

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektromobilita – koncepce pro domácnost

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin MYŠÁK**
Osobní číslo: **E17B0034P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Elektromobilita – koncepce pro domácnosti**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování

Předmětem bakalářské práce je představit strategický plán EU v nastavení emisních limitů v blízkém horizontu. Charakterizovat výhody elektromobilu v porovnání s konvenčními vozy. Představit vizi dopravy bez fosilních paliv. Uvést možnosti dobíjecích stanic pro domácnosti s posouzením dopadu na stávající elektroinstalaci a změnu odběrového diagramu s možnou kombinací vlastních obnovitelných zdrojů.

1. Zpracujte rešerši s emisní legislativou dopravních prostředků.
2. Uveďte parametry osobních EV a porovnejte s konvenčními vozy.
3. Rozvedte použití domácích nabíjecích stanic a dopad na odběrový diagram.
4. Proveďte návrh přípojky a jisticích prvků pro domácnost s nabíjecí stanicí.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Student si vyhledá vhodnou literaturu v dostupných pramenech dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vít Krejčí**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá současným trendem v oblasti dopravy – elektromobilitou. Je zde popsán princip elektromobilu a jeho hlavních komponent, porovnání vlastností oproti klasickým vozidlům se spalovacím motorem a důvody, proč vozidlová přeprava (doprava) na tuto technologii postupně přechází. Ve druhé části je zmíněn základní popis a rozdělení nabíjecích stanic. Rovněž je zde představen dopad na odběrový diagram elektřiny, jenž bude nutné energeticky pokrýt, s čímž do budoucna souvisí odlišné rozložení energetických zdrojů i v rámci České republiky. Poslední část práce se věnuje možným způsobům dobíjení elektromobilů v soukromém sektoru, praktickému návrhu přípojky a jistících prvků pro domácnost s vlastní nabíjecí stanicí. S nástupem elektromobility úzce souvisí využívání obnovitelných zdrojů energie a vznik chytrých domácností, což ukazuje, jakým směrem se mohou rezidenční zóny do budoucna ubírat.

Klíčová slova

elektromobilita, nabíjecí stanice, akumulátory, fotovoltaické panely, elektrická přípojka, odběrový diagram domácnosti, dokovací parkování

Abstract

The bachelor's thesis deals with a new trend in the field of transport - electromobility. It describes the principle of the electric car and its main components, a comparison of properties compared to conventional vehicles with internal engines and the reasons why vehicle transport is gradually switching to this technology. The second part mentions the basic description and division of charging stations. It also presents the impact on the electricity consumption diagram, which will need to be covered by energy, which is related to the different distribution of energy sources within the Czech Republic in the future. The last part of the work deals with possible ways of recharging electric cars in the private sector, the practical design of the connection and safety elements for households with their own charging station. Closely related to the advent of electromobility is the use of renewable energy sources and the emergence of smart homes, which shows the direction in which residential zones can move in the future.

Key words

electromobility, charging station, batteries, photovoltaic panels, electrical connection, household consumption diagram, docking parking

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 17.6.2020

Martin Myšák

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Vítovi Krejčímu za vedení mé bakalářské práce, věcné připomínky a cenné rady.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ELEKTROMOBILITA	12
1.1 KONVENČNÍ VOZY	12
1.1.1 <i>Spalovací motor</i>	12
1.2 ELEKTRICKÉ VOZY	12
1.2.1 <i>Pohonná jednotka</i>	13
1.2.2 <i>Měniče napětí</i>	14
1.2.3 <i>Akumulátory</i>	14
1.2.4 <i>Nabíjení elektrických vozidel</i>	20
1.3 POROVNÁNÍ KONVENČNÍCH A ELEKTRICKÝCH VOZIDEL	21
1.3.1 <i>Porovnání účinnosti</i>	21
1.3.2 <i>Porovnání maximálního dojezdu</i>	23
1.3.3 <i>Porovnání servisní náročnosti</i>	24
1.4 STRATEGICKÝ PŘESUN K ELEKTROMOBILITĚ.....	24
1.5 NAŘÍZENÍ EVROPSKÉ UNIE	25
1.6 POHLED NA PROBLEMATIKU EMISÍ	26
1.7 VIZE BEZ FOSILNÍ DOPRAVY	27
2 NABÍJECÍ STANICE	29
2.1 SLOŽENÍ NABÍJECÍ STANICE	29
2.1.1 <i>Spojení s elektromobilem</i>	29
2.1.2 <i>Nabíjecí bod</i>	31
2.1.3 <i>Nabíjecí stanice</i>	31
2.1.4 <i>Nabíjecí stanoviště</i>	31
2.2 ROZDĚLENÍ NABÍJECÍCH STANIC	32
2.2.1 <i>Podle charakteru proudu</i>	32
2.2.2 <i>Podle rychlosti</i>	33
2.3 SMART NABÍJENÍ	36
2.4 DOPAD NA ODBĚROVÝ DIAGRAM V SÍTI.....	37
2.5 ENERGETICKÝ VÝHLED ČR	38
3 NÁVRH DOMOVNÍ INSTALACE	40
3.1 ZPŮSOBY NABÍJENÍ.....	40
3.1.1 <i>Nabíjení ze zásuvky</i>	40
3.1.2 <i>Nabíjení z veřejného osvětlení</i>	41
3.1.3 <i>Nabíjecí stanice</i>	42
3.1.4 <i>Nouzové napájení domácnosti</i>	43
3.2 DOMOVNÍ INSTALACE.....	45
3.3 VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ.....	49
3.4 DOPAD NA ODBĚROVÝ DIGRAM DOMÁCNOSTI.....	50
ZÁVĚR	53
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55
PŘÍLOHY	60
PŘÍLOHA A: <i>DOMOVNÍ INSTALACE</i>	60
PŘÍLOHA B: <i>SCHÉMA ROZVADĚČE</i>	61

Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na aktuálně vzrůstající globální trend alternativního způsobu dopravy včetně elektromobility jakožto hlavního „staronového“ lídra v osobní přepravě cestujících. S postupným snižováním fosilních zásob a problematikou globálního oteplování se elektromobilita, jako přední zástupce alternativní dopravy, jeví jako směr, jakým se doprava bude vyvíjet. Elektro doprava je stále „na počátku“ a nadále jí čeká vývoj a růst, kdežto spalovací motory svého vrcholu již dosáhly a jejich vývoj je velmi obtížný. S dalším vývojem elektromobility může jít ruku v ruce princip autonomního bezpilotního řízení vozidel, což by zcela změnilo podstatu dopravy jako takové. V současnosti mezi hlavní limitující faktory pro velkoplošné nasazení elektrovozidel patří kapacita akumulátorů, s čímž souvisí kratší dojezd, a rozvinutost nabíjecí sítě. Elektrické dopravní prostředky představují dokonalý způsob dopravy vhodný do městského provozu. Elektromobily vykazují nulové lokální emise a hluk. V městské zástavbě je síť dobíjecích míst rozvinutější a z důvodu kratších ujetých vzdáleností není limitující dojezd. Elektromotor pracuje s vyšší účinností (a v efektivních otáčkách pomocí měniče) oproti spalovacímu, tudíž je jeho provoz efektivnější a ekonomičtější oproti spalovacím motorům. Každodenní provoz vozidla je nastaven v mnoha případech na dobíjení elektromobilu v domácnosti. S tím souvisí návrh a přizpůsobení domovní instalace, která nyní musí počítat s novým odběrem v podobě nabíjecí stanice. Pro snížení provozních nákladů elektromobilu (zejména elektřiny) se nabízí využití fotovoltaických panelů v domovní instalaci. Zvyšování počtu těchto malých lokálních obnovitelných zdrojů elektřiny má vliv na provoz a řízení elektrizační soustavy, která musí být na tuto skutečnost připravena. S rozvojem elektromobility se rovněž změní i odběrový diagram, jelikož se zvýší odběr elektřiny v dopoledních a převážně odpoledních hodinách, kdy se značná část pracujících osob vrací domů ze zaměstnání.

Seznam symbolů a zkratek

<i>I</i>	<i>elektrický proud (A)</i>
<i>I_i</i>	<i>indukovaný elektrický proud (A)</i>
<i>P_{max}</i>	<i>Maximální činný výkon (W)</i>
<i>U</i>	<i>Elektrické napětí (V)</i>
<i>U_i</i>	<i>Indukované elektrické napětí (V)</i>
<i>AC</i>	<i>Alternating current – střídavý proud</i>
<i>BMS</i>	<i>Battery management system – systém správy baterií</i>
<i>CAN</i>	<i>Controller area network – oblast řídicí sítě</i>
<i>CCS</i>	<i>Combined charging system – kombinovaný nabíjecí systém</i>
<i>CLM</i>	<i>Current loop measuring – měřicí proudová smyčka</i>
<i>CNG</i>	<i>Compressed natural gas – stlačený zemní plyn</i>
<i>CO</i>	<i>Oxid uhelnatý</i>
<i>CO₂</i>	<i>Oxid uhličitý</i>
<i>CP</i>	<i>Control pilot – signalizace po přiložení</i>
<i>DC</i>	<i>Direct current – stejnosměrný proud</i>
<i>DOD</i>	<i>Depth of discharge – hloubka vybití</i>
<i>EMS</i>	<i>Energy management system – systém správy energie</i>
<i>GaN</i>	<i>Gallium Nitrid</i>
<i>HDO</i>	<i>Hromadné dálkové ovládání</i>
<i>HEV</i>	<i>Hybrid electric vehicle – hybridní elektrické vozidlo</i>
<i>HEXFET</i>	<i>Hexagonal field effect transistor – transistor s účinkem hexagonálního pole</i>
<i>CHAdEMO</i>	<i>Charge de move – nabít pro pohyb</i>
<i>IGBT</i>	<i>Insulated gate bipolar transistor – bipolární tranzistor s izolovaným hradlem</i>
<i>L</i>	<i>Line – fáze</i>
<i>LCD</i>	<i>Liquid crystal display – displej z tekutých krystalů</i>
<i>Li-Ion</i>	<i>Lithium-Iont</i>
<i>LPG</i>	<i>Liquified petroleum gas – zkapalněný ropný plyn</i>
<i>M</i>	<i>Motor</i>
<i>MOSFET</i>	<i>Metal oxide semiconductor field effect transistor – polem řízený tranzistor</i>
<i>N</i>	<i>Neutral – nulový vodič</i>
<i>Ni-MH</i>	<i>Nikl-metalhydrid</i>
<i>NO_x</i>	<i>Obecný název pro oxidy dusíku</i>
<i>OCPP</i>	<i>Open charge point protocol</i>
<i>PCS</i>	<i>Power control system – kontrolní systém energie</i>
<i>PHEV</i>	<i>Plug-in hybrid electric vehicle</i>
<i>PE</i>	<i>Protective earth – zemnicí vodič</i>
<i>PEN</i>	<i>Protective earth neutral – nulovací vodič</i>
<i>PP</i>	<i>Proximity pilot – signalizace před připojením</i>
<i>PR</i>	<i>Podružný rozvaděč</i>
<i>R</i>	<i>Relé</i>
<i>SOC</i>	<i>State of Charge – stav nabití</i>
<i>SIM</i>	<i>Subscriber identity module – identifikační modul uživatele</i>
<i>SP</i>	<i>Spínač</i>
<i>SV</i>	<i>Světelný okruh</i>
<i>V2G</i>	<i>Vehicle to grid – vozidlo do sítě</i>

V2H..... Vehicle to home – vozidlo do domu
V2X..... Vehicle to everything – vozidlo do čehokoliv
WLAN Wireless local area network – oblast lokální bezdrátové sítě
Z..... Zásuvkový okruh

1 Elektromobilita

Tato kapitola bakalářské práce se věnuje stručnému popisu a principu elektromobilu, důvodům k jeho nasazení v rámci přepravy a porovnáním vlastností oproti běžnému vozidlu se spalovacím motorem.

1.1 Konvenční vozy

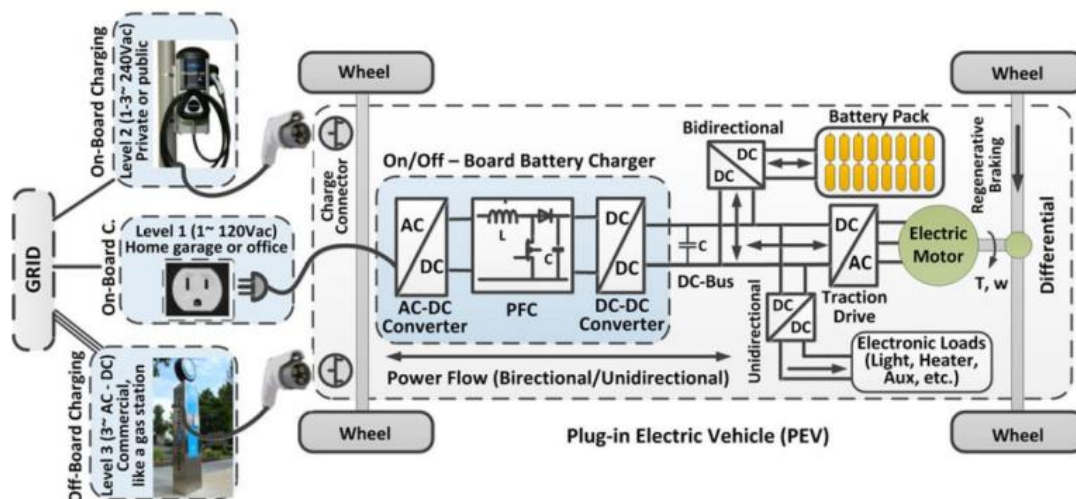
U konvenčních vozů se využívá spalovací motor využívající primárně naftu nebo benzín, ale v menším měřítku také i alternativní pohonné hmoty založené na ropných derivátech, jako jsou CNG nebo LPG.

1.1.1 Spalovací motor

Jedná se o tepelný stroj, který přeměňuje část vnitřní energie uvolněnou spalováním paliva na mechanickou energii [1]. V případě spalovacího motoru je pracovním médiem plyn, který vzniká uvnitř motoru hořením paliva. V motorech pro osobní automobily je využíván čtyřtákní proces, který se skládá ze čtyř dílčích procesů. Dílčí procesy se nazývají sání, komprese, expanze a výfuk. Jedná se o periodicky opakující se děj. V osobních automobilech se používají především dva druhy spalovacího motoru, tj. zážehový motor nebo vznětový motor. Zážehový motor využívá směs vzduchu s benzinem, která se přivede do pracovní oblasti válce a pomocí přivedeného vnějšího výboje se zapálí. U vznětových motorů dochází k větší kompresi vzduchu stlačeného na zápalnou teplotu v pracovním válci a po vstříknutí paliva (nafty) se směs vznítí. [1]

1.2 Elektrické vozy

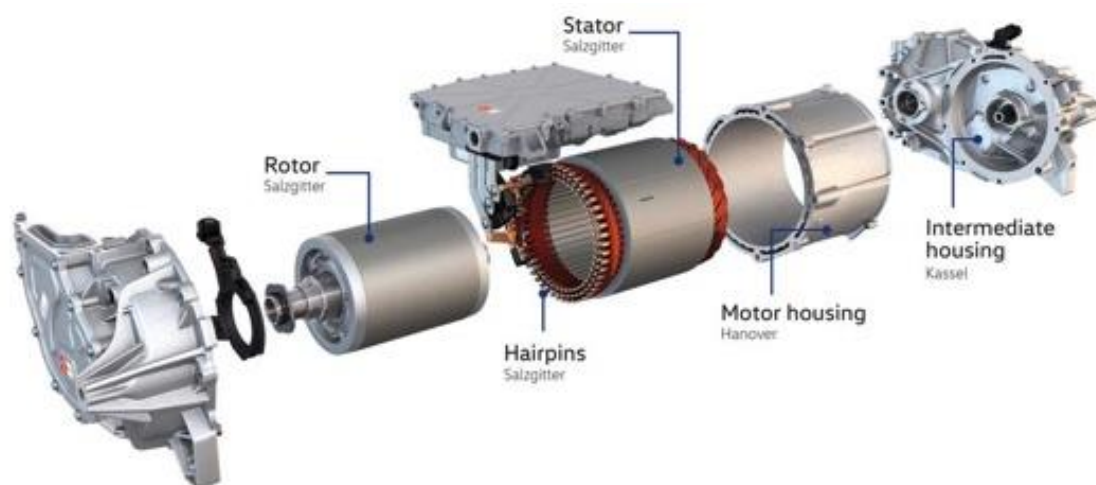
Základní struktura elektromobilu je uvedena na obrázku (obr. č. 1). V následující kapitole jsou rozebrány hlavní dvě konstrukční části elektrického vozidla, tedy akumulátory, ve kterých je uchována elektrická energie, a pohonná jednotka, která tuto formu energie přeměňuje na mechanickou umožňující pohyb vozidla skrz mechanické soustrojí.



Obr. č. 1 - Schéma pohonu a nabíjení elektromobilu [2]

1.2.1 Pohonná jednotka

Hlavní částí pohonné jednotky je elektrický motor, který je konstrukčně výrazně jednodušší než motor spalovací. Motor je tvořen dvěma základními částmi, tedy státorem a rotorem. Stator je tvořen cívkami a v případě, že těmito cívkami protéká elektrický proud, vzniká statorové otáčivé magnetické pole. Toto pole roztáčí rotor. V elektromobilech se používají dva typy elektrických motorů. Jedná se buď o elektromotor synchronní s permanentními magnety, nebo o elektromotor asynchronní s klecovou kotvou. U synchronního motoru je právě rotor tvořen silnými permanentními magnety a toto pole rotoru se otáčí synchronně s magnetickým polem statoru. Rotor u asynchronního motoru je magnetizován přívodem elektrického proudu, a z tohoto důvodu se pole rotoru otáčí se zpožděním vůči poli statoru, tedy asynchronně. [3]



Obr. č. 2 - Složení elektromotoru [3]

1.2.2 Měníče napětí

Elektromobil disponuje množstvím komponent, které vyžadují rozdílné hladiny napájecího napětí, a proto se zde nachází několik měničů napětí. Pro usměrnění střídavého napětí z elektrické sítě se zde nachází palubní AC-DC měnič a následně DC-DC měnič, který upravuje usměrněné napětí na požadovanou hladinu pro vysokonapěťovou sběrnici, která tvoří hlavní páteř pro přenos energie. V případě stejnosměrného napájecího napětí ze sítě není AC-DC měnič využit.

