



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Projekt parkoviště Západočeské univerzity pro rozvoj elektromobility

AUTOR PRÁCE: Bc. Pavel Kopačka

VEDOUcí PRÁCE: Prof. Ing. Zdeněk Vostracký DrSc., dr. h. c.

PLZEŇ 2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel KOPAČKA**

Osobní číslo: **E16N0102P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

Název tématu: **Projekt parkoviště Západočeské univerzity pro rozvoj elektromobility**

Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Navrhňte scénáře dopadu rozvoje elektromobility na parkovací místa konkrétního parkoviště.
2. Vytvořte simulaci provozu parkoviště z hlediska výkonů elektrické energie.
3. Optimalizujte provoz parkoviště při efektivním využití nabíjecích stanic.
4. Zpracujte dokumentaci parkoviště s optimalizací nabíjecích stanic s transformačním výkonem.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

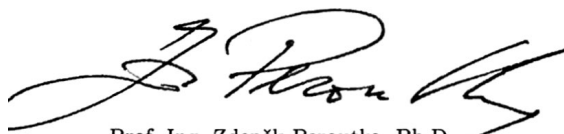
Seznam odborné literatury:

1. Parkování ve městě, /E/ mobilita - ČEZ, 2018.
2. Časopisy IEEE Power Energy, Energy Conversion.
3. Firemní literatura Siemens, VW, Peugeot, ČEZ.

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na vývoj elektromobility z pohledu parkovacích míst. Cílem této práce je přinést přehled o vývoji elektromobility a možnosti přizpůsobení parkovišť pro dobíjení elektromobilů v horizontu následujících 12 let. Úvodní část práce seznamuje čtenáře s rozvojem elektromobility ve světě a ČR. V druhé části je uveden vliv vývoje elektromobility na výrobu a spotřebu elektrické energie celosvětově a pouze v ČR. Hlavní body práce obsahují poslední dvě kapitoly, které se zaměřují na optimalizaci parkovacích míst parkoviště pro elektromobily (počet nabíjecích stanic), simulací výkonové kapacity a zatížení parkoviště, řízení elektrického výkonu a projektem parkoviště Západočeské univerzity FEL, které bylo použito jako referenční pro simulace a výpočty.

Klíčová slova

baterie, dokumentace parkoviště, elektromobily, elektromobilita, nabíjecí stanice, nabíjení elektromobilů, parkoviště, spotřeba elektrické energie, výkonové zatížení, výroba elektrické energie, vývoj elektromobility

Abstract

Kopačka, Pavel . *A parking project for University of West Bohemia in the development of electromobility* [*Projekt parkoviště Západočeské univerzity pro rozvoj elektromobility*]. Pilsen, 2019. Diploma thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Electrical Power Engineering and Environmental Engineering. Supervisor: Ing. Václav Mužík

The thesis is focused on the development of electromobility targeted to parking spaces. The aim of this work is to bring an overview of the development of electromobility and the possibility of adjusting the car parkings to charge the electromobile for the next 12 years. The introductory part of the thesis introduces development of electromobility in the world and the Czech Republic. In the second part is introduce influence of electromobility development on electricity production and consumption worldwide and only in the Czech Republic. The main points of the thesis include the last two chapters are focusing on the optimization of parking for electric cars (number of charging stations), simulation of power capacity and demand, power management and parking project West Bohemian FEL, which was used as a reference parking for simulations and calculations.

Keywords

battery, development of electromobility, electricity demand, electricity product, electromobiles, charging of electromobiles, charging stations, parking, parking project, power demand

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujícího autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 29. května 2019

Bc. Pavel Kopačka

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Mužikovi za jeho přístup, metodické pokyny a cenné profesionální rady, které vedly k vypracování této diplomové práce.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
Úvod	1
1 Elektromobilita	2
1.1 Vývoj elektromobility	2
1.2 Rozvoj elektromobility	3
1.2.1 Současnost dle Global EV Outlook	4
1.2.2 Vývoj dle Global EV Outlook	4
1.2.2.1 The New Policies Scenario	5
1.2.2.2 EV30@30 Scenario	5
1.3 Elektromobilita v ČR	6
1.3.1 Stav elektromobility v ČR	7
1.3.2 Base Scenario (základní scénář)	7
1.4 Parkovací místa	8
1.4.1 Parkovací systémy	9
2 Elektrická energie - výroba, spotřeba	10
2.1 Světová výroba elektrické energie	10
2.1.1 Obnovitelné zdroje ve světě	10
2.2 Světová spotřeba elektrické energie	11
2.2.1 Elektromobilita	12
2.2.1.1 Vývoj spotřeby EVs	12
2.3 Výroba elektrické energie v ČR	13
2.3.1 Obnovitelné zdroje v ČR	14
2.3.2 Bilance zdrojů elektřiny v ČR	15
2.4 Spotřeba elektrické energie v ČR	15
2.4.1 Elektromobilita ČR	16
2.4.1.1 Vývoj spotřeby EVs v ČR	16
2.5 Zatížení elektrické sítě při nabíjení - volba výkonu	17
3 Elektromobily, baterie a nabíjecí stanice	20

3.1	Elektromobily (EVs)	20
3.1.1	Dojezd elektromobilu	20
3.1.2	Elektromobily v ČR	21
3.2	Baterie	22
3.2.1	Li-ion bateriové články	22
3.2.1.1	Princip	22
3.2.1.2	Dělení li-ion bateriových článků	23
3.2.2	Nabíjecí cyklus li-ion baterie	24
3.2.3	Životnost li-ion baterií	25
3.2.4	Baterie pro EV - současnost	26
3.3	Nabíjecí stanice (nabíjecí systém)	27
3.3.1	Výkonové úrovně nabíjecích stanic	29
3.3.1.1	Nabíjecí stanice na střídavý proud (AC)	29
3.3.1.2	Nabíjecí stanice na stejnosměrný proud (DC)	30
3.3.2	Nabíjecí standardy - konektivita	31
3.3.3	Dělení konektorů	31
3.3.4	Nabíjecí stanice ve světě	32
3.3.4.1	Privátní nabíjecí stanice	33
3.3.4.2	Veřejné nabíjecí stanice	34
3.3.4.3	Rozvoj dostupnosti nabíjecích stanic	35
3.3.5	Nabíjecí infrastruktura v České republice	36
3.3.6	Dodavatele nabíjecích stanic	38
3.3.7	Nabíjecí stanice pro rychlé dobíjení	38
3.3.8	Nabíjecí stanice pro pomalé dobíjení	41
4	Optimalizace provozu parkoviště	44
4.1	Parkovací místa na parkovišti	44
4.1.1	Porovnání výsledků vývoje parkovacích míst	45
4.2	Simulace výkonového zatížení parkoviště	46
4.2.1	Popis modelu	46
4.2.2	Simulace - výkonové kapacity parkoviště	49
4.2.2.1	Zhodnocení	51
4.2.3	Simulace - výkonového zatížení FEL ZČU	51
4.2.3.1	Zhodnocení	53
4.3	Řízení elektrického výkonu	53
4.3.1	Princip	54
4.4	Model řízení elektrického výkonu	55
4.4.1	Výsledky simulace	56
4.5	Optimalizační výpočetní program	58
5	Dokumentace parkoviště ZČU	61
5.1	Výkonová optimalizace - transformační výkon	61
5.2	Nabíjecí stanice - výkony, počty	62
5.3	Připojení nabíjecích stanic	63

5.3.1	Dimenzování kabelů	63
5.4	Prostorové uspořádání	64
5.5	Uživatelský přístup	65
5.5.1	Správcovský systém	65
5.5.2	Stručný popis realizace	66
6	Závěr	67
	Seznam použité literatury	70
	Přílohy	A
	Příloha A - Schéma zapojení nabíjecích stanic na parkovišti FEL ZČU	A
	Příloha B - Scénáře chování EVs (výkonové kapacity parkoviště)	B
	Příloha C - Scénáře chování EVs (výkonového zatížení FEL ZČU)	C
	Příloha D - Optimalizační program - digitálně na flash disku	C

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC.....	Alternating Current, Střídavý proud
BEV....	Battery electric vehicle, Elektromobil - pouze na baterie
CCCV..	Constant Current followed by Constant Voltage, Konstantní proud poté napětí
DC.....	Direct Current, Stejnoseměrný proud
DPH....	Daň z přidané hodnoty
DTS....	Distribuční trafostanice
EU.....	Evropská unie
EV.....	Electric vehicle, Elektromobil
EVI.....	Electric Vehicles Initiative
EVs....	Electric vehicles, Elektromobily
EVSE...	Electric vehicle supply equipment, Nabíjecí stanice pro elektromobily
GOEVO	Global EV Outlook
HEV....	Hybrid electric vehicle, Hybridní elektrické vozidlo
IEA.....	International Energy Agency
IoT.....	Internet of Things, Internet věcí
JIS.....	Jednotný Identifikační Systém
LDV....	Light Duty Vehicle, Osobní automobily
NAP CM	Národní akční plán čisté mobility
OZE....	Obnovitelné zdroje energie
PHEV..	Plug-in Hybrid Electric Vehicle, Plug-in hybridní elektrické vozidlo
PM.....	Parkin meter
RFID...	Identifikace na rádiové frekvenci
SPS.....	Smart parking systems

Seznam obrázků

1.1	Rozvoj trhu s EVs v hlavních regionech elektromobility [1]	4
1.2	Graficky znázorněný The New Policies Scenario [1]	5
1.3	Graficky znázorněný EV30@30 Scenario [1]	6
1.4	Rozvoj trhu s EV v ČR podle NAP CM (data z [4])	8
2.1	Vývoj světové výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů (data z [6])	11
2.2	Celková světová elektrická spotřeba všech EVs [1]	12
2.3	Vývoj spotřeby EVs do roku 2030	13
2.4	Vývoj výroby elektrické energie a obnovitelných zdrojů v ČR (data z [6])	14
2.5	Grafická bilance výroby elektřiny jednotlivých zdrojů (data z [8])	15
2.6	Vývoj spotřeby EVs v ČR do roku 2030	17
2.7	Průměrná denní ujetá vzdálenost automobilu [10]	18
2.8	Parkování automobilů na různých lokacích dle času příjezdu a odjezdu [10]	19
3.1	Vývoj registrace osobní EVs v letech 2017 a 2018 [14]	21
3.2	Pohyb iontu Li^+ při nabíjení a vybíjení [16]	23
3.3	Proces nabíjení li-ion bateriových článků [17]	24
3.4	Vybíjecí charakteristika Li-ion bateriového článku [17]	25
3.5	Životní cyklus baterie v závislosti na teplotě [17]	26
3.6	Vývoj cen technologií Li-ion baterií [1]	26
3.7	Základní rozdělení nabíjecích stanic v největších aglomeracích	28
3.8	Nabíjení vozidla pomocí AC nabíječky (wallboxu) a využití palubní nabíječky EV [19]	30
3.9	Nabíjení vozidla pomocí DC nabíječky (fast charger) [19]	30
3.10	Přehled nejpoužívanějších nabíjecích konektorů [20]	31
3.11	Globální přehled nabíjecích stanic pro EVs [1]	33
3.12	Veřejné nabíjecí stanice rozdělené dle typu a země (2017)[1]	34
3.13	Veřejně dostupné nabíjecí stanice ve vybraných zemích poměr ESVE/EV [1]	35
3.14	Počet nabíjecích stanic v oblasti dálnic a distance mezi stanicemi, cíl pro rok 2020[1]	36
3.15	Veřejné nabíjecí stanice v ČR (rychlé a pomalé) [24]	37
3.16	Rychlo-nabíjecí stanice v oblasti dálnic v ČR (distance 100km) [24]	37
3.17	Rychlo-nabíjecí stanice ČEZ - ABB Terra 53 CJT [25]	39
3.18	SIEMENS CPC 50 [26]	40
3.19	Ensto Pro EVF100W [27]	41
3.20	EVlink Park - EVF2S22P02 [28]	42
3.21	ABB TERRA 23 CJ2 [29]	43

4.1	Vývoj počtu nabíjecích stanic na parkovišti ZČU FEL	46
4.2	Flowchard diagram simulace výkonového zatížení parkoviště	48
4.3	Simulace výkonové zatížení parkoviště (Nabíječky 7kW)	50
4.4	Simulace výkonové zatížení parkoviště (Nabíječky 22 kW)	50
4.5	Průměrná denní návštěvnost automobilů na parkovišti ZČU FEL a maximální příkon .	52
4.6	Simulace výkonové zatížení parkoviště (Nabíječky 22 kW)	52
4.7	Rozdělování výkonů - schéma	54
4.8	Flow chard diagram modelu rozdělení výkonů	55
4.9	Denní diagram zátěže přílehlého objektu parkoviště (simulace)	56
4.10	Simulace výkonové zatížení parkoviště s řízením výkonu (Nabíječky 22 kW)	57
4.11	Optimalizační program popis - 1.strana	58
4.12	Optimalizační program popis - 2.strana	59
4.13	Optimalizační program popis - 3.strana	60
5.1	Ilustrační obrázek parkoviště FEL ZČU	61
5.2	Prostorové uspořádání nabíjecích stanic a rozdělení stanovišť	65

Seznam tabulek

1.1	Klíčové faktory trhu s EVs [4]	7
2.1	Světová výroba elektrické energie v jednotlivých regionech za rok 2017 (data z[6]) . . .	10
2.2	Podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů ve světě za rok 2017 (data z[6])	11
2.3	Světová spotřeba elektrické energie v jednotlivých regionech za rok 2017 (data z[6]) . .	12
2.4	Vývoj spotřeby EVs do roku 2030 a podíl na celkové spotřebě	13
2.5	Vývoj výroby elektrické energie a podíl OZE na výrobě v ČR (data z[6])	14
2.6	Bilance výroby elektřiny jednotlivých zdrojů v ČR (data z [8])	15
2.7	Vývoj elektrické spotřeby v ČR do roku 2017 (data z [8])	16
2.8	Vývoj spotřeby EVs do roku 2030 v ČR a podíl na celkové spotřebě	17
3.1	Přehled nejznámějších elektromobilů - baterie, spotřeba, dojezd, cena (data z [11], [12])	20
3.2	Registrace EVs v ČR za rok 2018 dle značky a modelu (data z [14])	22
3.3	ABB Terra 53 CJT - Specifikace [25]	39
3.4	SIEMENS CPC 50 - Specifikace [26]	40
3.5	Ensto Pro EVF100W - Specifikace [27]	41
3.6	EVlink Park - EVF2S22P0 - Specifikace	42
3.7	ABB TERRA 23 CJT - Specifikace	43
4.1	Základní parametry parkoviště ZČU - FEL	44
4.2	Vývoj parkovacích míst pro EVs na parkovišti FEL ZČU	45
4.3	Parametry simulace výkonové zátěže parkoviště	49
4.4	Průměrná denní návštěvnost automobilů na parkovišti ZČU FEL, počet EVs a maximálním příkon nabíjecích stanic	51
4.5	Parametry simulace výkonové zátěže parkoviště	56
5.1	Třífázový olejový, hermetizovaný transformátor o výkonu 400 kVA (22/0,4 kV)	61
5.2	Volba nabíjecí stanice a výkonové parametry	62
5.3	Proudová zatížitelnost (DST - rozpojovací skříň)	63
5.4	Proudová zatížitelnost (rozpojovací skříň - rozvodná skříň)	63
5.5	Proudová zatížitelnost (rozvodná skříň - nabíjecí stanice)	64

Úvod

Elektromobilita je v posledních letech rozsáhle diskutované téma a v následujících letech bude čím dále tím více součástí každodenního života. Předmětem této práce je zhodnocení dopadu rozvoje elektromobility z hlediska nabíjení elektromobilů na velkých parkovištích a konkrétní dopad na parkoviště Západočeské univerzity FEL. Hlavním zdrojem dat pro vypracování této práce byla publikace: Global EV Outlook 2018 [1]. Musím podotknout, že použitá data v této práci byla publikována během roku 2018 a převážně reprezentují rok 2017.

První část práce je zaměřena na rozvoj elektromobility ve světě a v České republice. Součástí jsou scénáře vývoje elektromobily, které mají velký vliv na výsledky práce. Další část práce zmiňuje dopad elektromobility na výrobu a spotřebu elektrické energie ve světě a České republice. Následující část je zaměřena na obecné informace o elektromobilitě, převážně na nabíjecí stanice a elektromobily, které jsou nedílnou součástí této práce.

Poslední kapitoly této práce jsou věnovány optimalizaci provozu parkoviště z ohledem na počet parkovacích míst pro elektromobily a nabíjecích stanic. Součástí jsou simulační modely výkonové kapacity, zatížení parkoviště a řízení výkonů. Zmíněné optimalizace jsou zahrnuty v optimalizačním výpočetním programu, který je zde představen. Poslední kapitola obsahuje projekt parkoviště ZČU zaměřený na realizaci instalace nabíjecích stanic. Parkoviště ZČU bylo použito jako referenční pro simulace a výpočty.

1 Elektromobilita

1.1 Vývoj elektromobility

Termínem elektromobilita (e-mobilita) se rozumí pohyb dopravních prostředků pomocí elektrické energie. Nejedná se pouze o vozidla poháněna pouze elektrickými motory, ale jsou tři základní typy elektrických vozidel: [2]

- Elektromobil - pouze na baterie (BEV)
- Hybridní elektrické vozidlo (HEV)
- Plug-in hybridní elektrické vozidlo (PHEV)

První větší rozmach elektromobilů se datuje v časovém období mezi koncem 19. století a 30. letech 20. století. Vznik prvního elektromobilu se udává o několik desítek let dříve než uvádíme, ale jedná se o elektromobil vyrobený v domácím prostředí vědci a nadšenci. Za nejstarší takto vyrobený elektromobil se považuje elektricky poháněný vozík sestavený Skotem Robertem Andersonem v 40. letech 19. století. Oficiální elektromobily pro komerční využití byly představeny na konci 19. století na Chicagském autosalonu v USA.[3]

Během tohoto rozmachu na přelomu 19. a 20. století se elektromobily ujal vedení na trhu s automobily. Hlavním konkurentem v této době byly automobily poháněné párou (paromobily). Paromobily byly daleko hůře ovladatelné oproti elektromobilům a musely dlouhou dobu (45 min.) nahřívat vodu před odjezdem. To zapříčinilo větší poptávku po elektromobilech, poptávka rostla zejména ze strany řidičů ženského pohlaví, pro které toto vozidlo bylo čisté, jednoduché a pohodlné. Elektromobily dosahovaly daleko vyššího cestovního standartu, ale jejich nevýhodou, s kterou se potýkáme doposud, byl dojezd, který byl znatelně kratší než u paromobilů.[3]

Tento rozvoj pokračoval ještě pár desetiletí, pak byl pozastaven ze stejných důvodů, které brání širšímu rozmachu elektromobilů v dnešní době. Výrobci elektromobilů se snažili zvýšit rychlost bez omezení dojezdu, ale vše bylo na úkor nákladů. Byly hledány tedy kompromisy mezi rychlostí a dojezdem. Později se elektromobily vyskytovaly zejména ve městech, kde nebyla potřeba velkého dojezdu. Postupem času, s rozvojem ropného průmyslu a rostoucí efektivitě vývoje a výzkumu v oblasti spalovacích motorů, se otvíraly lidem brány cestovat na větší vzdálenosti. Zmíněné důvody vedly k postupnému úpadku elektromobilů, který byl především zaznamenán v roce 1923, kdy na automobilových výstavách v USA nebyl prezentován ani jeden elektromobil.[3]

1.2 Rozvoj elektromobility

Elektromobilita je a bude v následujících letech jedním z nejrychleji se rozvíjejících odvětví, a to nejen v oboru dopravy. Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují tento růst, mezi hlavní faktory uvažujeme:

Regulace emisí CO_2

Regulace emisí je jedním z hlavních faktorů rozvoje elektromobility. Jedná se o jedno z hlavních témat mezinárodních dohod a Evropské unie vzhledem k negativnímu účinku CO_2 na změny klimatu.[4]

Zlepšování kvality ovzduší

Neustálý růst počtu obyvatel, kteří se přesouvají do měst a městských aglomerací, je potřeba řešit vzhledem k vznikajícím problémům s kvalitou ovzduší. S rostoucím počtem obyvatel rostou lokální emise všech možných typů látek a hluku. Elektromobilita je řešení pro všechny zmíněné problémy a tím se stává i jednou z politických priorit a zažívá zmíněný rozvoj v posledních letech.[4]

Bezpečnost dodávek - paliva

Dalším faktorem je bezpečnost dodávek pohonných hmot, a to vzhledem k tomu, že minimum zemí na světě disponuje vlastní ropou a jsou závislé na hlavních dodavatelích ropy. Vzhledem k tomu, že tento trh je velice ovlivnitelný politickou situací na celém světě, může elektromobilita snížit závislost jednotlivých států na importu ropy a dalších paliv. Mnoho zemí jako např. ČR má dostatek vlastní energie, která je potřeba pro elektromobilitu. Tato problematika bude řešena níže v této diplomové práci.[4]

Přístup zákazníků

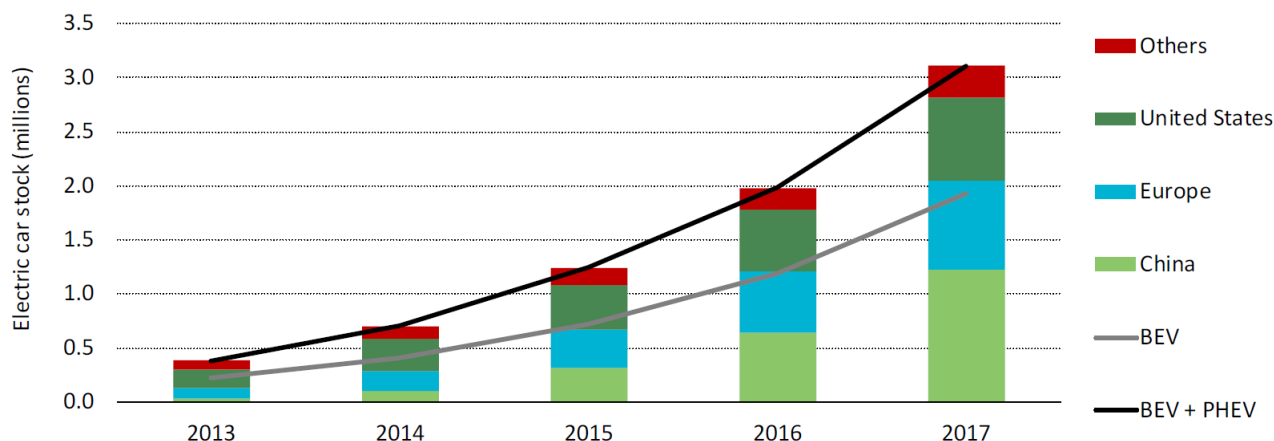
Zájem o elektromobilitu roste i ze strany zákazníku, ukazuje to mnoho průzkumů a pozorování. Tento zájem je podpořen klesajícími cenami elektromobilů, rostoucími cenami paliv, vznikajícími omezeními pro běžné automobily a v některých státech výraznou politickou podporou (*dotace, úlevy na daní atd.*) V současné době i spousta velkým firem podporuje tento trend a obměňují firemní klasické automobily za elektromobily.[4]

Technologie

Díky velkému rozmachu elektromobility dosahuje i technická stránka elektromobility velkého pokroku. Největším problémem byla dojezdová vzdálenost elektromobilu na jedno nabití, která v současné době dosahuje přijatelných dojezdových vzdáleností oproti minulým rokům. Nejen dojezd ale i rychlost dobíjení se zlepšuje a především s zapojení významných výrobců automobilů do vývoje a výroby elektromobilů, klesají výrazně pořizovací ceny elektromobilů.[4]

1.2.1 Současnost dle Global EV Outlook

V současné době zažívá elektromobilita největší rozvoj ve své historii a tento trend bude nadále ještě intenzivněji postupovat. Nejčastěji se řeší a pozoruje rozvoj elektromobility ve třech hlavních regionech: **Číně, USA a Evropě**, které tvoří hlavní trh s EV. Zejména Čína je leaderem v elektromobilitě, Evropa a USA jsou na tom obdobně. Z grafu na obrázku 1.1 je patrný již zmíněný trend v posledních letech. Můžeme zde pozorovat nárůst počtu EV o 56 % za poslední rok. Tento nárůst je téměř totožný s nárůsty o 60 % za předešlé roky 2015 a 2016.[1]



Obrázek 1.1: Rozvoj trhu s EVs v hlavních regionech elektromobility [1]

Kolem 40 % celkového trhu EV, který se skládá z bateriových elektromobilů (**BEV**) a plug-in hybridních elektromobilů (**PHEV**), tvoří Čína. V našem případě nás zajímá Evropa, kde největší podíl na elektromobilitě mají severské státy. Absolutní špičkou v Evropě i ve světě je Norsko, které má největší nárůst EV, za rok uvádí až o 40 %. Je to způsobeno i tím, že v Norsku je elektromobilita podporována intenzivně státem. Zmíněné trhy jsou zaměřeny pouze na osobní elektromobily. V případě zohlednění všech dopravních prostředků poháněných elektrickým proudem by byla čísla daleko vyšší. Například jen v Asii je přes 900 milionů dvou a tříkolových dopravních prostředků (*elektrické motorky, tříkolky*). Též zde nezohledňujeme elektrické autobusy a nakládní automobily, v našem případě je hlavním úkolem komerční sféra.[1]

1.2.2 Vývoj dle Global EV Outlook

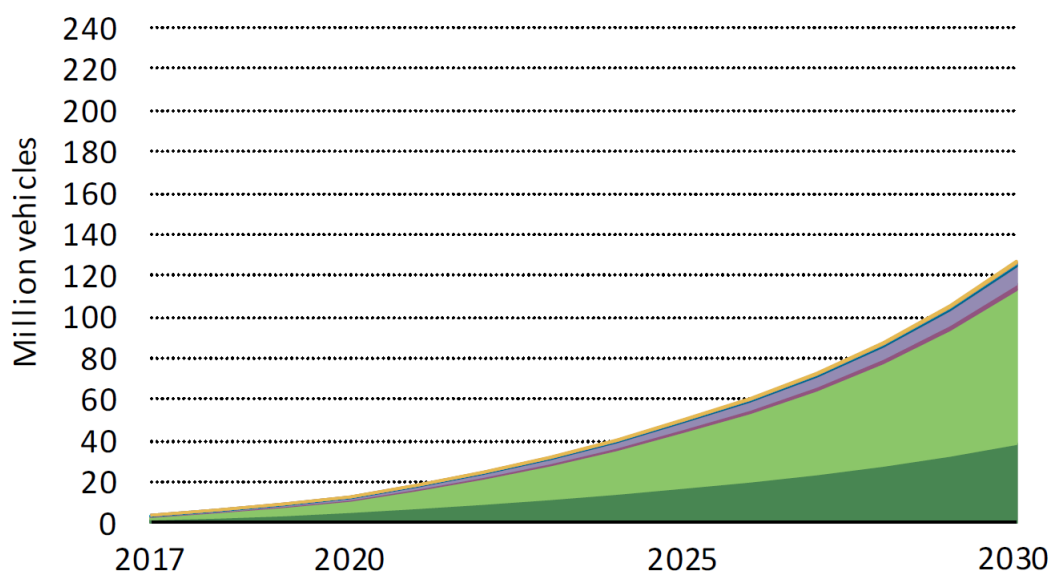
Elektromobilita v ČR zažívá v posledních letech nárůst, ale v porovnání s celkovým počtem vozidel je tento růst malý a nemá zásadní vliv na elektrickou rozvodní síť a spotřebu (viz. kapitola 2). Proto nás převážně zajímá budoucnost elektromobility, růstu počtu EV v horizontu několika desítek (10-30) let. **Mezinárodní energetická agentura (IEA - International energy agency)** publikuje každý rok **Global Electric Vehicle Outlook**. Tato publikace se výhradně zabývá elektromobilitou včetně všech důležitých věcí, které jsou součástí této problematiky. Jde o nabíjecí infrastrukturu, politiku v oblasti EV, výzkum a především **scénáři vývoje**. Jedná se o scénáře, které předpovídají rychlost růstu počtu EV ve světě.[1]

GOEVO pro rok 2018 vydal dva scénáře vývoje, které zde budou zmíněny a budou uvažovány v praktické části této práce: **The New Policies Scenario (NPS)** a **The EV30@30 Scenario**.

