

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2020

**JAKUB
ŠPAČEK**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím literatury uvedené v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 17.7.2020

.....

Jakub Špaček

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Tomáši Dlouhému, CSc., za jeho věcné připomínky, rady a trpělivost. Dále bych rád poděkoval mé rodině a přátelům za materiální a, v této době pandemie obzvlášť důležitou, psychickou podporu.

Anotační list

| | |
|------------------------------|--|
| Jméno autora: | Jakub Špaček |
| Název BP: | Provozní bilance elektromobilu |
| Anglický název: | Operating balance of an electric car |
| Akademický rok: | 2019/2020 |
| Ústav/Odbor: | Ústav energetiky |
| Vedoucí BP: | doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc. |
| Bibliografické údaje: | Počet stran: 48 Počet grafů: 8 Počet tabulek: 14 Počet příloh: 3 |
| Klíčová slova: | Elektromobil, Provozní bilance, Emise, Oxid uhličitý, Modelování |
| Keywords: | Electric car, Operating balance, Emissions, CO ₂ , Modeling |
| Anotace: | Bakalářská práce se zabývá současným stavem elektromobility. V úvodu je zpracována rešerše na toto téma, kde jsou informace o infrastruktuře, současných elektromobilech a procesu jejich nabíjení. Druhá část obsahuje modely popisující ekonomickou a ekologickou stránku provozu vybraného elektromobilu. |
| Abstract: | This Bachelor's thesis focuses on current state of e-mobility. The thesis first offers a theoretical overview of the subject including current state of infrastructure, electric vehicles, and their charging process. The second part contains models describing economical and ecological aspects of electric car usage. |

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk..... | 8 |
| 1. Úvod | 9 |
| 2. Historie | 9 |
| 3. Nabíjecí infrastruktura | 10 |
| 3.1. Rozvoj a zavádění infrastruktury | 10 |
| 4. Součásti elektromobilu..... | 12 |
| 4.1. Baterie | 12 |
| 4.1.1. Budoucnost baterí..... | 13 |
| 4.2. Podpůrné bateriové systémy | 14 |
| 5. Možnosti nabíjení..... | 14 |
| 5.1. Rozdělení nabíjení dle režimů | 15 |
| 5.2. Konektory | 16 |
| 5.3. Bezdrátové nabíjení..... | 16 |
| 5.3.1. Technologické problémy | 16 |
| 6. Vybrané elektromobily..... | 17 |
| 6.1. Škoda CITIGO | 18 |
| 6.2. Opel Corsa-e | 18 |
| 6.3. Tesla Model 3 | 18 |
| 6.4. Porovnání s klasickými automobily | 19 |
| 6.4.1. Finanční kompenzace a daně | 20 |
| 7. Provozní model..... | 21 |
| 7.1. Návrh provozního modelu..... | 21 |
| 7.2. Porovnávané automobily | 22 |
| 7.2.1. CITIGO ^e iV | 22 |
| 7.2.2. Spalovací CITIGO | 23 |
| 7.3. Ekonomické srovnání | 23 |
| 7.3.1. Spotřeba | 23 |
| 7.3.2. Servis | 24 |
| 7.3.3. Ekonomické zhodnocení..... | 25 |
| 7.3.4. Citlivostní analýza..... | 27 |
| 7.4. Ekologický dopad provozu..... | 28 |
| 7.4.1. Emise z provozu..... | 28 |
| 7.4.2. Emise z výroby..... | 29 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7.4.3. | Ekologický dopad provozu – výsledky | 30 |
| 8. | Vliv elektromobility na soustavu | 31 |
| 8.1. | Potřebný nárůst produkce | 31 |
| 8.1.1. | OZE | 32 |
| 8.1.2. | Jádro | 33 |
| 8.2. | Posílení rozvodné sítě | 34 |
| 8.2.1. | Lokální síť..... | 34 |
| 8.2.2. | Vysokonapěťové sítě | 34 |
| 8.2.3. | Osobní solární panely a úložiště..... | 36 |
| 9. | Závěr..... | 37 |
| | Citovaná literatura | 39 |
| | Seznam grafů..... | 43 |
| | Seznam tabulek | 44 |
| | Seznam příloh..... | 45 |

Seznam použitých zkratk

| | |
|-------------------------|---|
| BEV – | Battery Electric Vehicle |
| BMS – | Battery Management System |
| CO₂ – | Oxid uhličitý |
| ČEZ - | České energetické závody |
| DPH – | Daň z přidané hodnoty |
| ERÚ – | Energetický regulační úřad |
| HDO – | Hromadné dálkové ovládání |
| IEC - | International Electrotechnical Commission |
| LMO – | Lithium ion Manganese Oxide |
| PRE – | Pražská energetika |
| NCA - | Nickel Cobalt Aluminum Oxide |
| NEDC – | New European Driving Cycle |
| NMC - | Nickel Manganese Cobalt Oxide |
| NSF - | New Small Family platform |
| OZE – | Obnovitelné zdroje energie |
| PVE – | Přečerpávací vodní elektrárna |
| PVGIS - | Photovoltaic Geographical Information System |
| SAE - | Society of Automotive Engineers |
| WLTP - | Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure |
| WTT – | Well-to-Tank |

1. Úvod

Elektromobilita neznamena jen transport pomocí elektrické energie, jak se může dle doslovného překladu zdát, ale jde spíše o celkový směr přemýšlení o udržitelnosti a ekologickém aspektu našeho transportního systému, který v dnešní době moc nebere ohledy na životní prostředí. Silniční přeprava například stojí za 70% emisí skleníkových plynů z dopravy a její ovlivnění má tedy největší vliv. [1] Elektromobilita ale nemusí být jen o elektromobilech a veřejné dopravě jako například metro a tramvaje. Také do ní částečně patří i energetická síť, která musí projít změnou, aby pomohla této přeměně. Cestování vozidlem spotřebovávající elektřinu namísto fosilních paliv se snižuje produkce celkových ale hlavně lokálních emisí. Některá města převážně v Jižní Americe a Číně se potýkají s tak špatnou smogovou situací, že zavedli opatření zakazující části svých obyvatel jezdit svými automobily v určitý den či časový úsek. Tento systém je většinou založen na posledním čísle poznávací značky. Emise z bateriového elektromobilu jsou spojeny pouze s produkcí elektřiny, což často znamená, že i přes nevhodný energetický mix, elektromobil vydává celkově méně emisí než automobil na fosilní paliva a ony emise se vypouštějí mimo populační centra. Pokud je ale elektřina dodána elektromobilu z obnovitelných zdrojů, znamená to, že provoz tohoto elektromobilu neprodukuje žádné emise, a toto je celkový cíl elektromobility. Další výhodou vycházející jako vedlejší účinek funkce elektromobilů spočívá v tom, že nevydávají žádný hluk. To není pozitivum jen pro řidiče, ale hlavně pro lidi bydlící v blízkém okolí silnic, kde se stává, že u dostatečně hustého provozu může docházet k překračování hlukových limitů. Výzkumy také dokázaly, že hluk má negativní vliv na člověka a toto je jeden ze způsobů, jak snížit hlukovou hladinu převážně ve městech. [2]

2. Historie

Přestože si mnoho lidí spojuje elektromobily se současností, kdy se tyto vozy začaly objevovat na silnicích přibližně před deseti lety, počátek tohoto typu transportu je mnohem starší. Elektromobily nezačaly ani v druhé polovině 20. století u utopistických prototypů automobilek představujících „vizi budoucnosti“. Již hned po objevení elektromotoru a baterie, nejdůležitějších částí elektromobilu, se začaly vyrábět první elektromobily. Souhra okolností způsobila, že ke konci 19. století nově vzniklá vozidla poháněná elektřinou byla preferována před spalovacími variantami. Dopravní infrastruktura a silnice v této době víceméně mimo města neexistovala a tím pádem krátký dojezd vozidla na elektřinu nebyl problém. Spolehlivé automobily poháněné motorem s vnitřním spalováním se začaly vyrábět až několik let po začátku 20. století (Ford model T se objevil v roce 1908), takže elektromobil byl na tuto krátkou dobu vrcholem osobní přepravy. Na přelomu století byl elektrický pohon v USA téměř stejně populární jako parní. [3] Elektromobil také dominoval v rychlostních rekordech a závodech. Tato éra ale skončila s 20. lety 20. století, kdy spalovací motory vyřešily své nedostatky a elektromobil zůstal v ústraní téměř celých sto let, kdy se celá tato historie postupně začíná opakovat. Jednotlivé komponenty procházely po tuto dobu vývojem

v jiných aplikacích, kde byly postupně zlepšovány, a nyní je elektromobil znovu plnohodnotný konkurent klasického automobilu.

3. Nabíjecí infrastruktura

Nástup elektromobilů musí doprovázet budování úplně nové infrastruktury zajišťující provoz těchto vozidel a rozvoj této infrastruktury nemusí být omezován zavedenými praktikami ze světa spalovacích motorů, ale může využít výhodných vlastností specifických pro elektromobily. Zároveň může pomáhat ve stabilizaci sítě. Elektřina je dostupná z každé zásuvky, a tedy koncept centrálního místa dobíjení, jako benzinová stanice nemusí být jediné řešení. Vzhledem k tomu, že je nejpohodlnější nabíjet elektromobil v době, kdy není používán, nabíjení přes noc se nabízí jako první možnost. Druhá nejdelší doba, kdy není automobil používán, je během pracovní doby. Do těchto dvou způsobů dobíjení spadá velká část majitelů automobilů, tedy lidí, co používají automobil víceméně jen na cestu do práce a zpět. Pokud člověk využívá svůj vůz více, veřejné dobíjecí stanice a možnost dobíjení v destinacích se postará o to, aby elektromobilu nedošla energie. A pokud se s vozem cestuje na delší vzdálenosti, rychlodobíjení je způsob, jak za relativně krátkou dobu dodat elektromobilu velké množství energie a tedy i dojezdu.

Čím více elektromobilů bude jezdit po silnicích, tím větší bude spotřeba energie. To ale nutně neznamená, že by elektromobily musely síť destabilizovat. Když se nabíjení elektromobilů dokáže řídit a rozložit na delší časový úsek, není tím vytvořena náhlá zátěž a tím pádem se síť dokáže přizpůsobit. Každý elektromobil je zároveň jedna velká baterie, která je zapojená do sítě. Například v Austrálii se již ukázala výhodnost velkého instantního zdroje energie pro stabilizaci sítě. [4] Pokud elektromobil dokáže komunikovat se sítí, dá se taková obří baterie vytvořit z mnoha elektromobilů. Tento systém se nazývá vehicle to grid (V2G) a díky této komunikaci mohou pomáhat ve vyrovňování sítě a pohlcování nekonzistentní produkce elektřiny z obnovitelných zdrojů. [5] Velké množství elektromobilů komunikujících s distribuční sítí je jeden ze základů chytré sítě (smart grid).

3.1. Rozvoj a zavádění infrastruktury

Výše popsaný systém nabíjení samozřejmě spoléhá na to, že taková možnost existuje. V případě nabíjení z domova je nabíjení pro vlastníka domu nebo garáže víceméně bezproblémové. Například pro lidi na sídlišti je to ale mnohem obtížnější. Výstavba nabíjecích stanic na veřejných parkovištích v rámci sídliště a na ulicích uprostřed města by znamenalo ohromné investice. Jedno řešení, které by mohlo tuto cenu značně zmenšit, je implementování nabíjecích stanic do lamp veřejného osvětlení. Vybudování nabíjecích stanic na veřejných parkovištích, by znamenalo nákladné stavební a zemní úpravy. Pro instalaci nabíjecích stanic na sloupech veřejného osvětlení jsou nutné práce téměř nulové. Tento systém sám ale není konečné řešení. I kdyby se aplikoval na všechny lampy, dokázala by se takto nabíjet jen čtvrtina automobilů zaparkovaných v ulicích měst a postupem času by muselo dojít k zesílení rozvodné sítě. Je to ale rychlý a levný způsob, jak přidat veřejná dobíjecí místa. Tento systém se již dokonce používá. Londýn má nabíjecí

místa na veřejném osvětlení od roku 2016. Stejný systém je i v Berlíně, kde se ho nedávno rozhodli rozšířit a Americká města jako Los Angeles a New York tyto dobíjecí stanice také zavádí. [6]

Nabíjení v práci samozřejmě závisí na zaměstnavateli. Některé firmy mohou částečně i plně dotovat instalaci. A například Anglie má státní dotace pro instalaci wallboxů pro zaměstnance. [7] Nabíjecí místa pro zákazníky obchodů, restaurací či hotelů mohou být instalována provozovatelem za účelem zlepšování nabízených služeb a přilákání zákazníků. To může být také různě dotováno. Jedno unikátní řešení má automobilka Tesla, která nabízí program, kde provozovateli byznysu, který má zájem vytvořit nabíjecí místo na svém parkovišti, zadarmo zašle wallbox, zaplatí instalaci a uloží jeho byznys do navigační databáze svých automobilů a tím pádem dokáže do podniku přilákat lukrativní hosty. Podmínkou je, že elektřinu platí provozovatel byznysu.

Veřejné nabíjecí stanice jsou většinou vybudovávány za podpory města, ale distributoři elektřiny jako je například ČEZ nebo PRE jsou často partneři nebo budují nabíjecí stanice sami. V případě České republiky je síť každé firmy sama o sobě malá, ale všechny dohromady už poskytují celkem slušné pokrytí vzhledem k současnému počtu elektromobilů v České republice. Již teď se ale projevují první problémy. Neexistuje například žádný jednotný systém platby, a pokud chce člověk vidět všechny jemu dostupné nabíjecí stanice, musí se spoléhat na stránky třetích stran jako je evmapa.cz nebo plugshare.com. Takovýto systém není uživatelsky nejpřístupnější.

Infrastruktura pro elektromobilitu je stále na svém začátku. Doporučený poměr veřejných dobíjecích stanic k počtu elektromobilů má být podle Evropské unie 0,1. [8] V současné době je situace taková, že v zemích, kde je elektromobilita málo zavedená, je nabíjecích stanic dost a v zemích s velkým počtem elektromobilů většinou infrastruktura zaostává. Světový posun k elektromobilitě ale postupně nabírá na obrátkách. Celosvětový podíl elektromobilů na nově prodaných vozidlech byl v roce 2018 okolo 4% a tento trend neklesá. Pokud státy chtějí postupně přejít na elektromobilitu, musejí věnovat stejnou pozornost jak elektromobilům samotným, tak infrastruktuře na kterou spoléhají.

Dobrym příkladem je Norsko jakožto země s jedním z nejagresivnějších přechodů na elektromobilitu. V roce 2019 42,4% všech nových automobilů byly baterií poháněné elektromobily. Pokud se k nim přidají i plug-in hybridy, procentuální zastoupení stoupne nad polovinu. K první čtvrtině roku 2019 elektromobily tvořily 7,8% (212 760 kusů) celkového počtu osobních vozů. To je nejvíce na světě. [9] Počet nabíjecích stanic byl ale jen okolo 11 000. [10] To je poměr pouhých 0,052. Výstavba infrastruktury je celkem zdoluhavý a náročný proces. Pokud je nástup elektromobilů příliš rychlý, infrastruktura začne zaostávat. Překvapivě tato situace nenastala na největším trhu pro elektromobily, Číně. Jakožto země s přibližně polovinou všech nově prodaných elektromobilů by teoreticky měla mít největší problémy, ale v polovině roku Čína oznámila, že má 412 000 veřejných dobíjecích míst. [11] Oproti flotile 2,3 milionu elektromobilů je to poměr 0,18. Vysvětlením může být pravděpodobně to, že jak celý přechod k elektromobilům, tak samostatná výstavba infrastruktury je řízena vládou. Pouze postupný nárůst počtu elektromobilů v Číně prověří správnost tohoto přístupu.

4. Součásti elektromobilu

Oproti tradičnímu automobilu je elektromobil jednodušší. Je potřeba jen baterie, elektromotor a systém, kterým se upravuje napětí vedoucí z a do baterie. Většina částí je velmi blízko svého technologického vrcholu. Invertory a nabíječky jsou kromě zmenšování komponentů a pomalého zvyšování účinnosti stále stejné. Elektromotory procházejí postupným zlepšováním a postupem času se lehce zvyšuje účinnost či výkon. Všechny současné pokroky u elektromobilů závisí na zlepšování bateriové technologie.