Před bateriovým úložištěm se nachází DC-DC měnič, který upravuje stejnosměrné napětí z baterií. Použití obousměrného typu měniče, čímž disponuje většina elektromobilů, přináší některé výhody. Tento druh zvyšuje napětí z bateriového úložiště, čímž snižuje proudové a přídatné ztráty, což znamená použití menšího počtu bateriových článků pro dosažení vysokonapěťové úrovně a v konečném důsledku to vede ke snížení celkové hmotnosti a nákladů. Rovněž usnadňuje zajištění zpětného toku energie do bateriového úložiště během rekuperačního brzdění. [4]

Trakční měnič upravuje stejnosměrné napětí z bateriového úložiště podle pokynů řídicího algoritmu pro pohonnou jednotku a z důvodu, že se obvykle jedná o střídavý trojfázový elektromotor, má podobu trojfázového střídače v převážné většině s IGBT tranzistory jako výkonovými součástky. Na jeden elektromotor připadá jeden trakční měnič. [2]

Palubní DC-DC měnič slouží k napájení palubní sítě o napěťové hladině 12 V nebo 24 V z trakční baterie a plní funkci jako alternátor v konvenčních vozidlech. Palubní síť pro napájení součástí, jako je řídicí systém pohonu, palubní baterie nebo posilovače brzd a řízení. Pro zmenšení rozměrů a hmotnosti měnič operuje na vysokých kmitočtech, v řádech stovek kHz, a z důvodu dosažení těchto hodnot je za potřeby použít moderní polovodičové součástky, jako je například GaN nebo HEXFET vycházející z MOSFETu. [2]

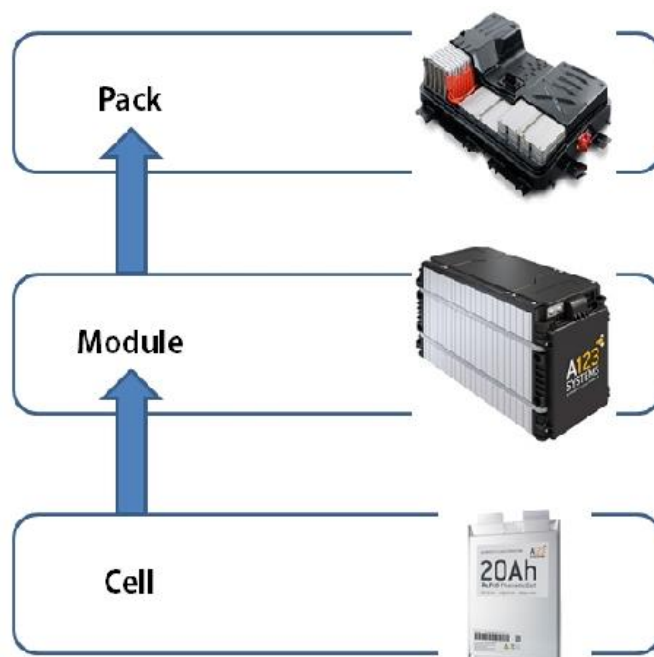
1.2.3 Akumulátory

Akumulátory jsou nezbytnou součástí elektrických vozidel. Jedná se o komponentu, která stanovuje dojezd elektrického vozidla. U akumulátorů jsou podstatné parametry, jako je kapacita, počet nabíjecích cyklů, hmotnost, provozní teploty a bezpečnost. Kapacita akumulátorů elektrických vozidel se s postupným vývojem zvětšuje. Toto je řešeno pomocí tzv. zahušťování, což v konečném důsledku znamená, že rozměrově stejný akumulátor má větší kapacitu, ale zároveň i vyšší hmotnost. Ta s sebou přináší zvýšené nároky na brzdy, na

druhou stranu jsou baterie ukládány v podvozku, tím dojde ke snížení těžiště vozidla vedoucí ke zlepšení jízdních vlastností například při manévrech. Jeden kilogram benzínu je schopen vydat 12 kWh energie a současné akumulátory jsou schopny vydat na jeden kilogram maximálně 170 Wh energie. Avšak v budoucnosti se předpokládá dosažení energetické hustoty až 300 Wh/kg. Pro představu akumulátory elektromobilu Tesla S váží 600 kg a mají kapacitu 100 kWh. Toto množství energie stačí Tesle S na ujetí maximálně 500 kilometrů. Automobil se spalovacím naftovým motorem potřebuje na ujetí stejné vzdálenosti přibližně 25 litrů nafty, což přibližně odpovídá 20,5 kg. Zde je patrný značný nepoměr hmotnosti vůči vydanému výkonu. [5]

Při vývoji elektromobilů byly použity různé druhy akumulátorů. Jako příklad lze uvést niklmetalhydridový akumulátor (Ni-MH). V současné době je používán lithioiontový akumulátor (Li-Ion) ve všech elektrovozidlech. Důvodem vítězství tohoto druhu akumulátoru spočívá v tzv. Beketově řadě kovů. Z této řady lze zjistit, že lithium dosahuje nevyššího záporného potenciálu. Například nikl dosahuje záporného potenciálu přibližně 0,25 V, olovo ještě o něco méně. Lithium dosahuje zhruba 3 V a v kombinaci s uhlíkem lze dosáhnout až 3,6 V, což v konečném důsledku znamená snížení počtu i rozměrů jednotlivých článků oproti jiným typům akumulátorů. [5] [6]

Baterie na bázi lithia mají tedy lepší energetickou hustotu než ostatní srovnatelné úložiště elektriny, ale v případě poruchy představují nebezpečí v podobě možného požáru, deflagrace nebo výparu jedovatých plynů. Jeden akumulátorový článek Li-Ion baterie dosahuje v závislosti na použitém materiálu přibližně 3,6 V. Obecně platí, že řazení článků do série vede ke zvýšení napětí, ale pro dosažení vyšší kapacity se využívá paralelní kombinace. Jejich sérioparalelní kombinace vytváří jeden bateriový modul. Sériová a paralelní konfigurace těchto modulů, které jsou v sarkofágu podvozku vozidla spojeny s veškerou kabelovou instalací, ochrannými pojistkami a ventily, vytváří výsledné bateriové úložiště. Tato konfigurace je graficky znázorněna na obrázku (obr. č. 4).



Obr. č. 3 - Uspořádání bateriových článků v elektromobilu [37]

Mezi obvykle využívanou napěťovou úroveň patří 400 V, ale za účelem dosažení větších výkonů a zároveň zkrácením dobíjecích času se využívají i vyšší napěťové hladiny. Výsledné bateriové úložiště je pak popsáno několika parametry. [7]

Prvním parametrem je kapacita, udávaná v (Ah), určena součtem kapacit jednotlivých sérii. Dalšími důležitými údaji jsou jmenovité napětí (V), maximální proud (A) určující maximální možné stálé zatížení, které nezpůsobí poškození baterie. Neopomenutelnými parametry jsou SOC (%) a DOD (Ah). SOC udává podíl aktuálního náboje ku maximálnímu možnému náboji baterie. DOD určuje množství odebrané energie vybíjecího cyklu. Tyto baterie rovněž disponují systémem BMS, který garantuje správný chod, a optimalizuje její výkon. Tento systém sleduje hodnoty proudu, napětí a teploty a zároveň chrání v případě vzniku stavu podpětí, přepětí anebo přetížení. Rovněž zajišťuje komunikaci článků s řídicí jednotkou.[2] [7]

V případě poklesu kapacity pod 80 %, je akumulátor na konci svého pracovního cyklu a je nutné s ním dále určitým způsobem naložit. Jedou z možných variant je prodloužení jeho životnosti tzv. „second – life“ použitím v odlišných aplikacích, především jako stacionární zdroje elektrické energie, které mohou sloužit jako úložiště elektrické energie pro solární panely nebo pokrývat špičky odběru elektrické energie. Avšak bez ohledu na to, zda budou baterie opětovně použity, či nikoliv, bude nakonec zapotřebí jejich recyklace. Ta slouží ke znovuzískání materiálů z akumulátorů potřebných k výrobě nových, čímž se snižuje celková spotřeba surovin. Nejprve se mechanicky drtí a třídí plastové a neželezné

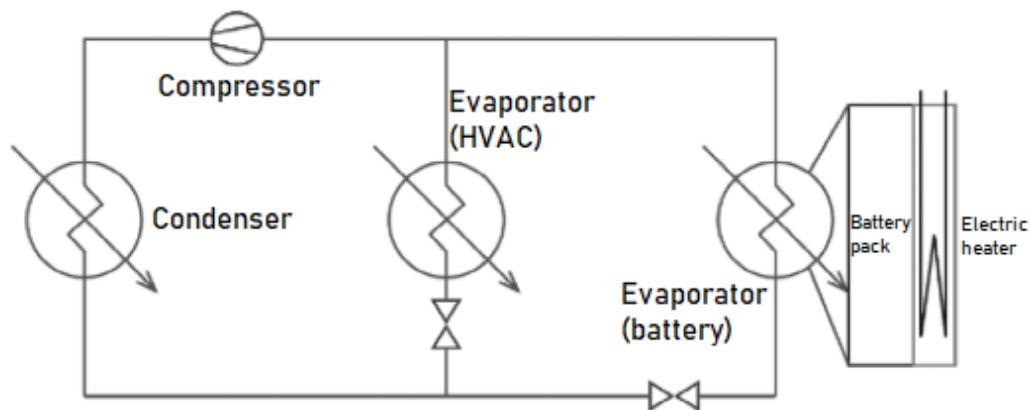
části. Následně se pomocí chemického rozpouštědla oddělí katoda od sběrné hliníkové fólie, a nakonec se katoda rozpustí pomocí elektrolytických reakcí nebo chemikálií na minerály, které je nutné znovu syntetizovat na katodovou sloučeninu. Celý tento proces je nesmírně technologicky i ekologicky náročný, proto je zde žádoucí využít automatizované linky, které tento děj zefektivní a sníží riziko úrazu elektrickým proudem nebo chemikáliemi. Materiály získané recyklací mohou v budoucnu představovat důležitý a ekologicky výhodnější způsob pro výrobu nových baterií, než jejich samotná těžba a zpracování. [8]

1.2.3.1 Regulace teploty akumulátorů

Jedním z technických úskalí, které je třeba při návrhu brát v potaz, je regulace teploty v okolí bateriového úložiště, jelikož akumulátorové články jsou neustále zatěžovány, ať už v rámci napájení pohonné jednotky nebo rekuperace. Baterie lze nabíjet v teplotním rozmezí od 5 °C do 45 °C bez jakéhokoliv omezení. V případě nižších teplot je doporučeno nabíjet menším proudem a při teplotách pod 0 °C je nabíjení zakázáno, jelikož by mohly být baterie trvale poškozeny. Tok elektrického proudu způsobuje zahřívání baterií, což při dosažení vysokých teplot způsobuje degradaci jejich kapacity nebo může dojít i k poškození. Míra přenosu tepla mezi povrchem baterie a chladicím médiem závisí na tepelné vodivosti, viskozitě, hustotě a jeho rychlosti proudění. Chladicí médium by v ideálním případě mělo mít malou viskozitu, s čímž souvisí jeho vyšší rychlost cirkulace. [9]. V zásadě se používají tři druhy regulace teploty:

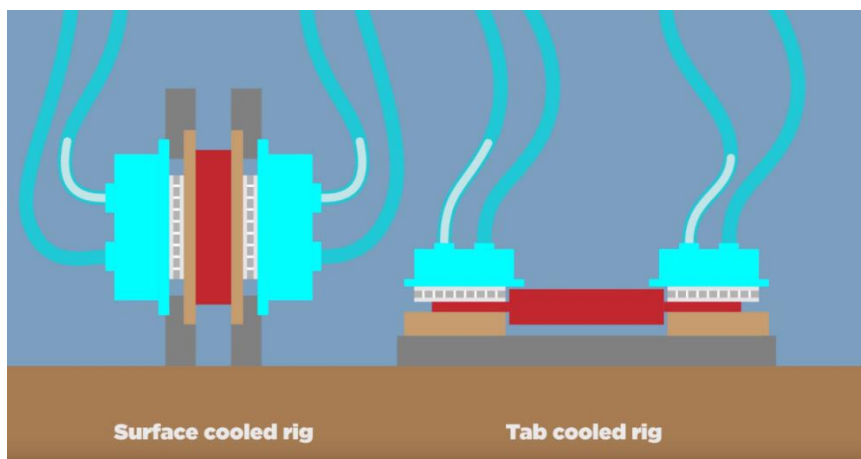
- Pasivní nebo aktivní proudění vzduchu – tento způsob je z důvodu nově používaných vysoce výkonných aplikací nevhodný, protože není možné efektivně odvádět z celého úložiště vyzařované teplo. [9]
- Chlazení dielektrickou kapalinou, nejčastěji olejem – ten je čerpán do tepelného výměníku, kde předává své teplo a následně putuje zpátky k bateriím a takto cirkuluje. Výhoda tohoto způsobu chlazení spočívá v možnosti přímého kontaktu oleje s bateriovými moduly. Ačkoliv má olej lepší parametry pro odvod tepla než vzduch, dosahuje pouze 2x až 3x vyššího přenosu tepla z důvodu vysoké viskozity. Kvůli této vlastnosti je omezena maximální průtoková rychlost, čímž klesá efektivita odvodu tepla. Z tohoto důvodu se u elektromobilů tento způsob chlazení příliš nepoužívá. Navíc v případě vniku oleje do akumulátorového článku by došlo ke smíchání s elektrolytem, což by vedlo k jeho zničení a nutné výměně. Olej je rovněž kapalina, která postupně

degraduje, a to má za následek postupné snižování jeho elektrické pevnosti a v určitém okamžiku by mohlo dojít k průrazu. Proto by ho bylo nutno v pravidelných cyklech měnit. [35] [36]



Obr. č. 4 - Přímé chlazení dielektrickou kapalinou [36]

- Chlazení cirkulací chladiva na vodní bázi uvnitř struktury baterie a následná výměna tepelné energie ve výměníku – za použití tohoto způsobu je možné, jak chladivem odvádět teplo, tak ho i přivádět při nízkých teplotách. Jedná se o způsob nepřímého chlazení a v zásadě existují dva typy, které jsou uvedeny na obrázku (obr. č. 5). První možností je chlazení jednotlivých modulů, které je ale nerovnoměrné, protože vrstvy akumulátoru, ze kterých je složen, nejsou uprostřed dostatečně chlazeny a zůstávají horké, což vede k rychlejší degradaci. Efektivnějším způsobem je chlazení vývodů jednotlivých článků, protože je rovnoměrné a je dostatečně chlazená celá část článku. Tento druh je technicky a konstrukčně mnohem složitější z důvodu možného úniku chladiva do samotné baterie v případě poruchy chladicího systému, proto zatím není tak používaný. Jedná se o dosavadně nejefektivnější způsob chlazení a do budoucna se očekává jeho rozvoj a větší nasazení. Aplikace přímého chlazení článků dovoluje pracovat s většími výkony a zkracuje dobu nabíjení. [9]



Obr. č. 5 - Možné způsoby nepřímého chlazení akumulátorových článků [9]

Způsob chlazení musí být ekonomicky i konstrukčně správně navržen, protože v opačném případě může dojít k vysoké spotřebě energie pro chladicí systém a tím pádem i ke snížení celkového výkonu vozidla. [9]

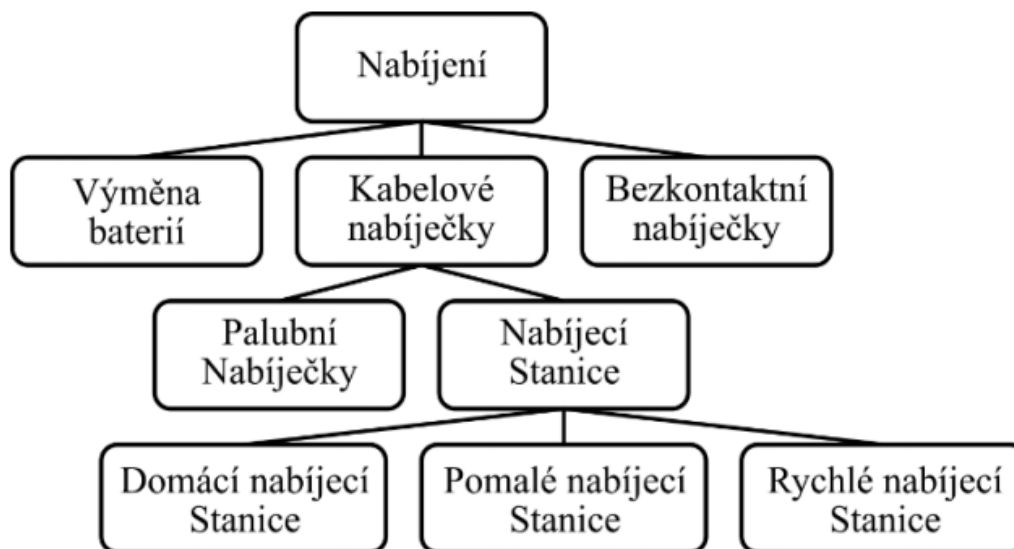
1.2.3.2 Bezpečnost akumulátorů

V případě úplného vybití je bateriové úložiště vybaveno bezpečnostní pojistkou, která celý soubor vypne, protože Li-Ion baterie netrpí paměťovým efektem, a naopak jim neschází, když jsou zcela vybity. Každý bateriový článek je vybaven bezpečnostním přetlakovým ventilem a v případě, že se hodnota tlaku dostane nad bezpečnostní limit, ventily se otevrou, což umožňuje únik plynů a tím snížení tlaku. V případě špatného návrhu nebo výroby tohoto ventilu může hrozit nebezpečí v podobě výbuchu a úniku toxických výparů zdraví škodlivé. [10]

Baterie v sobě mají uloženy značnou energii, proto v případě zkratu bude elektrický proud procházet do té doby, dokud nebude všechna energie vyčerpána, a tak je v případě dopravní nehody žádoucí, bateriové úložiště odpojit od ostatních elektrických komponent. Jedním z možných provedení je přes sběrnici CAN, po které je při detekci havárie vyslán vhodný signál do BMS, který zajistí přerušení elektrického proudu mezi akumulátory a elektrickými komponenty. Dalším způsobem je využití signálu sloužící pro aktivaci airbagů při nehodě, pomocí kterého BMS provede odpojení bateriového úložiště. [11]

1.2.4 Nabíjení elektrických vozidel

Existuje řada způsobů, jak přivádět elektrickou energii do elektromobilu, což ukazuje následující obrázek (obr. č. 6).



Obr. č. 6 - Dělení různých způsobů nabíjení elektromobilu [2]

Výměna baterií, čímž se rozumí vybité vyjmout a nahradit je těmi nabitými, se prakticky nepoužívá a bezkontaktní nabíjení je teprve v rané fázi vývoje a není tolik rozšířené, z čehož plyne, že nejpoužívanějším způsobem je nabíjení pomocí kabelu. Kabelové nabíječky lze dělit jak z hlediska charakteru proudu na střídavý a stejnosměrný, tak z pohledu pozice nabíječky na vnitřní palubní nebo umístěné vně vozidla. Nabíjecí stanice umístěné vně vozidla umožňují mnohem rychlejší nabíjení a v této práci budou rozebrány níže. Palubní nabíječky mohou být dvojího typu. První typ disponuje přímým dobíjením ze sítě, což je řešeno nejčastěji pomocí jednofázové zásuvky 230 V, která umožňuje dodat výkon maximálně 3,7 kW a jedná se spíše o nouzové řešení, které zvyšuje možnou koncentraci elektromobilů v místech, kde není vybudována síť nabíjecích stanic. Druhý typ spolupracuje s vně umístěnou nabíjecí stanicí a závisí, zdali je nabíječka na střídavý proud, který následně usměrňuje, a zároveň zajišťuje ochranu baterií, anebo na proud stejnosměrný, kde jen zajišťuje ochranu nebo popřípadě upravuje úroveň napětí.[2]

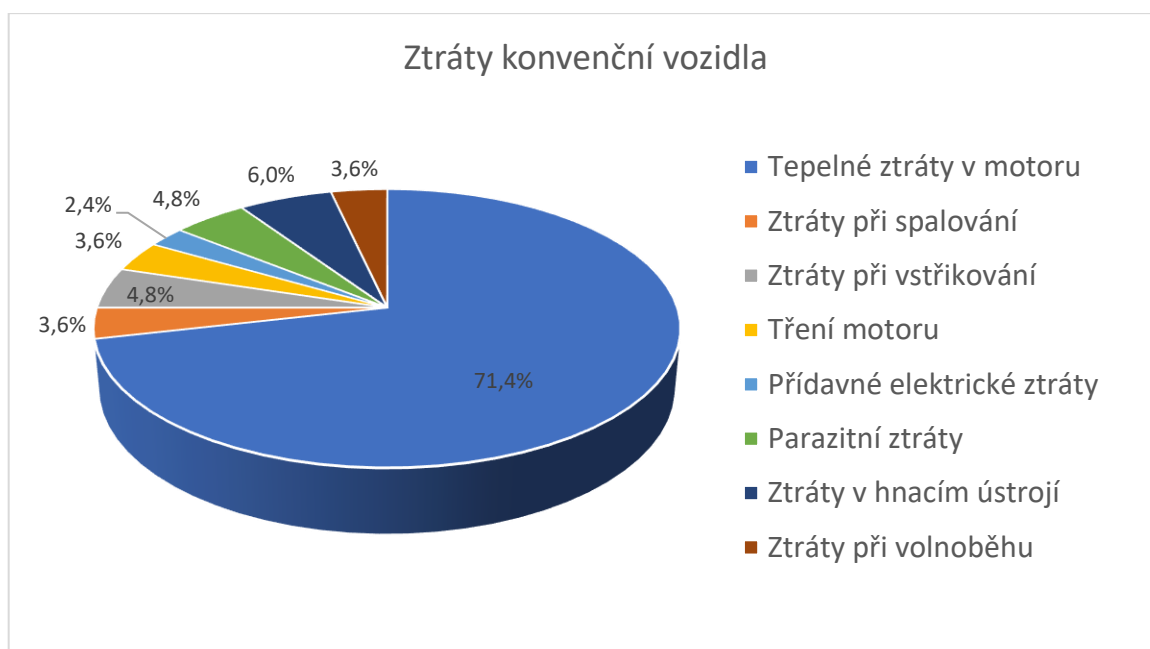
1.3 Porovnání konvenčních a elektrických vozidel

Konvenční a elektrická vozidla lze porovnávat z mnoha hledisek. Jedno z nich je celková účinnost vozidla, která udává, jaké množství energie se využije k pohybu nápravy a kolik se ztratí ve formě tepla vyzářeného do okolí. Dalším aspektem je maximální dojezd vozidla. Posledním porovnávaným hlediskem srovnání těchto vozidel je jejich konstrukční složitost a údržba.