1.2.2.1 The New Policies Scenario

Jedná se o ústřední scénář světové organizace IEA. Scénář "nových politik" zahrnuje politická opatření na podporu elektromobility zavedená vládami na celém světě. Příkladem může být Norsko zahrnující osvobození od daní při registraci auta, DPH, mýtného a parkovacích poplatků. Tento scénář obsahuje taktéž pravděpodobnosti účinnosti plánovaných oznámení a zásad v oficiálních cílech nebo plánech jednotlivých států (příklad. Národní akční plán čisté mobility [4]).

Předpokladem The New Policies Scenario je dosažení **13 milionů EVs do roku 2020** ze současných **3.2 milionů** (rok 2017) a **130 milionů EVs do roku 2030** (*bez dvoukolých a tříkolových dopravních prostředků*). Z grafu na obrázku 1.2 je patrné, že se jedná o exponenciální růst trhu s EVs. Z toho plyne, že i prodej EVs poroste z současných 1.4 milionů prodaných EVs za rok (2017) na předpokládané 4 miliony EVs v roce 2020 a nadále bude expandovat, až na 21.5 milionů prodaných EVs v roce 2030. Toto koresponduje s průměrným růstem prodeje EVs o 24 % každý rok.[1]



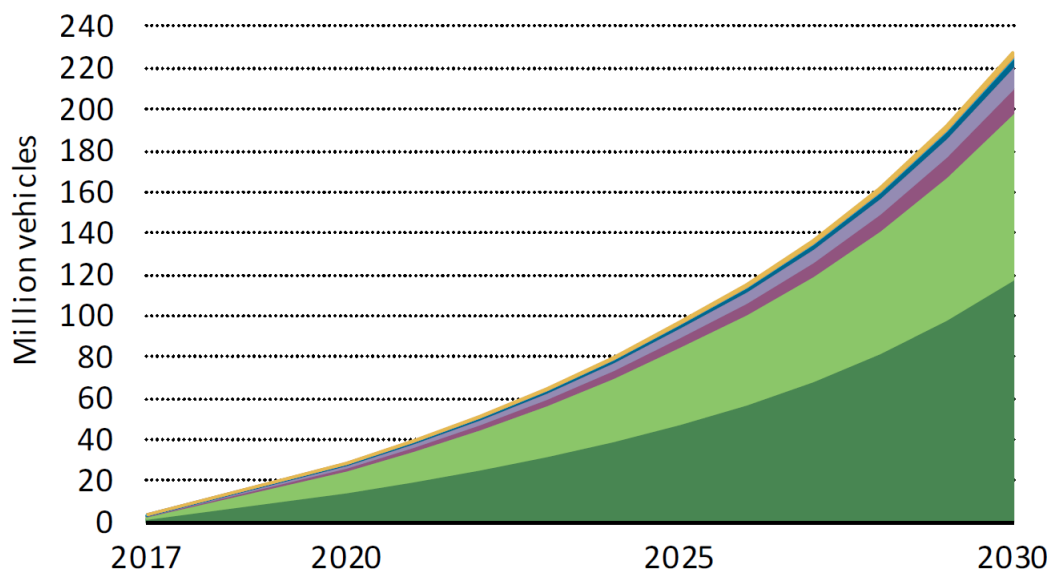
Obrázek 1.2: Graficky znázorněný The New Policies Scenario [1]

1.2.2.2 EV30@30 Scenario

Tento scénář je v souladu s ambicemi, které byly slíbeny zúčastněnými zeměmi na **EVI 2017**. Electric Vehicles Initiative (*EVI, Iniciativa elektrických vozidel*) je mezinárodní politické fórum, založené v roce 2009 v rámci programu Clean Energy Ministerial (*Ministerstva čisté energie*). Účelem tohoto EVI je urychlení rozvoje elektromobility po celém světě. EVI 2017 deklarovalo kampaň s názvem **EV30@30**. Cílem tohoto scénáře je mimo jiné docílit, aby byl

podíl EVs na trhu automobilů minimálně 30 % do roku 2030.[1]

Hlavním předpokladem scénáře EV30@30 je nárůst počtu EVs do roku **2030** na hodnotu **228 milionů**. Z grafu na obrázku 1.3 je patrný téměř o 100 milionů větší nárůst EVs než bylo v případě výše uvedeného scénáře NPS (kap. 1.2.2.1). Pro dosažení tohoto cíle je ovšem potřeba rychlá geograficky politická expanze, která bude prosazovat EV30@30 kampaň v co největším množství států na světě.[1]



Obrázek 1.3: Graficky znázorněný EV30@30 Scenario [1]

1.3 Elektromobilita v ČR

Česká republika není na rozdíl od ostatních západních států průkopníkem v elektromobilitě a jsme značně pozadu oproti jiným západním státům. S rozvojem elektromobility je úzce spjatý rozvoj infrastruktury pro elektromobily, tedy zejména počet nabíjecích stanic a jejich pokrytí po území ČR. Proto můžeme rozdělovat rozvoj do dvou základních kategorií na **elektromobily EV a nabíjecí infrastrukturu**. V našem případě se budeme v této diplomové práci zajímat především o nabíjecí infrastrukturu, která se dá v současné době považovat za klíčovou, pro dostižení ostatních západních států a pokračování v dynamickém rozvoji.

Budování infrastruktury je velice důležitá část. Například Norsko jako jeden s nejdominantnějších států v elektromobilitě nedostatečně rychle budovalo infrastrukturu a v současné době má problém, jelikož nemá dostatečně kapacity pro nabíjení všech vozů. Oproti tomu Německo, které je také velice dominantní v elektromobilitě, má daleko lepší infrastrukturu nabíjecích stanic s tímto problémem se nepotýká, ale nutno zdůraznit, že v Německu je daleko menší procentuální podíl elektromobilů vzhledem ke všem automobilům. To vše naznačuje již zmíněnou důležitost budování a rozvoje nabíjecí infrastruktury a nárůst dodavatelů a výrobců nabíjecích stanic v ČR. Na samotné nabíjecí stanice se zaměříme níže v práci v kapitole 3.3.

1.3.1 Stav elektromobility v ČR

V České republice bylo za rok 2018 registrováno kolem **2620 elektromobilů (PHEV+BEV)**, to je téměř 55 % nárůst oproti roku 2017, kdy bylo registrováno 1687 elektromobilů (PHEV+BEV), což potvrzuje rostoucí trend elektromobility. Elektromobily tvoří **pouhých cca 0,4 %** z celkového počtu automobilů v ČR, kterých je registrovaných kolem 5,2 milionů. Daná čísla porostou rapidně v následujících letech, což je v České republice podpořeno i Ministerstvem průmyslu a obchodu.[4]

Národní akční plán čisté mobility

Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) je vládou schválený (*dne 20. listopadu 2015*) materiál (*pravidelně aktualizovaný*), který má pomoci k dosažení cíle snížení závislosti ČR na ropných produktech a zlepšení životního prostředí ve městech. Z toho vyplývá, že tento plán podporuje elektromobilitu v ČR. NAP CM řeší mimo jiné infrastrukturu elektromobility a **základní scénář (Base scenario)** vývoje, který bude níže popsán a je vytvořen přímo pro Českou republiku.[4]

"NAP CM vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva, která v případě elektromobility a zemního plynu (a částečně rovněž vodíku) stanoví členským státům povinnost rozvíjet příslušnou infrastrukturu dobýjecích a plnicích stanic. NAP CM stanoví požadavky na výstavbu plnicích a dobýjecích stanic s časovým horizontem mezi léty 2020 a 2030.[4]"

1.3.2 Base Scenario (základní scénář)

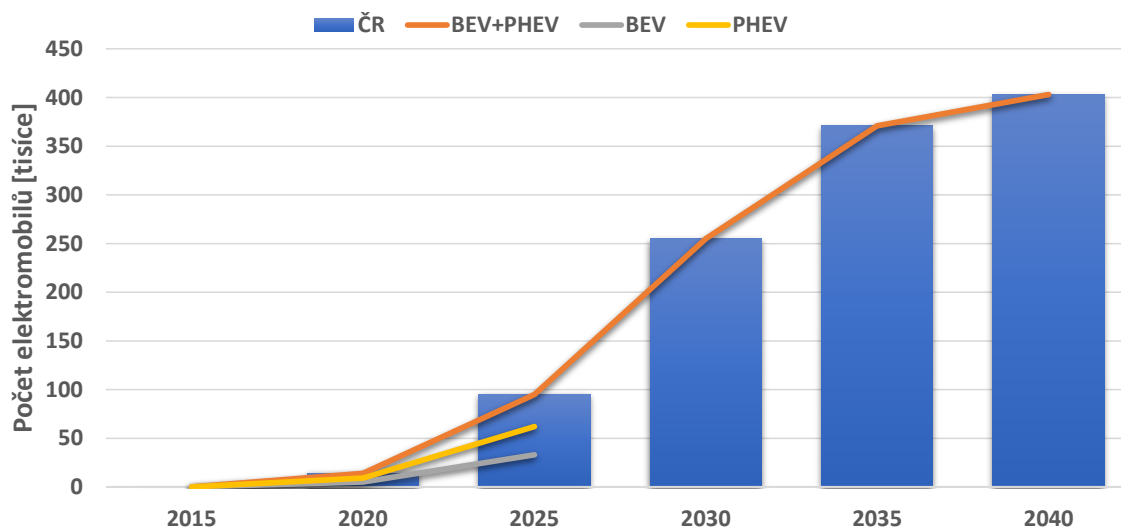
Základní scénář vychází z aktuálního stavu elektromobility v ČR, tedy uvažuje téměř nulovou podporou rozvoje od státu. Je stanoven na základě tržních aspektů na EVs trhu, které se můžou dělit do třech základních faktorů: **Potřeby mobility, Nákladové potřeby, Potřeby image/pohodlí**. Tyto faktory jsou následně dále rozdělovány, to je vidět v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: Klíčové faktory trhu s EVs [4]

Potřeby mobility	Dojezd a omezení mobility Pokrytí infrastrukturou
Nákladové potřeby	Cena benzínu Cena elektřiny Cena vozidla Poplatek za elektromobilitu Náklady na údržbu Spotřeba
Potřeby image/pohodlí	Globální nabídka Evs

Na základě uvedených tržních faktorů (tabulka 1.1) byl vyhotoven scénář, který predikuje rozvoj elektromobility v ČR do roku 2040. V tomto scénáři, jak již bylo zmíněno, není zahrnuta politická podpora státu a stanovujeme životnost vozidel 8 let. V grafu na obrázku 1.4 je zřetelný

velký rozvoj trhu s počtem vozidel do roku **2030**, poté se tento trend zpomalí, což je totožné s výše uvedenými scénáři vytvořenými organizací GEVO. V roce **2030** by tedy dle toho scénáře mělo být v ČR registrováno kolem **255 tisíc** elektromobilů z současných 2620 registrovaných EVs. NAP CM uvažuje, že se počet elektromobilů v následujících 11 letech **97x zvýší**. V případě zapojení České vlády do větší podpory elektromobility (parkování, infrastruktura, podpora zákazníka atd..) můžeme uvažovat urychlení zmíněných čísel o 1-4 roky v závislosti na rozsahu podpory.[4]



Obrázek 1.4: Rozvoj trhu s EV v ČR podle NAP CM (data z [4])

1.4 Parkovací místa

Problematika parkování je v současné době nedílnou součástí čisté mobility. Vzhledem k tomu, že klasických automobilů se jen tak nezbavíme a je potřeba řešit problém s zvyšující se urbanizací velkých měst a městských aglomerací. Parkovací infrastruktura není dostatečná pro klasické automobily natož pro elektromobily, které v ideálním případě vyžadují dobíjecí stanice v oblasti parkování. Problematika nabíjení bude řešena níže v diplomové práci v kapitole 3.3. Zanedbaná parkovací infrastruktura s nedostatkem parkovacích míst a bez managementu volných parkovacích míst způsobuje dopravní kolapsy v městských částech. Největším problémem těchto nedostatků, z ohledem na čistou mobilitu, je následné zamořování ovzduší škodlivými látkami - zejména CO_2 , které produkují klasické automobily. Bylo zjištěno, že řidič hledá vhodné místo na zaparkování téměř **15 minut**. Po dobu hledání parkovacího místa musí mít řidič nastartovaný motor, který způsobuje zmíněné znečištění ovzduší. Tento problém mohou zcela vyřešit elektromobily, ale i v teoretickém případě nahrazení všech klasických automobilů by nebyly vyřešeny všechny problémy s parkovacími místy. Vzniklý problém s nabíjecí infrastrukturou by mohl být v konečném důsledku závažnější.[5]

Pro řešení těchto problémů bylo provedené značné množství výzkumů v oblasti návrhu a vývoje **SMART PARKING SYSTEMS (Chytré parkovací systémy)**. Existuje velké

množství těchto systémů, které se nazývají odlišné a mají různé funkce např:[5]

- Dotaz na volné parkovací místo, rezervace parkovacího místa
- Parkování v reálném čas s navigováním na dané místo
- Detekce obsazenosti parkoviště vozidlem a správa parkoviště

S množstvím těchto řešení SPS (smart parking systems) se v posledních letech můžeme setkávat, ale ne v takovém rozšíření jak by bylo potřeba. Nicméně větší pozornost by si zasloužil systém detekce nesprávného parkování v reálném čase a automatický výběr parkovacího poplatku (*v některých městech už je tento systém zaveden*). Toto bude čím dál tím důležitější s ohledem na parkování EVs a jejich dobíjení, protože v současné době se setkáváme s tím, že místa určena pro EVs jsou blokována klasickými automobily.[5]

1.4.1 Parkovací systémy

E - parking system

E - parking systém je příkladem moderního systému, který zajišťuje správu parkování ve městě. Je založen na principech IoT (Internet of Thing). IoT sdružuje fyzická zařízení, vozidla atd.. a umožňuje jejich komunikaci a sdílení dat mezi sebou v jedné síti. Tento systém se skládá z hlavní komponenty, která se nazývá **parking metr** (PM) a řeší následující problémy: *Nevhodné parkování v reálném čase, odhad doby po kterou využívá vozidlo parkovací místo a zajišťuje automatické vybírání poplatků za parkování*. Vzhledem k tomu, že parkovací systémy nejsou předmětem této práce, nebude tento systém zde podrobněji rozebírán, více informací naleznete v použité publikaci [5]. Obdobné systémy začínají fungovat i ve velkých městech České republiky v rámci projektů **Smart City**.

2 Elektrická energie - výroba, spotřeba

2.1 Světová výroba elektrické energie

Světová výroba elektrické energie neustále roste. Růst není tak dynamický jako v případě elektromobility, nejedná se o desítky procent, ale pouze o jednotky procent. Celková světová výroba energie za rok **2017** činí **25591 TWh**, jedná se o nárůst o **2,7 %** oproti předešlému roku (24917 TWh). V průměru roste celková světová výroba energie v intervalu od roku 2000 do roku 2017 o 3 % ročně. Největší podíl 3/4 mají na tomto růstu asijské země. Z tabulky 2.1 je zřetelná výroba el. energie v jednotlivých světových regionech a procentuální nárůst za rok. Tabulka jasně ukazuje dominanci asijských zemí ve výrobě a jejího růstu za posledních 17 let.[6]

Tabulka 2.1: Světová výroba elektrické energie v jednotlivých regionech za rok 2017 (data z[6])

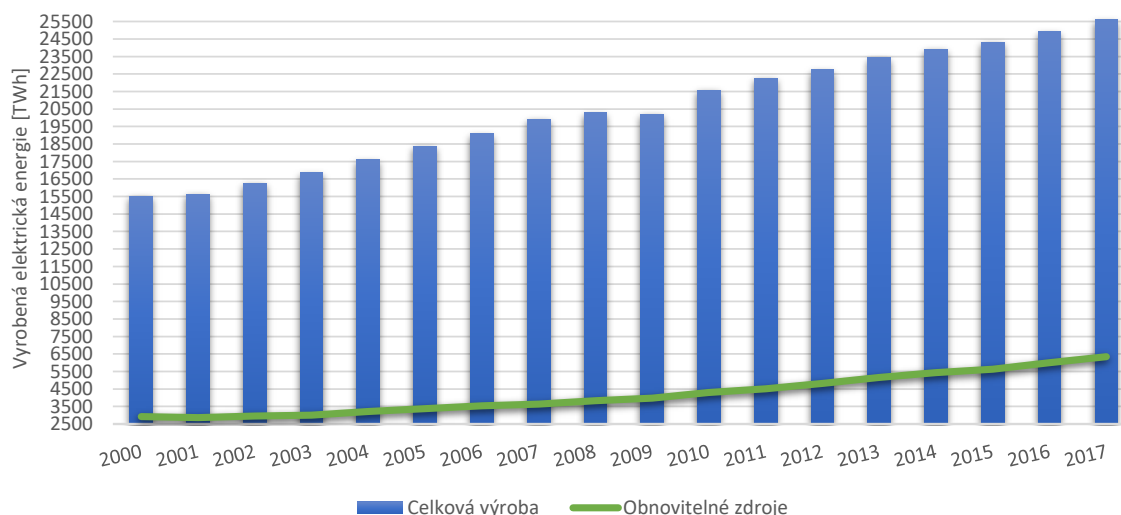
	2017 (TWh)	2016 - 2017 (%)	2000 - 2017 (%/year)
World	25592	2,7	3,0
Asia	11274	5,5	6,2
America	6553	-0,3	0,9
Europe	3886	1,2	0,7
Middle-East	1190	3,9	5,6
Africa	818	2,2	3,6
Pacific	304	-0,1	1,1

2.1.1 Obnovitelné zdroje ve světě

Obnovitelné zdroje se podílejí na celkové světové výrobě elektrické energie nemalou částí. Podíl na výrobě energie z obnovitelných zdrojů je za rok **2017** je **24,8 %**. Oproti celkové výrobě elektrické energie zažily obnovitelné zdroje za poslední rok celosvětově velmi malý nárůst - pouhé 0,7 % (z 24,08 % na 24,8 %). V níže uvedené tabulce 2.2 jsou uvedeny podíly jednotlivých světových regionů. Evropa vyrábí nejvíce elektrické energie ze všech regionů. Tento fakt je způsoben Evropskou unií, která podporuje energii z obnovitelných zdrojů. Členské státy Evropské unie zaznamenávají nárůst až 26 % od roku 2000 do roku 2017. Existují země jako *Norsko, Columbie, Nový Zéland a Brazílie*, které mají vyrábí **více než 80 %** energie z obnovitelných zdrojů. Norsko není jen jedničkou v elektromobilitě v Evropě, ale taktéž v obnovitelných zdrojích, jelikož produkuje 97,8 % veškeré své vyrobené energie z obnovitelných zdrojů. Existují předpoklady, že do roku 2022 bude celkový světový podíl obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie 30 %.[6], [7]

Tabulka 2.2: Podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů ve světě za rok 2017 (data z[6])

	2017 (%)	2016 - 2017 (%)	2000 - 2017 (%)
World	24,80	0,7	6,0
Europe	33,58	-0,4	13,5
America	32,08	2,3	8,5
Asia	21,43	0,6	8,2
Pacific	24,92	-1,0	6,2
Africa	18,11	0,6	0,3
Middle-East	2,14	0,0	0,4

**Obrázek 2.1:** Vývoj světové výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů (data z [6])

Výše uvedený graf na obrázku 2.1 ukazuje zmíněný růst světové výroby elektrické energie do roku 2017 a podíl růstu výroby obnovitelných zdrojů.

2.2 Světová spotřeba elektrické energie

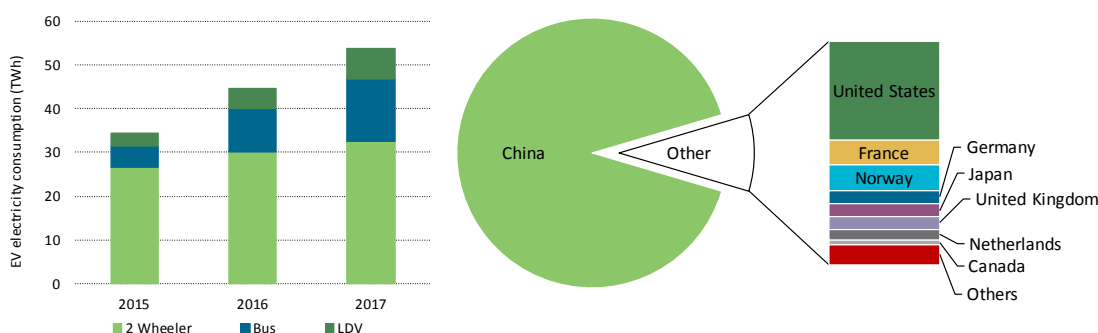
V roce 2017 byla celková světová spotřeba elektrické energie **22016 TWh**. Spotřeba vzrostla oproti předchozímu roku obdobně jako u výroby o **2,6 %**. Meziročně od roku 2000 do roku 2017 o 3,1 %, z vyplývá, že celosvětová spotřeba roste úměrně s výrobou. Tento fakt může změnit růst elektromobility v následujících letech. Napovídá o tom velký nárůst spotřeby v asijských zemích, zejména Číně a Japonsku kde vzrostla spotřeba za rok o 6-7 % vlivem velkého průmyslového růstu. Porovnání světově elektrické spotřeby v jednotlivých světových regionech je v tabulce 2.3.[6]

Tabulka 2.3: Světová spotřeba elektrické energie v jednotlivých regionech za rok 2017 (data z[6])

	2017 (TWh)	2016 - 2017 (%)	2000 - 2017 (%/year)
World	22016	2,6	3,1
Asia	9777	5,5	6,5
America	5692	-0,7	0,9
Middle-East	977	3,4	5,4
Africa	663	2,0	3,3
Pacific	273	-0,2	1,3

2.2.1 Elektromobilita

Celková spotřeba všech EVs (včetně dvoukolých dopravních prostředků a autobusů) činí za rok 2017 **54 TWh**, tedy pouhých **0,25 %** z celkové spotřeby. Graf na obrázku 2.2 vyobrazuje vývoj spotřeby všech EVs a je zde patrné, že většina elektrické energie pro EVs je spotřebována v Číně (91 %). V našem případě se soustředíme pouze na elektromobily, v grafu značené **LDV** (*Light Duty Vehicle - Osobní automobily*), které tvoří **pouze 13 %** (7 TWh) celkové elektrické spotřeby všech EVs. Pozoruhodný je zde nárůst spotřeby LDV od roku 2015 do roku 2017 o **143 %**.

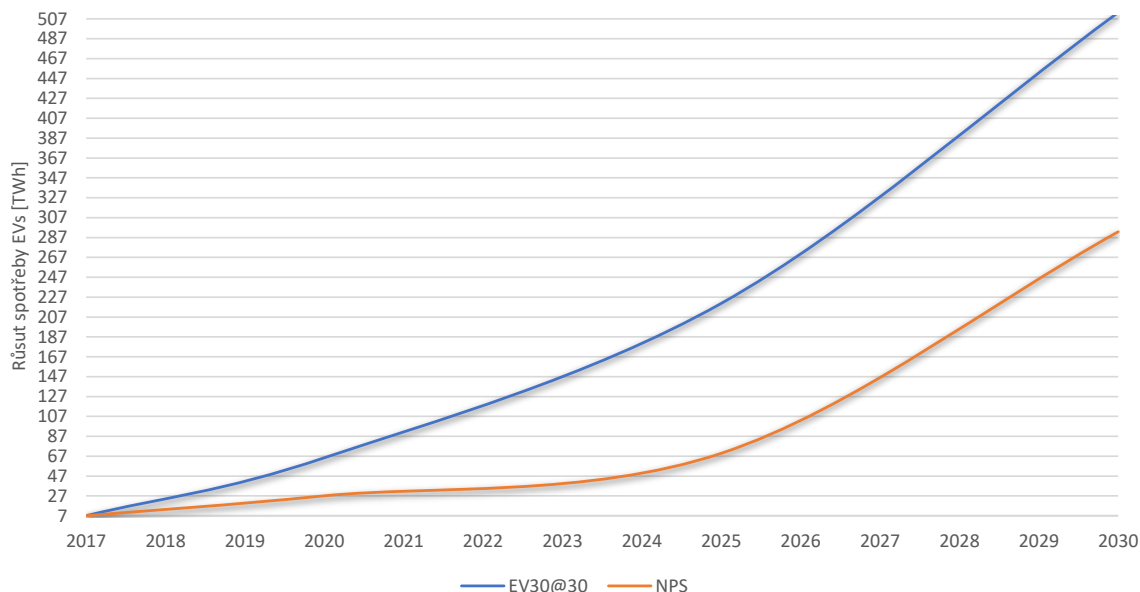
**Obrázek 2.2:** Celková světová elektrická spotřeba všech EVs [1]

Předpoklady pro stanovení celkové spotřeby LDV v grafu na obrázku 2.2 byly: spotřeba 20-27 kWh/100km a roční nájezd kilometrů 8500-18800 km [6].

Rozvoj elektromobility v současnosti nemá žádný negativní dopad na elektrickou spotřebu. To potvrzuje i fakt, že země s největší flotilou EVs Čína a Norsko spotřebují pouhých 0,45 % a 0,78 % elektrické energie z celkové spotřeby na provoz EVs. [6]

2.2.1.1 Vývoj spotřeby EVs

Na základě vývoje elektromobilů dle Global EV Outlook a celkové spotřebě elektrické energie pro EVs jsme odvodili růst spotřeby EVs do roku 2030. V grafu na obrázku 2.3 je zobrazen vývoj elektrické spotřeby EVs pro zmíněné scénáře (kap. 1.2.2).



Obrázek 2.3: Vývoj spotřeby EVs do roku 2030

Předpoklady pro stanovení celkové spotřeby LDV v grafu na obrázku 2.3 byly: spotřeba 20-27 kWh/100km a roční nájezd kilometrů 8 500-18 800 km [6].

Spotřeba vzroste do roku 2030 několikanásobně. I přes velký nárůst spotřeby můžeme vidět v tabulce 2.4, že podíl spotřeby elektrické energie EVs v roce 2030 je **pouhé 2,33 %** v případě scénáře **EV30@30**. Tyto hodnoty byly zjištěny k celkové elektrické spotřebě (22016 TWh) v roce 2017. Můžeme předpokládat, že celková spotřeba a výroba elektrické energie nadále poroste a výsledný podíl spotřeby EVs bude menší než uvažujeme zde. Tímto odhadem chceme říci, že růstem počtu EVs a tedy i spotřeby elektrické energie můžeme očekávat problém především s nabíjecí infrastrukturou, přenosovou a distribuční sítí.

