objemem motoru nad 2000 cm³ a jejich spotřeby [37]

Průměrné spotřeby vozidel v jednotlivých kategoriích jsou tedy následující.

Kategorie	Průměrná spotřeba [l/100km]
benzínové s objemem motoru pod 1400 cm ³	6,45
benzínové s objemem motoru 1400 - 1999 cm ³	8,08
benzínové s objemem motoru nad 2000 cm ³	10,78

tabulka 8 - Průměrné spotřeby paliva různých kategorií vozidel

Při uvážení počtů automobilů v těchto kategoriích dle tabulky 1 lze nyní vypočítat celkovou průměrnou spotřebu všech benzínových automobilů pomocí váženého průměru.

$$S_{obj} = \frac{S_{1400} \cdot n_{1400} + S_{1400-1999} \cdot n_{1400-1999} + S_{2000} \cdot n_{2000}}{n_{celk}}, \quad (3.1)$$

$$S_{obj} = \frac{6,45 \cdot 2\,161\,593 + 8,08 \cdot 1\,040\,307 + 10,78 \cdot 135\,561}{3\,337\,837}, \quad (3.2)$$

$$S_{obj} \cong 7,13 \text{ l/100km}, \quad (3.3)$$

kde S_i je průměrná spotřeba příslušné kategorie objemu motoru, viz tabulka 8 [l/100km],
 n_i udává počet vozidel v příslušné kategorii objemu motoru dle tabulky 1 [-].

Do dalších výpočtů je pro přehlednost vhodné tuto objemovou spotřebu přepočítat na spotřebu hmotnostní.

$$S = \rho_{benzín} \cdot S_{obj} = 0,725 \cdot 7,13 \cong 5,17 \text{ kg/100km}, \quad (3.4)$$

kde $\rho_{benzín}$ je hustota benzínu při 15°C dle [38] a [39] [kg/l],

S_{obj} je průměrná spotřeba paliva benzínových automobilů [l/100km].

Tímto způsobem tedy byla určena přibližná celková průměrná spotřeba paliva benzínových automobilů vztažená na sto kilometrů jízdy. Je zřejmé, že nejvíce tuto hodnotu ovlivňují vozidla s objemem motoru do 1 400 cm³, jelikož zaujímají téměř 65 % ze všech benzínových automobilů.

3.2.3 Výpočet celkové spotřeby benzínu

Jak již bylo řečeno, celkovou spotřebu benzínu všech osobních automobilů velmi ovlivňuje průměrná roční ujetá vzdálenost, která bývá dle kapitoly 3.1 udávána odlišně. Z toho důvodu bude tedy výpočet této spotřeby proveden pro různé hodnoty nájezdů. Správnou hodnotu je poté možno verifikovat pomocí údaje o celkové spotřebě benzínu v dopravě, který je udáván statistikou Ministerstva dopravy (MD). Je zřejmé, že tato hodnota musí být větší než vypočtená spotřeba benzínu osobních automobilů. Pro vyhodnocení celkové spotřeby benzínu automobilů byly vybrány nájezdy 6 880 km, 10 000 km a nájezd určený z autobazaru - 15 000 km. Tyto výpočty jsou provedeny v rovnicích (3.5) až (3.7).

$$m_1 = \frac{S \cdot x_1 \cdot n}{100} = \frac{5,17 \cdot 6\,880 \cdot 3\,337\,837}{100} \cong 1\,187\,255\,000 \text{ kg}, \quad (3.5)$$

$$m_2 = \frac{S \cdot x_2 \cdot n}{100} = \frac{5,17 \cdot 10\,000 \cdot 3\,337\,837}{100} \cong 1\,725\,662\,000 \text{ kg} , \quad (3.6)$$

$$m_3 = \frac{S \cdot x_3 \cdot n}{100} = \frac{5,17 \cdot 15\,000 \cdot 3\,337\,837}{100} \cong 2\,588\,493\,000 \text{ kg} , \quad (3.7)$$

kde S udává průměrnou spotřebu benzínových automobilů dle rovnice (3.4) [kg/100km],
 x_i je uvažovaný roční nájezd [km],

n udává počet benzínových automobilů v ČR dle tabulky 1 [-].

Celková roční spotřeba benzínu v dopravě dle statistiky MD byla za rok 2016 rovna 1 592 000 tunám [5]. Podílem vypočtených hodnot z rovnic (3.5) až (3.7) s celkovou spotřebou benzínu v dopravě tedy získáme jednotlivá procentuální zastoupení, která by ve spotřebě benzínu při různých nájezdech zaujímaly osobní automobily.

$$P_1 = \frac{m_1}{m_{celk}} \cdot 100 = \frac{1\,187\,255\,000}{1\,592\,000\,000} \cdot 100 \cong 74,6 \% , \quad (3.8)$$

$$P_2 = \frac{m_2}{m_{celk}} \cdot 100 = \frac{1\,725\,662\,000}{1\,592\,000\,000} \cdot 100 \cong 108,4 \% , \quad (3.9)$$

$$P_3 = \frac{m_3}{m_{celk}} \cdot 100 = \frac{2\,588\,493\,000}{1\,592\,000\,000} \cdot 100 \cong 162,6 \% , \quad (3.10)$$

kde m_{celk} je celková spotřeba benzínu v dopravě dle MD [5] [kg].

Z výpočtů je tedy patrné, že spotřeby při uvažovaných nájezdech blížících se k 10 000 a více kilometrům jsou větší než celková spotřeba benzínu v dopravě. Z tohoto hlediska lze usoudit, že skutečný průměrný roční nájezd benzínových automobilů je menší 10 000 kilometrů. Odlišnost udávané hodnoty nájezdu dle různých zdrojů může být způsobena tím, že počet skutečně provozovaných vozidel je menší než počet registrovaných vozidel. Neprovozovaná vozidla, ovšem registrovaná, tedy průměrný roční nájezd sniží. Dále je pravděpodobné, že v autobazarech jsou prodávána vozidla disponující většími nájezdy, což bývá také jeden z důvodů inzerce.

Teoreticky maximální hodnotu ročního nájezdu lze získat tak, pokud uvážíme, že veškerý

benzín, který je spotřebován v dopravě, je spotřebován právě osobními automobily.

$$x_{max} = \frac{100 \cdot m_{celk}}{S \cdot n} = \frac{100 \cdot 1\,592\,000\,000}{5,17 \cdot 3\,337\,837} \cong 9225 \text{ km}, \quad (3.11)$$

kde m_{celk} udává celkovou spotřebu benzínu v dopravě dle MD [5] [kg],
 S udává celkovou průměrnou spotřebu benzínových automobilů [kg/100km],
 n udává počet benzínových automobilů v ČR dle tabulky 1 [-].

Na základě této rovnice a na základě hodnot uvedených v kapitole 3.1 je tedy dále předpokládáno, že se hodnota skutečného průměrného ročního nájezdu nachází v intervalu od 6 880 km do 9 225 km. Do následujících výpočtů tak byl zvolen roční nájezd jako aritmetický průměr z těchto dvou hodnot.

$$x = \frac{x_1 + x_{max}}{2} = \frac{6\,880 + 9\,225}{2} \cong 8053 \text{ km} \quad (3.12)$$

Při tomto uvažovaném nájezdu tedy vychází spotřeba benzínu v osobní automobilové dopravě dle rovnice (3.13).

$$m = \frac{S \cdot x \cdot n}{100} = \frac{5,17 \cdot 8\,053 \cdot 3\,337\,837}{100} \cong 1\,389\,675\,000 \text{ kg}, \quad (3.13)$$

kde S udává celkovou průměrnou spotřebu benzínových automobilů [kg/100km],
 x udává předpokládaný roční nájezd [km],
 n udává počet benzínových automobilů v ČR dle tabulky 1 [-].

3.3 Spotřeba energie benzínových automobilů a elektromobilů

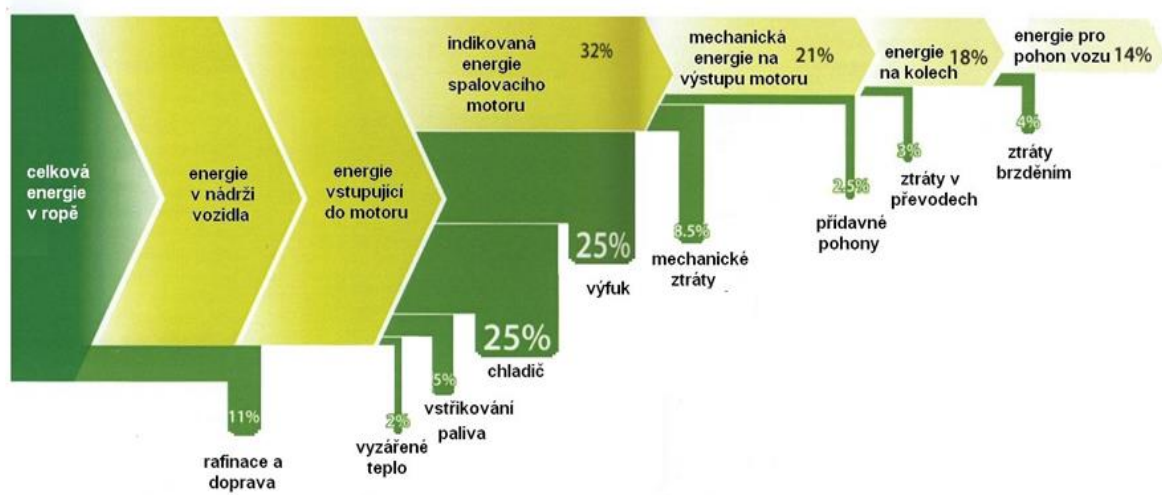
Celkovou spotřebovanou energii benzínovými automobily během jednoho roku lze určit z rovnice (3.14).

$$E = m \cdot H_{benzín} = 1\,389\,675\,000 \cdot 42,7 \cong 59\,339 \text{ TJ}, \quad (3.14)$$

kde $H_{benzín}$ je výhřevnost benzínu dle [40] a [41] [MJ/kg],

m je vypočtená spotřeba benzínu při uvažovaném ročním nájezdu 8053 km [kg].

Aby bylo možné tuto energetickou náročnost přepočítat na energii, která by byla během roku spotřebována stejným počtem elektromobilů, je třeba si uvědomit, že pouze část energie z rovnice (3.14) se spotřebuje na pohon vozidla, a to zejména kvůli tepelným a mechanickým ztrátám. Pro přibližné výpočty je tedy předpokládáno, že tato energie, která se spotřebuje na samotný pohon vozidla, je stejná jak pro „klasické“ automobily, tak i pro elektromobily. Důležitým údajem je tedy hodnota účinnosti benzínových automobilů, v tomto případě účinnosti od procesu tankování po samotnou rotaci výstupní hřídele motoru. Ztráty v převodech a ztráty způsobené brzděním není třeba pro zjednodušené výpočty uvažovat, jelikož jsou u benzínových automobilů a elektromobilů zhruba stejné. Přesná hodnota účinnosti je závislá zejména na typu automobilu a samotnému stylu jízdy, ovšem pro tento přibližný výpočet lze použít běžně udávané hodnoty, např. dle obr. 14.



obr. 14 - Well to wheel analýza benzínového automobilu [42]

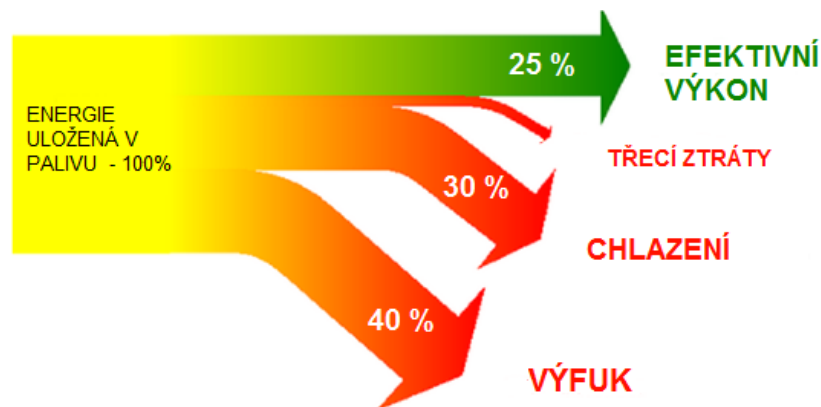
Účinnost přeměny energie z ropy na mechanickou energii motoru je tedy 21 %. Tuto hodnotu je ovšem nutné přepočítat vzhledem k energii uložené v benzínu před spalováním.

$$\eta_1 = \frac{\eta_0}{1 - Z_{\text{rafinace}}} = \frac{0,21}{1 - 0,11} \cong 0,236, \quad (3.15)$$

kde η_0 udává účinnost přeměny energie z ropy na mechanickou energii motoru dle obr. 14 [-],

Z_{rafinace} udává ztráty způsobené rafinací ropy a dopravou dle obr. 14 [-].