4.1. Baterie

V adopci elektromobilů veřejností dnes brání tři hlavní problémy: cena, dojezd a rychlost dobíjení. Je tedy jasné, že elektromobilita stojí a padá na současné bateriové technologii a na budoucích pokrocích. Ze všech komponent elektromobilu je baterie ta nejméně vyvinutá. Baterie jsou sice známé již více jak 200 let, ale ty používané v současných elektromobilech (lithium-iontové) vznikly až v 80. letech 20. století.

Ve výrobě je nyní několik typů, z toho každý využívaný jiným výrobcem elektromobilů. Technologie se liší hlavně chemickým složením katody. Anoda je historicky z uhlíku a postupně do ní byl přidáván křemík pro zvýšení energetické kapacity. Křemík má čtyřikrát větší energetickou hustotu, ale několikanásobně zvětšuje svůj objem. Proto je výrobcům přidáván jen v malém množství. [12] K lithiu v katodě jsou přidávány příměsi manganu, niklu, hliníku, kobaltu a také železa pro lepší vlastnosti. Katody v současných elektromobilech obsahují nejčastěji tato tři složení: LMO, NMC a NCA. Každé chemické složení má své výhody a nevýhody, ale výzkumem se upravují poměry chemických směsí, které vlastnosti těchto baterií zlepšují. V případě kobaltu se ještě vyskytuje politický faktor. Více jak polovina světové produkce kobaltu pochází z Konžské demokratické republiky, kde se kobalt běžně těží s pomocí dětské práce a za používání neekologických procesů. Proto se některé automobilky snaží kobalt ze svých baterií eliminovat.

Současné bateriové technologie jsou stále daleko od výhod, které přináší používání benzinového paliva. Dojezd elektromobilu je nejen kratší v porovnání se spalovacím motorem, ale také víc proměnlivý. Důvod je prostý. Energetická hustota baterií je asi stokrát menší než benzínu. Energie na palubě elektromobilu je tedy mnohem méně a tím pádem každá ztráta se projeví na elektromobilu mnohem výrazněji než u spalovacího automobilu. Některé faktory mohou ovlivnit oba automobily stejně, ale vzhledem k větší zásobě energie v nádrži spalovacího automobilu, relativní dopad na dojezd je mnohem víc znatelný u elektromobilu, než u vozu se spalovacím motorem.

Nejvíce známým faktorem je okolní teplota. Je obecně známo, že elektromobily mají menší dojezd v zimě. Důvod ale není nutně jen nižší účinnost baterií v nižších teplotách. Baterie sice nefungují optimálně, když jsou moc horké či moc studené, ale svou roli hrají i jiné procesy spotřebovávající drahocennou energii. Elektromobil sám o sobě může využít část energie na zahřátí baterie (preconditioning), aby řidič měl dostupný celý výkon. Velkou roli hraje také ohřev kabiny, jehož dopad je závislý na modelu elektromobilu. Některé elektromobily jsou vybaveny jen odporovým radiátorem, zatímco jiné mají

tepelné čerpadlo a jednotný chladicí systém, který využívá všechno odpadní teplo z motoru, invertorů a veškeré elektroniky. Zároveň vlivy jako déšť a sníh na vozovce přinášejí další ztráty, protože musí být vynaložena energie na jejich odsunutí zpod kol.

Dalším faktorem je rychlost vozidla. Se zvyšující se rychlostí stoupá odporová síla s druhou mocninou, což znamená, že ježdění mimo dálnice je víc úsporné než ježdění na dálnicích a i snížení rychlosti z maximální dovolené rychlosti 130 km/h na 110 km/h přináší značné úspory. Toto samozřejmě platí i pro spalovací automobil, ale opět jde o relativní množství energie, které je mnohem větší pro elektromobil. To je také důvod, proč oproti normálním automobilům elektromobily mají menší spotřebu ve městě a větší na dálnicích. Nejen, že elektromobil nespotřebovává elektřinu, když stojí, ale většina jeho ztrát je přímo spjata s rychlostí.

4.1.1. Budoucnost baterií

Li-ion baterie je relativně nová technologie a má ještě mnoho potenciálu. Krom postupného zlevňování již zavedených technologií kvůli výrobě ve větším měřítku se pracuje na zdokonalení současných technologií. Již tento rok má například Tesla přijít s optimalizovanou NMC chemií ve svých bateriích. Takzvaná „milion mílová baterie“ si má udržet 90% své kapacity i po 4000 cyklech, což je několikanásobně více než současné baterie. [13] Takové prodloužení životnosti by umožnilo elektromobilům a systémům uskladňování energie z obnovitelných zdrojů mnohem delší životnost a tím pádem snížení celkové zátěže na životní prostředí.

Výzkum se také zaměřuje na vývoj jiných typů baterie. Jedna z nadcházející revolučních technologií je například baterie s pevným elektrolytem (Solid state battery). Na jedné takové baterii využívající sklo jako elektrolyt pracuje i John B. Goodenough, držitel Nobelovy ceny za chemii a jeden z vědců stojící za vývojem Li-ion baterií v 80. letech. Dále je také ve výzkumu Lithium sírová baterie. Tyto baterie mají několikanásobně větší teoretickou energetickou hustotu. Tento typ baterie jde také vyrobit s velmi nehořlavým elektrolytem, což by udělalo baterie mnohem bezpečnější. [14] Tyto nadcházející baterie mohou zlepšit kapacitu, rychlost nabíjení, snížit cenu nebo degradaci. Naštěstí tyto technologie jsou již na pokraji reálného využití. Na výstavě CES 2020 Tchajwanská společnost představila svou baterii s pevným elektrolytem pro komerční použití. [15] To by znamenalo, že širší využití baterií s pevným elektrolytem můžeme očekávat v následujících pár letech a s tím i lepší baterie.

Protože baterie mají stále několik nevýhod, vznikly nápady, jak jejich vliv minimalizovat. Výrobci zkoušeli systém výměny baterií, tedy že automobil by mohl vyměnit svou vybitou baterii za nabitou. Tento systém byl Teslou zavržen, ale čínská firma NIO ho v Číně provozuje a už provedla přes 500 000 výměn baterií. [16] Široké rozšíření ale vzhledem k rychlosti vývoje baterií pravděpodobně nenastane. Mnohem rozumnější nápad je redoxní průtoková baterie. Tato technologie funguje na redukčně-oxidačním principu dvou oddělených chemikálií fungujících jako elektrolyt, které při tomto procesu vytvářejí elektrický proud. Elektromobil by v principu fungoval jako normální automobil se spalovacím motorem, ale místo benzínu by se z elektromobilu vyčerpaly použité

chemikálie a načerpaly čerstvé. Mohla by se po pár úpravách použít i současná síť čerpacích stanic. Tato technologie samozřejmě kvůli svému krátkému vývoji má pár nevýhod jako například malá energetická hustota. Nicméně už se využívá jako úložiště energie. [17] Je ale otázkou, zda se tato technologie vyplatí, až budou baterie schopny dobíjení v řádu minut, protože potom výhoda krátkého doplnění elektromobilu bude vymazána a zůstane jen nutnost dojíždět na určité místo pro načerpání nového elektrolytu namísto nabíjení z jakéhokoliv zdroje elektřiny.

4.2. Podpůrné bateriové systémy

Baterie elektromobilu vyžaduje opatrné zacházení. Články jsou náchylné na teplotu a úroveň nabití. Při nabíjení a vybíjení článků uvolňuje chemická reakce teplo, které baterii poškozují, nebo minimálně zkracuje její životnost. [13] Proto je velmi důležitý chladicí systém. Pokud chladicí systém nedokáže odebrat teplo vytvořené při nabíjení velkými výkony, elektromobil musí omezit rychlost nabíjení, aby ochránil baterii. Tento problém se zhruba před rokem týkal například Nissanu Leaf. [18] Může nastat ale i opačný případ, kdy chladicí systém není schopen baterii ohřát na teplotu, při které ji jde nabíjet plnou rychlostí. Některé modely nenabízí přehřev baterie ani jako příplatkovou výbavu. Další věc, která články poškozují je nabití nebo vybití mimo stanovenou úroveň. Každá baterie má proto systém hlídající rovnoměrné napětí na jednotlivých článcích. Battery Management System je jedna z komponent, jehož kvalita se výrazně projevuje na celém elektromobilu. Čím více článků baterie má, tím komplexnější tento systém je a čím přesněji se dokáže vyrovnávat napětí na článcích, tím větší je spolehlivost a životnost baterie.

Všechny tyto faktory dohromady determinují, schopnosti baterie elektromobilu. Inckéické složení v článcích určuje, jakých nabíjecích a vybíjecích výkonů se dá dosáhnout a zároveň je faktorem v životnosti baterie. Tvar baterie je důležitý nejen z hlediska skládání článků dohromady, ale zároveň na tvaru závisí i schopnost chlazení onoho článku. Cylindrické baterie se svým malým objemem a velkou plochou jdou velmi účinně chladit, na druhou stranu prismatické baterie mají velmi vysokou objemovou hustotu za cenu obtížného chlazení kvůli objemu jednotlivých článků. [19] Chladicí systém a BMS se musí postarat o udržování jednotlivých článků ve svých optimálních tepelných a napěťových parametrech, což zase zpětně určuje design článků a baterie samotné na základě limitace těchto systémů.

5. Možnosti nabíjení

Nabíjení elektromobilů je obsaženo ve standardech IEC 61851, 62196 a 62852, které řeší vše od terminologie přes tvar konektorů až po bezpečnost. IEC 61851 stanovuje 4 režimy nabíjení. [20] Režim 1 je zapojení do domácí zásuvky prostým kabelem. Takovéto nabíjení se nedoporučuje, protože neprobíhá žádná komunikace mezi kabelem a vozidlem. V USA je takovýto způsob nabíjení zakázán.

5.1. Rozdělení nabíjení dle režimů

Režim 2 označuje nejpomalejší ale také nejjednodušší způsob nabíjení, kdy se elektromobil zapojí do standardní domácí nebo třífázové zásuvky. Může jít o jednu nebo tři fáze od 5 do 32 A. Okruh, ze kterého se nabíjí, není vyhrazený a kabel má v sobě zabudovanou řídicí elektroniku (ICCB – in cable control box). Maximální výkon ze standardní domácí zásuvky je 2,8 kW. To znamená, že pokud denně ujetá vzdálenost je dostatečně nízká, elektromobil v Evropě může stihnout přes noc dobít spotřebovanou energii z předchozího dne. V Americe kvůli nižšímu napětí toto řešení většinou není proveditelné. Tento způsob dobíjení je sice nejpomalejší, ale na druhou stranu kdekoliv, kde je zásuvka, je možné tímto způsobem dobíjet.

Pokud se nabíjecí kabel nezapojuje do zásuvky, ale do samostatné nabíjecí stanice (wallbox), jedná se o režim 3. Víceméně všechna veřejná nabíjecí místa spadají právě do tohoto režimu. Pro nabíjení doma se prodávají na pevně instalované wallboxy splňující tento režim. Elektronika pro komunikaci je již v nabíječce, takže pro propojení elektromobilu a nabíječky stačí normální kabel. Toto řešení často obnáší další investici buď ve formě navýšení hlavního jističe, instalace wallboxu či vytváření samostatného okruhu pro nabíjení, protože je bezpečnější a praktičtější, aby elektromobil nebyl připojen zároveň s jinými spotřebiči. Tím se zabezpečí, aby elektromobil mohl nabíjet plnou rychlostí, a například náhlé zapnutí dalšího spotřebiče nevypnulo jistič. Může se stát, že nabíječky této úrovně jsou ve skutečnosti výkonnější, než co dokáže elektromobil zvládnout, takže rychlost nabíjení ze stejného wallboxu závisí na výkonu palubní nabíječky elektromobilu. Současné elektromobily dokážou nabíjet ze střídavého proudu mezi 4 až 20 kW. Během 9hodinového nočního nabíjení při nejběžnějším výkonu 6,6 kW se stihne nabít baterie o velikosti téměř 60 kWh, což znamená plné dobití u mnoha současných elektromobilů, které nemají extra velké baterie.

Pro nabíjení elektromobilu větší rychlostí, než čeho je schopna palubní nabíječka, se musí nabíječka obejít a vozidlu dodat stejnosměrný proud pro dobíjení baterie napřímo. Tento způsob je označován jako režim 4. Tyto stanice jsou výkonově většinou v rozmezí 50 až 350 kW, což znamená nabití baterie do 80% v rámci jednotek až desítek minut. Do vytváření sítí těchto stanic investují automobilky velké množství peněz, protože výstavba této infrastruktury dává šanci současným elektromobilům, limitovaných jejich dojezdem, konkurovat klasickým automobilům při cestách na delší vzdálenosti. V současné době jsou sítě pokrývající větší část Evropy jen dvě, a pak je pár dalších o omezené velikosti. Tesla má svou síť Superchargerů, která je zatím z daleka nejrozsáhlejší. V současné době ji mohou používat pouze vozy Tesla. Nicméně pokud by se ostatní automobilky dohodly s Teslou, technologicky nic nebrání tomu, aby i ostatní elektromobily využívaly tuto síť. [21] Druhá největší síť je IONITY, což je společný projekt koncernů BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company a Volkswagen Group. Tato síť je sice dostupná pro všechna vozidla, ale zatím má pořád místa bez pokrytí i dokonce v západní Evropě a Skandinávii. [22]

5.2. Konektory

Protože se svět nedokázal dohodnout na jednom standardu distribuční sítě a koncovek za celou dobu od objevení elektřiny, ani elektromobily neušly tomuto problému a každý světový region má své specifické odlišnosti. Od roku 2014 se Evropa dohodla na používání standardu CCS (Combined Charging System) Combo 2 známém jako „Mennekes“ a veškeré dobíjecí stanice v Evropě podporují tento systém. [23] Tímto se v Evropě konektory na vozidlech, krom pár výjimek, o kterých se ještě zmíním, sjednotily. To značně zjednodušilo situaci u permanentních nabíjecích stanic, protože dnes si už může být řidič elektromobilu víceméně všude po Evropě jistý, že si u jakékoliv stanice dokáže dobít elektromobil bez adaptéru. Pokud se ale řidič dostane do situace, kdy musí nabíjet ze zásuvky, pak je potřeba velké množství adaptérů, aby bylo zajištěno nabíjení po celé Evropě.

Severní Amerika má opačný problém. Kanada, USA a Mexiko mají stejné domácí zásuvky, ale zatím nedošlo ke sjednocení konektorů pro elektromobily. Tesla má svou vlastní koncovku, kterou používá skrze celý svůj ekosystém (i ve své síti Superchargerů), ostatní výrobci se dohodli na používání podobného standartu jako Evropa, který ale není kompatibilní, J 1772 (což je konektor Typ 1 z EIC 62196) a popřípadě CCS Combo 1 pro nabíjení stejnosměrným proudem. Mezitím se stále objevuje systém CHAdeMO, který byl populární u starších elektromobilů a vozidel japonských značek, odkud tento systém pochází. Některé japonské značky umísťují tento konektor na jejich elektromobily i v Evropě. Tento standard je sice na ústupu, ale zatím je jediný, který byl od počátku vytvořen s úmyslem využívat komunikace V2G (Vehicle-to-Grid), což jak bylo zmíněno výše, může potenciálně být jedno z řešení, jak vyrovnávat nárazovou produkci energie z obnovitelných zdrojů v distribuční síti. Čína má svůj vlastní standard stejně jako Japonsko, ale obě země v současné době pracují na společném standardu, do kterého přizvali i ostatní státy. [24] Jak tato kooperace bude úspěšná, se uvidí v budoucnosti.

5.3. Bezdrátové nabíjení

Pokud je tolik problémů s nejednotnými standardy a konektory, nastává samozřejmě otázka, jestli se nedají tyto problémy prostě obejít. Jako jedno z řešení se nabízí bezdrátové nabíjení. Tato technologie je již dostatečně vyspělá, že se již používá u mobilních telefonů, kde nabírá na popularitě. I ve světě elektromobilů se bezdrátové dobíjení v současné době vyskytuje a již existují firmy, které dokážou zpětně přidat bezdrátové nabíjení k nejběžnějším modelům elektromobilů. [25] Fakt, že vozidlo nemusí být fyzicky připojeno, aby se mohlo nabíjet, není jen zjednodušení, které by zpříjemnilo současný proces dobíjení baterie, ale dává možnost vzniku zajímavým projektům, jako je například dobíjení za jízdy, které by mohlo teoreticky dát elektromobilu nekonečný dojezd.