Tabulka 2.4: Vývoj spotřeby EVs do roku 2030 a podíl na celkové spotřebě

	EV30@30 (TWh)	% z celk. 2017	NPS (TWh)	% z celk. 2017
2017	7	0,032	7	0,032
2020	65	0,297	27	0,123
2025	221	1,002	70	0,317
2030	513	2,332	293	1,329

2.3 Výroba elektrické energie v ČR

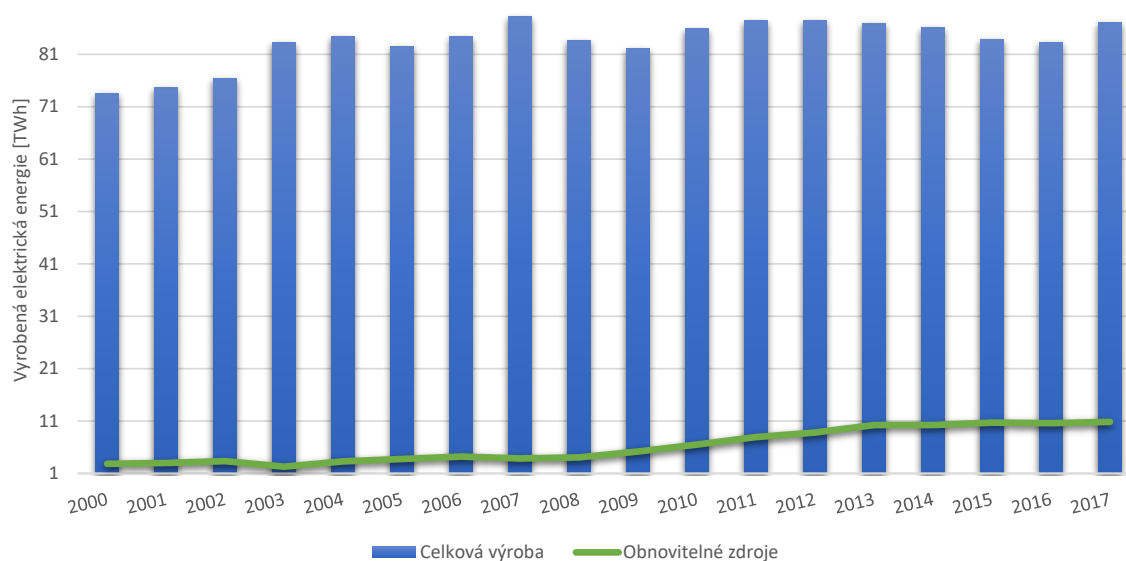
Česká Republika je soběstačná země ve výrobě elektrické energie a část vyrobené energie exportuje do zahraničí (cca 12 TW). Z tabulky 2.5 je patrné, že výroba oproti roku 2016 vzrostla. V **roce 2017** o **4,5 %**. Tento růst je celkem velký a je způsoben skončením odstávek jaderných elektráren. Z celkového hlediska, jak je vidět i z grafu na obrázku 2.4, se nejedná o téměř žádný nárůst výroby. Růst výroby elektrické energie je v průměru 1 % za rok od roku 2000 do roku 2017.

Tabulka 2.5: Vývoj výroby elektrické energie a podíl OZE na výrobě v ČR (data z[6])

Rok	Výroba (TWh)	OZE (%)	OZE (TWh)
2000	73	3,86	2,84
2001	75	4,01	2,99
2002	76	4,39	3,35
2003	83	2,75	2,29
2004	84	3,89	3,28
2005	83	4,58	3,78
2006	84	5,01	4,23
2007	88	4,36	3,84
2008	84	4,88	4,08
2009	82	6,34	5,21
2010	86	7,56	6,49
2011	87	9,09	7,95
2012	87	10,06	8,80
2013	87	11,75	10,21
2014	86	11,87	10,22
2015	84	12,75	10,70
2016	83	12,69	10,57
2017	87	12,45	10,83
2016 - 2017:	4,5 %	2000 - 2017:	1 %/year

2.3.1 Obnovitelné zdroje v ČR

Obnovitelné zdroje v ČR posledních pár let téměř stagnují, v roce 2017 došlo dokonce k poklesu oproti roku 2016 o 0,2 %. V roce 2017 se podílely OZE na celkové výrobě sice méně, ale vyrobily více energie o cca 20 GWh (viz tabulka 2.5). Zmíněná stagnace je patrná i z grafu na obrázku 2.4, můžeme zde také vidět strmý nárůst OZE v ČR v období 2008-2013. Tento nárůst byl zapříčiněn zákonem o *státní podpoře na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie*. Tento zákon byl v roce 2013 změněn a od té doby OZE téměř stagnují.

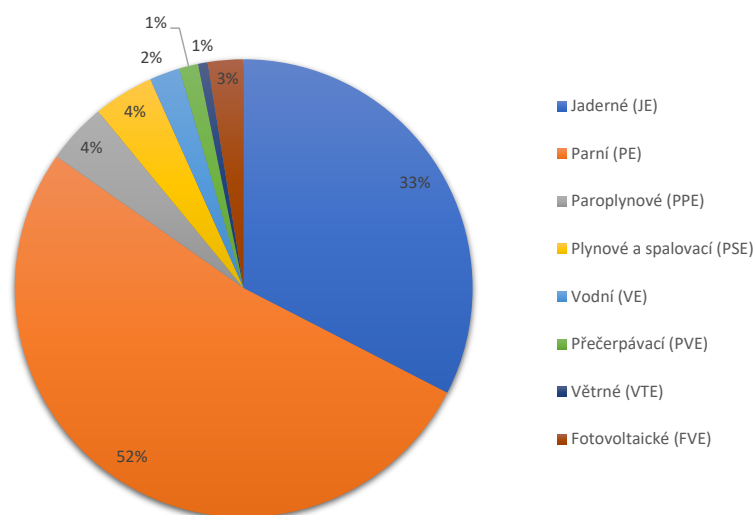
**Obrázek 2.4:** Vývoj výroby elektrické energie a obnovitelných zdrojů v ČR (data z [6])

2.3.2 Bilance zdrojů elektřiny v ČR

z tabulky 2.6 je patrný podíl všech hlavních zdrojů v ČR na celkové výrobě elektrické energie. Je zřejmé, že největší podíl (52 %) mají parní elektrárny, tedy především tepelné elektrárny spalující černé uhlí. Můžeme předpokládat, že s čistou mobilitou přibude více OZE a podíl energie z tepelných elektráren (uhlí) bude klesat.

Tabulka 2.6: Bilance výroby elektřiny jednotlivých zdrojů v ČR (data z [8])

Elektrárny	2017 (TWh)	Podíl (%)
Parní (PE)	45431	52,20
Jaderné (JE)	28339	32,56
Paroplynové (PPE)	3722	4,28
Plynové a spalovací (PSE)	3719	4,27
Fotovoltaické (FVE)	2193	2,52
Vodní (VE)	1869	2,15
Přečerpávací (PVE)	1170	1,34
Větrné (VTE)	591	0,68



Obrázek 2.5: Grafická bilance výroby elektřiny jednotlivých zdrojů (data z [8])

2.4 Spotřeba elektrické energie v ČR

Spotřeba energie za rok 2017 v ČR byla 58 TWh, to je o 1,6 % více než v roce 2016. Z tabulky 2.7 je zřejmé, že za posledních 17 let nedošlo k výraznému růstu elektrické spotřeby v ČR, meziroční růstu byl průměrně 0,6 % /year.

Tabulka 2.7: Vývoj elektrické spotřeby v ČR do roku 2017 (data z [8])

Rok	Spotřeba (TWh)	Rok	Spotřeba (TWh)
2000	52	2009	57
2001	54	2010	56
2002	54	2011	56
2003	55	2012	56
2004	56	2013	55
2005	58	2014	55
2006	59	2015	56
2007	60	2016	57
2008	60	2017	58
2016 - 2017: 1,6 %		2000 - 2017: 0,6 %/year	

2.4.1 Elektromobilita ČR

Vzhledem k tomu, že Česká republika je oproti západním a severským státu pozadu v elektromobilitě, činí celková spotřeba elektromobilů velice malé číslo. Celkovou spotřebu můžeme zjistit z následujících předpokladů:

- průměrná spotřeba EV **23,5 kWh/100 km** [1]
- průměrné ujeté km člověka za rok v ČR **12500 km** [9]
- účinnost nabíjení **80-90 %**

Na základě těchto předpokladů dopočteme celkovou přibližnou roční spotřebu jednoho elektromobilu.

$$W_{rok} = \frac{W_{100km}}{\eta} \cdot \frac{d}{100} = \frac{23,5}{0,9} \cdot \frac{12500}{100} = 3,26 \quad (MWh) \quad (2.1)$$

Z výsledné roční spotřeby pro jeden elektromobil, která vyšla 2,26 MWh, zjistíme přibližnou celkovou spotřebu všech elektromobilů v ČR. Víme, že v ČR je v současné době (rok 2018) cca **2000** registrovaných elektromobilů. Vzhledem k tomu, že spotřeba energie je téměř konstantní budeme používat tento počet elektromobilů k datům o spotřebě z roku 2017. Celkovou spotřebu všech EV získáme následujícím výpočtem.

$$W_{celkrok} = W_{rok} \cdot n = 3,26 \cdot 2000 = 5200 \quad (MWh) \quad (2.2)$$

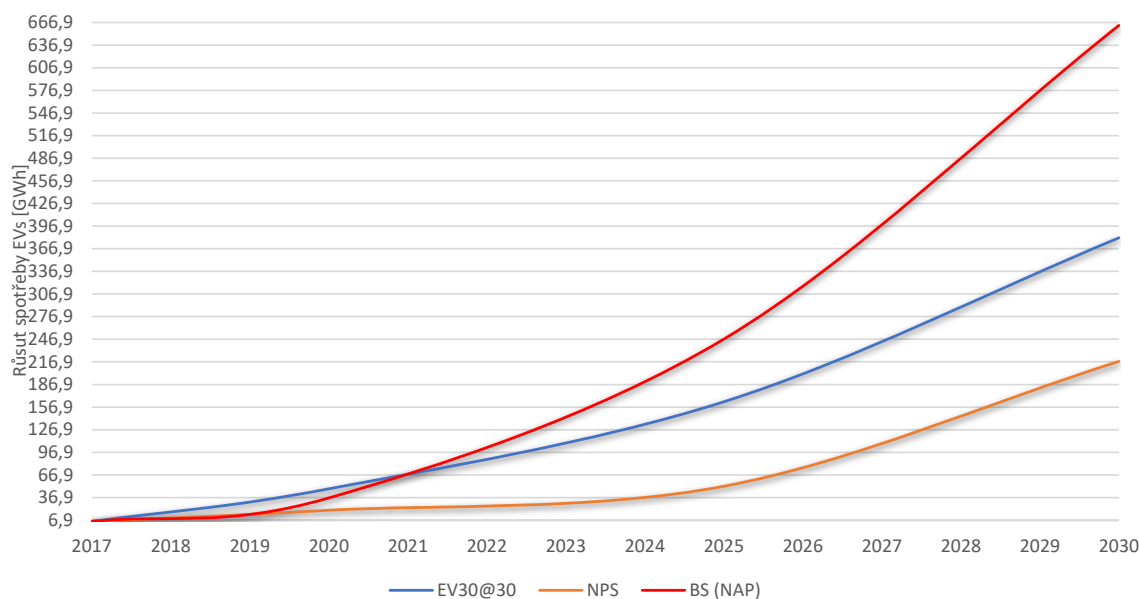
Výsledná spotřeba všech elektromobilů v ČR je 5,2 GWh, což je 0,009 % z celkové spotřeby 58 TWh ČR za rok 2017.

2.4.1.1 Vývoj spotřeby EVs v ČR

V níže uvedeném grafu na obrázku 2.6 je zobrazen růst spotřeby EVs v ČR na základě tří rozdílných scénářů zmíněných v kapitolách 1.2.2 a 1.3.2. První dva scénáře jsou celosvětové a poslední scénář BS je definován národním akčním plánem (NAP CM).

Hodnoty pro získání těchto výsledků byly získány z výpočtů a předpokladů, které jsou uvedeny výše v práci (kap. 2.4.1). Na základě výsledků zobrazených v příslušném grafu (obr.

2.6) a v tabulce 2.8 můžeme konstatovat, že v České republice ani v případě nejprogressivnějšího scénáře nebude problém s nedostatkem elektřiny pro EVs.



Obrázek 2.6: Vývoj spotřeby EVs v ČR do roku 2030

Tabulka 2.8: Vývoj spotřeby EVs do roku 2030 v ČR a podíl na celkové spotřebě

	EV30@30 (GWh)	% z 2017	NPS (GWh)	% z 2017	BS (GWh)	% z 2017
2017	5,2	0,0090	5,2	0,0089	5,2	0,0089
2020	48,50434	0,0836	20,0707	0,0346	36,4	0,0627
2025	163,9112	0,2826	51,8494	0,0893	247	0,4258
2030	381,3444	0,6575	217,433	0,3748	663	1,1431

Z tabulky 2.8 je zřejmé, že nejvyšší spotřeba EVs v případě scénáře **BS** (*Basic Scenario*) se v roce 2030, kdy by mělo být v ČR kolem **255 tisíc** elektromobilů, zvýší o **pouhých 1,14 %**. Tato hodnota je vypočtena k celkové spotřebě v ČR v roce 2017. Vzhledem k téměř stejnému růstu výroby a spotřeby energie za posledních 17 let v ČR můžeme předpokládat, že tato hodnota 1,14 % odpovídá předpokladům.

2.5 Zatížení elektrické sítě při nabíjení - volba výkonu

Elektromobily a jejich dobíjení nemá a v dohledné době nebude mít zásadní dopad na celkovou spotřebu elektrické energie (viz. kapitola 2.4.1). Nicméně tento fakt neznamená, že nebude ovlivněna elektrická síť. Vzhledem k tomu, že jednotlivé nabíjecí stanice nejsou připojeny rovnoměrně v síti, disponují rozdílnými výkony a využívají výkonové polovodiče, může docházet k následujícím problémům v elektrické síti: zvyšování zátěže, přetěžování jednotlivých částí sítě, napěťové poklesy a fluktuace, vnášení harmonických, třífázová nerovnoměrnost, ztráty, snižování životnosti distribučních transformátorů a mnoho dalších problémů. Na zmíněné problémy síť má nepřímý dopad mnoho faktorů včetně:

1. **Charakteristiky EVs:** typ vozidla, maximální dobíjecí výkon, nabíjecí charakteristika a zejména velikost kapacity baterie.
2. **Jízdní profil EVs:** cestovní čas, cestovní vzdálenost, parkovací lokace s dostupným dobíjením, doba parkování atd...

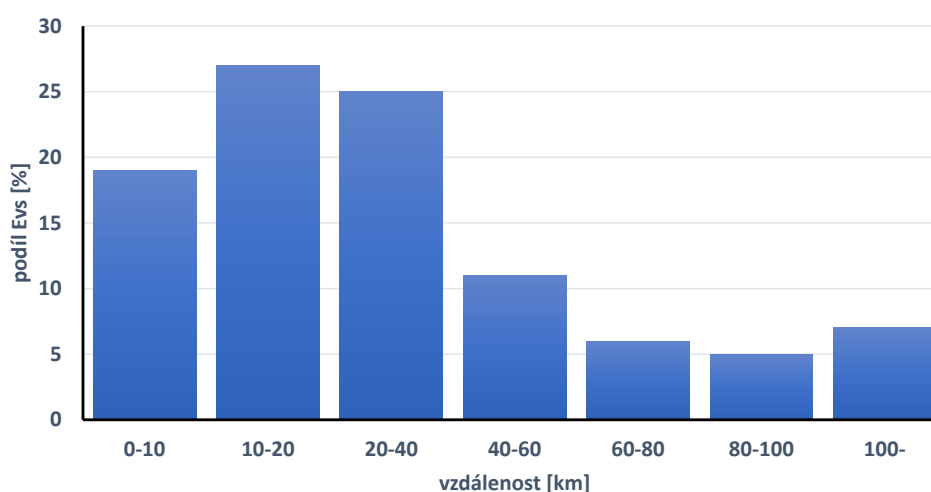
Výkonové zatížení nabíjecí stanice může být určeno na základě spousty faktorů, které ovlivňují pravděpodobnou využitelnost nabíjecích míst a tudíž výkonové zatížení. Jedním z faktorů co ovlivňuje danou problematiku jsou parkovací lokace využívané automobily.

Rozdělení parkovacích lokací automobilů

Na základě průzkumu v článku [10] jsou rozděleny parkovací lokace dle parkování procentuálně za hodinu v rozdílných lokacích. V oblasti domova parkuje více než 85 % automobilů v noci a brzo ráno. Kolem 50 % až 65 % vozidel mění parkovací lokaci během dne (odjíždí z domova) a nejvíce z nich 25 % až 30 % využívá parkovací lokace v oblasti pracoviště. Od odpoledních hodin do večerních (17:00 - 22:00 hod) je průzkum neurčitý vzhledem k velké variabilitě možnosti pohybu automobilů. Další faktor, který je třeba zhodnotit, je průměrně ujetá vzdálenost automobilu za den.

Rozdělení průměrné denní ujeté vzdálenosti automobilu

Denní nájezd automobilu je především dán tím, k jakému účelu je využíván uživatelem. V grafu na obrázku 2.7 je graficky znázorněno procentuální rozdělení automobilů dle ujeté vzdálenosti za den. Toto rozdělení je dáno průzkumem v článku [10] a může se lišit v jednotlivých státech a regionech. Vzhledem k udávaným parametrům je dle mého názoru toto rozložení aplikovatelné na Českou republiku. Je zde patrné, že přibližně 45 % automobilů ujede denně do 20 km a méně jak 20 % vozidel ujede denně větší vzdálenost než 80 km.

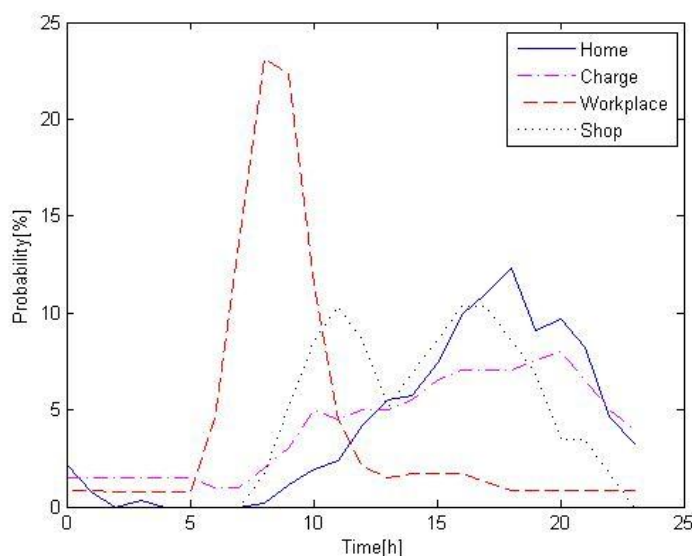


Obrázek 2.7: Průměrná denní ujetá vzdálenost automobilu [10]

Rozdělení dle příjezdového a odjezdového času automobilu na rozdílné parkovací lokace

Toto dělení je velice důležité pro vytvoření představy zatížení při návrhu přípojného místa pro nabíjecí stanici. Z grafu na obrázku 2.8 jsou patrné přibližné časy příjezdu a odjezdu automobilů

na různých parkovacích lokacích. Pomocí grafu na obrázku 2.8 lze odhadnout na jaké parkovací místo se zdržuje vozidlo nejdéle a určit výkon nabíjecí stanice pro dané místo a pravděpodobnost jejího využití. Je zde patrné, že nejvíce automobilů parkuje v oblasti zaměstnání po dobu cca 8 hodin a poté začínají být využívány parkovací lokace domova a obchodních center. Veřejné nabíjecí (Charge - v grafu) stanice využívá nejmenší procento automobilů (EVs), a to téměř konstantně během dne. Velké výkyvy v případě obchodních center a pracovních míst mohou způsobovat výkonové výkyvy v síti.



Obrázek 2.8: Parkování automobilů na různých lokacích dle času příjezdu a odjezdu [10]

Je potřeba taktéž zohlednit jakou nabíjecí stanici zvolit vzhledem k tomu, že v případě kratší doby parkování na dané lokaci je vhodnější výkonnější nabíjecí stanice. Z kapitoly 3.3 je známo, že nabíjecí stanice se dělí do dvou základních kategorií AC a DC. V případě vyšších dobíjecích výkonů je potřeba zvolit DC nabíjecí stanice, které využívají výkonové polovodiče (usměrňovače). Výkonové polovodiče mohou injektovat do sítě nežádané harmonické a zhoršovat kvalitu sítě a snižovat její životnost. Dále je nutno zohlednit jaké komerční elektromobily v současnosti existují z ohledem na jejich kapacity baterií, dojezdu a schopnosti nabíjení viz kapitola 3.1.

Výše uvedené informace jsou klíčové pro návrh nabíjecích stanic na dané parkovací lokaci. V případě zohlednění velikosti parkovací lokace, počtu parkovacích míst pro elektromobily (místa s nabíječkami) a přibližného času parkování automobilu na dané lokaci (obr. 2.8) je možné zvolit druh nabíjecí stanice. Tím pádem je známý počet nabíjecích stanic a druh, což určuje maximální příkon parkovací lokace a taktéž je znám přibližný zatěžovací čas sítě.

3 Elektromobily, baterie a nabíjecí stanice

3.1 Elektromobily (EVs)

Pod pojem elektromobil nepatří jen vozidla pohaněna pouze baterií, jak bylo zmíněno výše. V současné době jsou nejvíce požívány **PHEV** a **BEV** elektromobily. Přičemž PHEV elektromobily jsou na ústupu a většina automobilek se snaží investovat do vývoje čistě bateriově poháněných elektromobilů BEV. V tabulce 3.1 je přehled nejznámějších automobilových značek a modelů aut dostupných v USA a v Evropě. Z tabulky vyplývá, že cenu automobilu udává především velikost kapacity jeho baterie.

Tabulka 3.1: Přehled nejznámějších elektromobilů - baterie, spotřeba, dojezd, cena (data z [11], [12])

Značka	Model	Baterie (kWh)	kWh/100km	dojezd (km)	cena/kWh (CZK)
BMW	i3 (2018)	33,2	18	183	29860
Fiat	500e	24	18	135	30663
Honda	Clarity Electric (2018)	25,5	18	143	pouze pronájem
Kia	Soul EV (2018)	30	17	179	25244
Ford	Focus Electric (2018)	33,5	18	185	19379
Hyundai	IONIQ Electric (2019)	28	14	200	23750
Volkswagen	e-Golf (2018)	35,8	18	201	19000
Nissan	LEAF (2018)	40	16	243	16725
Audi	e-Tron (2018)	95	24	400	21453
Mercedes	EQC (2019)	80	18	450	neznáma
Jaguar	I-Pace (2018)	90	19	470	22056
Tesla	Model X 100D (2018)	100	21	475	22189
Tesla	Model 3 LR (2018)	80,5	16	499	13581
Tesla	Model S 100D (2018)	100	19	539	21520

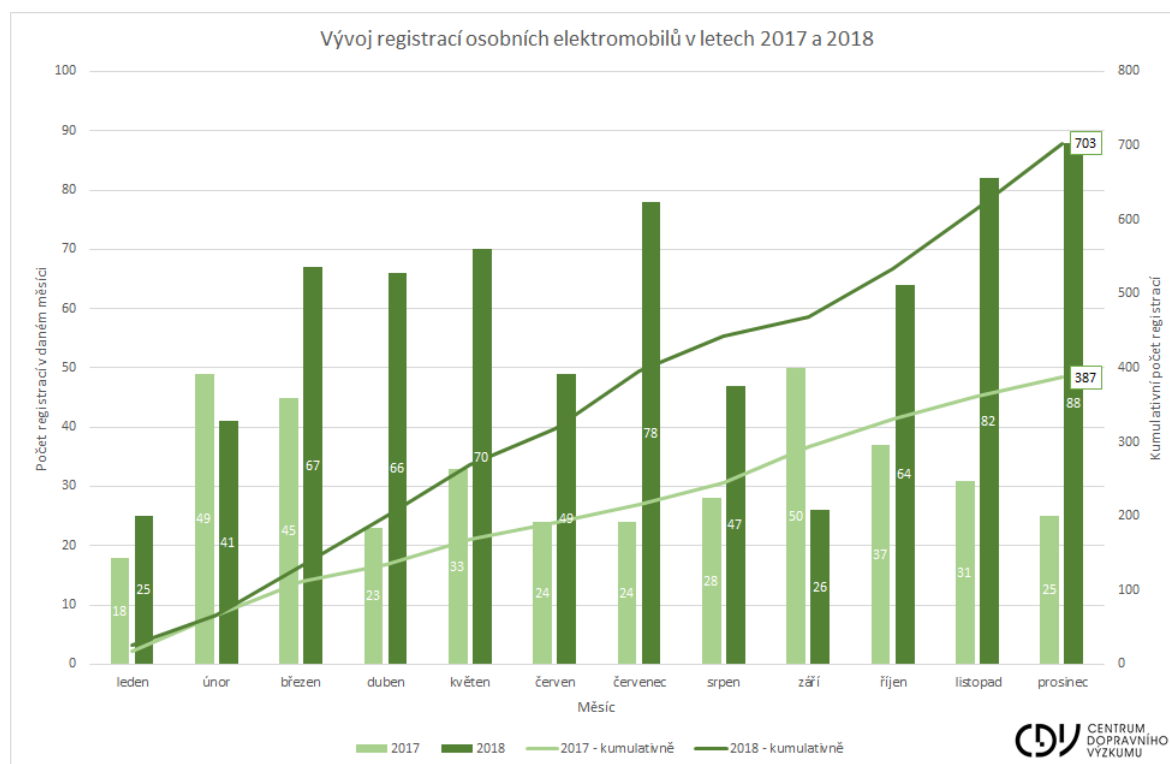
3.1.1 Dojezd elektromobilu

Dojezd elektromobilu je jedním z nejdůležitějších parametrů při výběru elektromobilů a jejich dalšího rozvoje. Dojezd je udáván na základě kapacity baterie kWh a spotřeby na 100/km kWh/100km. Dojezd (tabulka 3.1), který je udáván výrobcem jednotlivých elektromobilů, není ve skutečnosti reálný. Vzhledem k tomu, že musíme uvažovat profil tratě, po které elektromobil jede, rekuperaci atd. Dalším důležitým faktorem je vlastní spotřeba elektromobilu, která závisí na systémech jako autorádio, topení, klimatizace a řídicí systém automobilu. Zejména topení a klimatizace jsou nejvýraznějším faktorem ve vlastní spotřebě. Musíme uvážit, že vnitřní teplota v elektromobilu není vždy před jízdou optimální (21 °C) pro uživatele. Vnitřní prostory

elektromobilu musíme tedy v zimě vytopit nebo v létě zchladit na optimální teplotu a udržovat ji. Výsledný udávaný dojezd se tedy ve většině případech liší v průměru až o **73 km** (*Tesla až o 160 km*).[13]

3.1.2 Elektromobily v ČR

Za rok 2018 zaznamenal Centrální registr vozidel v České republice **703 osobních bateriových elektromobilů** (*LDV BEVs*), což je ve srovnání s předchozím rokem 2017 nárůst o **82 %** z 387 vozidel. Dále bylo zaregistrováno 278 osobních plug-in hybridů (*LDV PHEVs*). Celkem v roce 2018 bylo v rámci elektromobility zaregistrováno 981 EVs a z toho 72 % BEV. V ČR roste i trh s elektromobily a v současné době byly již zaregistrovány EVs od 17 různých automobilek. Zmíněný nárůst počtu registrovaných vozidel v ČR je zobrazen v grafu na obrázku 3.1.[14]



Obrázek 3.1: Vývoj registrace osobní EVs v letech 2017 a 2018 [14]

V tabulce 3.2 jsou uvedena registrovaná vozidla v ČR dle značky a modelu. Můžeme zde vidět, že **Volkswagen e-Golf** dominoval tržnímu s 260 registrovaným BEV a se značným odstupem jej následoval Nissan LEAF (123), BMW i3 (89) a Tesla (85).[14]