1.3.1 Porovnání účinnosti

Teoreticky maximální možná účinnost čtyřdobého zážehového motoru je 65 %, ale reálně je daleko menší a pohybuje se v rozmezí 20 % až 33 %. U vznětového motoru je maximální dosažitelná účinnost 73 %, ale reálná účinnost se pohybuje v rozmezí 30 % až 42 %. Výsledná užitečná energie, která je přenesena na hnací hřídel, způsobující rotační pohyb kol a tím i pohyb vozidla, je přibližně 25 % energie používaného paliva. V závislosti na jízdním režimu vozidla a použitím druhu spalovacího motoru se výsledné ztráty mohou měnit. [1] [33]

Následující výčet ztrát je uveden pro kombinovaný provoz konvenčních vozidel, což znamená střídání jízdy ve městě a mimo něj. Ze ztracené energie tvoří převážnou část tepelné ztráty v motoru, které se vytopí do okolí prostřednictvím chladícího a výfukového systému. V motoru dále dochází vlivem mechanického tření, nedokonalosti spalování a proudění vzduchu k dalším ztrátám. Hlavní podíl přídavných elektrických ztrát tvoří především vyhřívání volantů nebo sedadel a ventilátory klimatizace, oproti čemu je spotřeba signálních světel nebo elektrického ovládání dveří zanedbatelná. Zařízení jako je vodní, palivové či olejové čerpadlo a řídicí jednotka motoru používají energii generovanou motorem, což je zohledněno v parazitních ztrátách. Část energie je zmařena v částech hnací soustavy, jde přibližně o 6 %. Ztráty při volnoběhu jsou znatelné především při jízdě ve městech, jelikož motor stále pracuje a některé komponenty musí být zásobovány energií, i když se vozidlo nepohybuje. Procentuální podíl jednotlivých ztrát je uveden na následující obrázku (obr. č. 7). Výše zmíněných 25 % energie, která vytváří rotační pohyb kol, dosahuje rovněž určitých ztrát, například tepelných vznikajících při brždění nebo odporových vlivem proudění vzduchu a třením kol. Tyto ztráty nejsou v grafu zahrnuty. [1] [13] [33]

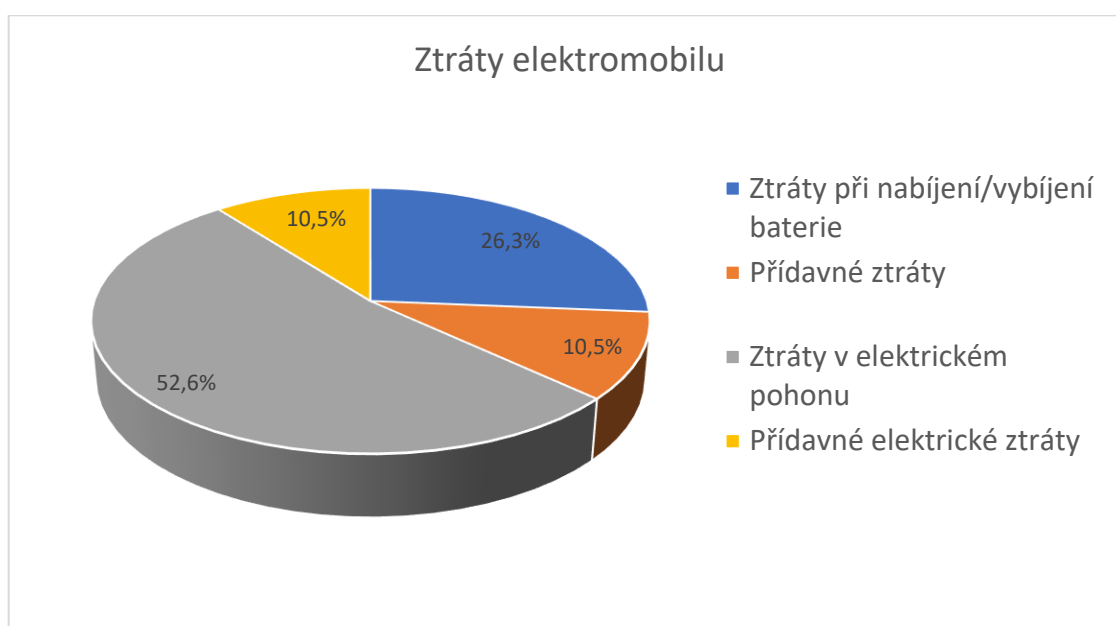


Obr. č. 7 - Ztráty – konvenční vozidla [33]

Spalovací motor vykazuje největší moment v rozmezí 3000–4000 otáček za minutu, z čehož plyne, že právě v této pracovní oblasti dosahuje motor největší účinnosti, a naopak v krajních pracovních oblastech motor dosahuje menší účinnosti. Z tohoto zjištění vyplývá, že pro spalovací motor je neoptimálnější plynulá jízda s minimálním zastavováním. V opačné situaci, tedy jízda s častým zastavováním nebo stáním v kolonách, což je typické zejména pro situaci ve městě, není pro spalovací motor příliš výhodná. Motor pak dosahuje mizivé účinnosti, protože působí mimo optimální pracovní oblast nebo často běží na volnoběh a neustále dochází k procesu spalování, i když nedochází k pohybu. Proto v dnešní době stojí za zmínku stále zdokonalující se technologie Start – Stop, která při zjištění chodu motoru na volnoběh po určitý časový úsek, zpravidla 2 vteřiny, vypne motor, který se při opětovném sešlápnutí spojkového nebo akceleračního pedálu znovu nastartuje. Například tento systém od firmy Bosch slibuje ušetření až 15 % procent paliva a zredukování emisí o 8 %. S provozem vozidel se spalovacím motorem souvisí také produkce hluku a škodlivých látek, jako jsou CO₂, CO, NO_x, nebo pevných částic. Tento fakt se při dnešní vysoké koncentraci vozidel v městském provozu stále více umocňuje. [1] [12]

Z hlediska podílu ztracené energie je situace u elektromobilů výrazně příznivější, jelikož užitečná energie na hnací hřídeli je přibližně 70 % pro kombinovanou jízdu. Významná výhoda elektromobilu spočívá v možnosti rekuperačního brzdění. Dalším pozitivem je fakt, že motor elektromobilu nespotřebovává žádnou energii, pokud vozidlo stojí. Tyto vlastnosti se projeví převážně v jízdě ve městě, kde lze takto ušetřit až 30 %

energie. Přestože má elektrický motor výrazně vyšší účinnost, i v systému elektrického pohonu dochází k určitým ztrátám. Nejvíce kritickým místem pohonné jednotky je z hlediska ztrát měnič napětí motoru, který je nutno dostatečně chladit. K dalšímu úbytku energie dochází při procesu nabíjení baterie elektromobilu ze sítě vlivem přeměny proudu, který je dostatečně uzpůsoben pro akumulátory. Přibližně 4 % energie se spotřebuje pro řízení pohonné jednotky. Mezi elektrické přídavné ztráty patří energie potřebná k vytápění nebo chlazení interiéru, jelikož na rozdíl od vozidla se spalovacím motorem je potřeba veškeré teplo vyrobit z elektrické energie. Detailní rozložení ztrát je znázorněno na následujícím obrázku (obr. č. 8). Rovněž zde není brán v potaz vliv valivého odporu nebo rezistence větru. [34]



Obr. č. 8 - Ztráty – elektromobil [34]

1.3.2 Porovnání maximálního dojezdu

Při porovnání maximálního dojezdu obou typů vozidel dominují automobily se spalovacím motorem, které jsou schopny na plně natankovanou nádrž ujet přes 1200 km, kdežto nejnovější elektromobily jsou schopny ujet maximálně 500 km. U obou typů vozidel je dojezd závislý na mnoha faktorech, jako je způsob jízdy, rychlost, výškový profil trasy nebo venkovní teplota. U elektromobilů je závislost na některých z nich daleko markantnější. Při nízkých venkovních teplotách značně klesá dojezd, v průměru o 20 až 30 %, protože jednak klesá maximální možná kapacita akumulátorů, a jednak je využíváno vnitřní topení pro vyhřívání vozidla. Dojezd v chladných obdobích se dá prodloužit ku příkladu parkováním v garáži nebo využitím systému pro ohřev baterií, kterým disponují nové elektromobily. Při ponechání připojeného nabíjení zůstávají i po nabití baterie tyto

systemy v chodu a baterie je tak před jízdou již ohřátá. Naopak při delší jízdě z kopce dojezd stoupá v případě, že elektromobil je schopen rekuperovat, tzn. že je motor schopný vracet energii do akumulátorů. [13] [14] [15]

1.3.3 Porovnání servisní náročnosti

Elektrické vozidlo je výrazně konstrukčně jednodušší oproti konvenčnímu vozidlu, které navíc obsahuje spoustu přesných opracovaných mechanických dílů, výlisků, obrobků, ale i funkčních součástí jako jsou zapalovací svíčky, palivové čerpadlo, startér atd. Více komponent znamená větší pravděpodobnost vzniku poruchy, a tudíž jejich častější výměnu. Z důvodu konstrukční jednoduchosti elektrovozidla se náklady na údržbu mohou snížit až o 70 % oproti vozidlu se spalovacím motorem. Z ekonomického hlediska se elektromobil více vyplácí s vyšším počtem najetých kilometrů, jelikož se levnou údržbou vrací vyšší pořizovací cena. Servis obou vozidel probíhá ve stejných intervalech, protože i elektromobil má brzdy, pneumatiky nebo stěrače, které je potřeba měnit. Výrobci elektrovozidel zaručují kapacitu baterie minimálně 80 % z původní hodnoty po 160 tis. najetých kilometrech nebo po 8 letech provozu. Úbytek kapacity baterie je dán mnoha parametry, avšak z velké míry je ovlivněn přístupem uživatele k vozidlu. Mezi hlavní příčiny patří používání akumulátoru v optimálním režimu nabití, který se pohybuje v rozmezí 80 až 20 %, nebo druh používaného nabíjení, jelikož při rychlonabíjení teče do baterie větší proud, který má negativní vliv na její kapacitu.[16] [17]

1.4 Strategický přesun k elektromobilitě

Důvodů přechodu k elektromobilitě je vícero. Mezi hlavní důvody patří bezpochyby fakt, že zásoby neobnovitelných zdrojů nejsou nevyčerpatelné a postupně se ztenčují. V případě automobilů se spalovacími motory se jedná především o ropu. Dále lze zmínit fakt, že obrovská ložiska ropy se nachází na politicky nestabilních územích, jedná se především o státy v Perském zálivu, například Saudská Arábie, Írán nebo Irák. Toho lze, a již bylo zneužito při tzv. prvním a druhém ropném šoku, kdy právě tyto státy v Perském zálivu zavedly půlroční embargo na ropu z politických důvodů. To celkově vedlo k extrémnímu zdražení ropy, protože cena se v té době vyšplhala z původních 3 dolarů za barel až nad 40 dolarů za barel. [18]

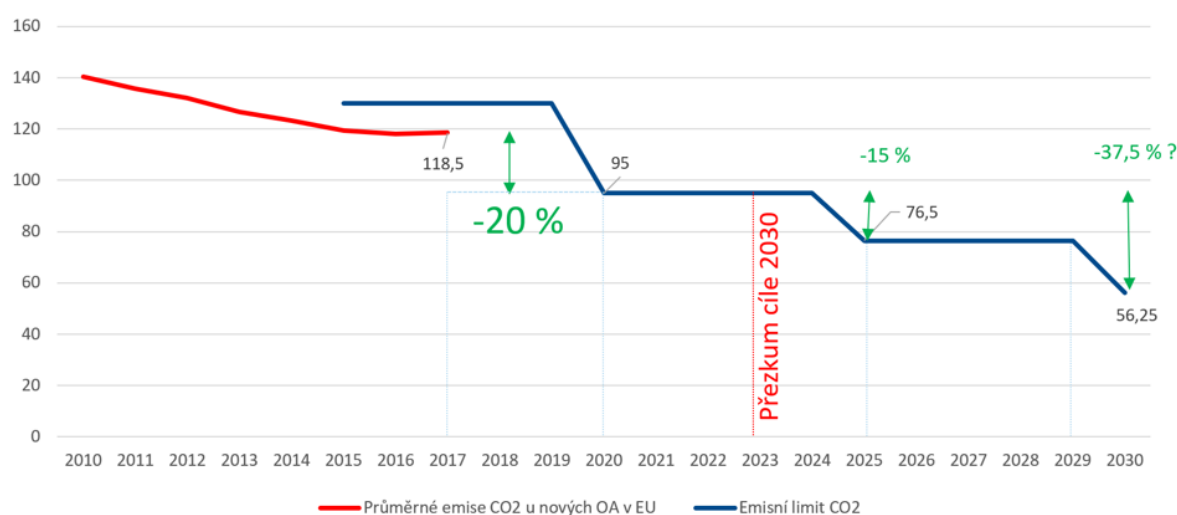
Potom se jedná o celosvětovou snahu o snížení emisí vypouštěných do ovzduší. S neustále vzrůstajícím počtem osobních automobilů vzrůstá i množství emisí. Osobní automobily se spalovacími motory představují zdroj emisí, který lze snížit použitím

alternativních nízkoemisních paliv. Toho lze docílit přidáním aditiv do současných paliv. V případě motorů se zážehovým motorem lze přidat vyšší obsah ethanolu. Pokud se jedná o vznětový motor, lze zplodiny aktivně čistit vstřikováním močoviny do katalyzátoru, komerčně označováno AdBlue, kde hlavní složku tvoří čpavek (amoniak).

Přesun k elektromobilitě má i svůj ekonomický dopad. Evropský trh je valně zastoupen podniky vyrábějícími komponenty pro konvenční vozidla se spalovacím motorem, avšak součásti k výrobě elektromobilů jsou převážně importovány z asijského trhu. Evropa investuje do vlastních kapacit a budováním nových výrobních závodů pro bateriové moduly (Northvolt), nicméně automobilky rovněž podporují vlastní výzkum v oblasti ukládání elektrické energie po vzoru automobilky Tesla. Dalším ekonomickým dopadem je přestavba výrobních linek v automobilkách, s čímž souvisí i jejich vysoké investice, které bude nutno na tuto operaci vynaložit. Například v Německu dnes autoprůmysl zaměstnává přibližně 800 tisíc lidí a do roku 2035 se očekává propuštění až 114 tisíc zaměstnanců, a proto německá vláda již nyní uvolnila přibližně miliardu eur na sériovou výrobu akumulátorů pro elektromobily. Dále je ohrožena existence spousty dodavatelů autodílů vyrábějících například výfuky, převodovky nebo palivové nádrže, které nejsou pro elektromobily potřeba. [19]

1.5 Nařízení Evropské unie

Pro evropský automobilový trh je navíc vyvíjen tlak ze strany Evropské unie. Ta požaduje snížení emisního limitu CO₂ do roku 2030 oproti roku 2019 o 47 %. V grafu (obr. č. 9) lze pozorovat červenou čarou průměrné emise CO₂ pro osobní vozidla. Je zde patrný pokles oproti roku 2010, což je jistě způsobeno přidáváním aditiv do paliv, ale je zřejmé, že tímto řešením toho nelze reálně dosáhnout. Lze říci, že množství vypouštěných emisí přímo souvisí se spotřebou automobilu.



Obr. č. 9 - Graf znázorňující emisní požadavky EU [53]

Příkladem je automobil s benzínovým motorem, který při průměrné spotřebě 5 l/100 km vypouští 120 g CO₂ na jeden kilometr. Pokud se jedná o automobil s dieselovým motorem, je hodnota ještě vyšší, přibližně 132 g/km. V roce 2017 v Evropské unii vykazovalo nově prodané auto 118,6 g CO₂ na jeden kilometr. Podle již nově schváleného nařízení Evropské unie bude muset nově vyrobené auto vypouštět pouze 95 g/km. To znamená, že nově vyrobené auto musí mít průměrnou spotřebu 3,96 l/100 km, aby splňovalo nově přijaté emisní limity. Evropská unie ale požaduje v roce 2030 snížení o výše zmíněných 47 % oproti současnému stavu. Množství vypouštěného CO₂ automobily by podle tohoto nařízení mělo být 56,25 g/km. Znamenalo by to, že osobní automobily by musely vykazovat průměrnou spotřebu paliva 2,4 l/100 km, čehož dosáhnout nelze. V případě nedodržení emisních limitů budou muset automobilky platit vysoké pokuty. Jedná se zhruba o částku 0,95 euro za jeden gram CO₂, který překročí povolené emisní limity. [20]

1.6 Pohled na problematiku emisí

Do celkového objemu vypouštěných emisí konvenčních vozidel je nutné také zahrnout samotnou těžbu, zpracování a transport ropy. Ve světě existují tři hlavní naleziště ropy – Severní Amerika, Rusko a Perský záliv a odtud se ropa na dlouhé vzdálenosti distribuuje do jednotlivých zemí převážně pomocí tankerů nebo ropovodů. S těžbou a následně její přepravou souvisí možné riziko havárie, následný únik ropy a případný požár. Přitom se uvolňují nebezpečné látky, které se nedají nijak zničit a mají negativní vliv na živé organismy. Další proces zpracování probíhá v rafinériích. Surová ropa se nejprve musí zbavit solí, protože ty mohou způsobovat korozi, usazovat se v potrubí či ucpávat určité

komponenty. Poté pomocí atmosférické destilace vznikají jednotlivé ropné produkty, jako jsou rafinérské plyny, lehký a těžký benzín, petrolej, plynné oleje a mazut, který se následně pomocí vakuové destilace dále zpracovává na oleje nebo asfalt. Lehký a těžký benzín tvoří hlavní složku automobilového benzínu, kdežto pro výrobu nafty je používán plynový olej a petrolej. Proces distribuce pohonných hmot, který je jak energeticky, tak ekonomicky vysoce náročný, končí transportem do jednotlivých čerpacích stanic za pomoci kamionové nebo vlakové přepravy. Za zmínku stojí potřeba ropu skladovat, ať již v přístavních terminálech, kde je ropa dočasně uchována před nakládkou na tanker, nebo v samotných rafinériích, které v případě krizových situací disponují určitými zásobami. [21]

V rámci dalšího omezení vypouštěných emisí do ovzduší je v současné době stále více prosazováno a podporováno využívání nízkoemisních alternativních paliv, kam patří vozidla využívající k pohybu CNG nebo LPG. Dále se na automobilovém trhu objevují stále ve větším počtu tzv. hybridy, které do jisté míry snižují celkovou spotřebu automobilu, a tím i vypouštěné emise. Hybrid má dva způsoby pohonu, čímž je primárně spalovací motor, který je obvykle benzínový, a sekundární elektromotor.

Na elektromobil lze nahlížet jako na bezemisní dopravní prostředek, což není zcela správné tvrzení. Jelikož elektromobil používá jako zdroj paliva elektrickou energii, která nemusí být tzv. čistá, tzn. bezemisní. Téměř polovina celkové vyrobené elektrické energie v České republice pochází z uhelných elektráren. Současná energetická strategie je však zaměřena na podporu a rozšiřování obnovitelných zdrojů energie, a tudíž do budoucna bude elektromobil stále energeticky „čistějším“. Oproti konvenčním vozidlům je elektřina všudypřítomná, a tak problematika transportu paliva zde odpadá.

