

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Zdeněk Adrian Scheer**

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Dopravní a energetický model pro individuální elektromobilitu

Zdeněk Adrian Scheer

Bakalářská práce

2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeněk Adrian Scheer**  
Osobní číslo: **D15687**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Název tématu: **Dopravní a energetický model pro individuální elektromobilitu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Sestavte přehled možností využití osobního elektromobilu
2. Provedte rešerši technických řešení pohonného řetězce a nabíjecích systémů elektromobilů
3. Provedte studium vazeb elektromobility na další sféry
4. Sestavte a optimalizujte dopravní a energetický model využití elektromobilu a dalších prostředků individuální dopravy

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Weicker, P., Lithium ? Ion Battery Management. Artech House, London 2014, ISBN 978-1-60807-659-8**

**Emadi, A., Advanced Electric Drive Vehicles, CRC Press 2017, ISBN 9781138072855**

**Filho, L., E-Mobility in Europe, Springer 2015, ISBN 978-3-319-13194-8**

**ČSN EN 62485-3 Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a akumulátorové instalace-Část 3: Trakční baterie**

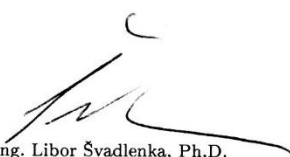
Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.**


Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **4. prosince 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

  
doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
Ing. Dušan Čermák, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. března 2018

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA**

Prohlašuji, že jsem tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18.5.2018

Zdeněk Adrian Scheer

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jaroslavu Novákovi, CSc. za vstřícnost, podporu a cenné připomínky v průběhu realizace této práce. Dále bych také rád poděkoval všem ostatním, kteří mě během psaní této práce a během celého studia podporovali.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se věnuje různým aspektům rozvoje silniční elektromobility. V práci je nejprve obsažen přehled současných elektromobilů a možností jejich využití. Dále jsou popsány možnosti řešení pohonného řetězce elektromobilu a typy akumulátorů užívaných pro elektromobily. V další části se tato bakalářská práce zabývá pohledem vlivů elektromobility na další sféry, jako jsou energetika a urbanismus. V hlavní části bakalářské práce je modelována situace domácnosti s elektromobily. Jsou zde rozebrány možnosti jejich nabíjení a řešení optimalizace nabíjecího procesu, jak z pohledu technického, tak z pohledu ekonomického. Dále je v této části rozebrána možnost využití solárních panelů pro využití v domácnosti a nabíjení elektromobilů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

elektromobilita, asynchronní motor, synchronní motor s permanentními magnety, lithiové baterie, nabíjení elektromobilu, solární panely

## **TITLE**

Transport and energetic model for individual electromobility

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with the various aspects of development in electromobility. The first part of this thesis contains an overview of available electric vehicles. Following is a description of the options of a drive of electric vehicles and battery types used in electric vehicles. In the next part, this thesis deals with the effects of electromobility on other areas, such as energetics and urbanism. The main part of this bachelor thesis consists of a model situation of a household which uses electric vehicles. The options of charging the electric vehicles are analyzed and an optimization of the charging process is described from both a technical and an economical viewpoint. Furthermore, the possibilities of using solar energy both for the household and for electric vehicle charging are analyzed.

## **KEYWORDS**

electromobility, induction motor, permanent magnet synchronous motor, lithium batteries, electric vehicle charging, solar energy

# OBSAH

Úvod .....	9
<b>1 Možnosti využití elektromobilu .....</b>	<b>10</b>
1.1 Osobní automobily .....	10
1.1.1 Technické parametry elektromobilů .....	10
1.1.2 Použití pro provoz ve městě.....	11
1.1.3 Použití pro kombinovaný provoz.....	11
1.2 Elektrobuses .....	12
1.2.1 Městské elektrobuses .....	12
1.2.2 Parciální elektrobuses.....	12
1.2.3 Dálkové elektrobuses .....	13
1.3 Zásobovací vozy.....	13
<b>2 Technické řešení pohonného řetězce .....</b>	<b>14</b>
2.1 Možnosti řešení pohonu .....	14
2.1.1 Asynchronní stroj.....	14
2.1.2 Synchronní stroj.....	15
2.1.3 Srovnání motorů .....	16
2.2 Bateriové systémy .....	17
2.2.1 Olověné akumulátory.....	17
2.2.2 Lithiové akumulátory.....	17
2.2.3 Výroba lithiových baterií .....	19
2.2.4 Recyklace lithiových baterií .....	19
<b>3 Vazba elektromobility na další sféry.....</b>	<b>21</b>
3.1 Energetika .....	21
3.1.1 Možnosti nabíjení .....	21
3.1.2 Střídavé nabíjení .....	21
3.1.3 Rychlodobíjecí nabíjení .....	21
3.1.4 Okamžitá výměna baterií .....	22
3.1.5 Nabíjecí stanice v ČR .....	22
3.1.6 Vliv na energetické zdroje .....	23
3.2 Urbanismus .....	27
3.2.1 Řešení dobíjecích stanic ve městech.....	27
3.2.2 Zdroje znečištění.....	28



<b>4</b>	<b>Dopravní a energetický model využití elektromobilu .....</b>	<b>30</b>
4.1	Model domácnosti .....	30
4.2	Dopravní model elektromobility .....	31
4.3	Nabíjení elektromobilu.....	33
4.3.1	Nabíjení běžným výkonem .....	34
4.3.2	Nabíjení vyšším výkonem .....	36
4.3.3	Optimalizovaný model domácího nabíjení .....	37
4.3.4	Nabíjení mimo domácnost .....	38
4.3.5	Ekonomické zhodnocení .....	39
4.4	Solární panely.....	41
4.4.1	Typy dostupných solárních panelů .....	41
4.4.2	Výpočet vyrobené energie .....	42
4.4.3	Modelace získané solární energie .....	43
4.4.4	Využití solární energie .....	46
4.4.5	Ekonomické zhodnocení .....	50
4.5	Možnosti dalšího rozšíření a doplnění modelu .....	51
	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>58</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>59</b>
	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>60</b>

## ÚVOD

Automobil s elektrickým pohonem není novým vynálezem, ale více než sto let starý. Velké množství elektromobilů již jezdilo na konci devatenáctého století, avšak na počátku dvacátého století byly postupně vytlačeny vozidly se spalovacím motorem. V průběhu celého dvacátého století se objevovaly různé vozy s elektrickým pohonem, ale nikdy nedosáhly výraznějšího podílu na trhu, především kvůli horším vlastnostem a vyšší ceně při srovnání s vozidly se spalovacím motorem. V současnosti se však dostáváme do zlomového bodu, kdy jsme rozvojem techniky a technologií, především co se týká lithiových baterií, elektrických motorů a výkonové polovodičové elektroniky dosáhli stavu, kdy lze zkonstruovat vozidla obdobná či v některých ohledech dokonce lepší než ta se spalovacím motorem. Je zde také stále větší společenský a politický tlak na omezování negativních vlivů individuální dopravy a bezemisní provoz automobilu.

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou elektromobility. První kapitola je věnovaná popisu možností využití elektromobilů a popisu dnes dostupných vozidel s elektrickým pohonem. Druhá kapitola se zabývá technickým řešením elektromobilu, a to jak z hlediska pohonu, tak z hlediska dostupných technologií baterií. Třetí kapitola se zabývá dopadem elektromobility na další sféry, jako je energetika a urbanismus. Hlavní částí práce je navržení optimálního energetického a dopravního modelu domácnosti s elektromobily.

Výsledkem této práce je model fiktivní domácnosti s dvěma elektromobily, ve kterém je navržen způsob, jak by se elektromobily mohly co nejefektivněji nabíjet s ohledem na jejich využívání a technické a ekonomické možnosti. Dále je do těchto výpočtů zahrnuto možné využití střešní plochy domu pro solární panely. Je proveden výpočet vyrobené elektrické energie různými uvažovanými druhy solárních panelů s ohledem na denní dobu a roční období. Je proveden výpočet možnosti využít tuto energii jak v domácnosti, tak pro nabíjení elektromobilů.

# 1 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ELEKTROMOBILU

V zemích Evropské Unie je v roce 2017 v provozu přes 375 miliónů silničních vozidel, z toho téměř 325 miliónů osobních vozidel a tento počet stabilně narůstá [1]. To při celkovém počtu 500 miliónů obyvatel odpovídá tomu, že na jednoho obyvatele EU připadá 0,75 osobních vozidel. Se zvyšujícím počtem vozidel však rostou také negativní dopady individuální dopravy, především co se týká dopadů na trvalou udržitelnost při využívání dostupných přírodních zdrojů, vlivu na zdraví obyvatel a globálních změn klimatu.

Již v brzké budoucnosti se bude muset automobilový trh výrazně změnit. Evropská unie stanovila od roku 2020 s přechodnou dobou do roku 2022 emisní limity pro výrobce vozidel na průměrných 95 gramů emisí CO<sub>2</sub> za kilometr. Tato hodnota emisí odpovídá přibližně spotřebě 4,1 l/100 km benzínu nebo 3,6 l/100 km dieselu [2]. Takovéto spotřeby nelze u běžně vyráběných vozidel se spalovacím motorem dosáhnout. Bude tedy potřeba začít běžnou produkci vozidel se spalovacími motory doplnit ve větší míře vozidly s alternativními pohony s nižšími emisemi, aby výrobce v průměru na celkovém počtu vozů těchto hodnot dosáhl.

Je však pochopitelné, že se valná většina lidí nebude chtít vzdát pohodlí individuální dopravy ve prospěch celkově šetrnější hromadné dopravy, a tak je třeba hledat cesty, jak zmírnit negativní dopady individuální dopravy. Jednou z uvažovaných variant nejen pro osobní automobily, ale i pro autobusy a nákladní vozidla je řešení elektrického pohonu. Tato kapitola má za cíl naznačit možnosti využití elektromobility pro různé kategorie vozidel.

## 1.1 Osobní automobily

### 1.1.1 Technické parametry elektromobilů

Tabulka 1.1 – technické parametry v současnosti dostupných elektromobilů [3–6]

	Nissan Leaf Ze1	BMW i3	Tesla Model S	VW e-Up!
Výkon [kW]	110	125	285	60
Zrychlení 0-100 [s]	7,9	7,3	5,6	12,4
Baterie [kWh]	40	33	85	18,7
Dojezd NEDC [km]	378	200	502	160
Spotřeba [Wh/km]	191	167	240	117
Hmotnost [kg]	1520	1390	2108	1214
Cena [Kč]	900 000	1 100 000	2 250 000	600 000

Z tabulky č. 1 vyplývá, že co se týká technických parametrů, elektromobily se až tolik neliší od běžných automobilů se spalovacím motorem. Rozdíly můžeme spatřit především ve větší hmotnosti a nižším dojezdu. Zajímavým údajem je určitě spotřeba elektromobilů, je zřejmé, že se zde jednotlivé typy liší až o dvojnásobek, je však třeba dát si tato čísla do souvislosti s osobními vozy se spalovacím motorem. Při uvažování velmi úsporného auta se vznětovým motorem s kombinovanou spotřebou 5 l/100 km dieselu se při přibližné hustotě energie dieselu 10 kWh/l [7] dostáváme na energetickou spotřebu 500 Wh/km, což je přes čtyřikrát vyšší energetická spotřeba než u srovnatelného vozu s elektrickým pohonem, jako může být například VW e-Up!. Osobní elektromobily však mají různá další specifika, která je pro jejich provoz nutno uvážit, především délku nabíjení a nabíjecí možnosti, které výrazně ovlivňují využitelnost elektromobilů.

### **1.1.2 Použití pro provoz ve městě**

Pro provoz ve městě je elektromobil především výhodný z hlediska možnosti rekuperačního brzdění, protože jízdný cyklus ve městě obvykle obsahuje velké množství zpomalení a zastavování a nových rozjezdů. Výhodou je také bezemisní provoz v místě využívání elektromobilu, automobilová doprava je jedním z významných zdrojů znečištění ve městech. Většímu rozvoji elektromobilů ve městech brání především nedostatečná nabíjecí infrastruktura. Mezi současně prodávanými vozidly zaměřených především na provoz ve městě je například VW e-up!.

### **1.1.3 Použití pro kombinovaný provoz**

Většina uživatelů automobil nevyužívá jen pro provoz ve městě, ale od automobilu očekává univerzální vlastnosti. Při využívání mimo město je snížena jedna z výhod elektromobilu, a to rekuperační brzdění, protože zde se v jízdním cyklu obvykle nevyskytuje takové množství brzdění a zastavování. Také je potřeba vzít v úvahu, že při vyšších rychlostech výrazně roste spotřeba kvůli aerodynamickému odporu. Například automobil Tesla Model S dle počítačové modelace při rychlosti kolem 50 km/h má dojezd přes 600 km, ale při dálničních rychlostech kolem 120 km/h to je už pouze 350 km. [8] Je to způsobeno především kvadraticky se navyšujícím odporem vzduchu v závislosti na rychlosti. Tento problém se samozřejmě týká i vozidel se spalovacím motorem, ale zde kvůli všeobecně vyššímu dojezdu a možnosti načerpat velké množství energie za krátký čas nejde o problém tak významný z uživatelského hlediska. Při konstrukci elektromobilu je tak žádoucí, aby aerodynamický odpor byl co možná nejmenší.

## 1.2 Elektrobusy

Tabulka 1.2 – technické parametry současně dostupných elektrobusů [9–11]

	SOR EBN 11	Škoda Perun HE	BYD C9
Výkon [kW]	120	160	360
Max. rychlost [km/h]	80	70	100
Baterie [kWh]	172	221	365
Dojezd [km]	120	150	250
Pohotovostní hmotnost [t]	9	12,4	14

### 1.2.1 Městské elektrobusy

Z jistého pohledu by mohla být elektrizace autobusů v městské dopravě dokonce jednodušší než u osobních vozidel. Není zde žádána tak velká univerzálnost jako v případě osobních automobilů. Jízdní trasy obvykle nejsou delší 20 km a jsou obvyklé častější přestávky na předem určených místech, podle čehož lze naplánovat dobíjecí infrastrukturu. Lze například během dne dobíjet v kratších intervalech na rychlonabíječkách instalovaných na jednotlivých obřatištích a přes noc dobíjet v depu levnějším nočním proudem.

V České Republice prozatím k rozvoji elektrobusů teprve postupně dochází. Některá města už některé typy elektrobusů testovala. Jedním z měst, které koupilo větší množství elektrobusů a používá je v reálném provozu je Třinec, kde od roku 2017 jezdí 10 elektrobusů. [12] Problémem většího rozvoje elektrobusů je především vyšší pořizovací cena elektrobusů. Autobus s pohonem na naftu stojí kolem 5 miliónu korun, elektrobus obvykle více než dvakrát tolik. Provozní náklady elektrobusu jsou však nižší.

### 1.2.2 Parciální elektrobusy

Nabízí se i různá hybridní řešení kombinovaná s trolejbusovým řešením. Elektrobus by se tak mohl dobíjet především na konečných zastávkách, kde obvykle autobus několik minut až desítek minut čeká, ale po části trasy by se mohl dobíjet i za jízdy, například v náročném terénu, kde by byla spotřeba elektrické energie větší. Oproti čistě trolejbusovému systému tak odpadá nutnost vysokých počátečních investic do trolejbusové napájecí sítě a zároveň nepotřebují elektrobusy tak velké baterie, což se pozitivně projeví na ceně a hmotnosti. Současným rozvojem se tak přibližují parciální elektrobusy a moderní trolejbusy, které často také mají baterie pro překonání případných výpadků, či dokonce pro ujetí části trasy bez napájení. V Praze se testuje od roku 2017 speciálně upravený trolejbus typu SOR TNB12, který můžeme

považovat za parciální elektrobus. Elektrobus se nabíjí při přestávkách na obratišti a dynamicky z trolejového vedení při jízdě na kilometrovém úseku. [13]

### **1.2.3 Dálkové elektrobusy**

Pro nasazení elektrického pohonu pro autobusy městské hromadné dopravy jsou podmínky a předpoklady dokonce lepší než v případě osobních automobilů, pro dálkové a zájezdové autobusy to neplatí. Tyto vozidla mají typicky velké nájezdy a minimum přestávek, kdy se na každém autobusu střídá několik řidičů pro dosažení co nejvyššího využití. Přesto není budoucí využití elektrobusů na dálkových trasách zcela nereálné, pokud uvažujeme povinnost držet každé 4,5 hodin přestávku minimálně 45 minut [14], tak při využití výkonných nabíječek může i tento krátký čas stačit pro dobytí elektrobusu. Například německá společnost FlixBus rozhodla o nákupu několik autobusů čínské výroby BYD C9, které plánuje nasadit na 150 km dlouhé lince mezi Paříží a Amiens. [15] V podmínkách České republiky je vzhledem k relativně malým geografickým rozměrům nasazení elektrobusů na část dálkové autobusové dopravy technicky proveditelnou možností, obvyklá délka linek dálkových autobusů není více než 200 km.

### **1.3 Zásobovací vozy**

Využití lze hledat především v městském provozu, kde jsou výhody elektropohonu větší a nedostatky jako omezený dojezd ne tak důležité. Příkladem využití může být vůz pošty, které především ve městech mají specifický jízdný cyklus s malým nájezdem a velkým počtem zastavení a rozjezdů. V současnosti vyráběným typem takového vozidla je Streetscooter Work, který vyrábí dceřiná společnost Deutsche Post Streetscooter. [16] Vůz se vyrábí s variantou lithiové baterie buď s kapacitou 20 kWh, s kterou dosahuje dojezdu 113 km nebo s baterií o kapacitě 40 kWh s dojezdem 230 km. Z běžné 230 V 16 A zásuvky by se varianta s nižší kapacitou dala nabít na plnou kapacitu za zhruba 7 hodin, varianta s větší kapacitou baterie za dvojnásobek. Cena za variantu s 40 kWh baterií je jeden milion korun. To je o něco vyšší cena než u modelů s naftovými motory, ale provozní náklady by měly být výrazně nižší.

## 2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ POHONNÉHO ŘETĚZCE

### 2.1 Možnosti řešení pohonu

Základní požadavky na motor vozidla jsou především vysoká účinnost, dále pak vzhledem k omezenému prostoru ve vozidle vysoký poměr výkonu k velikosti a hmotnosti. Motory také musí odolat různým vlivům okolí, ve kterých se může vozidlo vyskytnout, především různým teplotám. První elektromobily používaly jako pohon stejnosměrné motory. Tento způsob je problematický především kvůli komutaci z hlediska údržby. Rozvoj a miniaturizace výkonové polovodičové techniky umožnila použití střídavých motorů, a to jak asynchronních, tak v poslední letech především synchronních, které mají z některých hledisek ještě výhodnější vlastnosti, především z pohledu rozměrů a efektivity.