Tabulka 3.2: Registrace EVs v ČR za rok 2018 dle značky a modelu (data z [14])

Značka	Model	Počet	podíl (%) z 703
Volkswagen	e-Golf	260	37,0
Nissan	LEAF	123	17,5
BMW	i3	89	12,7
Tesla	Všechny modely	85	12,1
Hyundai	IONIQ	39	5,5
Kia	Soul	15	2,1
Jaguar	I-Pace	13	1,8

3.2 Baterie

Baterie - elektrochemické zdroje proudu jsou hlavní součástí elektromobility, respektive elektromobilů. Existuje několik skupin bateriových zdrojů, v případě elektromobility jsou nejčastěji používány bateriové zdroje na bázi lithia tzv. **Li-ion** (*Lithium-iontový*) články. Tyto bateriové články patří do skupiny **Akumulátorových článků** a podskupiny **hermetických alkalických akumulátorů**. V současné době jsou baterie zásadním prvkem v samotném rozvoji EV. Vývoj a výzkum nových bateriových zdrojů je považován v 21. století za nejpokročilejší a velice perspektivní.[15]

3.2.1 Li-ion bateriové články

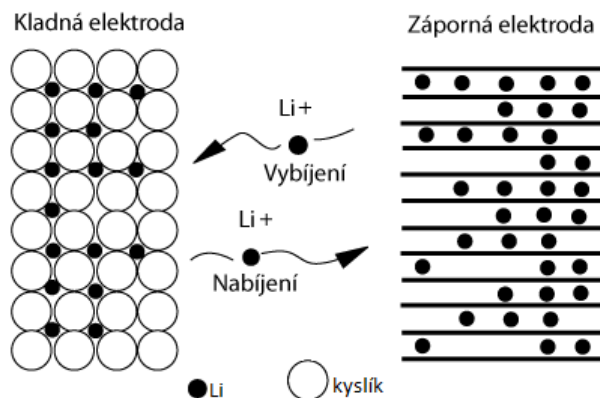
Technologie Li-ion bateriových článků je nejrozšířenější v oblasti elektromobility pro její nesporné výhody:

- vysoké napětí
- kapacita
- honosnost

V současné době vznikají nové bateriové zdroje na základě Li-ion technologie s vylepšenými výše zmíněnými vlastnostmi. Některé novinky budou zmíněny níže v práci. Vzhledem k tomu, že základem nových zdrojů jsou již zmíněné Li-ion články, bude jejich princip fungování popsán níže.[15]

3.2.1.1 Princip

Z názvu elektrochemické zdroje proudu je patrné, že základní činnost článků je na principu chemických reakcí. Principiálně se jedná o uvolňování kladných iontů (Li^+), které přecházejí mezi elektrodami na základě daného procesu vybíjení/nabíjení. Tento proces je znázorněn na obrázku 3.2, tedy když baterie dodává energii, tak probíhá proces **vybíjení** a ionty se pohybují od záporné elektrody (*anody*) ke kladné elektrodě (*katodě*). Proces **nabíjení** probíhá reverzně k nabíjecímu procesu, pohyb iontu je od kladné k záporné elektrodě (viz obr. 3.2). Elektrody jsou tvořeny z interakčních sloučenin, které se u jednotlivých druhů li-ion baterií liší. [15]



Obrázek 3.2: Pohyb iontu Li^+ při nabíjení a vybití [16]

Elektrody baterie jsou tvořeny rozdílnými materiály, tento rozdíl tvoří kolektor elektrod. Katoda je tvořena zpravidla hliníkovou folií o přibližné tloušťce $25 \mu m$ a anodu tvoří měděná folie o tloušťce cca ($18 \mu m$). Na tyto fólie jsou poté nanášeny interakční materiály, které dělají rozdíly v typech li-ion baterií a tvoří výsledné elektrody. Mezi elektrodami je umístěn separátor, který je reprezentován úzkou porézní polyetylenovou nebo polypropylenovou folií. Nejpoužívanější materiály na katodě jsou následující sloučeniny: $LiCoC_2$, $LiMn_2O_4$, $LiNiO_2$, $LiNiMnCoO_2$ (NMC) a anoda je nejčastěji vyráběna z uhlíkové matrice (*grafit nebo grafitované části koksů*), případně přímo z grafitu. Dané použité materiály ovlivňují velikost nabíjecího a vybíjecího napětí v bateriových článcích. Výsledná baterie pro elektromobil je tvořena z tisíců kusů jednotlivých článků.[15], [16]

3.2.1.2 Dělení li-ion bateriových článků

Samotné li-ion bateriové články se dají taktéž jak bateriové zdroje dělit do různých skupin dle několika parametrů. Některé zásadní parametry byly již zmíněny v části vysvětlující princip fungování bateriového li-ion článku. Můžeme je tedy dělit dle:[15]

- složení elektrod (katody)
- druhu elektrolytu
- tvaru článku

Složení elektrod

Kladnou elektrodu může tvořit několik druhů materiálů. Použitý materiál na anodu ovlivní výslednou velikost nabíjecího napětí bateriového článku v rozmezí **od 4 V do 4,3 V**. Základní používané materiály jsou následující:

- kobalt
- nikl
- mangan
- vanad

Zmíněné materiály jsou patrné i v uvedených používaných sloučeninách pro tvorbu anody.[15]

Druh elektrolytu

Elektrolyt zajišťuje v bateriovém článku vedení proudu mezi elektrodami. Je složen z vodivé **solí a rozpouštědla**. Množstevní poměr mezi solí a rozpouštědlem určuje vodivost elektrolytu. Směsi karbonátů ethylenů, propylenů, dietylů atd. tvoří rozpouštědlo. Elektrolyty dělíme na:

- polymerové
- kapalné
- gelové

Tvar článku

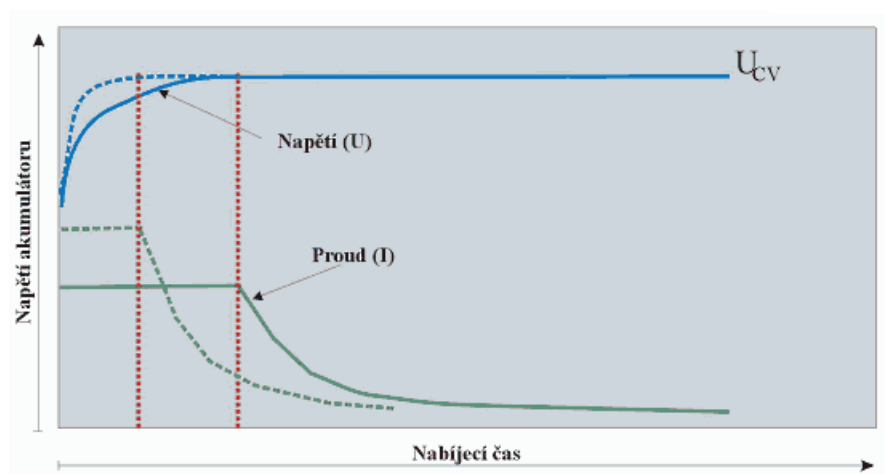
Rozlišujeme tři základní tvary bateriových článků:

- cylindrický tvar (válcový)
- prizmatický tvar (hranolovitý)
- knoflíkový

Tvar bateriového článku je zásadní při navrhování a vyvíjení výsledných baterií. Baterie se skládají z několika tisíc článků a tvar jednotlivých článků ovlivňuje výslednou velikost baterie, způsob propojení jednotlivých článků a zejména chlazení, které je v případě baterií do elektromobilů důležité.[15], [16]

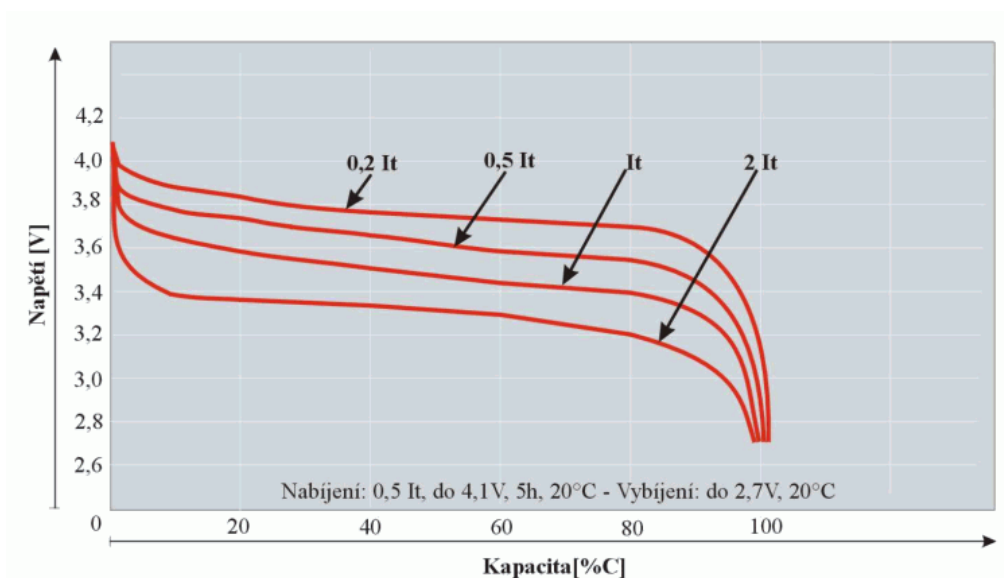
3.2.2 Nabíjecí cyklus li-ion baterie

V bateriích probíhá základní cyklus nabíjení - vybíjení. Každý druh baterie má nabíjecí cyklus odlišný. V případě li-ion baterií jde o nabíjení **metodou konstantního proudu a napětí (CCCV)**. Bateriový článek je v první části nabíjen konstantním proudem, dokud nedosáhne požadované hodnoty napětí (4-4,3 V), poté nastává fáze kdy je baterii dodáváno konstantní napětí. Napětí je dodáváno do té doby, než proud procházející nabíjeným článkem neklesne (exponenciální klesání) na požadovanou hodnotu, poté je proces nabíjení hotov, celá funkčnost tohoto procesu je zajištěna integrovanými obvody daného článku. Zmíněný proces je vyobrazen na obrázku 3.3.[17]



Obrázek 3.3: Proces nabíjení li-ion bateriových článků [17]

Vybíjení baterie probíhá dle daných vybíjecích charakteristik, které jsou ovlivněny **teplotou okolí vybíjeného článku a vybíjecím proudem**. Baterie by neměla klesat pod hodnotu cca 2,7 V, tato hodnota se může lišit od druhu li-ion baterie. Ukázka vybíjecí charakteristiky je na obrázku 3.4, kde je patrné ukončení procesu vybíjení kolem hodnoty 2,7 V a velikost napětí na základě velikosti odebíraného proudu.[17]



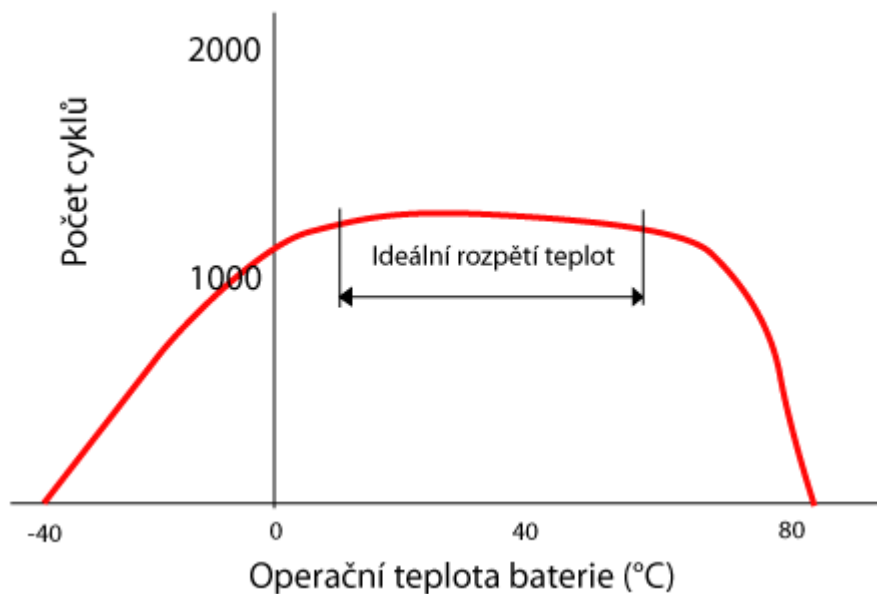
Obrázek 3.4: Vybíjecí charakteristika Li-ion bateriového článku [17]

3.2.3 Životnost li-ion baterií

Životnost baterie je ovlivňována mnoha faktory. Mimo jiné, vzhledem k neustálým chemickým procesům, je životnost baterie ovlivňována i v případě jejího nepoužívání, a to v závislosti na vnitřních i vnějších podmínkách. Pro vyjádření životnosti baterií můžeme využít několik způsobů. Nejznámější způsoby jsou:[17]

- **cycle life** (*životní cykly*) - nabíjení a vybíjení do poklesu kapacity pod 80%
- **calendar life** - délka provozu v případě zatěžované i nezatěžované baterie
- **shelf life** - doba skladování baterie bez zatížení, aniž by došlo k poklesu kapacity pod 80%

Z následujícího obrázku 3.5 je viditelné, že životnost baterie je stanovena závislostí počtů cyklů na teplotě. Výrobce baterie udává optimální rozpětí teplot pro provoz baterie, při kterém si zachová co nejdélnější životnost. Z obrázku 3.5 je vidět, že v případě překročení kritických teplot, v tomto případě cca -15 °C a 70 °C, dojde k zničení baterie (smrti). Vzhledem k tomu, že baterie funguje na základě chemických procesů, které jsou vysoce teplotně závislé, musíme baterie udržovat v daném rozpětí teplot, aby byly použitelné v aplikacích pro EVs.[17]

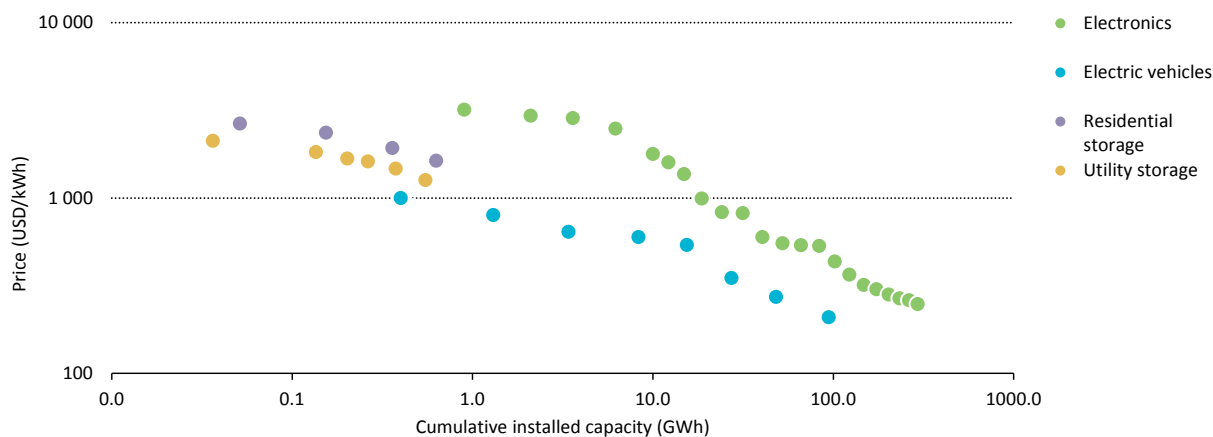


Obrázek 3.5: Životní cyklus baterie v závislosti na teplotě [17]

3.2.4 Baterie pro EV - současnost

Jak již bylo zmíněno, v elektromobilech se v současné době využívají převážně Li-ion bateriové sady (*battery packs*), protože je tento druh baterií na trhu déle, díky čemuž mají výrobci a vývojáři těchto baterií nedocenitelné zkušenosti, které přispívají k značnému pokroku v oblasti těchto baterií. Především se za poslední dekádu povedlo značně **zlepšit výkon baterií a snížit jejich cenu**, což je patrné i z obrázku 3.6. V případě elektromobilů tento rozmach, zejména v posledních pěti letech, zajistil rozmach a rostoucí zájem o EV.[1]

Z obrázku **vývoje ceny technologií li-ion baterií** je patrné jak s rostoucí výrobou Li-ion bateriových zdrojů klesá jejich cena. Zejména u baterií pro EVs je tento pokles ceny znatelný a odráží skutečnost rozvoje elektromobility.[1]



Obrázek 3.6: Vývoj cen technologií Li-ion baterií [1]

Li-ion bateriové sady pro EVs dosáhly značného výkonů, který umožňuje navrhovat EVs s větším výkonem např.: nákladní automobily, autobusy atd... Na základě toho se může elektromobilita rozrůstat ve všech směrech dopravy. Základní parametr hodnotící bateriové sady pro EV je **gravimetrická energetická hustota Wh/kg** a **objemová hustota energie Wh/l**. Gravimetrická energetická hustota se pohybuje pro současné baterie kolem **200 Wh/kg** a objemová hustota energie kolem **200-300 Wh/l**. Dalším důležitým parametrem je životnost těchto bateriových sad, která se v případě EV udává v maximálním počtu najetých kilometrů, po kterých baterie udrží 80 % své kapacity. Druhým nejběžnějším parametrem hodnotící životnost je počet nabíjecích cyklů, kterým baterie odolá. Současné bateriové sady by měly vydržet **1000 cyklů** nabití bez znatelné degradace a poklesu kapacity pod 80%. Za předpokladu, že baterie (*bateriové sada*) má kapacitu 35 kWh a průměrná spotřeba EV je 0.2 kWh/km, tak životnost baterie by neměla, dle předpokladů, přesáhnout práh 175 000 najezděných kilometrů, což se shoduje s předpokládanou životností baterie elektromobilu udávanou výrobcem.[1]

Cena a výkon baterií

Bez ohledu na výrobní proces baterie a její konstrukci se cena a výkon li-ion baterií pro EV hodnotí na základě čtyř následujících kritérií:

- chemické složení
- kapacita
- výrobní kapacita
- rychlost nabíjení[1]

3.3 Nabíjecí stanice (nabíjecí systém)

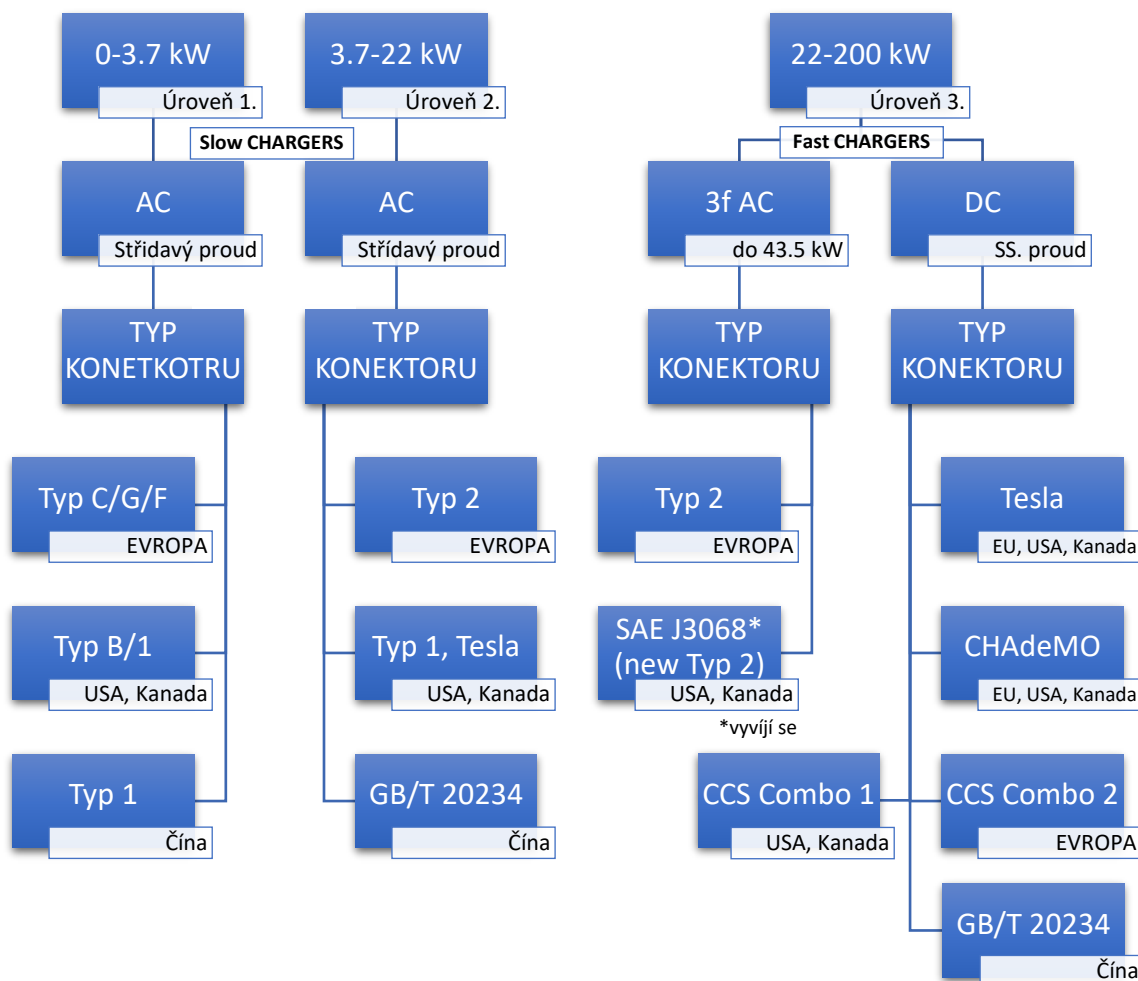
Nabíjecí stanice pro elektromobily (*Electric vehicle supply equipment - EVSE*) jsou nedílnou součástí elektromobility. V současné době rozvoje elektromobility jsou nabíjecí stanice hodně diskutované nejen z hlediska technické problematiky, ale taktéž na politické úrovni. Nařízení Evropské unie (EU) pomáhají a podporují rozvoj a rozšíření nabíjecích stanic, které jsou nezbytné pro rozmach elektromobility v následujících letech.

Existuje několik charakteristik EVS na základě kterých je dělíme. Základním rozdělením stanic dle druhu odebíraného proudu dělíme na stanice odebírající **stejnoseměrný proud (DC)** a stanice odebírající **střídavý proud (AC)**. Další rozdělení je **výkonové (úrovně 1-3)**, na základě kterého dělíme stanice na **rychlo nabíjecí stanice (*fast charger, supercharger*)** a **pomalou nabíjecí stanice (*slow charger*)**. [1]

Typ propojení elektromobilu s nabíjecí stanicí je další vlastností, která je v případě nabíjení zásadní. Výrobců elektromobilů a nabíjecích stanic je po světě celá řada. Přičemž se dá říci, že existují tři zásadní trhy: *Evropa, Severní Amerika a ASIE (Čína, Japonsko)*. Na každém z uvedených trhů výrobci vyrábí několik druhů zásuvek a konektorů pro připojení vozů k nabíjecí stanici. Vzhledem k tomu, že zejména v Evropě jezdí vozy ze všech uvedených automobilových trhů, může se stát, že uživatel elektromobilu nemusí být schopen nabít vůz u jakékoliv nabíjecí stanice. Tato omezení jsou řešitelná redukcemi, které většinou poskytuje výrobce daného vozu,

ale ne vždy toto řešení funguje efektivně. Z uvedených důvodů Evropská unie vydala nařízení, které standardizuje nabíjecí konektory a zásuvky. Toto ustanovení už udělala v dřívější době skupina lídrů ve výrobě elektromobilů v Evropě, ale ne všichni, což by se mělo změnit.[1]

Typ připojení se dělí na základě regionu, úrovně nabíjecí stanice (výkonové rozpětí). Součástí tohoto jsou normy udávající nabíjecí protokoly jednotlivých typů připojení mezi vozem a nabíjecí stanicí.



Obrázek 3.7: Základní rozdělení nabíjecích stanic v největších aglomeracích

Na obrázku 3.7 je vyobrazeno výše zmiňované rozdělení nabíjecích stanic pro elektromobily napříč největšími aglomeracemi (*Evropa, Severní Amerika, Čína*). Jednotlivé části dělení nabíjecích stanic budou popsány níže v práci:

- **Výkonové úrovně** (1-3, AC/DC, fast/slow chargers)
- **Nabíjecí standardy - konektivita** (typy konektorů)

3.3.1 Výkonové úrovně nabíjecích stanic

3.3.1.1 Nabíjecí stanice na střídavý proud (AC)

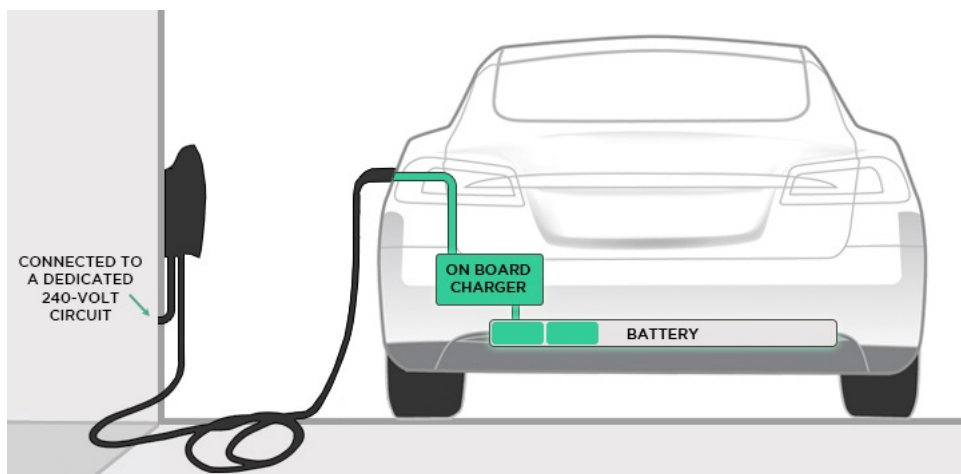
Nabíjecí stanice dle výkonové úrovně rozdělujeme do **tří základních úrovní**, to je patrné z přehledového obrázku 3.7. Úrovně 1 a 2 se řadí do kategorie **pomalých nabíječek (*slow chargers*)** a úroveň 3 do kategorie **rychlých nabíječek (*fast chargers*)**. Konkrétní výkonové rozpětí zmíněných úrovní je:

- **Úroveň 1.:** 0 - 3,7 (kW) AC - slow charger
- **Úroveň 2.:** 3,7 - 22 (kW) AC - slow charger
- **Úroveň 3.:** 22 - 43,5 (kW) 3f AC - fast charger

Nabíječky na těchto úrovních jsou na **střídavý proud (AC)** (*úroveň 3. obsahuje nabíječky DC*). Ve skutečnosti se spíše než o nabíjecí stanice jedná o zásuvky, která dodávají proud, které odebírá **palubní nabíječka** automobilu. Díky tomu můžeme dobít i z klasické domácí 1f zásuvky, ovšem doba dobíjení vzhledem k proudovému omezení a výkonovému bude dlouhá. Ideálnější variantou je využít 3f 16 A nebo 32 A zásuvky, které dokážou elektromobil dobít daleko rychleji, ale jsou omezeny palubní nabíječkou automobilu. Populárním řešením jsou tzv. **wallboxy**, které se instalují jak v běžných domácnostech tak korporáčních sférách.