1.7 Vize bez fosilní dopravy

V současnosti se nacházíme v situaci, kdy začínají platit nové emisní limity (od 2020) a i renomovaní výrobci automobilů jsou nuceni přicházet s nízkoemisními a bezemisními modelovými řadami tak, aby se vyhnuli postihům a sankcím za nedodržení emisních limitů. Vozidla vypouštějící nižší podíl emisí do ovzduší, mezi které patří i již výše zmíněné hybridy, jsou už bezpochyby stálou součástí automobilového trhu. Ty lze v zásadě dělit na dva druhy, které se liší výkonem elektromotoru a kapacitou baterií. Prvním druhem je HEV, kde elektromotor asistuje při akceleraci a vozidlo při nižších rychlostech dokáže jet přímo na elektřinu, avšak v řádu jednotek kilometrů. I v případě tohoto konstrukčního provedení lze znatelně snížit spotřebu vozidla, a navíc se akumulátory nabíjí pouze rekuperací při jízdě,

tudíž není potřeba žádného nabíjení. Druhým typem je tzv. PHEV, který je principiálně stejný jako HEV, s tím rozdílem, že akumulátory mají vyšší kapacitu a je použit výkonnější elektromotor. Elektrický pohon je vhodný při městském provozu s dojezdem až 55 km v případě Škody Superb iV a konvenční spalovací motor je vhodné použít na delší vzdálenosti. U tohoto typu hybridu je možné dobíjení do 2 hodin z klasické domovní zásuvky na 230 V. Ovšem i toto řešení není způsob, s kterým lze počítat do vzdálenější budoucnosti, a proto se zde jako řešení nabízí přechod k elektromobilitě, který by měl snížit množství emisí. [22] [23]

Nástup bezemisních vozidel v sektoru osobní přepravy se již rozběhl a nyní do něj rychle naskakují všechny automobilky, které se chtějí udržet na evropském trhu. Spalovací motory, zejména vznětové (dieselové), jsou omezovány příp. zakazovány v městských zástavbách (Mnichov, Düsseldorf, Kolín). Tím je vyvíjen tlak na uživatele k výběru vozu s vyšším Euro standardem.

První kroky a pokusné pilotní projekty se realizují u dopravních společností, které si budují vlastní infrastrukturu v areálu objektů. Obvykle se jedná o rozvoz v blízkém okolí a po aglomeraci města. Provoz je šetrný k obyvatelům města (emise, hluk). Provozovatelům elektromobilů navíc šetří „palivo“ v dopravních zácpách. Mimo pracovní vytížení jsou vozidla připojena do energetické soustavy a mohou sloužit jako uložitelé energie pro firemní budovu, popř. do budoucna pro celou přenosovou soustavu.

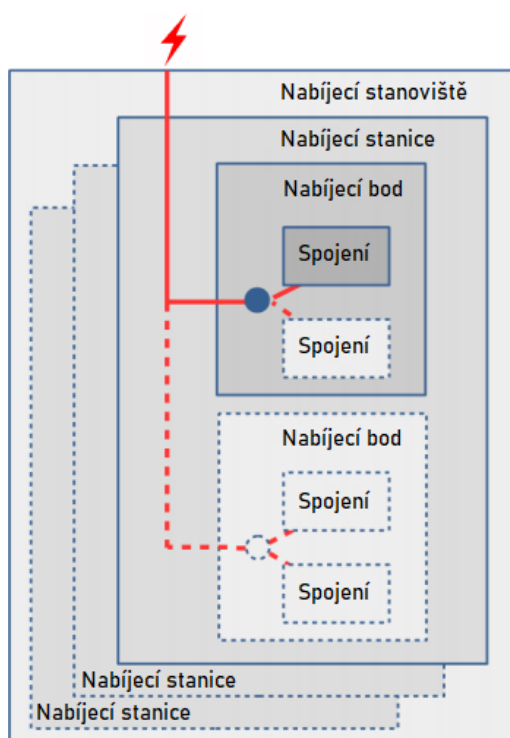
Je nutné si uvědomit, že bezfosilní doprava nenastane ze dne na den, ale bude docházet k postupnému pronikání ke spotřebitelům. Podmínky trhu s automobily jsou nastaveny a tento rok ukáže, jak si s ním automobilky poradí.

2 Nabíjecí stanice

Úspěšný rozvoj elektromobility vyžaduje rozsáhlou infrastrukturu nabíjecích stanic. V následující části jsou tyto stanice detailněji rozebrány.

2.1 Složení nabíjecí stanice

Před samotným popisem dobíjecích stanic je nutno si zavést definice určitých pojmů, které lépe popíší jejich problematiku. Lze vycházet z obrázku (obr. č. 10), který je uveden níže.



Obr. č. 10 - Schéma nabíjecí stanice [24]

2.1.1 Spojení s elektromobilem

Spojení elektromobilu s nabíjecí stanicí je možno realizovat dvěma způsoby. První možností je manuální připojení vozidla k nabíječce, druhou variantou je připojení automatické.

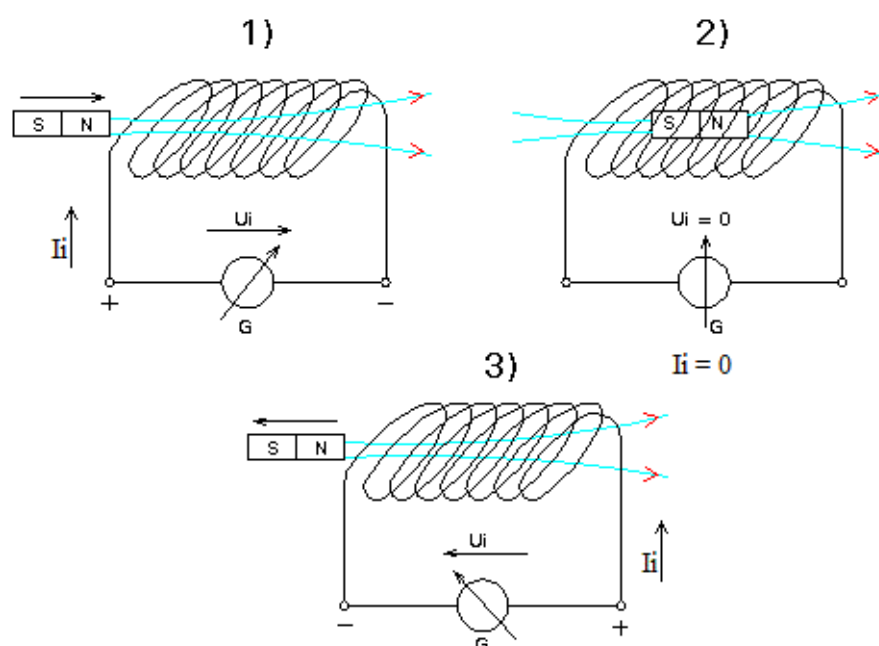
2.1.1.1 Manuální spojení

Manuální spojení je provedeno formou kabelu, které lze provést zpravidla dvěma způsoby. První možností je vyvedení kabelu přímo z nabíjecí stanice, s nímž je neoddělitelně spojen, a pomocí konektoru na opačné straně lze stanici spojit s elektromobilem. Druhý případ se realizuje tak, že nabíjecí kabel není pevnou součástí nabíjecí stanice, ale spojení je

provedeno dvojicí nezaměnitelných konektorů. Tento nabíjecí kabel je nezbytnou výbavou, a proto ho je nutné vozit neustále v elektromobilu. [24]

2.1.1.2 Automatické spojení

U tohoto způsobu spojení se používají dva druhy, a tedy spojení s použitím pantografu nebo bezdrátové indukční nabíjení. Pantograf je druh kontaktního vysoce vodivého spojení, kterým je možno přenášet energii ve velmi krátké době. Používá se u těžších a větších elektrických dopravních prostředků, jako jsou elektrické autobusy, kamiony, anebo speciální vozidla v přístavech či na letištích. U indukčního nabíjení je využit princip elektromagnetické indukce, což znamená, že pomocí elektromagnetické pole, které je nestacionární, se do cívky indukuje napětí U_i a při uzavřeném obvodu začne protékat proud I_i . Tento princip je zobrazen na obrázku (obr. č. 11). Pokud tedy řidič najede na nabíjecí místo, akumulátory se prostřednictvím energie přenášené elektromagnetickým polem začnou dobíjet. Je zde problém ohledně ztrát, nebo rozpoznání zaparkovaného vozidla, avšak tento druh nabíjení je stále ve vývoji. [24] [25]



Obr. č. 11 - Princip elektromagnetické indukce [25]

2.1.2 Nabíjecí bod

Nabíjecí bod se vztahuje k parkovacímu místu, kam je přiváděna elektrická energie, jejíž průtok je zpravidla řízen a většinou se dělí mezi více vozidel, například mezi dva elektromobily, jak je znázorněno na obrázku níže (obr. č. 12). Může obsahovat několik druhů konektorů, ale pouze jeden může být v reálném čase v provozu, což znamená, že na nabíjecí bod lze připojit pouze jedno vozidlo, tudíž množství nabíjecích bodů udává maximální počet nabíjených vozidel. [24]

2.1.3 Nabíjecí stanice

Nabíjecí stanice je fyzický objekt, který obsahuje jeden nebo více nabíjecích bodů. Může být prostá a zahrnovat pouze nabíjecí bod, anebo navíc obsahovat například displej, tlačítka, systém autorizace uživatele a výběr tarifu – platby. [24]

2.1.4 Nabíjecí stanoviště

Nabíjecí stanoviště zahrnuje místo, které je vybaveno nabíjecími stanicemi, a musí být vždy složeno z minimálně jednoho nabíjecího konektoru, jednoho nabíjecího bodu a jedné nabíjecí stanice. Dále obsahuje elektrický rozvaděč a ostatní důležité prvky nutné pro chod elektrické nabíjecí stanice. Součástí nabíjecí stanice jsou i spínací výkonové prvky, které je nutné dostatečně chladit. V případě stanic do 50 kW se výkonová elektronika nachází přímo ve stojanu a pro její chlazení se používá ventilátorový ofuk, kdežto u velmi rychlého nabíjení je užit tzv. cabinet nacházející se mimo nabíjecí stanici, což je zařízení s výkonovou elektronikou a hlasitou ventilací nebo více sofistikovaným olejovým hospodářstvím pro chlazení elektroniky ale též kabelu pro připojení k vozidlu. [24]



Obr. č. 12 - Dobíjecí stanice v praxi [25]

2.2 Rozdělení nabíjecích stanic

Nabíjecí stanice lze rozdělit podle několika kritérií, nicméně následně jsou uvedeny dva hlavní způsoby dělení.

2.2.1 Podle charakteru proudu

Jedním ze způsobů, kterým lze rozdělit nabíjecí stanice, je podle povahy elektrického proudu, který potřebujeme k napájení akumulátorů. Ten může být buď střídavý anebo stejnosměrný, avšak v konečném důsledku k akumulátorům je vždy přiváděn stejnosměrný proud. Střídavý proud se pomocí usměrňovačů, které jsou umístěny v elektrickém vozidle nebo v nabíjecím bodě, konvertuje na stejnosměrný proud. Výhoda použití nabíjení pomocí střídavého proudu je ta, že elektrická distribuční soustava, ze které jsou nabíjecí stanice napájeny, je střídavá, čímž odpadá nutnost instalace jednotlivých usměrňovačů do nabíjecích stanic a usměrňovač je integrován přímo v elektromobilu. Nevýhodou může být pomalejší nabíjení, což je způsobeno zabudovaným usměrňovačem ve vozidle, který určuje množství energie, kterou lze použít k nabíjení elektrického vozidla. Nabíjení vozidla stejnosměrným proudem umožňuje vynechání usměrňovače ve vozidle, tudíž nabíjecí bod má přímý kontakt s akumulátorem. Tyto nabíjecí stanice mají zpravidla větší výkon než 22 kW.

2.2.2 Podle rychlosti

Dalším z možných způsobů dělení nabíjecích stanic je podle rychlosti nabíjení, které je možno rozdělit na tři typy – velmi rychlé, rychlé a pomalé. Rychlost nabíjení lze reprezentovat výkonem na výstupu nabíjecí stanice, který se udává v kilowattech. Nabíjecí stanice o různých výkonech mají také různé typy konektorů odvíjejících se od velikosti proudu.

2.2.2.1 Velmi rychlé nabíjení

Tyto nabíjecí stanice jsou vůbec ten nejrychlejší způsob, jak nabít elektrické vozidlo, proto se mohou často vyskytovat na dálničních odpočívadlech či blízko hlavních dopravních tahů. Všechny typy těchto stanic mají vyvedené nabíjecí kabely a mohou využívat jak DC, tak AC proud. Zde jsou uvedeny některé typy nabíjecích stanic a rovněž používané konektory pro určité druhy stanic.

- Velmi rychlá DC nabíjecí stanice (Rapid DC charger) dokáže poskytnout výkon 50 kW, což odpovídá proudu okolo 125 A. Tento způsob provedení nabíjecí stanice je nejpoužívanějším typem velmi rychlého dobíjení. V závislosti na kapacitě akumulátorů, a i jeho stavu, kdy začíná proces nabíjení, je schopen tento způsob dobíjení nabít akumulátory na 80 % v časovém rozmezí od 20 minut do 1 hodiny. Používají se zde dva typy konektorů. Konektor CHAdeMO, který je používán asijskými automobilkami, například Mitsubishi nebo KIA, nebo francouzskými, jako je Peugeot či Citroen. Druhým je konektor CCS (Combined Charging System), který je od roku 2017 v Evropě standardizován pro velmi rychlé nabíjení. Využívají ho automobilky jako je Audi, VW nebo BMW. [26]
- Ultra velmi rychlá DC nabíjecí stanice (Ultra-Rapid DC charger) dokáže poskytnout výkon typicky 100 kW, 150 kW nebo 350 kW, ale jsou možné i jiné hodnoty. Tento druh velmi rychlého nabíjení je schopen ještě snížit dobu potřebnou k nabití akumulátoru, ale jedná se spíše o otázku pro další generace elektrických vozidel, jejichž akumulátory umí pobrat takový výkon. Typická nabíjecí doba se pohybuje okolo 20 až 40 minut. Ultra velmi rychlé nabíjení je dokonce možné použít i pro akumulátory, které jsou schopny pobrat maximálně 50 kW DC, jelikož nabíjení bude omezeno na maximální hodnotu, kterou akumulátor dokáže pojmout. Tento druh nabíjení se provádí skrz konektory

CHAdEMO nebo CCS. [26]

- Supercharger od Tesly rovněž poskytuje možnost velmi rychlého DC nabíjení používající Tesla CCS konektor nebo Tesla Type 2 konektor, což záleží na konkrétním modelu elektrického vozidla. Ačkoliv všechny modely od Tesly mají jeden z těchto druhů konektorů, které pasují pouze do sítě Superchargerů od Tesly, její uživatelé často používají adaptéry na CCS či CHAdEMO, aby byli schopni využívat veřejné nabíjecí stanice. [26]
- Velmi rychlé AC (Rapid AC) nabíjení umožní dobíjení až 43 kW při trojfázovém provedení a proudu 63 A, používající standartní konektor Type 2. Tyto nabíjecí jednotky jsou schopné nasytit akumulátor na 80 % v rozmezí 20 až 40 minut, což závisí na kapacitě akumulátoru i jeho stavu při počátku nabíjení. [26]



Obr. č. 13 - Zobrazení konektorů pro velmi rychlé nabíjení [26]

2.2.2.2 Rychlé nabíjení

Rychle nabíječky mají výkon typicky od 7 kW až do 22 kW v závislosti, či jde o jednofázové nebo trojfázové provedení. Převažující varianta rychlého dobíjení je AC nabíjení, ale v některých případech se objevuje 25 kW DC nabíjení, používající CHAdEMO nebo CCS konektory. Potřebná doba k dobití elektrického vozidla závisí na výkonu, a velikosti akumulátorů. Kupříkladu 40 kWh baterie se při požití 7 kW nabíječky bude nabíjet 4 až 6 hodin. Pokud bude použita 22 kW nabíječka, doba nabití se razantně zkrátí, a to až na rozmezí od 1 do 2 hodin. Z tohoto důvodu se rychlé nabíjení užívá v místech, kde se předpokládá, že bude vozidlo zaparkováno delší dobu, jako jsou například parkoviště u supermarketů, vozové parky nebo místa, kde lze trávit volný čas, jako sportovní stadiony, koupaliště či kulturní zařízení. Rychlé nabíječky jsou převážně 7 kW a nemají vyvedený nabíjecí kabel, což znamená, že je potřeba ho vlastnit a vozit s sebou. Dále je možné na tyto nabíječky připojit pouze elektrická vozidla, která jsou kompatibilní s danými typy konektoru viz obrázek (obr. č. 14). Konektory Type 1 a Type 2 jsou tzv. plug-in konektory. Některé modely elektrických vozidel nejsou schopny přijímat 7 kW, i přesto mohou použít rychlou

nabíjecí stanici. Příkladem může být elektromobil, který má palubní nabíječku 3,3 kW, a tak bude přijímat maximálně 3,3 kW, i když je stanice schopna poskytnout výkon 7 kW. Nabíjecí stanice Tesla dodávají 11 kW nebo 22 kW, ale podobně jako u sítě Superchargerů jsou určeny pouze pro jejich modely, avšak na mnoha místech poskytuje Tesla standardní konektory Type 2, které jsou kompatibilní s jakýmkoliv jiným konektorem. Téměř všechna elektrická vozidla jsou schopna se nabíjet právě skrze konektor Type 2, a proto se jedná o zdaleka nejpoužívanější typ veřejného nabíjení. [26]



Obr. č. 14 - Zobrazení konektorů pro rychlé nabíjení [26]

2.2.2.3 Pomalé nabíjení

Většina pomalých nabíjecích stanic je do 3 kW a z čehož plyne, že doba nabíjení bude dlouhá, konkrétně v rozmezí 6 až 12 hodin dle výkonu nabíječky a kapacity akumulátoru. U většiny nabíjecích stanic není vyveden kabel, což znamená nutnost vozit vlastní kabel. Pomalé nabíjení se vyskytuje převážně v domácnostech, kde vlastníci nabíjí vozidla přes noc, kdy dlouhá nabíjecí doba příliš nevádí. Pomalé nabíjení se vyskytuje i na veřejných místech, ale jedná se spíše o přežitek, a tento typ z veřejných míst postupně mizí. Doporučuje se používat plug-in konektory Type 1 nebo Type 2, avšak mohou se vyskytovat i běžné jednofázové zástrčky. Z důvodů odběru vysokého proudu po dlouhou dobu je doporučeno si nabíjecí jednotku, která se používá doma nebo na pracovišti, nechat zapojit akreditovaným pracovníkem. [24] [26]

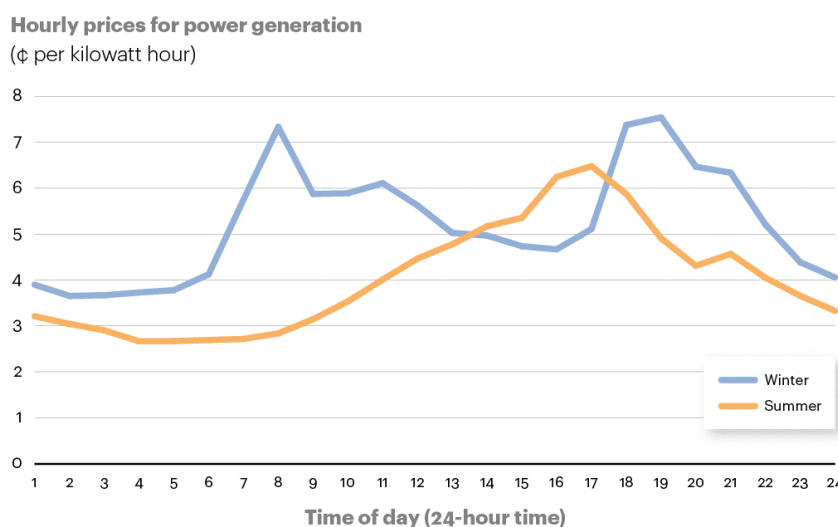


Obr. č. 15 - Zobrazení konektorů pro pomalé nabíjení [26]