5.3.1. Technologické problémy

Současné technologie bezdrátového nabíjení fungují celkem obstojně. Zatím, ale nejsou na takové úrovni, aby dokázaly nahradit klasické dobíjení. Existuje několik používaných principů, kde každý má své výhody a nevýhody.

Asi největším problémem je účinnost. Ta sice není na první pohled špatná, výrobci na svých stránkách uvádějí účinnosti okolo 90%, a v laboratorních testech mohou být účinnosti ještě větší [26]. Ale u mnoha technologií účinnost velmi závisí na přesnosti zarovnání jednotlivých cívek, takže používání této technologie v reálném světě v jakékoliv větší míře by způsobilo znatelné navýšení spotřeby energie. Dalším problémem je výkon tohoto systému. Princip bezdrátového nabíjení je založen na střídavém proudu, který indukci prochází z cívky na zemi do cívky ve voze. To ale znamená, že tento proud musí projít palubní nabíječkou, se kterou se váže pár výše zmíněných problémů. Nejen, že nabíječka má svou vlastní účinnost, čímž zmenší energii dodanou baterii stejně jako při nabíjení přes kabel, ale pořád platí výkonnostní limit této palubní nabíječky. Tím pádem bezdrátové nabíjení nemůže nabíjet rychleji než klasické nabíjení přes kabel střídavým proudem. Rychlonabíjení bezdrátovou technologií je proto značně obtížné, neboť palubní nabíječka schopná takového výkonu by zabírala velké množství místa v automobilu. Dále je tu otázka zdravotního rizika. Naštěstí je lidský organismus vůči elektromagnetickému záření víceméně imunní. Elektromagnetické záření může ale negativně ovlivnit elektroniku, jako například kardiostimulátor, která je pro člověka důležitá. [26]

Přestože v současnosti má bezdrátové nabíjení určité nedostatky, většina z nich je technologických, takže je možné předpokládat, že postupem času budou tyto nedostatky díky pokrokům v této technologii jeden po druhém mizet a bezdrátové nabíjení se bude objevovat stále častěji. Účinnost se bude zvyšovat, výkony budou stoupat, cena bude klesat a postupem času se budou objevovat situace, kdy bezdrátové nabíjení bude použitelné či dokonce preferované. Na druhou stranu je potřeba si položit otázku, jakou výhodu přináší bezdrátové nabíjení. Pokud ho porovnáme s normálním nabíjením přes kabel, jediná výhoda je, že majitel nemusí připojovat kabel. Jestli je to dostatečný důvod pro zavádění dalšího systému, který snižuje účinnost nabíjení či stojí více, je na zvážení. Nabízí se také otázka smyslu nabíjení za jízdy. I kdybychom měli tuto technologii zvládnutou natolik, že by byla použitelná v reálném světě, zavádění této infrastruktury by stálo miliardy korun a trvalo by desítky let. [27] Vzhledem k současné rychlosti vývoje baterií se ale dá předpokládat postupný růst rychlosti nabíjení a energetické hustoty, a tedy nastává otázka, jestli za takovou dobu nebudeme již mít baterie, které půjde nabít za stejnou dobu jako doplnění nádrže spalovacího automobilu. V takovém případě cena spojená s nabíjením za jízdy asi nedává smysl.

6. Vybrané elektromobily

Současná nabídka elektromobilů je v určité přechodné fázi. Elektromobily již nejsou tak omezené svým dojezdem a jejich cena již není astronomická, takže pro čím dál více lidí je elektromobil lepší volba. Veřejnost už také, převážně díky Elonu Muskovi a jeho automobilce Tesla, nepřemýšlí o elektromobilech jako o jakýchsi podivných ekologických vozítkách, která kromě slibu zelené budoucnosti nic jiného nenabízí, ale jako o skutečné konkurenci ke spalovacímu automobilu pro běžnou veřejnost.

Zatím ale ještě nejsme v situaci, kdy je elektromobil jasná volba oproti klasickému automobilu. Elektromobily jsou nadále dražší než jejich protějšek a ani jednodušší servis,

větší spolehlivost a nižší spotřeba nemusí zaručit vrácení cenového rozdílu oproti klasickému automobilu ani po několika letech. Výše zmíněné výhody a další jako například nižší hluk a nulové emise nejsou dostatečně přesvědčující, aby vykompenzovaly především problémy s dobou nabíjení a krátkým dojezdem. Často také může být odrazující omezená nabídka nebo strach z neznámého. Tento proces integrace doprovází každou novou technologii a elektromobily do této kategorie pořád ještě spadají. Klasické automobilky právě uvádí své první elektromobily a nabídka je tím pádem stále dost omezená. Tyto problémy zmizí pouze časem, až si populace na svět elektromobilů zvykne.

6.1. Škoda CITIGO

Prvním elektromobilem, který uvádím, je Škoda CITIGO^e iV. Je to první elektromobil Škody Auto a zároveň v současné době nejlevnější elektromobil na celém českém trhu. Elektromobil vychází z NSF platformy koncernu Volkswagen. Pro automobil vážící 1229 kg je výkon motoru 61 kW a 212 Nm dostačující a dojezd 252 km je více než dost pro jízdu z domova do práce a jiné přejíždění po městě, což je záměr tohoto vozu. Cena při zahájení prodeje byla 479 900 Kč + ekobonus v hodnotě 30 000 Kč, takže původně byla konečná cena 449 900 Kč. V současnosti se tento elektromobil prodává od 469 900 Kč. Pokud je pro majitele vozu účel automobilu pouze ježdění do práce, a nevyžaduje od vozidla převoz většího počtu lidí či většího nákladu, tento elektromobil plně splňuje a převyšuje tyto požadavky. Pokud ale má být jediným vozem v rodině, nemyslím si, že by praktičnost a dojezd dostačoval. [28]

6.2. Opel Corsa-e

Opel právě na český trh uvedl elektrický hatchback Corsa-e. Tento elektromobil je větší a tím pádem praktičtější než CITIGO, takže nemusí nutně sloužit jen jako prostředek pro jízdu do práce. Cestování se zavazadly ve dvou lidech, nebo jako tříčlenná rodina, by neměl být problém. Zároveň je dojezd 337 km dostačující pro delší mimoměstské cesty. Takovýto elektromobil by mohl nahradit klasický automobil pro ty spotřebitele, kteří ho využívají nejen jako prostředek pro cestu do práce, ale i k převážení věcí či rekreační cestování. Tento typ elektromobilu by byl pravděpodobně nejvhodnější pro většinu obyvatel. Dostatek prostoru a dojezdu pro standardní použití za cenu, která je pro elektromobil nízká a ani v porovnání s klasickými automobily není extrémně vyšší. Protože tento elektromobil právě vyšel na trh, Peugeot přidává slevu 50 000 Kč, takže akční cena je 739 990 Kč. S touto cenou je Corsa-e jeden z nejlevnějších elektromobilů na trhu. [29]

6.3. Tesla Model 3

Posledním vybraným elektromobilem je Tesla Model 3 Standard Range Plus, zatím nejlevnější vůz firmy Tesla. Je to luxusnější automobil střední třídy a z těchto elektromobilů je nejdražší s cenou 1 325 700 Kč. Za to ale nabízí o mnoho větší výkon, dojezd, lepší vlastnosti jako například velký zavazadlový prostor a funkce nedostupné u jiných elektromobilů. Se svou maximální rychlostí nabíjení 250 kW DC/ 11,5 kW AC a 409 km dojezdem je Model 3 jeden z mála elektromobilů, ve kterém jde bez problému jezdit i na delší cesty. Při cestách je také výhodou větší velikost elektromobilu, která umožňuje

pohodlné cestování čtyřčlenné rodiny i se zavazadly, což je u menšího hatchbacku problém. Zároveň má Model 3 největší výběr dobíjecích stanic díky síti Superchargerů, která značně zjednodušuje cestování na dlouhé vzdálenosti. Tento elektromobil zamýšlím pro rodinu s vyšším příjmem, pravděpodobně žijící v domě v satelitním městě. Velká část takovýchto spotřebitelů pořizuje klasický automobil v podobném finančním spektru, takže cena současných elektromobilů pro ně nemusí být nedostupná. Model 3 by byla perfektní náhrada za typický luxusnější sedan střední třídy s cenovkou okolo milionu korun jako je BMW řady 3, Audi A4 nebo Volvo S60, protože za stejnou cenu dokáže vlastně vše, co tyto vozy a to víceméně bez kompromisů. [30]

| | Škoda CITIGO ^e iV | Opel Corsa-e | Tesla Model 3 SR+ |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|
| Výkon (kW) | 61 | 100 | 211 |
| Kapacita akumulátoru (kWh) | 36,8 | 50 | 54 |
| Dojezd (km dle WLTP) | 252 | 340 | 409 |
| Hmotnost (kg) | 1160 | 1530 | 1612 |
| Zavazadlový prostor (l) | 250 | 309 | 425 |
| Rychlost nabíjení (kW AC/DC) | 7,4/40 | 7,4/100 | 11,2/250 |
| Cena (Kč) | 499 900 | 739 990 (779 990) | 1 325 700 |

Tabulka 1 Parametry elektromobilů

6.4. Porovnání s klasickými automobily

Podobně vybavené CITIGO se spalovacím motorem stojí lehce pod 300 000 Kč, což jsou dvě třetiny elektrické verze. Za podobné peníze jde od Škody Auto pořídit Scala stupně Style, tedy celkem dobře vybavený automobil, který je už v jiné velikostní třídě. Opel je na tom skoro stejně. Podobně vybavená Corsa s co nejbližší motorizací je okolo 60% ceny elektrické verze. Cenový ekvivalent je Škoda Octavia, která je opět o kategorii výše.

Očividně je tedy cena technologií spojených s elektromobilitou dosti velká. Škoda u svého elektromobilu dělá to co spousta automobilek. Z nějakého důvodu odmítají vydat elektromobil s nízkým stupněm výbavy. Vysvětlení může být několik. Zákazníci například za cenu, za kterou se tyto elektromobily prodávají, očekávají nějaký minimální standard výbavy. Další faktor může být snaha automobilek vytvořit image elektromobilů jakožto vozy plné technologie či může jít o pokus rozprostřít cenu elektrického pohonu do ceny přidané výbavy. Nicméně to znamená, že cena současných elektromobilů může být nižší, než je nyní.

U Modelu 3 je cena elektrického pohonu již neprojevuje. Nejde zde sice vytvořit stejné porovnání jako u předchozích případů, ale Model 3 má konkurovat luxusnějším automobilům ze střední třídy jako je například BMW řady 3 nebo Audi A4 a v této kategorii nemá konkurenci. V porovnání s těmito automobily Model 3 nabízí i ve své nejlevnější variantě lepší parametry, a aby je klasická automobily vyrovnaly, musí občas zaplatit i více. Některé funkce Modelu 3 přitom nejsou k dostání ani u dražších modelů. Zdá se tedy, že přidaná cena za luxusnější části vybavení dokáže částečně pohltnout vyšší cenu elektrického pohonu.

6.4.1. Finanční kompenzace a daně

Drtivá většina současných elektromobilů je v porovnání se svými spalovacími protějšky výrazně dražší. Specifický případ uvedu později na provozním modelu, ale v tomto stavu elektromobily dávají často smysl pouze v případech, kdy majitel jezdí dostatečně často, aby dokázal vykompenzovat vyšší pořizovací cenu nižšími provozními náklady. Nicméně stát podporující elektromobilitu může tento cenový rozdíl zmenšit a tím umožnit více řidičům přechod na bezemisní dopravu. Stát může ovlivnit cenový rozdíl elektromobilů, a to buď snížením jejich ceny pomocí nějaké formy dotace, nebo zvýšením ceny klasických automobilů.

Česká republika zatím nemá žádnou slevu na dani nebo nižší daň pro elektromobily, která by byla aplikovatelná pro běžnou fyzickou osobu. Existuje program na finanční podporu koupě elektromobilů pro firmy. Bohužel pro tento program má ministerstvo průmyslu a obchodu vyhrazený rozpočet pouze 50 milionů Kč, takže efekt takového programu je pouze teoretický. [31] Příklad státu, který koncept státem dotované elektromobility myslí vážně, je Norsko, jež dosáhlo svého statusu jakožto lídr v elektromobilitě pomocí osvobození elektromobilů od všech jednorázových poplatků (to zahrnuje i 25% DPH). Tato výjimka byla zavedena již v roce 2001 a byla několikrát prodloužena až do letošního roku. Tak vznikla situace, kdy v Norsku takřka nedává smysl kupovat cokoli jiného než elektromobil. [32] USA se rozhodlo jít cestou slevy na dani, která je aplikovatelná pro prvních 200 000 vyrobených kusů každého výrobce. [33]

Opačný postup vedoucí ke stejnému výsledku je navýšení ceny spalovacích automobilů. Obdobně jako v předchozím případě, tedy pomocí speciální daňové sazby pro spalovací automobily. Například Francie zavedla takzvanou „Daň z SUV“, což je nově sankce až 20 000 eur pro vozidla překračující stanovenou emisní hranici, tedy převážně velká SUV. Francie zároveň tento rok zavedla 6000 EUR dotaci při nákupu elektromobilu, což může dohromady srovnat cenový rozdíl i dražšího elektromobilu. [34] Evropská unie ve své cestě za snižováním emisí zavedla emisní poplatky pro osobní automobily jakožto motivační prostředek. Tento systém funguje na základě zprůměrovaných emisí flotily vozidel registrovaných výrobcem. Výrobce pak platí za každý gram CO₂ na kilometr, který je nad stanovenou hranicí krát počet registrovaných automobilů. Tyto poplatky se pravděpodobně projeví na ceně vozu a samozřejmě nutí výrobce vyrábět ekologičtější automobily. Nová hranice pro rok 2021 je 95 g/km CO₂. [35]

Existují i vedlejší efekty implementace elektromobilů a jejich zvýhodňování. Na pohonné hmoty se v ČR uplatňuje DPH a spotřební daň. Tyto dvě daně jsou dohromady zodpovědné za více jak polovinu ceny benzínu. [36] Zvyšování spotřební daně krom zvyšování příjmu státního rozpočtu je také používáno jako poplatek za využívání silnic. Vedlejší efekt je zlepšení konkurenceschopnosti elektromobilů, kvůli vyšším provozním nákladům spalovacích automobilů. Na druhou stranu každý elektromobil je jedním vozidlem, které neplatí tuto spotřební daň. Tyto peníze se využívají i na opravu silnic a podobně a s postupným nástupem elektromobilů bude tento zdroj peněz mizet, což neznamená pouze méně státních příjmů, ale hlavně méně peněz jdoucích do údržby a

výstavby infrastruktury. Stejná situace platí i u dálničních známek nebo různých daňových zvýhodnění.

Ať je vybraný způsob jakýkoliv, výsledný efekt je vždy zvýšení kompetitivnosti elektromobilů po jejich finanční stránce. Dále je to už jen na státu, jak moc hodlá elektromobily zvýhodňovat, což musí být velmi důkladně zvážené rozhodnutí, ve kterém se musí zohlednit vše od finanční nákladů spojených s dotací a postupným zesilování podpůrné infrastruktury, přes následky spojené s ústupem klasických automobilů až po například zdravotní a ekologické výhody širšího používání elektromobilů. Obecně se dá ale říci, že každý stát si uvědomuje emisní výhody elektromobilů a snaží se podporovat jejich prodej.

7. Provozní model

Svět elektromobility se neustále vyvíjí. Co platilo před třemi roky, dnes již neplatí, a to samé bude za tři roky pravděpodobně platit o současných faktech. V nedávné době jsme byli v situaci, kdy jediní lidé, kteří kupovali elektromobily, byli buď nadšenci do nových technologií, nebo velmi uvědomělí lidé starající se o svou uhlíkovou stopu. V obou případech se ale jednalo převážně o bohatší lidi. Jen o pár let později elektromobil začíná dávat praktický smysl stále větší skupině obyvatel. Masová adopce je sice ještě relativně daleko, ale lidé, kteří si to mohou dovolit, stále častěji sahají při koupi vozu po elektrické variantě.