Podobnou hodnotu účinnosti udává také [43], a to sice 25 %, jak ukazuje obr. 15.



obr. 15 - Účinnost a ztráty v benzínovém automobilu (přeloženo) [43]

Do následujících výpočtů je tedy jako hodnota účinnosti benzínových automobilů zvolen aritmetický průměr z hodnot dle rovnice (3.15) a obr. 15.

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} = \frac{23,6 + 25}{2} = 24,3 \% . \quad (3.16)$$

Na samotný pohon benzínových automobilů se tedy spotřebuje následující množství energie.

$$E_{pohon} = E \cdot \eta = 59\,339 \cdot 0,243 \cong 14\,419 \text{ TJ} , \quad (3.17)$$

kde E je celková roční spotřeba energie benzínových automobilů dle rovnice (3.14) [TJ],
 η je účinnost přeměny energie z benzínu na mechanickou energii motoru dle rovnice (3.16) [-].

Jak již bylo řečeno, je předpokládáno, že stejné množství energie bude potřebné i pro pohon elektromobilů. Dalším krokem je tedy určení hodnoty účinnosti elektromobilu. Ta v sobě zahrnuje disipaci energie zejména při procesu nabíjení a vybíjení baterie, v elektromotoru a v měniči napětí. Důležité je také zmínit, že velkou roli při určování účinnosti hraje také topení a klimatizace. Zatímco u klasických automobilů se vnitřní prostor vytápí tepelnou energií ze spalovacího motoru, v elektromobilech se topí elektřinou z baterií, čímž dochází ke snížení maximálního dojezdu vozidla. V následujících odstavcích tedy bude nejprve přibližně určeno, jak se mění spotřeba elektromobilu v závislosti na výkonu topení a výkonu klimatizace, tj. v závislosti na venkovní teplotě.

K tomu lze použít údajů z [44], kde jsou uvedeny informace o spotřebě elektromobilu Nissan Leaf z reálného provozu při různých venkovních teplotách.

Z tohoto webu vyplývají následující údaje.

Podmínky jízdy	Zvýšení spotřeby
Normální jízda s topením - teplota kolem 0 °C	+24 %
Normální jízda s topením - teplota -15 °C až -20 °C	+65 %

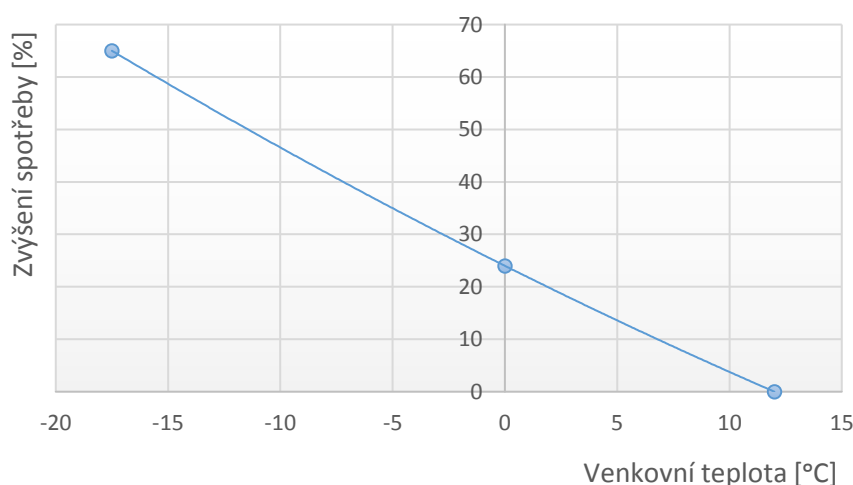
tabulka 9 - Spotřeba vozidla Nissan Leaf v závislosti na venkovní teplotě [44]

Okamžik zapnutí, resp. vypnutí topení závisí samozřejmě na subjektivním pocitu řidiče. Pro účely této práce byla jako referenční průměrná denní teplota, při které řidič začne ve vozidle topit, zvolena hodnota 12 °C. Z tabulky 10, která udává průměrné denní teploty z roku 2017 dle Českého hydrometeorologického ústavu, vyplývá, že tato teplota zhruba odpovídá měsíci září.

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Teplota [°C]	-5,6	1,1	5,9	6,9	13,8	18,2	18,5	18,8	11,8	9,5	3,7	0,8

tabulka 10 - Průměrné denní teploty v ČR za rok 2017 [45]

Tuto hodnotu lze společně s hodnotami uvedenými v tabulce 9 zakreslit do grafu a následně vzniklé tři body proložit polynomem druhého stupně, např. metodou nejmenších čtverců, jak je uvedeno na obr. 16. Jako levý krajní bod funkce byla zvolena hodnota -17,5 °C odpovídající střední hodnotě z předepsaného intervalu. Tímto způsobem lze obdržet funkci udávající zjednodušenou závislost mezi zvýšením spotřeby elektromobilu a venkovní teplotou, která je platná v intervalu venkovních teplot od -17,5 °C do 12 °C.



obr. 16 - Předpokládaný vliv topení na spotřebu elektromobilu

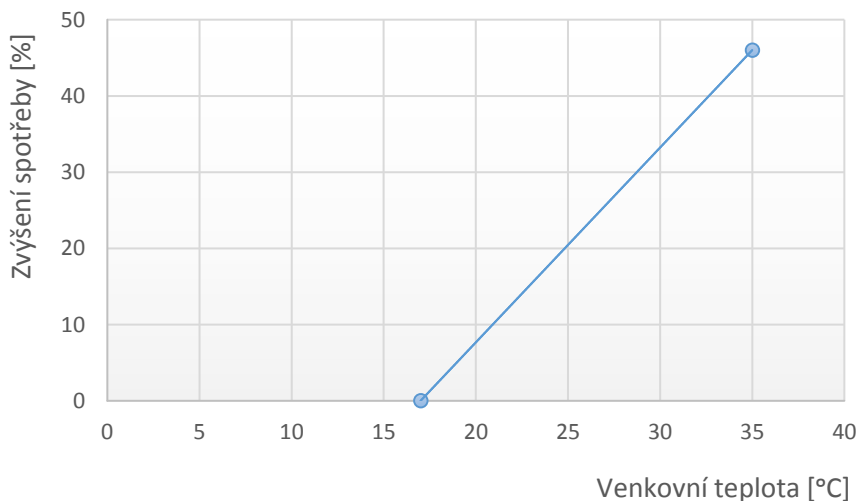
Předpis funkce uvedené na obr. 16 je (ke zjištění předpisu byl použit program MS Excel)

$$S_{\text{topení}} = 0,0116 \cdot t^2 - 2,1395 \cdot t + 24, \quad (3.18)$$

kde $S_{\text{topení}}$ udává zvýšení spotřeby důsledkem topení [%],
 t udává průměrnou venkovní teplotu [°C].

Spotřebu při zapnuté klimatizaci lze řešit obdobně. Jako výpočtové vozidlo byl zvolen elektromobil Mitsubishi iMiev, u kterého je výrobcem udáváno, že zapnutá klimatizace při venkovní teplotě 35 °C snižuje dojezdovou vzdálenost až o 46 % [46]. Jako počátek zapnutí klimatizace zde byla zvolena průměrná denní teplota 17 °C, která dle tabulky 9 odpovídá období na začátku června. Ačkoliv může tato teplota vypadat jako příliš nízká, je třeba si uvědomit, že se jedná o průměrnou denní teplotu měřenou ve stínu, která bývá dle vyhlášky č. 194/2007 vyhodnocena jako průměr z teplot v 7, 14 a 21 hodin, přičemž teplota ve 21 hodin je započítána dvakrát [47].

Ze dvou uvedených hodnot lze tedy sestavit přímkou udávající předpokládané navýšení spotřeby elektrické energie v závislosti na venkovní teplotě, která nyní platí v intervalu teplot od 17 °C do 35 °C.



obr. 17 - Předpokládaný vliv klimatizace na spotřebu elektromobilu

Předpis této lineární funkce je

$$S_{\text{klimatizace}} = 2,5556 \cdot t - 43,444, \quad (3.19)$$

kde $S_{\text{klimatizace}}$ udává zvýšení spotřeby důsledkem klimatizace [%],
 t udává venkovní teplotu [°C].

Jelikož jsou známy průměrné denní teploty v jednotlivých měsících, lze pomocí uvedených funkčních předpisů určit, o kolik se spotřeba elektromobilu v daném období navýší. Pro znázornění je jako příklad uveden výpočet pro měsíc leden.

$$S_1 = 0,0116 \cdot t^2 - 2,1395 \cdot t + 24, \quad (3.20)$$

$$S_1 = 0,0116 \cdot (-5,6)^2 - 2,1395 \cdot (-5,6) + 24 \cong 36,3 \%, \quad (3.21)$$

kde t udává průměrnou denní teplotu v lednu dle tabulky 10.

Výsledky pro další měsíce jsou zpracovány v tabulce 11. Výpočet pro měsíce červen až srpen je proveden dle vztahu (3.19), protože se zde na základě průměrných měsíčních teplot dle tabulky 10 předpokládá použití klimatizace. Jelikož se v květnu kvůli průměrné teplotě nepředpokládá použití topení ani klimatizace, je zde nárůst spotřeby nulový.

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Navýšení spotřeby [%]	+36,3	+21,7	+11,8	+9,8	+0	+3,1	+3,8	+4,6	+0,4	+4,7	+16,2	+22,3

tabulka 11 - Nárůst spotřeby elektromobilů během kalendářního roku

Ačkoliv jsou hodnoty nárůstů spotřeby v letních měsících vypočteny pomocí informací udávaných výrobcem, lze je ověřit s daty z reálného provozu ze serveru spritmonitor.de, kde bylo vybráno vozidlo Nissan Leaf, u kterého uživatel uvádí průměrné měsíční spotřeby elektřiny v roce 2017 a zároveň popisuje, zdali v daném období používal klimatizaci či nikoliv. Z těchto údajů vyplývá, že klimatizace v letních měsících zvyšuje průměrnou spotřebu tohoto vozidla o 2,3 % až 4,3 % [48], což je v dobré shodě s výše vypočtenými hodnotami.

Zatím nebylo počítáno s účinností elektromobilu. Ovšem i tak již bude celková roční energetická spotřeba elektromobilů zvýšena oproti energii potřebné na samotný pohon elektromobilů právě o sumu všech dílčích přírůstků spotřeby v jednotlivých měsících.

$$E_{teor} = \frac{E_{pohon}}{12} \cdot \sum_{j=1}^{12} \left(1 + \frac{S_j}{100}\right) \cong \frac{14\,419}{12} \cdot 13,35 \cong 16\,041 \text{ TJ}, \quad (3.22)$$

kde S_j udává zvýšení spotřeby v jednotlivých měsících dle tabulky 11 [%],

E_{pohon} udává energii spotřebovanou na samotný pohon všech elektromobilů [TJ].

Podělíme-li nyní toto číslo hodnotou celkové účinnosti elektromobilu, získáme roční energetickou náročnost všech uvažovaných elektromobilů. Ačkoliv je exaktní hodnota této účinnosti závislá na mnoha faktorech, jsou i zde z důvodu přibližných výpočtů použity běžně udávané hodnoty.

Dle Asociace pro elektromobilitu ČR je celková účinnost elektromobilu od procesu nabíjení po jízdu (tedy bez započítání topení a klimatizace) větší než 60 % [49]. Zdroj [50] udává interval účinnosti od 59 % do 62 %. V dalších výpočtech je tedy uvažována střední hodnota z tohoto rozmezí, a to sice 60,5 %. Jak již bylo řečeno, ke ztrátám energie dochází zejména při procesu nabíjení a vybíjení baterie, v elektromotoru a v měniči napětí. Celkové množství energie spotřebované elektromobily během jednoho roku je tedy

$$E_{em} = \frac{E_{teor}}{\eta_{em}} = \frac{16\,041}{0,605} \cong 26\,514\,TJ, \quad (3.23)$$

kde E_{teor} udává energii potřebnou na samotný pohon elektromobilů zvýšenou o energii na vytápění či klimatizaci vozidla, viz rovnice (3.22) [TJ],

η_{em} udává účinnost elektromobilu od procesu nabíjení po jízdu dle údajů z [49] a [50] [-].