#### 2.1.1 Asynchronní stroj

Pro účely trakčního využití je smysluplné z hlediska vlastností uvažovat pouze o třífázovém asynchronním motoru. Princip působení asynchronního stroje je založen na vzájemném působení točivého magnetického pole statoru a proudů, vytvořených ve vinutí rotoru tímto magnetickým polem. Stator asynchronního stroje je složen z plechů, v jejich drážkách je uloženo trojfázové vinutí. Rotor je také složen z plechů, vinutí může být buď vinuté nebo klecové. Pro otáčky asynchronního motoru platí:

$$n = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 60}{P_p} \cdot (1 - s) \quad (2.1)$$

Kde:            n – otáčky motoru [ot./min]  
                  f – frekvence [Hz]  
                  P<sub>p</sub> – počet pólů  
                  s – skluz motoru

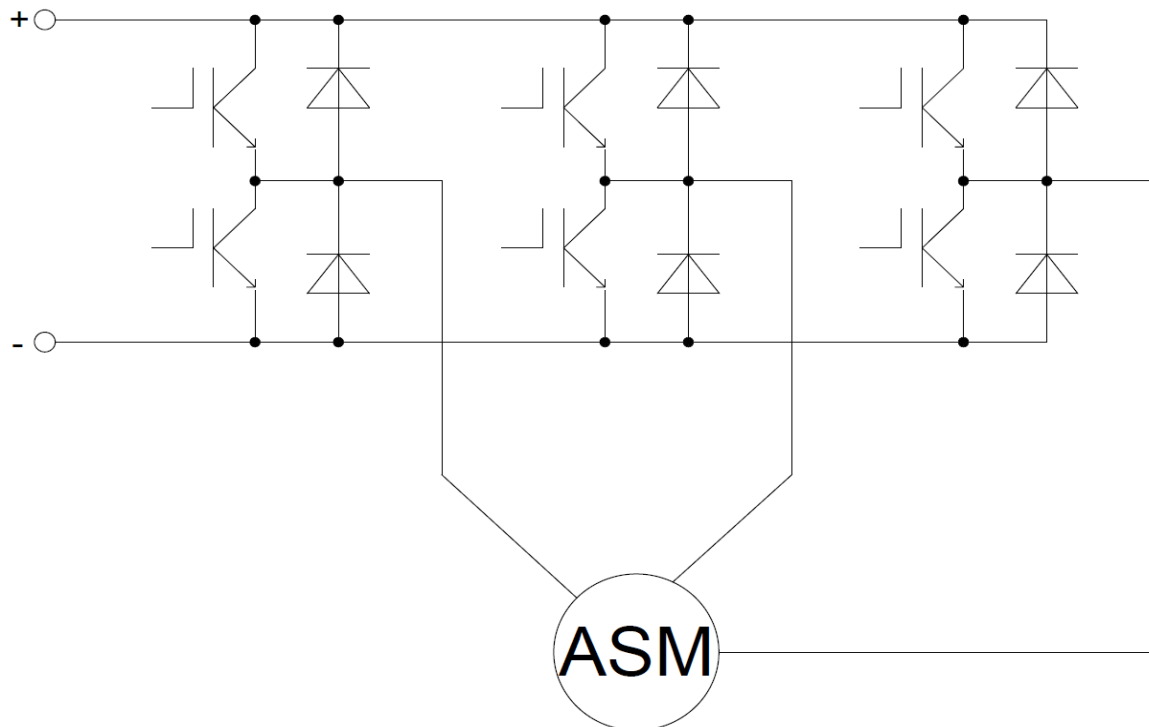
Dále v případě asynchronního motoru platí:

$$M \sim U^2 \quad (2.2)$$

Kde:            M – moment asynchronního motoru [Nm]  
                  U – napětí [V]

Z rovnic (2.1) a (2.2) vychází, že rychlost otáčení a moment lze řídit ve velké míře nezávisle na sobě. To je samozřejmě oproti spalovacímu motoru z hlediska trakčních vlastností, kde jsou otáčky a moment ve vzájemné závislosti, mnohem výhodnější. Do jmenovité rychlosti je k dispozici stálý maximální moment nezávislý na otáčkách, a navíc nám to umožňuje využít převodovku s pevným poměrem.

Obrázek 2.1 – schéma střídače



Pro řízení motoru se obvykle používá měnič napětí a frekvence. V určitých typech elektromobilů bývá ještě využito stejnosměrného měniče mezi měničem frekvence a bateriemi.

### 2.1.2 Synchronní stroj

Synchronní stroje se používají především v energetickém sektoru, jejich využití jako trakčních pohonů je relativně moderní záležitostí posledních dvou desetiletí. Stator synchronního stroje je stejný jako u stroje asynchronního. Rotor zde je zdrojem stejnosměrného magnetického toku, konstrukce rotoru mohou být s vyniklými póly, s hladkým rotorem či s permanentními magnety. Pro trakční účely se využívá především motorů s permanentními magnety. Mechanické otáčky jsou dány:



$$n = 60 \cdot \frac{2 \cdot f}{P_p} \quad (2.3)$$

Kde:            n – otáčky motoru [ot./min]  
                   f – frekvence [Hz]  
                   P<sub>p</sub> – počet pól párů

Z rovnice (2.3) vyplývá, že rychlost synchronního motoru tak můžeme řídit obdobně jako u asynchronního motoru změnou frekvence.

K výrobě synchronních motorů s permanentními magnety jsou potřeba silné permanentní magnety. Ty se vyrábí ze sloučeniny NdFeB, které mají nejvyšší magnetickou indukci a to až 1,25 T, avšak trpí korozi. Dalším typem permanentního magnetu může být magnet typu SmCo, ty mají o něco menší magnetickou indukci, ale za to mají lepší vlastnosti z hledisek tepelné odolnosti a životnosti.

### 2.1.3 Srovnání motorů

Výhodou asynchronního motoru je především jednoduchá konstrukce, vysoká spolehlivost, odolnost a jednoduchá a levná údržba. Taktéž se jedná o nejrozšířenější motor vůbec a dlouhou dobu se již používá v pohonech železničních vozidel. Účinnost trakčních asynchronních elektromotorů se pohybuje kolem 90 %. Asynchronní elektromotor se používá například v elektromobilech Tesla S a Tesla X. Využívá se také v některých elektrobusech. Zde by mohl najít i uplatnění do budoucna, protože tu nejsou tak vysoké nároky na kompaktní rozměry jako v osobních elektromobilech.

V modernějších vozidlech se začíná využívat především synchronní elektromotor s permanentními magnety. Synchronní motor s permanentními magnety má ještě o něco vyšší účinnost než motor asynchronní, účinnost může dosahovat až 95 %. Lepší účinnost je způsobena především absencí ztrát ve vinutí rotoru. Hlavní výhodou je však tří až čtyřnásobné zmenšení objemu i hmotnosti při stejném výkonu a otáčkách oproti asynchronnímu motoru. Vzniká zde ale odpadní teplo na menší ploše, synchronní stroje tak je nutné obvykle chladit kapalinou. Synchronní elektromotor se používá ve většině moderních elektromobilů, jako jsou například Nissan Leaf, Tesla 3 a BMW i3.

Obě řešení mají tu výhodu, že co se týče jízdných vlastností, tak díky charakteristikám motorů řízených z měniče je výkon k dispozici při jakýkoliv otáčkách. Můžeme používat převodovku s pevným poměrem, v případě synchronních strojů lze v určitých případech využít i řešení bez převodovky. [17–20]

## **2.2 Bateriové systémy**

Především nedostupnost dostatečně kapacitních baterií zabránila rozvoji elektromobilů ve dvacátém století. Dostupné technologie baterií neumožnily konstrukci vozidla, které by mělo dostatečný dojezd při zachování rozumné hmotnosti a rozměrů. V posledních letech však došlo k výraznému posunu v dostupných akumulátorech a díky lithiovým bateriím lze v dnešní době sestavit vozidla s dojezdem v řádu stovek kilometrů.

Na trakční akumulátory pro elektromobily jsou především kladeny vysoké nároky z hlediska co nejlepšího poměru kapacity k rozměrům a kapacity k hmotnosti, aby samotný akumulátor příliš nezvyšoval hmotnost a rozměry vozidla a nezhoršoval tak příliš jízdné vlastnosti.

### **2.2.1 Olověné akumulátory**

Výhodou olověných akumulátorů je jejich nízká cena a dobrá bezpečnost. V automobilovém průmyslu našly největší využití jako startovací baterie spalovacích motorů. Vyskytují se však také ve četných aplikacích jako trakční baterie především u méně náročných vozidel, jako jsou různé golfové vozíky, vysokozdvizné vozíky a další pracovní stroje. Pro konstrukci moderních elektrických vozidel jsou však nevhodné z důvodu příliš nízké objemové a hmotnostní hustoty energie.

### **2.2.2 Lithiové akumulátory**

Veškeré moderní elektromobily používají akumulátory založené na lithiu. Vlastnosti lithiových akumulátorů lze výrazně ovlivnit typem lithiové sloučeniny v katodě. Lze tak vyrobit baterie o různých kapacitách, výkonech, hmotnostních hustotách energie a objemových hustotách energie. Také bezpečnosti různých technologií jsou různé. Parametry různých typů lithiových baterií jsou uvedené v Tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 – parametry vybraných technologií lithiových článků [21]

Parametr	LFP	NCA	NMC HP	NMC HE
Jmenovité napětí [V]	3,2	3,6	3,7	3,7
Hmotnostní hustota energie jen článků [kWh/t]	100	200–250	150	170–180
Objemová hustota energie jen článků [kWh/l]	120–170	400–600	340	400
Trvalý vybíjecí proud [C]	2–3	1–2	4–5	2-3
Cena pořizovací [Kč/kWh]	12 000	15000	16000	16000
Počet cyklů	3 000	1000	3000	3000
Cena opotřebení [Kč/kWh]	4	15	5,3	5,3
Cena kontejneru (bez článků) [Kč/kWh]	6300	5600	5500	5500
Hmotnost kontejneru (bez článků)	0,2 mčlánků	0,45 mčlánků	0,3 mčlánků	0,35 mčlánků

V člancích NMC se využívá sloučenina  $\text{LiNiMnCoO}_2$ . Tento typ lze dle poměrů katodových materiálů modifikovat dle konkrétních požadavků, buď s vyšší kapacitou (NMC HE) a nižšími možnými vybíjecími proudy nebo s vysokými vybíjecími proudy, ale nižší kapacitou (NMC HP). Obvyklým příkladem použití tohoto typu článku je standardní pouzdro 18650. V tomto pouzdře může mít například následující specifikace: buď kapacitu 2 800 mAh s vybíjecími proudy až 5 A nebo větší vybíjecí proudy až 20 A, ale s nižší kapacitou 2000 mAh. Přidáním silikonu do anody lze dosáhnout v tomto pouzdře kapacity až 4 000 mAh, ale za cenu nižší životnosti. [21]

V člancích typu LFP se využívá sloučeniny  $\text{LiFePO}_4$ . Oproti jiným typům lithiových baterií je výhodou vyšší bezpečnost, u tohoto typu baterií nedochází ke vzplanutí při přebíjení. Nevýhodou je o něco nižší hmotnostní a objemová hustota baterie. [22]

U článků NCA se využívá v kladné elektrodě sloučenina  $\text{LiNiCoAlO}_2$ . Mezi výhody patří vysoké hodnoty nabíjecích i vybíjecích proudů a vysoká hustota energie, nevýhoda je vysoká cena a nižší životnost. Tento typ baterie používá například společnost Tesla, baterie elektromobilu Tesla Model S ve variantě 85 kWh je složena z 7 616 článků v pouzdře typu 18650. [23]

### **2.2.3 Výroba lithiových baterií**

Pro výrobu lithiových baterií není třeba pouze samotného lithia, ale i dalších prvků v závislosti na typu použité technologie lithiové baterie. Hlavním zdrojem lithia jsou minerály, především pegmatity a solné roztoky. Celkové množství lithia na celém světě se odhaduje na 31 miliónů tun. Celková spotřeba lithia je odhadována na 20 miliónů tun pro dnešní století. Zásoby lithia tak jsou pro dlouhodobý horizont dostatečné. Dalších materiálů využitých při výrobě lithia, jako je mangan, kobalt, nikl a další kovy je také relativní dostatek. Největším problémem je především velký environmentální vliv těžby lithia, především znečištění vody. Je to tak jeden z kritických aspektů, že i elektrická vozidla zanechávají velkou stopu na přírodě. [24]

### **2.2.4 Recyklace lithiových baterií**

Za dosažení konce životnosti baterie se obecně považuje poklesnutí kapacity akumulátoru na 80 % původní kapacity. Tato doba je velmi závislá na podmínkách provozu akumulátoru, ale současná generace používaných trakčních lithiových baterií by měla vydržet v provozu kolem 8 let. Po dosažení tohoto poklesu kapacity se však nabízí celá řada dalších možností využití baterie, především pak jako statických baterií, jejíž význam bude v dalších letech patrně růst, především kvůli energetickým zdrojům s kolísavou dodávkou výkonu, tedy obnovitelných zdrojů energie, jako jsou větrné a solární elektrárny. Příkladem takového již zrealizovaného zařízení může být zařízení v Německu instalované společností Bosch, kde bylo využito 100 vyřazených baterií z elektromobilů s celkovou kapacitou 2,8 MWh o výkonu 2MW. [25] Druhotná životnost takovéto baterie v statické aplikaci může činit až 15 let.

Pro srovnání s konvenčním zásobníkem elektrické energie se nabízí srovnání s Elektrárnou Dlouhé stráně, která má dvě turbíny o celkovém výkonu 650 MW a tento výkon může dodávat po dobu až 6 hodin [26], celková kapacita je tedy 3900 MWh. Pokud budeme uvažovat průměrnou kapacitu baterie elektromobilu jako 50 kWh, tak po dosažení primární životnosti a poklesu kapacity na 80 % bude kapacita této baterie 40 kWh. Bylo by tedy nutné využít 100 tisíc takovýchto baterií pro dosažení stejné kapacity. To je vysoké číslo, ale při případném větším rozvoji elektromobilů ne zcela nereálné. Také lze bateriová úložiště vybudovat geograficky rovnoměrněji, což pro distribuční síť je výhodnější a také je lze postavit téměř kdekoli bez větších zásahů do krajinného rázu.

Tímto sekundárním využitím lze využití baterií prodloužit, ale i tak je nelze využít neomezeně dlouho. Konečná recyklace baterií založených na Lithiu zůstává velmi problematická. Část využitých materiálů jako měď a hliník a železo lze z baterií oddělit relativně snadno

mechanickým rozebráním. Pro extrakci kovů z materiálů anody a katody už je potřeba použít chemických metod, například loužením. Lze tak dosáhnout relativně vysoké efektivity extrakce primárních materiálů, jako jsou lithium a kobalt. Celkový proces je však energeticky i časově náročný, pro každý typ baterie je potřeba používat trochu jiné způsoby recyklace v závislosti na použitých materiálech, a tak se v současné době recyklace těchto baterií příliš nevyplácí, protože vytěžit suroviny pro výrobu nové je snazší a levnější. Také může být v částech procesu problémem, že v bateriích je zbytková energie a stále mohou vzplát či explodovat, tudíž je recyklace i nebezpečná. [27]

## **3 VAZBA ELEKTROMOBILITY NA DALŠÍ SFÉRY**

### **3.1 Energetika**

#### **3.1.1 Možnosti nabíjení**

Nabíjecí stanice lze rozdělit na dvě skupiny, na kategorii běžných nabíjecích možností střídavým proudem z běžných zásuvek a rychlonabíjecích stanic se stejnosměrným proudem. V prvním případě vlastně nejde ani o nabíjecí stanice v pravém smyslu, protože k nabíjení většiny elektromobilů lze použít i obyčejnou jednofázovou domácí 230 V zásuvku. V případě stejnosměrné dobíjecí stanice elektromobil dodanou energii již žádným způsobem dále neupravuje, je tak třeba aby již dobíjecí stanice dodávala energii o vhodném napětí a výkonu. To lze buď zajistit zvláštními dobíjecími stanicemi pro každý typ vozidla nebo komunikací mezi vozidlem a nabíječkou, která pak svůj výstup dokáže přizpůsobit dobíjenému elektromobilu.

#### **3.1.2 Střídavé nabíjení**

V případě střídavého nabíjení musí být nabíječ, který energii usměrní do vhodné formy pro baterie, umístěn uvnitř vozidla. Ve vozidlech však je samozřejmě nárok na co nejmenší rozměry a nízkou hmotnost, takže nejsou takové možnosti k sestrojení kvalitního nabíječe, takže nabíječ ve vozidle má obvykle nižší efektivitu než při nabíjení, kdy je nabíječ umístěn v nabíjecí stanici vně vozidla.

Výhodou je však snadná dostupnost, běžné zásuvky lze nalézt téměř všude, a i třífázovými zásuvkami je většina domů vybavena. Pro tento typ nabíjení tak nejsou nutné žádné další investice. Také zde nejsou větší problémy s odběrem z distribuční sítě, protože je odběr o nižších výkonech delší dobu, což neklade na distribuční síť tak vysoké nároky.

#### **3.1.3 Rychlodobíjecí nabíjení**

V Evropské unii jsou dva uznané typy nabíjecích standardů pro stejnosměrné Rychlonabíječky. CHAdeMO (CHArge de MOve) a Combined Charge System (CSS). Uznání dvou typů nabíječek nemusí být nejlepším řešením, protože se tím zvyšuje cena dobíjecích stanic, u většiny dnešních veřejných rychlodobíjecích stanic se lze setkat s vývody obou typů v jednom nabíjecím stojanu.

Při použití nabíječky CHAdeMO se nabíjecí stanice spojí s nabíjeným elektromobilem v systému Master-Slave pomocí CAN linky, kde řídicí jednotka elektromobilu figuruje jako Master, který předává počítači nabíjecí stanice informace pro volbu nabíjecího napětí a proudu.

Předané informace jsou například maximální napětí a proud kterým je možno nabíjet, dále pak napětí, teplota a další parametry akumulátoru. Tímto způsobem je nabíjení řízeno elektromobilem, což vede k rychlejšímu a šetrnějšímu dobíjení, než kdyby nabíjecí charakteristiku určovala dobíjecí stanice. Toto řešení také umožňuje vyšší univerzálnost a lze u takovéto nabíjecí stanice dobíjet elektromobily s různými parametry baterií jako jsou především napětí a maximální nabíjecí proud. Konektor ChAdeMO pro nabíjení využívá například Nissan Leaf. [28]

Tesla staví vlastní síť nabíječek zvaných Supercharger, které však neumožňují dobíjení jiných elektromobilů než těch vyrobených společností Tesla. Samotné automobily Tesla však lze nabíjet pomocí adaptérů i ze zásuvek typu CHAdeMO a CSS.

Pro rychlodobíjecí stanice je třeba uvážit omezení distribuční sítě, velký odebíraný výkon může výrazně zatěžovat distribuční síť. Také si distributor energie obvykle účtuje za vyšší odběry větší cenu, a tak je tento způsob nabíjení nejméně ekonomicky výhodným řešením.