7.1. Návrh provozního modelu

S ohledem na současné limity by tedy tento model měl reprezentovat člověka žijícího v satelitním městě, který jezdí do města za prací a o víkendech mimo město někam trochu dále. Tento člověk sice potřebuje automobil téměř každý den, ale jeho požadavky jsou vcelku nenáročné a předvídatelné. Největší problém elektromobilů, dojezd, by tedy neměl hrát roli a zbudou jen výhody elektromobilu. Takovýto styl používání automobilu je v současnosti nejpřívětivější pro elektromobily a dá se zde očekávat jejich nejrychlejší šíření.

| Všední den [km] | Víkendový den [km] | Roční ujetá vzdálenost [km] |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| 50 | 75 | 20 350 |

Tabulka 2 Zvolené ujeté vzdálenosti v provozním modelu

25 km je přibližná vzdálenost satelitního města a 150 km za víkend reprezentuje situace jako velký týdenní nákup ve městě, výlet a případné jízdy během pracovního týdne, které nejsou na normální cestě z domova do práce. Roční ujetá vzdálenost je lehce nad průměrným českým motoristou, což potvrzuje, že tyto odhadnuté denní ujeté vzdálenosti rámcově odpovídají realitě. [37]

Takovýto provoz v současnosti zvládá i ten nejlevnější elektromobil prodáváný v ČR, i kdyby čas od času nebyl dobit. Cokoliv více se ale už blíží k hranici, kdy se člověk nemůže sto procentně spolehnout na elektromobil jakožto jediný dostupný vůz. Velký dojezd umožňuje použití elektromobilu jako totální náhrady spalovacího vozu, což je zamýšlený

dlouhodobý efekt elektromobility. Pokud toto nahrazení má fungovat, elektromobil musí mít dostatečný dojezd, aby byl schopen, když se majitel náhle na konci dne rozhodne, že potřebuje jet ještě například z Prahy do Plzně, tuto vzdálenost ještě ujet. V současnosti tuto podmínku splňují jen dražší elektromobily.

7.2. Porovnávané automobily

Pro toto srovnání jsem vybral elektromobil Škoda CITIGO^e iV a jako spalovací protějšek jeho ještě do nedávna vyráběnou benzínovou variantu. CITIGO^e iV je v nejnižším dostupném stupni výbavy. Protože CITIGO by měl být ekonomický automobil, zvolil jsem pro benzínovou verzi nejlevnější výbavu, tedy Active. Jak jsem zmiňoval již výše, elektrická varianta má mnohem více výbavy zahrnuté už z výroby. Benzínové CITIGO podobně vybavené jako iV by bylo ve vyšší motorizaci, výbavě Style a obsahovalo by pár dalších kusů výbavy na přání. [38]

| CITIGO ^e iV [Kč] | CITIGO Active [Kč] | CITIGO Style [Kč] |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| 469 900 | 209 900 | 290 000 |

Tabulka 3 Ceny porovnávaných automobilů

7.2.1. CITIGO^e iV

Škoda CITIGO^e iV v uvedené specifikaci má spotřebu dle WLTP 146 Wh/km. V létě jsem předpokládal spotřebu stejnou jako WLTP. Podmínky sice nebudou tak přívětivé jako v laboratorním prostředí, ale na druhou stranu oproti WLTP v tomto modelu, jenž má reprezentovat převážně ježdění do práce, předpokládám menší zastoupení jízdy ve vysokých rychlostech.

Test norské automobilové federace ukázal, že v norské zimě klesl dojezd VW e-up! (vlastně stejný vůz) o 10%. [39] Přestože tento reálný test proběhl v celkem kontrolovaných podmínkách, budu uvažovat pesimističtější předpoklad. Pro jaro a podzim jsem zvolil střední hodnotu.

Další ztráty nastávají při nabíjení. Účinnost závisí jak na nabíjecím systému elektromobilu, tak na zvoleném napětí a proudu. Zvolená hodnota 0,9 odpovídá výsledkům hlášených od majitelů elektromobilů. [40]

| | |
|---------------------------------|------|
| Spotřeba WLTP [Wh/km] | 146 |
| Účinnost v létě - η_L | 1 |
| Účinnost v zimě - η_Z | 0,7 |
| Účinnost jaro/podzim - η_P | 0,85 |
| Účinnost nabíjení - η_N | 0,9 |
| Nabíjecí výkon - P_N [kW] | 5 |
| Cena v tarifu D27d [Kč/kWh] | 1,99 |

Tabulka 4 Provozní parametry elektromobilu

Uvažuji nabíjení elektromobilu přes noc výkonem 5 kW pomocí speciálního tarifu Pražské energetiky pro elektromobily D27d s nočním proudem za 1,99 Kč/kWh. Pokud není elektromobil nabíjen v době největšího odběru domu (okolo 6 až 8 hodiny), není potřeba měnit standardní hlavní jistič 3x25A. Měsíční paušální sazby by se tedy nezměnily.

7.2.2. Spalovací CITIGO

Pro spalovací varianty jsem uvažoval kombinovanou WLTP spotřebu jako konstantní během celého provozu automobilu až na zimu. Přestože je to syntetický test, jeho hodnoty jsou mnohem bližší skutečné spotřebě než starý NEDC. Kompenzaci teploty okolního prostředí jsem u ostatních ročních období neprováděl. Spotřeba je sice venkovní teplotou ovlivněna, ale tento efekt se projevuje převážně u velmi nízkých teplot a během velmi krátkých cest, kdy se motor nestihne zahřát. Kdykoliv jindy hraje ve spotřebě mnohem vyšší roli například styl jízdy. [41]

| | |
|------------------------------------|-------|
| Spotřeba Active [l/km] | 0,042 |
| Spotřeba Style [l/km] | 0,043 |
| Účinnost v zimě - $\eta_{Z\ spal}$ | 0,85 |
| Cena benzínu [Kč] | 28 |

Tabulka 5 Parametry spalovacích automobilů

7.3. Ekonomické srovnání

7.3.1. Spotřeba

Roční spotřeba elektromobilu se vypočítá jako,

$$Spotřeba = \sum_{i=1}^{365} \frac{d_i \cdot Spotřeba_{WLTP}}{\eta_i \cdot \eta_N \cdot 1000} [kWh]$$

Kde d_i - ujetá vzdálenost v závislosti na dni v týdnu

η_i - účinnost v závislosti na ročním období

η_N - účinnost nabíjení

Roční spotřeba spalovacích vozů se vypočítá obdobně,

$$Spotřeba = \sum_{i=1}^{365} \frac{d_i \cdot Spotřeba_{WLTP}}{\eta_i} [l]$$

Roční spotřeby paliva a elektřiny a jejich cena za předpokladu konstantní ceny elektřiny a benzínu jsou uvedeny v tabulce níže. Roční úspora na palivu je tedy 16 976 a 17 569 Kč/rok v závislosti na motorizaci.

| Model | Spotřeba | Roční náklady [Kč] |
|------------------------|---------------|--------------------|
| CITIGO ^e iV | 3 982,8 [kWh] | 7 926 |
| CITIGO Active | 889,35 [l] | 24 902 |
| CITIGO Style | 910,53 [l] | 25 495 |

Tabulka 6 Spotřeba a náklady na palivo porovnávaných vozidel

7.3.2. Servis

Palivo (elektřina v případě elektromobilu) ale není jediný výdaj, který se objevuje při provozu vozidla. Další nemalá částka je zapříčiněna servisem, a i zde se dá předpokládat, že elektromobil bude mít značnou výhodu.

Pod plánovaný servis patří všechny opakující se úkony udávané výrobcem. Do tohoto modelu nezapočítávám úkony, které jsou stejné jak u elektromobilu, tak u klasického automobilu, tedy především výměna pneumatik, stěračů, kabinových filtrů a servis klimatizace.

Protože moderní vozidla si většinou určují servisní intervaly sama, frekvence servisních intervalů vychází z uživatelských manuálů tam, kde servisní interval byl uveden, nebo z obecně uznávaných servisních intervalů pro starší automobily, které je měly uváděné v manuálech. Obecně platí, že tyto hodnoty se od sebe moc neliší.

Životnost brzdových destiček a kotoučů silně závisí na stylu jízdy. Kotouče většinou vydrží třikrát déle než destičky. CITIGO^e iV sice brzdy také má, ale měly by vydržet celou životnost elektromobilu díky regeneračnímu brzdění.

Neplánovaný servis nastává pokaždé, když se něco opotřebuje či přestane fungovat. Zde jednoduchost elektromobilů opět hraje roli. To, co ve vozidle není, se jednoduše nemůže rozbít. Se zvyšujícím se tlakem na snižování emisí a implementací nových technologií do automobilů se naopak komplikovanost klasických vozů neustále zvyšuje a tím pádem je na nich více věcí, které mohou selhat, a obvykle do 150 000 km bude potřeba vyměnit minimálně jednu z těch nejporuchovějších. Pokud má člověk dostatečnou smůlu, potká ho selhání turbodmychadla či rozvodového řemene, což může vést k totálnímu zničení motoru.

Vzhledem k relativně malému stáří současných elektromobilů ještě neznáme všechna jejich nejporuchovější součásti, ale zatím to vypadá, že v dnešních elektromobilech jediná pro ně specifická součást, která má kratší životnost, je baterie. Průzkum ve flotile vozidel Tesly ale ukazuje, že jejich životnost ale také není úplně malá. Po 300 000 ujetých kilometrech je jejich kapacita stále na 85%. [42]

Všechny ceny jsou průměrné z webu www.euautodily.cz a v servisu počítám s hodinovou sazbou 500 Kč. [43]

| Typ servisu | Cena [Kč] | Frekvence [km] [roky] |
|---|-----------|--------------------------|
| Výměna oleje a olejového filtru (3,5l) | 1 500 | 15 000 |
| Výměna svíček a cívek | 4 000 | 60 000 |
| Výměna brzdových destiček | 2 000 | 70 000 |
| Proplach chladicího systému | 1 000 | 4 |
| Servis po 100 tis. km (hnačí řemen a rozvodový řetěz) | 4 750 | 100 000 |
| Porucha | 25 000 | 140 000 |
| Dálniční známka | 1500 | 1 |

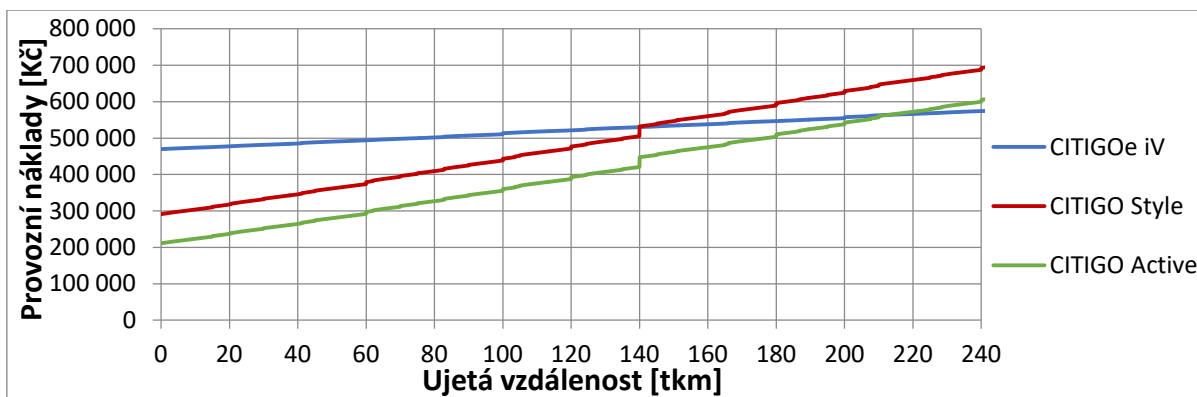
Tabulka 7 Cena a četnost servisních prací u spalovacího automobilu

U autorizovaného servisu by ceny součástí i práce byly asi vyšší. S největší pravděpodobností by automobil také sjednotil některé servisní intervaly dohromady, takže celková cena za práci by ve skutečnosti byla asi menší. Na druhou stranu u velké prohlídky po 100 000 km jsem byl konzervativní jak s počtem opravovaných věcí a jejich cenou, tak s délkou odpracovaných hodin. Poruchu na 140 000 km jsem stanovil na 25 000 Kč, což už není malá částka, ale za to je to jediná porucha za téměř 7 let života vozu, což u takovýchto malých motorů není špatný výsledek.

Cenu kontroly a případného očištění brzd jednou za 2 roky u CITIGO^e iV jsem stanovil na 1000 Kč. A velkou kontrolu po 100 000 km jsem ocenil na 3000 Kč.

7.3.3. Ekonomické zhodnocení

Celková cena provozu je tedy součet nákladů na servis + cena paliva. Průběh ekonomické bilance je vidět na přiloženém grafu.

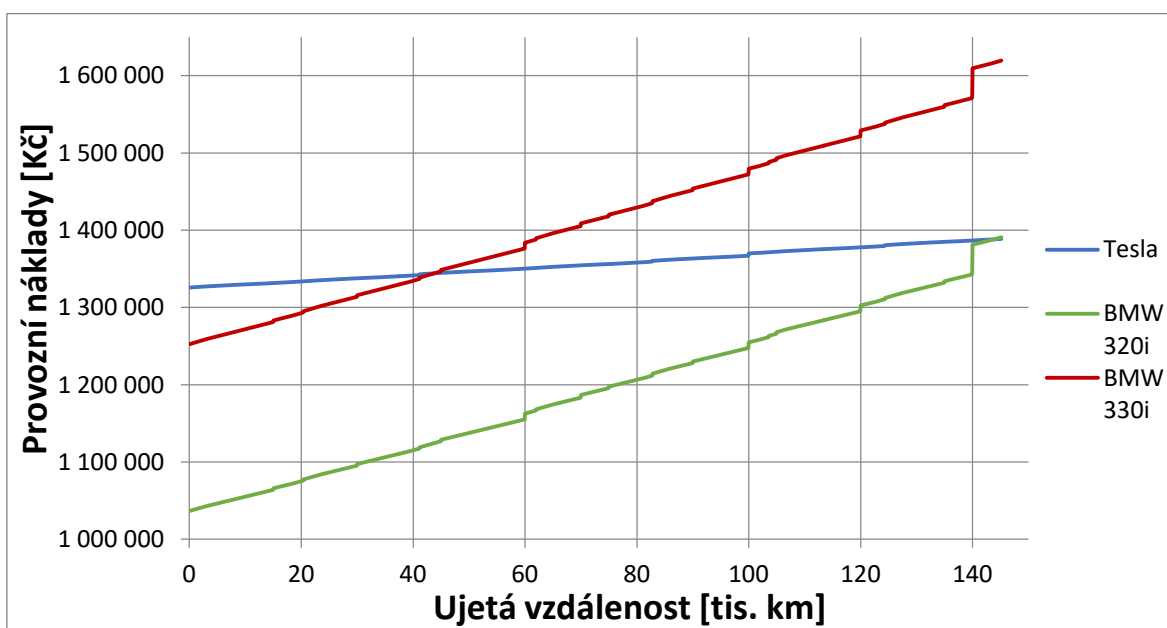


Graf 1 Ekonomická bilance CITIGO

Při porovnání s podobně vybaveným spalovacím CITIGO je v grafu vidět, že ekonomická návratnost nastává po 140 000 km neboli 7 letech. Takováto doba není u prvního majitele žádné neslýchané číslo. Nicméně pro tak neznámou technologii jako elektromobil je to docela dlouhá doba. Naštěstí záruka na baterii a pohonnou jednotku u CITIGO^e iV je 7 let či 160 000 km. [28] Při současné rychlosti vývoje elektromobilů nikdo ale neví, jak zaostalý by po 7 letech elektromobil byl. Cenový rozdíl mezi těmito verzemi byl na začátku okolo 225 000 Kč.

Vzhledem k velikosti a ceně se ale dá předpokládat, že tento elektromobil cílí na naprosté minimum osobní přepravy akorát v elektrické variantě. Porovnávání s levnějším modelem je tedy více realistické. V tomto případě se investice do elektromobilu vrátí přibližně okolo 210 000 km neboli po více jak 10 letech. To je už na tak malý elektromobil dlouhá doba, za kterou se může technologie elektromobilů drasticky posunout či může dojít k nehodě a odepsání vozidla.

Pro porovnání uvádím srovnání mezi Teslou Model 3 a BMW řady 3. Tento elektromobil je mnohem dražší, ale také má mnohem vyšší dojezd, takže dokáže plnohodnotně nahradit spalovací vůz. BMW řady 3 má levnější variantu, která je téměř v nejchudší výbavě a dražší variantu, která výbavově odpovídá Modelu 3.



Graf 2 Ekonomická bilance Modelu 3 a BMW řady 3

Zde je situace mnohem výraznější. Po necelých 3 letech se výhodnost Modelu 3 začíná projevovat u dražšího BMW a levnější variantu dožene Model 3 po 7 letech. Zároveň elektromobilu budou přicházet aktualizace, takže bude mít stále více funkcí. Cenový rozdíl mezi Modelem 3 a levnějším BMW je asi 290 000 Kč.