2.3 Smart nabíjení

Smart nabíjení je jedna z nabíjecích metod, která umožňuje efektivnější nabíjení elektrického vozidla. Hlavním komponentem této metody je více stavový kontrolér, jehož vstupy jsou reálná cena elektřiny, stav akumulátoru elektrického vozidla a plánovaný rozvrh využití elektromobilu, což znamená požadavek uživatele, který lze měnit podle aktuální potřeby, pro plně nabitá baterie v určitou dobu. Naopak výstupem je energie, kterou je elektrické vozidlo nabíjeno. Pro názornost lze chování kontroléru vysvětlit na jednoduchém příkladu. Cena elektrické energie se mění v závislosti nejen na denní hodině, ale i ročním období. V následujícím grafu (obr. č. 16) je znázorněn vývoj ceny v průběhu 24 hodin. Je patrné, že cena elektřiny je nejnižší v nočních a brzkých ranních hodinách, tudíž v tomto období se podle logiky kontroléru nabíjí elektrické vozidlo maximálním možným nabíjecím výkonem. Pokud je cena elektřiny průměrná, například v případě letních měsíců okolo 13. hodiny, tak při středním nabíjecím výkonu závisí na momentálním stavu baterie, jakou hodnotou energie budou nabíjeny. V případě vysoké ceny energie, tedy například v 17 hodin v létě nebo v 8 či 19 hodin v zimě, se proces nabíjení zcela zastaví. [27] [51]

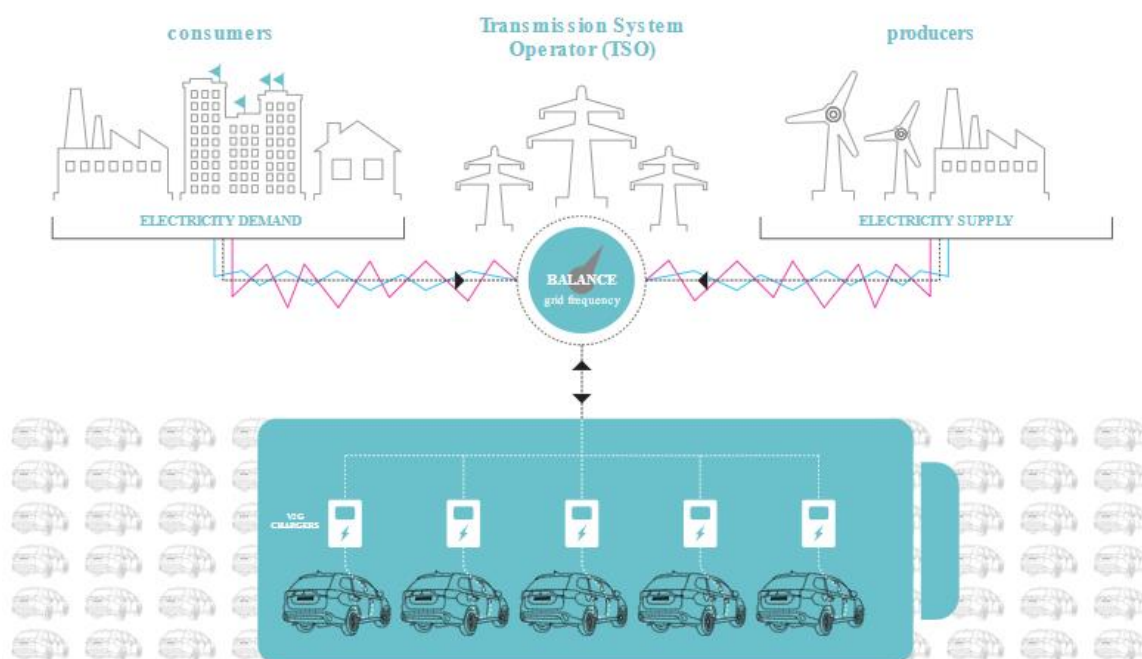
Electricity prices fluctuate depending on the time of day



Obr. č. 16 - Příklad vývoje ceny elektřiny během dne [51]

Elektrické akumulátory jsou zdroje energie, které lze použít nejen k pohonu motoru, ale i jako zdroj, který je schopen vracet elektřinu zpátky do sítě. Tato technologie se nazývá Vehicle-to-Grid (V2G), která slibuje podporu „zelené“ energie, protože umožňuje uchovat v akumulátorech elektřinu v době, kdy jí je přebytek. K funkčnosti technologie V2G je zapotřebí třech hlavních komponent, kterými jsou vozidlo podporující V2G, obousměrná nabíječka a software, který je schopen řídit tok energie mezi vozidlem, nabíječkou a sítí.

Příklad využití je u amerických školních autobusů, které při polední přestávce slouží jako úložiště solární energie vyráběné přes den a v případě nedostatku energie v síti lze autobus použít jako zdroj. Na podobném principu pracuje technologie Vehicle-to-everything (V2X), jejíž nabíjecí stanice jsou oproti V2G technologii rozměrově menší, řídicí software je jednodušší a požadavky na hardware pro řízení přenosu energie jsou nižší. Proto je tento způsob vhodnější pro obytné domy nebo kanceláře. [28] [29]

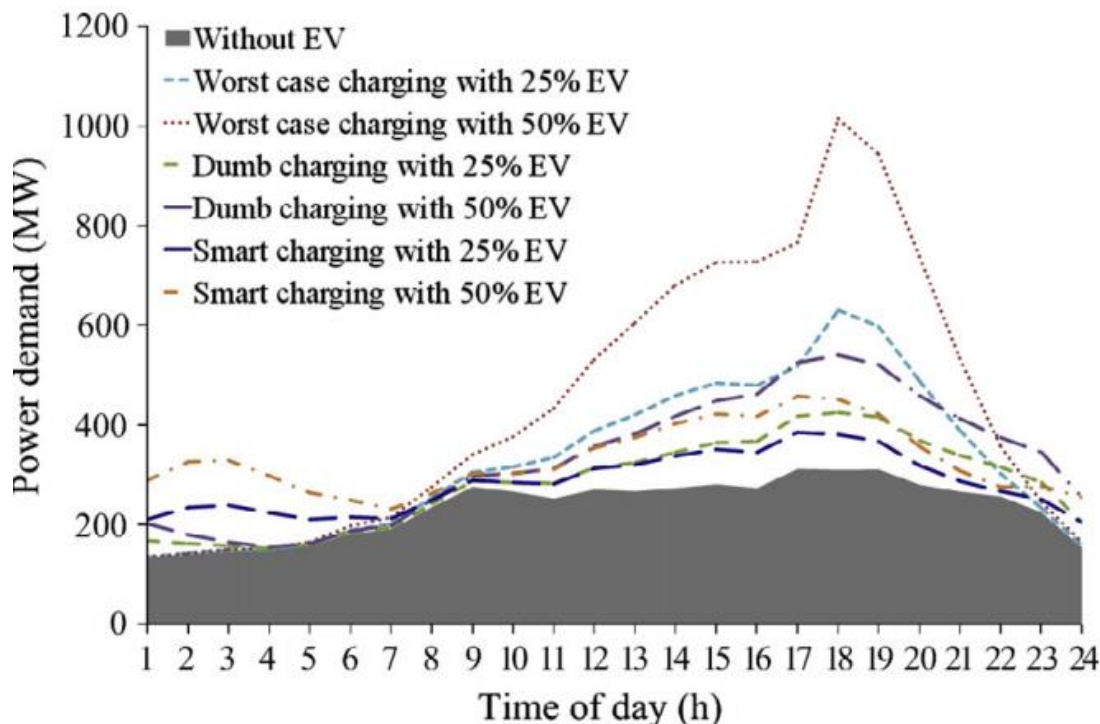


Obr. č. 17 - Princip V2G technologie [29]

2.4 Dopad na odběrový diagram v síti

Nasazení elektromobilů se bude čím dál tím více projevovat na odběrovém diagramu, a proto na to musí být energetická síť co nejvíce připravena. V rámci České republiky jsou dopady zvýšení zatížení vlivem elektromobility na síť 110 kV s ohledem na přirozenou obnovu nízké z důvodu jejího způsobu zauzleného provozu. Kritická část z hlediska investičních nákladů nutných pro integrování elektromobilů spočívá v posílení nebo výměně stávající distribuční sítě nízkého napětí, kde lze očekávat její přetěžování. Cílem je maximálně omezit rapidní navýšení odebírané elektrické energie po dobu dne a nabíjení přesunout do nočních hodin. Na obrázku (obr. č. 18) znázorňující požadavek energie v určité síti, jsou navíc přidány křivky zohledňující podíl elektromobilů v rámci celkového počtu aut a způsob, jakým se elektromobily dobíjí. V případě nejhoršího možného scénáře dobíjení při podílu 50 % elektromobilů je situace okolo 18. hodiny nejhorší, jelikož by byl vyžadován více než trojnásobek původní požadované energie. Důsledkem Smart nabíjení je sice také

vzrůst požadavku energie v dopoledních hodinách, ale v případě odpolední a večerní špičky je situace mnohem příznivější. Dumb nabíjení znamená způsob dobíjení, které žádným způsobem nekomunikuje se sítí, takže si pod tím lze představit běžné nabíjení ze zásuvky. [40][52]



Obr. č. 18 – Rozložení požadavku elektrické energie [40]

2.5 Energetický výhled ČR

V rámci České republiky bude nadále podporován rozvoj OZE, avšak u nás je možné uvažovat pouze s větrnou anebo fotovoltaickou energetikou, jelikož další významné vodní elektrárny již nelze z důvodu nepřítomnosti velkých vodních toků vybudovat. Celkové náklady odpovídají investici téměř 900 mld. Kč. Avšak vzhledem k ubývajícím zásobám hnědého uhlí v České republice a stále se zpřísňujícím požadavkům na emisní limity, zejména z hlediska produkce skleníkového plynu CO₂, budou již od roku 2035 velké hnědouhelné elektrárny v severozápadních Čechách postupně odstavovány z provozu. V této oblasti se nachází tři již modernizované elektrárny – Tušimice o instalovaném výkonu 800 MW, Pruněrov o 600 MW, Ledvice s výkonem 600 MW a na obnovu čekající Počerady o výkonu 1000 MW. Dále si je nutné uvědomit, že účinnost tepelných elektráren již nelze významně zvýšit a v případě modernizovaných elektráren se pohybuje okolo 36 %. Celkový instalovaný výkon tedy činí 3 GW, které bude nutné při odstavení těchto elektráren nahradit stabilním energetickým zdrojem, který v současné době představuje pouze jaderná

elektrárna. Současná výstavba v Jaderné elektrárně Dukovany je z důvodu výkonového omezení této lokality nastavena na vybudování 2 jaderných bloků o celkovém výkonu 1000 MW, což odstavený výkon uhelných elektráren nahradí pouze z jedné třetiny, a proto bude nutná výstavba nových jaderných bloků i v elektrárně Temelín. V rámci Evropy je jaderná energetika zejména z důsledku politických rozhodnutí sousedních států České republiky spíše omezována. Z tohoto důvodu reálně po roce 2038 hrozí akutní nedostatek elektrické energie ve všech státech Evropy. Je tedy pravděpodobné, že Česká republika se významným exportérem elektrické energie nestane, protože bude obtížné pokrýt svou vlastní spotřebu a bude se muset zaměřit na snížení energetické náročnosti. Potřebná změna zdrojů energetického složení České republiky bude vyžadovat miliardové investice, které se zcela jistě promítnou i do konečné ceny elektřiny. [42]

3 Návrh domovní instalace

Další část bakalářské práce je věnována možným způsobům, jak dobít elektrická vozidla v rámci domácností, praktickému návrhu přípojky objektu, domovní instalace a jisticích prvků.

3.1 Způsoby nabíjení

V následujících podkapitolách jsou uvedeny způsoby, jak lze elektromobil dobít v případě domácího nabíjení. Předpokládá se, že právě domácí privátní dobíjení elektromobilů bude převažující způsob nabíjení oproti veřejnému. Na druhou stranu zde na rozdíl od veřejné sítě nabíjecích stanic není dosahováno tak velkých výkonů, tudíž proces plného dobití bude trvat déle. To ovšem není limitujícím faktorem, protože maximální dobíjení probíhá především v noci, kdy elektromobil není využíván.

3.1.1 Nabíjení ze zásuvky

Prvním řešením, které se může nabízet, je dobíjení elektromobilu přes standardní zásuvku na 230 V, a protože se zásuvkové okruhy jistí jističem typu B o jmenovité hodnotě 16 A, je toto i maximální přípustný nabíjecí proud. Z jednoduché rovnice (1) pro výpočet činného výkonu pro jednu fázi je patrné, že maximální výkon je 3680 W.

$$P_{max} = U \cdot I = 230 \cdot 16 = 3680 \text{ W} \quad (1)$$

Při nabíjení touto hodnotou výkonu by trvalo dobití akumulátoru o kapacitě 35 kWh přibližně 10 hodin, což není příliš praktické. Proto je nutné navrhnout dobíjení o co největším možném výkonu, který by neměl vliv na chod ostatních prvků a spotřebičů v domácnosti.

Dalším možným řešením dobíjení je využití více fází, nejčastěji trojfázové zásuvky. Ta je u vybavení rodinných domů běžnou záležitostí, jelikož se používá pro některé elektrické stroje, jako je například kotoučová pila. Pro používání v rámci nabíjení elektromobilu je navíc nutné zakoupit speciální 5-kolíkový adaptér. [32] Z důvodu uvažovaného trojfázového sdruženého napětí, které považujeme za konstantní a není výhodné jeho velikost měnit, je maximální možný výkon závislý především na zvolení průřezu přívodního vodiče a předřazeného jisticího prvku, s čímž souvisí maximální hodnota elektrického proudu. Lze použít 16 ampérový jistič typu B, z čehož potom vyplývá maximální možný výkon z následující rovnice (2).

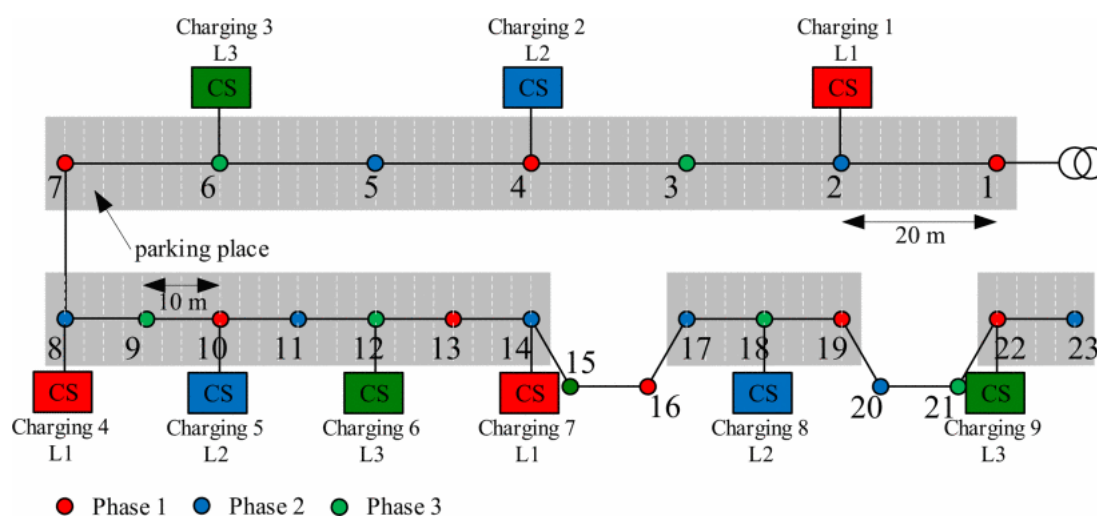
$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 16 = 11085 \text{ W} \quad (2)$$

Za předpokladu použití jističe o jmenovité hodnotě 32 A, je nutné použít vodič o průřezu minimálně 6 mm². Z následujících rovnic (3) plyne maximální výkon.

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 32 = 22170 \text{ W} \quad (3)$$

3.1.2 Nabíjení z veřejného osvětlení

Integrace elektromobilů je zpomalována mimo jiné z důvodu prozatímního nedostatku nabíjecích míst. Velký problém může nastat v panelové zástavbě, kde elektrická síť není dostatečně rozvětvená a uzpůsobená větší koncentraci elektromobilů na malém prostoru, a proto by bylo nutné síť inovovat, což je finančně nákladné. Jedním z možných řešení pro pomalé nabíjení elektrovozidel je použití již vybudované sítě pro veřejné osvětlení, která není přes den vůbec využívána. Následující příklad je uveden pro veřejné parkoviště s 23 osvětlovacími stožáry s elektrickým příkonem 72 W spojené kabelem 4x 25 mm², který je na obrázku (obr. č. 19). Za předpokladu neexistence žádné integrované nabíjecí stanice z měření vyplynulo, že i při zapnutém osvětlení přes noc, je více než 95 % kapacity vedení nevyužito.



Obr. č. 19 - Systém nabíjení elektromobilů z veřejného osvětlení [38]

Pomocí výpočtu bylo zjištěno, že pro dané parkoviště je možné použít 3 nabíjecí stanice o výkonu 7 kW na každou fázi, tedy celkem 9. Za tohoto předpokladu jsou všechny kabely pod jmenovitým zatížením, a tak mohou všechny nabíjecí stanice nepřetržitě pracovat s jmenovitým výkonem, aniž by došlo k poklesu napětí v rámci povolených mezí. [38]

3.1.3 Nabíjecí stanice

Sofistikovanějším způsobem nabíjení elektrických vozidel jsou wallboxy, což jsou chytré domácí nabíjecí stanice, které podle momentálního příkonu domácnosti regulují nabíjecí výkon tak, aby nedošlo k přetížení domácí sítě. Zároveň pracují s nízkým napětím (230 V nebo 400 V) a proudem 10 A až 32 A. Dále uzpůsobí maximální možný výkon v závislosti na aktuálním tarifu elektřiny nebo umožní čerpat elektřinu z vlastních bateriových uložení fotovoltaiky. Některé chytré nabíjecí stanice dokáží energii do sítě i vracet, což v případě nedostatku energie v síti může sloužit jako zdroj na pokrytí špiček. Podmínkou je ovšem navíc vlastnit elektromobil s funkcí V2G, která umožňuje tok energie směrem z elektrovozidla.[31]

Výrazným aspektem pro domovní nabíjení elektromobilu je správný výběr nabíjecí stanice. S ohledem na požadavek rychlosti nabíjení, je vhodné zvolit nabíjecí stanici s rychlým dobíjením. Volba výkonu nabíjecí stanice závisí na nabíjeném elektromobilu a jeho kapacitě baterie. Například pro elektromobil Volkswagen e-Golf s kapacitou akumulátoru 35,8 kWh je doporučená hodnota trojfázové nabíjecí stanice 11 kW, jelikož je palubní nabíječka optimálně využívána. Při použití trojfázové dobíjecí stanice o výkonu 17 kW je nabíjení naddimenzované, protože palubní nabíječka nevyužije plně nabíjecí stanici. Naopak v případě užití nabíjecích stanic o nižším výkonu, je nabíjení poddimenzované a pomalé, jelikož není palubní nabíječka dostatečně využívána. Jako nouzové řešení lze použít klasickou zásuvku na 230 V, ovšem doba nabíjení se drasticky zvětší, v tomto případě až na 15,5 hodin. V případě optimalizovaného nabíjení trvá proces 5 hodin. Přesný čas dobíjení při použití určitého způsobu nabíjení je uveden na obrázku níže (obr. č. 20). [30]

Výkon nabíječky a doba nabíjení

Nabíječka	Výkon	Čas nabíjení
zásuvka 230 V	2,3 kW	15:30
1 fáze, 16 A	3,6 kW	9:40
1 fáze, 25 A	5,7 kW	9:40
1 fáze, 32 A	7,3 kW	9:40
3 fáze, 16 A	11 kW	5:00
3 fáze, 25 A	17 kW	5:00
3 fáze, 32 A	22 kW	5:00

nouzové řešení, velmi pomalé nabíjení, nevyužívá možnosti palubní nabíječky

pomalé, nevyužívá dostatečně možnosti palubní nabíječky

doporučené, optimálně využívá možnosti palubní nabíječky

naddimenzované, palubní nabíječka nedokáže plně využít nabíjecí stanici

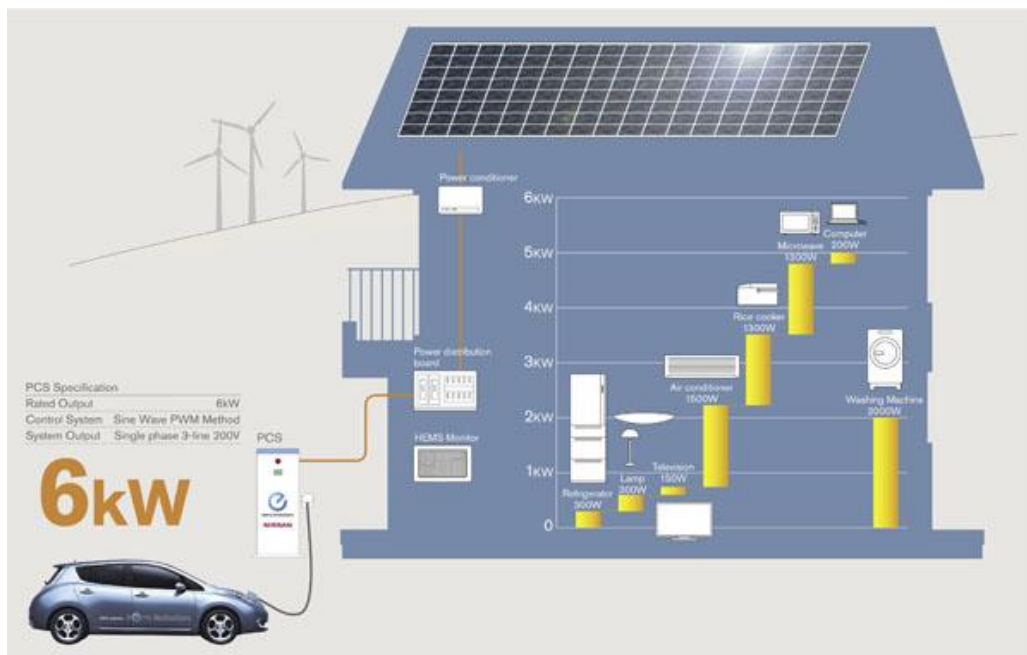
Obr. č. 20 - Výkon nabíječky a doba nabíjení pro Volkswagen e-Golf [30]

Z výše uvedeného se jako jednoznačně výhodnější řešení jeví použití trojfázové nabíjecí stanice z důvodu rovnoměrného proudového odběru z distribuční sítě, menšího proudového zatížení jednotlivých vodičů, a hlavně zkrácení nabíjecích časů. Při použití jednofázové nabíjecí stanice pro výkony větší než 3680 W vychází již příliš velké průřezy přívodních vodičů a velké hodnoty předřazených jistících prvků, což je z hlediska zajištění selektivity jištění a rovnoměrného proudového odběru z distribuční sítě nevýhodné.