### **3.1.4 Okamžitá výměna baterií**

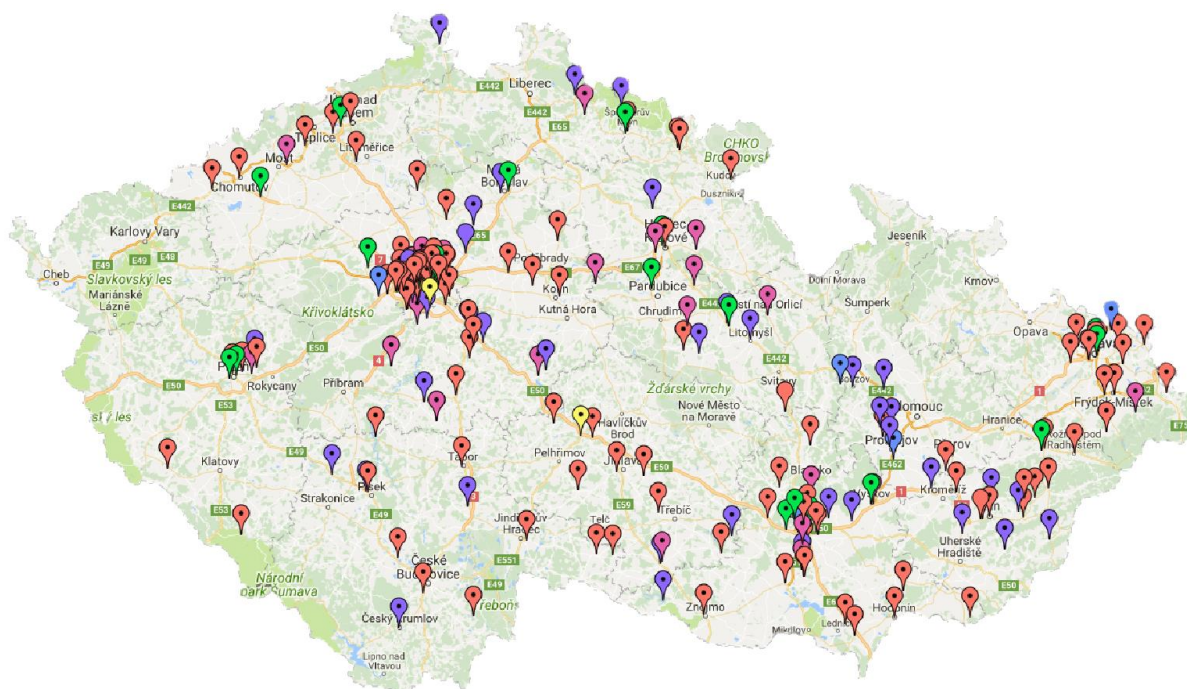
Jedná se o způsob okamžité výměny baterií, která by měla trvat pouze několik minut. Dochází zde k demontáži baterie z dolní části vozidla a výměně baterie vozidla za novou plně nabitou. Jednu takovou stanici otevřela společnost Tesla USA pro výměnu baterií Model S v roce 2012. Po několika letech byl však provoz ukončen a do budoucnosti Tesla s tímto konceptem již nepočítá. [29]

Toto řešení má řadu praktických nevýhod, není žádná možnost zjistit aktuální reálné opotřebení baterie, při výměně by tak mohla být umístěna do vozidla baterie horších vlastností, než v ní byla. Obtížně řešitelné by také bylo vytvoření takového řešení, které by dokázalo vyměnit baterii u různých typů vozidel s různou velikostí baterií. U části dnes vyráběných osobních vozidel se s takovou možností ani nepočítá a baterie není zasazena tak, aby byla umožněna její rychlá demontáž a montáž.

### **3.1.5 Nabíjecí stanice v ČR**

Základní dokument o rozvoji nabíjecí infrastruktury tvoří Národní akční plán čisté mobility [30]. V tomto dokumentu je definován cíl mít do roku 2020 na páteřních dopravních trasách, tedy především dálnic a silnic první třídy, cca. 500 rychlonabíjecích stanic, které by rovnoměrně pokrývaly celé území České republiky. Tato síť by poté měla být doplněna o dalších 800 bodů střídavého dobíjení.

Obrázek 3.1 – rozmístění nabíjecích stanic v roce 2018 ČR [31]



Jednou ze společností, která na území České Republiky provozuje větší počet nabíjecích stanic je společnost ČEZ. V současnosti je dostupných 41 rychlonabíjecích stanic a 53 běžných nabíjecích stanic. Rychlonabíjecí stanice mají výkon 50 kW a jsou instalovány dva standardizované typy, CHAdeMO a Combo o výkonech 50 kW. [32] I společnost Tesla vystavěla v České Republice několik svých proprietárních nabíječek, počátkem roku 2018 jsou na území ČR tři stanice Tesla Supercharger. [33]

Rozmístění nabíjecích stanic na území ČR můžeme vidět na Obrázku 3.1, je zřetelné, že rozmístění je značně nerovnoměrné, v některých oblastech jich je už relativně velké množství, kdežto v některých oblastech se nenachází vůbec žádné. Za další nedostatek při zhodnocení nabíjecí infrastruktury v ČR lze považovat, že ač počty nabíjecích stanic narůstají, tak velká část z nich se nachází například v areálu firem a tím pádem jsou mimo hlavní dopravní tahy, či pro veřejnost hůře dostupné. U části z nich je navíc provozní doba omezena jenom na denní dobu.

### 3.1.6 Vliv na energetické zdroje

V České Republice je v provozu zhruba 5,3 miliónů osobních vozidel. Zjistit přesná statistická data o průměrném ročním nájezdu vozidel v ČR je obtížné, ale dle různých zdrojů lze stanovit odhad s horní hranicí ročního nájezdu na 15000 km na osobní automobil [1, 34]. Celkový počet



najetých kilometrů všech osobních vozidel v ČR tak můžeme jednoduše vypočítat následujícím způsobem podle rovnice č. 3.1.

$$d = n_{oa} \cdot d_1 = 5,3 \cdot 10^6 \cdot 15\,000 = 79 \cdot 10^9 \text{ km} \quad (3.1)$$

Kde:  $d$  – celková vzdálenost najetá všemi automobily [km]  
 $n_{oa}$  – počet osobních automobilů v ČR  
 $d_1$  – průměrný roční nájezd jednoho osobního automobilu v ČR [km]

Veškeré osobní automobily v ČR tak najedou dohromady 79 miliard kilometrů ročně. Jestliže by se celý tento výkon nahradil vozy s elektrickým pohonem, tak při zanedbání ztrát při přenosu energie a ztráty přímo při nabíjecím procesu můžeme spočítat celkovou elektrickou energii následujícím způsobem. Spotřebovanou energii průměrným elektromobilem lze odhadnout z hodnot uvedených v tabulce č. 1 na spotřebu 200 Wh/km.

$$T = d \cdot W = 79 \cdot 10^9 \cdot 200 = 15,8 \text{ TWh} \quad (3.2)$$

Kde:  $T$  – celková spotřeba elektřiny [TWh]  
 $d$  – celkový počet najetých kilometrů [km]  
 $W$  – energetická spotřeba elektromobilu na km [Wh/km]

Bylo by tedy potřeba 15,8 TWh elektřiny. Celková spotřeba elektrické energie v České Republice byla v roce 2017 60,7 TWh. [35]. Dodatečná elektrická energie pro nabíjení elektromobilů by tak znamenala zvýšení spotřeby elektrické energie o čtvrtinu. To rozhodně není zanedbatelné zvýšení spotřeby elektrické energie, avšak také to není hodnota, která je nemožně či obtížně dosažitelná na straně energetických zdrojů.

Například současné dva bloky Jaderné elektrárny Temelín vyrobí ročně 12-14 TWh elektrické energie [36]. Uvažovaná dostavba Temelína, jíž by jej rozšířila o další dva bloky, které by produkovaly minimálně stejné množství elektrické energie jako ty stávající, by tak téměř pokryla energetickou spotřebu pro nahrazení veškerých dopravních výkonů elektromobily.

Z dostupných dat [35] také vyplývá, že v roce 2017 činil export elektřiny z ČR 27,9 TWh, kdežto import pouze 14,6 TWh. ČR tak každoročně produkuje o 13 TWh elektrické energie více než spotřebovává. ČR tak současně vyrábí o 20 % více elektrické energie, než skutečně spotřebovává, to znamená, že už nyní zde jsou téměř dostatečné rezervy pro pokrytí spotřeby elektromobilů.

Pokud bychom pro napájení elektromobilů chtěli využít modernější obnovitelné zdroje, tak se nabízí možnost solárních panelů. Plochu solárních panelů můžeme vypočítat následujícím způsobem

$$S = \frac{T}{E_1 \cdot \eta} = \frac{15,8 \cdot 10^{12}}{1000 \cdot 10^3 \cdot 0,1} = 158 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \quad (3.3)$$

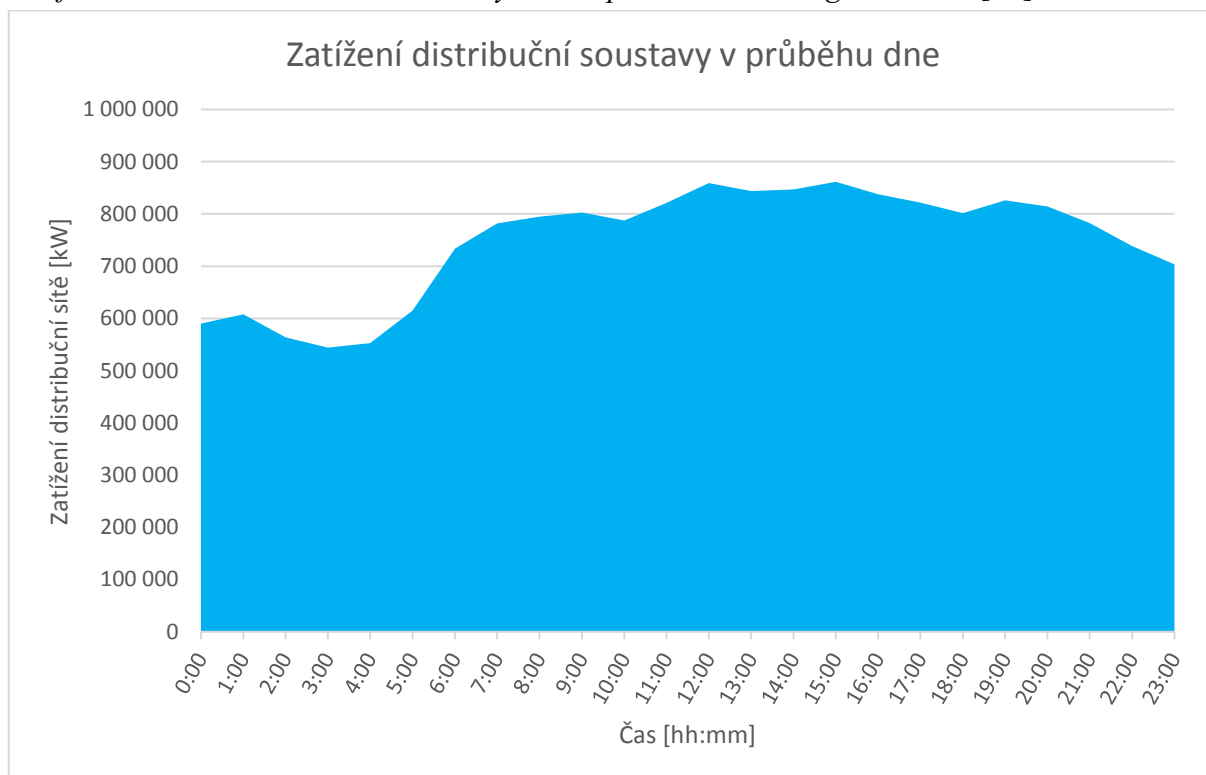
Kde:            S – celková potřebná plocha [m<sup>2</sup>]  
                  T – potřebná celková energie [Wh]  
                  E<sub>1</sub> – průměrná roční dopadající sluneční energie [Wh/m<sup>2</sup>]  
                  η – účinnost solárního panelu

Bylo by tedy potřeba plocha o rozměru 15 800 ha pokrytá solárními panely pro zajištění dostatku elektrické energie. Plocha celé ČR je 7887000 ha [37]. Potřebná plocha pro solární panely vyrábějící toto množství energie je tak pouze 0,2 % území ČR. Zastavěné území ČR činí 132 000 ha, tedy 1,7 % plochy ČR. Stačilo by tak pokrýt 12 % současně zastavěného území ČR solárními panely pro výrobu dostatku elektrické energie pro nabíjení elektromobilů.

Je ale otázkou, nakolik je vůbec potřebná výstavba nových elektráren. Pokud uvážíme, že většina současných energetických zdrojů produkuje; nebo by mohla produkovat nepřetržitě a že energetická spotřeba především v noci výrazně klesá. Zkoumáme tedy, jestli by při optimalizaci nabíjecího cyklu elektromobilů na doby, kdy není distribuční síť a energetické zdroje tak vytížené, do jaké míry by současná produkce mohla pokrýt potřebu pro elektromobily. Toto má smysl i z hlediska dopravního, během noci většina automobilů stojí na místě a nic tak nebrání jejich nabíjení.

Jako příklad si můžeme uvést vytížení distribuční soustavy regionu střed pro Prahu a Středočeský kraj. Odběr se samozřejmě v různých dnech může výrazně lišit, obecně však propad energetického odběru v noci až na výjimečné případy platí téměř vždy.

Graf 3.1 – zatížení distribuční soustavy ČEZ v průběhu dne v regionu střed [38]



Na grafu 3.1 vidíme, že během dne se hodinová spotřeba průměrně pohybuje kolem 800 MWh, kdežto v noci klesá až pod 600 MWh. Pokud budeme uvažovat čas od půlnoci do šesti ráno, kdy je většina osobních automobilů zaparkována a není využívána, tak můžeme tento čas s ohledem na vytížení distribuční sítě považovat za velmi vhodný pro nabíjení elektromobilů. Pokud bychom během tohoto času vyrovnali odběr na 800 MW, tak v tomto čase můžeme využít až 1,4 GWh. Z předchozích dat můžeme považovat průměrný denní nájezd elektromobilu na 40 km při spotřebě 200 Wh, z čehož vyplývá spotřeba kolem 8 kWh denně. Vyrovnání noční spotřeby na hodnotu 800 MW by tak stačilo pro nabíjení více než 170 tisíc elektromobilů, což na region, v kterém žije kolem 2,5 milionů lidí není úplně málo.

## 3.2 Urbanismus

Pro rozvoj elektromobility ve městech se bude muset pohled na dopravu výrazně změnit, především bude potřeba relativně velkých investic do infrastruktury. V rurálnějších regionech žije více lidí ve svých vlastních domech a elektromobil tak lze nabíjet v rámci domácnosti, kdežto obyvatelé měst budou odkázáni na veřejnou nabíjecí infrastrukturu.

### 3.2.1 Řešení dobíjecích stanic ve městech

Rozvoj elektromobilů bude samozřejmě klást nové nároky na městskou infrastrukturu. Pokud budeme uvažovat větší město ve kterém žije milión obyvatel a využívá se zde zhruba 600 000 automobilů můžeme spočítat počet minimálně nutných nabíjecích bodů následujícím způsobem.

$$n_{db} = \frac{n_{ev} \cdot d_1 \cdot W}{P \cdot 24} \quad (3.4)$$

Kde:

- $n_{db}$  – počet dobíjecích bodů
- $n_{ev}$  – počet elektromobilů
- $d_1$  – denní nájezd 1 elektromobilu [km]
- $W$  – průměrná spotřeba elektromobilu [Wh/km]
- $P$  – výkon dobíjecího bodu [W]

Pomocí výpočtu z rovnice (3.4) můžeme spočítat počet dobíjecích bodů pro plné uspokojení poptávky pro 600 000 elektromobilů.

Tabulka 3.1 – počet nutných dobíjecích bodů ve městě na plné uspokojení poptávky

Typ dobíjecího bodu	Počet potřebných nabíječek
Jednofázový střídavý dobíjecí bod 3 kW	66 700
Třífázový střídavý dobíjecí bod 6 kW	33 300
Třífázový střídavý dobíjecí bod 10 kW	20 000
Stejnoseměrný dobíjecí bod 50 kW	4 000

Jedná se samozřejmě o naprosté minimum nabíjecích bodů, který předpokládá 100 % využití nabíjecích stanic, reálný počet nabíjecích stanic bude muset být několikanásobně vyšší. V současnosti je ve větších městech zhruba jedna čerpací stanice pohonných hmot na 5 tisíc obyvatel. Počet nabíjecích stanic pro elektromobily bude muset být daleko vyšší.

Pro řešení ve městě samozřejmě bude nejvhodnější kombinace rychlých dobíjecích stanic a běžných dobíjecích stanic. Rychlé dobíjecí stanice své využití ve městě najdou spíše v místech s velkou fluktuací vozů, jako například u obchodních center, v podzemních parkovištích a v obchodních třídách. Navíc jsou rychlonabíječky relativně větší a v běžných ulicích rezidenčních oblastí by pro ně mohl být i nedostatečný prostor. Navíc zde by neměly ani tolik praktický význam, parkovací cyklus je zde typicky delší, tak zde postačí pomalejší nabíjecí stanice, které navíc nezatěžují tolik energetickou síť.

Při velkém rozvoji elektromobilů ve městech by tak bylo z hlediska efektivity využívání dobíjecích bodů ve městech třeba zvolit takové nabíjecí stanice, u kterých bude možnost odpojit nabíjecí kabel po dokončení nabíjení elektromobilu pro umožnění nabíjení elektromobilu jiného uživatele, nebo případně účtovat nejen podle odebrané energie, ale také podle času, kdy je elektromobil k nabíjecí stanici připojen. Uživatelé veřejné nabíjecí infrastruktury by tak měli motivaci využívat nabíjecí infrastrukturu časově co nejefektivněji.

### 3.2.2 Zdroje znečištění

V posledních 20 letech se výrazně změnil podíl mezi individuální dopravou a hromadnou dopravou ve městech ve prospěch individuální dopravy. Také vzrostl celkový objem dopravy jako takový, obyvatelé cestující více a na delší vzdálenosti. [39] Doprava se tak dnes ve velkých městech podílí až na 80 % vzniklého znečištění. Vliv na ovzduší ve městech by měla elektromobilita nezpochybnitelně pozitivní, avšak je otázkou, zda se nejedná pouze o přesun emisí z města směrem k zdrojům elektrické energie.

Často řešenými emisemi je skleníkový plyn CO<sub>2</sub>, který sice nemá přímý vliv na zdraví člověka, ale jinými způsoby negativně ovlivňuje životní prostředí a podílí se na globálním oteplování. Dopad na množství vypouštěných emisí CO<sub>2</sub> můžeme vypočítat následujícím způsobem.