Otázka spolehlivosti elektromobilu samotného, a to jak jeho elektrické části, tak i věcí jako zavěšení a podvozek, je samozřejmě také na zvážení. Výše zmíněná záruka na baterii a pohonnou jednotku je pro tento případ sice dostatečná, ale v elektromobilu je stále ještě spousta relativně drahých věcí, které mohou selhat.

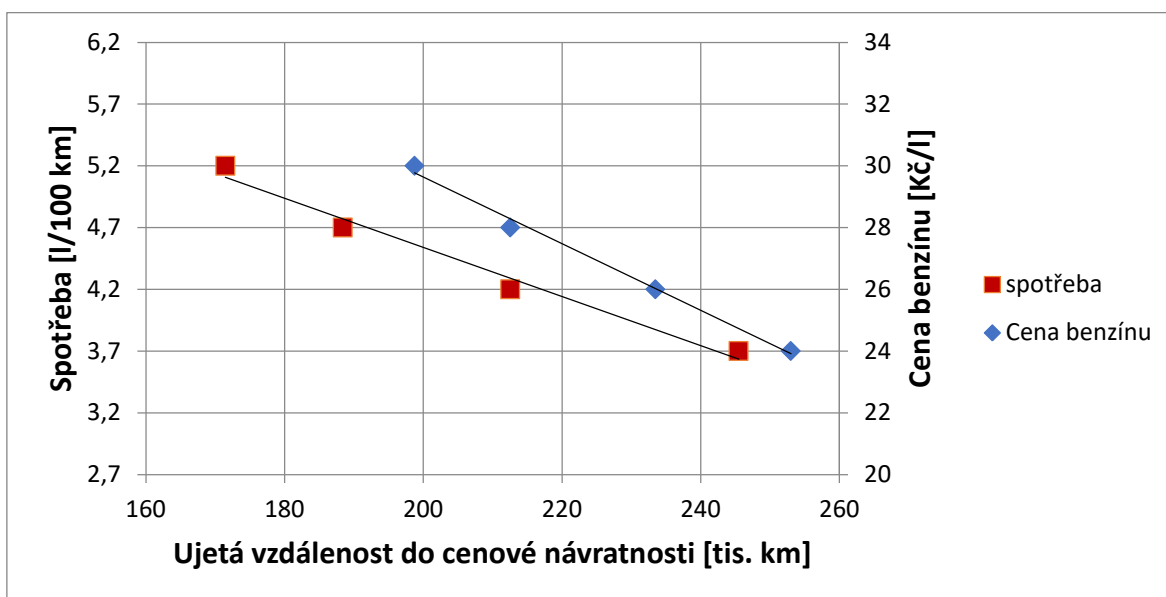
Velkým otazníkem u elektromobilů obecně je ztráta hodnoty. Nikdo moc neví, jakou budou mít specifické modely baterií životnost po konci jejich záruky a jejich výměna je vždy drahá. Současné elektromobily ještě nemají „milionové baterie“, které by měly mít Tesly někdy koncem tohoto roku, takže otázka jejich výdrže a následné zastaralosti je na místě a tím pádem se dá zřejmě očekávat docela výrazná ztráta na hodnotě.

| Porovnávané automobily | Cenový rozdíl [Kč] | Doba návratnosti [let/km] |
|---|--------------------|---------------------------|
| CITIGO ^e iV vs. CITIGO Style | 179 900 | 7/140 000 |
| CITIGO ^e iV vs. CITIGO Activ | 260 000 | 10/212 550 |
| Model 3 vs. BMW 330i | 74 892 | 2/44 000 |
| Model 3 vs. BMW 320i | 290 900 | 7/144 000 |

Tabulka 8 Doba návratnosti jednotlivých srovnání

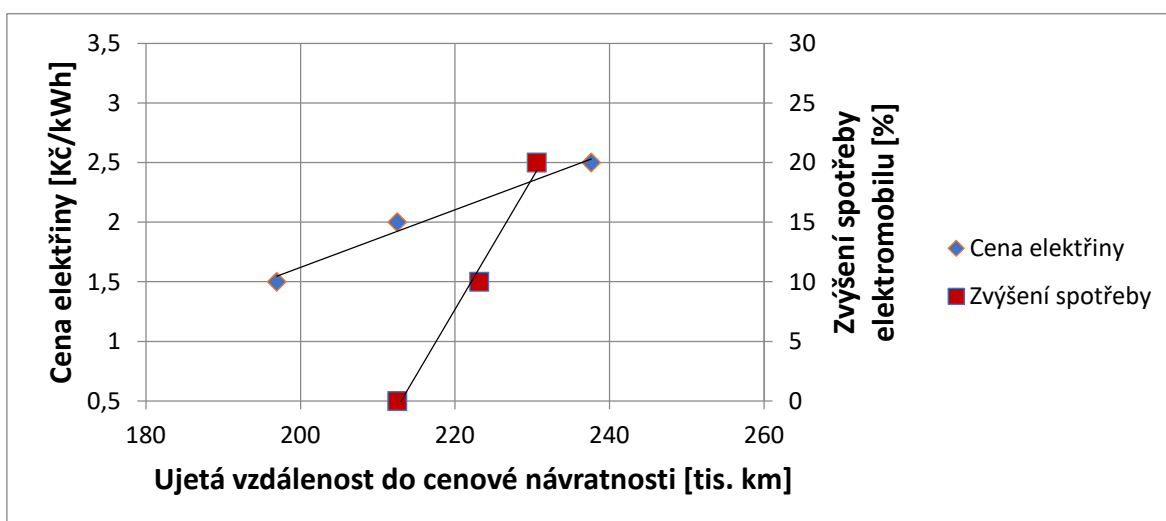
7.3.4. Citlivostní analýza

Z modelu vyplývá, že okolo 225 000 Kč je hranice, kdy se investice do elektromobilu stihne vrátit do rozumné doby 7 let. Samozřejmě se tu vyskytuje mnoho proměnných. Níže uvedené grafy zobrazují vliv těch největších ovlivňující dobu návratnosti.



Graf 3 Citlivost proměnných spojených se spalovacím motorem

Změna ceny benzínu o 2 Kč/l má podobný ale o trochu menší efekt jako změna spotřeby o 0,5 l/100 km. Každé 2 Kč/l posouvají dobu návratnosti o přibližně 20 000 km.



Graf 4 Citlivost proměnných elektromobilu

Proměnné na straně elektromobilu jsou mnohem méně výrazné. Příčinou je neuvěřitelně velká účinnost elektromobilu. Elektromobil spotřebovává tak málo energie, že zvýšení ceny elektřiny o čtvrtinu má podobný efekt jako snížení ceny benzínu o pouhé 2 Kč (7,14%). Zvýšení spotřeby elektromobilu například agresivnější jízdou má ještě menší vliv.

Další proměnná je servis a opravy. Každý automobil je jinak spolehlivý. U městských modelů jako CITIGO zas tak velký rozdíl ve spolehlivosti nebude, ale v případě porovnání Tesly a BMW by se volba nějakého spolehlivějšího spalovacího automobilu například korejské či japonské značky určitě dlouhodobě projevila.

7.4. Ekologický dopad provozu

Ekonomie je ale pouze jedna část provozu automobilu. Celý smysl elektromobility je udržitelnost dopravního sektoru. Ekonomicky výhodnější elektromobil by nedával smysl, kdyby byl zároveň škodlivější k životnímu prostředí. Relativně jednoduše měřitelný faktor ekologie jsou emise CO₂. Ty se skládají ze dvou částí: emise vypuštěné během výroby a emise vypouštěné během provozu. Pro tuto environmentální část modelu budu používat elektromobil Tesla Model 3, protože u tohoto elektromobilu šly dohledat jeho emise z výroby. Srovnání bude mezi Modelem 3, novém BMW a ještě 10 let starém BMW vyšší třídy koupeném jako ojetina. Při koupi z druhé ruky není potřeba žádný automobil vyrobit a tím pádem jsou teoreticky emise z výroby nulové. Na druhou stranu ale má vyšší spotřebu a produkuje více zplodin.

7.4.1. Emise z provozu

Základní emise jsou udávány testem WLTP. 10 let staré větší BMW má uváděné emise podle testu NEDC, takže jsem provedl korekci dle převodního grafu ze zprávy Evropské komise. [44] Během provozu je ale ještě jeden zdroj emisí označovaných Well-to-tank (WTT), neboli emise vyprodukované v různých výrobních procesech a během transportu od extrakce až po natankování do nádrže. Jeden zdroj Evropské komise z roku 2013 uvádí pro WTT hodnotu 13,8 g CO_{2eq}/MJ. [45] Hustota benzínu je 744 kg/m³ a specifická energie je 46,4 MJ/kg. Z toho vychází 495,6 g CO_{2eq}/l benzínu. Další zdroj z roku 2019 pro Velkou Británii uvádí 598,52 g CO₂/l benzínu. [46] Uvažuji tedy průměrnou hodnotu 550 g CO_{2eq}/l.

| | |
|---|-------|
| Spotřeba Modelu 3 [Wh/km] | 150 |
| Spotřeba nového BMW [l/km] | 0,063 |
| Spotřeba starého BMW [l/km] | 0,066 |
| Emise z provozu nového BMW [g CO _{2eg} /km] | 142 |
| Emise z provozu starého BMW [g CO _{2eg} /km] | 210 |
| Emise _{WTT} [g CO _{2eg} /l] | 550 |
| Emisní faktor [g CO _{2eq} /kWh] | 437 |

Tabulka 9 Parametry pro výpočet emisí z provozu

Celkové množství emisí z provozu spalovacího automobilu za rok je tedy,

$$\text{Provozní emise} = \sum_{i=1}^{365} d_i \cdot \text{Emise}_{WLTp} + \frac{\text{Spotřeba}}{\eta_i} \cdot \text{Emise}_{WTT} \text{ [g CO}_{2eq}\text{]}$$

Kde d_i - ujetá vzdálenost v závislosti na dni v týdnu

η_i – účinnost v závislosti na ročním období

U elektromobilu samozřejmě záleží, čím ho nabíjíme. V nejlepším případě nabíjíme z obnovitelných zdrojů a tím pádem provozní emise jsou 0 g. Pokud budeme předpokládat nejjednodušší řešení, tedy nabíjení ze sítě, můžeme určit roční emise provozu jako,

$$\text{Provozní emise} = \sum_{i=1}^{365} d_i \cdot \frac{\text{spotřeba}_{WLTp}}{\eta_i \cdot \eta_N \cdot \eta_{ps} \cdot 1000} \cdot \text{Emisní faktor} \text{ [g CO}_{2eq}\text{]}$$

Kde η_{ps} - je účinnost přenosové soustavy

d_i - ujetá vzdálenost v závislosti na dni v týdnu

η_i – účinnost v závislosti na ročním období

η_N - je účinnost nabíjení

Účinnost sítě jsem stanovil na 0,95. Emisní faktor vyjadřuje, kolik gramů CO₂ je potřeba na produkci 1 kWh elektřiny a má hodnotu 437 g CO_{2eq}/kWh. Evropský průměr je pro srovnání 295 g CO_{2eq}/kWh. (tyto hodnoty jsou z roku 2017) [47]

| Model | Roční emise z provozu [kg CO _{2eq}] |
|-----------------|---|
| Model 3 – solár | 0 |
| Model 3 – síť | 1 856,8 |
| Nové BMW | 3 623,4 |
| Staré BMW | 5 263,4 |

Tabulka 10 Srovnání ročních emisí pocházejících z provozu

7.4.2. Emise z výroby

Velká část emisí pochází také z výroby automobilu samotného. Zde by se měly správně započítat všechny procesy od těžby surových materiálů, přes přepravu jednotlivých dílů do továrny až po palivo spotřebované při testování. Přesné hodnoty je obtížné sehnat. Obecně se udává, že výroba jednoho automobilu vyprodukuje řádově vyšší jednotky tun CO₂, a že elektromobily jsou většinou náročnější převážně kvůli výrobě baterií.

Tesla ve své zprávě o dopadu na životní prostředí pro rok 2019 skutečně udává, že více jak 50% emisí vychází z výroby baterie. Ze zprávy také ironicky vyplývá, že při předpokladu nabíjení ze solárních panelů se výrobní náklady zvýší kvůli výrobě panelů. Dále v této zprávě odhadují i emise vypuštěné během výroby pro klasický automobil ve stejné kategorii jako Model 3. [42]

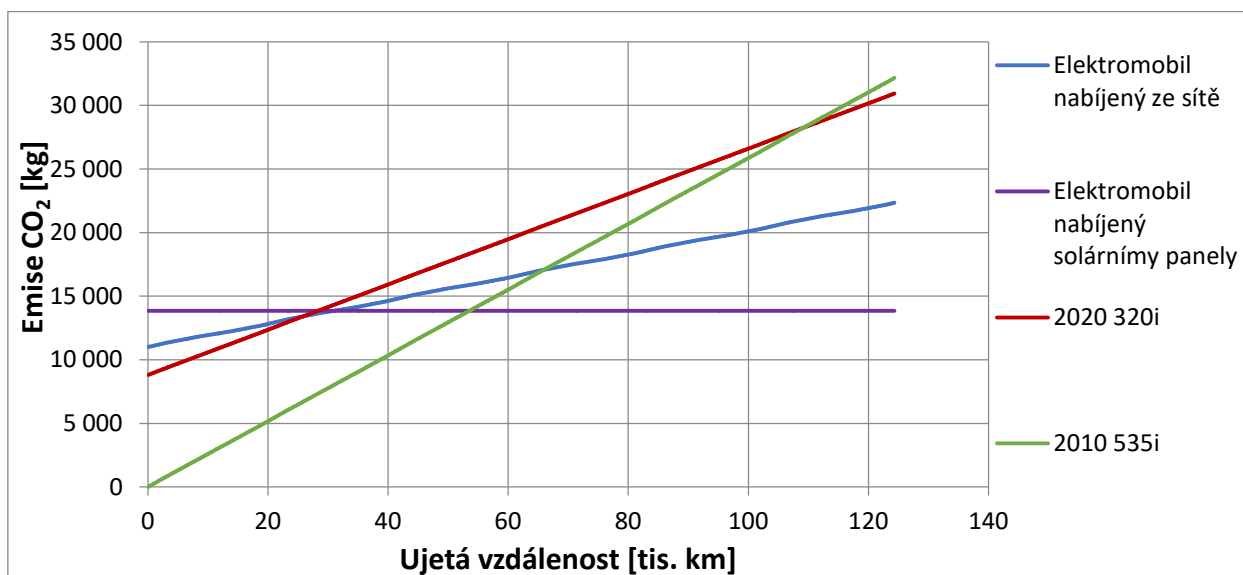
| Model automobilu | Emise z výroby [tun CO ₂] |
|------------------|---------------------------------------|
| Model 3 – solár | 13,9 |
| Model 3 – síť | 11 |
| Nové BMW | 8,8 |
| Staré BMW | 0 |

Tabulka 11 Porovnání emisí z výroby vozidla

S větším množstvím baterií v oběhu začíná dávat jejich recyklace finanční smysl. Opětovné používání materiálů z recyklovaných baterií je ekologičtější než těžení materiálů nových. Můžeme tedy očekávat, že tato více než poloviční část emisí z výroby bude v následujících letech klesat.

7.4.3. Ekologický dopad provozu – výsledky

Celkové emise jsou potom emise z výroby + emise z provozu. Průběh emisí je zobrazen na přiloženém grafu.



Graf 5 Emise CO₂ v závislosti na ujeté vzdálenosti

Je vidět, že výsledky jsou v souladu s obecně uznávaným předpokladem: i přes vyšší počáteční množství emisí z výroby je elektromobil šetrnější. Ojetý automobil začínající s „čistým štítem“ je elektromobilem nabíjeným ze sítě vyrovnán na vzdálenosti 65 000 km. Nový automobil je ironicky po většinu času ta nejméně ekologická varianta. Po necelém roce a půl ztrácí náskok, který měl z výrobních emisí. Ekologičnost solárních panelů se projeví již během 30 000 km neboli 18 měsících. Dále také potvrdilo, že po stránce celkových emisí je ekologičtější jezdit v méně ekologickém ojetém automobilu než kupovat nový. V tomto případě šlo o neekonomické BMW, a přesto to trvalo 110 000 km, než se moderní vůz stal ekologičtější. Pokud bychom zvolili ekologičtější ojetinu, tato hranice může být mnohem dále.