Výpočty provedené v této kapitole tedy určily množství energie potřebné pro roční provoz všech elektromobilů - 26 514 TJ. Zároveň bylo zjištěno, že by uvažovanou elektrifikací bylo uspořeno více než 59 339 TJ, kdy tato energie odpovídá zhruba 1 390 000 tunám benzínu. Uvedená čísla, ale i jiné hodnoty vypočtené v této části, budou dále sloužit k analýze dopadů předpokládané elektrifikace v kapitole 4.

4 Analýza důsledků

Tato kapitola bude v širších souvislostech vyhodnocovat důsledky, které by hypotetická změna přinesla v různých průmyslových, ale i jiných odvětvích. Analýza bude zaměřena na dopady v energetickém sektoru, na pozitiva v oblasti životního prostředí, ekonomické důsledky a také na změny požadavků na dobíjecí infrastrukturu.

4.1 Energetické důsledky

Aby byl umožněn provoz všech elektromobilů, je nejprve nutné potřebnou elektrickou energii vyrobit. Jelikož ovšem část této elektrické energie disipuje v přenosové a distribuční soustavě a k výrobě elektřiny je navíc také potřeba jisté množství elektřiny, bude muset být produkce elektrické energie o tyto energetické ztráty a spotřebu elektráren vzhledem k rovnici (3.23) navýšena.

Celkové využití elektrické energie z elektrizační soustavy (ES) ČR lze určit ze statistických údajů Energetického regulačního úřadu (ERÚ) pomocí podílu celkového množství vyrobené elektřiny a celkových ztrát v síti:

$$\eta_{el} = 1 - \frac{Z_{celk_CR}}{E_{celk_CR}} = 1 - \frac{14\,688}{299\,887} \cong 0,95, \quad (4.1)$$

kde Z_{celk_CR} jsou celkové ztráty v elektrizační soustavě ČR dle ERÚ v r. 2016 [TJ] [51],
 E_{celk_CR} je množství vyrobené elektřiny v ČR dle ERÚ za r. 2016 [TJ] [51].

Tento vypočtený údaj odpovídá hodnotě udávané Mezinárodní energetickou agenturou, dle které ztráta elektrické energie v přenosové a distribuční soustavě ČR činila v r. 2014 zhruba 4,53 % z celkové výroby elektřiny [52].

Koeficient respektující vlastní spotřebu elektráren, tj. který ukazuje, kolik energie je teoreticky možné z elektrizační soustavy vzhledem k celkové výrobě odebrat spotřebiči, lze určit z rovnice (4.2).

$$\eta_{vse} = 1 - \frac{TVS_e}{E_{celk_CR}} = 1 - \frac{21\,192}{299\,887} \cong 0,93, \quad (4.2)$$

kde TVS_e je vlastní spotřeba elektřiny elektráren na výrobu elektřiny v r. 2016 [TJ] [51].

Celkové množství energie, které je nutné provoz uvažovaného počtu elektromobilů vyrobit v elektrárnách, je tedy navýšeno o ztráty způsobené přenosem a o vlastní spotřebu elektráren.

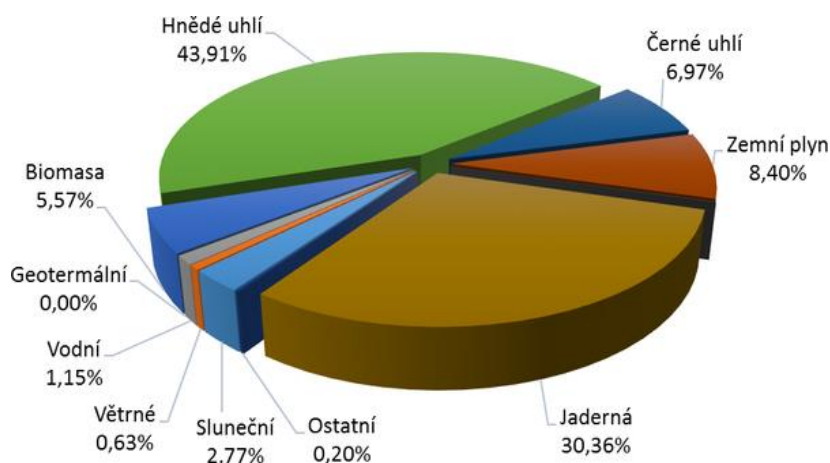
$$E_{em_celk} = \frac{E_{em}}{\eta_{el} \cdot \eta_{vse}} = \frac{26\,514}{0,95 \cdot 0,93} \cong 30\,010 \text{ TJ}, \quad (4.3)$$

kde E_{em} je vypočtená energie spotřebovaná během jednoho roku elektromobily [TJ],

η_{el} udává stanovené využití elektřiny z elektrizační soustavy ČR v r. 2016 [-],

η_{vse} je vypočtený koeficient respektující vlastní spotřebu elektráren v ČR v r. 2016 [-].

Tato energie odpovídá více než 10 % z celkové výroby elektrické energie v ČR za rok 2016, tedy z 299 887 TJ [51]. Z energetického mixu ČR, který je uveden na obr. 18, vyplývá, že většina elektrické energie je u nás produkována uhelnými a jadernými elektrárnami.



obr. 18 - Energetický mix ČR za rok 2016 [53]

Mezi nejvýkonnější výroby z těchto kategorií patří jaderná elektrárna (JE) Temelín disponující celkovým instalovaným výkonem 2 x 1 080 MW_e [54] a uhelná elektrárna Počerady, jejíž celkový instalovaný výkon činí 1 000 MW_e [55]. S těmito údaji je možné energii z rovnice (4.3) porovnat a určit, kolik takovýchto elektráren či jednotlivých bloků by muselo být kvůli elektromobilům dostavěno, pokud by byly zachovány současné poměry v mezinárodním obchodu s elektřinou a celkový koeficient využití.

V jaderné elektrárně Temelín se v r. 2016 vyrobilo zhruba 43 738 TJ elektřiny [51]. Energie spočtená z rovnice (4.3), tj. energie, kterou je nutné pro provoz předpokládaného počtu elektromobilů vyrobit v elektrárnách, tedy odpovídá roční produkci následujícího množství

elektráren Temelín, jak uvádí rovnice (4.4).

$$N_{Temelín} = \frac{E_{em_celk}}{E_{Temelín}} = \frac{30\,010}{43\,738} \cong 0,69, \quad (4.4)$$

kde E_{em_celk} udává vypočtenou energii, kterou je nutné vyrobit pro provoz uvažovaného počtu elektromobilů [TJ],

$E_{Temelín}$ udává produkci elektřiny v r. 2016 v jaderné elektrárně Temelín [51] [TJ].

Zcela analogickým výpočtem lze určit odpovídající počet elektráren Počeradý.

$$N_{Počeradý} = \frac{E_{em_celk}}{E_{Počeradý}} = \frac{30\,010}{25\,270} \cong 1,19, \quad (4.5)$$

kde $E_{Počeradý}$ udává produkci elektřiny v r. 2010 v elektrárně Počeradý [56] [TJ].

Provoz všech předpokládaných elektromobilů by si tedy při zachování aktuálních distribučních poměrů vyžádal navýšení výroby elektřiny o hodnotu odpovídající 69 % produkci JE Temelín, resp. 119 % produkci jedné z nejvýkonnější uhelné elektrárny v ČR - Počeradý. To tedy znamená, že pokud by bylo požadováno co největšího využití environmentálního přínosu elektromobily, bylo by při zachování poměrů v importu a exportu elektřiny při stejném využití současných výrobních kapacit nutné vybudovat např. více než jeden blok zmíněné jaderné elektrárny. Důležité je ovšem podotknout, že výstavba nových zařízení takového rozsahu trvá mnoho let a je finančně velmi náročná. Například samotná výstavba JE Temelín trvala 13 roků, ovšem dalších sedm let předtím zabraly přípravné práce [57]. Podobná situace probíhala u JE Dukovany, kdy byl poslední reaktorový blok uveden do provozu po 9 letech výstavby [58].

Jelikož saldo zahraničního obchodu s elektřinou u nás činilo v r. 2016 zhruba -39 508 TJ (export) [51], lze prohlásit, že další možností k pokrytí vypočtené potřeby elektřiny by mohlo být snížení tohoto salda ze zhruba 76 %.

4.1.1 Požadavek maximálního výkonu

Ačkoliv byla vypočtena energie potřebná k provozu elektromobilů během jednoho roku, musí být energetika připravena i na extrémní případy v podobě maximálního zatížení sítě v jeden okamžik. Taková situace může nastat např. v lednu, kdy spotřeba elektromobilů dle tabulky 11 narůstá o 36,3 %. Pro zajištění provozu elektromobilů v lednu je tedy třeba

vyrobit energii dle rovnice (4.6), resp. (4.7).

$$E_{leden} = \frac{E_{pohon}}{12 \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{vse}} \cdot \left(1 + \frac{S_1}{100}\right) = \frac{14\,419}{12 \cdot 0,605 \cdot 0,93 \cdot 0,95} \cdot \left(1 + \frac{36,3}{100}\right), \quad (4.6)$$

$$E_{leden} \cong 3\,064\,TJ, \quad (4.7)$$

kde E_{pohon} je energie potřebná na samotný pohon elektromobilů dle rovnice (3.17) [TJ],
 η_{em} udává účinnost elektromobilu od nabíjení po jízdu dle kapitoly 3.3 [-],
 η_{el} udává využití elektřiny z elektrizační soustavy ČR dle rovnice (4.1) [-],
 η_{vse} je koeficient respektující vlastní spotřebu elektráren v ČR v r. 2016 [-].
 S_1 udává zvýšení spotřeby v měsíci lednu dle tabulky 11 [%].

Předpokládejme nyní navíc situaci, při které nebudou všechny hypoteticky existující elektromobily nabíjeny v průběhu celého dne, ale během osmi hodin, což se může stát např. v noci. Během tohoto časového intervalu bude tedy ze sítě odebírán následující výkon.

$$P_{leden} = \frac{E_{leden}}{T} = \frac{3\,064\,000}{31 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 60} \cong 3,43\,GW, \quad (4.8)$$

kde E_{leden} udává vypočtené množství energie, které je nutné pro provoz elektromobilů vyrobit v měsíci lednu [GJ],
 T udává časový interval, v tomto případě třetinu měsíce ledna [s].

Jak již bylo zmíněno, celkový instalovaný výkon elektrárny Temelín činí 2,16 GWe a elektrárny Počerady 1 GWe. Z hlediska zajištění výkonu při odběrové špičce již tedy nejsou dostačující počty zmíněných elektráren dle rovnic (4.4) a (4.5), jelikož ani při maximálním výkonu nejsou schopny vyhovět požadavku dle rovnice (4.8).

V tomto ohledu je tedy potřebný počet elektráren Temelín

$$N_{Temelín_2} = \frac{P_{leden}}{P_{Temelín}} = \frac{3,43}{2,16} \cong 1,59, \quad (4.9)$$

kde P_{leden} udává odebíraný výkon dle rovnice (4.8) [GW],
 $P_{Temelín}$ udává celkový instalovaný výkon elektrárny Temelín [54] [GW].

Analogickým způsobem lze zjistit počet elektráren Počerady.

$$N_{Počerady_2} = \frac{P_{leden}}{P_{Počerady}} = \frac{3,43}{1} = 3,43, \quad (4.10)$$

kde $P_{Počerady}$ udává celkový instalovaný výkon uhelné elektrárny Počerady [55] [GW].

Z uvedených výpočtů tedy vychází, že pokud by k výrobě elektřiny pro elektromobily byla určena samostatná elektrárna, musel by její výkon odpovídat maximálnímu výkonu více než jedné a půl jaderné elektrárny Temelín a téměř třem a půl elektrárnám Počerady. Jelikož lednové saldo zahraničního obchodu s elektřinou činilo v r. 2016 zhruba -3 063 TJ (export) [51], lze prohlásit, že vypočtená energie z rovnice (4.6), resp. (4.7) zhruba odpovídá tomuto měsíčnímu saldu.