Skupina ČEZ, která je největším producentem elektrické energie v České republice, udává emise CO<sub>2</sub> na přibližně 500 g CO<sub>2</sub>/kWh. [40, 41]. Nepřímé emise CO<sub>2</sub> elektromobilu na jeden ujetý kilometr tak můžeme vypočítat pomocí vztahu (3.5).

$$E_{ev} = E_{ele} \cdot W = 0,5 \cdot 200 = 100 \text{ g/km} \quad (3.5)$$

Kde:  $E_{ev}$  – Emise CO<sub>2</sub> elektromobilu na km [g/km]  
 $E_{ele}$  – Emise CO<sub>2</sub> na 1 kWh vyrobené elektřiny [g CO<sub>2</sub>/Wh]  
 $W$  – energetická spotřeba elektromobilu na km [Wh/km]

Průměr dnes prodávaných automobilů se spalovacím motorem má emise CO<sub>2</sub> kolem 120-130 g/km [42]. Z hlediska snížení emisí CO<sub>2</sub> a dosažení cílů snížení emisí skleníkových plynů tak elektromobilita v České republice nemá valný význam, především kvůli tomu, že se velké množství elektrické energie vyrábí v uhelných elektrárnách, které mají velmi vysoké emise oxidu uhličitého. Pokud se však podíváme na hodnoty jiných států, tak průměr v EU je kolem 350 g/kWh a v některých státech i pod 100 g/kWh [43], jako například ve Švédsku a Francii. V těchto případech se tak využívání elektromobilu vzhledem ke produkci CO<sub>2</sub> vyplatí násobně více. Ekologičnost elektromobilu z hlediska emisí CO<sub>2</sub> při provozu je tak úměrná na emisích při výrobě elektřiny.

Co se týče emisí dalších škodlivých plynů, jako jsou oxidy dusíky NO<sub>x</sub>, oxid uhelnatý CO a pevné částice PM<sub>10</sub>, tak budeme při výpočtu postupovat obdobným způsobem jako u výpočtu emisí CO<sub>2</sub>. Hodnoty emisí těchto látek vypouštěných při výrobě elektřiny v elektrárnách můžeme zjistit z dat v integrovaném registru znečišťování [44], kde z dostupných dat můžeme spočítat emise těchto látek na vyrobenou kWh. Za zjednodušujících předpokladů, že 50 % elektrické energie v České republice je vyrobena z uhlí, a zbývající zdroje (především atomové, vodní a další obnovitelné zdroje) mají emise těchto látek nulové, tak se dostáváme k výsledku, že emise CO jsou cca. 0,098 g/kWh, emise NO<sub>x</sub> 0,29 g/kWh a PM<sub>10</sub> 0,17 g/kWh.

Pokud provedeme pro tyto emise obdobný výpočet jako shora uvedený pro výpočet CO<sub>2</sub>, tak dostáváme výsledek, že nepřímé emise elektromobilu na jeden najetý kilometr jsou 0,058 g/km NO<sub>x</sub>, 0,0196 g/km CO, a 0,0034 g/km PM<sub>10</sub>.

Pro spalovací motory jsou od roku 2014 určeny nejvyšší emisní normou EURO VI určené maximální limity pro vznětové motory NO<sub>x</sub> 0.080 g/km, CO 0.50 g/km a PM<sub>10</sub> 0,005 g/km a pro zážehové motory NO<sub>x</sub> 0.060 g/km, CO 1 g/km a PM<sub>10</sub> 0,005 g/km. [45] Nutno však podotknout, že právě těchto látek se týkal nedávný emisní skandál, kdy vozidla některých výrobců tyto hodnoty překračovala i několikanásobně především u emisí NO<sub>x</sub>.

Samozřejmě nelze srovnat veškeré vypouštěné emise, uhelné elektrárny typicky vypouští určité množství oxidů síry, spalovací motor zase nespálené uhlovodíky. Pokud ale srovnáváme srovnatelné emise vozidel se spalovacím motorem, tak všech těchto škodlivin produkuje i při nepříznivém energetickém mixu České republiky elektromobil méně. Navíc mají tyto emise velmi negativní vlivy na zdraví člověka, a tak přesunutí těchto emisí mimo hustě obydlené oblasti je taktéž žádoucí.

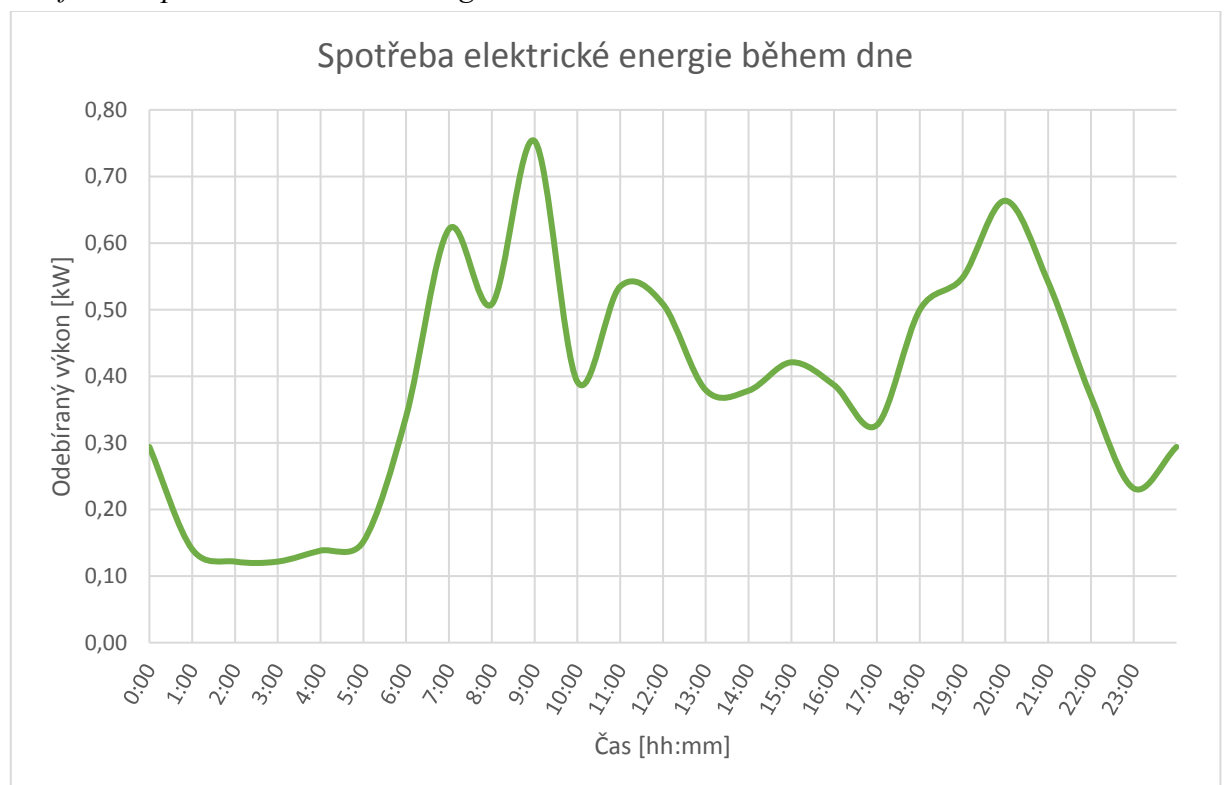
## 4 DOPRAVNÍ A ENERGETICKÝ MODEL VYUŽITÍ ELEKTROMOBILU

V této kapitole se zabýváme modelací vlivů nabíjení elektromobilu na energetickou spotřebu domácnosti. V první části vytvoříme model odběru elektrické energie běžné domácnosti. V další části definujeme dopravní model s dvěma elektromobily a jejich denním nájezdem a užíváním. Pro tyto elektromobily poté řešíme možnosti nabíjení jak v domácnosti, tak mimo domácnost. Nejprve ukážeme model pro neřízené nabíjení, kdy elektromobily nabíjíme ihned po příjezdu do domácnosti, v další části tento model optimalizujeme s ohledem na zatížení energetické soustavy i ekonomickou smysluplnost. V poslední části se zabýváme možností umístění solárních panelů na střechu rodinného domu, výpočet možného zisku energie a možnosti jeho využití pro domácnost a nabíjení elektromobilů.

### 4.1 Model domácnosti

Pro modelování energetické náročnosti domácnosti bylo využito reálné měření v domácnosti o dispozici 4+1 o rozměru 125 m<sup>2</sup>, ve které trvale žijí tři osoby. Elektrická energie v bytu není využívána pro vytápění, sporák a ohřev vody. Spotřeba elektrické energie během dne je znázorněna v Grafu 4.1. Pro měření těchto dat byly zjištěny příkony veškerých spotřebičů v domácnosti a časy, kdy jsou zapnuty, do výsledných dat byla také zahrnuta spotřeba v režimu standby.

Graf 4.1 – spotřeba elektrické energie domácnosti během dne



Spotřeba domácnosti je ovlivněna tím, že jeden ze členů domácnosti pracuje z domova, a tak není propad v sedle tak výrazný jako může být v jiných domácnostech. Avšak celkově lze výsledek měření považovat za reprezentativní pro průměrnou domácnost. V noci je nejmenší odběr, největšího odběru dosahujeme ráno a večer, kdy se obvykle zapínají spotřebiče s velkým odběrem v kuchyni a koupelně, a navíc bývá zapnuto osvětlení ve většině místností. Domácnost v tomto modelu má průměrnou denní spotřebu 9,3 kWh, což odpovídá spotřebě průměrné domácnosti v České Republice, kde je průměrná denní spotřeba kolem 9 kWh. [46]

Pro domácnosti jsou běžně nabízené distribuční sazby D01d a D02d. Distribuční sazba D01d je určená pro domácnosti s nižšími odběry, kdy se platí méně za použitý jistič, ale více za reálně spotřebovanou elektrickou energii, u distribuční sazby D02d je to naopak. V uvažované domácnosti můžeme maximálně špičkový odebíraný výkon odhadnout na 8 kW. S rezervou nám tak může dostačovat jistič o hodnotě 3x16 A. Z těchto hodnot můžeme vypočítat dle tarifních tabulek distributorů cenu za spotřebovanou energii. [47] S distribuční sazbou D01d by tento odběr vyšel modelové domácnosti včetně všech poplatků na 1 454 Kč za měsíc a s distribuční sazbou D02d na 1 317 Kč za měsíc. I pro takto relativně malý odběr se modelové domácnosti vyplatí použít tarif pro větší odběry.

## 4.2 Dopravní model elektromobility

V tomto modelovém případě uvážíme případ domácnosti využívajících dvou elektromobilů s následujícím denním nájezdem. Elektromobil č. 1 je využíván pro každodenní dojíždění do práce, elektromobil č. 2 spíše pro kratší cesty po městě, jako např. nákupy.

- Elektromobil č. 1
  - V pracovní den ráno 25 km do práce
  - V pracovní den po práci 25 km z práce domů
  - Cesta o víkendu o celkové délce 250 km
  - Dvakrát ročně cesta o délce 800 km
- Elektromobil č. 2
  - Ráno nákup 5 km, 5 km zpět
  - Kolem poledne cesta 8 km, později 8 km zpět
  - Večer cesta 2 km, 2 km zpět



*Tabulka 4.1 – nájezdy elektromobilů*

Nájezd [km]	Elektromobil č. 1	Elektromobil č. 2
Pracovní den	50	30
Víkendový den	125	-
Měsíční nájezd	2 000	600
Nepravidelný nájezd	1 600	1 000
Roční nájezd	25 600	8 200

Nájezdy elektromobilů jsou shrnuty v Tabulce 4.1. První elektromobil v modelové situaci má tak větší nájezd, než je průměrný roční nájezd osobního automobilu v České republice, druhý, sloužící především jako dopravní prostředek ve městě, pak o něco menší. Takovýto případ není v běžné rodině vlastníci dva automobily nijak výjimečný. Z požadovaného nájezdu můžeme sestavit energetickou spotřebu pro různé typy elektromobilů.

Celková energetická spotřeba závisí na konkrétním typu elektromobilu, budeme vycházet z vybraných typů v Tabulce 1.1 a námi definovaných nájezdů v Tabulce 4.1.

*Tabulka 4.2 – energetická spotřeba pro nájezd elektromobilu č. 1*

Elektromobil	Nissan Leaf Ze1	BMW i3	Tesla Model S	VW e-Up!
Spotřeba [Wh/km]	191	167	240	117
Spotřeba v pracovní den [kWh]	9,55	8,35	12	5,9
Spotřeba na jeden den víkendu [kWh]	23,8	20,9	30	14,6
Měsíční běžná spotřeba [kWh]	382	334	480	234
Roční spotřeba [kWh]	4 890	4 275	6 144	5 990

Tabulka 4.3 – energetická spotřeba pro nájezd elektromobilu č. 2

Elektromobil	Nissan Leaf Ze1	BMW i3	Tesla Model S	VW e-Up!
Spotřeba [Wh/km]	191	167	240	117
Spotřeba v pracovní den [kWh]	5,7	5	7,2	3,5
Měsíční běžná spotřeba [kWh]	115	100	144	70
Roční spotřeba [kWh]	1 566	1 369	1 968	959

Dohromady tak je spotřeba elektromobilů při nejušpornějším typu elektromobilu v pracovní den 9,4 kWh, v případě elektromobilu s nejvyšší spotřebou pak více než dvojnásobek, tedy 19,2 kWh. S přihlédnutím k požadovaným nájezdům a využití elektromobilu budeme pro následující modelace nabíjení uvažovat Elektromobil č. 1 se spotřebou 191 Wh/km a Elektromobil č. 2 spotřebou 117 Wh/km. Celková denní spotřeba obou elektromobilů v pracovní den tak bude 13 kWh elektrické energie.

### 4.3 Nabíjení elektromobilu

Z dopravního modelu využívání elektromobilů můžeme sestavit přibližnou tabulku času využívání obou elektromobilů a množství času, kdy je můžeme nabíjet. Z tohoto přehledu budeme vycházet pro stanovení možností pro modelové případy nabíjení těchto elektromobilů.

Tabulka 4.4 – časové využití elektromobilů

Pracovní den	Čas, kdy je využíván	Čas, kdy stojí mimo domácnost	Čas, kdy lze nabíjet v domácnosti
Elektromobil č. 1	1 h	8 h 30 min	14 h 30 min
Elektromobil č. 2	30 min	30 min	23 h 00 min
Víkend	Čas, kdy je využíván	Čas, kdy stojí mimo domácnost	Čas, kdy lze nabíjet v domácnosti
Elektromobil č. 1	1h 30 min	22 h 30 min	0
Elektromobil č. 2	-	-	24

Spotřebovanou energii elektromobily v pracovní den jsme si stanovili v předchozí kapitole. Účinnost nabíjecího procesu samozřejmě závisí na mnoha různých okolnostech, ale při běžném domácím nabíjení ji můžeme stanovit na 80 %, do ztrát jsou zahrnuty ztráty ve vedení, nabíječi elektromobilu a ztráty při nabíjecím procesu v akumulátoru. Budeme tak mít vyšší spotřebu elektrické energie, než do akumulátorů vozidla reálně dodáme. Dobu potřebnou k dobití můžeme spočítat podle vztahu (4.1).

$$t_{dob} = \frac{E}{\eta \cdot P} \quad (4.1)$$

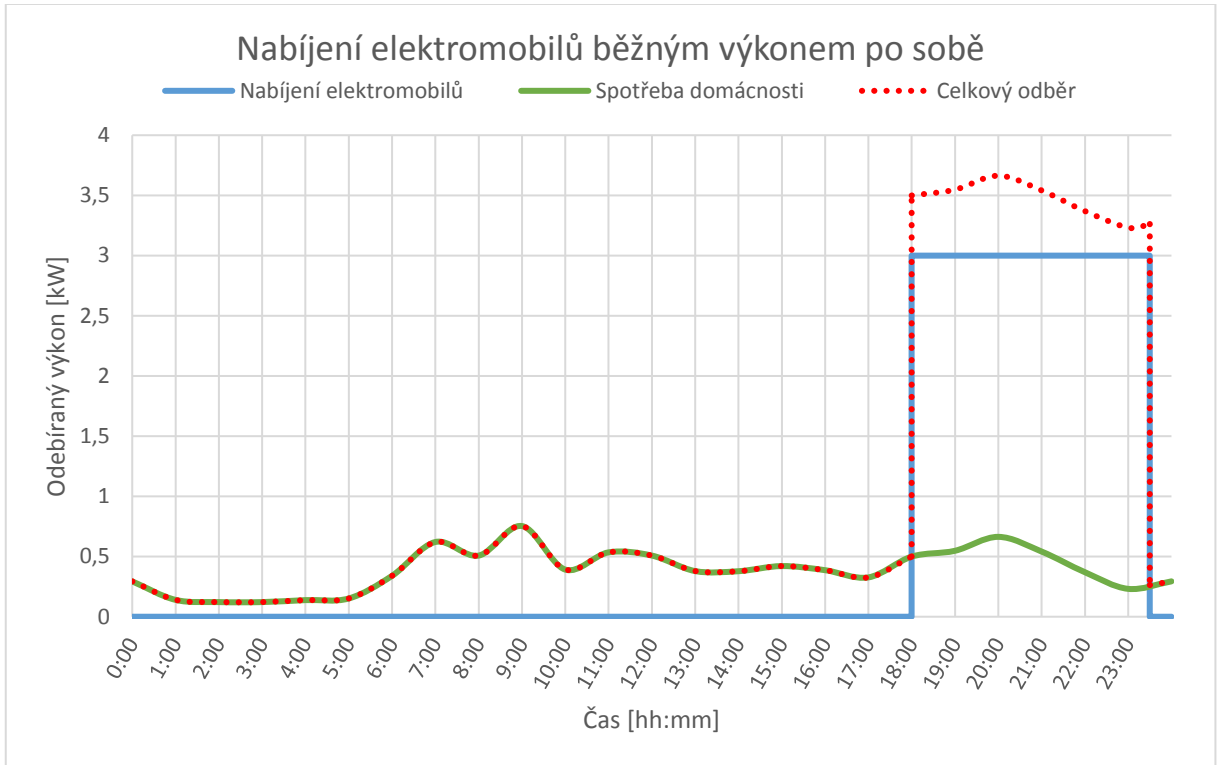
Kde:            E – Potřebná energie [kWh] ,  
                    $\eta$  – účinnost nabíjecího procesu  
                   P – výkon dobíjecího bodu [kW]