Palubní nabíječka je zabudovaná v automobilu a jedná se v podstatě o usměrňovač, který usměrní střídavý proud na stejnosměrný a dodává ho do baterií a tím je nabíjí. Tento způsob nabíjení je omezen výkonem palubní nabíječky. Výkon nabíječky určí, jak rychle se baterie dobíjí a zda využijeme výkon instalované nabíječky (zásuvky, wallboxu, atd..). Většina výrobců vyrábějící levnější elektromobily dodává EVs s málo výkonými palubními nabíječkami, což má za důsledek pomalé nabíjení. Jedná se především o jednofázové palubní nabíječky. Jedna z mála automobilek, co dodává EVs s výkonými palubními nabíječkami, je automobilka Tesla. Automobily Tesla obsahují třífázové palubní nabíječky 22 kW/16 A, případně 22kW/32A tyto EVs dokážou využít maximální potenciál AC nabíječek. Klíčovým faktorem AC nabíječek je tedy výkon palubní nabíječky elektromobilu (*příklad: můžeme využít 3f 22 kW/32 A nabíjecí stanici, ale EV s palubní nabíječkou o výkonu 3kW, využije tedy pouze jednu fázi a maximální výkon 3 kW*).

Wallbox lze definovat jako "vylepšená zásuvka", která je vhodnější než běžná domácí zásuvka (1f, 3f). Klíčovým faktorem výhodnosti wallboxu není spotřeba energie, která je dána stále palubní nabíječkou EV, ale způsob proudění proudu do palubní nabíječky. Hlavním benefitem je vyšší účinnost (menší ztráty) nabíjecího procesu, což má za důsledek rychlejší nabití a ušetření peněz. Proces AC nabíjení pomocí wallboxu a výše zmiňované palubní nabíječky (**on board charger**) je znázorněn na obrázku 3.8. [18]



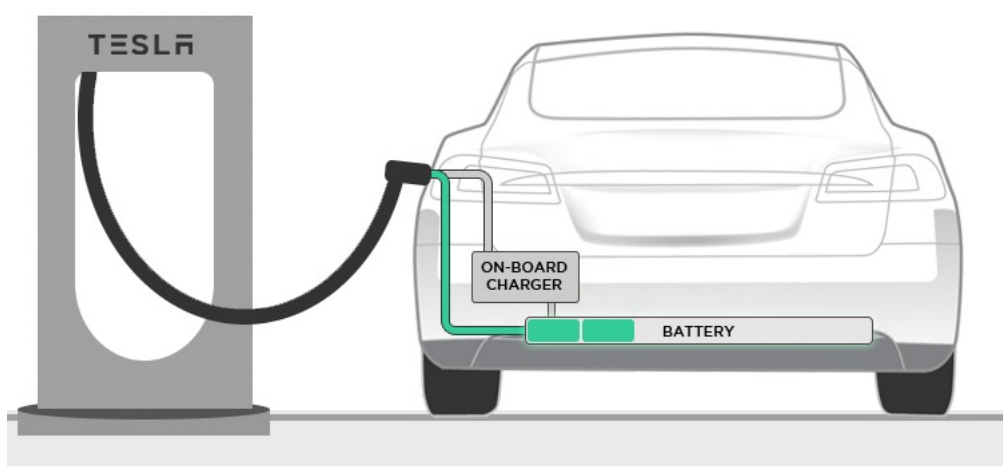
Obrázek 3.8: Nabíjení vozidla pomocí AC nabíječky (wallboxu) a využití palubní nabíječky EV [19]

3.3.1.2 Nabíjecí stanice na stejnosměrný proud (DC)

Nabíjecí stanice na **střídavý proud (AC)** spadají do 3. výkonové úrovně a kategorie **rychlo nabíječek (fast chargers)**. Výkonové rozpětí pro danou úroveň v případě DC nabíjení:

- **Úroveň 3.:** 22 - 2000 (kW) DC - fast charger

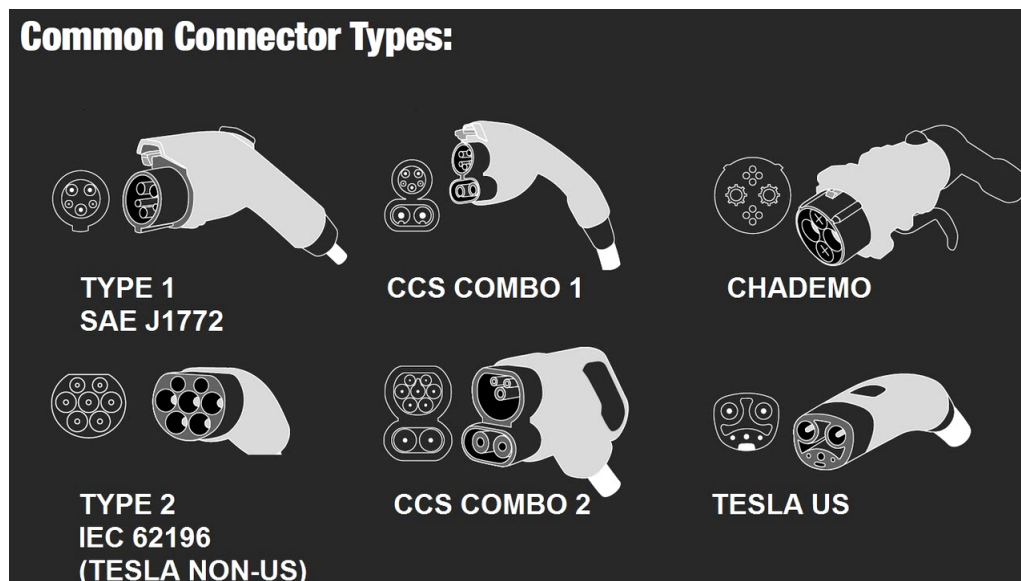
V tomto případě můžeme považovat nabíjecí stanice opravdu jako nabíjecí stanice, a to vzhledem k tomu, že vůz připojíme na stejnosměrný proud, který nabíjí rovnou baterie. Není zde výkonové omezení palubní nabíječkou vozu. Rychlost nabíjení je zde limitována pouze baterií a jejím řízením ve voze. Zmíněné nabíjení je znázorněno na obrázku 3.9 a můžeme zde vidět, že palubní nabíječka (on board charger) je nevyužita. Nejvýkonnější veřejně dostupné DC rychlonabíječky (superchargers) má společnost Tesla, ty dosahují výkonu 135 kW.



Obrázek 3.9: Nabíjení vozidla pomocí DC nabíječky (fast charger) [19]

3.3.2 Nabíjecí standardy - konektivita

V případě nabíjení EVs neřešíme jen druh nabíjecí stanice a její výkon, ale i konektor (kabel). Konektor musí podporovat nabíjecí stanice, anebo naopak uživatel EV musí vlastnit kabel s patřičným konektorem nebo redukcí. Základní přehled konektorů používaných pro jednotlivé úrovně nabíjení a regiony je vyobrazen na obrázku 3.7. Můžeme zde vidět mnoho typů konektorů. Ačkoliv se výrobci elektromobilů v jednotlivých regionech snaží používat jeden nabíjecí standart (konektory), přesto se můžeme setkat v praxi s několika typy konektorů. Obrázek 3.10 zobrazuje v současnosti nejpoužívanější konektory.



Obrázek 3.10: Přehled nejpoužívanějších nabíjecích konektorů [20]

3.3.3 Dělení konektorů

Konektory můžeme rozdělovat do 3 základních skupin podobně jako nabíjecí stanice dle následujících kritérií:

- dobíjení AC proudem
- dobíjení DC proudem
- kombinace AC a DC

Konektory pro dobíjení AC proudem

Pro nabíjení střídavým proudem se využívají konektory typu: **TYP 1**, **TYP 2 (Tesla)** a **GB/T**. Jednotlivé typy jsou definovány normou, která odlišuje jejich využití AC/DC

- **TYP 1** : tento typ konektoru je typický pro trh s EVs ve Spojených státech amerických či Japonsku, kde je nejčastěji využíván a preferován tanními výrobci elektromobilů (*Chevrolet, Ford, Nissan, Toyota*). **NORMA (SAE J1172 / IEC 62196-2)**
- **TYP 2** : tento typ konektoru je typický pro evropský trh s EVs. Často je nazýván jako **Mannekes**. Umožňuje přenášet velké výkony (1f do 3,7 kW, 3f do 43,5 kW). Je

preferován především německými výrobci EVs (Volkswagen, BMW, Mercedes..) a je využíván automobilkou Tesla na evropském trhu. **NORMA (IEC 62196-2)**

- **GB/T (2):** tento konektor byl vyvinut speciálně pro čínský trh s EVs a obsahuje inovativní technologii uzamykání konektoru během nabíjení. **NORMA (IEC 62196-2)** [21]

Konektory pro dobíjení DC proudem

V případě dobíjení stejnosměrným proudem se využívají obdobné konektory jako u nabíjení střídavým proudem a speciálně určené pouze pro DC proud **TYP 1, TYP 2 (Tesla), GB/T a CHAdeMO**. Odlišnost konektorů oproti konektorům AC je v normě, která je definuje.

- **TYP 1 :** vychází z TYPU 1 pro nabíjení střídavým proudem, jen je definován jinou normou. **NORMA (IEC 62196-3)**
- **TYP 2 :** taktéž vychází z TYPU 2 pro nabíjení střídavým proudem, jen je definován jinou normou. **NORMA (IEC 62196-3)**
- **GB/T (3) :** opět se liší pouze v normě, kterou je definován. **NORMA (IEC 62196-3)**
- **CHAdeMO :** Change de move konektor je výhradně určen pro DC nabíjení. Je využíván v USA, Evropě a Japonsku. Vzhledem k svému tvaru nejde modifikovat pro používání v případě AC nabíjení. **NORMA (IEC 62196-3)** [21]

Konektory pro dobíjení AC a DC proudem (kombinované)

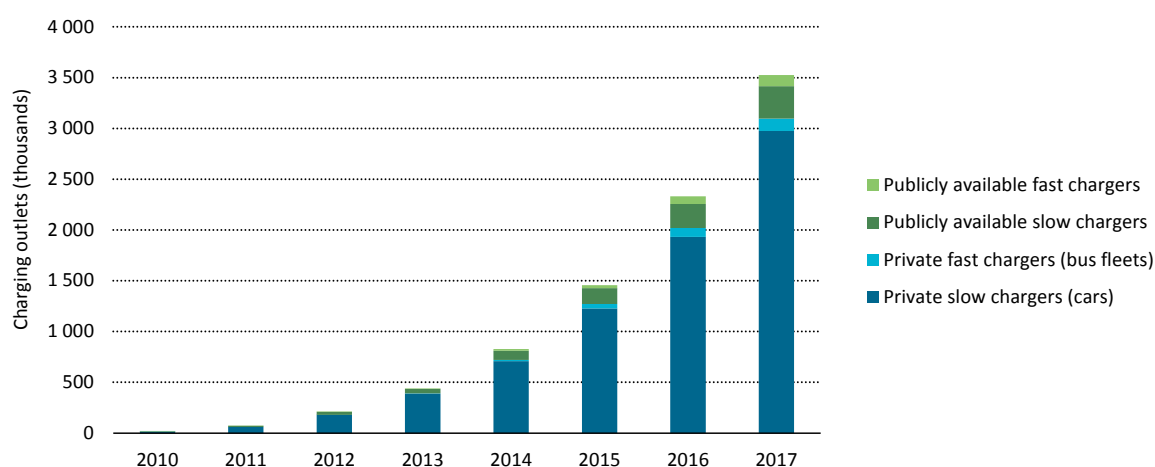
Kombinované konektory mají nespornou výhodu v tom, že je můžeme využívat pro nabíjení AC i DC bez rozlišování. Jedná se o AC konektor doplněn o dva dodatečné kontakty jak je patrné na obrázku 3.10(CSS). Tyto konektory se označují jako typ: **CSS** a existují 2 typy: **CSS COMBO 1 a CSS COMBO 2**. CSS COMBO 1 se liší od CSS COMBO 2 geometrií a je určen výhradně pro USA. Konektor CSS COMBO 2 je používán na Evropském trhu a již několik let se využívá v mnoha elektromobilech. V roce 2013 byl tento konektor stanoven evropskou komisí jako standart pro celou Evropu.[21]

- **CSS COMBO 1 :** určen pro trh ve Spojených státech amerických (USA) **NORMA (IEC 62196)**
- **CSS COMBO 2 :** standart pro evropský trh **NORMA (IEC 62196)** [22]

3.3.4 Nabíjecí stanice ve světě

Technická problematika nabíjecích stanic není v současné době nejdiskutovanější téma v této problematice, ale je jím především **dostupnost** a infrastruktura nabíjecích stanic. Na základě dostupnosti dělíme nabíjecí stanice na: **veřejné a privátní**. Na obrázku 3.11 je zobrazen vývoj počtu nabíjecích stanic ve světě. Z grafu (obr. 3.11) je patrný růst celkového počtu nabíjecích

stanic ve světě, který zhruba odpovídá rozvoji trhu s EVs (obr. 1.1). Zejména se jedná o růst privátních pomalých nabíjecích stanic, kterou si pořizuje téměř každý uživatel elektromobilu, kterou má možnost připojení parkovacího místa k elektřině a dále firmy vlastníci elektromobily. Je patrné, že téměř **85 %** nabíjecích stanic je privátních pro rok 2017. Problémem je nedostatečný růst veřejných nabíjecích stanic, konkrétně rychlých nabíjecích stanic. Z grafu (obr. 3.11) je zřetelný malý nárůst privátních nabíjecích stanic, které se podílí na celkovém počtu stanic pouze cca **25 %**. Pomalý růst veřejných nabíjecích stanic je způsoben mnoha faktory. Hlavním faktorem je velká finanční náročnost vzhledem k tomu, že v ideálním případě vyžadujeme rychlé veřejné nabíjecí stanice. Další důležitý faktor je náročnost z hlediska elektrické infrastruktury vzhledem k tomu, že tyto nabíjecí stanice jsou velkých výkonů, které nelze jednoduše připojit do elektrické sítě. Je potřeba mít dostatečně dimenzované přípojné místo (*transformátor, kabely, atd.*).



Obrázek 3.11: Globální přehled nabíjecích stanic pro EVs [1]

3.3.4.1 Privátní nabíjecí stanice

Dostupnost statistik privátních nabíječek je omezena z důvodu toho, že neexistuje žádná evidence vzhledem velké variabilitě možnosti domácího nabíjení. Nejčastěji se v případě privátních nabíječek setkáme s nabíječkami úrovně 1 a 2. Nedostatek přesných dat ohledně privátních nabíječek volá po výrazném zlepšení sledování těchto dat. Data použitá pro sestavení grafu na obrázku 3.11 jsou získána na základě předpokladu, že ve všech zemích kromě Číny má každé EV svojí privátní nabíjecí stanici (úrovně 1 nebo 2) doma nebo v práci. Touto jednoduchou volbou byl zvýrazněn rozdíl počtu privátních a veřejných nabíjecích stanic pro EVs. Tato úvaha je založena na základě následujících předpokladů:[1]

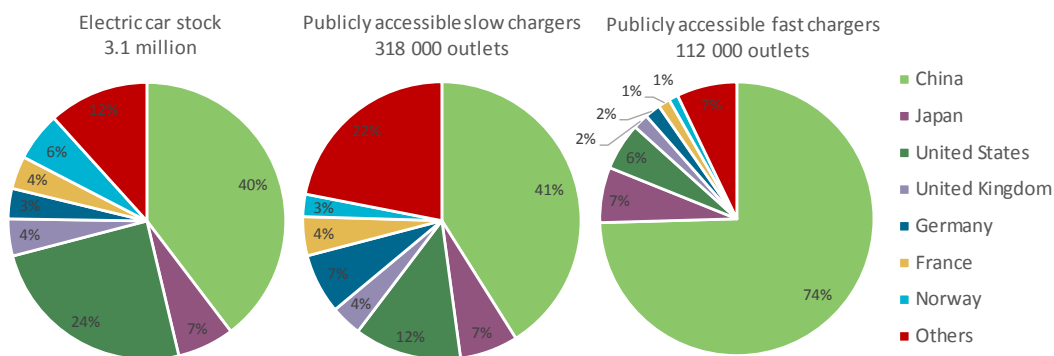
- V Evropě, zejména v severovýchodních státech, průzkumy ukazují jednotlivé preference nabíjení uživatelů EVs. Více než **90 %** majitelů EVs preferuje nabíjet své vozy doma jednou týdně nebo denně a **20-40 %** v práci.[23]
- V USA má přibližně **90 %** majitelů EVs domácí (privátní) nabíječku, tedy na každé vozidlo vychází 0,9 domácí nabíječky. K tomuto počtu je potřeba přidat cca **32 %**

privátních nabíječek na pracovních místech majitelů EVs (tj. 0,32 nabíječek na vozidlo v práci).[1]

- Výslední poměr nabíjecí stanice na každý elektromobil je **1.1 EVSE/EV** (*Electric vehicle supply equipment / Electric Vehicle - Nabíjecí stanice pro elektromobil / elektromobil*). Tento poměr je uvažován pro všechny země s výjimkou Číny a Japonska, což je v souladu s předpoklady, že domácí nabíječky doplňují nabíjecí stanice na pracovišti. V Číně a Japonsku je předpokládáno, že velká část populace žije v multi-family rezidencích. Na základě této skutečnosti se udává v těchto zemích výsledný poměr **0.8 EVSE/EV** (Čína a Japonsko).[1]

3.3.4.2 Veřejné nabíjecí stanice

Porovnání veřejných nabíjecích stanic za rok 2017 na úrovni světových lídrů v elektromobilitě a různých marketů (pomalé a rychlé nabíjecí stanice) je zobrazeno v grafech na obrázku 3.12. Uvedený graf potvrzuje, že Čína je největší světový lídr v elektromobilitě. V Číně se nachází přibližně tři čtvrtiny veřejných rychlých nabíjecích stanic z celého světa a většina (41 %) veřejných pomalých nabíjecích stanic. Vzhledem k tomu, že v mnoha zemích je elektromobilita stále v raných začátcích, jsou rozdíly v počtu zejména veřejných nabíjecích stanic markantní.[1]



Obrázek 3.12: Veřejné nabíjecí stanice rozdělené dle typu a země (2017)[1]

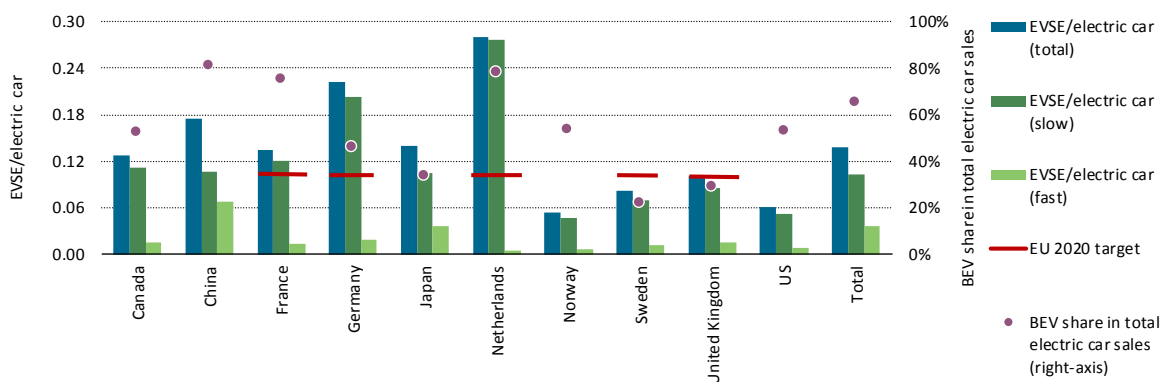
Graf na obr. 3.12a několik následujících klíčových aspektů zaměřených na veřejné nabíjecí stanice pomáhají určit **EVSE/EV** poměr pro veřejné nabíjecí stanice.[1]

- Čína a Japonsko mají větší tendenci než ostatní země se spoléhat na rychlé nabíjecí stanice (viz. obr. 3.12). To je v souladu s velkou hustotou populace ve městech, která souvisí s problematikou dostupnosti privátních nabíjecích stanic (malý poměr EVSE/EV).[1]
- Vysoký počet rychlých nabíjecích stanic v Číně může být také vysvětlen velkou mírou využívání neosobních automobilů, jako vládní vozy a taxíky, které jsou závislé na rychlém nabíjení, aby mohly plnit svůj každodenní úkol. Obsazenost veřejných nabíjecích stanic je z 50 % taxi EVs.[1]

- Norsko, které má globálně největší trh s elektromobily (v porovnání na počet obyvatel), dosahuje tohoto prvenství, a to přesto že má nedostatečnou nabíjecí infrastrukturu tak velký trh. V současnosti nemá problém jen s veřejnými nabíjecími stanicemi, ale i s privátními, protože velká část populace nemá možnost parkovacího místa s připojením na elektřinu.[23]

Podíl veřejných nabíjecích stanic

V níže uvedeném grafu na obrázku 3.13 jsou uvedeny poměry nabíjecích stanic na elektromobil (EVSE/EV) pro vybrané země (globální lídry v elektromobilitě). Data jsou založena na základě stejných předpokladů jako v případě předešlých grafů 3.11 a 3.12. Je zde vyobrazen i cíl EU pro rok 2020, kdy by měl poměr veřejných nabíječek na EV (EVSE/EV) dosahovat v zemi EU **0,13 EVSE/EV**. Některé země již tento poměrně malý poměr několikrát přesahují, jedná se ovšem o země s menším počtem EVs.[1]



Obrázek 3.13: Veřejně dostupné nabíjecí stanice ve vybraných zemích poměr ESVE/EV [1]

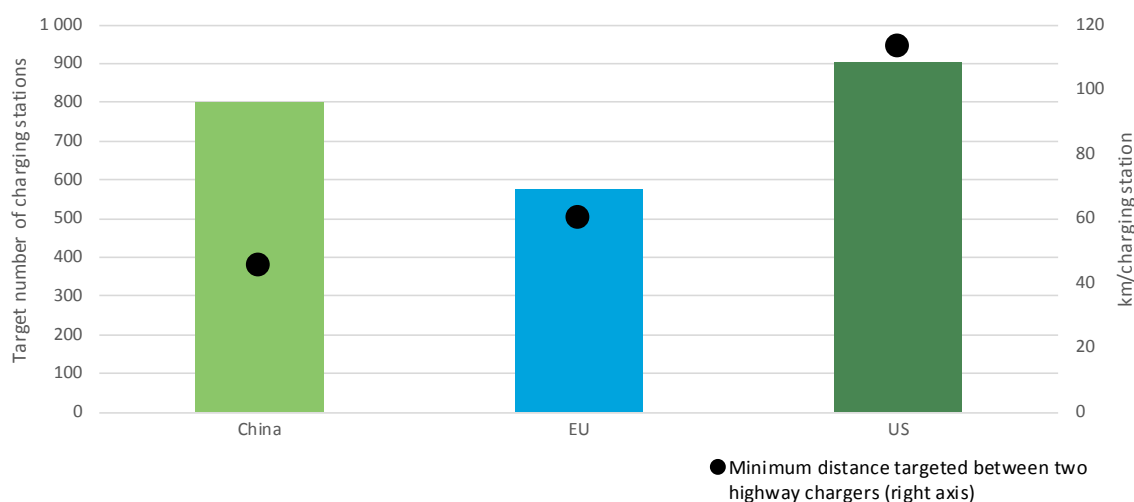
3.3.4.3 Rozvoj dostupnosti nabíjecích stanic

Existuje mnoho národních a nadnárodních opatření, která se zabývají nabíjecí infrastrukturou a zejména dostupností nabíjecích stanic (převážně veřejných). Tato opatření jsou závislá na lokálních okolnostech, národních politických podmínkách, které jsou v některých zemích vhodnější pro rozvoj elektromobility. Efektivní politické plány pomáhají tvořit a dosahovat plány na rozvoj a umístění nabíjecích stanic. Existuje mnoho plánů pro rozvoj dostupnosti a umístění nabíjecích stanic.

Příkladem může být Čína, která plánuje do roku **2020** provozovat 4,3 milionu privátních nabíjecích stanic a **500 000** veřejných nabíjecích stanic. Evropská unie požaduje na členských státech uvedení plánu rozvoje dostupnosti EVSE pro rok 2020, 2025 a 2030 a pro jejich splnění připravila dotační program CEF (Connecting Europe Facility). Kalifornie, která je nejpokročilejším státem v USA v elektromobilitě, určila svůj plán dostupnosti nabíjecích stanic pro rok 2025 s cílem investovat 900 milionu USD a dosažení 250 000 veřejných nabíjecích stanic.

Dálniční nabíjecí stanice

Největším omezením pro elektromobilitu je dojezdová vzdálenost EVs a tím pádem složité plánování dlouhých cest z důvodu omezené dostupnosti nabíjecích stanic. Z tohoto důvodu hlavní regiony v elektromobilitě Čína, USA a EU ustanovily ambice na instalace rychlých nabíjecích stanic podél dálnic. Hlavním cílem je dostupnost nabíjecích stanic na dálnicích v rozmezí **45-115 km**. Z grafu 3.14 je patrné, že největší vzdálenost mezi stanicemi je v USA, a to zejména z důvodu toho, že velká část dálniční sítě je rovná a nemá převýšení. Zmíněný graf (3.14) nám nadále ukazuje cíle v počtu nabíjecích stanic v oblasti dálnic v daných regionech do roku 2020.

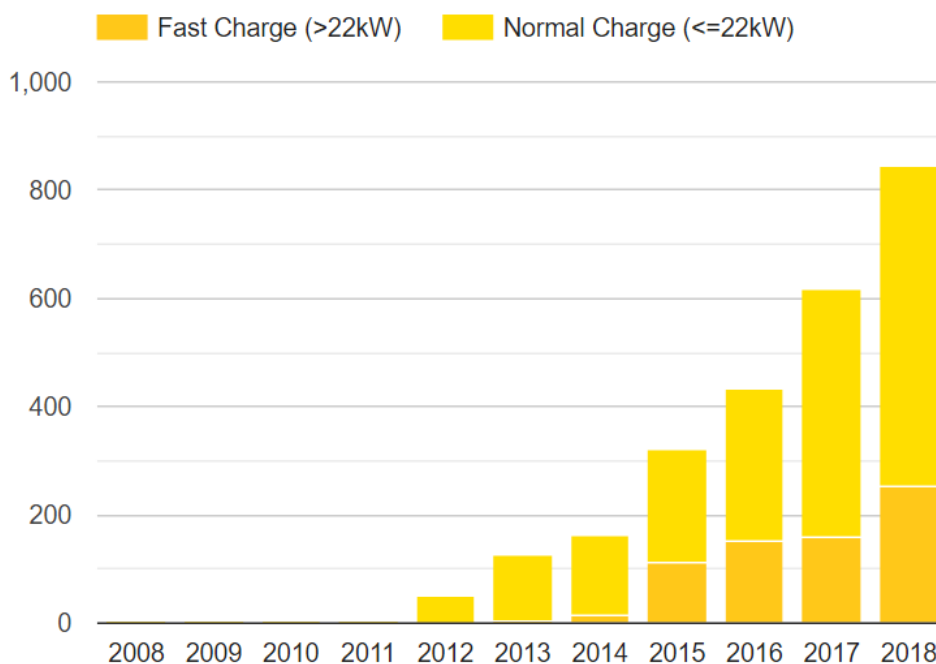


Obrázek 3.14: Počet nabíjecích stanic v oblasti dálnic a distance mezi stanicemi, cíl pro rok 2020[1]

3.3.5 Nabíjecí infrastruktura v České republice

Jak již bylo mnohokrát zmíněno Česká republika je oproti západním a severským zemím v Evropě v elektromobilitě pozadu. Menší počet EVs v ČR je ovlivněn taktéž malou dostupností nabíjecích stanic mimo velká města a na hlavních dálničních úsecích. Neuvažujeme zde privátní nabíjecí stanice. V posledních 3 letech se nabíjecí infrastruktura neustále rozšiřuje cca o **250** veřejných nabíjecích stanic za rok. Z toho je více než 70 % pomalých dobíjecích stanic. Vzhledem k výrazné zkrácené době nabíjení v případě rychlých nabíjecích stanic je potřeba, aby se budoval spíše tento druh nabíjecích stanic. V současné době už jsou na trhu rychlé nabíjecí stanice, které dokáží nabít EV v krátkém čase (cca 5-8minut) na dojezdovou vzdálenost přes 200km.