To samé samozřejmě platí i pro srovnání s elektromobilem, ale ten na druhou stranu má jednu výhodu. Klasický automobil se po dobu svého života ekologičtější nestane, ale nabíjení elektromobilu bude s nástupem obnovitelných zdrojů produkovat čím dál méně

zplodin. U emisí z výroby, ve kterých jsou i emise z produkce elektřiny potřebné při výrobě, bude trend podobný. Pokud bychom tedy uvažovali postupné klesání emisního faktoru a například instalace solárních panelů na střechu domu pár let po koupi elektromobilu, křivka takového elektromobilu by byla někde mezi křivkami elektromobilu nabíjeného ze sítě a toho nabíjeného z panelů.

Jaké jsou ale reálné výsledky z omezení vypouštění CO₂? Na tuto otázku se pokusili odpovědět v Kanadě pro Greater Toronto Hamilton Area, což je urbanizovaná oblast o velikosti Plzeňského kraje se sedmi miliony obyvateli. Dle jejich modelu nahrazení pouhých 20% osobních automobilů za elektrické varianty by dokázalo snížit množství ročně vypuštěných skleníkových plynů v této oblasti o 1,4 milionu tun, zabránilo by 63 úmrtím a ušetřilo by půl miliardy dolarů ročně. [48]

8. Vliv elektromobility na soustavu

8.1. Potřebný nárůst produkce

Jak bylo výše ukázáno, i nabíjení elektromobilu přímo ze sítě je ekologičtější, než normální automobil, a to se ani neuvažoval fakt, že vyprodukované zplodiny nejsou ve městě, což je přínos samo o sobě. Nicméně je logické, že nabíjení elektromobilu pálením uhlí není optimální stav. Po stránce ekologie je přijatelné řešení využití obnovitelných zdrojů energie (OZE).

Existuje více způsobů, jak určit roční spotřebu elektromobilu. První je použití roční spotřeby z provozního modelu. V současné době je v ČR registrováno 6 029 765 osobních automobilů. [49] Předpokládám 10% zastoupení elektromobilů z celkového počtu registrovaných osobních automobilů.

Navýšení roční spotřeby energie je potom rovno,

$$E_{rCelk} = \frac{E_{rBEV}}{\eta_{sítě}} \cdot Počet\ aut \cdot 0,1 = \frac{3982,8}{0,95} \cdot 6\,029\,765 \cdot 0,1 = 2\,527\,931\,373 [kWh]$$

$$= 2\,527,93 [GWh]$$

Druhý je ze statistiky ERÚ. V roce 2017 bylo 91 odběrných míst s tarifem specificky pro elektromobily D27d. Tato místa dohromady odebrala 157 MWh v nízkém tarifu. [50] To by znamenalo 1,73 MWh na elektromobil při předpokladu, že na jedno odběrové místo je jeden elektromobil nabíjený pouze nízkým tarifu. Po dosažení této roční spotřeby do výše zmíněné rovnice bychom dostali,

$$E_{rCelk} = 1\,098,1 [GWh]$$

Tato hodnota je spíše konzervativní vzhledem k tomu, že současné elektromobily nejsou pravděpodobně jediný osobní vůz v domácnosti. Skutečná roční spotřeba by s největší pravděpodobností byla někde uprostřed, takže i celková spotřeba by byla někde mezi těmito extrémami, ale pravděpodobně blíže té vyšší.

8.1.1. OZE

Koeficient ročního využití současných OZE je,

$$k_r = \frac{E_{rOZE}}{P_{inst} \cdot 8760} = \frac{9\,403\,700}{4\,152,9 \cdot 8\,760} = 0,258$$

Při dodržení stejného koeficientu využití by bylo potřeba instalovat OZE o výkonu,

$$\Delta P_{inst} = \frac{E_{rCelk}}{k_r \cdot 8760} = \frac{2\,527\,931}{0,258 \cdot 8\,760} = 1\,118,5 [MW]$$

Takovéto navýšení instalovaného výkonu není neproveditelný úkon. Jedná se přibližně o čtvrtinu současného instalovaného výkonu OZE.

Celková denní spotřeba těchto elektromobilů by v tomto modelu byla,

$$E_{dcelk} = \frac{E_{rCelk}}{365} = \frac{2\,527,9}{365} = 6,93 [GWh]$$

Současný energetický mix OZE ale již zahrnuje většinu možné produkce elektřiny z vody a biomasy. Větší místo pro růst je tedy pouze ve větrných a slunečních elektrárnách. Ty ale mají mnohem menší koeficient ročního využití. Ze zprávy ERÚ vychází pro současné solární elektrárny koeficient využití 0,13 a pro větrné elektrárny vychází 0,22. [50] Pokud uvažujeme jejich průměr o hodnotě 0,175 pro výpočet instalovaného výkonu, dostali bychom,

$$\Delta P_{inst} = 1\,649 [MW]$$

Samozřejmě tu je problém, že nemáme žádný způsob, jak uchovat takové množství energie. Problém těchto zdrojů je v jejich nepředvídatelnosti a nevhodné době produkce. Znamená to tedy, že při výstavbě OZE je potřeba postavit i nějaký způsob ukládání této energie. Řešení je spousta, ale ty nejznámější jsou přečerpávací elektrárny a bateriová úložiště.

Přečerpávací elektrárny v současnosti reprezentují drtivou většinu energetických úložišť převážně kvůli jejich relativní jednoduchosti. [51] Jejich největší problém jsou obtížné nároky na lokaci a příliš dlouhý čas výstavby (PVE Dlouhé stráně se stavěla 18 let).

Bateriová úložiště se začala stavět v posledních letech a vypadá to, že budou nutností pro jakýkoliv rozvoj obnovitelných zdrojů energie. Mohou se postavit víceméně kdekoli v jakékoliv velikosti, ale jejich cena za jednotku kapacity je pořád velmi velká stejně jako u elektromobilů. Jde prakticky o stejnou technologii jako baterie elektromobilů, takže se dá očekávat pokles ceny spjatý se zdokonalováním technologií a navýšením produkce. Nutnost těchto úložišť zvyšuje cenu instalace OZE. V současnosti to není nutnost, ale se zvyšujícím se instalovaným výkonem těchto zdrojů se elektrizační soustava bez úložišť neobejde. Velikost a výkon tohoto úložiště ale může být menší, než by se původně zdálo, protože některé OZE mohou fungovat i v noci, jako například biomasa či vodní elektrárny.

| Zastoupení elektromobilů | Celková roční spotřeba [GWh] | Celková denní spotřeba [GWh] | Nutný instalovaný výkon OZE [GW] | Maximální celkový nabíjecí výkon [GW] |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 10% | 2 527,9 | 6,93 | 1,65 | 2,3 |

Tabulka 12 Dopady na soustavu při 10% zastoupení elektromobilů

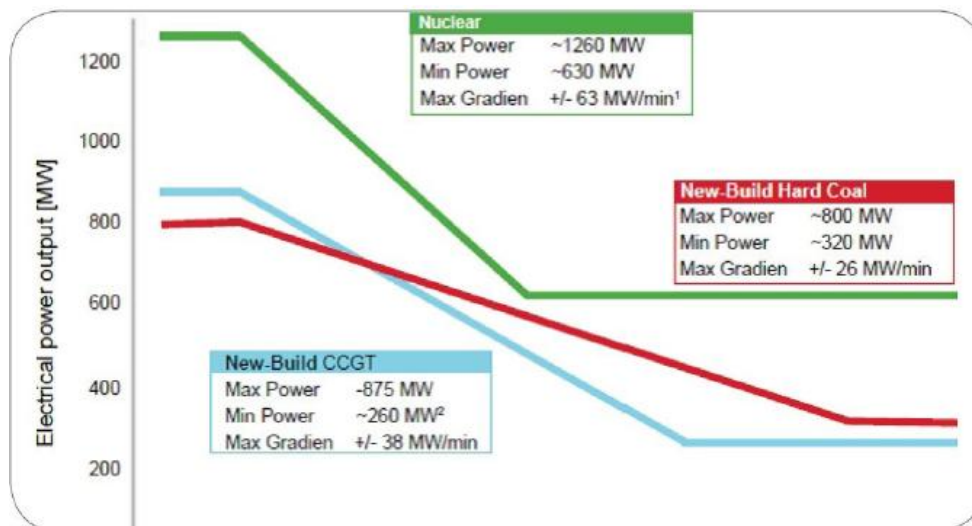
8.1.2. Jádru

Velmi předvídatelný nízký emisní zdroj energie jsou jaderné elektrárny. Jádro si s sebou nese špatnou pověst, nicméně je to v současnosti jediný nízký emisní zdroj energie, který je zároveň neproměnlivý a není závislý na geografii jako například vodní elektrárny. Pokud pomíneme stigma okolo jádra a jeho vnímaného nebezpečí (přestože jde statisticky o jeden ze zdaleka nejbezpečnějších zdrojů energie [52]), existují dva problémy s jadernou energií: astronomická cena výstavby a malá flexibilita.

Současné jaderné elektrárny jsou mnoha-miliardové projekty, jejichž výstavba trvá desetiletí. Mnoho nových projektů se ale zaměřuje na snížení ceny výstavby jaderných elektráren a na zvýšení bezpečnosti. Tyto nové reaktory jsou menší a budou moci být vyráběny sériově, což dramaticky snižuje cenu. [53]

Flexibilita na druhou stranu tak pádný argument není. Francie je z velké části poháněná jadernou energií a přibližně dvě třetiny z nich pracují ve flexibilním režimu. Ne každý současný reaktor dokáže měnit svůj výkon, ale ty které na to byly navrženy, dokážou změnit výkon o 3 až 5% nominálního výkonu za minutu. [54] Důvod proč současné jaderné elektrárny neregulují svůj výkon častěji je v celku jednoduchý. Náklady na výstavbu současných jaderných elektráren jsou tak vysoké, že snížení výkonu za účelem regulace sítě prostě ekonomicky nedává smysl. Je jednodušší snížit výkon uhelné elektrárny a nechat tu jadernou pracovat ve svém neekonomičtějším stavu.

Malé modulární reaktory schopné rychlé změny výkonu tedy vypadají jako více spolehlivý spolupracovník k OZE a jako dobrá náhrada uhelných elektráren. Sériová výroba a menší rozměry snižují jejich pořizovací cenu a nové designy reaktorů budou moci v reálném čase měnit svůj výkon.



Graf 6 Porovnání rychlosti změny výkonu jaderné, uhelné a paroplynové elektrárny

8.2. Posílení rozvodné sítě

Je tedy teoreticky vyřešené navýšení produkce, které elektromobilita požaduje. Jak ale přežije tento nárůst elektrizační soustava? Mnoho lidí se obává, že s nástupem elektromobility by došlo k destabilizaci sítě a nárůsty odběrů by způsobovaly výpadky proudu a tím pádem nutné obří investice do posílení distribuční a přenosové sítě.

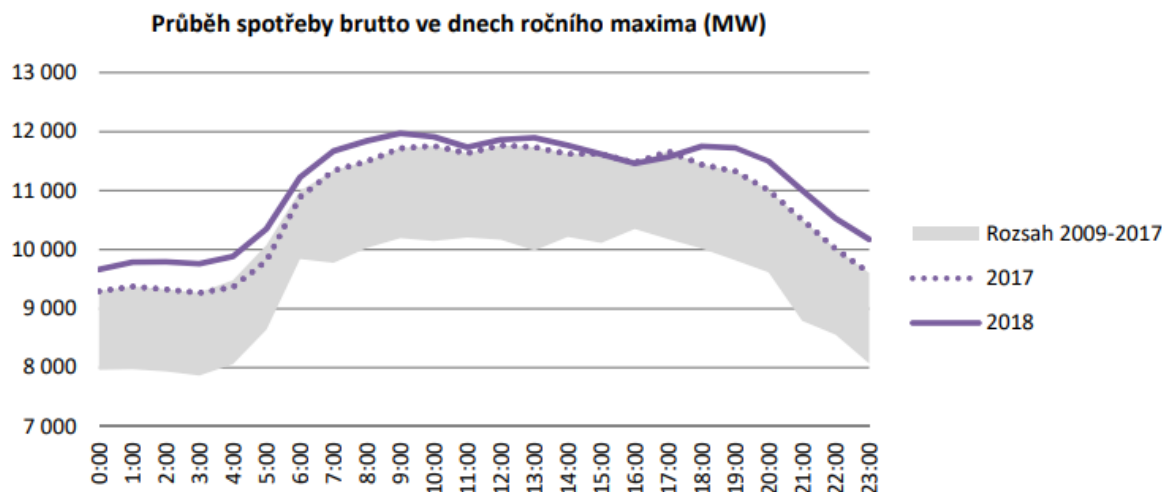
Adopce elektromobilů neproběhne během týdne, takže postupný nástup elektromobilů elektrárny nepřekvapí. Dále je také důležité si uvědomit, že elektromobily jsou velmi předvídatelné spotřebiče. Buď budou připojeny do sítě poté, co člověk přijede domů nebo když přijede do práce. Solární a větrné elektrárny k destabilizaci přispívají mnohem více. Oproti tomu přetížení soustavy je už legitimní obava, nicméně jak se pokusím ukázat níže, tento problém není tak závažný, jak se na první pohled jeví.

8.2.1. Lokální síť

Z pohledu jednotlivé domácnosti a distribuční soustavy by zřejmě velké revize nebyly potřeba. Jednotlivý elektromobil by sice odebíral standardních 5 kW, ale protože je nabíjen přes noc, výsledný odběr domu by v tento čas byl srovnatelný s normální večerní špičkou. Pokud nenabíjíme během večerní špičky ale skutečně v noci, není se zde čeho obávat, protože stejnou zátěž akorát v jiném čase lokální distribuční síť zvládá bez problému.

8.2.2. Vysokonapěťové sítě

Nastává otázka, co se stane s přenosovou soustavou, když všichni řidiči elektromobilů večer přijedou domů a dají nabíjet své elektromobily naráz. Použijí nejhorší scénář, tedy nejvytíženější den v roce. [50]



Graf 7 Průběh spotřeby energie během nejvytíženějšího dne roku

Dostupný výkon v nejméně vytíženém dni v roce je,

$$\Delta P = P_{Max} - P_{Min} = 11\,969 - 9\,666 = 2\,303 \text{ [MW]}$$

Maximální počet najednou připojených elektromobilů vychází na,

$$Max\ BEV_{Současné} = \frac{\Delta P}{P_{Nabíjení}} = \frac{2\,303\,000}{5} = 460\,600 \text{ [1]}$$

Toto je tedy maximální počet elektromobilů v ČR, kdy by ještě nebylo potřeba centrálně korigovat jejich nabíjení i v nejméně vytíženém dni v roce. Výše stanovených 10% tuto hodnotu přesahuje 1,3x. Prozatímní řešení je například systém hromadného dálkového ovládání (HDO). Samozřejmě konečné řešení je komunikace elektromobilu se sítí neboli Smart Grid.

Během tohoto dne minimální odběr P_{Min} trval po dobu přibližně 5 hodin. Přibližný maximální počet elektromobilů, které se stihnou nabít za noc, pokud by se řídilo jejich nabíjení je tedy,

$$Max\ BEV_{Noc} = \frac{\Delta P \cdot t}{E\ BEV_{Den}} = \frac{2\,303\,000 \cdot 5}{10,91} = 1\,055\,454 \text{ [1]}$$

Samozřejmě přenosová síť tento den nepracovala těsně na hranici blackoutu, takže by asi dokázala přenést víc a nabíjení by mohlo probíhat i v období, kdy spotřeba teprve klesá k nočnímu minimu. Časem možná bude nutno posílit specifické části sítě, ale celá síť jako taková by tedy nemusela projít totální přestavbou, jak se mnoho lidí obává.

Důležitým předpokladem je zde schopnost elektromobilů rozprostřít své nabíjení během celé noci, jinak by soustava začala kolabovat ještě před 10% zastoupením elektromobilů. S rozšiřováním elektromobilů tedy musí přijít šíření chytré sítě (smart grid), která by dokázala s elektromobily a jinými výkonnými spotřebiči komunikovat a jejich požadavky korigovat.