#### 4.3.1 Nabíjení běžným výkonem

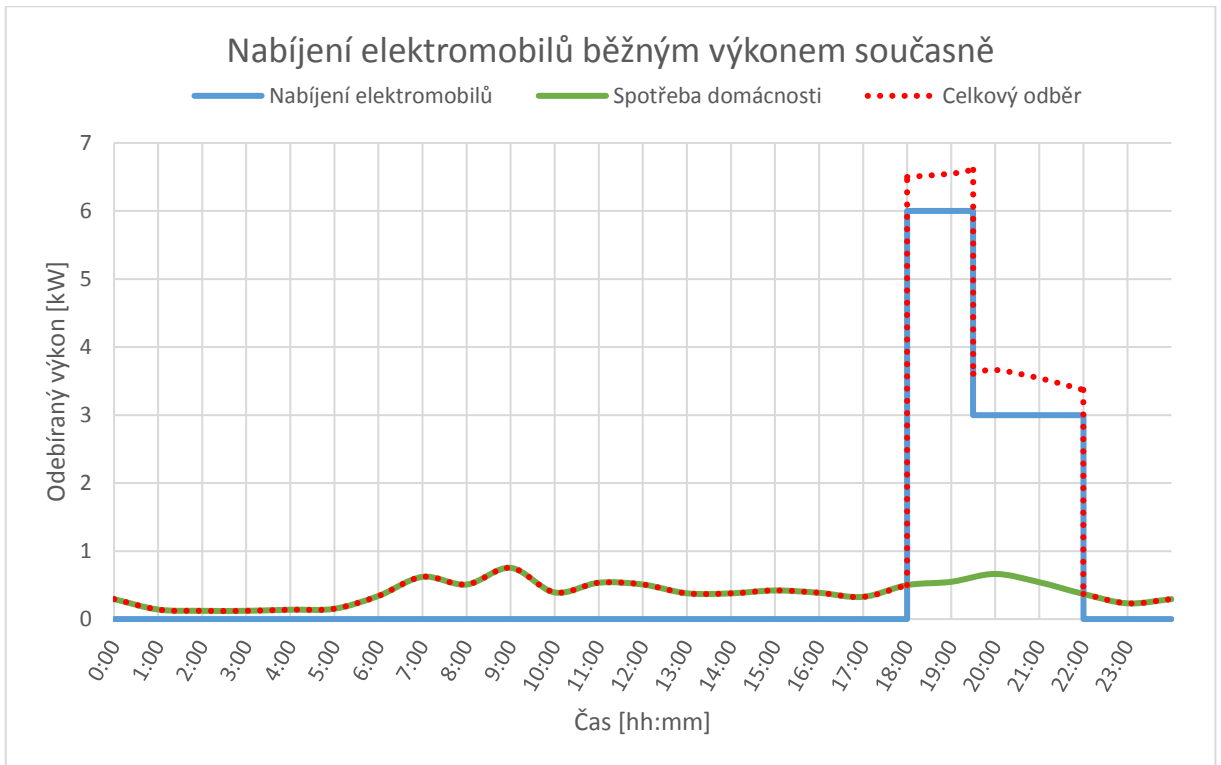
V této modelaci budeme uvažovat nabíjení výkonem 3 kW. Takový příkon mají i některé běžné domácí spotřebiče a nebudou tak třeba žádné investice do elektroinstalace domácnosti, pro nabíjení tímto výkonem můžeme využít i běžnou jednofázovou zásuvku, přestože vhodnější určitě je využití třífázového připojení. Ze vzorce (4.1) tak můžeme vypočítat nutnou dobu nabíjení v pracovní den pro Elektromobil č. 1 na 4 hodiny a Elektromobil č. 2 na 1 hodinu a 30 minut. V následujících grafech je znázorněn případ kdy bychom tyto elektromobily nabíjeli neregulovaně ihned večer po příjezdu do domácnosti. V Grafu 4.2 je znázorněn případ, kdy budeme tyto elektromobily nabíjet po sobě a v Grafu 4.3 případ, kdy bychom oba elektromobily nabíjeli současně.

Na následujících grafech vidíme, že z hlediska rovnoměrnosti energetické spotřeby není ani jeden způsob nabíjení příliš vhodný. Špičkově odebíraný výkon je po určitou dobu vysoký, a navíc si tím ještě zvyšujeme odběrovou špičku večer, kdy i domácnost spotřebuje vyšší množství elektrické energie. Při pohledu na Graf 3.1 je zřejmé, že kdyby tímto způsobem nabíjeli elektromobily vyšší počet domácností, tak to bude mít výrazně negativní vliv na distribuční soustavu.

Graf 4.2 – graf spotřeby elektrické energie pro nabíjení elektromobilů po sobě



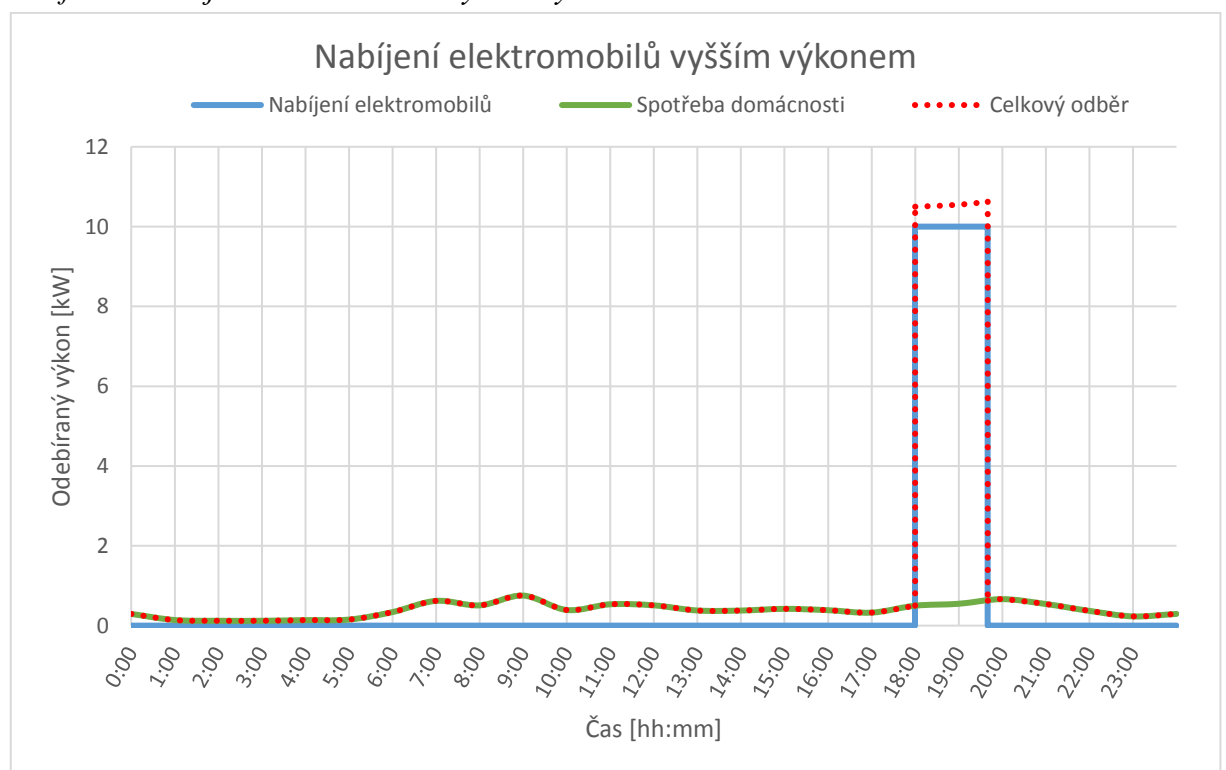
Graf 4.3 – graf spotřeby elektrické energie pro nabíjení obou elektromobilů současně



### 4.3.2 Nabíjení vyšším výkonem

Elektromobily můžeme i v běžných domácích podmínkách nabíjet poměrně vysokými výkony. Dostačuje nám pro to běžná třífázová zásuvka s 16 A jističem, kde můžeme využít výkon kolem 10 kW. Získáme tak výrazně kratší dobu dobíjení. energii potřebnou pro elektromobily v pracovní den tak můžeme nabít po sobě za dobu kolem 2 hodin, takže i v domácích podmínkách můžeme v případě nutnosti do elektromobilů načerpat značné množství elektrické energie za krátký čas. V případě Elektromobilu č. 1 tak můžeme za hodinu načerpat množství energie potřebné pro ujetí vzdálenosti kolem 50 km, což může být dobré řešení, pokud poté s vozidlem potřebujeme ještě odjet.

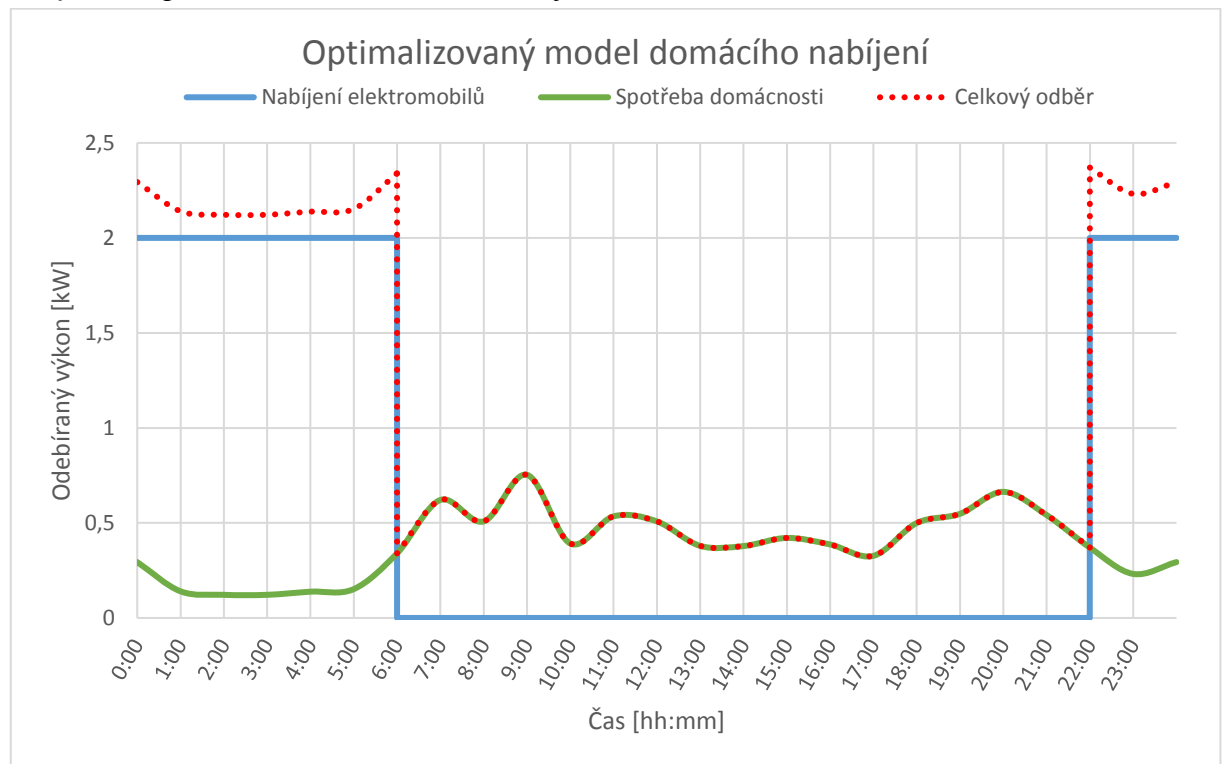
Graf 4.4 – nabíjení elektromobilů vyšším výkonem



### 4.3.3 Optimalizovaný model domácího nabíjení

Pokud bychom model z kapitoly 4.3.1 optimalizovali a zrovnoměnili nabíjení tím, že bychom elektromobily nabíjeli po celou noc konstantním výkonem, dostaneme následující mnohem přijatelnější výsledek. Výrazně tak snížíme odběrové špičky a odběr koncentrujeme do nočního období, kdy budeme navíc moci využívat levnější noční proud. Při tomto navrženém modelu budeme elektromobily nabíjet po dobu 8 hodin v noci výkonem 2 kW. Odběrová špička pro nabíjení elektromobilů tak už nepřesahuje odběr domácnosti tak výrazně jako v předchozích případech.

Graf 4.5 – optimální model domácího nabíjení

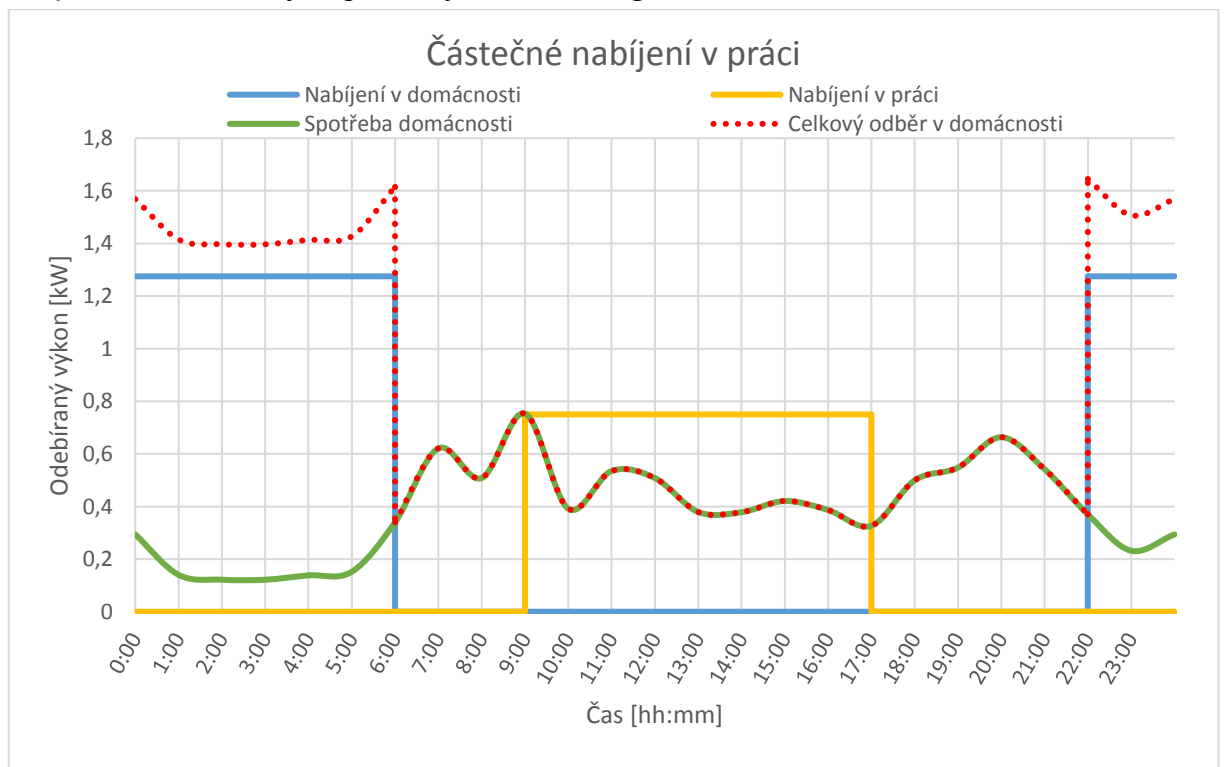


#### 4.3.4 Nabíjení mimo domácnost

Mohli bychom také uvažovat situaci, kdy bychom elektromobil nenabíjeli jen v domácnosti. Jednou z možností, jak řešit nabíjení je u veřejných rychlodobíjecích stanic. Tyto stanice mohou dobíjet elektromobil výkonem až 50 kW. Dobíjecí čas je tak samozřejmě oproti nabíjení v domácnosti velmi krátký, ale je potřeba uvážit, že tyto stanice se budou nacházet spíše při cestě než v okolí bydliště či pracoviště. Čas, kdy se elektromobil bude nabíjet, tak nebudeme moci využít jiným smysluplným způsobem. Vhodnějším způsobem tak bude využít čas, kdy jsme v práci k nabíjení elektromobilu.

V našem modelovém případě můžeme čas, kdy jsme v práci využít k dobíjení Elektromobilu č. 1. Je otázkou, zda se tato možnost postupně vyvine do jednoho z firemních benefitů, nebo zda se za to bude platit, avšak je pravděpodobné, že by cena neměla být vyšší než běžná cena při nabíjení v domácnosti. Pokud bychom tak elektromobil č.1 nabíjeli při příjezdu do práce a po cestě domů v domácnosti přes noc a druhý elektromobil bychom i nadále nabíjeli pouze v domácnosti, dostaneme následující výsledek zobrazený v Grafu 4.6.

Graf 4.6 – model nabíjení při nabíjení části energie mimo domácnost



Získali jsme tak model, ve kterém elektromobily nabíjíme po většinu času, kdy elektromobily nepoužíváme. Oproti prvním modelům neřízeného nabíjení v kapitole 4.3.1 jsme tak dosáhli výrazně vyrovnanějšího odběru elektrické energie v modelové domácnosti během dne.

### 4.3.5 Ekonomické zhodnocení

V předchozích modelacích jsme uvažovali především nabíjení v pracovní den, v následujících výpočtech shrneme náklady pro celý měsíc, kde uvažujeme různé vytížení elektromobilů během pracovního dne a víkendu. Budeme vycházet z dat v Tabulkách 4.2 a 4.3 a námi vybraných elektromobilů pro modelaci. Celková spotřeba elektrické energie elektromobily za měsíc tak je 452 kWh. Cenu dobíjení budeme počítat ze vztahu (4.2). Cenu za kWh určíme dle ceníku distributora podle uvažovaného tarifu. [47]

$$C = \frac{E \cdot c}{\eta} \quad (4.2)$$

Kde: C – celková cena [Kč]  
 E – potřebná energie [kWh]  
 $\eta$  – účinnost nabíjecího procesu  
 c – cena za kWh [Kč/kWh]

Tabulka 4.5 – vypočtené ceny elektrické energie pro domácnost a nabíjení elektromobilů

	Cena za kWh [Kč/kWh]	Náklady energie za domácnost [Kč/měs.]	Náklady na energii za elektromobily [Kč/měs.]	Celkové náklady [Kč/měs.]
Běžné nabíjení tarif D01d	4,85	1353	2740	4200
Běžné nabíjení tarif D02d	4,17	1165	2361	3718
Nabíjení vyšším výkonem tarif D01d	4,85	1353	2740	4208
Nabíjení vyšším výkonem tarif D02d	4,17	1165	2361	3749
Optimalizované nabíjení tarif D27d	NT: 1,8 VT: 4,62	1138	1017	2308
Nabíjení mimo domácnost na rychlonabíječkách	15	1165	7533	8798

V celkových nákladech je započítán součet nákladů na spotřebovanou energii domácnosti a elektromobilů, ale také měsíční platba za rezervovaný výkon v síti, tedy předpokládanou potřebnou hodnotu hlavního jističe. V případě modelovaného režimu dobíjení v kapitole 4.3.1



musíme vzít v potaz, že tímto způsobem nabíjení se špičkově odebíraný elektrický výkon domácnosti může zvýšit o 6 kW nad běžných 8 kW domácnosti definovaných v kapitole 4.1. V případě dobíjení způsobem navrženým v kapitole 4.3.2 bude špičkově o 10 kW vyšší odběr. Tato změna se však na celkových nákladech projeví pouze v řádu desetikorun. Možnost dobíjet elektromobily i v domácích podmínkách relativně rychle tak pro nás neznamená žádné výraznější další náklady a přináší nám celkem značnou výhodu v případě potřeby rychle elektromobily nabít.