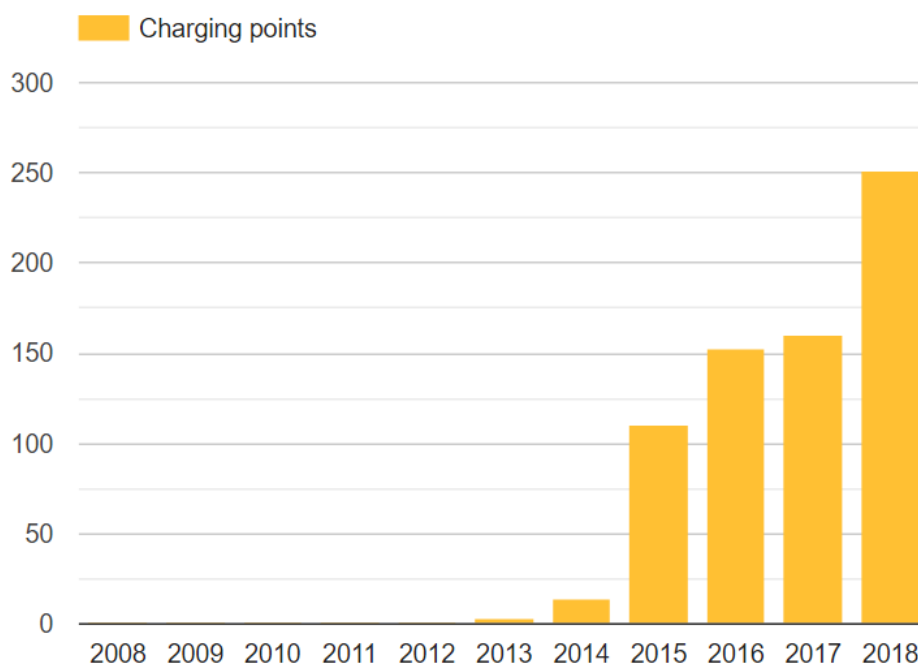
V ČR je aktuálně **846 veřejných nabíjecích stanic**, 595 pomalých a 251 rychlých. Z uvedeného grafu na obrázku 3.15 můžeme vidět i zmíněný meziroční růst veřejných nabíjecích stanic v ČR. V grafu jsou označené rychlo-nabíjecí stanice oranžovou barvou (*Fast Charge* ($>22 kW$)) a pomalé žlutou (*Normal Charge* ($\leq 22 kW$)). Je zde vidět, že počet rychlo-nabíjecích stanic začal výrazněji růst až v posledním roce 2018 a zejména proto, že velké české energetické společnosti začaly tyto stanice instalovat. Více se této problematice budeme věnovat níže v kapitole.



Obrázek 3.15: Veřejné nabíjecí stanice v ČR (rychlé a pomalé) [24]

Dálniční nabíjecí stanice

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.3.4.3 tak členské země v EU by měly cílit do roku 2020 na minimální distanci mezi dvěma rychlo-nabíjecími stanicemi na dálnici cca 60km. V ČR za uplynulý rok 2018 výrazněji vzrostl počet rychlo-nabíjecích stanic a z grafu na obrázku 3.16 může vidět, že výrazný růst proběhl zejména v oblasti dálnic. ČR má v současnosti 20 rychlo-nabíjecích míst v oblasti dálnic v distanci mezi sebou cca 100km, a to se přibližuje cílům EU pro rok 2020.



Obrázek 3.16: Rychlo-nabíjecí stanice v oblasti dálnic v ČR (distance 100km) [24]

3.3.6 Dodavatele nabíjecích stanic

Nabíjecí stanice dodává po celém světě nespočetné množství firem. Nejčastěji se setkáváme s tím, že firmy odebírají nabíjecí hardware od velkých výrobců a vytvářejí k nim chytrý zařízení. V této kapitole budeme uvádět dodavatele a výrobce veřejných nabíjecích stanic větších výkonů, vzhledem k tomu, že předmětem této práce jsou především veřejné nabíjecí stanice.

Největší světové společnosti dodávající veřejné nabíjecí stanice

- **Ionity** (EU,USA)
- **E.ON/CLEVER**
- **FAST-E**
- **Mega-E**
- **Enel**

Zmíněné společnosti odebírají nabíjecí hardware od mnoha společností. Nejznámější výrobci v tomto odvětví jsou společnosti **ABB** a **SIEMENS**. Zmíněná společnost ABB vyvinula jednu z nejvýkonnějších rychlo-nabíjecích stanic o výkonu 350 kW, která je schopna dobít EV na 200 Km dojezd do 8 minut nabíjení.

3.3.7 Nabíjecí stanice pro rychlé dobíjení

Tento druh stanic je vhodný pro instalaci na místa, kde potřebuje EV co nejrychleji dobít. Jedná se o: benzínové stanice, parkoviště u veřejných budov a hustě obydlené oblasti. Níže jsou uvedeny v ČR nepoužívané stanice pro rychlé dobíjení.

ABB - Terra 53 CJT

Terra 53 je multinormová (podporuje více konektorů) nabíjecí stanice určená pro rychlé nabíjení od firmy ABB. Výhoda tohoto typu nabíjecí stanice je její konfigurovatelnost s výkonem **50 kW** pro rychlé nabíjení. Možnost konfigurace obsahuje jednu, dvě nebo tři zásuvky, více parametrů je uvedeno v tab 3.3. Každá zásuvka může obsahovat jiný konektor (normu) včetně možnosti střídavého nabíjení. Další výhodou této stanice je její internetová konektivita a možnost monitorovat tuto stanici on-line, napojovat na různé softwary a platební platformy.

Konfigurace Terra 53 CJT(CJG): S touto konfigurací se můžeme setkat v současné době často vzhledem k hojně instalaci těchto stanic energetickou firmou ČEZ a E.ON. Konfigurace obsahuje následující specifikace výstupu:

- **C** - 50 kW (CSS), Konektor: Combo-2
- **J** - 50 kW (CHAdeMO), Konektor: CHAdeMO
- **T** - 22 kW (AC), Zásuvka: Typ-2
- **G** - 43 kW (AC), Konektor : Typ-2

Tabulka 3.3: ABB Terra 53 CJT - Specifikace [25]

ABB TERRA 53 CJT		
<i>Obecné:</i>	Provozní teplota	-10 až + 50 °C
	Třída ochrany	IP 54
	Hmotnost	cca 400 kg
<i>Standardy:</i>	CHAdeMo	JEVS G105
	CSS	DIN 70121
	AC konektor	IEC 62196
<i>AC Vstup:</i>	Síťové připojení	AC 3-fáze + N +PE
	Rozsah vstupního napětí	400 V AC +-10 %
	Max. jmenovitý vstupní proud	125 A AC
	Vstupní frekvence	50, 60 Hz
<i>AC vstupní zásuvka</i>	AC zásuvka	Typ 2
	Výstupní výkon AC	22, 43(kabel) kW
	Výstupní napětí	400 V AC
	Výstupní proud	3x 32, 2x 63 (kabel) A AC
<i>DC Výstup</i>	DC Konektor	CCS, CHAdeMO
	Maximální DC výstupní výkon	50 kW
	Rozsah výstupního napětí	50 - 500 V DC
	Maximální výstupní proud	120 - 125 A DC
	Účinnost (plné zatížení)	>0,96
	Účinnost	94 %



Obrázek 3.17: Rychlo-nabíjecí stanice ČEZ - ABB Terra 53 CJT [25]

SIEMENS - CPC 50

Stejně jako u nabíjecí stanice ABB Terra se jedná o multinormovou rychlo nabíjecí-stanici, která má obdobné vlastnosti. Oproti nabíjecí stanici ABB Terra nelze tuto nabíjecí stanici konfigurovat. Maximální nabíjecí výkon je 50 kW, další parametry jsou uvedeny v tabulce 3.4. Společnost SIEMENS nabízí v současné době i novou rychlo nabíjecí-stanici **CPC 150**, která

má maximální výkon 150 kW. O tento typ stanice začíná být značný zájem.

S nabíjecími stanicemi Siemens se v současné době nesetkáváme v takové míře jako se stanicemi ABB, které instalují velké energetické společnosti v ČR (ČEZ, E.ON). Společnost ŠKODA AUTO chystá v tomto roce (2019) instalovat 56 těchto nabíjecích stanic (CPC 50, CPC 150) ve svých výrobních závodech. Na veřejných místech tyto stanice budují spíše menší lokální investoři.

Tabulka 3.4: SIEMENS CPC 50 - Specifikace [26]

SIEMENS CPC 50 kW		
<i>Obecné</i>	Provozní teplota	-30 až +50 °C
	Třída ochrany	IP 54
	Hmotnost	cca 550 kg
<i>Standardy</i>	CHAdeMo	JEVS G105
	CSS	DIN 70121
	AC konektor	IEC 62196
<i>AC Vstup</i>	Síťové připojení	AC 3-fáze +PE
	Rozsah vstupního napětí	400 V AC +-15 %
	Max. jmenovitý vstupní proud	150 A AC
	Vstupní frekvence	50, 60 Hz
<i>AC vstupní zásuvka</i>	AC zásuvka	Typ 2
	Výstupní výkon AC	43 kW
	Výstupní napětí	400 V AC
	Výstupní proud	3x 62 A AC
<i>DC Výstup</i>	DC Konektor	CCS, CHAdeMO
	Maximální DC výstupní výkon	50 kW
	Rozsah výstupního napětí	50 - 920 V DC
	Maximální výstupní proud	125 A DC
	Účinnost (plné zatížení)	>0,97
	Účinnost	94%



Obrázek 3.18: SIEMENS CPC 50 [26]

3.3.8 Nabíjecí stanice pro pomalé dobíjení

Stanice pro pomalé dobíjení jsou instalovány především v oblastech, kde se uvažuje delší pobyt uživatele EV. Jedná se o oblasti jako: firemní (pracovní) parkoviště, parkoviště u obchodních center, parkovací domy atd... Níže uvedu některé stanice s kterými se můžeme setkat.

Ensto Pro - EVF100W

Nabíjecí stanice Ensto Pro jsou jedny z nejfrekventovanějších veřejných nabíjecích stanic s kterými se můžeme setkat po celé Evropě. Jsou vybaveny systémem, který umožňuje stanici připojit na pohledové systémy provozovatelů a taktéž jsou zajištěny proti poškození vandaly. V ČR je ve velké míře instaluje společnost PRE a provozovatelé obchodních center.

Tabulka 3.5: Ensto Pro EVF100W - Specifikace [27]

Ensto Pro - EVF100W		
Obecné	Provozní teplota	-30 až +50 °C
	Třída ochrany	IP 54
Standardy	AC konektor	IEC 62196 - TYP 2
AC Vstup	Síťové připojení	AC 3-fáze + N +PE
	Rozsah vstupního napětí	400 V AC +-10 %
	Vstupní frekvence	50, 60 Hz
AC vstupní zásuvka	AC zásuvka	Typ 2
	Výstupní výkon AC	22 kW
	Výstupní napětí	400 V AC
	Výstupní proud	1x 16, 3x 32 A AC



Obrázek 3.19: Ensto Pro EVF100W [27]

EVlink Park - EVF2S22P02

Nabíjecí stanice od firmy Schneider Electric z řady EVlink Parking. Tato stanice je vhodná pro parkovací lokace jako jsou: obchodní centra, rezidenční budovy, pracovní místa, atd.. Mohou být instalovány samostatně nebo v konfiguraci s více stanicemi. Disponují možností energii menagementu pro jejich komerční využití a případné zpoplatnění nabíjení.

Tabulka 3.6: EVlink Park - EVF2S22P0 - Specifikace

EVlink Park - EVF2S22P02		
Obecné	Provozní teplota	-30 až +50 °C
	Třída ochrany	IP 54
Standardy	AC konektor	IEC 61851-1/22
AC Vstup	Síťové připojení	AC 3-fáze + N + PE
	Rozsah vstupního napětí	400 V AC +-10 %
	Vstupní frekvence	50, 60 Hz
AC vstupní zásuvka	AC zásuvka	Typ 2
	Výstupní výkon AC	22 kW
	Výstupní napětí	400 V AC
	Výstupní proud	32 A AC



Obrázek 3.20: EVlink Park - EVF2S22P02 [28]

ABB TERRA 23 CJ**Konfigurace Terra 24 CJT:**

- C - 20 kW (CSS), Konektor: Combo-2
- J - 20 kW (CHAdeMO), Konektor: CHAdeMO
- T - 22 kW (AC), Zásuvka: Typ-2

Tabulka 3.7: ABB TERRA 23 CJT - Specifikace

ABB TERRA 23 CJT [29]		
Obecné	Provozní teplota	-10 až +50 °C
	Třída ochrany	IP 54
Standardy	AC konektor	IEC 61851-1/22
	DC konektor	EN61851-23, CHAdeMO 1.0
AC Vstup	Síťové připojení	AC 3-fáze + N +PE
	Rozsah vstupního napětí	400 V AC +-10 %
	Max. jmenovitý vstupní proud	32 A
	Vstupní frekvence	50, 60 Hz
AC vstupní zásuvka	AC zásuvka	Typ 2
	Výstupní výkon AC	22 kW
	Výstupní napětí	400 V AC
	Výstupní proud	32 A AC
DC výstup	DC Konektor	CCS, CHAdeMO
	Výstupní výkon AC	20 kW
	Výstupní napětí	50-500 V DC
	Výstupní proud max	60 A AC

**Obrázek 3.21:** ABB TERRA 23 CJ2 [29]

4 Optimalizace provozu parkoviště

Optimalizace je prováděna pro konkrétní parkoviště **Západočeské Univerzity v Plzni** - Fakultou elektrotechnický. Využití reálného parkoviště přinese reálnou představu dopadu rozvoje elektromobility. Veškeré postupy a výpočty jsou aplikovatelné na jakékoliv jiná parkoviště a budou obsažena ve výsledném výpočetním programu optimalizace, který bude představen v kapitole 4.5.

Na základě kapitoly 2.5 rozdělujeme parkoviště dle charakteru parkovací lokace na : **domácí, obchodní centrum, místo zaměstnaní, veřejné (nabíjecí místo)**.

Tabulka 4.1: Základní parametry parkoviště ZČU - FEL

Charakter parkoviště:	Místo zaměstnání
Počet parkovacích míst:	470
Provozní doba:	07 - 20 (hod)
Parametry transformátoru:	400 (kVA)

4.1 Parkovací místa na parkovišti

Zjištění doporučeného počtu parkovacích míst vybavených nabíjecí stanicí na daném parkovišti v důsledku rozvoje elektromobility bylo zjištěno na základě scénářů rozvoje elektromobility uvedených v kapitole 1.2 a referenčních hodnot určených pro Českou republiku vzhledem k lokalizaci parkoviště. Jako výchozí scénář pro níže uvedené výpočty byl zvolen scénář: **Base Scenario** (kapitola 1.3.2)

Referenční hodnoty pro ČR obsahují informace o současném počtu elektromobilů v ČR ($CREV$), všech automobilů ($AllCar$) a předpokládaného růstu počtu všech automobilů v ČR do roku 2030 ($AllCar_{20XX}$). Další potřebná hodnota je celkový současný počet EVs na světě (případně v ČR, záleží na použitém scénáři) ($AlEV$) a z použitého scénáře předpokládanou hodnotu všech EVs v požadovaném roce (2020, 2025, 2030) ($AlEV_{20XX}$).

Nejdříve byl zjištěn procentuální nárůst ($INCR$) EVs od současného roku (2018) do požadovaného roku (2030 v tomto případě):

$$INCR = \frac{AlEV_{2030}}{AlEV} = \frac{255000}{2619} \cdot 100 = 9737 \quad (\%) \quad (4.1)$$

Následným vynásobením současného (2017) počtu EVs v ČR ($CREV$) a získanou hodnotou nárůstu ($INCR$) byl získán výsledný počet všech EVs v ČR ($CREV_{2030}$) v požadovaném roce (2030):

$$CREV_{2030} = \frac{CREV}{100} \cdot INCR = \frac{2619}{100} \cdot 9737 = 255000 \quad (-) \quad (4.2)$$

Pomocí celkového počtu EVs v ČR pro požadovaný rok (2030) a parkovacích míst ($PARK$) na daném parkovišti (ZČU) byl vypočten předpokládaný počet EVs parkujících (EV_{PARK}) na daném parkovišti za předpokladu plně obsazené kapacity.

$$EV_{PARK} = \frac{CREV_{2030}}{AllCar_{2030}} \cdot PARK = \frac{255 \cdot 10^3}{7000 \cdot 10^3} \cdot 470 \doteq 17 \quad (-) \quad (4.3)$$

Posledním krokem pro získání počtu parkovacích míst určených výhradně pro elektromobily osazenými nabíjecími stanicemi (EV_{CHAR}) bylo určení koeficientu k , který určuje poměr počtu nabíjecích stanic na elektromobil EVSE/EV (viz. kapitola 3.3). V případě parkoviště ZČU, které je považované jako pracovní a soukromé, zvolíme počet stanic dle vlastního uvážení na základě předpokladů z kapitoly 3.3.4.1. Pro tento případ bylo určeno **0,4 EVSE/EV** ($k = 0,4$).

$$EV_{CHAR} = EV_{PARK} \cdot k = 17 \cdot 0,4 \doteq 7 \quad (-) \quad (4.4)$$

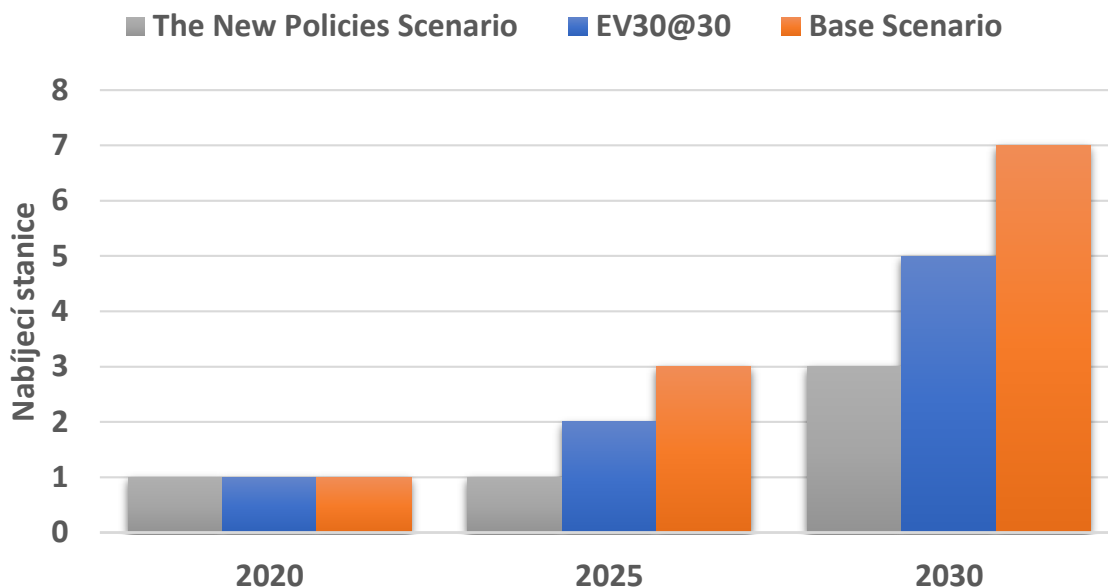
Výsledný počet parkovacích míst s nabíjecími stanicemi **vyšel 7** pro uvedený použitý scénář. Níže v kapitole bude uvedeno porovnání v případě použití jiných scénářů rozvoje elektromobility.

4.1.1 Porovnání výsledků vývoje parkovacích míst

V níže uvedené tabulce 4.2 je uvedeno porovnání výsledků vývoje parkovacích míst pro EVs na parkovišti ZČU FEL při použití jednotlivých scénářů v letech 2020, 2025 a 2030. Hodnoty uvedené s * nesplňují zadaný koeficient k vzhledem k tomu, že počty EVs na parkovišti jsou velice malé, ale musíme uvažovat, že i pouhý jeden předpokládaný EV na daném parkovišti musí mít možnost dobít své auto.

Tabulka 4.2: Vývoj parkovacích míst pro EVs na parkovišti FEL ZČU

$PARK = 470, k = 0,4$		
Scénář vývoje	EVs	Nabíjecí stanice
2020		
Base Scenario	1*	1*
EV30@30	1*	1*
The New Policies Scenario	1*	1*
2025		
Base Scenario	7	3
EV30@30	6	2
The New Policies Scenario	2	1
2030		
Base Scenario	17	7
EV30@30	13	5
The New Policies Scenario	7	3



Obrázek 4.1: Vývoj počtu nabíjecích stanic na parkovišti ZČU FEL

4.2 Simulace výkonového zatížení parkoviště

Simulace výkonového zatížení parkoviště respektive nabíjecích stanic je důležitou částí pro návrh parkovací lokace, protože v případě větších parkovišť a s rozvojem elektromobility je potřeba více nabíjecích stanic v jedné lokaci, které se musí připojit do sítě v jednom přípojném místě. Simulace určí pravděpodobné výkonové zatížení při dobíjení automobilů na parkovišti na základě scénářů. Na základě výsledků simulace (*výkonového diagramu*) a informacích o přípojném místě (*elektrické infrastruktury, výkonu a zatížení distribučního transformátoru*) jsou vyhodnoceny možnosti připojení a rozdělení výkonů, které je řešeno v následující kapitole 4.3.

4.2.1 Popis modelu

Tento simulační model výkonový je založen na stochastickém chování elektromobilů na několika nabíjecích stanicích v dané parkovací lokaci. Klíčovou částí modelu jsou scénáře chování EVs na parkovištích, která jsou generována náhodně na základě vstupních limitních parametrů, nebo je možné vytvořit vlastní scénář pro jednotlivý EV ručně pro specifické chování EVs na parkovišti.

Vstupní parametry

Vstupní parametry modelu jsou definovány parkovací lokací viz. tabulka 4.1 a výpočty z předchozí kapitoly 4.1. Z uvedených zdrojů jsou získány následující parametry:

- Provozní doba parkoviště (**To, Tz**)
- Počet EVs na parkovišti (**EVs**)
- Počet nabíjecích stanic (**N**)
- Typ nabíjecí stanice - výkon (**P**)

Scénáře chování EVs

Jak již bylo zmíněno, model pracuje z ručně vytvořenými a náhodně generovanými scénáři chování EVs. Náhodně generované scénáře jsou generovány na základě vstupních parametrů uvedených výše, které slouží jako limitní hodnoty. Scénář obsahuje následující parametry:

- Parametry EV: kapacita baterie (**B**), spotřeba kWh/km (**w**)
- Čas příjezdu EV na parkoviště - počátek nabíjení (**T_a**) limity (**T_o**, **T_z**)
- Maximální doba staní vozu na parkovišti **T_{max}** (příklad: 8h směna, 2h návštěva atd..)
- Ujetá vzdálenost EV v intervalu od 0 - 90 % max dojezdu EV (**d**)
- Typ nabíjecí stanice - výkon (**P**)

Stav baterie EV - State of Charge (SOC)

Stav baterií EV pro přijetí na parkoviště je označován jako **State of Charge (SOC)**. *SOC* udává, kolik procent kapacity baterie bylo spotřebováno po ujeté vzdálenosti (*d*) a je definován vztahem:

$$SOC = \frac{w \cdot d}{B} \cdot 100 \quad (\%) \quad (4.5)$$

Kde je *B* kapacita baterie EV, *w* spotřeba EV kWh/km a *d* ujetá vzdálenost EV. Pomocí *SOC* je vyhodnocováno, jestli bude automobil po příjezdu na parkoviště nabíjen, protože v případě, že bude kapacita baterie vyšší jak 85 %, nebude automobil připojen k nabíjecí stanici a nabíjen.

$$SOC \leq 15\% \quad (100 - SOC \geq 85\%) \quad (4.6)$$

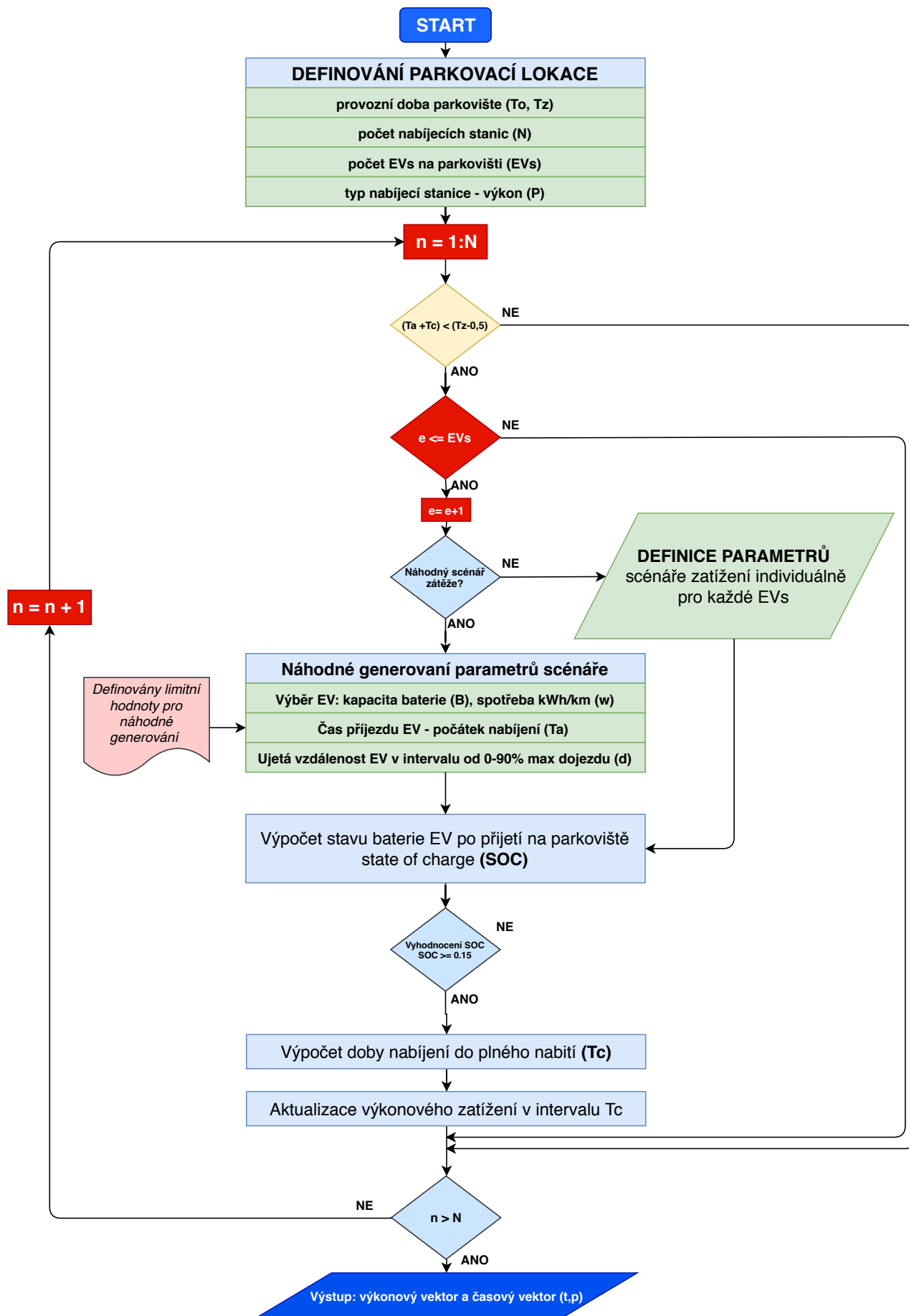
Doba nabíjení EVs (T_c)

Doba nabíjení je určena následujícím výpočtem v případě, že je splněna výše uvedená podmínka (rov. 4.6):

$$T_c = \frac{SOC \cdot B \cdot 0,85}{\eta \cdot P} \quad (hod) \quad (4.7)$$

Kde *P* je výkon nabíjecí stanice a η účinnost nabíjecí stanice. Konstanta 0,85 přepočítává celkovou kapacitu ze 100 % na 85 %, protože EV není nabíjen plným výkonem po celou dobu nabíjení. Tento údaj se liší u každého druhu EV, typu a výkonu nabíjecí stanice. V této simulaci je uvažována již zmíněná kapacita 85 % *B* jako nejvyšší možná hodnota nabití pro výpočet celkového nabíjecího času.