4.1.2 Potenciál využití větrných elektráren

Ideálním řešením pro uvažovaný stav elektromobility by byla výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE), které jsou šetrnější k životnímu prostředí než většina fosilních paliv. Jedním z OZE je např. energie větrná, následující výpočet tedy znázorňuje, jaká plocha by musela být větrnými elektrárnami zastavěna, aby množství vyrobené elektřiny odpovídalo energii potřebné k ročnímu provozu všech uvažovaných elektromobilů dle rovnice (4.3).

Celkový instalovaný výkon větrných elektráren v ČR byl v r. 2016 dle ERÚ 282 MW_e [51], roční výroba ale dosáhla pouze zhruba 497 GWh, tedy 1 789 TJ, a to zejména z důvodu proměnné rychlosti větru. To tedy znamená, že instalovaný výkon není využíván naplno. Lze tak definovat koeficient využití celkového výkonu větrných elektráren, který vyjadřuje, jaká část z tohoto celkového výkonu je skutečně během jednoho roku využívána.

$$k = \frac{E_{ve}}{P_{max} \cdot t} = \frac{496\,957}{282 \cdot 8\,760} \cong 0,201 \quad (4.11)$$

kde E_{ve} udává roční produkci elektřiny z větrných elektráren v ČR [MWh] [51],

P_{max} udává instalovaný výkon větrných elektráren v ČR v r. 2016 [MW] [51],

t udává čas, v tomto případě jeden rok [h].

Do následujících výpočtů je uvažována turbína VESTAS V90 2 MW, která je součástí např. větrné elektrárny Lipná [59]. Tato turbína, jejíž průměr rotoru činí 90 metrů, je tedy dle názvu schopna vyrábět elektřinu s maximálním výkonem 2 MW. Předpokládanou roční

produkci elektrické energie z této turbíny (při uvažování vypočteného koeficientu využití) lze určit z rovnice (4.12).

$$E_{vestas} = P_{vestas_max} \cdot t \cdot k = 2 \cdot 8\,760 \cdot 0,201 \cong 3,52 \text{ GWh} \cong 12,68 \text{ TJ}, \quad (4.12)$$

kde P_{vestas_max} vyjadřuje maximální výkon turbíny [MW] [59],

t udává čas, v tomto případě jeden rok [h].

k udává koeficient využití větrné elektrárny dle rovnice (4.11) [-].

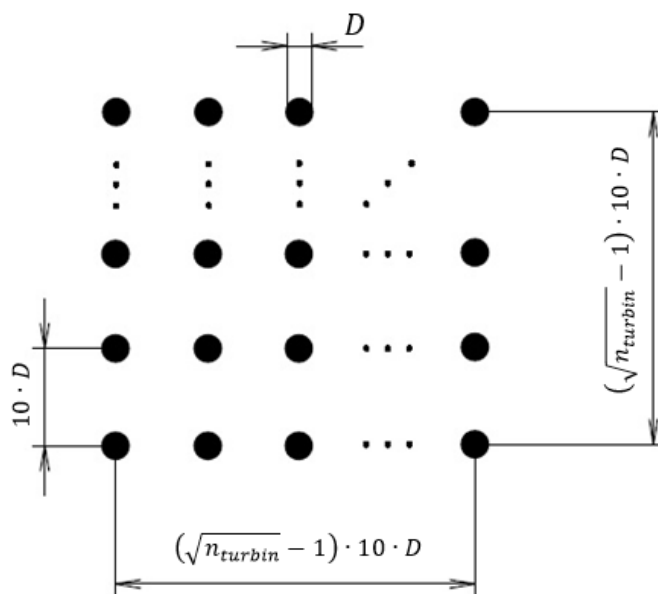
Počet turbín, který je schopen tuto požadovanou energii během jednoho roku zajistit, je uveden v rovnici (4.13).

$$n_{turbín} = \frac{E_{em_celk}}{E_{vestas}} = \frac{30\,010}{12,68} \cong 2\,367, \quad (4.13)$$

kde E_{em_celk} udává vypočtené množství energie, které je nutné ročně vyrobit pro provoz uvažovaného počtu elektromobilů [TJ],

E_{vestas} udává roční výrobu jedné turbíny VESTAS V90 2 MW [TJ].

Tyto turbíny ovšem nelze z důvodu proudění vzduchu vybudovat příliš blízko u sebe. Doporučená vzdálenost mezi jednotlivými turbínami je typicky udávána jako šest až desetinásobek průměru rotoru, u velkých farem až patnáctinásobek [60]. Do dalšího výpočtu je tak uvažována hodnota desetinásobku. Geometricky si lze celkovou zastavěnou plochu představit např. jako čtvercovou oblast dle obr. 19.



obr. 19 - Schéma větrné farmy

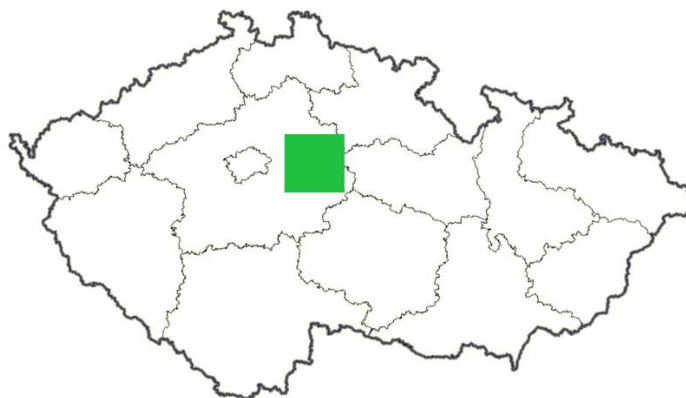
Z tohoto obrázku vyplývá i obsah celkové zastavěné plochy.

$$S = \left((\sqrt{n_{turbín}} - 1) \cdot 10 \cdot D \right)^2 = \left((\sqrt{2\,367} - 1) \cdot 10 \cdot 90 \right)^2 \cong 1\,839 \text{ km}^2, \quad (4.14)$$

kde $n_{turbín}$ udává vypočtený počet turbín dle rovnice (4.13) [-],

D udává průměr rotoru turbíny [m].

Tato plocha představuje téměř 2,5 % z celkového zeměpisného území ČR, které činí 78 870 km² [61]. Pokud by tedy nastala situace, při které by k výrobě energie pro elektromobily byl určen obnovitelný zdroj - v tomto případě energie větru, musela by být tato rozsáhlá oblast, která je pro lepší představu znázorněna zelenou barvou na obr. 20, vyhrazena pro větrné elektrárny.



obr. 20 - Zastavěná oblast větrnými elektrárnami (upraveno) [62]

4.1.3 Potenciál využití fotovoltaických elektráren

Dalším OZE je energie slunečního záření. Následující výpočet tedy ukazuje, kolik solárních panelů s parametry uvedenými v tabulce 12 je schopno zajistit výrobu elektřiny potřebnou na provoz všech uvažovaných elektromobilů dle rovnice (4.3).

Jelikož intenzita záření dopadajícího na povrch země není v průběhu roku konstantní, není ani u fotovoltaiky celkový instalovaný výkon využíván naplno. Koeficient využití lze tedy definovat analogicky jako u větrných elektráren.

$$k = \frac{E_{solar}}{P_{max_f} \cdot t} = \frac{2\,131\,455}{2\,067,9 \cdot 8\,760} \cong 0,118, \quad (4.15)$$

kde E_{solar} udává energii vyrobenou fotovolta. elektrárnami v ČR v r. 2016 [MWh] [51],

P_{\max_f} je celkový instalovaný výkon fotovolta. elektráren v ČR v r. 2016 [MW] [51].

t udává čas, v tomto případě jeden rok [h].

Do dalších výpočtů byl zvolen solární panel GWL/Sunny Poly 270 Wp, jehož parametry jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 12.

Výkon panelu [Wp]	270
Výška panelu (w) [mm]	1640
Šířka panelu (b) [mm]	992

tabulka 12 - Parametry výpočtového solárního panelu [63]

Množství elektrické energie vyrobené tímto panelem během jednoho roku je tedy

$$E_{panel} = P_{solar} \cdot t \cdot k = 270 \cdot 8760 \cdot 0,118 \cong 279 \text{ KWh} \cong 1,004 \text{ GJ}, \quad (4.16)$$

kde P_{solar} udává výkon jednoho solárního panelu [Wp],

t udává dobu trvání jednoho roku [h],

k udává vypočtený koeficient využití solárního panelu [-].

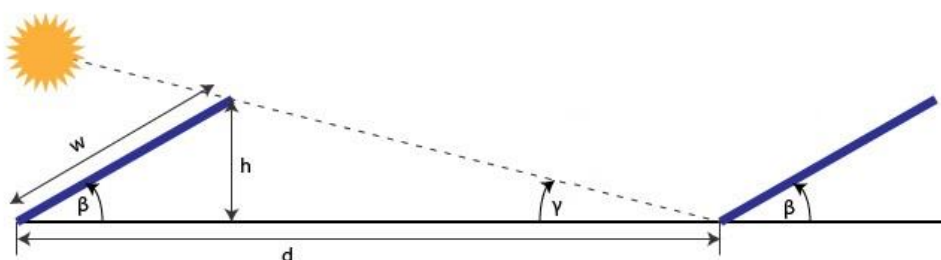
Potřebný počet panelů k zajištění výroby elektrické energie dle rovnice (4.3) je

$$n_{solar} = \frac{E_{em_celk}}{E_{panel}} = \frac{30\,010\,000}{1,004} \cong 29\,890\,000, \quad (4.17)$$

kde E_{em_celk} je vypočtená energie, kterou je nutné pro provoz elektromobilů vyrobit [GJ],

E_{panel} udává energii vyrobenou jedním solárním panelem za rok [GJ].

K výpočtu plochy, která by byla těmito panely zastavěna, lze použít model dle obr. 21.



obr. 21 - Rozmístění solárních panelů (upraveno) [64]

Optimální úhel sklonu panelu vůči zemi (β) je pro zeměpisné šířky ČR zhruba 35° [65]. Důležitým parametrem pro výpočet je vzdálenost mezi dvěma sousedícími panely (d). Jelikož za panelem vzniká stín, volba kratší vzdálenosti má za následek vyšší ztráty kvůli stínění a naopak rostoucí vzdálenost znamená větší zastavěnou plochu. Jako vhodnou vzdálenost mezi dvěma nejbližšími krajními body panelů lze pro zdejší zeměpisné šířky dle [66] považovat zhruba šestinásobek vzdálenosti h , a tedy platí:

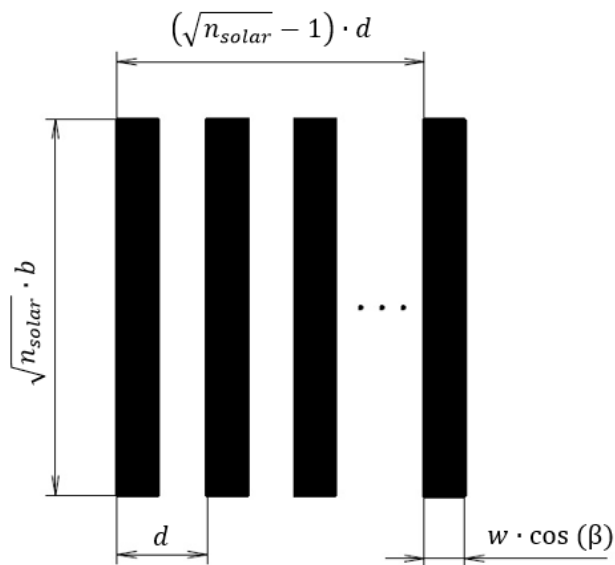
$$d = w \cdot \cos(\beta) + 6 \cdot h = w \cdot \cos(\beta) + 6 \cdot w \cdot \sin(\beta), \quad (4.18)$$

kde parametry w, h, β odpovídají rozměrům dle obr. 21.