V případě modelu nočního nabíjení navrženého v kapitole 4.3.3 se nám vyplatí použít distribuční sazbu pro nabíjení elektromobilů D27d, při kterém pro noční nabíjení platíme výrazně nižší cenu. Tento tarif ale ovlivní i cenu za spotřebu domácnosti, protože ta se rozdělí na část dne, kdy platíme vysoký tarif a nízký tarif. V tomto modelovém případě se domácnosti tento tarif na spotřebě domácnosti dokonce projeví mírně pozitivně. Především ale vlivem nabíjení v noci ušetříme za nabíjení elektromobilů více než dvojnásobek. Samozřejmě je varianta, že bychom v noci došli zapojit elektromobil do zásuvky značně nekomfortní, nabízí se tak pořízení Wallboxů, zařízení, na kterých můžeme nastavit, kdy má být nabíjení zahájeno případně je rovnou zahrnout do HDO (hromadné dálkové ovládání) distributora elektrické energie. Tato zařízení lze v současnosti pořídit za cenu kolem 20 tisíc Kč, návratnost jejich pořízení při využití tohoto modelového způsobu nabíjení je tak méně než 2 roky.

Při využití veřejných rychlonabíjecích stanic, které bylo zmíněno v kapitole 4.3.4, je v současnosti možnost u některých rychlodobíjecích stanic dobíjet zdarma. Tento stav ale není udržitelný a lze ho považovat v současnosti spíše za marketingovou akci některých společností. Při postupném rozvoji elektromobility lze předpokládat, že nikdo nebude provozovat nabíjecí stanice na svoji ztrátu a v budoucnu u nich bude cena několikanásobně dražší než při běžném nabíjení v domácnosti či zaměstnání, dle současné situace může tato cena být až 15 Kč/kWh. Z ekonomického hlediska je tak toto řešení nevýhodné.

Provozní náklady elektromobilu tak jsou silně závislé na tom, jak ho nabíjíme. Pokud využijeme levný noční proud budou náklady 0,4 Kč/km. V případě ekonomicky nejnevýhodnější varianty dobíjení u rychlonabíjecích stanic jsou náklady 2,9 Kč/km. Energie pro elektromobil nás v tomto případě stojí více než sedmkrát tolik. Tyto náklady si můžeme přiblížit při uvažování vozidla se spalovacím motorem se spotřebou kolem 7 l/100km, kde náklady při současných cenách paliv se pohybují kolem 2 Kč/km. Elektromobil nás tak může vyjít na nákladech na energii výrazně levněji, ale v případě nevhodného způsobu nabíjení i draž.

## 4.4 Solární panely

V této části modelace rozšíříme předchozí modelový případ domácnosti a nabíjení elektromobilu o využití části střechy pro solární panely. Nejprve provedeme výpočet možného množství získané energie dle typů solárních panelů a vliv ročních období a denní doby na získanou energii. Poté analyzujeme možnosti, jak tuto energii využít pro spotřebu domácnosti a nabíjení elektromobilů.

### 4.4.1 Typy dostupných solárních panelů

Existuje velké množství různých typů solárních panelů, které se liší svými výrobními technologiemi a vlastnostmi. Mezi hlavní typy patří monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé solární panely. Rozbor jednotlivých vlastností solárních panelů není cílem této bakalářské práce, pro účely dalších výpočtů si vystačíme s výčtem vlastností běžně dostupných solárních panelů.

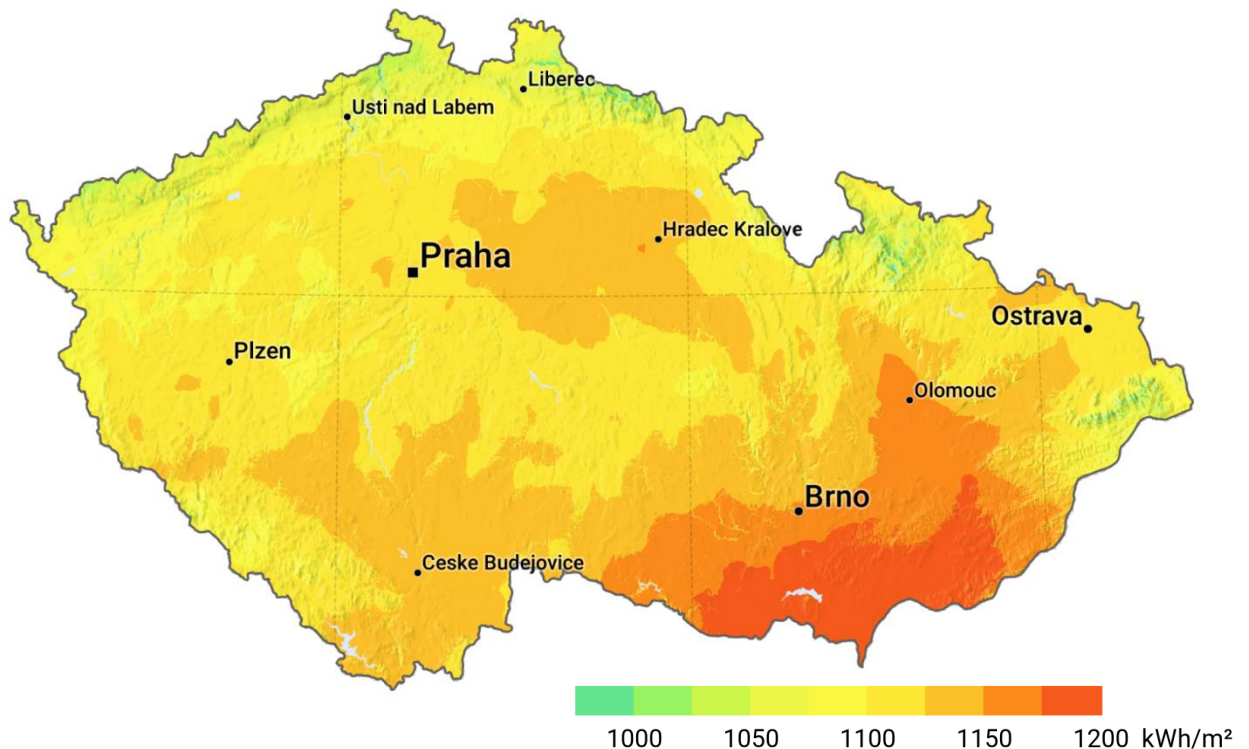
Tabulka 4.6 – vybrané typy solárních panelů [48–50]

Panel	IBC PolySol 260 CS	SunPower X-Series X22-360	SOLAR FRONTIER SF145-S
Technologie	Polykrystalický křemík	Monokrystalický křemík	Tenkovrstvý
Účinnost při 25 °C [%]	15,9	22,2	11,8
Špičkový výkon [W]	260	360	145
Špičkový výkon na plochu [W/m <sup>2</sup> ]	158	219	129
Rozměry [m]	1,65 x 1	1,56 x 1,05	1,26 x 0,98
Cena [Kč]	4 840	11 250	3 200
Cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	2933	6868	2592

#### 4.4.2 Výpočet vyrobené energie

V této podkapitole provedeme hrubý výpočet možné získané solární energie, abychom získali hrubou představu, kolik bychom mohli teoreticky získat elektrické energie.

Obrázek 4.1 – průměrně dopadající sluneční energie na  $m^2$  za rok [51]



Z Obrázku 4.1 je zřejmé, že obvyklé minimální dopadající záření na jeden  $m^2$  v ČR činí na většině území alespoň 1000 kWh za rok, průměrně tedy kolem 2,7 kWh za den. Pokud budeme uvažovat celou plochu střechy 80  $m^2$ , kterou jsme si stanovili, pro umístění solárních panelů tak můžeme spočítat vyrobenou elektrickou energii následujícím způsobem.

$$E = S \cdot \eta \cdot W \quad (4.3)$$

Kde:

- $W$  – měrná dopadající energie za den [ $kWh/m^2$ ]
- $\eta$  – účinnost solárního panelu
- $S$  – plocha pokrytá solárními panely [ $m^2$ ]
- $E$  – vyrobená energie za den [ $kWh$ ]

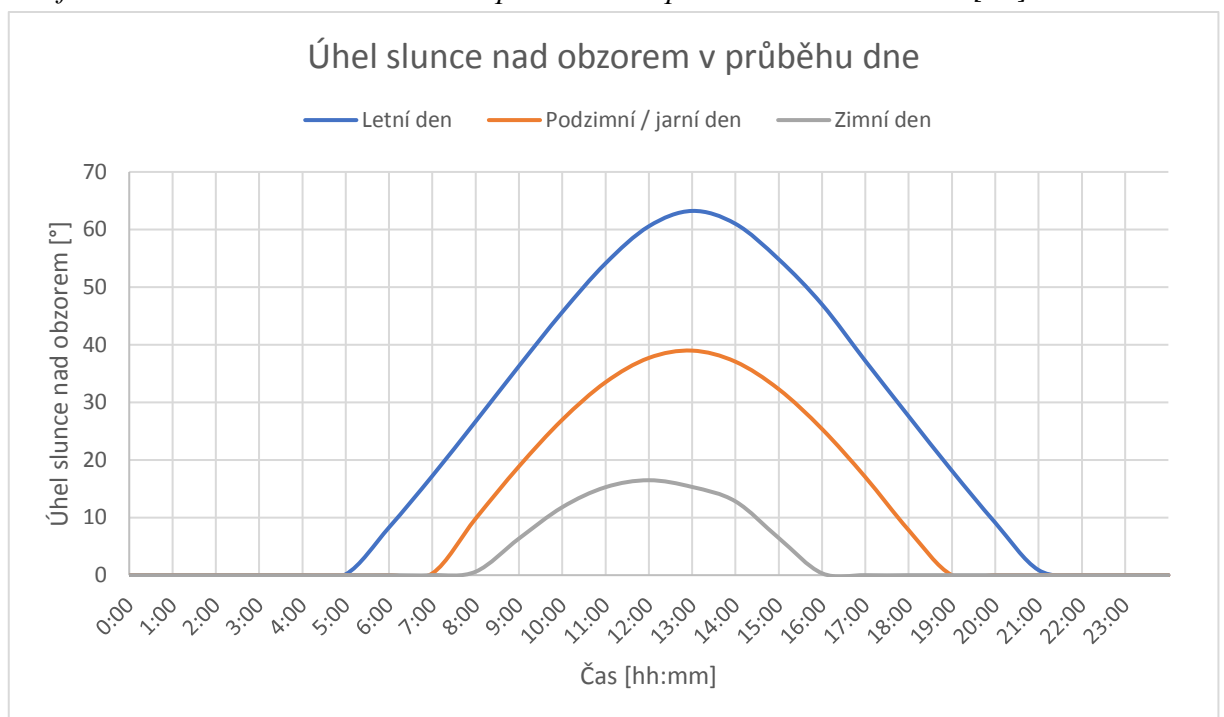
Pokud budeme uvažovat pokrytí celé střechy solárními panely, tak v případě využití tenkovrstvých panelů s účinností 11,8 % můžeme průměrně vyrobit 25 kWh elektrické energie. V případě nejlepších panelů s účinností 22,2 % až 48 kWh elektrické energie. Využití plochy střechy by tak v průměru s rezervou stačilo na spotřebu jak domácnosti, tak i energie pro nabíjení elektromobilů. Je tak zřejmé, že ve využití solární energie se nachází velký potenciál.

Bohužel však solární panely vyrábí elektrickou energii většinou v době, kdy jí až tolik nepotřebujeme a nedokážeme využít. I řada dalších podmínek ovlivňuje získanou energii ze solárních panelů a samozřejmě není možné běžně pokrýt celou střechu solárními panely. Toto bude detailněji modelováno v následujících kapitolách.

#### 4.4.3 Modelace získané solární energie

V této části podrobněji rozebereme možnou vyrobenou elektrickou energii solárních panelů v závislosti na denní době a ročním období. Vliv na to má především úhel slunce nad obzorem a tím pádem dopadající záření na povrch.

Graf 4.7 – úhel slunce nad obzorem v průběhu dne pro různá roční období [52]



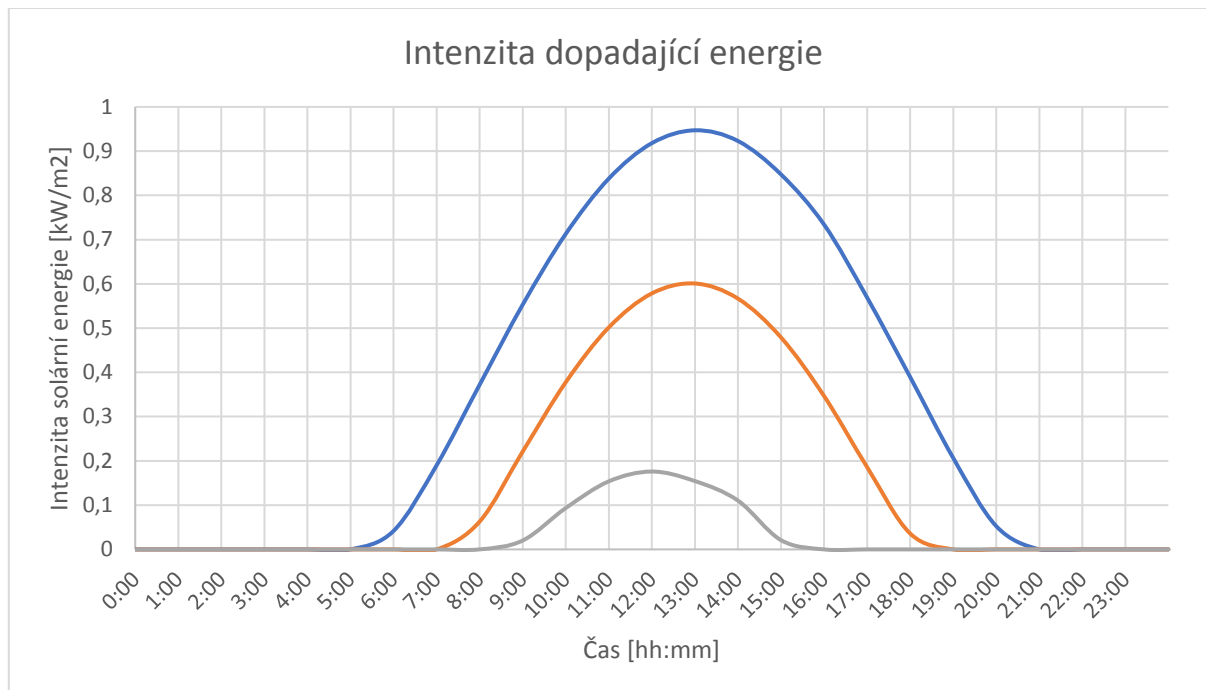
Z dat v Grafu 4.7 a následujícího vztahu můžeme vypočítat dopadající záření v průběhu dne pro různá roční období. Prvním členem ve vztahu je solární konstanta, ta je dána parametry Slunce a je v čase téměř neměnná. Při kolmém dopadu je intenzita záření nejvyšší, při jiných úhlech se postupně zmenšuje. Poslední člen ve vztahu započítává průměrný vliv propustnosti atmosféry. Výsledek výpočtu je znázorněn v Grafu 4.8.

$$I = k_S \cdot \sin(\alpha) \cdot k_a^{\text{cosec}(\alpha)} \quad (4.4)$$

Kde:

- I – intenzita záření dopadající na plochu [kW/m<sup>2</sup>]
- k<sub>S</sub> – solární konstanta [kW/m<sup>2</sup>] – 1,361 kW/m<sup>2</sup> [53]
- k<sub>a</sub> – koeficient propustnosti atmosféry, průměrně kolem 0,8
- α – úhel výšky slunce nad obzorem [°]

Graf 4.8 – intenzita záření dopadající na povrch



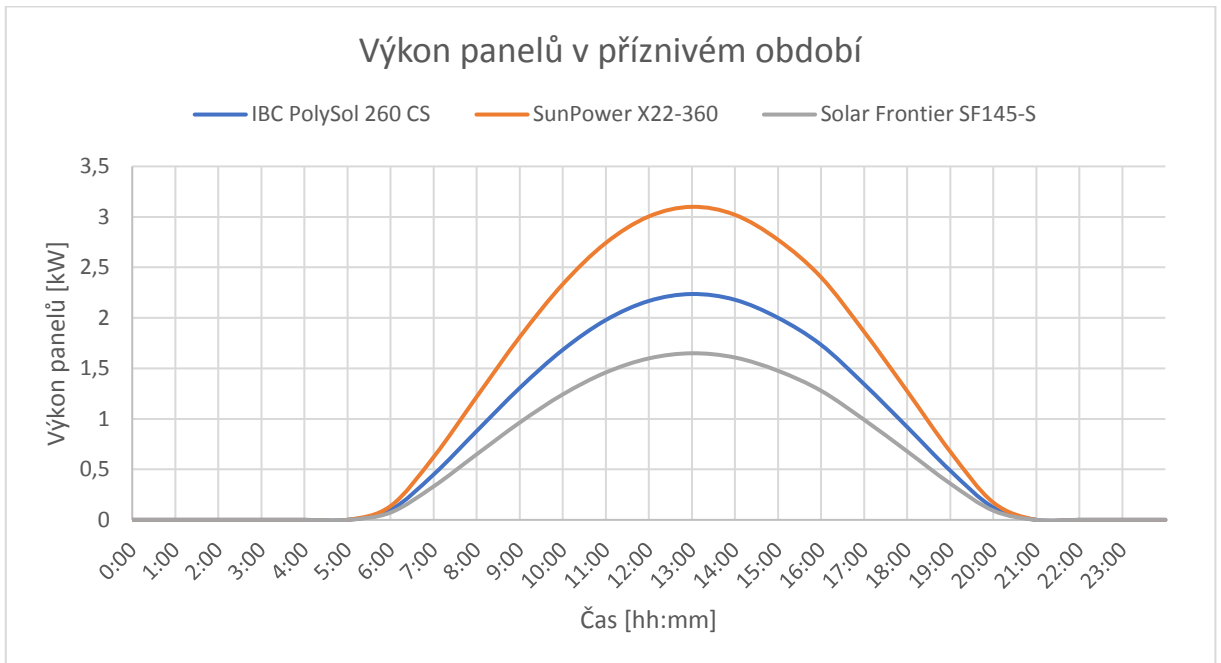
V naší geografické poloze se tak v průběhu roku velmi výrazně liší dopadající sluneční energie na zemský povrch. V letním období za jasného počasí dle této modelace dopadá na plochu jednoho  $m^2$  8,29 kWh za den, v zimním období pouze kolem 1 kWh.