Celý proces simulace výkonového zatížení parkoviště při nabíjení je zobrazen v flow chart diagramu na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2: Flowchard diagram simulace výkonového zatížení parkoviště

4.2.2 Simulace - výkonové kapacity parkoviště

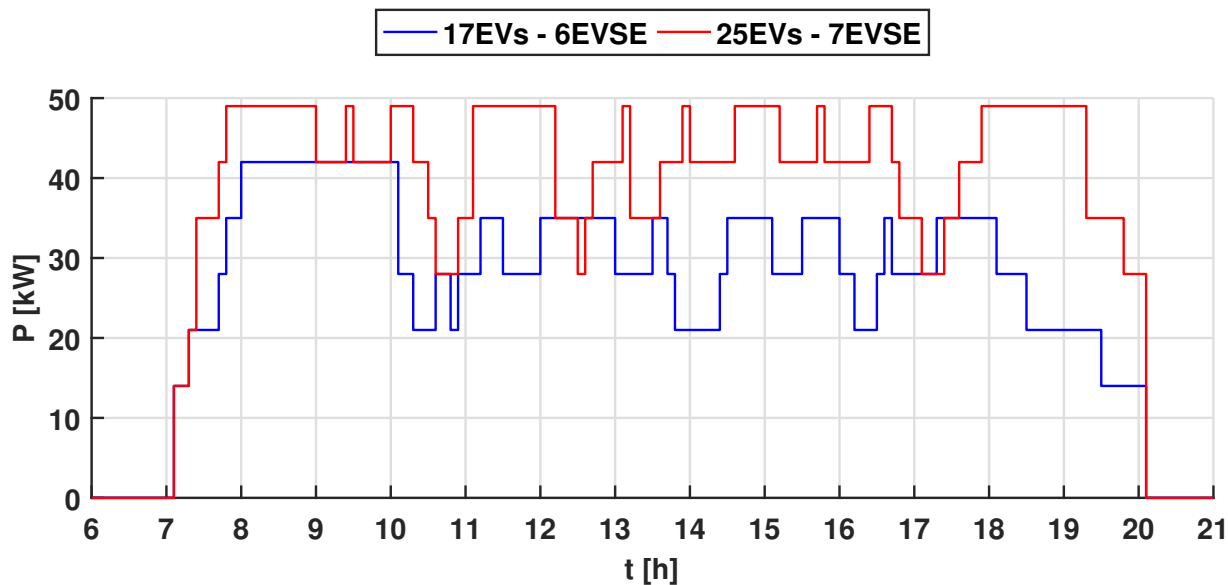
Simulace byla provedena pro více kombinací optimalizace parkoviště se stejným scénářem chování EVs (viz. příloha), který byl náhodně vygenerován s optimalizací dle parametrů uvedených v tabulce 4.3 na základě scénáře (Base Scenario) vývoje elektromobility pro rok 2030 (viz. kap. 4.1). Tato simulace porovnává dvě výkonově odlišné nabíjecí stanice.

Tabulka 4.3: Parametry simulace výkonové zátěže parkoviště

Parametry	Hodnoty
Scénář vývoje	Base Scenario - 2030
Start provozu parkoviště (To)	7:00 (h)
Konec provozu parkoviště (Tz)	20:00 (h)
Počet nabíjecích stanic (N)	7
Max doba staní auta (Tmax)	8, 4 a 2 (h)
Příkon nabíjecí stanice	7000, 22000 (W)

Příkon nabíjecí stanice 7000W

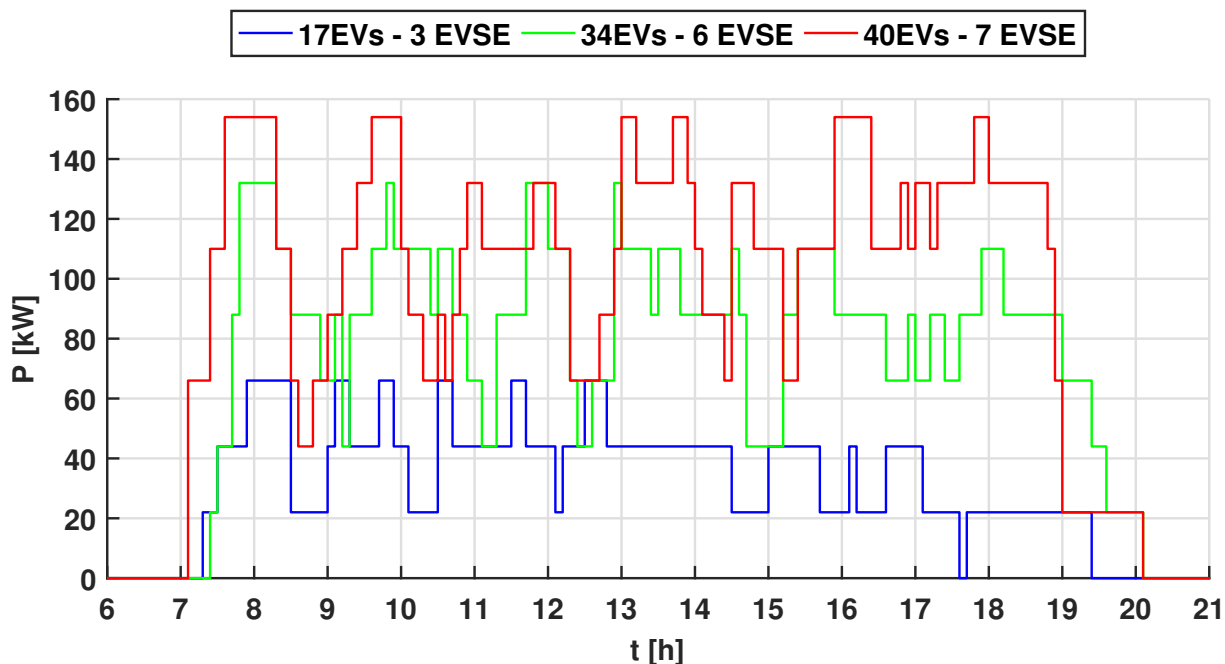
V grafu na obrázku 4.3 jsou dvě odlišné charakteristiky výkonové zátěže parkoviště. Scénáře chování EVs jsou vygenerované, ale pro obě charakteristiky totožné. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma charakteristikami je počet nabitých aut na parkovišti. **Červená** charakteristika vyznačuje denní zatížení v případě nabití **17 EVs**. Jedná se o maximální počet EVs vyskytujících se na parkovišti (*je uvažována kapacita bez nových příjezdů*), získaných na základě vývoje parkovacích míst pro EVs. V případě použitého scénáře bylo použito pouze **6 nabíjecích stanic ze 7**. Důsledkem toho je nižší maximální zatěžovací výkon (42 kW). **Modrá** charakteristika vyznačuje výkonové zatížení v případě navýšení počtu vyskytujících se EVs na parkovišti za den (*na parkovišti se během dne vystřídá více aut než je jeho kapacita*). V tomto případě byla využita plná nabíjecí kapacita parkoviště, tedy všech 7 nabíjecích stanic. Maximální výkonové zatížení dosahovalo **49 kW** a bylo nabito celkem **25 EVs**. Systém vyhodnocení bude použit i u následující simulace v případě použití výkonnějších nabíjecích stanic.



Obrázek 4.3: Simulace výkonové zátěže parkoviště (Nabíječky 7kW)

Příkon nabíjecích stanic 22000W

V případě použití nabíjecích stanic s výkonem 22 kW dosahujeme většího maximálního zatížení (154 kW), jak je patrné z charakteristik na obrázku 4.4. V případě červené charakteristiky byl maximální počet EVs na parkovišti 17 a pro jejich nabití bylo potřeba pouze **3 nabíjecích stanic** s maximálním výkonem zatížení **66 kW**. Pro dvojnásobný počet vyskytujících se EVs na parkovišti za den byly obslouženy všechny EVs při maximálním výkonu zatížení 132 kW a použití 6 nabíjecích stanic. V případě maximálního využití všech nabíjecích stanic (7) bylo nabyto **40 EVs** s maximálním výkonem zatížení 154 kW.



Obrázek 4.4: Simulace výkonové zátěže parkoviště (Nabíječky 22 kW)

4.2.2.1 Zhodnocení

Výše uvedené výsledky ukazují dvě různé nabíjecí kapacity parkoviště při stejném scénáři chování EVs. Při uvažování parametrů současných EVs (rok 2018) je možné říci, že by byla varianta při použití nabíjecích stanic s příkonem 7000 W/nab dostatečná, ale musí se počítat s tím, že s vývojem elektromobility nesouvisí jen parkovací místa a počty EVs, ale taktéž samotné vozy, které budou dosahovat určitě vyšších kapacit baterií (dojezdových vzdáleností). V případě zvýšených kapacit baterií a úvaze dalšího vývoje EVs po roce 2030 je vhodnější volit variantu s nabíjecími stanicemi s **příkonem 22000 W/nab**. Vzhledem k současnému stavu elektromobility na parkovišti ZČU FEL nebylo možné vytvořit vlastní scénář chování EVs. Provedené simulace budou použity dále v kapitole 4.3 a v návrhu připojení, který může ovlivnit výslednou nabíjecí kapacitu. Musí být podotknuto, že simulace jsou počítány pouze do nabití každého vozu na 85 % své kapacity.

4.2.3 Simulace - výkonového zatížení FEL ZČU

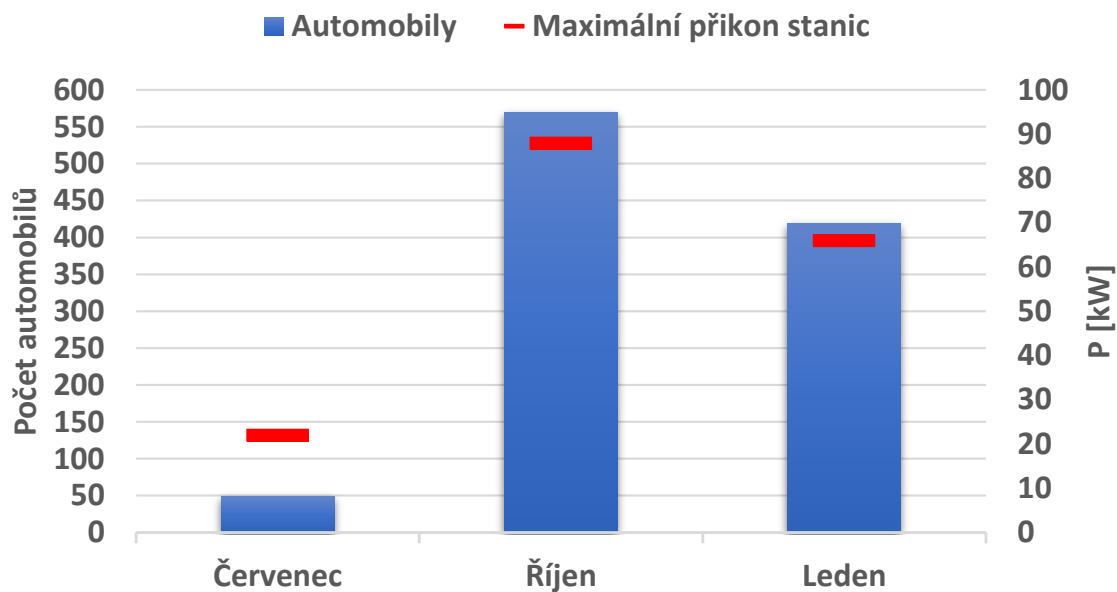
Následující simulace simuluje výkonové zatížení na základě reálných dat návštěvnosti získaných ze systému JIS, který zaznamenává každé otevření závory parkoviště. Simulace analyzuje výkonové zatížení parkoviště ve měsících **červenec, říjen a leden**.

- červenec - prázdnin, minimální návštěvnost
- říjen - průběh zimního semestru, nejvyšší návštěvnost
- leden - zkouškové období, střední návštěvnost

Denní návštěvnost (pracovní dny) v uvedených měsících byla zprůměrována a je uvedena níže v tabulce 4.4. Počty automobilů byly použity pro výpočet počtu EVs.

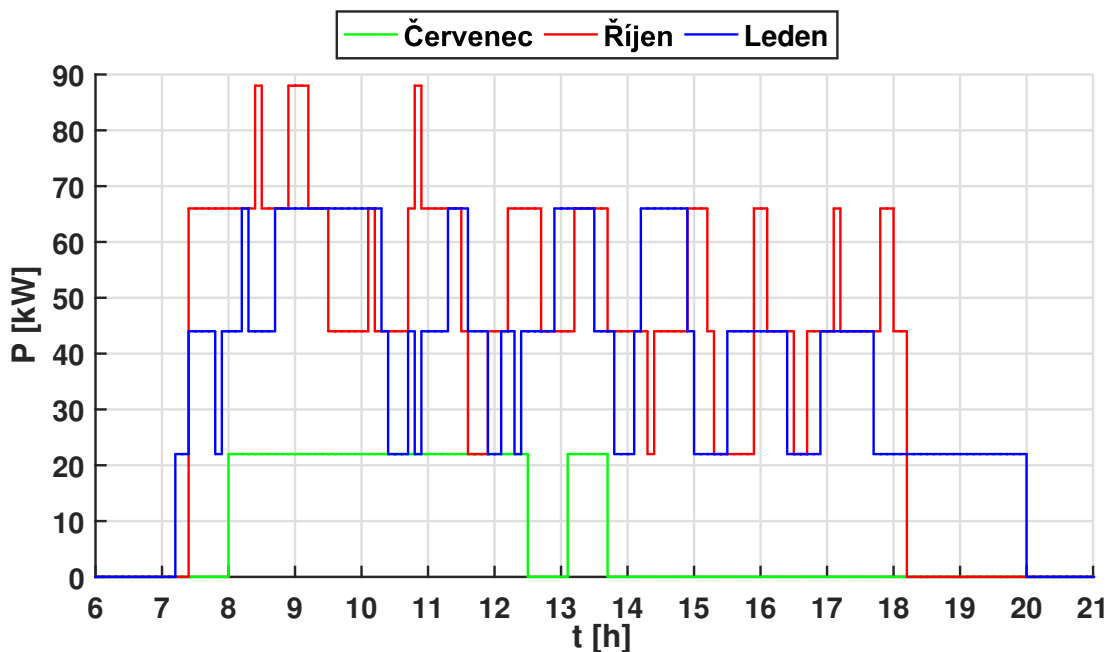
Tabulka 4.4: Průměrná denní návštěvnost automobilů na parkovišti ZČU FEL, počet EVs a maximálním příkon nabíjecích stanic

	Automobily	EVs	Pmax [kW]
Červenec	49	2	22
Říjen	569	21	88
Leden	419	15	66



Obrázek 4.5: Průměrná denní návštěvnost automobilů na parkovišti ZČU FEL a maximální příkon

Výchozí parametry nastavení simulace jsou stejné (4.3) jako v předchozím případě. Simulace je provedena pouze pro jeden příkon nabíjecí stanice 22 kW, která je zvolena i pro finální projekt parkoviště (kapitola 5). Scénáře chování EVs byly vygenerovány pro každý měsíc zvlášť a jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 4.6: Simulace výkonové zátěže parkoviště (Nabíječky 22 kW)

4.2.3.1 Zhodnocení

V grafu na obrázku 4.6 jsou zobrazeny průběhy denního (pouze pracovní dny) výkonového zatížení parkoviště ve třech měsících (červenec, říjen, srpen). Je zde patrné, že ani v jednom případě nedojte k využití plné výkonové kapacity parkoviště. K největšímu zatížení dochází v měsíci říjen, kdy probíhá školní rok a školu navštěvuje nejvíce lidí. V tomto případě bylo maximální zatížení 88 kW a využity pouze 3 nabíjecí stanice. Při uvažování, že kampus ZČU se neustále rozrůstá a navštěvuje ho více lidí, je předpokládáno, že v roce 2030 bude návštěvnost vyšší a výkonové zatížení také. Maximální výkonová kapacita parkoviště je řešena výše v kapitole 4.2.2.

4.3 Řízení elektrického výkonu

Řízení výkonu je nedílnou součástí v případě instalace více nabíjecích stanic na jednom místě. To je případ vzorového parkoviště ZČU FEL. Řízení výkonu umožní připojení více nabíjecích stanic při dodržení kapacity sítě daného přípojného místa.

Přípojná místa mají smluvní čtvrt hodinové maximum odběrného místa s dodavatelem energie. Kapacity jsou určeny podle potřeby objektu (zátěže). Tyto hodnoty se určují na základě celkového výkonového odběru místa a součinitele zatížení. V případě nabíjecích stanic může být nainstalováno několik stanic, které při současném nabíjení mohou dosahovat velkých výkonů a přesáhnout tím výkonovou kapacitu čtvrt hodinové maxima odběrného místa. Přesáhnutí čtvrt hodinové maxima vede k nákladným poplatkům a špičkovým výkonům zatížení v celém objektu, což není žádoucí. Problémy nemusí být jen s kapacitami, ale i s maximálním zatížením distribučního transformátoru.

Řešením uvedených problémů je chytré řízení elektrického výkonu. Řízení umožňuje připojit větší množství nabíjecích stanic na jednom místě bez ohledu na výkonové kapacity sítě v daném místě a snadné připojení dalších nabíjecích stanic v budoucnu. Rozlišujeme dva základní druhy řízení elektrického výkonu pro nabíjecí stanice:

- dynamické řízení (vyvažování) zátěže
- statické řízení (vyvažování) zátěže

Dynamické řízení zátěže

Dynamické řízení je vhodné pro objekty, které nemají po celý čas provozu nabíjecích stanic konstantní zátěž. Tento typ řízení uvažuje celkový dostupný výkon daného odběrného místa. Výkon je dynamicky přerozdělován na základě aktuální spotřeby objektu mezi nabíjecí stanice. Tedy v případě, že objekt nevykazuje žádnou spotřebu, může být veškerý výkon dostupný nabíjecím stanicím. Připojený objekt má vždy větší prioritu než nabíjecí stanice, tzn. pro nabíjecí stanice je vyčleněn jen zbytkový výkon, který objekt nespotřebuje v danou dobu. Toto řízení umožňuje bez větších problémů rozšiřovat počet nabíjecích stanic na daném místě. Technicky tento systém vyžaduje měření a zpětnou vazbu od připojeného objektu a distribučního transformátoru.

Statické řízení zátěže

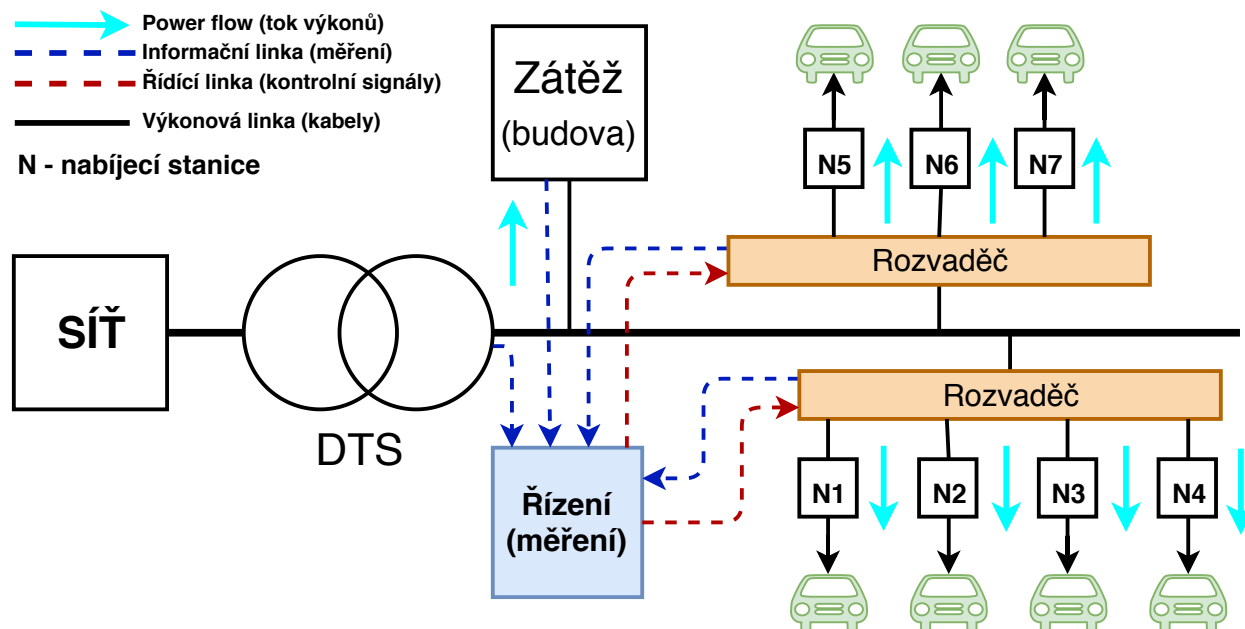
V případě statického řízení je v daném odběrném místě přidělen maximální výkon pro nabíjecí stanice a ten je bez ohledu na zatížení připojeného objektu rozdělován mezi nabíjecí stanice. Tento druh řízení je vhodný pro objekty s konstantní zátěží a jednodušší na provoz vzhledem k tomu, že není potřeba zpětné vazby od objektu a distribučního transformátoru.

Výkony jsou nadále přerozdělovány v obou případech stejně na základě potřeby jednotlivých nabíjecích stanic. V případě, že nenabíjí všechny naráz, je výkon přerozdělován pouze do nabíjecích stanic, které fungují. Tyto musí v případě vytížení všech stanic, přerozdělovat výkon i nerovnoměrně mezi stanicemi pro případné VIP nabíjení.

4.3.1 Princip

Na obrázku 4.7 je znázorněn princip fungování dynamického rozdělování výkonu. Konkrétní obrázek je pro řešení parkoviště FEL ZČU, kde je uvažováno použití AC nabíjecích stanic s výkonem 22 kW. Na obrázku je patrný tok výkonů, který je řízen boxem *Řízení*. Tento box je hlavní částí celého procesu. Shromažďuje v aktuálním čase měření zátěže objektu, nabíječek a zátěž na DTS. Dynamicky vyhodnocuje, kolik výkonu může přidělit nabíjecím stanicím a posílá řídicí signály na podružné rozvaděče řídicích stanic, které nadále přerozdělují výkon mezi stanice.

V případě AC nabíjecích stanic je výkon omezován proudově na výstupu nabíjení. DC nabíjecí stanice umožňují řízení výkonu pomocí měničů, které jsou jejich nedílnou součástí.



Obrázek 4.7: Rozdělování výkonů - schéma

4.4 Model řízení elektrického výkonu

Model je zobrazen v flow chard diagramu na obrázku 4.8. Vstupní parametry obsahují maximální dovolený výkon odběrného místa P_{max} , výkon odebíraný objektem $P_{obj}(t)$, maximální výkon jedné nabíjecí stanice P_{char} a počet nabíjecích stanic N .

Maximální dovolený výkon odběrného místa (P_{max})

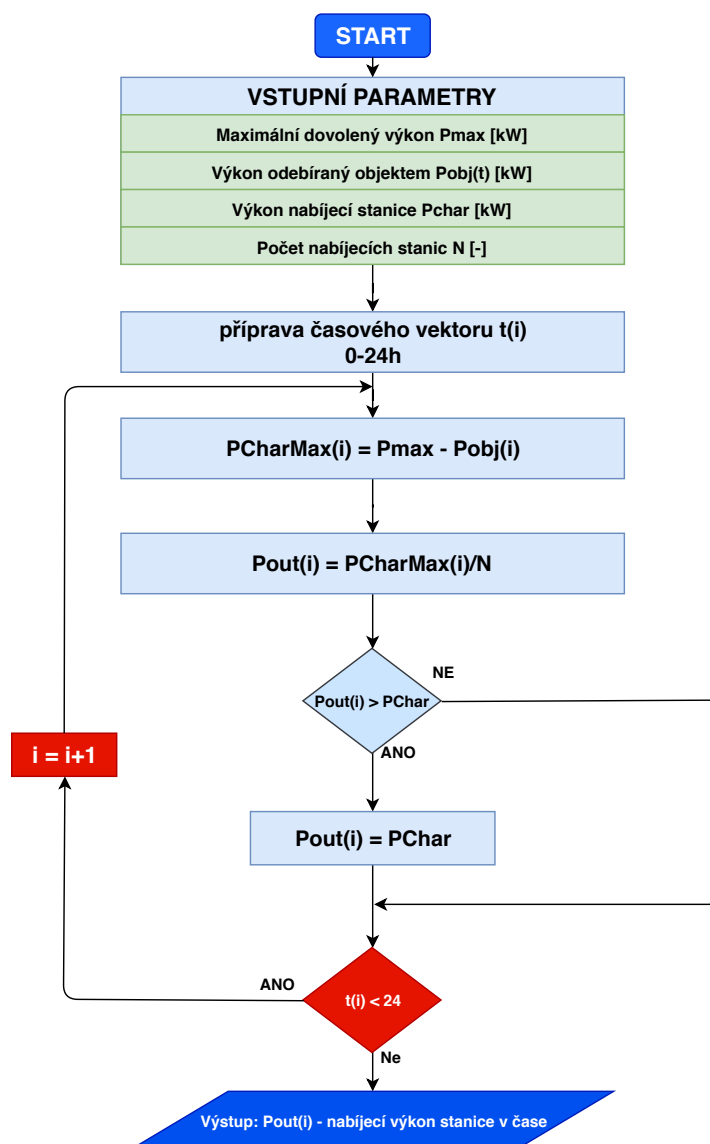
Tento výkon je dán smluvní kapacitou odběrného místa. Maximální možná hodnota je dána výkonem distribučního transformátoru daného odběrného místa.

Výkon odebíraný objektem ($P_{obj}(t)$)

Celkový výkon, který odebírá objekt, ke kterému se připojují nabíjecí stanice. V případě, že se nabíjecí stanice připojují samostatně na vlastní odběrné místo, tento výkon nebude uvažován.

Maximální výkon nabíjecí stanice (P_{char})

Maximální výkon jedné zvolené stanici v nezávislosti na počtu stanic na parkovací lokaci.