Součástí implementace elektromobilů do Smart grid by také přinesla možnost využití elektromobilů v systému Vehicle-to-grid (V2G), kde každý elektromobil funguje zároveň jako baterie a pomáhá stabilizovat síť. Pouhých 100 000 elektromobilů v systému V2G by vytvořilo bateriové úložiště o výkonu 500 MW (polovina jednoho jaderného bloku) s téměř instantním náběhem. Implementace smart grid a systému V2G by už ale vyžadovala postupné změny v soustavách od výměny starých elektroměrů za nové chytré obousměrné až po aktualizaci trafostanic a zavedení nového systému pro řízení této decentralizované sítě. Tyto změny by ale musely při současném rozvoji OZE proběhnou tak jako tak.

8.2.3. Osobní solární panely a úložiště

Velmi elegantní řešení je nabíjení přes vlastní solární panely. Nejen že jde o nabíjení elektromobilu „zadarmo“, ale zároveň tím není zatěžována elektrizační soustava. Pokud je instalovaný výkon panelů a instalovaná kapacita úložiště dostatečně velká, celý dům může dokonce fungovat nezávisle na síti. Solární panely a bateriové úložiště je optimální řešení pro jakoukoliv domácnost, ale obzvlášť tu s elektromobilem. Pro představu uvádím výpočet velikosti instalovaného výkonu solární elektrárny pro nabíjení elektromobilu z mého vypočítaného modelu.

Výpočet bude proveden nástrojem PVGHS (Photovoltaic Geographical Information System) dostupný na stránkách Evropské komise. [55] Zvolil jsem Solární panel DAH HCM60X9 330Wp, jehož parametry jsou v Příloze 2. Modelový dům bude rodinný dům v Jílovém u Prahy (přibližně 25km cesta do Prahy) orientovaný mírně na západ. Obecné parametry zadávané do nástroje a potřebné hodnoty pro výpočet plochy jsou uvedeny níže.

| Sklon střechy [°] | Azimut střechy [°] | Výkon jednoho panelu [W _p] | Rozměr jednoho panelu [mm] | Systémové ztráty [%] |
|-------------------|--------------------|--|----------------------------|----------------------|
| 35 | 30 | 330 | 1 686 x 1 002 | 20 |

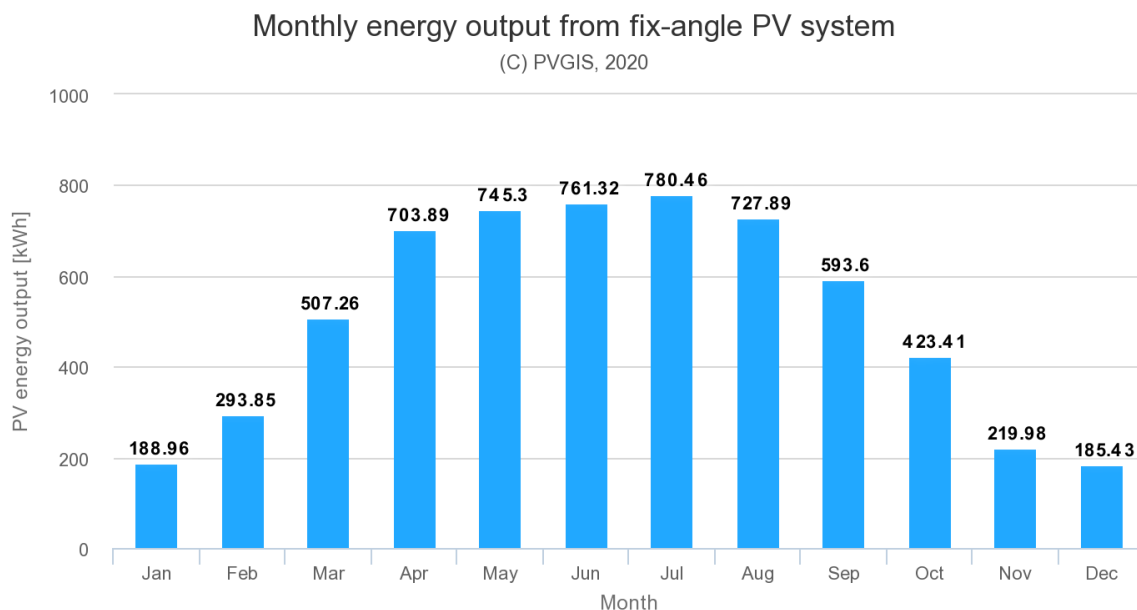
Tabulka 13 Parametry pro výpočet sluneční elektrárny

Kritérium pro určení velikosti instalovaného výkonu jsem stanovil jako schopnost úplného nabíjení elektromobilu minimálně 8 měsíců v roce. Měsíční spotřeba elektromobilu je 307,4 kWh. Minimálně pro 8 měsíců v roce musí platit vztah,

$$\text{Průměrná měsíční spotřeba BEV} < \text{Měsíční vyrobená energie} - \sigma_m$$

Kde σ_m - směrodatná odchylka měsíční produkce elektřiny

Toto kritérium splňuje fotovoltaická elektrárna o velikosti instalovaného výkonu 6,6 kW_p, což by odpovídalo 20 vybraným panelům. Takový počet takto velkých solárních panelů by se dal nainstalovat na většinu rodinných domů průměrné velikosti. Pokud by se například naskládali na střechu ve dvou řadách svisle po 8 a pod nimi dali zbylé 4 panely vodorovně, vyžadovaný půdorys střechy by byl 3,5 x 8 m. Průběh výroby elektřiny je uveden v grafu a ostatní podrobnosti vypočtené nástrojem PVGHS jsou v Příloze 3.



Graf 8 Měsíční produkce elektřiny zvolené elektrárny

| Instalovaný výkon [kW _p] | Plocha solárních panelů [m ²] | Plocha půdorysu střechy [m ²] | Minimální půdorys střechy pro zvolené uspořádání [m] |
|--------------------------------------|---|---|--|
| 6,6 | 33,787 | 27,677 | 8,016 x 3,583 |

Tabulka 14 Výsledná velikost a výkon instalovaných solárních panelů

Bohužel pro zprovoznění takového systému musí mít uživatel zaprvé dům, zadruhé dostatečně velký dům a zatřetí dostatek peněz. Ceny sice postupem času klesají, ale pořád jde o dost velkou investici. Každý kilowatt produkovaný ze slunce je ale kilowatt nevyprodukovaný pálením uhlí, takže i menší systém s menším úložištěm je lepší než žádný. Navíc i takovýto systém se dá připojit do smart grid, kde může jak produkovat energii pro síť, tak fungovat jako další část úložiště.

9. Závěr

Cílem této bakalářské práce je vytvořit model provozu elektromobilu a vyhodnotit jeho finanční a ekologickou stránku v porovnání s klasickým vozem se spalovacím motorem. Porovnával jsem hlavně elektromobil Škoda CITIGOe iV s dvěma různě vybavenými verzemi CITIGO se spalovacím motorem. Z výsledků vyšlo, že roční úspora z používání elektromobilu je mezi 25 000 – 40 000 Kč v závislosti na typu elektromobilu. Tyto hodnoty korelují s dobou návratnosti, která může být až 10 let a se zvyšující cenou vybíraného automobilu se postupně zkracuje až na 2 roky v případě porovnání mezi Teslou Model 3 a podobně vybaveným BMW řady 3. S ohledem na rychlost vývoje elektromobilů a na to, o jaký typ vozu jde, mi připadá 7 letá doba návratnosti u Škody CITIGOe iV příliš dlouhá.

Dále jsem porovnával množství vypuštěného CO₂ během provozu elektromobilu. Zde jsem srovnával elektromobil s novým automobilem a 10 let starou ojetinou. Započítal

jsem jak emise z výroby vozu, tak emise z produkce elektřiny pro případ elektromobilu, emise vycházející z výfuku za provozu a emise WTT v případě spalovacích automobilů. Elektromobil se i v tom nejhorsím případě do čtyř let ukázal jako nejekologičtější varianta. Model také potvrdil, že je do určité míry ekologičtější koupit ojetý vůz, než kupovat nový. V modelu šlo o 10 let starý, o třídu vyšší vůz a ekologičnost toho nového se projevila až po 5 letech.

Dále jsem se pokusil stanovit množství instalovaného výkonu a typy zdrojů nutné pro případ výměny 10 % osobních automobilů za elektromobily. Na úplném začátku nebudou nutné žádné velké zásahy do elektrizační soustavy, ale při postupném šíření elektromobility musí dojít k nutným změnám. Krom navýšení instalovaného výkonu a úložiště je první nutná změna centrální systém koordinace nabíjení, aby nedošlo k přetížení sítě a blackoutu. Konečným cílem je přetvoření sítě na Smart grid, kde krom velkých elektráren jsou i malé elektrárny a malá bateriová úložiště (do kterých patří i připojené elektromobily v režimu V2G), která jsou flexibilně implementovaná do elektrizační soustavy.

Oblast elektromobility je v současnosti obor procházející stálým vývojem. Tato bakalářská práce je psána v jakémsi přechodném období, kdy mnoho důležitých událostí nastane v následujícím jednom až dvou letech, které značně změní mnoho aspektů, na kterých jsou některá specifika této bakalářské práce závislá. Elektromobily klasických automobilek jsou v současnosti postavené na šasi spalovacích automobilů, což je neefektivní. První klasické automobilky jako Volkswagen již ale plánují vydat elektromobil postavený na nové platformě v krátkém horizontu jednotek měsíců, který by měl být mnohem kompetitivnější. Tesla mezitím plánuje na 22. září 2020 takzvaný „Battery day“, kde se očekává, že představí nové baterie s větší výdrží, které se dle všeho mají dostat pod hranici 100 \$/kWh. To je obecně uznávaná hranice, kde elektromobily dosáhnou cenové parity s klasickými automobily. Rozvoj nabíjecí infrastruktury mezitím ještě není schopen pokrýt velký rozvoj elektromobility, ale začínají projekty na její výstavbu, jako například PRE, která v současnosti po Praze instaluje nabíjecí stanice na budovy svých trafostanic. Tesla a společnosti jako IONITY pracují na rozšiřování sítě rychlonabíjecích stanic, které v případě Superchargerů již teď umožňují bezproblémové cestování po celé západní, střední Evropě a Skandinávii.

Citovaná literatura

- [1] LONGO, Michela, Federica FOIADELLI a Wahiba YAÏCI. Electric Vehicles Integrated with Renewable Energy Sources for Sustainable Mobility. ROMERAL MARTÍNEZ, Luis a Miguel DELGADO PRIETO, ed. *New Trends in Electrical Vehicle Powertrains* [online]. IntechOpen, 2019, 2019-1-30 [cit. 2020-01-29]. ISBN 978-1-78985-021-5. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/new-trends-in-electrical-vehicle-powertrains/electric-vehicles-integrated-with-renewable-energy-sources-for-sustainable-mobility>
- [2] THEAKSTON, Frank, ed. Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe [online]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, c2011, s. v [cit. 2020-01-29]. ISBN 978-92-890-0229-5. Dostupné z: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
- [3] PRUDY, W., Ken a Christopher FOSTER, G. Automobile. In: *Encyclopædia Britannica* [online]. Chicago (IL): Encyclopædia Britannica, 2020, 26.6.2020 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/automobile/Early-electric-automobiles>
- [4] Year 2 Report – Technical and Market Impact Case Study. *Aurecon* [online]. Melbourne: Aurecon, [2019], , 6 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.aurecongroup.com/markets/energy/hornsedale-power-reserve-impact-study>
- [5] MA, Youjie, Bin ZHANG a Xuesong ZHOU. An overview on impacts of electric vehicles integration into distribution network. In: *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 2065-2070 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1109/ICMA.2015.7237804. ISBN 978-1-4799-7097-1. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7237804/>
- [6] MANTHEY, Nora. 1,600 new electric car charge points for Berlin. In: *Electrive.com* [online]. Berlin: Rabbit Publishing, 2019 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2019/01/10/1600-new-electric-car-charge-points-for-berlin/>
- [7] Workplace Charging Scheme: guidance for applicants, chargepoint installers and manufacturers. In: *Gov.uk* [online]. 2020 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/workplace-charging-scheme-guidance-for-applicants-installers-and-manufacturers/workplace-charging-scheme-guidance-for-applicants-chargepoint-installers-and-manufacturers>
- [8] Official Journal of the European Union, L 307, 28 October 2014. In: *Eur-lex.europa.eu* [online]. European Union, 2014 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L:2014:307:FULL>
- [9] DOW, Jameson. 56% of Norway's new cars had a plug in 2019, Tesla Model 3 overall best-seller. *Electrek.co* [online]. 9to5 network, 2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://electrek.co/2020/01/03/56-norway-cars-plug-in-2019-tesla-model-3-best-overall/#adnr=900000>
- [10] HOLTENG, Pedro. E-Mobility in Norway. In: *Rvo.nl* [online]. Oslo: The Embassy of the Kingdom of the Netherlands in Norway, 2019, s. 10 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/04/E-Mobility%20in%20Norway%20-%20NL%20embassy%20Oslo.pdf>
- [11] FUSCALDO, Donna. China's Electric Vehicle Charging Posts Surpassed 1 Million in June. In: *Interestingengineering.com* [online]. Interesting Engineering, 2019 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/chinas-electric-vehicle-charging-posts-surpassed-1-million-in-june>
- [12] BLOMGREN, George E. The Development and Future of Lithium Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society* [online]. 2017, **164**(1), A5019-A5025 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1149/2.0251701jes. ISSN 0013-4651. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0251701jes>
- [13] HARLOW, Jessie E., Xiaowei MA, Jing LI, et al. A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies. *Journal of The Electrochemical*

- Society* [online]. 2019, **166**(13), A3031-A3044 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1149/2.0981913jes. ISSN 0013-4651. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0981913jes>
- [14] CHENG, Qian, Weiheng XU, Shiyi QIN, et al. Full Dissolution of the Whole Lithium Sulfide Family (Li₂S₈ to Li₂S) in a Safe Eutectic Solvent for Rechargeable Lithium–Sulfur Batteries. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2019, **58**(17), 5557-5561 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1002/anie.201812611. ISSN 1433-7851. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201812611>
- [15] CES 2020: A Big Leap of ProLogium's Solid-State Battery for EVs. In: *Prnewswire.com* [online]. Chicago (IL): PR Newswire, 2020 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.prnewswire.com/news-releases/ces-2020-a-big-leap-of-prologiums-solid-state-battery-for-evs-300980807.html>
- [16] LAMBERT, Fred. Nio might have figured out battery swap for electric cars as it completes 500,000 swaps. In: *Electrek.co* [online]. 9to5 network, 2020 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://electrek.co/2020/06/02/nio-battery-swap-electric-cars-completes-500000-swaps/>
- [17] KAMAT, Prashant V., Kirk S. SCHANZE a Jillian M. BURIK. Redox Flow Batteries. *ACS Energy Letters* [online]. 2017, **2**(6), 1368-1369 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1021/acseenergylett.7b00361. ISSN 2380-8195. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acseenergylett.7b00361>
- [18] RANDAL, Chriss. Leaf drivers complain of #rapidgate. In: *Electrive.com* [online]. Berlin: Rabbit Publishing, 2018 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2018/04/08/leaf-drivers-complain-of-rapidgate/>
- [19] BU-301a: Types of Battery Cells. In: *Batteryuniversity.com* [online]. Richmond: Cadex Electronics, 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells
- [20] Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. *Iec.ch* [online]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2017 [cit. 2020-03-26]. ISBN 978-2-8322-3766-3. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/33644&preview=1>
- [21] LAMBERT, Fred. Tesla is 'actively talking to other automakers' about opening up its Supercharger network, says CTO JB Straubel. In: *Electrek.co* [online]. 9to5 network, 2017 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://electrek.co/2017/06/19/tesla-supercharger-sharing-automakers/>
- [22] *IONITY.EU* [online]. Munich: IONITY, b.r. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://ionity.eu/en/where-and-how.html>
- [23] Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. In: *Eur-lex.europa.eu* [online]. European Union, 2014 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32014L0094>
- [24] BOYD, John. China and Japan Push for a Global Charging Standard for EVs. In: *Spectrum.ieee.org* [online]. New York (NY): Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/energywise/transportation/efficiency/a-global-charging-standard-for-evs>
- [25] *Pluglesspower.com* [online]. Evatran, b.r. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.pluglesspower.com/shop/>
- [26] NIU, Songyan, Haiqi XU, Zhirui SUN, Z.Y. SHAO a Linni JIAN. The state-of-the-arts of wireless electric vehicle charging via magnetic resonance: principles, standards and core technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2019, **114** [cit. 2020-04-04]. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109302. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119305106>
- [27] BOFFEY, Daniel. World's first electrified road for charging vehicles opens in Sweden. In: *Theguardian.com* [online]. London: Guardian Media Group, 2018 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2018/apr/12/worlds-first-electrified-road-for-charging-vehicles-opens-in-sweden>