Je však třeba pro další modelaci uvážit vliv počasí, průběhy dopadajícího záření v Grafu 4.5 platí pro den, kdy není dopad slunečního záření nijak omezován, pro tento model budeme počítat vliv počasí zjednodušeně jako koeficient 0,5 pro výstupní výkon solárních panelů. Dále má na výstupní výkon solárních panelů vliv teplota, při vyšších teplotách účinnost panelu klesá. Pro další modelování budeme uvažovat následující zjednodušení, a to, že v jarním období je sice kratší doba slunečního svitu a Slunce ještě není tak vysoko nad obzorem, ale v tomto období jsou nižší teploty, což má na výstupní výkon pozitivní vliv. V létě je sluneční záření intenzivnější a po delší dobu dne, teploty jsou však vyšší, což snižuje účinnost panelů, v těchto obdobích tak budeme průměrně vyrábět podobné množství elektrické energie. Oproti tomu zimu a podzim budeme považovat za nepříznivá období, protože zde bývají výrazně kratší dny a k tomu také horší počasí.

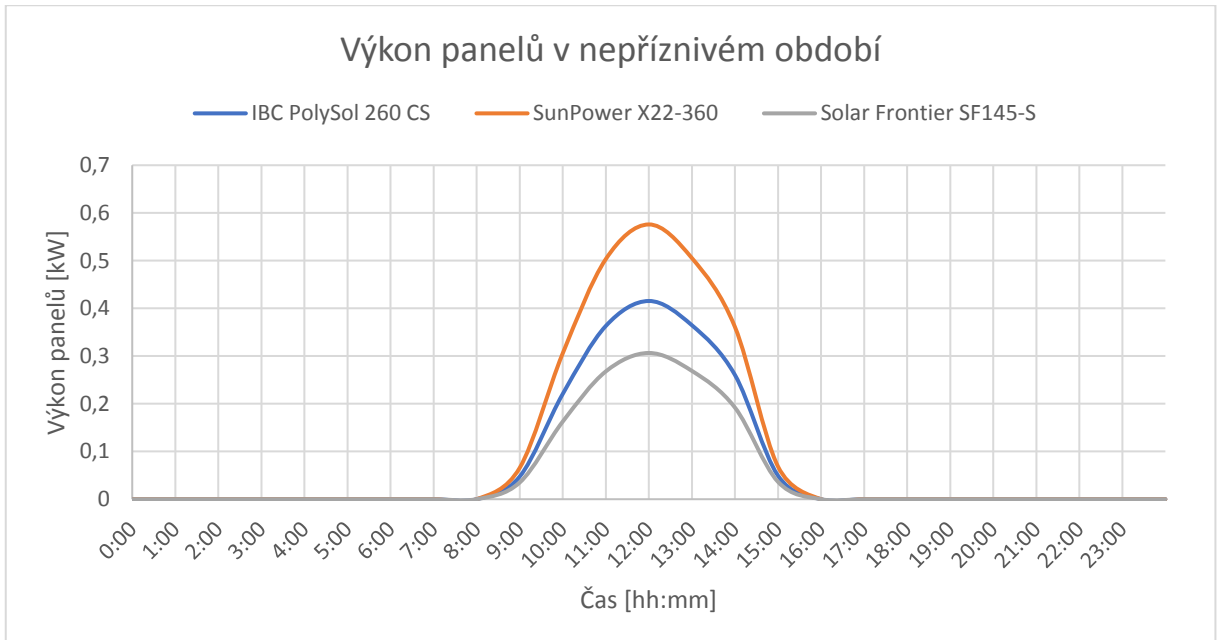
V další části vypočítáme pro tato dvě modelová období vyrobenou elektrickou energii pro jednotlivé typy vybraných solárních panelů z Tabulky 4.5. Střechu jsme si stanovili na plochu  $80 m^2$ , za vhodnou k umístění panelů budeme považovat jednu stranu střechy a reálně použitelnou plochu pro umístění solárních panelů tak odhadneme na  $30 m^2$ . Na tuto plochu můžeme umístit buď 18 panelů IBC PolySol 260 CS nebo SunPower X-Series X22-360,

případně 24 panelů SOLAR FRONTIER SF145-S. Množství vyrobené energie je znázorněno na grafech 4.9 a 4.10.

*Graf 4.9 – výkon solárních panelů v příznivém ročním období v průběhu dne*



*Graf 4.10 - výkon solárních panelů v nepříznivém ročním období v průběhu dne*



Na průbězích vidíme značné rozdíly v uvažovaném příznivém a nepříznivém období, kdy nám panely dávají výrazně menší množství energie, a to ještě po kratší čas. Výstupy z Grafů 4.9 a 4.10 jsou shrnuty v tabulce níže.

*Tabulka 4.7 – vyrobená elektrická energie jednotlivými typy solárních panelů*

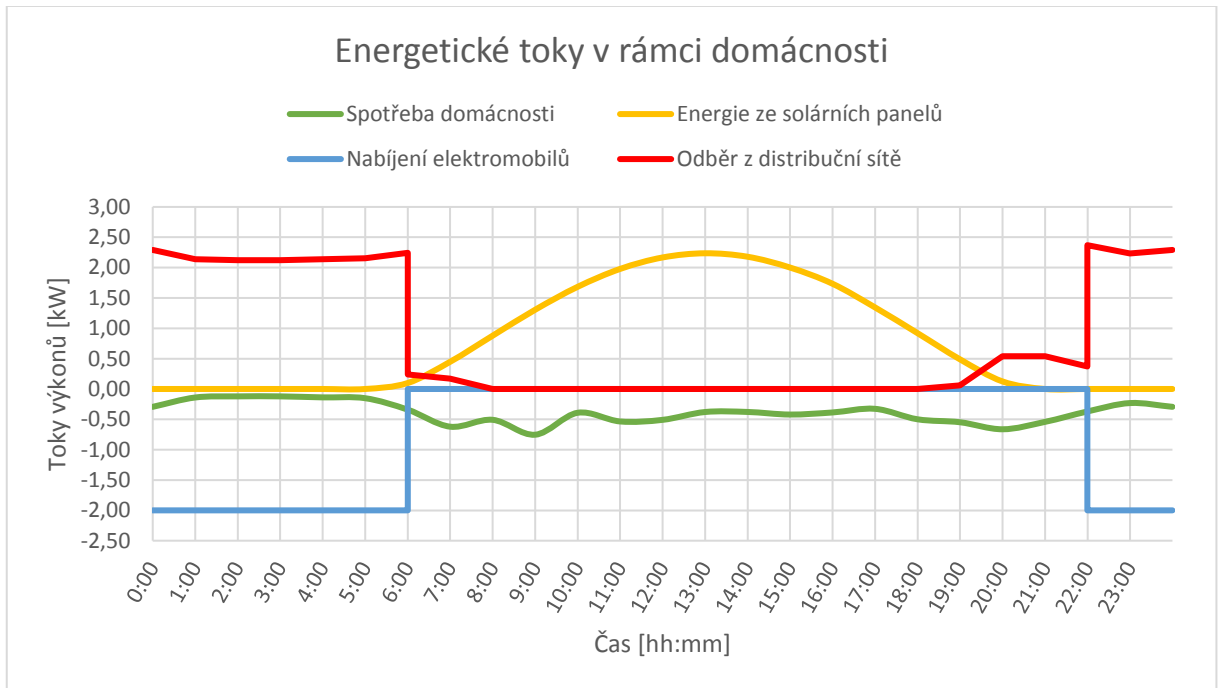
Typ panelu	Počet panelů	Příznivé období [kWh]	Nepříznivé období [kWh]	Cena panelů [Kč]
IBC PolySol 260 CS	18	19,6	1,7	87 120
SunPower X-Series X22-360	18	27,2	2,4	202 500
SOLAR FRONTIER SF145-S	24	14,4	1,3	76 800

Vyrobenou elektrickou energii nám tak ovlivňuje roční období více než typ panelu. Jednotlivé typy panelů se od sebe liší až dvojnásobkem, v případě rozdílu ročních období se může jednat až o řád jiné množství vyrobené energie. V tomto modelovém případě nám s ohledem na vyrobenou elektrickou energii k pořizovacím nákladům vycházejí nejlépe polykrystalické panely, pro další modelaci tedy budeme uvažovat tento typ panelů.

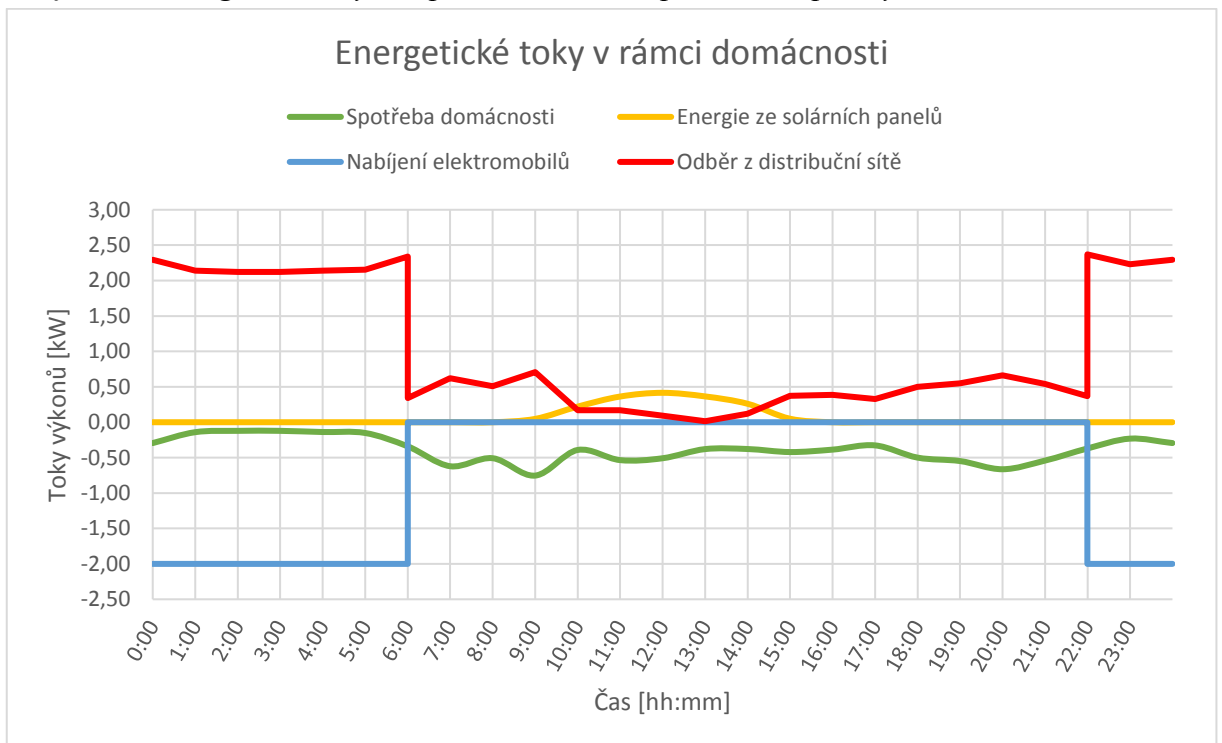
#### **4.4.4 Využití solární energie**

Výsledky z modelace na solárních panelech nyní dáme do souvislosti s namodelovanou domácností a modely nabíjení elektromobilů. V bodě 4.3.3 jsme navrhli optimalizovaný model pro nabíjení elektromobilů přes noc. Do tohoto přehledu nyní přidáme energetický přínos solárních panelů a budeme jej dále rozvíjet s ohledem na roční období a zhodnotíme, jak můžeme energii ze solárních panelů využít.

Graf 4.11 – energetické toky v příznivém období pro solární panely



Graf 4.12 – energetické toky v nepříznivém období pro solární panely



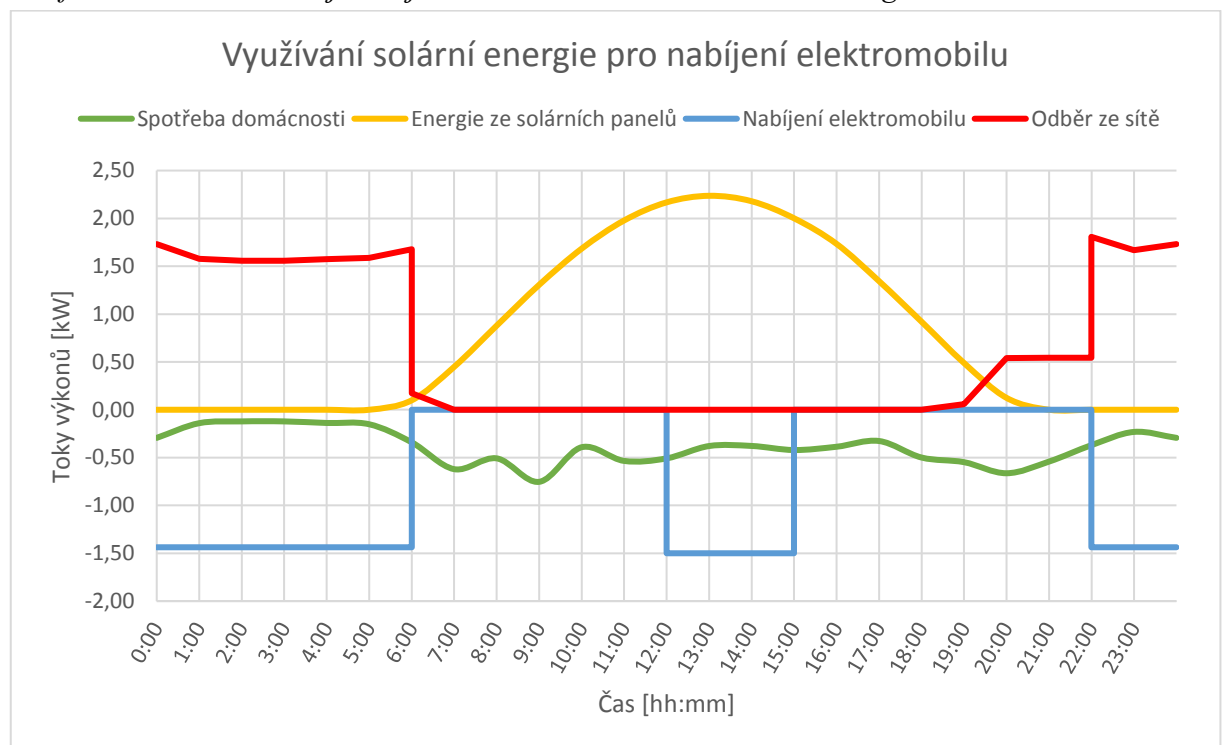
Tento model byl navržen pro co nejušpornější nabíjení elektromobilů ze sítě, na průbězích vidíme, že v tomto případě máme v příznivém období velký zisk ze solárních panelů, který nevyužíváme. V nepříznivém období je energie, ze solárních panelů relativně malá, kterou vlastně celou dokážeme využít v rámci domácnosti a nelze zde již najít další možnosti zlepšení. Při dalších modelacích se tak zaměříme především na efektivnější využití získané energie



v období příznivém pro solární panely. Mohli bychom uvažovat nad situací, že budeme tuto energii prodávat do distribuční sítě, tento postup je však náročný a plyne z něj mnoho dalších povinností, a navíc o energii ze solárních panelů distributor ani moc nestojí, výkupní ceny poklesly pro nově připojené elektrárny na ne příliš zajímavé hodnoty. Bude tak lepší, pokud model zoptimalizujeme, abychom co nejvíce vlastní energie spotřebovali sami.

Dle našeho dopravního modelu je Elektromobil č. 1 v čase velkých energetických zisků solárních panelů mimo uvažovanou domácnost a jeho nabíjení tímto zdrojem tak nepřipadá v úvahu. Elektromobil č. 2 je však po většinu času dne v domácnosti, můžeme ho tak nabíjet energií ze solárních panelů.

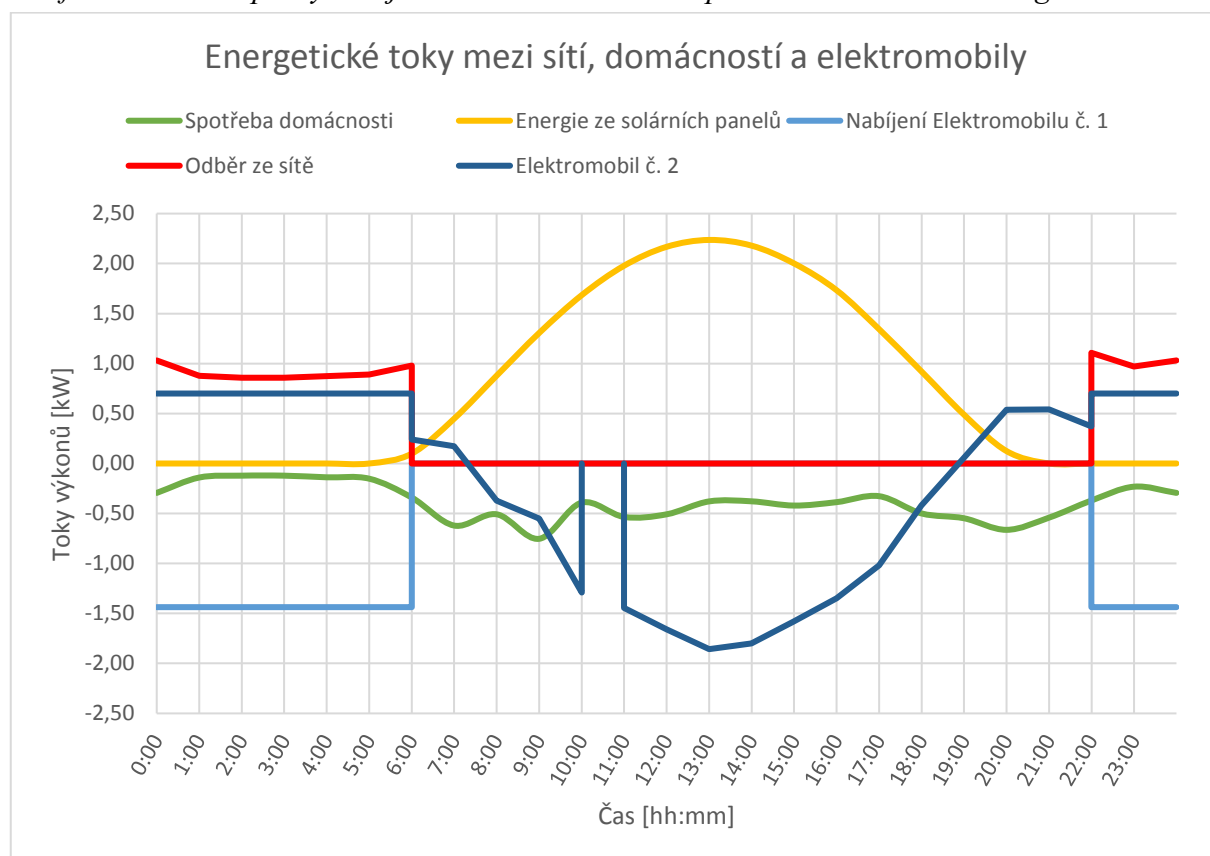
Graf 4.13 – model s dobíjením jednoho z elektromobilů solární energií



Ze sítě tak odebíráme za den 15 kWh, ze 19,6 kWh dostupné energie ze solárních panelů využíváme pro domácnost a nabíjení kolem 10 kWh. Tímto způsobem si tak snížíme odběr elektrické energie ze sítě během nočního nabíjení a využijeme vlastní vyrobenou energii pro nabíjení alespoň jednoho z elektromobilů.