Po dosazení rozměrů uvedených v tabulce 12 do rovnice (4.18) lze obdržet celkovou mezeru mezi dvěma sousedícími panely (d).

$$d = 1,64 \cdot \cos(35^\circ) + 6 \cdot 1,64 \cdot \sin(35^\circ) = 6,99 \text{ m} \quad (4.19)$$

Při uspořádání všech solárních panelů do jednotlivých řad, při kterém je počet panelů v jedné řadě roven celkovému počtu řad, si lze geometrii představit dle obr. 22.



obr. 22 - Solární elektrárna - pohled shora

Z tohoto obrázku lze také určit velikost zastavěné plochy.

$$S_{solar} = d \cdot b \cdot (n_{solar} - \sqrt{n_{solar}}) + w \cdot \cos(\beta) \cdot \sqrt{n_{solar}} \cdot b \quad (4.20)$$

$$S_{solar} = 6,99 \cdot 0,992 \cdot \left(29\,890\,000 - \sqrt{29\,890\,000} \right) + 1,640 \cdot \cos(35^\circ) \quad (4.21)$$

$$\cdot \sqrt{29\,890\,000} \cdot 0,992 \cong 207 \text{ km}^2 ,$$

kde d představuje rozměr dle obr. 21, resp. obr. 22 určený rovnicí (4.19) [m],

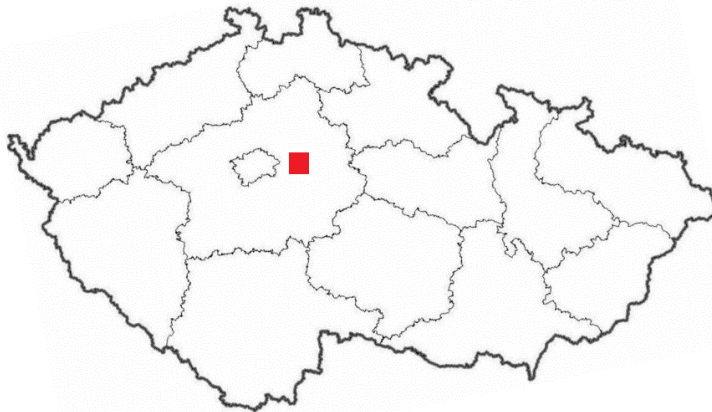
w představuje výšku panelu dle tabulky 12 [m],

b představuje šířku panelu dle tabulky 12 [m],

β udává úhel sklonu solárního panelu vůči zemi, viz obr. 21 [°].

n_{solar} udává počet solárních panelů dle rovnice (4.17) [-].

V případě uvažovaných fotovoltaických panelů tedy vychází potřebná plocha menší než u větrných elektráren. Stále by se ovšem v případě realizace jednalo o světově největší solární elektrárnu, jelikož ta aktuálně největší se rozkládá na ploše 25 km² [67]. Oblast vypočtená rovnicí (4.21) je znázorněna červenou barvou na obr. 23, jedná se o zhruba 0,3 % zeměpisného území ČR.



obr. 23 - Zastavěná oblast fotovoltaickými elektrárnami (upraveno) [62]

4.2 Environmentální důsledky

Elektromobily lze z hlediska produkce spalin hodnotit jako bezemisní dopravní prostředky. Pokud by tedy byly benzínové automobily nahrazeny elektromobily, došlo by skutečně ke snížení lokální koncentrace výfukových plynů v ovzduší. Tento fakt lze hodnotit jako vůbec nejvýznamnější přínos elektromobility, jelikož dle odhadů způsobí emise ze spalovacích motorů více úmrtí než samotné dopravní nehody [68]. Problémem ovšem zůstává, že emise vznikají i při výrobě elektřiny a tedy při well-to-wheel analýze elektromobily jako bezemisní hodnotit nelze. Mezi nejsledovanější výfukové plyny dnes patří oxid uhličitý, oxidy dusíku a pevné částice.

4.2.1 Emise CO₂

Oxid uhličitý má ze všech sloučenin obsažených ve výfukových plynech největší zastoupení. Jedná se o zdraví neškodlivý, skleníkový plyn, který je ovšem ve větším množství nebezpečný pro životní prostředí, jelikož dle studií způsobuje globální oteplování [1].

Pro analýzu je nejprve nutné vypočítat, kolik tohoto plynu se za rok vyprodukuje osobními automobily. Množství zplodin CO₂ je závislé zejména na spotřebě paliva a pro tento přibližný výpočet lze tedy použít běžně udávané emisní faktory, které zde slouží jako konstanta úměrnosti mezi vyprodukovanými emisemi CO₂ a spotřebou paliva a které tedy udávají, jaké množství tohoto plynu se uvolní spálením jednoho litru benzínu. Platí tedy

$$m_{CO_2} = k \cdot s, \quad (4.22)$$

kde m_{CO_2} je uvolněné množství CO₂ [kg]

k udává emisní faktor CO₂ benzínového motoru [kgCO₂/lbenzín],

s udává spotřebu paliva [l].

Ke zjištění celkového vyprodukovaného množství CO₂ všemi benzínovými automobily během jednoho roku byla použita hodnota emisního faktoru dle [69]. Výpočet je uveden v rovnici (4.23).

$$m_{CO_2} = k \cdot \frac{m}{\rho_{benzín}} = 2,32 \cdot \frac{1\,389\,675}{0,725} \cong 4\,446\,960 \text{ t}, \quad (4.23)$$

kde k udává emisní faktor dle [69] [kgCO₂/lbenzín],

m udává vypočtenou roční spotřebu benzínu dle rovnice (3.13) [t],

$\rho_{benzín}$ je hustota benzínu při 15 °C dle [38] a [39] [kg/l].

Po uvažované elektrifikaci lze tedy předpokládat, že tyto emise z benzínu zcela vymizí.

Množství vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého při výrobě elektřiny lze spočítat jako součin vyrobené energie a emisního faktoru CO₂, který je pro ČR uváděn v [70] s odvoláním statistická data Mezinárodní energetické agentury.

$$m_{CO_2-el} = E_{em_celk} \cdot E_{FCO_2} = 30\,010 \cdot 144,4 \cong 4\,333\,444 \text{ t}, \quad (4.24)$$

kde E_{em_celk} udává množství energie, které je nutné vyrobit pro provoz uvažovaného počtu elektromobilů dle rovnice (4.3) [TJ],

E_{FCO_2} udává emisní faktor CO₂ na jednotku vyrobené elektrické energie [70] [t/TJ].

Ve srovnání s emisemi z benzínových automobilů dle rovnice (4.23) tedy vychází, že ušetřené množství emisí CO₂ po hypotetické elektrifikaci je zhruba 2,5 %. Zlepšení z hlediska koncentrace tohoto plynu v ovzduší tedy není až tak výrazné, je ovšem nutné podotknout, že bylo počítáno s emisním faktorem výroby elektřiny pro ČR, který zahrnuje aktuální energetický mix. Pokud by bylo v budoucnu při výrobě elektřiny využíváno např. více obnovitelných zdrojů energie či jaderných elektráren, byla by úspora emisí CO₂ výraznější.

4.2.2 Emise ostatních sloučenin

Při výpočtu emisí ostatních, výše uvedených sloučenin, není snadné určit, jaké množství těchto látek je produkováno automobily s benzínovým motorem. Množství oxidů dusíku je závislé na teplotě plamene uvnitř válců spalovacího motoru a také na součiniteli přebytku vzduchu λ . Produkce pevných částic (PM - particulate matter) je problémem zejména u naftových motorů, ale také u benzínových motorů s přímým vstřikováním. Obsah pevných částic ve spalinách se ovšem odvíjí od konkrétního typu automobilu. Z těchto důvodů tedy nelze množství NO_x a PM jednoduchým způsobem zjistit a tento výpočet tedy není v této práci uveden. Lze ovšem prohlásit, že při elektrifikaci pohonu benzínových automobilů dojde ve velkých městech a v jejich okolí k významnému snížení koncentrace těchto látek v ovzduší, samozřejmě kromě produkce pevných částic při otěru pneumatik na silnici či z brzd. Vzhledem k tomu, že NO_x a PM škodí na rozdíl od CO₂ v blízkém okolí dopravních komunikací, lze tento důsledek hodnotit velmi pozitivně. [71; 72]

4.3 Ekonomické důsledky

4.3.1 Státní rozpočet

Jedním ze základních pilířů státního rozpočtu České republiky je dnes spotřební daň. Předmětem této daně jsou mimo jiné minerální oleje, mezi které se řadí pohonné hmoty a tedy i benzín. Tato spotřební daň z benzínu s obsahem olova menším než 0,013 g/l je definována dle zákona č. 353/2003 Sb. jako 12 840 Kč za tisíc litrů, tedy 12,84 Kč za litr [73]. Součet této daně a základní ceny benzínu slouží jako podklad pro výpočet DPH, celková cena benzínu je tedy dána sumou těchto tří složek.

Dle rovnice (3.13) se ročně spotřebuje zhruba 1 389 675 000 kg benzínu v osobní

automobilové dopravě, objemově tedy:

$$V = \frac{m}{\rho_{benzín}} = \frac{1\,389\,675\,000}{725} \cong 1\,916\,793\,m^3 = 1\,916\,793\,000\,l, \quad (4.25)$$

kde m udává vypočtenou roční spotřebu benzínu dle rovnice (3.13) [kg],

$\rho_{benzín}$ je hustota benzínu při 15 °C dle [38] a [39] [kg/m³].

Pomocí této hodnoty lze tedy spočítat celkovou výši spotřební daně z benzínu, která se vybere do státního rozpočtu během jednoho roku (výpočty zdanění benzínu jsou provedeny dle příkladů z [74] a [75]):

$$D_{spotř} = V \cdot d = 1\,916\,793\,000 \cdot 12,84 \cong 24\,611\,622\,000\,Kč, \quad (4.26)$$

kde V udává vypočtenou roční spotřebu benzínu dle rovnice (4.25) [l],

d udává spotřební daň z benzínu dle zákona č. 353/2003 Sb. [73] [Kč/l].

Jelikož základní sazba daně z přidané hodnoty činí 21 %, celkové odváděné DPH za rok je

$$DPH_{benzín} = \frac{C \cdot V \cdot 21}{121} = \frac{30,33 \cdot 1\,916\,793\,000 \cdot 21}{121} \cong 10\,089\,777\,000\,Kč, \quad (4.27)$$

kde C udává průměrnou cenu benzínu (Natural 95) za rok 2017 dle [76] [Kč/l],

V udává vypočtenou roční spotřebu benzínu dle rovnice (4.13) [l].

A celková daň odvedená za rok do státní kasy je tedy

$$D = D_{spotř} + DPH_{benzín}, \quad (4.28)$$

$$D = 24\,611\,622\,000 + 10\,089\,777\,000 = 34\,701\,399\,000\,Kč. \quad (4.29)$$

V případě hypotetické elektrifikace pohonu benzínových automobilů je zřejmé, že by stát o tyto peníze přišel. Ačkoliv je i při dobíjení elektromobilů cena elektřiny zvýšena o daň z elektřiny a DPH, v následujícím odstavci bude ukázáno, že rozdíl mezi výší celkové odvedené daně z benzínu a z elektřiny je značný.

Dle zákona č. 261/2007 Sb. je daň z odběru elektřiny definována jako 28,3 Kč/MWh, tj. 7 861,1 Kč/TJ [77]. K tomuto číslu je ovšem ještě nutné opět připočítat 21 % DPH, celková

odváděná daň z odběru elektřiny tedy činí 9 511,9 Kč/TJ. Při provozu uvažovaného počtu elektromobilů by se tedy do státní kasy odvedly finance odpovídající rovnici (4.30).

$$D_{el} = E_{em} \cdot d_{el} = 26\,514 \cdot 9\,511,9 \cong 252\,199\,000 \text{ Kč}, \quad (4.30)$$

kde E_{em} je energie, kterou ročně spotřebují elektromobily dle rovnice (3.23) [TJ],
 d_{el} udává celkovou daň z elektřiny (vč. DPH) [Kč/TJ].

Rozdíl mezi daní odvedenou při tankování benzínu a při odběru elektřiny je tedy významný.

$$B = D - D_{el} = 34\,701\,399\,000 - 252\,199\,000 = 34\,449\,200\,000 \text{ Kč}, \quad (4.31)$$

kde D je celková daň odvedená při tankování benzínu dle rovnice (4.29) [Kč],
 D_{el} udává celkovou daň odvedenou z odběru elektřiny dle rovnice (4.30) [Kč].

Tato částka představuje téměř 3 % příjmů státního rozpočtu za r. 2017, které činili zhruba 1 273 miliard Kč [78]. V případě rozvoje elektromobility do předpokládané míry by tedy stát přišel o velké množství finančních prostředků, přičemž by tato skutečnost pravděpodobně vyústila ve zdražení elektřiny při dobíjení elektromobilů za účelem stabilizace státního rozpočtu.