3.1.4 Nouzové napájení domácnosti

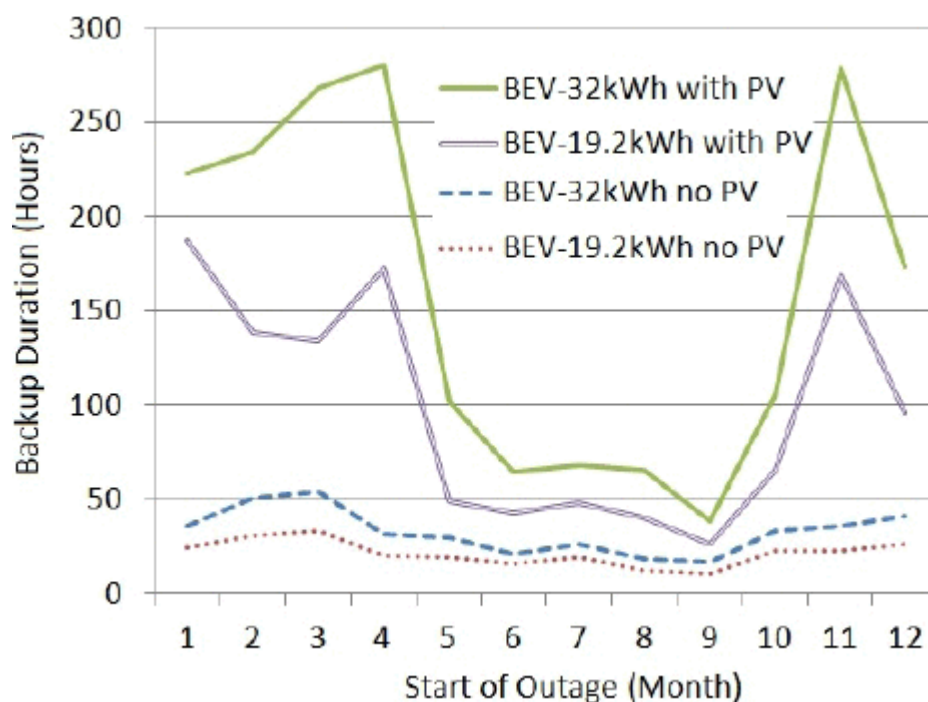
Baterie elektromobilu lze využít jako zdroj elektrické energie na pokrytí špiček v odběrovém diagramu, ale i jako nouzový zdroj pro omezený chod domácnosti. Podmínkou je funkce V2H a instalace systému PCS propojeného s domovní instalací. PCS zajišťuje přeměnu vysokého stejnosměrného napětí na střídavé o hodnotě 230 V. Množství maximálně dodané energie závisí na aktuální kapacitě elektromobilových baterií, proto je nutné, aby obyvatelé domu využívali jen ty nejnútnejší elektrické spotřebiče. Na obrázku (obr. č. 21) je pro příklad jako elektromobil uveden Nissan LEAF s kapacitou baterie 6 kWh. Pokud ovšem objekt disponuje fotovoltaickými panely, maximální energie by se zvýšila a objekt by byl soběstačný. Žádná energie by se nesměla vracet zpátky do sítě, protože by mohlo dojít ke škodám na majetku a újmě na zdraví osob, například dělníků opravujících vedení. Tento způsob napájení domácnosti by se jistě aplikoval v oblastech s častými

výpadky elektřiny, například horské regiony, kde v případě nepříznivých klimatických podmínek často dochází k přerušení elektrického vedení vlivem polomů stromů. [45]



Obr. č. 21 - Napájení domácnosti z elektromobilu [45]

Při testování ostrovního provozu 20 průměrných domácností v americkém městě Austin ve státě Texas byla měřena doba, jak dlouho dokáží fungovat při výpadku elektrické energie v závislosti na ročním období, použitém elektromobilu a s možností fotovoltaiky. K výpadku elektřiny došlo vždy první den v měsíci a naměřená křivka (obr. č. 22) ukazuje dobu, po kterou mohou domácnosti bezpečně fungovat nezávisle na elektrické síti. V letních měsících dochází k prudkému propadu, jelikož zdejší teplota dosahuje až téměř 40 °C a obyvatelé více využívají elektřinu (klimatizace). Naopak nejdéle domácnosti vydržely v dubnu a listopadu, kdy sluneční záření vykazuje slušnou intenzitu a teploty jsou zde okolo 20 °C, tudíž zde není potřeba výrazného vytápění domácnosti. Je zřejmé, že schopnost nejdělsího ostrovního provozu vykazuje největší baterie s možností fotovoltaiky, avšak v případě 19,2 kWh baterie je schopnost vydržet bez energie v určitých ročních obdobích daleko větší než s baterií o třetinu větší kapacitou. V2H s kombinací fotovoltaických panelů tak představuje významný stabilní záložní zdroj energie. [46]



Obr.č.22 – Průměrná spotřeba 20 vybraných domácností odečítaná prvním dnem měsíce zobrazující vztah k hodinové záloze bateriového úložiště EV [46]

3.2 Domovní instalace

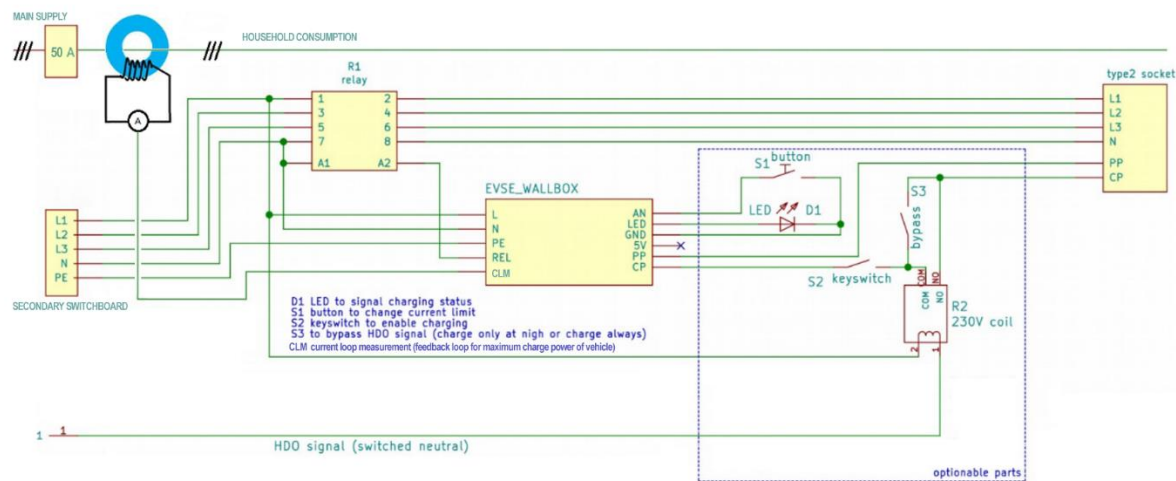
Objekt je k síti připojen přes zemní kabelové vedení. Celý objekt je jištěn trojfázovým jističem o jmenovité hodnotě 50 A, jemuž jsou předřazeny 63 A pojistky. Tyto jistící prvky jsou umístěny v hlavním rozvaděči na okraji pozemku tak, aby k nim měl zaměstnanec distributora elektrické energie volný přístup. Z ekonomických a praktických důvodů jsou v objektu umístěny dva podružné rozvaděče. Podružný rozvaděč *PR.1* slouží pro jištění domácnosti a dochází zde k rozdělení vodiče PEN na ochranný vodič PE a nulový vodič N. Pro garáž, kde je umístěna nabíjecí stanice, byl zvolen samostatný podružný rozvaděč *PR.2* z důvodu využitelnosti kapacity hlavního jističe o jmenovité hodnotě 50 A. V tomto konkrétním případě domácí instalace je pro dobíjení elektromobilu použita třífázová nabíjecí stanice, která umožní dosáhnout v případě potřeby krátkých nabíjecích časů. Pro jištění nabíjecí stanice je použit jistič typu B 32 A, průřez vedení byl zvolen 10 mm², a v případě potřeby jej možno zvýšit až na 40 A. Celkový příkon pro danou domácnost je dán následujícím vztahem (4).

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 50 = 34\,641\,W \quad (4)$$

Za předpokladu vytápění pomocí elektrického kotle o příkonu 12 kW, ohříváče vody a použití běžných domácích spotřebičů, jako jsou pračka, myčka nebo sušička, je pro nabíjecí stanici vyčleněn příkon o maximální hodnotě 17 kW. V případě zvolení jiného způsobu

vytápění, například plynem, lze příkon pro nabíjecí stanici ještě navýšit. Z důvodu zrovnoměření zatížení jednotlivých fází je vhodné rozfázovat zásuvkové a světelné okruhy mezi jednotlivé fáze tak, aby velké spotřebiče (pračka, sušička) byly připojeny na rozdílných fázích. V konkrétním návrhu je na fázi L1 připojen zásuvkový okruh Z.1 a SP.7 pro bojler, světelný okruh SV.1, a také motory M.1. a M.2 pro ovládání vjezdových vrat a garážových dveří. Na fázi L2 je připojen světelný okruh SV.2, zásuvkový okruh Z.2, Z.4, na kterém se nachází pračka, a Z.8. Na fázi L3 je připojen světelný okruh SV.3, zásuvkový okruh Z.3, na který je zapojena sušička, Z.5, kam je připojena lednička, a Z.9.

Způsob zapojení trojfázového wallboxu je uveden na obrázku (obr. č. 23). Podmínkou spuštění procesu nabíjení je uzavření smyčky mezi kontakty PP a CP, což v pozitivním případě vyhodnotí řídicí jednotka wallboxu a přepne stykač R1, který umožní průtok proudu do elektromobilu. Z důvodu nabíjení levnějším nočním proudem je k nabíjecí stanici přiveden kabel od HDO. Relé R2 vyhodnocuje signál z HDO, a pokud přijde, smyčka mezi PP a CP se uzavře a začne nabíjení. V případě, že uživatel chce nabíjet ihned po příjezdu a nechce čekat na levnější tarif, je využit bypass po spuštění tlačítka S3, který rovněž zajistí uzavření smyčky. Vstup CLM slouží pro měření celkového proudu vstupujícího do wallboxu.

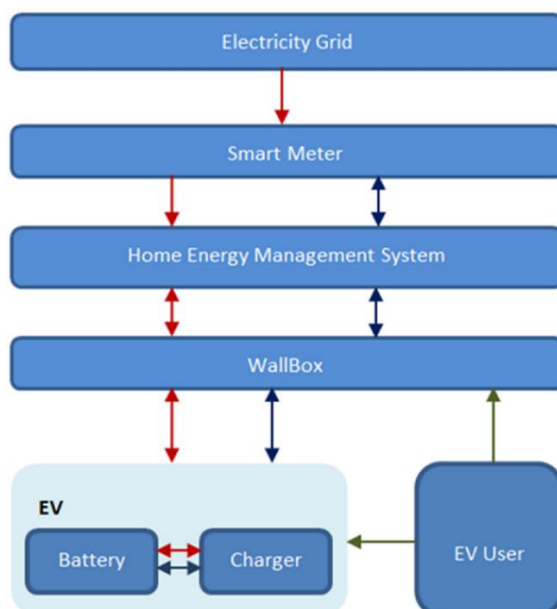


Obr. č. 23- Zapojení trojfázového wallboxu se signálem od HDO [44]

Tento způsob zapojení wallboxu (obr. č. 23) se dynamicky přizpůsobuje aktuálnímu odběru domácnosti, tzn. že při nízkém odběru, nabíjecí stanice dobíjí svým maximálním výkonem 17 kW. V případě velkého odběru domácnosti, je nabíjecí výkon omezen.

Další důležitou vlastností nabíjecí stanice je schopnost, zdali umožňuje obousměrný tok energie, z čehož profituje, jak vlastník objektu, tak i provozovatel sítě. Uživatel rovněž

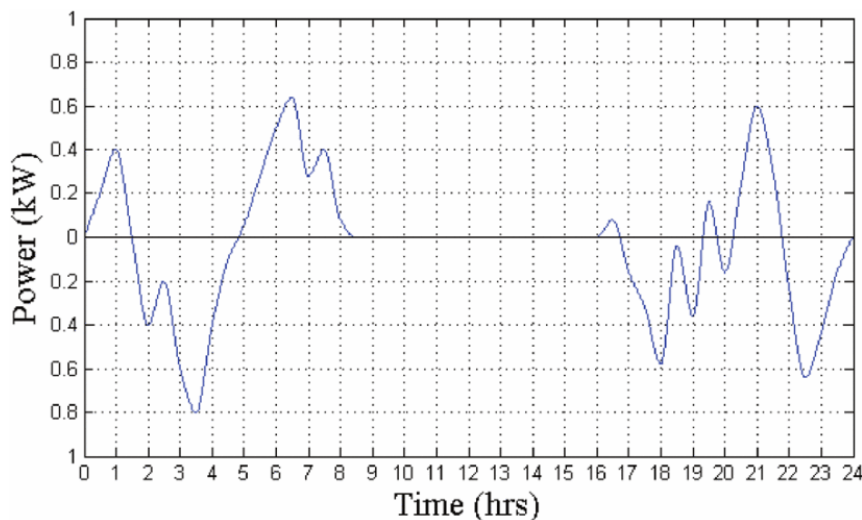
musí vlastnit elektromobil s funkcí V2G. Díky této funkci se elektromobily jeví jako klíčový element v tzv. smart grid neboli chytré síti, která umožní regulovat výrobu a spotřebu energie v reálném čase. Důležitou podmínkou je však nutná vzájemná komunikace mezi zdrojem a spotřebičem elektrické energie. Následující obrázek (obr. č. 24) ukazuje základní uspořádání systému toku energie v chytré domácnosti nacházející se ve smart grid. Pro funkčnost tohoto systému je důležitý neustálý přehled několika parametrů, jako je aktuální cena elektřiny, stav nabití baterie elektromobilu (SOC), aktuální odběr prvků domácnosti a potřeby uživatele elektromobilu, který určuje dobu používání elektromobilu v závislosti na jeho preferencích. Řídícím prvkem je systém správy energie, který určuje aktuální potřeby energie v domácnosti. V tomto objektu rovněž nejsou instalovány zdroje obnovitelné energie, zejména fotovoltaické články nebo malá větrná elektrárna, ačkoliv je to možné. [39]



Obr. č. 24 - Schéma domáciho nabíjení [39]

Smart funkce jsou nezbytné pro co nejefektivnější nabíjení elektromobilů. Jednou z nich je chytré měření, což je nezbytný prvek k regulaci nabíjení elektrického vozidla, protože zaznamenává spotřebu elektrické energie a tyto informace předává zpátky do sítě. Přebytečná energie v síti je uchovávána v bateriích elektromobilu a v případě nedostatku ji lze použít. Na obrázku (obr. č. 25) je znázorněn průběh, jak síť může využívat baterie elektromobilu. Přebytečná energie v síti (křivka pod osou) je uchovávána v bateriích elektromobilu a v případě nedostatku ji lze použít (křivka nad osou). Rozmezí od 8. do 16. hodiny není započítáno, jelikož se předpokládá, že není v elektromobilu v domácnosti dostupný. Další funkcí wallboxu je, že v souvislosti s odběrovou křivkou, která je pro jednotlivé hodiny a dny v týdnu predikovatelná, umožňuje snížení nebo pozastavení

nabíjecího procesu při vysoké vytiženosti elektrické sítě s ohledem na dostatečnou časovou rezervu v harmonogramu elektrického vozidla (tak, aby se elektromobil stihl dobít pro zvolený čas odjezdu a příjezdu uživatelem). Domácí EMS reaguje na požadavky operátora sítě v případě nedostatku energie. [41]



Obr. č. 25 - Průběh energie v baterii elektromobilu [41]

Uvnitř wallboxu se nachází tři hlavní komponenty. Stykač, který přivádí napájení ze sítě k elektrovozidlu a zároveň kontroluje správné připojení zástrčky, aby nedošlo k poškození. Další důležitou součástí je zdroj nízkého stejnosměrného napětí pro digitální obvod. Poslední částí je řídicí obvod, zaručující správné nabíjení, s LCD obrazovkou pro interakci s uživatelem. Některé wallboxy disponují vzdáleným ovládním umožňující operátorovi sítě regulovat nebo dokonce zastavit nabíjení elektrovozidla v určité oblasti na základě dostupných informací o vytiženosti sítě. V současné době musí koncoví uživatelé elektromobilu požadavky operátora potvrdit skrze software wallboxu na svém počítači, ale v budoucnu se předpokládá, že změny budou probíhat automaticky a operátor sítě bude regulovat podmínky dobíjení elektromobilu. V tomto softwaru si rovněž uživatel může zvolit nabíjecí výkon wallboxu a ověřit aktuální tarif. [43]