- [28] *CITIGOe iV - Ceník* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://az749841.vo.msecnd.net/sitescszcz/alv1/a5fb0156-5ff9-404e-8d7f-5441be7d8344/citigo-iv-cenik.0fecb051119efb8d728483efecfde1a3.pdf>
- [29] *Opel Corsa-e - Ceník* [online]. Rüsselsheim am Main: Adam Opel, 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.opel.cz/vozidla/corsa-models/corsa-e/ke-stazeni.html>
- [30] *Tesla Model 3 - Ceník* [online]. Palo Alto (CA): Tesla, 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/model3
- [31] Firmy mohou získat podporu na rozšiřování nabíjecí infrastruktury a pořízení elektromobilů. In: *MPO.cz* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, 2019 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/aktualni-informace/firmy-mohou-ziskat-podporu-na-rozsirovani-nabijeci-infrastruktury-a-porizeni-elektromobilu--251128/>
- [32] HAUGNELAND, Petter, Erik LORENTZEN, Christina BU a Espen HAUGE. *Put a price on carbon to fund EV incentives – Norwegian EV policy success* [online]. Stuttgart: World Electric Vehicle Association, 2017 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://elbil.no/wp-content/uploads/2016/08/EVS30-Norwegian-EV-policy-paper.pdf>
- [33] *Federal Tax Credits for New All-Electric and Plug-in Hybrid Vehicles* [online]. Washington D.C.: United States Department of Energy, 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/taxevb.shtml>
- [34] NUSSBAUM, Ania. France to Raise Pollution Tax on SUVs and Trucks to \$22,240. In: *Bloomberg.com* [online]. New York City (NY): Bloomberg L.P., 2019 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-12-20/france-sharpens-offensive-against-suvs-by-raising-penalties>
- [35] *Reducing CO2 emissions from passenger cars - before 2020* [online]. Brussels: European Commission, 2019 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- [36] *Spotřební daň z benzínu a nafty* [online]. Praha: Kurzy.cz, spol. s r.o., 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kalkulacka/spotrebni-dan-benzin-nafta/>
- [37] Češi ročně ujedou deset až dvacet tisíc kilometrů. In: *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2013 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/cesi-rocne-ujedou-deset-az-dvacet-tisic-kilometru-77823>
- [38] Škoda CITIGO - Ceník. In: *Web.archive.org* [online]. San Francisco (CA): Internet Archive, 2019 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20190923095525/https://az749841.vo.msecnd.net/sitescszcz/alv1/5412eb68-1093-455b-a416-a410dc679b97/citigo-cenik.168440da041ed3ff165b630652013dd2.pdf>
- [39] 20 popular EVs tested in Norwegian winter conditions. In: *Naf.no* [online]. Oslo: Norges Automobil-Forbund, 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.naf.no/elbil/aktuelt/elbiltest/ev-winter-range-test-2020/>
- [40] VANDERWERP, Dave. This Is How Tesla Owners Geek Out on Their Cars' Data. In: *Caranddriver.com* [online]. Ann Arbor (MI): Hearst Communications, 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/news/a31945275/tesla-car-data-teslafi/>
- [41] Fuel Economy in Cold Weather. In: *Fueleconomy.gov* [online]. Washington D.C.: United States Department of Energy, b.r. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/coldweather.shtml>
- [42] 2019 Tesla Impact Report. In: *Tesla.com* [online]. Palo Alto (CA): Tesla, 2020 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.tesla.com/ns_videos/2019-tesla-impact-report.pdf
- [43] *Katalog náhradních dílů* [online]. Berlin: Wemax Group GmbH & Co.KG, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.euautodily.cz/katalog-nahradnichdilu>

- [44] S. Tsiakmakis, G. Fontaras, C. Cubito, J. Pavlovic a K. Anagnostopoulos. *From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO2 emissions of light-duty vehicles* [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 [cit. 2020-06-02]. DOI: 10.2760/93419. ISBN 978-92-79-71642-3. EUR 28724 EN. Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107662/kjna28724enn.pdf>
- [45] EDWARDS, Robert, Jean-François LARIVÉ, David RICKEARD a Werner WEINDORF. *WELL-TO-TANK Version 4.0. JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS* [online]. Version 4.0. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013 [cit. 2020-06-02]. DOI: 10.2788/40526. ISBN 978-92-79-31196-3. Dostupné z: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC82855/wtt%20report%20v4%20july%202013_final.pdf
- [46] 2019 Well-to-Tank Conversion Factors. In: *Lowcvp.org.uk* [online]. London: Low Carbon Vehicle Partnership, 2019 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.lowcvp.org.uk/Hubs/leb/TestingandAccreditation/WTTFactors.htm>
- [47] CO2 Intensity of Electricity Generation. In: *Eea.europa.eu* [online]. Copanhen: European Environment Agency, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation>
- [48] CLEARING THE AIR: How Electric Vehicles And Cleaner Trucks Can Reduce Pollution, Improve Health And Save Lives In The Greater Toronto And Hamilton Area. In: *Clearingtheair.ca* [online]. Toronto: Ontario Public Health Association, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://clearingtheair.ca/wp-content/uploads/2020/06/Clearing-The-Air-OPHA-EDC-Final.pdf>
- [49] Přehled stavu vozového parku. In: *Portal.sda-cia.cz* [online]. Praha: Svaz Dovozců Automobilů, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#str=vpp>
- [50] 2018 Roční zpráva o provozu ES ČR. In: *Eru.cz* [online]. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c
- [51] Pumped Hydro Energy Storage. In: *Eera-es.eu* [online]. Brussels: European Energy Research Alliance, 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://eera-es.eu/wp-content/uploads/2016/03/EERA_Factsheet_Pumped-Hydro-Energy-Storage.pdf
- [52] RITCHIE, Hannah. What are the safest sources of energy? In: *Ourworldindata.org* [online]. Oxford: Our World in Data, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>
- [53] COHEN, Ariel. China Enters Global Tech Race For Small Modular Nuclear Reactors. In: *Forbes.com* [online]. Jersey City (NJ): Forbes Media, 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2019/04/25/china-enters-global-tech-race-for-small-modular-nuclear-reactors/#3d0b189062b8>
- [54] FORATOM outlines flexible nuclear solution to intermittent renewable challenge. In: *Foratom.org* [online]. Brussels: Foratom, 2018 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.foratom.org/press-release/foratom-outlines-flexible-nuclear-solution-to-intermittent-renewable-challenge/>
- [55] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. Brussels: European Comission, b.r. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 Ekonomická bilance CITIGO..... | 25 |
| Graf 2 Ekonomická bilance Modelu 3 a BMW řady 3 | 26 |
| Graf 3 Citlivost proměnných spojených se spalovacím motorem..... | 27 |
| Graf 4 Citlivost proměnných elektromobilu..... | 27 |
| Graf 5 Emise CO2 v závislosti na ujeté vzdálenosti | 30 |
| Graf 6 Porovnání rychlosti změny výkonu jaderné, uhelné a paroplynové elektrárny..... | 34 |
| Graf 7 Průběh spotřeby energie během nejvytíženějšího dne roku | 35 |
| Graf 8 Měsíční produkce elektřiny zvolené elektrárny | 37 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Parametry elektromobilů..... | 19 |
| Tabulka 2 Zvolené ujeté vzdálenosti v provozním modelu | 21 |
| Tabulka 3 Ceny porovnávaných automobilů | 22 |
| Tabulka 4 Provozní parametry elektromobilu..... | 22 |
| Tabulka 5 Parametry spalovacích automobilů | 23 |
| Tabulka 6 Spotřeba a náklady na palivo porovnávaných vozidel..... | 24 |
| Tabulka 7 Cena a četnost servisních prací u spalovacího automobilu | 25 |
| Tabulka 8 Doba návratnosti jednotlivých srovnání | 27 |
| Tabulka 9 Parametry pro výpočet emisí z provozu | 28 |
| Tabulka 10 Srovnání ročních emisí pocházejících z provozu..... | 29 |
| Tabulka 11 Porovnání emisí z výroby vozidla..... | 30 |
| Tabulka 12 Dopady na soustavu při 10% zastoupení elektromobilů | 33 |
| Tabulka 13 Parametry pro výpočet sluneční elektrárny | 36 |
| Tabulka 14 Výsledná velikost a výkon instalovaných solárních panelů | 37 |

Seznam příloh

| | |
|--|----|
| Příloha 1 Produktový list solárního panelu DAH HCM60X9-330W 1/2..... | 46 |
| Příloha 2 Produktový list solárního panelu DAH HCM60X9-330W 2/2..... | 47 |
| Příloha 3 PVGIS Performance of grid-connected PV | 48 |

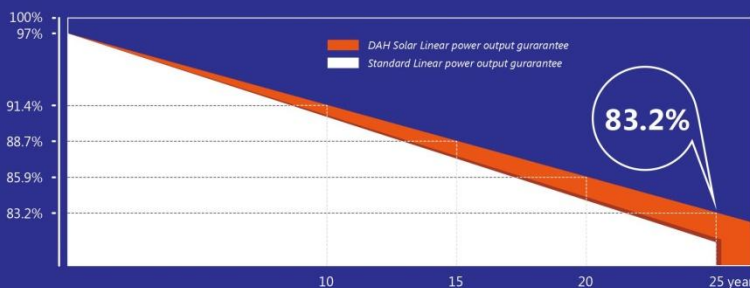
mono HCM60X9
325~345W

**Half-Cell
 High Efficiency
 PV Module**



Quality Guarantee

12-year material & technology warranty
 25-year linear power output warranty



20.42%
 Max Module Eff.

0~+5W
 Positive Tolerance

Performance Advantage

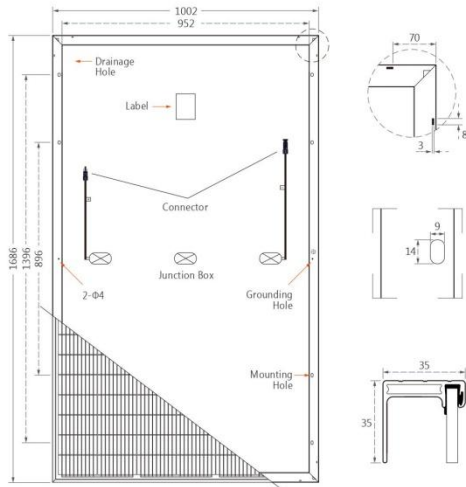
- > More Busbars, the Less of Broken and cracking, As the Narrowed Cell Bus Bar Width, the Light Receiving Area and Power are Increased too.
- > Half-Cell technology and back passivation technology, excellent photoelectric conversion efficiency.
- > Excellent low-light power generation performance, even if it is half blocked, there is still 50% power output.
- > Series-parallel combined circuit design, higher output power than conventional PERC.





Half-Cell High Efficiency PV Module **HCM60X9 325~345W**

Design



Mechanical Specification

| | |
|-------------------|---|
| Cells Type | Mono 158.75×79.375mm |
| Weight | 19kg |
| Dimension (L×W×T) | 1686×1002×35mm |
| Cable | 4.0mm ² ; Portrait: N 400mm/P 300mm, Landscape: N 1200mm/P 1200mm |
| No. of Cells | 120 (6×20) |
| Glass | 3.2 mm High Transmission, Antireflection Coating |
| Junction box | IP68, 3 Bypass Diodes |
| Connector | QC4 or MC4 Compatible |
| Packing | 30pcs/pallet, 360pcs/20GP, 845pcs/40HQ |

Operating Parameters

| | |
|------------------------------------|----------------|
| Maximum system voltage | 1000V/1500V DC |
| Operating Temperature | -40 ~ +85°C |
| Maximum series fuse rating | 20A |
| Snow load, frontside | 5400Pa |
| Wind load, backside | 2400Pa |
| Nominal operating cell temperature | 45°C±2°C |
| Application level | Class A |

Electrical Characteristics(STC)

| Module Type | HCM60X9-325W | HCM60X9-330W | HCM60X9-335W | HCM60X9-340W | HCM60X9-345W |
|---------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Maximum Power (Pmax) | 325W | 330W | 335W | 340W | 345W |
| Open-circuit Voltage (Voc) | 40.4V | 40.6V | 40.8V | 41.0V | 41.2V |
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 33.5V | 33.7V | 33.9V | 34.1V | 34.3V |
| Short-circuit Current (Isc) | 10.27A | 10.33A | 10.39A | 10.46A | 10.53A |
| Maximum Power Current (Imp) | 9.71A | 9.80A | 9.89A | 9.98A | 10.06A |
| Module Efficiency (%) | 19.24% | 19.53% | 19.83% | 20.13% | 20.42% |
| Power Tolerance | 0~+5W | | | | |
| Temperature Coefficient of Isc | 0.05%/°C | | | | |
| Temperature Coefficient of Voc | -0.29%/°C | | | | |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.37%/°C | | | | |
| Standard Test Environment | Irradiance 1000w/m ² , Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5 | | | | |

Electrical Characteristics(NOCT)

| Module Type | HCM60X9-325W | HCM60X9-330W | HCM60X9-335W | HCM60X9-340W | HCM60X9-345W |
|-----------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Maximum Power (Pmax) | 245W | 249W | 253W | 257W | 261W |
| Open-circuit Voltage (Voc) | 39.4V | 39.7V | 40.1V | 40.4V | 40.7V |
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 32.1V | 32.4V | 32.7V | 33.0V | 33.3V |
| Short-circuit Current (Isc) | 8.11A | 8.18A | 8.22A | 8.28A | 8.32A |
| Maximum Power Current (Imp) | 7.63A | 7.69A | 7.74A | 7.79A | 7.84A |
| Standard Test Environment | Irradiance 800w/m ² , Cell temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s | | | | |



Příloha 2 Produktový list solárního panelu DAH HCM60X9-330W 2/2



Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

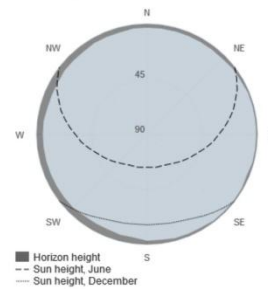
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 49.893, 14.489
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 6.6 kWp
 System loss: 20 %

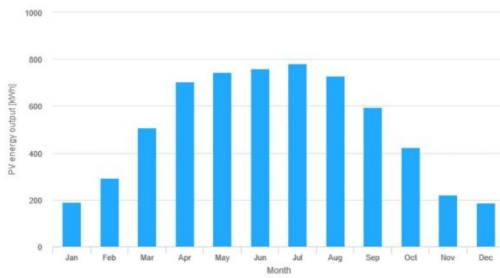
Simulation outputs

Slope angle: 35 °
 Azimuth angle: 30 °
 Yearly PV energy production: 6131.33 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1250.95 kWh/m²
 Year-to-year variability: 261.24 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -3.15 %
 Spectral effects: 1.64 %
 Temperature and low irradiance: -5.7 %
 Total loss: -25.74 %

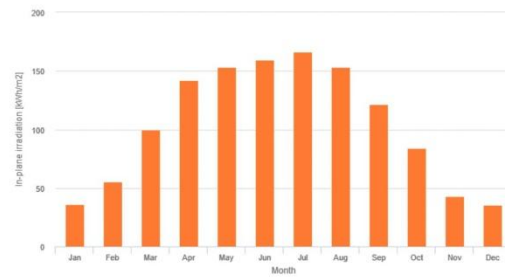
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

| Month | E_m | H(i)_m | SD_m |
|-----------|-------|--------|-------|
| January | 189.0 | 36.0 | 58.8 |
| February | 293.9 | 55.7 | 67.8 |
| March | 507.3 | 99.4 | 111.3 |
| April | 703.9 | 142.2 | 120.9 |
| May | 745.3 | 153.0 | 109.4 |
| June | 761.3 | 159.7 | 49.2 |
| July | 780.5 | 166.5 | 86.7 |
| August | 727.9 | 153.6 | 76.0 |
| September | 593.6 | 121.7 | 89.2 |
| October | 423.4 | 84.4 | 97.5 |
| November | 220.0 | 43.2 | 51.0 |
| December | 185.4 | 35.7 | 34.0 |

E_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.
 However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 This information is:
 i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity,
 ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date,
 iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility,
 iv) not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).



PVGIS ©European Union, 2001-2020.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2020/07/13