4.3.2 Ostatní ekonomické důsledky

Další ekonomické dopady způsobené uvažovanou situací by nastaly zejména v automobilovém průmyslu, který je u nás velmi rozvinutý. Jelikož elektromobil na rozdíl od „klasických“ automobilů neobsahuje zejména koncepčně složitý spalovací motor, lze jej považovat za konstrukčně jednodušší dopravní prostředek, který je také méně náročný na výrobu. S poklesem výroby součástí používaných v benzínových vozidlech souvisí také pokles pracovních míst v automobilových firmách. Podobná situace by nastala také např. v ropném průmyslu, jelikož je benzín vyráběn rafinací ropy a i v tomto sektoru by tedy elektromobilita způsobila zvýšení nezaměstnanosti. Naopak větší poptávka po pracovní síle by vznikla v oblasti energetiky, protože by si zde hypotetický stav elektromobility vyžádal modernizaci elektrizační soustavy a také dobíjecí infrastruktury. Tomuto tématu se blíže věnuje kapitola 4.4.

4.4 Důsledky v oblasti dobíjecí infrastruktury

Jak již bylo zmíněno, s využitím elektromobility v předpokládaném rozsahu souvisí také rozvoj dobíjecích stanic, které jsou pro plynulý provoz elektromobilů nezbytné. V následujících kapitolách je poukázáno na důsledky, které by nastaly na dálničních čerpacích stanicích, kam by řidiči přijížděli po delších cestách s téměř vybitou baterií s cílem dobít své vozidlo co nejrychleji. Ve druhé části této kapitoly je analyzována obdobná situace na obytných sídlištích s panelovými domy, kde není možnost nabíjení z domácí zásuvky a i zde by tedy v uvažovaném případě musel být dostavěn určitý počet dobíjecích stanic.

4.4.1 Situace na čerpacích stanicích

Současné čerpací stanice mají tu výhodu, že na nich lze natankovat rychle, což u dobíjecích stanic neplatí. Je tedy zřejmé, že pro obsluhu stejného počtu automobilů za stejný čas by se muselo na čerpacích stanicích nacházet mnohem více dobíjecích stanic než klasických tankovacích míst. Pro znázornění je do následujícího výpočtu uvažována čerpací stanice, která disponuje celkem osmi stojany, na kterých je možné vozidlo natankovat. Jak vyplývá z kapitoly 3.2.1, benzínové automobily tvoří téměř 63 % vozového parku ČR v oblasti osobních automobilů. Předpokládejme tedy, že i počet automobilů tankujících na této stanici bude odpovídat tomuto poměru, a tedy že 5 z 8 míst bude v jeden okamžik obsazeno automobily s benzínovým motorem. Z autorovy vlastní zkušenosti vyplývá, že tankování plné nádrže osobního automobilu zabere bez placení zhruba 3 minuty. Během této doby tedy na uvažované čerpací stanici natankuje nanejvýš 5 zákazníků s benzínovým automobilem. Stejný počet řidičů za stejný čas musí dobít své vozidlo i v případě elektromobilů. Jelikož je na dobíjecích stanicích na dálnicích požadováno rychlé nabití, je do výpočtu uvažován nabíjecí výkon 50 kW, při kterém lze nabití průměrného vozidla do 80 % kapacity baterie kalkulovat za přibližně půl hodiny, jak je uvedeno v kapitole 2.2. K obsluhu uvažovaného počtu elektromobilů je zapotřebí takový počet stanic, který je uveden v rovnici (4.32).

$$n_{stanic} = \frac{t_{nabíjení}}{t_{tankování}} \cdot n_{pump} = \frac{30}{3} \cdot 5 = 50, \quad (4.32)$$

kde $t_{nabíjení}$ udává uvažovaný čas potřebný k nabití elektromobilu z 0 % na 80 % [min],
 $t_{tankování}$ udává předpokládaný čas natankování plné nádrže automobilu [min],
 n_{pump} udává předpokládaný počet stojanů, u kterých v jeden okamžik tankují benzínové automobily [-].

Pro obsluhu vozidel by tedy bylo nutné na uvažované čerpací stanici vybudovat 50 rychlodobíjecích stanic, ovšem i tak by řidič elektromobilu na této stanici strávil přibližně desetkrát více času, než kdyby zde tankoval klasický automobil se spalovacím motorem.

Výstavba dobíjecích stanic s sebou nese také problém v podobě vysokého elektrického namáhání na přívodní vodič celé čerpací stanice. Pokud jsou všechny dobíjecí stanice obsazeny a z každé je tedy odebírán výkon 50 kW, lze celkový odebíraný elektrický výkon jednoduše určit z rovnice (4.33).

$$P_{st_celk} = P_{st} \cdot n_{stanic} = 50 \cdot 50 = 2500 \text{ kW}, \quad (4.33)$$

kde P_{st} udává výkon jedné dobíjecí stanice [kW],

n_{stanic} udává počet dobíjecích stanic [-].

K zajištění tohoto výkonu by ovšem bylo nutné využít vysokonapěťový rozvod, což by tedy znamenalo výstavbu těchto rozvodů ke každé čerpací stanici.

4.4.2 Dobíjecí stanice na sídlištích

Podobným způsobem lze řešit situaci při dobíjení elektromobilů na sídlištích, ovšem s tím rozdílem, že zde odpadá požadavek na rychlé dobíjení, jelikož lze vozidlo dobít přes noc a nabíjecí výkon může být tudíž podstatně menší. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.2, uvádí se, že více než 90 % nabíjení probíhá prostřednictvím domácích zásuvek. Problém ovšem nastává právě na sídlištích s panelovými domy, kde tento způsob nabíjení není realizovatelný. Možným řešením je tedy výstavba určitého počtu dobíjecích stanic před každým panelovým domem. Jako příklad lze uvést pražské sídliště Barrandov s bytovou kapacitou pro 29 700 obyvatel [79] a uvažovat situaci, při které budou všichni řidiči např. v noci nabíjet elektromobil. Počet vozidel parkujících na tomto sídlišti lze odhadnout z faktu, že je v ČR zaregistrováno 3 337 837 benzínových automobilů a žije zde přibližně 10 500 000 obyvatel [61]. Na zdejších 29 700 obyvatel tedy připadá zhruba 9 441 benzínových vozidel, které budou v uvažované situaci nahrazeny elektromobily. Do výpočtu jsou předpokládány dobíjecí stanice s výkonem 3 kW, průměrné vozidlo se tedy dle kapitoly 2.2 plně nabije za přibližně 8 hodin, což odpovídá nočnímu nabíjení. Celkový výkon, který je nutno pro nabíjení všech zdejších vozidel přivést na sídliště je tedy

$$P_{sidliste_elektro} = P_{sidl_st} \cdot n_{vozidel} = 3 \cdot 9\,441 = 28\,323 \text{ kW}, \quad (4.34)$$

kde P_{sidl_st} udává předpokládaný výkon odebíraný z jedné dobíjecí stanice [kW],
 $n_{vozidel}$ udává předpokládaný počet vozidel a tedy i dobíjecích stanic [-].

Obdobně jako u čerpacích stanic nelze takovýto výkon zajistit z běžné nízkonapěťové sítě. Dle [79] se na uvažovaném sídlišti nachází 8489 bytů. Pokud uvážíme, že je každý byt k elektrické síti připojen jednofázově s velikostí jističe 25 A při efektivní hodnotě fázového napětí 230 V, může být v jeden okamžik příkon sídliště (bez nabíjení elektromobilů) až

$$P_{sidliste_byt} = U \cdot I_{jistic} \cdot n_{byt} = 230 \cdot 25 \cdot 8489 \cong 48\,812 \text{ kW}, \quad (4.35)$$

kde U udává efektivní hodnotu fázového napětí v zásuvce [V],
 I_{jistic} udává maximální proud protékající jističem [A],
 n_{byt} udává počet bytů na pražském sídlišti Barrandov [79] [-].

Z rovnic (4.34) a (4.35) je tedy patrné, že v případě nabíjení všech zdejších elektromobilů v jeden okamžik by byl příkon uvažovaného sídliště navýšen o více než 58 % vzhledem k maximálnímu možnému zatížení bez tohoto nabíjení.

5 Závěr

Tato práce se zabývala analýzou důsledků, které by v České republice nastaly, pokud by všechny zdejší benzínové automobily začaly jezdit na pohon čistě elektrický. Nejdříve bylo na základě statistických údajů o provozu benzínových automobilů v ČR pomocí přibližných výpočtů zjištěno, že tato vozidla ročně spotřebují téměř 1 390 000 tun benzínu a tedy zhruba 59 339 TJ energie. Na samotném pohybu těchto automobilů se ovšem podílí pouze část z této hodnoty, jelikož benzínové motory disponují relativně nízkou účinností a velké množství energie tak zůstává nevyužito. Dále bylo předpokládáno, že by tato část energie, tj. energie potřebná k samotnému pohonu benzínových automobilů, byla platná i pro elektromobily. Jelikož ale i u těchto vozidel dochází k disipaci a spotřebu elektromobilů navíc výrazně ovlivňuje výkon topení a klimatizace, po započítání těchto vlivů vychází, že by roční spotřeba energie elektromobilů dosáhla přibližně 26 514 TJ.

Při vyhodnocování energetických důsledků byla do analýzy zahrnuta vlastní spotřeba elektřiny v elektrárnách a ztráty v přenosové a distribuční soustavě. Z těchto důvodů by bylo pro provoz elektromobilů nutné ročně vyrobit zhruba 30 010 TJ elektřiny, což odpovídá přibližně ze dvou třetin roční produkci jaderné elektrárny Temelín, či ze 119 % produkci jedné z největších české uhelné elektrárny - Počerady. Při zachování současných poměrů v distribuci elektřiny by tak při stejném využití současných výrobních kapacit musel být v tomto ohledu dostavěn zhruba jeden a čtvrt bloku největší české jaderné elektrárny. Pro zajištění ročního provozu elektromobilů by ale také bylo postačující omezení salda zahraničního obchodu s elektřinou ze zhruba 76 %. Dále byl v práci ověřován extrém spotřeby při nabíjení v zimním období. V tomto případě bylo zjištěno, že by výroba musela při odběru dosáhnout výkonu 3,43 GW, kdy tato hodnota odpovídá maximálnímu výkonu elektrárny Temelín ze 159 % a výkonu elektrárny Počerady z 343 %. Pokud by tedy k výrobě elektřiny pro elektromobily byly určeny samostatné elektrárny, musel by jejich výkon odpovídat více než třem blokům jaderné elektrárny Temelín a téměř třem a půl elektrárnám Počerady.

V práci byl také řešen potenciál využití obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny pro elektromobily. K zajištění požadovaného množství energie by bylo zapotřebí zhruba přes 2 360 větrných turbín s výkonem 2 MW či 29 890 000 solárních panelů s výkonem 270 Wp. V případě větrných elektráren by navíc celá farma zabrala plochu odpovídající přibližně 2,5 % z celkového zeměpisného území ČR.

Dále se práce zabývala environmentálními dopady uvažované elektrifikace. Bylo zjištěno,

že by se touto elektrifikací v porovnání s benzínovými automobily ušetřilo zhruba pouze 2,5 % produkce CO₂, jelikož je velké množství tohoto plynu v současné době produkováno elektrárnami. Ve velkých městech a v jejich okolí by ovšem došlo k významnému snížení koncentrace jiných, zdraví nebezpečných látek, jako např. pevných částic či oxidů dusíku.

Z ekonomického hlediska by předpokládaný stav elektromobility způsobil destabilizaci státního rozpočtu, jelikož je více než polovina ceny benzínu zdaněna a toto palivo by bylo samozřejmě po uvažované elektrifikaci staženo z prodeje. Ačkoliv je i cena elektřiny při dobíjení elektromobilů zvýšena o daň z elektřiny a DPH, celkově by stát ročně přišel o téměř 34,5 miliard Kč, což jsou přibližně 3 % příjmů do státního rozpočtu za r. 2017.