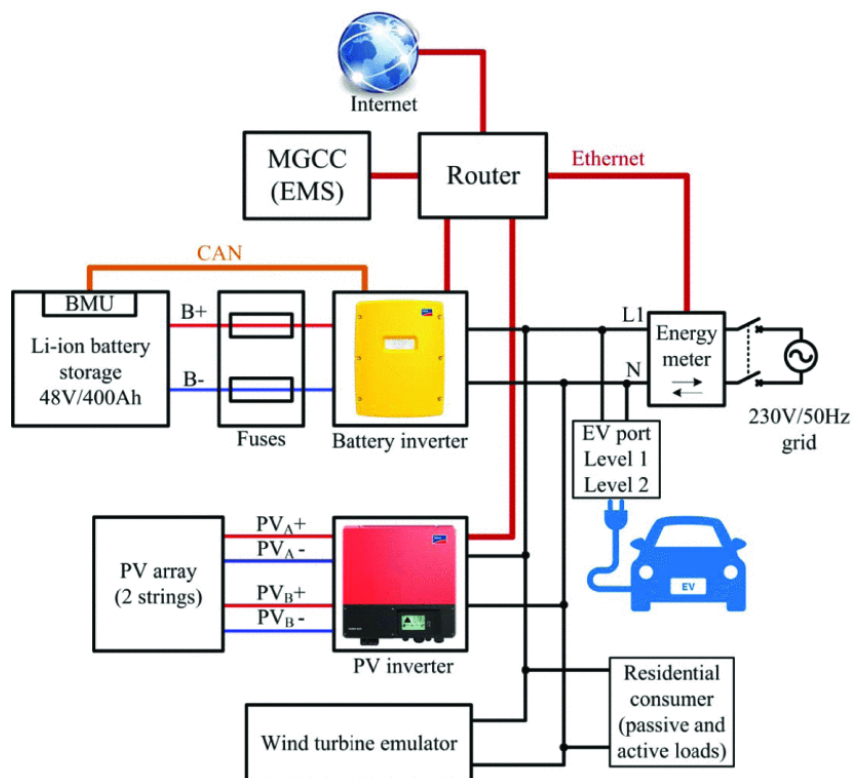
Pro regulaci nabíjecího výkonu vzdáleným ovládním operátora sítě je nutné mít nabíjecí stanici připojenou k internetu pro vzájemnou výměnu dat. Komunikační modul obsažený v chytré nabíjecí stanici komunikuje v současné době skrz několik rozhraní – GSM, Ethernet a WLAN. Komunikace probíhá skrze OCPP protokol, jehož druhá verze umožňuje kontrolu procesu nabíjení. [49]

Příkladem jednoho z pilotních projektů, kde probíhá regulace nabíjení elektromobilu ze strany operátora sítě, je ostrov Porto Santo, který je závislý na dovozu fosilních paliv. OZE

na tomto ostrově tvoří přibližně 15 % celkové dodávky elektřiny. Cílem je zapojit elektromobily se schopností vracet energii do elektrické sítě jako stacionární zdroje energie (V2G), do kterých lze ukládat energii při jejím přebytku a v případě nepříznivých přírodních podmínek ji využít. Prostřednictvím aplikace mohou uživatelé zadat, kolik energie v případě odjezdu potřebují a systém vyhodnotí uloženou energii v elektromobilové baterii a v případě jejího nedostatku ji doplní. [50]

3.3 Využití obnovitelných zdrojů

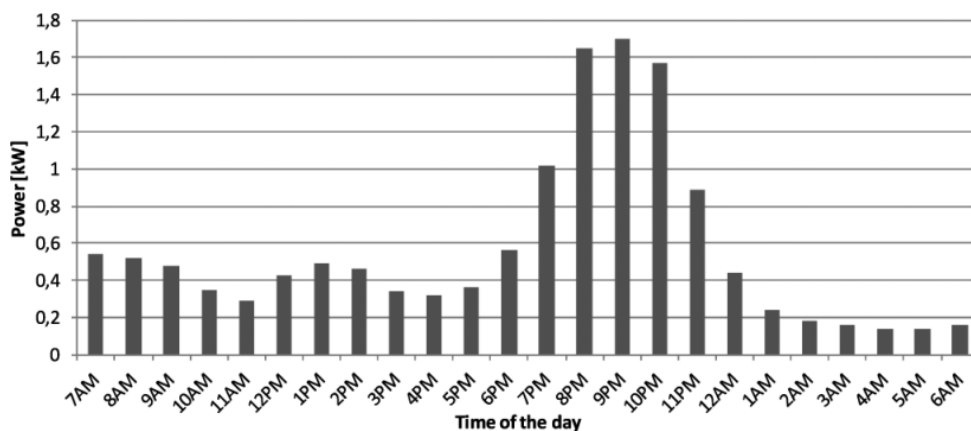
Možným zapojením domovní instalace je použití jak fotovoltaických panelů, tak malé větrné elektrárny. Návrh řídicího systému pro část chytré sítě zvanou microgrid, což může být i obyčejný rodinný dům se smart funkcemi, je obtížnou záležitostí a jeho maximální optimalizace je založena především na základě specifčnosti každé microgrid z hlediska existujících zdrojů a provozních omezení. Avšak z hlediska podobnosti topologie a charakteristiky těchto sítí (např. používání fotovoltaických panelů) lze řídicí systémy zobecnit. Základní problematika optimalizace závisí na chování uživatelů elektromobilů, domovní spotřeby energie, kapacitě skladování, ceně energie a dostupnosti OZE. Nutno dodat, že bez informačních a komunikačních technologií by systém nemohl pracovat správně. Základní myšlenka microgrid je vysvětlena na obrázku (obr. č. 26). V tomto případě jsou nainstalovány fotovoltaické panely o výkonu 8 kW a větrná turbína o 2 kW. Jako stacionární zdroj energie slouží Li-Ion baterie o kapacitě 20 kWh, které je předřazen měnič napětí. Řídicí systém (EMS) je navržen tak, aby pro dobíjení elektromobilu používal primárně OZE a v případě nedostatku této energie, použije energii ze sítě. V České republice musí být všechny objekty s OZE vybaveny Q(U) regulací, čímž uměle omezujeme výkon tak, aby v síti nedocházelo ke vzniku přepětí. Počáteční náklady na OZE jsou velmi vysoké, avšak doba návratnosti závisí na mnoha aspektech. [47]



Obr. č. 26 - Grafické uspořádání domovní sítě [47]

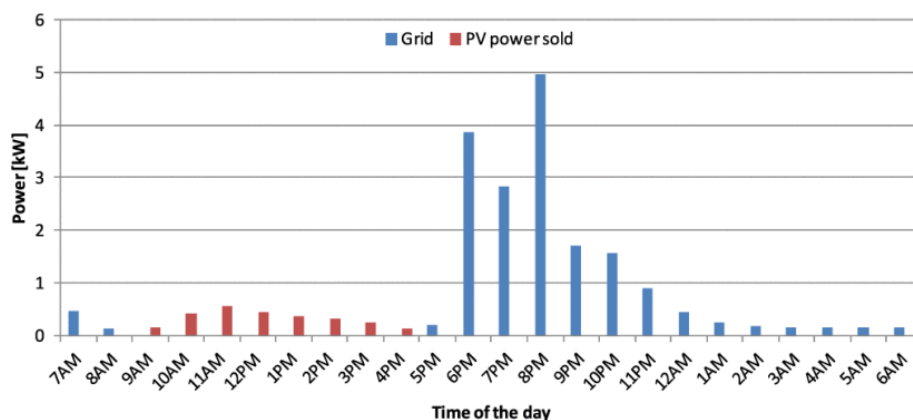
3.4 Dopad na odběrový digram domácnosti

Průměrný odběrový diagram, znázorňující spotřebu typického rodinného domu se 4 členy o rozloze 140 m², je na obrázku (obr. č. 27). V úvahu je bráno využití běžných spotřebičů, jako je lednička, mikrovlnka, malá spotřební elektronika, trouba, pračka, sušička atd. Dále je nutné poznamenat, že vytápění a ohřev vody je prováděn zemním plynem. Dům disponuje solárními panely o celkovém výkonu 1 kW a jejich činnost je brána v potaz v rozmezí od 7. hodiny ráno do 17 hodin odpoledne. [48]



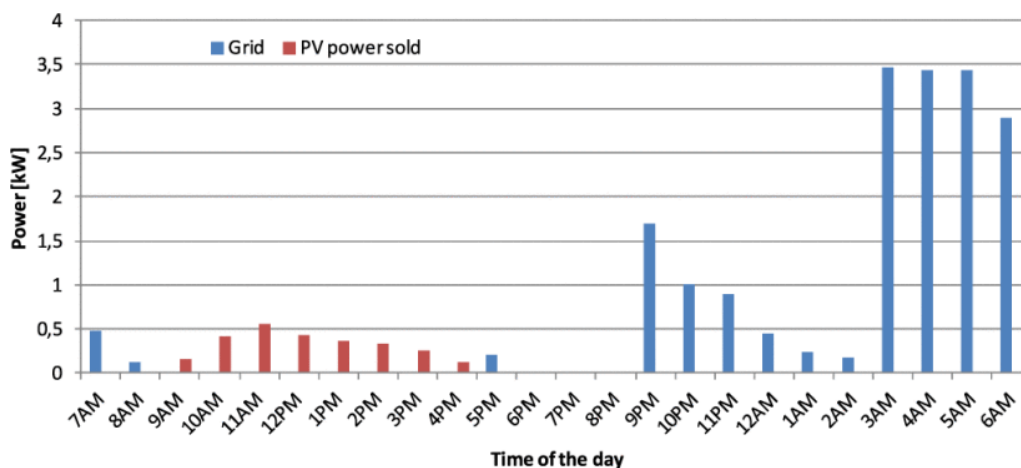
Obr. č. 27 - Odběrový diagram domácnosti bez EV o víkendy [48]

Obrázek (obr. č. 28) znázorňuje odběrový diagram stejného objektu s elektrovozidlem. Vozidlo podporuje funkci V2H. Pro nabíjení elektromobilu je instalována nabíjecí stanice o výkonu 3,3 kW. Dopolední spotřebu pokrývají fotovoltaické panely, ba dokonce dochází k prodeji přebytečné energie. Uživatel elektromobilu, jehož baterie má kapacitu 16 kWh, přijíždí domů okolo 18. hodiny přibližně z poloviny vybitou baterií. Pokud se spotřebitel rozhodne nabíjet elektromobil ihned po příjezdu, je to z ekonomického hlediska velmi nevýhodné. Večerní odběrová špička se může zvýšit zhruba o trojnásobek oproti klasické domácnosti, a navíc je cena elektřiny v této době vysoká. [48]



Obr. č. 28 - Odběrový diagram domácnosti s EV a fotovoltaikou [48]

Z hlediska ekonomičnosti je výhodné po příjezdu elektromobilu domů, když je odběrová špička, využívat právě funkci V2H, kdy napájení domu zajišťuje primárně baterie elektromobilu, avšak její kapacita nesmí klesnout pod určitou mez (obvykle pod 30 %, kdy se baterie nenachází v ideální pracovní oblasti, což má za následek její rychlejší opotřebení vedoucí ke kratší životnosti) a sekundární zdroj představuje síť. Začátek dobíjení elektromobilu je stanoven na 3. hodinu ráno, kdy je elektřina nejlevnější. Celkové náklady na elektřinu jsou pak poloviční oproti běžné domácnosti. [48]



Obr. č. 29 - Odběrový diagram domácnosti s EV s funkcí V2H a fotovoltaikou [48]

Náklady na elektřinu lze však ještě více snížit funkcí elektromobilu V2G a použitím externího stacionárního úložiště energie, které napájí domovní spotřebiče a je schopno i energii vracet zpátky do sítě v případě potřeby. Tento způsob přináší další náklady v podobě nutnosti po určitém čase úložiště energie obměnit z důvodu častého procesu vybíjení a nabíjení, což snižuje jeho životnost. Při ukládání energie do externího úložiště, ale i při její čerpání, dochází rovněž k určitým ztrátám jak v úložišti energie, tak v jeho předřazeném měniči napětí. V rámci České republiky se jako optimální řešení pro domácnosti s výhledem na nejbližší budoucnost jeví využívat pouze samotnou technologii V2G jako úložiště energie mimo jiné z důvodu nízké ceny elektřiny, výrazně jednoduššímu systému správy energie v domácnosti, menšímu počtu komponent a nižším počátečním nákladům. [48]

Závěr

Elektromobilita jakožto alternativní druh dopravy je způsob, který je nejvíce podporován, s potenciální možností většího technologického vývoje nežli u spalovacích motorů. Do budoucna je přechod k alternativní dopravě nutný jak z hlediska vyčerpávání ropných zásob, tak snižování emisí skleníkových plynů. Výroba většího množství elektromobilů bude vyžadovat přestavbu výrobních linek v automobilkách, která již však částečně započala v podobě hybridních vozidel nebo několika výrobních řad elektroaut. V současné době je elektromobilita široce podporována pomocí podpůrných programů a zvýhodnění. Vlastníci elektroaut jsou například osvobozeni od silniční daně, jsou jim prominuty poplatky za dálniční známku a v určitých placených zónách disponují parkováním zdarma.

Pro další znatelné rozšíření elektromobility je zapotřebí pokračovat ve výstavbě veřejných nabíjecích stanic, nastavit systém výstavby nabíjecích bodů pro bytové domy a sídliště s vysokou hustotou parkovacích míst (nabíjecí ze sloupů veřejného osvětlení či elektro skříní s přípojkou). Z hlediska snížení energetického dopadu na síť, zejména v oblasti odběrových špiček, je nutné proces nabíjení časově rozprostřít. V současné době tohoto lze docílit odkladem dobíjení do nočních hodin s ohledem na časový harmonogram vozidla. To je realizováno pomocí signálu přicházejícího ze sítě po fázi do HDO, které spíná levnější tarif. Jedná se aktuálně o nejvíce rozšířený systém dobíjení v domácnostech, avšak do budoucna lze častěji počítat se sofistikovanějším řešením v podobě přizpůsobení nabíjecího výkonu domácích stanic dle požadavků elektrické sítě. Tento způsob je možný pouze za předpokladu komunikace domácí nabíjecí stanice se sítí, jehož nezbytnou součástí je smart měření, které předává informace o aktuálním odběru domácnosti operátorovi sítě. Celý systém lze případně ještě zlepšit systémem V2H, popřípadě V2G, což ovšem vyžaduje elektromobil podporující tuto funkci, obousměrný nabíjecí systém s příslušným softwarem komunikujícím s elektromobilem, nabíjecí stanicí a budovou nebo sítí. S tímto systémem přichází možnost využití elektromobilů jako úložiště energie, které lze využít na pokrytí odběrových špiček s ohledem na preference a povolení uživatele elektromobilu. Zároveň jsou podporovány obnovitelné zdroje energie v rámci domácností, které společně s elektromobily mohou vytvořit objekt, krátkodobě nezávislý celek na energetické síti, což může být velice užitečný nástroj v oblastech s častými výpadky proudu.

Energetické společnosti nabízí specializované dvou tarifní sazby za předpokladu věrohodného prokázání provozování elektromobilu (např. kopie velkého technického

průkazu). Pro domácnosti v České republice se jedná o tarif s názvem D27d, jehož časové vymezení doby platnosti nízkého tarifu je provedeno distributorem v celkové délce minimálně 8 hodin denně v době od 18 hodin do 8 hodin. V době nabíjení elektromobilu platí levnější tarif pro celou domácnost. V případě nízkého tarifu pro elektromobil je cena přibližně 2 Kč/kWh (v závislosti na aktuální ceně elektřiny), kdežto běžná cena nízkého tarifu je cca 5 Kč/kWh. Pro navržený projekt se jako výhodnější tarif nabízí D57d – elektrické topení. Sazba nízkého tarifu D57d je sice vyšší (2,47 Kč/kWh), nicméně to je vykompenzováno výrazně delší dobou platnosti nízkého tarifu (min. 20 h denně). Navíc pro tuto sazbu se cena vysokého tarifu příliš neliší od nízkého (2,51 Kč/kWh). [54] [55]

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] REICHEL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky: Tepelné motory [online]. c2006-2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/611-tepelne-motory>
- [2] KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti [online]. 2017 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_úloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [3] Elektrický pohon modelu Volkswagen ID.3 se vejde do sportovní tašky. Jak funguje? [online]. Hybrid.cz, 2019 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/elektricky-pohon-modelu-volkswagen-id3-se-vejde-do-sportovni-tasky-jak-funguje>
- [4] KUMAR, Bussa Vinod, R. K. SINGH a R. MAHANTY. A modified non-isolated bidirectional DC-DC converter for EV/HEV's traction drive systems. In: 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1-6 [cit. 2020-06-03]. DOI: 10.1109/PEDES.2016.7914345. ISBN 978-1-4673-8888-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7914345/>
- [5] STEHLÍK, Jakub. Baterie zůstávají limitujícím faktorem elektromobilů. Průlom se čeká za sedm let [online]. Praha 4: Autobible.cz, 2018 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/baterie-zustavaji-limitujicim-faktorem-elektromobilu-prulom-se-ceka-za-sedm-let/>
- [6] Elektrochemická řada napětí kovů [online]. ELUC [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2283>
- [7] MARCOS, David, Jon PEREZ, Pello ZUBIZARRETA, Maitane GARMENDIA, Igor Perez DE ARENAZA, Jon CREGO a Jose Antonio CORTAJARENA. A Safety Concept for an Automotive Lithium-based Battery Management System. In: 2019 Electric Vehicles International Conference (EV) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 1-6 [cit. 2020-03-04]. DOI: 10.1109/EV.2019.8892986. ISBN 978-1-7281-0791-2. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8892986/>
- [8] AMBROSE, Hanrijo. A Quick Guide to Battery Reuse and Recycling [online]. Two Brattle Square Cambridge, MA 02138-3780: UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://blog.ucsusa.org/hanjiro-ambrose/a-quick-guide-to-battery-reuse-and-recycling>
- [9] MAUGHAN, Ryan. What is the Best Electric Vehicle Battery Cooling System? [online]. AVID, 2017 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://avidtp.com/what-is-the-best-cooling-system-for-electric-vehicle-battery-packs/>
- [10] ASAITHAMBI, Sathiyaraj, Amitabh VAIDYA a V C JITHESH. Customized test methodologies for battery safety valves (EV). In: 2015 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC) [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-2 [cit. 2020-04-06]. DOI: 10.1109/ITEC-India.2015.7386884. ISBN 978-1-5090-1911-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7386884/>
- [11] TENHOUTEN, Broc William, David Leslie EDWARDS, Zhanping WU, Philippe Hart GOW, James Howard FRASHER, Phillip John WEICKER a Peter Fredrick NORTMAN. CODA ENERGY HOLDINGS LLC. Battery disconnection in electric vehicles. Spojené státy americké. US20110304202A1. Uděleno 15.12.2011. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US20110304202A1/en>
- [12] K čemu slouží systém Start-Stop [online]. Autodoc, c2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.autodoc.cz/info/k-cemu-slouzi-system-start-stop>