Pokud budeme pokračovat v úvahách v tomto směru, můžeme stanovit model, že bychom do Elektromobilu č. 2 přes den získanou energii ze solárních panelů ukládali a tu pak využívali v ostatních časech pro domácnost, a také pro pozdější nabíjení Elektromobilu č. 1. Akumulátor námi vybraného vozidla má kapacitu 19 kWh, takže tímto parametrem zde nejsme příliš omezeni, taktéž lze tyto akumulátory dobíjet o řád vyšším výkonem, než nám dodávají špičkově solární panely, takže se nemusíme ani omezovat v tomto ohledu.

Graf 4.14 – model při využití jednoho z elektromobilů pro ukládání solární energie



Budeme tak ukládat energii ze solárních panelů, kterou nespotřebujeme ihned v domácnosti, do Elektromobilu č. 2. Nemůžeme však uložit veškerou získanou energii, protože s elektromobilem během dne také jezdíme. Během dne tak můžeme do Elektromobilu č. 2 vložit kolem 12 kWh energie, kterou nespotřebujeme v domácnosti. Vlastní spotřeba pro jízdu Elektromobilu č. 2 je 4,5 kWh denně, 7,5 kWh získaných během dne tak můžeme spotřebovat v jiných časech, a to především během večerní a ranní vyšší spotřeby v domácnosti a také pro nabíjení Elektromobilu č. 1. Ze získaných 19,6 kWh hodin ze solárních panelů jich tak dokážeme využít 17 kWh. Ze sítě nadále odebíráme 8 kWh, ale pouze v nočním období pro nabíjení Elektromobilu č. 1.

#### 4.4.5 Ekonomické zhodnocení

V případě optimalizovaného způsobu nabíjení jsme se v kapitole 4.3.5 dopočítali měsíčních nákladů 2308 Kč za domácnost i elektromobily s tarifem D27d. V této kapitole shrneme finanční přínos solárních panelů.

Tabulka 4.8 – energetické a ekonomické přínosy solárních panelů

Modelový případ (znázorněn v grafu)	Využitá solární energie [kWh]	Odebráno ze sítě [kWh]	Měsíční náklady [Kč]
Využito jen pro domácnost (Graf 4.11)	5	20	1518
Využití pro část nabíjení (Graf 4.13)	9,5	15,5	1107
Ukládáno do elektromobilu (Graf 4.14)	17	8	532

Musíme uvážit menší přínos panelů v zimním období, kdy nám průměrně dávají pouze kolem 2 kWh energie za den, které využijeme pro spotřebu domácnosti. V tomto období nám klesnou náklady pro všechny výše uvedené modelace pouze na 2030 Kč za měsíc. Pro následující výpočet návratnosti budeme uvažovat zjednodušenou variantu a tato období zprůměrujeme.

Cenu solárních panelů jsme vypočetli na počátku kapitoly a činí 87120 Kč. V případě využívání solární energie pouze přes den pro domácnost je návratnost v horizontu 15 let. Pokud budeme část energie využívat pro nabíjení elektromobilů je návratnost kolem 10 let. V případě modelovaného případu, kdy budeme elektromobil využívat i pro ukládání energie ze solárních panelů jsme schopni snížit náklady až o 1776 Kč měsíčně, což nám návratnost investice do solárních panelů zkrátí na 7 let.

V případě chytrého využívání synergie mezi elektromobily, domácnostmi a solárními panely jsme tak schopni omezit měsíční náklady za spotřebovanou energii na zlomek původních nákladů. Solární panely, které bez využívání pevných bateriových systémů mají návratnost v horizontu delším 10 let se nám mohou při spolupráci s elektromobily vyplatit výrazně rychleji.

## 4.5 Možnosti dalšího rozšíření a doplnění modelu

Tak jako v každé modelaci jsme i v tomto modelovém případě stanovili řadu zjednodušení a přiblížení. Tento model a jeho varianty samozřejmě nejsou jediné smysluplné případy a mohli bychom uvažovat různé další modelové situace, případně tento model dále rozšiřovat a upřesňovat. Modelace všech těchto případů by však přesahovala rozsah jedné bakalářské práce, a tak nebyly do této práce zahrnuty. Další případy a možnosti, které jsme při tvorbě bakalářské práce uvažovali, jsou:

- Využití různých dopravních prostředků elektromobility, možnost nahradit část jízd jiným dopravním prostředkem
- Přesnější modelace spotřeby elektromobilů při různých jízdních cyklech
- Přesné uvážení ekonomického vlivu delších cest na provoz elektromobilu z důvodu nutného dražšího nabíjení mimo domácnost
- Nabíjení elektromobilů s různě vybitým akumulátorem, i případ nutnosti nabít celou kapacitu akumulátorů elektromobilu a vliv těchto případů na odběr domácnosti
- Přesnější výpočet ztrát při nabíjení elektromobilu a dynamická modelace nabíjecího procesu
- Uvážení nabíjení v různých dalších lokalitách kromě domácnosti a pracoviště
- Během zimního období bude spotřeba elektromobilů vyšší především vlivem odběru elektrické energie pro topení
- Domácnost má v zimním období vyšší spotřebu vlivem delšího využívání osvětlení
- Více případů orientace a plochy střechy využitých solárními panely a ekonomický výpočet, jak velkou plochu je z hlediska ekonomické návratnosti optimální pokrýt solárními panely
- Pro solární panely jsou potřeba střídače napětí, ty nebyly ve výpočtech zahrnuty
- Ukládání solární energie i do statických akumulátorů pro její pozdější využití pro spotřebu domácnosti a elektromobilů
- Přesnější modelace vlivů počasí a ročních období na výstup výkonu solárních panelů, v zimním období je třeba zvážit i možnost nulového výstupu panelů z důvodu pokrytí sněhem
- Vliv postupné degradace všech systémů, především baterií elektromobilu a postupného snižování výkonu solárních panelů, zahrnutí těchto případů do výpočtu ekonomické návratnosti

## ZÁVĚR

V případě pohonu současných elektromobilů je s přihlédnutím k fyzikálním zákonům už jen malý prostor ke zlepšení. Hlavní brzdou rozvoje elektromobilů tak jsou stále nedostatečné parametry akumulátorů. Je však třeba přihlédnout k rychlému rozvoji v této oblasti a není důvod se domnívat, že by za pár let nebyly k dispozici ještě lepší technologie akumulátorů, které celý trh s elektromobily opět posunou vpřed. Při budoucím rozvoji bude ale důležité se vypořádat s ekologickou zátěží způsobenou akumulátory, především navržením způsobů jejich recyklace a znovupoužití. Další zajímavá zjištění v teoretické a výpočtové části této práce se týkají nepřímých emisí elektromobilů, v případě skleníkových plynů oxidu uhličitého, které jsou v souvislosti s automobilovou dopravou často diskutované, by elektromobilita v podmínkách České republiky neměla téměř žádný přínos. V této oblasti je třeba hledat řešení především na straně energetiky a průmyslu. Elektromobilita má však pozitivní přínos na zdraví škodlivé emise, jako jsou oxidy dusíku a pevné částice. Další poznatky se týkají možnosti získání potřebné energie pro nabíjení elektromobilů na straně energetických zdrojů, při vhodném způsobu dobíjení elektromobilů by bylo možné využít rezervní kapacity sítě a zdrojů v nočních hodinách, pro částečný rozvoj elektromobility tak není potřeba budovat žádné další energetické zdroje, ale efektivněji využívat ty stávající.

Výsledkem této práce je celkový energetický model domácnosti využívajících elektromobilů. Jsou navrženy různé modely nabíjení elektromobilů a zhodnocení jejich ekonomické nákladnosti. V případě chytře navrženého způsobu nabíjení elektromobilů v domácnosti se lze s náklady na provoz elektromobilu dostat na opravdu zajímavé hodnoty. Dále je tento model rozšířen o využití elektrické energie ze solárních panelů. Jsou zde modelové situace, jak tuto energii co nejlépe využít s ohledem na nabíjení elektromobilů. Je zde zpracována varianta vzájemného pozitivního ovlivnění solárních panelů a elektromobilu, který nám může částečně sloužit jako pevné úložiště elektrické energie, které vyrovnává energii ze solárních panelů se spotřebovanou energií, a tak zmenšuje odběr z distribuční sítě, což nám ve výsledku dále sníží náklady na provoz elektromobilu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ACEA. Vehicles in use - Europe 2017 [online]. 2017, 17. Dostupné z: [www.acea.be/statistics/article/vehicles-in-use](http://www.acea.be/statistics/article/vehicles-in-use)
- [2] EUROPEAN COMMISSION. *Reducing CO2 emissions from passenger cars* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en#tab-0-0)
- [3] *Nový Nissan Leaf* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>
- [4] *BMW i3 a BMW i3s* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/prehled.html>
- [5] *Tesla Model S* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models>
- [6] *Volkswagen e-up!* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/e-up>
- [7] ACEA - EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATION. *Differences Between Diesel and Petrol* [online]. 2016 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://www.acea.be/news/article/differences-between-diesel-and-petrol>
- [8] MUSK ELON a STRAUBEL JB. *Model S Efficiency and Range* [online]. 2012 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/blog/model-s-efficiency-and-range>
- [9] SOR LIBCHAVY SPOL. S R.O. Datasheet: SOR EBN 11. nedatováno.
- [10] ŠKODA ELECTRIC A.S. Datasheet: Dvounápravový 12 M bateriový autobus Škoda Perun HE. nedatováno.
- [11] BYD USA. *Datasheet: C9 Electric Motor Coach* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://en.byd.com/usa/bus/c9-electric-motor-coach/>
- [12] *V Třinci vyjely do provozu elektrobusesy Škoda Perun — Československý Dopravák* [online]. 2017 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2017/3/10/tinec-zaadil-do-provozu-sv-elektrobusesy>

- [13] MHD86.CZ. *DPP zahájí zkušební provoz elektrobuse s dynamickým dobíjením* [online]. 2017 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://mhd86.cz/2017/10/14/dpp-zahaji-zkusebni-provoz-elektrobuse-s-dynamickym-dobijenim/>
- [14] *EUR-Lex - 32006R0561* [online]. 2006 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32006R0561>
- [15] HAJEK STEFAN. Flixbus: Elektrobusse auf der Langstrecke. *WirtschaftsWoche* [online]. 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.wiwo.de/unternehmen/dienstleister/flixbus-elektrobusse-auf-der-langstrecke/21066388.html>
- [16] STREETSCOOTER GMBH. *Work 20 kWh* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.streetscooter.eu/produkte/work-20-kwh>
- [17] NOVÁK, Jaroslav. *Přednášky z předmětu Elektrické pohony*. 2018
- [18] SÝKORA, Petr. *Cvičení z předmětu Elektrické pohony*. 2018
- [19] MĚŘIČKA, Jiří, Václav HAMATA a Petr VOŽENÍLEK. *Elektrické stroje, skriptum ČVUT*. 2000.
- [20] EMADI, Ali. *Advanced Electric Drive Vehicles* [online]. 2015. ISBN 1466597690. Dostupné z: <https://www.crcpress.com/Advanced-Electric-Drive-Vehicles/Emadi/p/book/9781466597693>
- [21] Types of Lithium-ion Batteries. *Battery University* [online]. 2017 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
- [22] NOVÁK, Jaroslav, Ondřej SADÍLEK a Petr SÝKORA. Lithiové trakční akumulátory pro elektromobilitu. *Elektro*. 2016, **11**, 8–12.
- [23] Electric Vehicle (EV). *Battery University* [online]. 2018 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/electric\\_vehicle\\_ev](http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev)
- [24] FRANCO, Alejandro A. Rechargeable lithium batteries. *Woodhead Publishing Series in Energy: Number 81*. 2015, 392.

- [25] BMW and Bosch open new 2.8 MWh energy storage facility built from batteries from over 100 electric cars. *Electrek* [online]. 2016 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/09/22/bmw-bosch-energy-storage-facility-built-from-batteries-from-over-100-electric-cars/>
- [26] SKUPINA ČEZ. *Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html>
- [27] ZHAO, Guangjin. *Reuse and Recycling of Lithium-Ion Power Batteries* [online]. 2017. ISBN 9781119321866. Dostupné z: doi:10.1002/9781119321866
- [28] CHADEMO ASSOCIATION. *Technology Overview* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.chademo.com/technology/technology-overview/>
- [29] *Tesla shuts down battery swap program in favor of Superchargers* [online]. 2016 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/tesla-shuts-down-battery-swap-program-for-superchargers/>
- [30] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Národní akční plán čisté mobility [online]. 2015, 161. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf%0Ahttps://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>
- [31] ASOCIACE ELEKTROMOBILOVÉHO PRŮMYSLU. *Mapy Google - nabíjení elektromobilu* [online]. 2018 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1KYfZCxqw3Yei4TUz7gKFKowAls&ie=UTF8&hl=cs&msa=0&z=8&om=1&ll=49.788189128684984%2C15.673519614540055>
- [32] SKUPINA ČEZ. *Mapa dobíjecích stanic* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/mapa-dobijecich-stanic.html>
- [33] TESLA EUROPE. *Find Us* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: [https://www.tesla.com/en\\_EU/findus#/bounds/65,55,34,-11,d?search=supercharger&name=Europe](https://www.tesla.com/en_EU/findus#/bounds/65,55,34,-11,d?search=supercharger&name=Europe).



- [34] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v České republice za rok 2017. 2017, (Září).
- [35] ERU. Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR [online]. 2017, 37. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni\\_zprava\\_2016\\_IV\\_Q.PDF/ad22f9a4-4f90-4f59-bef4-f1a384722302](http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni_zprava_2016_IV_Q.PDF/ad22f9a4-4f90-4f59-bef4-f1a384722302)
- [36] SKUPINA ČEZ. *Loňská výroba Temelína by stačila k pokrytí téměř roční spotřeby českých domácností* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/promedia/aktuality-z-jadernych-elektren/16672.html>
- [37] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Pozemky podle druhů v České republice. 2017.
- [38] ČEZ DISTRIBUCE. *Přehled zatížení soustavy* [online]. 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/sysutf/ds3/cs/diagram-online.html>
- [39] TECHNICKÁ SPRÁVA KOMUNIKACÍ. Ročenka dopravy Praha 2016. 2016, 100.
- [40] SKUPINA ČEZ. *Uhlíková expozice firmy* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/index05.htm>
- [41] SKUPINA ČEZ. *Emise skleníkových plynů* [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/index05\\_01\\_02.htm](https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/index05_01_02.htm)
- [42] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *CO2 emissions by car manufacturer* [online]. 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/cars-co2-emissions-trends-by-manufacturer-4#tab-chart\\_2](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/cars-co2-emissions-trends-by-manufacturer-4#tab-chart_2)
- [43] MORO, Alberto a Laura LONZA. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 2017, (July), 0–1. ISSN 13619209. Dostupné z: [doi:10.1016/j.trd.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012)
- [44] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2017 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://portal.cenia.cz/irz/unikyPrenosy.jsp>
- [45] *European Emission Standards* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

- [46] SKUPINA ČEZ. *Spotřeba elektřiny v domácnostech loni vzrostla, mezi regiony jsou velké rozdíly* [online]. 2014 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/promedia/tiskove-zpravy/4735.html>
- [47] SKUPINA ČEZ. *Ceník pro domácnosti*. 2017.
- [48] HROMÁDKO, Daniel. *Využití fotovoltaických článků k napájení železničních vozidel*. Diplomová práce, 2017. Univerzita Pardubice.
- [49] SUNPOWER. *SunPower X-Series Residential Solar Panels X22-360* [online]. 2016. Dostupné z: <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x22-series-360-residential-solar-panels.pdf>
- [50] IBC SOLAR AG. *Datasheet: IBC PolySol 260 CS*
- [51] SOLARGIS. *Solar resource maps of Czech Republic* [online]. 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/czech-republic>
- [52] *Data získána z počítačového programu Redshift 7 Premium*
- [53] ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, Inc. *Solar constant* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/solar-constant>

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 – technické parametry v současnosti dostupných elektromobilů .....	10
Tabulka 1.2 – technické parametry současně dostupných elektrobusů .....	12
Tabulka 2.1 – parametry vybraných technologií lithiových článků .....	18
Tabulka 3.1 – počet nutných dobíjecích bodů ve městě na plné uspokojení poptávky .....	27
Tabulka 4.1 – nájezdy elektromobilů .....	32
Tabulka 4.2 – energetická spotřeba pro nájezd elektromobilu č. 1 .....	32
Tabulka 4.3 – energetická spotřeba pro nájezd elektromobilu č. 2 .....	33
Tabulka 4.4 – časové využití elektromobilů .....	33
Tabulka 4.5 – vypočtené ceny elektrické energie pro domácnost a nabíjení elektromobilů .....	39
Tabulka 4.6 – vybrané typy solárních panelů .....	41
Tabulka 4.7 – vyrobená elektrická energie jednotlivými typy solárních panelů .....	46
Tabulka 4.8 – energetické a ekonomické přínosy solárních panelů .....	50

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 2.1 – schéma střídače .....	15
Obrázek 3.1 – rozmístění nabíjecích stanic v roce 2018 ČR .....	23
Obrázek 4.1 – průměrně dopadající sluneční energie na m <sup>2</sup> za rok.....	42

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 3.1 – zatížení distribuční soustavy ČEZ v průběhu dne v regionu střed .....	26
Graf 4.1 – spotřeba elektrické energie domácnosti během dne .....	30
Graf 4.2 – graf spotřeby elektrické energie pro nabíjení elektromobilů po sobě .....	35
Graf 4.3 – graf spotřeby elektrické energie pro nabíjení obou elektromobilů současně .....	35
Graf 4.4 – nabíjení elektromobilů vyšším výkonem.....	36
Graf 4.5 – optimální model domácího nabíjení .....	37
Graf 4.6 – model nabíjení při nabíjení části energie mimo domácnost .....	38
Graf 4.7 – úhel slunce nad obzorem v průběhu dne pro různá roční období.....	43
Graf 4.8 – intenzita záření dopadající na povrch .....	44
Graf 4.9 – výkon solárních panelů v příznivém ročním období v průběhu dne .....	45
Graf 4.10 - výkon solárních panelů v nepříznivém ročním období v průběhu dne .....	45
Graf 4.11 – energetické toky v příznivém období pro solární panely .....	47
Graf 4.12 – energetické toky v nepříznivém období pro solární panely.....	47
Graf 4.13 – model s dobíjením jednoho z elektromobilů solární energií .....	48
Graf 4.14 – model při využití jednoho z elektromobilů pro ukládání solární energie.....	49