Na závěr byly analyzovány dopady na požadavky v oblasti dobíjecí infrastruktury. Zde byla pro výpočet uvažována běžná dálniční čerpací stanice, na které by v případě elektrifikace musely být dostavěny desítky dobíjecích stanic, aby bylo za jednotku času umožněno nabití stejného množství elektromobilů jako automobilů s benzínovým motorem v případě tankování. Toto řešení je ovšem spojeno s vysokým elektrickým namáháním na přívodní vodič celé čerpací stanice. Ještě větší problém s elektrickými výkony by v tomto ohledu nastal na sídlištích s panelovými domy, kde je pravděpodobné, že by nabíjení probíhalo prostřednictvím dobíjecích stanic, jelikož zde není možnost použití domácích zásuvek. Konkrétní příklad byl ukázán na pražském sídlišti Barrandov, kde by příkon sídliště při dobíjení elektromobilů vzrostl až o 58 % vzhledem k maximálnímu možnému příkonu bez dobíjení.

Má-li tedy u nás v budoucnu skutečně dojít ke většímu rozmachu elektromobilů, vyžádá si tato situace spoustu práce, finančních prostředků a modernizací v různých odvětvích.

Zajímavou náplní další práce by mohlo být najít nějaký podnik, u kterého by při elektrifikaci mělo smysl investovat do výstavby vlastních podnikových dobíjecích stanic - např. městská pobočka České pošty. U takovýchto podniků je totiž pravděpodobné, že celonoční nabíjení vozidel zajistí provoz pro celý následující den. Bylo by tedy účelné na tomto reálném příkladu ukázat, jak nákladná by investice byla či jaký by tomto případě musel být průřez přívodního vodiče k dobíjecím stanicím, jelikož nabíjecí výkony flotily vozidel bývají vysoké, jak bylo i v této práci ukázáno. Dalším námětem pro práci může být pokusit se analyzovat stejnou situaci, tj. hypotetickou elektrifikaci pohonu, ovšem tentokrát u vozidel s naftovými motory.

6 Seznam literatury

- [1] KUKLIŠ, Libor. Zpětné vazby mezi teplotou a CO₂ zesilují globální oteplování - Gnosis9.net. *Gnosis9.net* [online]. 2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2006050020>
- [2] Nedostatek ropy? Průzkumníci objevili nejméně zásob od roku 1947 | Týden.cz. *Týden.cz - Aktuální zpravodajství v souvislostech* [online]. ©2006-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/byznys/svet/nedostatek-ropy-pruzkumnici-objevili-nejmene-zasob-od-roku-1947_396059.html
- [3] A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards. In: *International Council on Clean Transportation* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Euro6-VI_briefing_jun2016.pdf
- [4] History of Electric Cars Electric Vehicles News. *Electric Vehicles News Green Vehicle* [online]. ©1998-2018 [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearly.htm>
- [5] ROČENKA DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY 2016. In: *Dopravní statistika* [online]. Ministerstvo dopravy, b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: http://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2016.pdf
- [6] Národní akční plán čisté mobility. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. ©2005-2018 [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>
- [7] DUSIL, Tomáš. Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší? - Auto.cz. *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [8] Audi A8 - Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV) with active suspension - Audi Technology Portal. *Audi Technology Portal* [online]. 2016 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.audi-technology-portal.de/en/mobility-for-the-future/hybrid-vehicles/audi-a8-mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-with-active-suspension>
- [9] 2017 AUDI A8 L 3.0 TFSI. In: *All Car Brands in the World | Specifications, News, Prices* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://auto.tintoantap.com/2018->

audi-a8-1-3-0-tfsi/

- [10] Full Hybrid | autolexicon.net. *Www.autolexicon.net* | ... s námi uvidíte pod kapotu [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/full-hybrid/>
- [11] MIČKA, Jan. Test Toyota Yaris Hybrid – Reálně pod 4 litry | auto.cz. *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-toyota-yaris-hybrid-realne-pod-4-litry-82600>
- [12] NEW Toyota Yaris Hybrid lease or rent to buy - WeFlex. In: *PCO car hire + lease for Uber partners | WeFlex* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.weflex.co.uk/product/vans-flexilease/new-toyota-yaris-hybrid/>
- [13] Elektromobilita – osvětový materiál. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, ©2008-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSZ-P-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSZ-P-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf)
- [14] HOŘČÍK, Jan. BMW i8: cena, dojezd, specifikace | Hybrid.cz. *Hybrid.cz / Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-cena-dojezd-specifikace>
- [15] 2017 BMW i8 Incentives, Specials & Offers in Peoria IL. In: *BMW of Peoria | New & Used BMW Dealer serving Pekin IL & Bellevue IL* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.bmwofpeoria.com/global-incentives-search/2017-BMW-i8-Coupe-Offers-US2017BMW4856a5aa83e2fd3c5aed722.htm>
- [16] VLK, František. ALTERNATIVNÍ POHONY MOTOROVÝCH VOZIDEL. In: *Časopis SOUDNÍ INŽENÝRSTVÍ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>
- [17] Sériový hybridní sedan Fisker Karma. *Autoweb.cz - Magazín o autech* [online]. b.r. [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/seriovy-hybridni-sedan-fisker-karma/>
- [18] 5 nejprodávanějších elektroaut na světě | Hybrid.cz. *Hybrid.cz / Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, ©2006-2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/5-nejprodavanejsich->

elektroaut-na-svete

- [19] 2017 BMW i3 Information. In: *Autoblog: New Cars, Used Cars for Sale, Car Reviews and News* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/buy/2017-BMW-i3/photos/?guccounter=1>
- [20] KUŽELKA, Miroslav. Nabíjecí infrastruktura pro elektromobily. In: *Odborné časopisy* [online]. FCC Public s.r.o., 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2012/perspektivy_emobilit_y/05-Kuzelka_ABB_Infrastruktura.pdf
- [21] Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu. *EcoFuture | ecoFuture* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/pruvodce-moznostmi-nabijeni-elektromobilu>
- [22] *Asociace elektromobilového průmyslu* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.asep.cz/>
- [23] MAZURA, Tomáš. *Energetická náročnost provozu elektromobilu*. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [24] NABIJENI ELEKTROMOBILU – Moje mapy Google. *Google* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/viewer?dg=featur&hl=cs&msa=0&z=8&ie=UTF8&om=1&mid=1KYfZCqxw3Yei4TUz7gKFKowAlsc&ll=50.33973615747215%2C16.738298718750002>
- [25] Perspektivy elektromobility: příloha časopisů elektro a Automa. In: *Odborné časopisy* [online]. FCC Public s. r. o., 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2012/13/Elektro_13_2012_output/web/Elektro_13_2012_opf_files/pdfs/Elektro_13_2012_.pdf
- [26] Smart grids: Chytré technologie budoucnosti | EkoBonus.cz. *EkoBonus.cz - E.ON mi pomáhá šetřit peníze i přírodu* [online]. 2015 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.ekobonus.cz/smart-grids-chytre-technologie-budoucnosti>
- [27] SIKYTA, Adam. Využití elektromobility v podmínkách ČR. In: *Biom :: biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování, ...* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/vyuziti_elektromobility_v_podminkach_cr.pdf
- [28] U elektromobilu stačí měnit pneumatiky a kapalinu do ostříkovačů, říká expert. *Obnovitelně* [online]. 2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz>

/cz/clanek/306/u-elektromobilu-staci-menit-pneumatiky-a-kapalinu-do-ostrikovacurika-expert/

- [29] Ujedou miliony kilometrů. Nejvíc toho „nalítají“ doktoři. *Deník Metro* [online]. 2017, 2 [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: <http://www.floowie.com/cs/cti/metro-cechy-9-11-2017/#/strana/2/zvacseni/100/>
- [30] ŽÁK, Dalibor. Češi vůbec nejezdí autem - skoro nejméně z EU - Autoweb.cz. *Autoweb.cz - Magazín o autech* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/cesi-vubec-nejzdi-autem-skoro-nejmene-z-eu/>
- [31] Češi ročně ujedou deset až dvacet tisíc kilometrů - Auto.cz. *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/cesi-rocne-ujedou-deset-az-dvacet-tisic-kilometru-77823>
- [32] Ministerstvo dopravy ČR - Centrální registr vozidel. *Ministerstvo dopravy ČR* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: [https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-\(k-1-7-2016\)-\(2\)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel](https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-(k-1-7-2016)-(2)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel)
- [33] *Svaz dovozců automobilů* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/>
- [34] BUREŠ, David. TOP 30 nejrošířenějších aut na českých silnicích. *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/top30-nejrosirenejsich-aut-na-ceskych-silnicich-60967>
- [35] LÁNÍK, Ondřej. *Analýza trhu nových osobních automobilů v České republice*. Praha, 2005. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.
- [36] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. b.r. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
- [37] *Spritverbrauch berechnen und Autokosten verwalten - Spritmonitor.de* [online]. Fisch und Fischl, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.spritmonitor.de/>
- [38] Natural 95 Super BA 95. *Převrta PHM, doprava PHM, doprava ADBLUE* [online]. 2010 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <http://www.g7.cz/ba-95-natural>
- [39] Čas elektromobilů ještě nepřišel – AutoRevue.cz. *AutoRevue.cz – Auta, testy, novinky, fotografie* [online]. 2018 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/>

cas-elektromobilu-jeste-neprisel_1

- [40] 1 JADERNÁ TABLETA = 880 KG UHLÍ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/tableta_6.html
- [41] Vysokooktanová paliva | *Motorkáři.cz*. *Motorkáři.cz - internet v jedné stopě | Motorkáři.cz* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/vysokooktanova-paliva-14694.html>
- [42] MORĀUS, Josef. Hybridní pohony: 1. část. In: *Studium - podklady pro studium na Fakultě strojní* [online]. b.r. [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <http://studium.fs.cvut.cz>
- [43] Energy Audit: cost-effective solutions for the industry in the era of energy crisis (Part-1). In: *ChE Thoughts | Chemical Engineering; Science Magazine* [online]. 2018 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <https://chethoughts.com/energy-audit-cost-effective-solutions-for-the-industry-in-the-era-of-energy-crisis/>
- [44] SRB, Luděk. Jaká je reálná spotřeba elektromobilu?. *ElektrickéVozy.cz* [online]. ©2011-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/jaka-je-realna-spotreba-elektromobilu>
- [45] Územní teploty 2017. *ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [46] Electric Drive Vehicle Climate Control Load Reduction. In: *Department of Energy* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/vss090_rugh_2012_p.pdf
- [47] Vyhláška č. 194/2007 Sb. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-194-2007-sb-kterou-se-stanovi-pravidla-pro-vytapeni-a-dodavku-teple-vody>
- [48] Stromverbrauch: Nissan - Leaf - Leaf - Spritmonitor.de: Fahrzeug 774923. *Spritverbrauch berechnen und Autokosten verwalten - Spritmonitor.de* [online]. Fisch und Fischl, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.spritmonitor.de/de/detailansicht/774923.html>
- [49] PROČ ELEKTROMOBIL? | Asociace pro elektromobilitu České republiky. *Asociace pro elektromobilitu České republiky* [online]. 2015 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z:

<http://www.elektromobily-os.cz/proc-elektromobil>

- [50] Environmental Impact of Electric Vehicles | EnergySage. *EnergySage* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/advantages-of-evs/evs-environmental-impact/>
- [51] Roční zpráva o provozu ES ČR 2016. In: *Energetický regulační úřad* [online]. ©2014-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5
- [52] Electric power transmission and distribution losses (% of output) | Data. *World Bank Open Data / Data* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2014&locations=CZ&start=2014>
- [53] Energetický mix ČR pro výrobu elektrické energie (r. 2016). In: *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapeni/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- [54] Temelín | Jaderná energetika | Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete.html>
- [55] Počerady | Uhelné elektrárny | Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/pocerady.html>
- [56] ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ES ČR 2010. In: *Energetický regulační úřad* [online]. ©2014-2018 [cit. 2018-06-02]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2010.pdf/e33fe1d5-b15c-4a0e-bcc8-08cfa3252ae
- [57] Historie a současnost | Jaderná energetika | Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>
- [58] Historie a současnost | Jaderná energetika | Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2018 [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/historie-a-soucasnost.html>