- [13] VALÁŠEK, Dominik. Srovnání energetické ztráty elektromobilů a běžných aut [online]. Praha 5: Garáž.cz, 2018 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/srovnani-energeticke-zraty-elektromobilu-a-beznych-aut-21000070>
- [14] ŠPAČEK, Jakub. Jak funguje elektromobil? Technika se vyvíjí, ale moc nemění [online]. fDrive, 2018 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-elektromobil-technika-se-vyviji-ale-moc-nemeni-2399>
- [15] Jak natáhnout dojezd elektromobilů v zimě? [online]. 2018: energyglobe [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/jak-moc-se-snizuje-dojezd-elektromobilu-v-zime-a-jak-se-da-prodlouzit>
- [16] Electric car maintenance & servicing [online]. edfenergy, c2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.edfenergy.com/electric-cars/maintenance>
- [17] SVATOŠ, Patrik. Životnost baterie v elektromobilu? Víme, jak je na tom Nissan Leaf po 200 000 km [online]. Praha 2: fDrive, 2019 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/zivotnost-baterie-v-elektromobilu-vime-jak-je-na-tom-nissan-leaf-po-200-000-km-3965>
- [18] FOUSEK, Daniel. Vědecké okénko: Na cestě do historie elektromobility, díl 1. aneb jak to všechno začalo [online]. Elektrickévozy, 2019 [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/vedecke-okenko-na-ceste-do-historie-elektromobility-dil-1-aneb-jak-to-vsechno-zacalo>
- [19] Výroba elektroaut přesune desetitisíce míst z Německa do Asie: Volkswagen ohlásil konec vývoje spalovacích motorů [online]. RESPEKT, 2018, 6.12.2018 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.respekt.cz/spolecnost/vyroba-elektroaut-presune-desetitisice-mist-z-nemecka-do-asie>
- [20] ČERVENKA, Jiří. Evropský parlament fakticky nařídil povinný přechod k elektromobilitě [online]. Autobible.cz, 2018 [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/evropsky-parlament-fakticky-naridil-povinny-prechod-k-elektromobilite-komentar/>
- [21] BUDÍN, Jan. Zpracování ropy: základní zpracování ropy [online]. oEnergetice, 2015 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/ropa/zpracovani-ropy-1-cast-zakladni-zpracovani-ropy>
- [22] JÁNSKÝ, Martin. Pomůžeme vám vyznat se v moderních pohonech [online]. Praha 5: Garáž.cz, 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/pomuzeme-vam-vyznat-se-v-modernich-pohonech-21002303>
- [23] HORČÍK, Jan. Škoda Auto představuje plug-in hybrid Superb iV, dojezd až 55 km na elektřinu [online]. Hybrid.cz, 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-auto-predstavuje-plug-hybrid-superb-iv-dojezd-az-55-km-na-elektrinu>
- [24] Electric vehicle charging: Definitions and explanation [online]. Utrecht: Netherlands Enterprise Agency, 2019 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: https://www.nkl.nl/nederland.com/uploads/files/Electric_Vehicle_Charging_-_Definitions_and_Explanation_-_january_2019.pdf
- [25] NĚMEC, Václav a Petr PABOUČEL. Elektromagnetická indukce [online]. c1999-2000 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: http://elektro.bouk.info/1/nojava/07_01.html
- [26] LILLY, Chris. EV connector types [online]. Bristol: Zap-Map, 2020 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>

- [27] NOUR, Morsy, Sayed M. SAID, Abdelfatah ALI a Csaba FARKAS. Smart Charging of Electric Vehicles According to Electricity Price. In: 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 432-437 [cit. 2020-02-23]. DOI: 10.1109/ITCE.2019.8646425. ISBN 978-1-5386-5261-9. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8646425/>
- [28] WALFORD, Lynn. How V2G Can Support the Grid and Help Pay Back Electric Vehicle Owners [online]. London: Autofutures, 2019 [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.autofutures.tv/2019/09/02/v2g-can-help-support-the-grid/>
- [29] The Future of EV Charging with V2X Technology [online]. Amsterdam: Newmotion [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://newmotion.com/en/the-future-of-ev-charging-with-v2x-technology/>
- [30] Nabíjecí stanice pro každý elektromobil [online]. Kralice na Hané: voltdrive [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://voltdrive.com/elektromobily/volkswagen/>
- [31] MÁRA, Ondřej. Wallboxy a jejich možnosti: K čemu jsou vlastně dobré? [online]. auto.cz, 2019 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/wallboxy-a-jejich-moznosti-k-cemu-jsou-vlastne-dobre-131012>
- [32] Jak na domácí nabíjení elektromobilu [online]. energyglobe [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/jak-na-domaci-nabijeni-elektromobilu>
- [33] Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles [online]. Spojené státy americké: fueleconomy [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>
- [34] Where the Energy Goes: Electric Cars [online]. Spojené státy americké: fueleconomy [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>
- [35] KARIMI, G. a X. LI. Thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. International Journal of Energy Research [online]. 2013, 37(1), 13-24 [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1002/er.1956. ISSN 0363907X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/er.1956>
- [36] GARCHE, Jürgen, Bruno SCROSATI a Werner TILLMETZ, ed. Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles [online]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015, s. 335-346 [cit. 2020-05-20]. ISBN 978-1-78242-398-0. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=iEmdBAAAQBAJ&pg=PA337&lpg=PA337&dq=cooling+by+dielectric+oil+electric+vehicle&source=bl&ots=zz2KmLnZIO&sig=ACfU3U3eemU86FA3KUR_eXCxeb3o6mC2Bg&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwjC2vuVp8PpAhWJKewKHSd7ApkQ6AEwD3oECAoQAQ#v=onepage&q=cooling%20by%20dielectric%20oil%20electric%20vehicle&f=false
- [37] FARAG, Mohammed. Lithium-Ion Batteries: Modelling and State of Charge Estimation [online]. ResearchGate, 2013 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/306240899_Lithium-Ion_Batteries_Modelling_and_State_of_Charge_Estimation
- [38] TOPIC, Danijel, Goran KNEZEVIC, Damir SLJIVAC, Matej ZNIDAREC a Jurica PERKO. Integration of the EV charging stations into the public lighting infrastructure. In: 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 1-5 [cit. 2020-05-22]. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2019.8905590. ISBN 978-1-5386-8218-0. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8905590/>

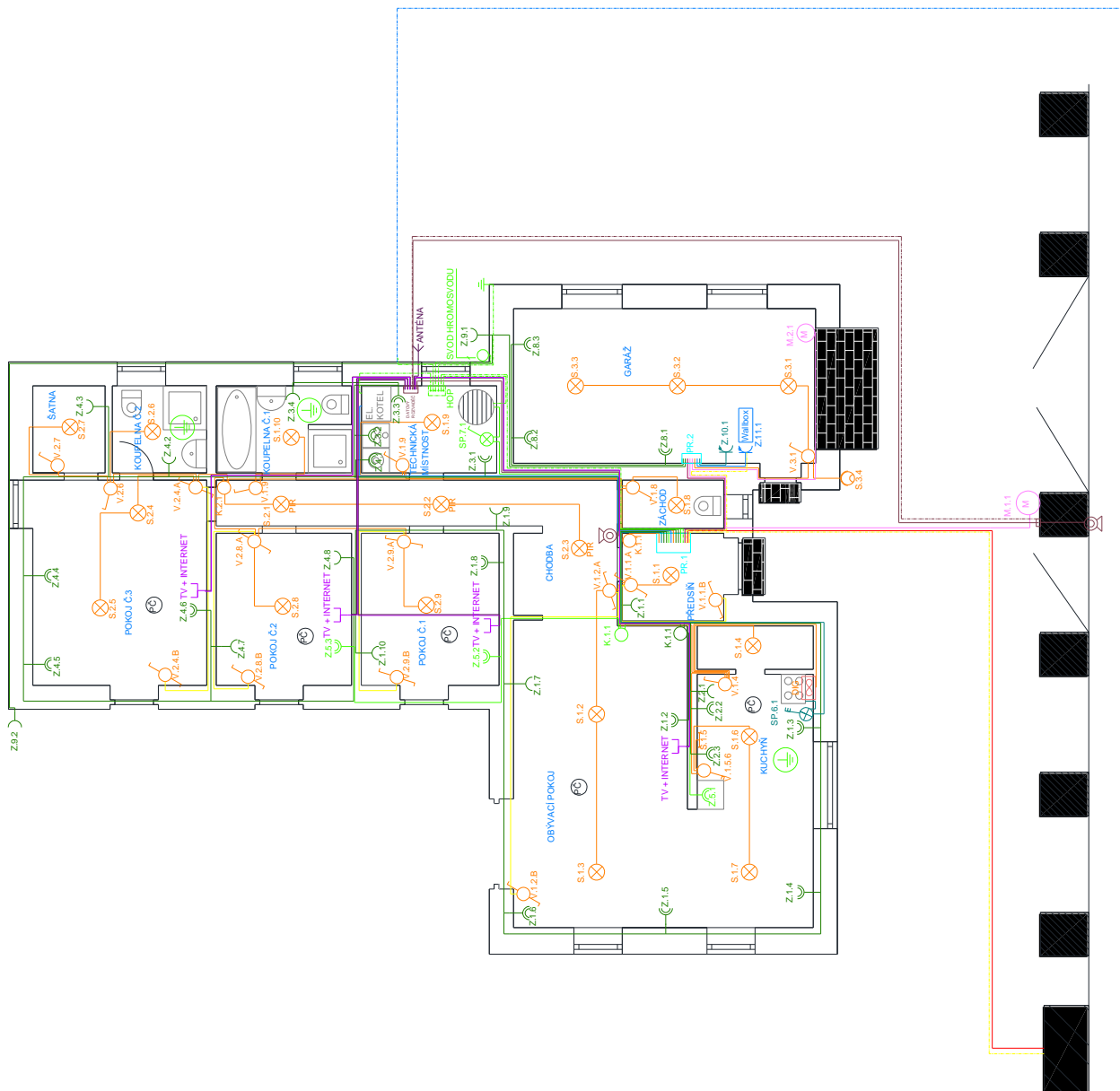
- [39] KELM, Paweł, Rozmysław MIĘŃSKI, Irena WASIAK a Katarzyna WOJCIECHOWSKA. Examination of EV Abilities to Provide Vehicle-to-Home Service in Low Voltage Installation. *Energies* [online]. 2020, 13(7) [cit. 2020-05-22]. DOI: 10.3390/en13071851. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/7/1851>
- [40] MU, Yunfei, Jianzhong WU, Nick JENKINS, Hongjie JIA a Chengshan WANG. A Spatial–Temporal model for grid impact analysis of plug-in electric vehicles. *Applied Energy* [online]. 2014, 114, 456-465 [cit. 2020-05-22]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.006. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626191300826X>
- [41] ARORA, Nand Nandan, Anish JINDAL, Mukesh SINGH, Neeraj KUMAR a Praveen KUMAR. A novel smart meter for better control over devices including electric vehicles and to enable smart use of power in smart home. In: 2015 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC) [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-6 [cit. 2020-05-23]. DOI: 10.1109/ITEC-India.2015.7386924. ISBN 978-1-5090-1911-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7386924/>
- [42] Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu [online]. Praha 1: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2020/1/Vnitrostani-plan-CR-v-oblasti-energetiky-a-klimatu_final.docx
- [43] CLAIRAND, Jean-Michel, Andre PAZMINO-ARIAS, Thalia JATIVA-MALDONADO a Carlos ALVAREZ-BEL. A Remote Control of Electric Vehicle Aggregator for Managing the Charging Power. In: 2018 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA) [online]. IEEE, 2018, 2018, s. 1-5 [cit. 2020-05-23]. DOI: 10.1109/TDC-LA.2018.8511692. ISBN 978-1-5386-5844-4. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8511692/>
- [44] EVSE - Wallbox [online]. Praha: EV Racing, 2019 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: http://evracing.cz/evse/evse-wallbox/evse-wb-din_20190712.pdf. Datasheet.
- [45] Vehicle to home: Electricity Supply System [online]. Nissan - global [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html
- [46] TUTTLE, David P., Robert L. FARES, Ross BALDICK a Michael E. WEBBER. Plug-In Vehicle to Home (V2H) duration and power output capability. In: 2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 1-7 [cit. 2020-05-23]. DOI: 10.1109/ITEC.2013.6574527. ISBN 978-1-4799-0148-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6574527/>
- [47] MARINESCU, A. a I. SERBAN. A Smart Residential Microgrid Based on Renewable Energy Sources with Integrated Electric Vehicle Charging Station. In: 2018 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE) [online]. IEEE, 2018, 2018, s. 1-5 [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.1109/ISFEE.2018.8742474. ISBN 978-1-5386-7212-9. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8742474/>
- [48] ERDINC, Ozan, Nikolaos G. PATERAKIS, Tiago D. P. MENDES, Anastasios G. BAKIRTZIS a Joao P. S. CATALAO. Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2015, 6(3), 1281-1291 [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.1109/TSG.2014.2352650. ISSN 1949-3053. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6901266/>

- [49] GSM, OCPP, PLC ...?: The Mobility House explains It all [online]. Munich: The Mobility House, c2018 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/gsm-ocpp-plc-the-mobility-house-explains-it-all
- [50] Intelligent software from The Mobility House makes an entire island fossil free [online]. The Mobility House, 2019 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.mobilityhouse.com/int_en/magazine/press-releases/intelligent-software-from-the-mobility-house-makes-an-entire-island-fossil-free.html/
- [51] HAISCHER, Patrick. Confronting electricity costs in The United States [online]. Kearny, c2014 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.middle-east.kearney.com/pl/web/guest/energy/article/?/a/confronting-electricity-costs-in-the-united-states>
- [52] BROŽ, Filip, Antonín HEŘMAN, Milan KRÁTKÝ, et al. Dílčí studie pro pracovní tým A25: Dopad elektromobility do DS ČR [online]. Brno: EGÚ Brno, 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/3/Integrace_emobility_loadflow_studie_EGU.pdf
- [53] HORÁČEK, Michal. TOP EXPO. Nástroje pro urychlení rozvoje elektromobility v gesci MPO. Plzeň, 2019.
- [54] C27d + D27d – vaše sazby pro život s elektromobilem [online]. Praha: ČEZ Energo, [2020] [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/novinky/tiskove-zpravy/23.html>
- [55] Elekřina: Ceník [online]. Plzeň: ČEZ Distribuce, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web-cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_202001_cezdi.pdf

Přílohy

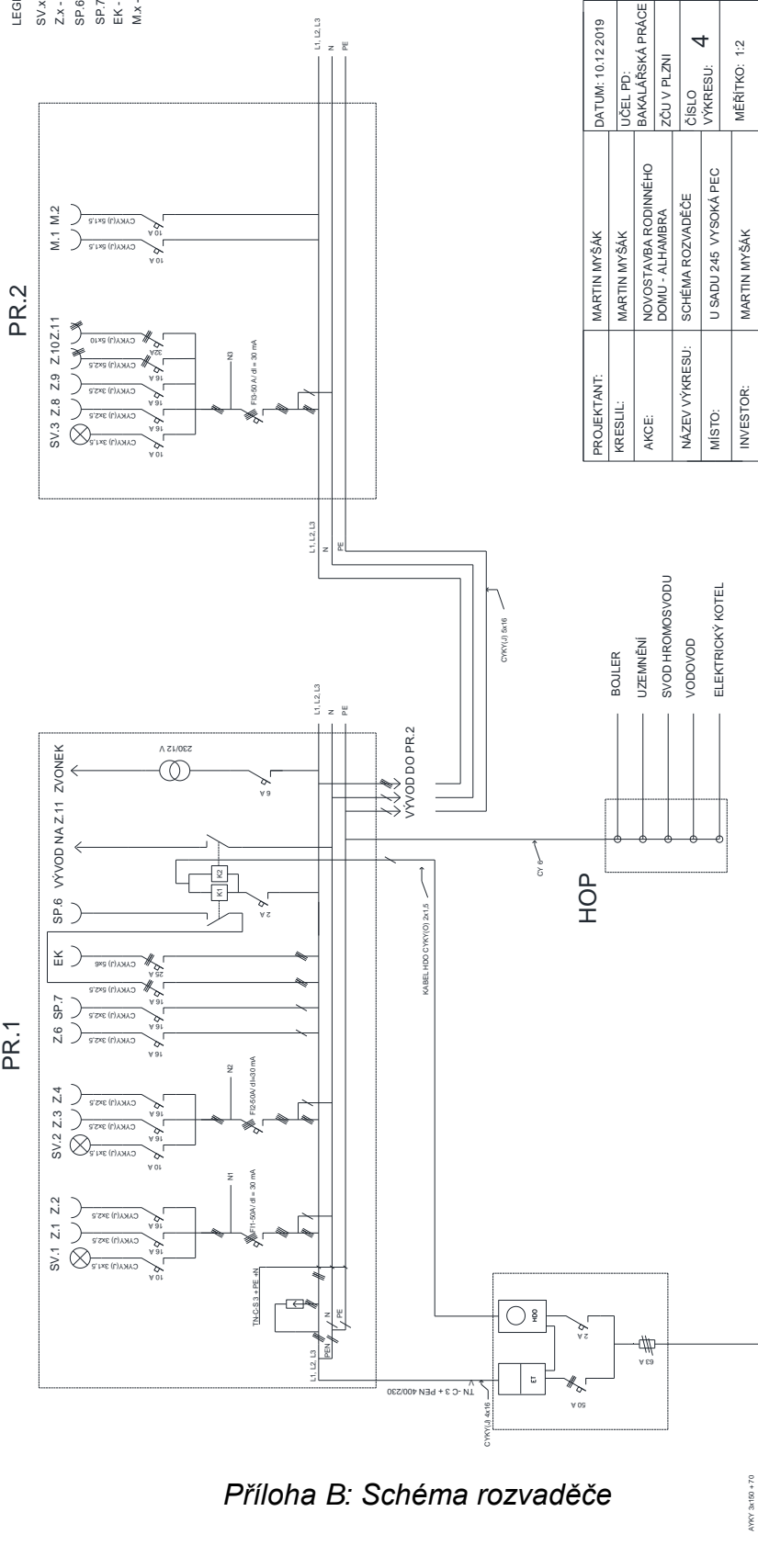
- LEGENDA:**
- ⊗ ŽÁROVÉ SVÍTIDLO
 - ⊗ ŽÁROVÉ SVÍTIDLO S POHYBOVÝM ČIDLEM
 - PR ŽÁŘIVKOVÉ SVÍTIDLO
 - VÝBOJKOVÉ SVÍTIDLO
 - JEDNOFÁZOVÝ SPÍNAČ
 - DVOUFÁZOVÝ SPÍNAČ
 - STRÍDAVÝ PŘEPÍNAČ
 - ⊗ JEDNOFÁZOVÝ VYPÍNAČ SE SIGNÁLKOU
 - ⊗ TROJFÁZOVÝ VYPÍNAČ SE SIGNÁLKOU
 - JEDNOFÁZOVÁ ZÁSUVKA
 - JEDNOFÁZOVÁ DVOJZÁSUVKA
 - TŘÍFÁZOVÁ ZÁSUVKA
 - ⊗ SDELOVACÍ ZÁSUVKA
 - KRABICE
 - ⊕ UZEMNĚNÍ
 - ⊕ MÍSTNÍ OCHRANNÉ POSPOJOVÁNÍ
 - ⊗ ELEKTRICKÝ JEDNOFÁZOVÝ MOTOR
 - ⊗ ZVONEK
 - ⊗ BEZDRÁTOVÉ POŽÁRNÍ ČIDLO
 - ROZVADĚČ
 - CYKY(O) 2x1,5
 - CYKY(J) 3x1,5
 - CYKY(O) 3x1,5
 - CYKY(J) 5x1,5
 - CYKY(J) 3x2,5
 - CYKY(J) 4x16
 - CYKY(J) 5x2,5
 - CYKY(J) 5x10
 - CYKY(J) 5x16
 - CY 6
 - SDELOVACÍ KABEL F-2YAZY 10x2x0,8
 - KOAXIÁLNÍ KABEL
 - UTP CAT 6
 - REZERVA, PE CHRÁNIČKA
 - VODOVODNÍ POTRUBÍ

PROJEKTANT:	MARTIN MYŠÁK	DATUM:	10.12.2019
KRESLIL:	MARTIN MYŠÁK	UCEL PD:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
AKCE:	NOVOSTAVBA RODINNÉHO DOMU - ALHAMBRA	ZČU V PLZNI	
NÁZEV VÝKRESU:	PUDORYS DOMU	ČÍSLO VÝKRESU:	2
MÍSTO:	U SADU 245 VYSOKÁ PEC	MĚŘÍTKO:	1:50
INVESTOR:	MARTIN MYŠÁK		



Příloha A: Domovní instalace

- LEGENDA:
 SV.X - SVĚTELNÝ OKRUH
 Z.X - ZÁSUVKOVÝ OKRUH
 SP.6 - SPÍNAČ PRO VARNOU DESKU
 SP.7 - SPÍNAČ PRO BOILER
 EK - ELEKTROKOTEL
 M.X - MOTOR PRO OVLÁDÁNÍ DVEŘÍ



PROJEKTANT:	MARTIN MYŠÁK	DATUM:	10.12.2019
KRESLIL:	MARTIN MYŠÁK	ÚČEL PD:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
AKCE:	NOVOSTAVBA RODINNÉHO DOMU - ALHAMBRA	ZŮ V PLZNI	
NÁZEV VÝKRESU:	SCHEMA ROZVADĚČE	ČÍSLO VÝKRESU:	4
MÍSTO:	U SADU 245 VYSOKÁ PEC	MĚŘÍTKO:	1:2
INVESTOR:	MARTIN MYŠÁK		

Příloha B: Schéma rozvaděče

AVY 3:19 - 70
 TN-C 400/230V, 50Hz