- [59] VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA LIPNÁ. In: *Eldaco* [online]. 2015 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.eldaco.cz/files/images/file/lipna.pdf>
- [60] Větrné elektrárny včera, dnes a zítra. *OSEL.CZ* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/9535-vetrne-elektrarny-vcera-dnes-a-zitra.html>
- [61] *Statistická ročenka České republiky 2017*. Praha: Český spisovatel, 2017. ISBN 978-80-250-2778-3. ISSN 1211-4812.
- [62] Mapa-kraje. In: *ENVIREGION :: HLAVNÍ WEB* [online]. b.r. [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: http://enviregion.pf.ujep.cz/inter_uc/2st/data/images/voda_pic/mapa-kraje.jpg
- [63] Solární panel GWL/Sunny Poly 270Wp 60 cells (MPPT 32V) EUFREE. *Www.i4wifi.cz | Vidíme svět bez drátů* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/Solarni-panely-1/Solarni-panely/Solarni-panel-GWL-Sunny-Poly-270Wp-60-cells-MPPT-32V-EUFREE.html>
- [64] Solar Photovoltaics | Impact of shading. In: *Green Rhino Energy* [online]. 2016 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/performance/shading.php>
- [65] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů - TZB-info. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [66] Interrow Spacing | Home Power Magazine. *Renewable Energy & Efficiency Technologies | Home Power Magazine* [online]. ©1987-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/interrow-spacing>
- [67] Deset největších solárních elektráren světa. *OEnergetice.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/deset-nejvetsich-solarnich-elektraren-sveta/>
- [68] Emise z aut zabijí desetkrát více lidí než dopravní nehody. *Novinky.cz - nejčtenější zprávy na českém internetu* [online]. Borgis, a.s., © 2003–2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/443685-emise-z-aut-zabiji-desetkrat-vice-lidi-nez-dopravni-nehody.html>
- [69] EMISE Z VÝFUKOVÝCH PLYNŮ MOTOROVÝCH VOZIDEL. In: *Vysoká škola*

- chemicko-technologická v Praze* [online]. b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected>
- [70] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. Emise CO₂ a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. ©2001-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- [71] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [72] Kolik pevných částic emitují moderní benziny? Podívejte se na výsledky měření | Autoforum.cz. *Autoforum.cz* [online]. MotorCom, ©1996-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/kolik-pevnych-castic-emituji-moderni-benziny-podivejte-se-na-vysledky-mereni/>
- [73] 353/2003 Sb. Zákon o spotřebních daních. *Zákony pro lidi - Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. ©2010-2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-353>
- [74] Daně tvoří více než polovinu ceny benzínu. *Finance.cz - daně, banky, kalkulačky, spoření, kurzy měn* [online]. Mladá fronta, 2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/124190-dane-tvori-vice-nez-polovinu-ceny-benzinu/>
- [75] Daně tvoří více než polovinu ceny benzínu | Finance.cz. *Finance.cz - daně, banky, kalkulačky, spoření, kurzy měn* [online]. Mladá fronta, 2017 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/124190-dane-tvori-vice-nez-polovinu-ceny-benzinu/>
- [76] Průměrné ceny pohonných hmot v ČR. *Český statistický úřad | ČSÚ* [online]. 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xm/prumerne-ceny-pohonnych-hmot-v-crx>
- [77] Daň z elektřiny. *Srovnání cen elektřiny a plynu 2018 | Ceny energie* [online]. NetBrokers, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/dan-z-elektřiny/#/promo-ele>
- [78] Přehled státního rozpočtu | Monitor. *Monitor - informační portál Ministerstva financí*

- [online]. MINISTERSTVO FINANCÍ ČR, b.r. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://monitor.statnipokladna.cz/2017/statni-rozpocet/>
- [79] Sídliště Barrandov | www.atlasceska.cz. *Česká republika - Turistický průvodce - Česká republika* | www.atlasceska.cz [online]. Altermedia, 2018 [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <http://www.atlasceska.cz/praha/sidliste-barrandov/>
- [80] *Sauto.cz - prodej aut, inzerce automobilů* [online]. Seznam.cz, ©1996-2018 [cit. 2018-06-03]. Dostupné z: <https://www.sauto.cz/>

Seznam obrázků

OBR. 1 - REGISTROVANÉ OSOBNÍ ELEKTRICKÉ AUTOMOBILY V ČR (CELKEM) [5]	10
OBR. 2 - AUDI A8 3.0 TFSI [9].....	11
OBR. 3 - TOYOTA YARIS HYBRID [12]	11
OBR. 4 - BMW i8 [14].....	11
OBR. 5 - SÉRIOVÝ HYBRID - USPOŘÁDÁNÍ [15]	12
OBR. 6 - PARALELNÍ HYBRID - USPOŘÁDÁNÍ [15]	12
OBR. 7 - SMÍŠENÝ HYBRID - USPOŘÁDÁNÍ [15]	13
OBR. 8 - BMW i3 [17].....	13
OBR. 9 - COMBO II [6]	15
OBR. 10 - CHADEMO [6].....	15
OBR. 11 - MENNEKES TYPE 2 [6].....	15
OBR. 12 - YAZAKI [6]	15
OBR. 13 - MAPA DOBÍJECÍCH STANIC [22]	15
OBR. 14 - WELL TO WHEEL ANALÝZA BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU [41].....	28
OBR. 15 - ÚČINNOST A ZTRÁTY V BENZÍNOVÉM AUTOMOBILU (PŘELOŽENO) [42].....	29
OBR. 16 - PŘEDPOKLÁDANÝ VLIV TOPENÍ NA SPOTŘEBU ELEKTROMOBILU	30
OBR. 17 - PŘEDPOKLÁDANÝ VLIV KLIMATIZACE NA SPOTŘEBU ELEKTROMOBILU	31
OBR. 18 - ENERGETICKÝ MIX ČR ZA ROK 2016 [52].....	35
OBR. 19 - SCHÉMA VĚTRNÉ FARMY	39
OBR. 20 - ZASTAVĚNÁ OBLAST VĚTRNÝMI ELEKTRÁRNAMI (UPRAVENO) [61]	40
OBR. 21 - ROZMÍSTĚNÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ (UPRAVENO) [63]	41
OBR. 22 - SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA - POHLED SHORA	42
OBR. 23 - ZASTAVĚNÁ OBLAST FOTOVOLTAICKÝMI ELEKTRÁRNAMI (UPRAVENO) [61]	43

Seznam tabulek

TABULKA 1 - REGISTROVANÉ OSOBNÍ AUTOMOBILY V ČR [5]	20
TABULKA 2 - NEJČASTĚJI REGISTROVANÉ OSOBNÍ AUTOMOBILY V LETECH 2005 - 2016 [34]	21
TABULKA 3 - NEJPRODÁVANĚJŠÍ AUTOMOBILY V ČR V LETECH 1999 - 2004 [33].....	21
TABULKA 4 - PŘEDPOKLÁDANÉ POČTY NEJČASTĚJI PROVOZOVANÝCH AUTOMOBILŮ V ČR ..	22
TABULKA 5 - VOZIDLA S OBJEMEM MOTORU DO 1400 CM ³ A JEJICH SPOTŘEBY DLE [36].....	23
TABULKA 6 - VOZIDLA S OBJEMEM MOTORU 1400 - 2000 CM ³ A JEJICH SPOTŘEBY [36].....	23
TABULKA 7 - VOZIDLA S OBJEMEM MOTORU NAD 2000 CM ³ A JEJICH SPOTŘEBY [36]	24
TABULKA 8 - PRŮMĚRNÉ SPOTŘEBY PALIVA RŮZNÝCH KATEGORIÍ VOZIDEL	24
TABULKA 9 - SPOTŘEBA VOZIDLA NISSAN LEAF V ZÁVISLOSTI NA VENKOVNÍ TEPLOTĚ [43]	30
TABULKA 10 - PRŮMĚRNÉ DENNÍ TEPLoty V ČR ZA ROK 2017 [44]	30
TABULKA 11 - NÁRŮST SPOTŘEBY ELEKTROMOBILŮ BĚHEM KALENDÁRNÍHO ROKU	32
TABULKA 12 - PARAMETRY VÝPOČTOVÉHO SOLÁRNÍHO PANELU [62]	41

Příloha 1

Průzkum nájezdů vozidel z autobazaru [80]

Vozidlo	Datum provedení průzkumu	Vozidlo v provozu od	Celkový nájezd vozidla [km]	Roční nájezd vozidla [km]
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 4. 2008	109 815	10 789
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 8. 2007	144 995	13 368
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 9. 2009	135 843	15 509
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 4. 2009	76 500	8 335
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 3. 2010	87 338	10 570
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 11. 2009	69 900	8 136
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 10. 2009	115 300	13 288
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 9. 2009	138 736	15 839
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 4. 2011	107 745	15 010
HYUNDAI I30	3. 6. 2018	1. 10. 2010	116 589	15 187
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 7. 2006	73 400	6 152
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 11. 2005	177 143	14 065
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 4. 2007	230 437	20 610
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 1. 2006	125 000	10 058
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 12. 2005	189 000	15 105
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 4. 2010	167 502	20 482
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 5. 2011	230 087	32 425
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 10. 2010	124 110	16 167
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 2. 2012	116 454	18 369
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 7. 2010	131 082	16 532
ŠKODA FAB IA	3. 6. 2018	1. 5. 2011	112 000	15 784
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 7. 2000	160 759	8 964
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 2. 2002	138 000	8 443
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 9. 2004	180 150	13 091
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 2. 2001	149 000	8 590
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 11. 2001	149 102	8 984
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 9. 2003	201 958	13 679
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 1. 2004	117 119	8 116
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 2. 2003	147 195	9 592
ŠKODA FABIA	3. 6. 2018	1. 10. 2006	245 205	20 995
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 3. 2000	269 000	14 999
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 2. 1997	174 000	8 280
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 11. 1997	129 242	6 377
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 9. 1997	165 499	8 100
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 4. 1996	140 000	6 407
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 3. 1996	173 100	7 891

ŠKODA FELICIA	1. 2.2018	1. 6. 2000	115 000	6 504
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 9. 1998	160 900	8 280
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 3. 1997	208 963	9 981
ŠKODA FELICIA	1. 2. 2018	1. 3. 1999	295 000	15 578
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 6. 2005	128 000	9 836
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 2. 2005	194 467	14 575
ŠKODA OCTAVIA	1. 2. 2018	1. 2. 2015	48 300	16 085
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 9. 2006	295 000	25 082
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 10. 2005	164 230	12 952
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 9. 2006	295 130	25 093
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 4. 2004	146 524	10 333
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 1. 2001	245 355	14 076
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 6. 2007	168 177	15 270
ŠKODA OCTAVIA	1. 2. 2018	1. 6. 1999	167 000	8 938
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 2. 2000	163 000	8 884
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 5. 2010	101 119	12 490
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 9. 2011	107 365	15 885
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 2. 2011	70 432	9 596
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 5. 2010	83 555	10 321
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 5. 2010	106 818	13 194
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 9. 2010	200 006	25 778
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 11. 2011	159 000	24 121
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 12. 2010	143 187	19 067
ŠKODA OCTAVIA	3. 6. 2018	1. 3. 2011	131 675	18 130
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 9. 2013	217 373	45 703
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 3. 2014	145 420	34 134
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 1. 2014	149 154	33 731
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 1. 2014	71 626	16 198
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 8. 2014	96 420	25 102
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 10. 2012	106 445	18 760
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 11. 2013	87 070	18 973
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 12. 2012	91 000	16 525
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 9. 2013	55 700	11 711
ŠKODA RAPID	3. 6. 2018	1. 9. 2013	130 533	27 445
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 4. 2006	108 430	8 902
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 1. 2007	88 605	7 754
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 1. 2009	154 330	16 375
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 9. 2008	83 036	8 509
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 7. 2010	117 404	14 807
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 3. 2009	120 022	12 957
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 11. 2010	107 935	14 217
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 6. 2010	124 859	15 586
ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1. 5. 2010	113 776	14 054

ŠKODA SUPERB	3. 6. 2018	1.1. 2016	31 255	12 905
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1.3. 2000	276 895	15 157
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 3. 2000	160 000	8 758
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 6. 1999	189 000	9 937
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 6. 2000	181 527	10 076
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 6. 1999	259 422	13 640
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 10. 2010	174 154	22 686
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 7. 2006	170 000	14 248
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 1. 2010	181 000	21 485
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 10. 2010	180 000	23 448
VOLKSWAGEN GOLF	3. 6. 2018	1. 4. 2010	218 376	26 703
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 9. 2003	164 742	11 158
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 4. 2004	247 230	17 434
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 5. 2002	168 200	10 446
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 12. 2002	148 000	9 539
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 5. 2003	241 920	16 020
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 3. 2010	137 272	16 613
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 3. 2010	142 477	17 243
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 7. 2010	116 319	14 671
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 9. 2010	138 301	17 825
VOLKSWAGEN PASSAT	3. 6. 2018	1. 5. 2010	124 578	15 388
			Průměr	15 012