Obrázek 4.8: Flow chard diagram modelu rozdělení výkonů

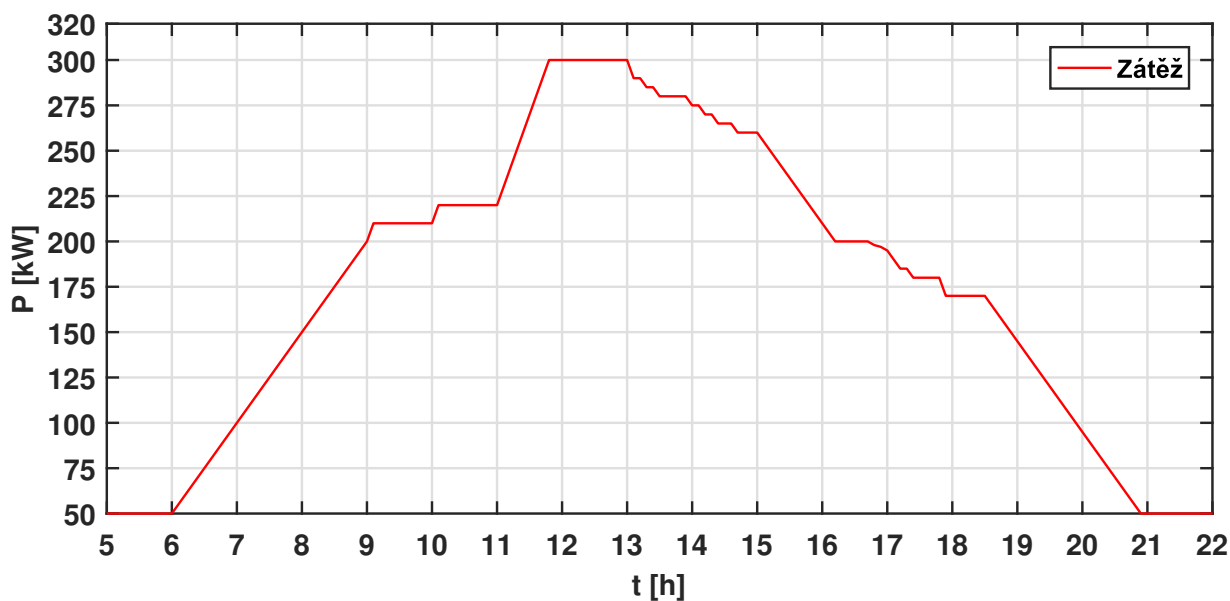
4.4.1 Výsledky simulace

Simulace byla provedena dle uvážení výkonu místního distribučního transformátoru a jeho zatížení přílehlým objektem. Předpokladem parkoviště je běžný pracovní (školní) den a obsazení všech nabíjecích stanic. Parametry simulace jsou uvedeny v tabulce 4.5

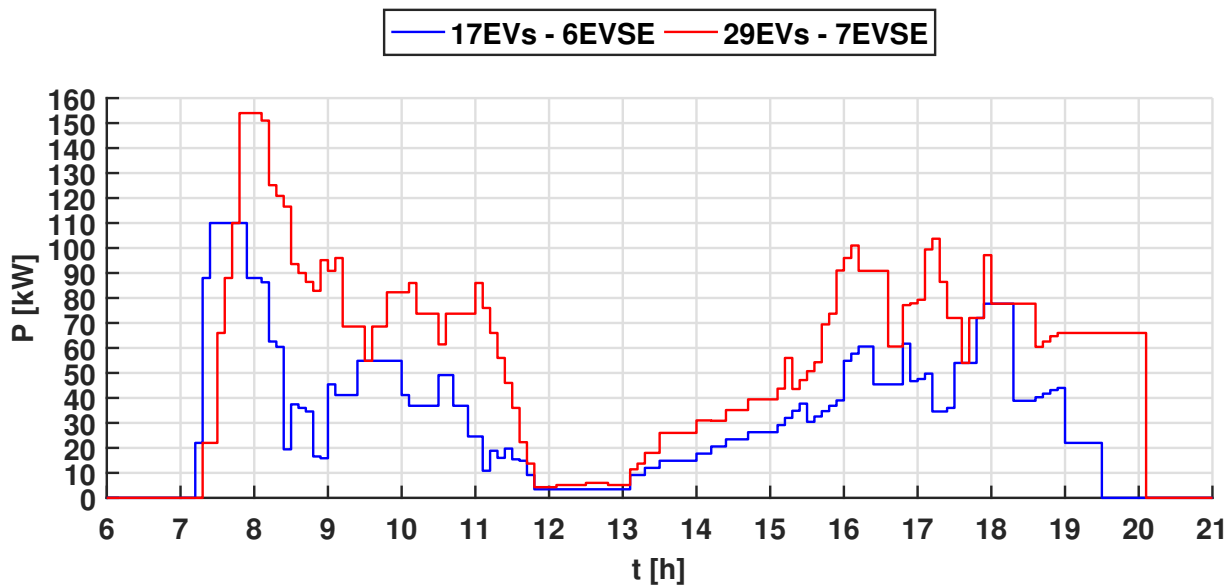
Tabulka 4.5: Parametry simulace výkonové zátěže parkoviště

Parametry	Hodnoty
Scénář vývoje	Base Scenario - 2030
Start provozu parkoviště (T_0)	7:00 (h)
Konec provozu parkoviště (T_z)	20:00 (h)
Počet nabíjecích stanic (N)	7
Max doba stání auta (T_{max})	8, 4 a 2 (h)
Příkon nabíjecí stanice	22000 (W)
Výkon trafostanice	400 (kVA)

Vzhledem k nedostatku dat o přílehlém objektu byl denní diagram zatížení vytvořen pro ukázkou řízení výkonu a nesouvisí s reálným zatížením. Vytvořený diagram, který byl použit jako vstupní parametr pro simulaci je zobrazen na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Denní diagram zátěže přílehlého objektu parkoviště (simulace)



Obrázek 4.10: Simulace výkonové zátěže parkoviště s řízením výkonu (Nabíječky 22 kW)

Z grafu simulace výkonového zatížení s řízením výkonu je patrné (obr. 4.10), že v případě omezení maximálního výkonu 90 % výkonu trafostanice a zatěžování dané trafostanice přilehlým objektem, mohou nabíjecí stanice fungovat. Jak je patrné z grafu zejména v čase mezi 12 - 13 (hod) dosahuje výkon přilehlého objektu vysokých hodnot (300 kW), díky čemuž se značně omezil výkon nabíjecích stanic. Vzhledem k snadnému ovládnání výkonu stanic pomocí systému dynamického řízení nemusel být provoz nabíjecích stanic přerušen. Důsledkem omezení výkonu je značně prodloužená doba nabíjení vozidla a výsledné počty obslužených vozidel za den na parkovišti se zmenší. Jak je patrné z grafu (modrá čára), v případě že se na parkovišti vyskytne za den pouze 17 EVs (méně rušné dny, zkuškové období) jsou všechny úspěšně nabity se značnou rezervou výkonu (využito pouze 6 nabíjecích stanic). V případě běžného studijního dne, kdy je návštěvnost parkoviště výrazně vyšší, může dojít k nedostatku výkonu jak je reprezentováno červenou čarou v grafu, kde bylo nabito pouze 29 EVs z 34 EVs. Daná simulace odpovídá scénáři chování EVs, který byl použit i v předchozích případech a je součástí přílohy. Obdobné chování může být předpokládáno i v případě jiných scénářů chování EVs.

4.5 Optimalizační výpočetní program

Optimalizační program obsahuje výše řešenou problematiku: parkovací místa na parkovišti, simulaci výkonového zatížení parkoviště a simulaci řízení elektrického výkonu nabíjecích stanic. Program byl vytvořen v software Matlab s využitím programovacího jazyka Matlab a rozšiřovacího modulu App designer. Pomocí zmíněného modulu bylo vytvořeno uživatelské prostředí programu. Funkčnost programu není limitována pouze na dané parkoviště ZČU FEL, ale je možné ho využít pro jakékoli jiné parkoviště.

Součástí programu je několik datových souborů (xlsx), které jsou potřebné pro správnou funkci programu a slouží jako hlavní zdroj dat. Datové soubory obsahují informace o *parkovišti*, *scénáře vývoje elektromobility*, *parametry nabíjecích stanic* databázi *EVs* a *scénáře chování EVs* pro simulační účely. Jedná se o následující soubory:

- *data.xlsx* (scénáře, nabíjecí stanice, parametry parkoviště)
- *auta.xlsx* (parametry EVs)
- *zatez.xlsx* (diagram zatížení objektu pro simulaci)
- *scenar_vlastni.xlsx* (vlastní scénář chování EVs)
- *scenar_ulozeni.xlsx* (uložení náhodně generovaného scénáře chování EVs)

Optimalizační program - nabíjecí stanice

Obecné - parkoviště | Simulace zátěže | Řízení výkonu

Scénáře vývoje elektrkomobility
 The New Policies Scenario
 EV30@30
 Base Scenario
 Vlastní
 Vlastní počet EVs pro daný rok: 0

Scénář chování EVs
 Nahodny
 Vlastni

Nabíjecí stanice
 ABB TERRA 53 CJT
 SIEMENS CPC 50 kW
 Ensto Pro - EVF100W
 EViink Park
 Tera 24
 Vlastni
 Vlastní výkon nabíjecí stanice [W]: 0

TYP NABÍJENÍ
 DC

Výkon stanice P [W]
 20000

Rok optimalizace
 2017
 2020
 2025
 2030

Parametry parkoviště
 Parkovacích míst: 470
 Elektromobilů na parkovišti: 17
 Nabíjecích stanic: 7
 Nabíjecí výkon EVSE: 20000

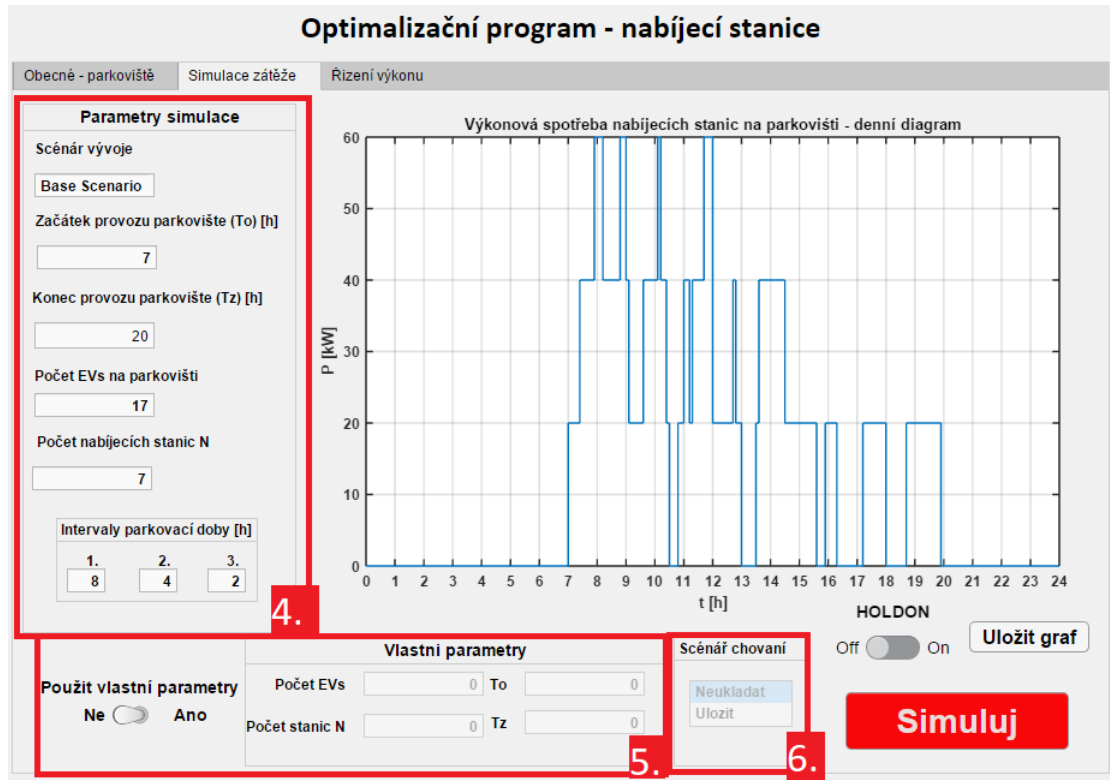
Informace
 Součástí programu je několik datových souborů (xlsx), které jsou potřebné pro správnou funkci a slouží jako hlavní zdroj dat. Datové soubory obsahují informace o parkovišti, scénáře vývoje elektromobility, parametry nabíjecích stanic databázi EVs a scénáře chování EVs pro simulační účely.
 Jedná se o následující soubory:
 - data.xlsx (scénáře, nabíjecí stanice, parametry parkoviště)
 - auta.xlsx (parametry EVs)
 - zatez.xlsx (diagram zatížení objektu pro simulaci)*
 - scenar_vlastni.xlsx (vlastní scénář chování EVs)*
 - scenar_ulozeni.xlsx (uložení náhodně generovaného scénáře chování EVs)*
 *volitelné

Vypočti

Obrázek 4.11: Optimalizační program popis - 1.strana

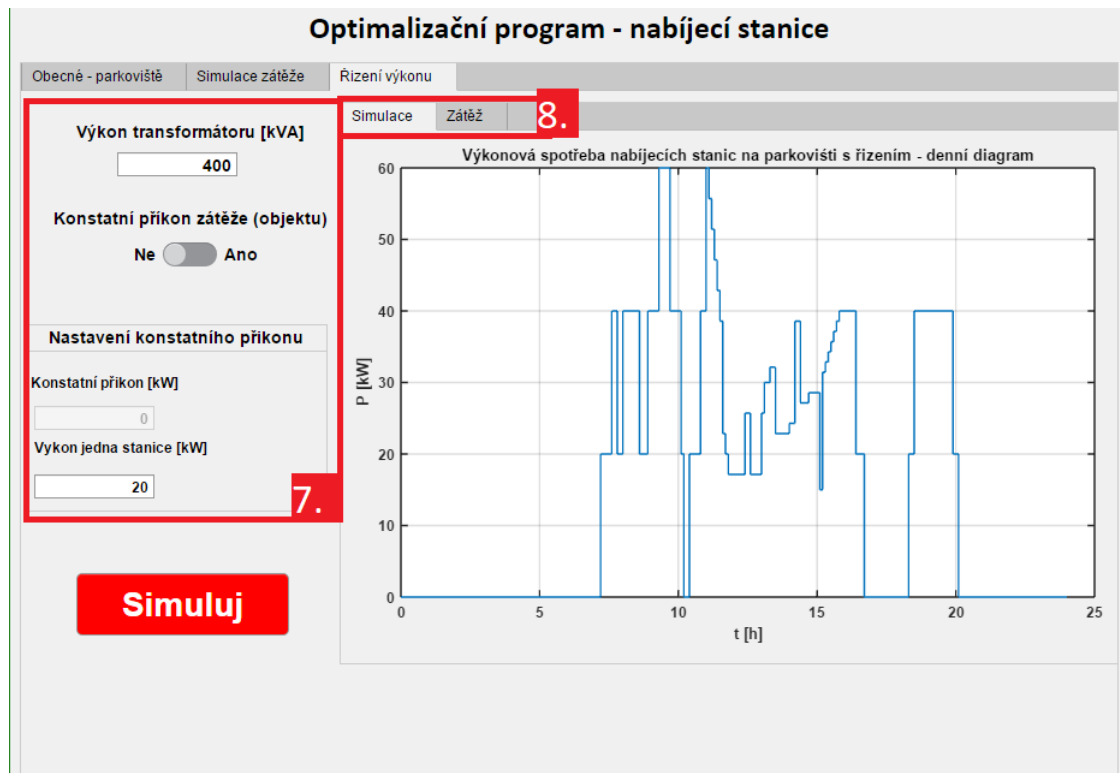
Program je rozdělen do třech listů, které jsou prezentované na obrázcích 4.11, 4.12 a 4.13 (*červené pole 0*). Na prvním obrázku (4.11) je zobrazena výchozí obrazovka, na které se vyberou veškeré potřebné parametry (*červené pole 1*) (pro provedení výpočtu počtu nabíjecích

stanicích na daném parkovišti. Hodnoty pro volené parametry jsou zapsány v datovém souboru (*data.xlsx*), který je možno upravit dle vlastních požadavků. Po provedení výpočtu se v poli zobrazí počet potřebných nabíjecích stanic a další výsledky. Pole číslo 3 obsahuje popis datových souborů, které byly zmíněny výše.



Obrázek 4.12: Optimalizační program popis - 2.strana

Druhý list programu (obr. 4.12) je zaměřen na simulaci zátěže. Pole č. 4 zobrazuje získané hodnoty z předchozího kroku a doplňující informace potřebné pro simulaci získané z datového souboru. V případě potřeby porovnání výsledků s jinou konfigurací parkoviště je možné využít pole č. 5, které se aktivuje přepínačem (Použít vlastní parametry), ve kterém je možné nastavit vlastní hodnoty parkoviště potřebné pro simulaci. Simulace využívá ve výchozím režimu náhodné generování scénáře chování EVs, který je možný pomocí pole č.6 uložit, a vypsát do datového souboru *scenar_ulozit.xlsx*. Vlastní scénář, který je možné taktéž použít, je potřeba nastavit přepínačem na 1. stránce programu (data vlastního scénáře jsou v datovém souboru *scenar_vlastni.xlsx*).



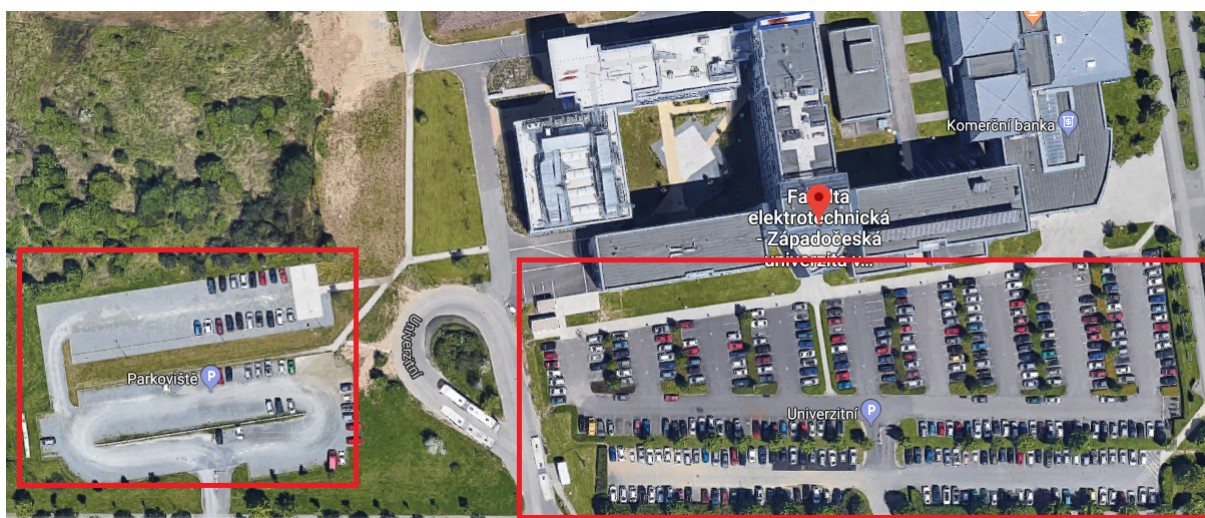
Obrázek 4.13: Optimalizační program popis - 3.strana

Poslední stránka programu obsahuje simulaci řízení výkonu, v poli č. 7 je nastaven výkon napájecího transformátoru. Dále zde může být vybrán druh příkonu zátěže jako konstantní nebo časově proměnný, který je definován v datovém souboru zatez.xlsx. V poli č. 8 je možné zvolit výsledný graf simulace nebo graf zobrazující diagram zátěže. Program je součástí digitální přílohy na flash disku, která obsahuje instalační balíček (optilamizacniprogram.zip) pro instalační program do Matlab APPS.

5 Dokumentace parkoviště ZČU

Projektová dokumentace řeší připojení nabíjecích stanic pro elektromobily v rámci rozvíjející se elektromobility v ČR. Jedná se o připojení 7 AC nabíjecích stanic na parkovišti Západočeské univerzity (FEL) v Plzni na Borských polích. Součástí této dokumentace je výkonová optimalizace, stanovení nejvhodnějšího počtu stanic a výsledné uspořádání.

Uvedené parkoviště je zobrazeno na obrázku 5.1, Parkoviště se rozkládá na dvouh rozdílných plochách o parkovacích kapacitách 135 a 335 míst. Pro návrh jsou plochy spojeny a parkoviště je považováno za jedno o celkové parkovací kapacitě 470 míst. Parkoviště má charakter místa zaměstnání co se týče jeho návštěvnosti a provozní doby v časovém intervalu od 7h do 20h. Nabíjecí kapacita parkoviště je projektována na základě vývoje elektromobility pro rok 2030.



Obrázek 5.1: Ilustrační obrázek parkoviště FEL ZČU

5.1 Výkonová optimalizace - transformační výkon

Součástí objektu FEL ZČU a přilehlého parkoviště je distribuční transformátor ve vlastnictví společností ČEZ Distribuce, a.s s označením PM 0991. Tento transformátor vzhledem k své poloze a parametrům je vhodným místem pro připojení nabíjecích stanic. Předpokládané technické parametry transformátoru jsou uvedeny níže v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Třífázový olejový, hermetizovaný transformátor o výkonu 400 kVA (22/0,4 kV)

Název transformátoru:	DOTEL 400H/20
Napěťové hladiny:	22/0,40 kV
Transformační výkon:	400 kVA
Maximální ztráty naprázdno P_0 :	430 W
Maximální ztráty nakrátko P_k :	4600 W
Napětí na krátko u_k :	4 %

Transformátor napájí přilehlé objekt a uvažujeme jeho výkonovou rezervu **90-160 kVA**. Uvedený volný výkon je jeden s faktorů, který je zvažován při návrhu typu a počtu nabíjecích stanic. Vzhledem k možnostem řízení výkonu, který je zmíněn v kapitole 4.3 není volný výkon transformátoru zcela zásadní pro konečný návrh v případě, že není požadována dostupnost maximální nabíjecí kapacity parkoviště po celou dobu.

5.2 Nabíjecí stanice - výkony, počty

Nabíjecí stanice jsou určeny na základě optimalizačního výpočtu uvedeného v kapitole 4.1. Výpočet je proveden pro potřeby parkoviště v roce 2030. Je k dispozici několik scénářů vývoje elektromobility, které značně ovlivňují výsledný počet nabíjecích stanic. Byl vybrán nejvíce příznivý scénář pro rozvoj elektromobility (Base Scenario). Důležitý parametr pro výsledný počet nabíjecích stanic je koeficient k , který určuje poměr EVSE/EV. Koeficient byl určen na základě teoretických předpokladů $k = 0,4$. Výsledný počet nabíjecích stanic pro potřeby parkoviště v roce **2030** je **7**. V tabulce 4.2 je uveden přehled počtu nabíjecích stanic v případě použití jiného scénáře vývoje, pro jednotlivé roky.

Typ a výkon nabíjecí stanice

Vzhledem k charakteru parkoviště je uvažováno, že uživatel EV na dané parkoviště pouze nabíjet svůj elektromobil, ale primárně jeden do školy (práce), kde se zdrží více než dvě hodiny. S danou problematikou doby parkování na daném parkovišti počítá optimalizační výpočet uvedený v kapitole 4.1. Výpočet počítá s parametry několika EVs (*parametry uvedené v tabulce 3.1*), které jsou významné pro současnost a do roku 2030 předpokládáme značný vývoj u kapacit baterií, což ovlivní dobu nabíjení v závislost na kapacitě baterie a výkonu nabíjecí stanice. Simulace určila, že by bylo dostatečné osadit parkoviště nabíjecími stanicemi o výkonu AC 7 kW, ale vzhledem k uvedeným předpokladům byly zvoleny **DC nabíjecí stanice o výkonu 20 kW**. Nespornou výhodou těchto stanic je jejich rychlost nabíjení vzhled k tomu, že nabíjí vozidlo DC proudem. Vzhledem DC proudu není nabíjení omezeno výkonem palubní nabíječky vozidla. Parametry nabíjecí stanice jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Tabulka 5.2: Volba nabíjecí stanice a výkonové parametry

Název nabíjecí stanice:	TERRA 23 CJT
Nabíjecí výkon P_{nab} ::	DC 20 (kW)
Účinnost η ::	0.9
Cena (přibližná)::	20000 (Kč)
Počet nabíjecích stanic N :	7
Celkový nabíjecí výkon P_{nMax} :	140 (kW)
Celkový příkon stanic P_{pMax} :	154 (kW)
Výkonová rezerva transformátoru :	90-160 (kVA)

5.3 Připojení nabíjecích stanice

Nabíjecí stanice budou připojeny na výše uvedený distribuční transformátor. Připojení bude provedeno dle výkresu přiloženého v příloze. Z transformátoru bude vyveden kabel do rozpojovací skříně, z které budou následně napojeny dva rozvaděče vzhledem k tomu, že budou na parkovišti dvě nabíjecí stanoviště (skupiny nabíjecích stanic). Do jednotlivých nabíjecích stanic budou nabíjecí stanice připojeny paralelně. Kably budou uloženy v zemi. Veškeré připojení je řešeno třífázově na napěťové hladině 400 (V).

5.3.1 Dimenzování kabelů

Proud protékající kabelem (DTS - Rozpojovací skříně)

Tímto kabelem protéká největší proud z celé nabíjecí soustavy, jelikož se jedná o přívodní kabel od DTS do rozpojovací stanice. Přes tento kabel může být v případě plné zátěže parkoviště přenášeno až 154 kW. Níže uvedeným výpočtem je určen maximální povolený protékající proud jednou fází v ne poruchovém stavu.

$$I_p = \frac{P_{nMax}}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos\phi} = \frac{154}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 234 \quad (A) \quad (5.1)$$

Výsledný proud I_p určuje typ kabelu, který je nejvhodnější pro připojení. Byl vybrán kabel typu: **AYKY 3x240+120** s proudovou zatížitelností na **fázi 360 A**. Proudová zatížitelnost je o 35 % větší, při uvažování možného navýšení počtu nebo výkonu nabíjecích stanic a případných poruchách je tento kabel vhodnou volbou.

Tabulka 5.3: Proudová zatížitelnost (DST - rozpojovací skříně)

Maximální příkon	154 (kW)
Ip:	234 (A)
Typ kabelu	AYKY 3x240+120
Proudová zatížitelnost kabelu	360 (A)

Proud protékající kabelem (Rozpojovací skříně - rozvodná skříně)

Připojení nabíjecích stanic bude provedeno přes dvě rozvodné skříně, které budou paralelně připojeny do rozpojovací skříně. V rozvodné skříně 1 (RO1) budou připojeny 4 nabíjecí stanice a v rozvodné skříně 2 (RO2) pouze 3. Analogicky jako v předchozím případě byl určen maximální povolený proud protékající kabelem do RO1 a RO2.

Tabulka 5.4: Proudová zatížitelnost (rozpojovací skříně - rozvodná skříně)

Rozvodná skříně	RO1	RO2
Maximální příkon	88 (kW)	66 (kW)
Ip:	134 (A)	100 A
Typ kabelu	AYKY 3x120+70	AYKY 3x120+70
Proudová zatížitelnost kabelu	245 (A)	245 (A)

Proud protékající kabelem (rozvodná skříň - nabíjecí stanice)

Jednotlivé nabíjecí stanice budou připojeny do rozvodných skříní paralelně, tedy každá stanice bude mít vlastní kabel zapojený do rozvodné skříně. Maximální proud protékající kabelem je dán maximálním příkonem stanice.

Tabulka 5.5: Proudová zatížitelnost (rozvodná skříň - nabíjecí stanice)

Maximální příkon	22 kW
Ip:	33 A
Typ kabelu	AYKY 4x16
Proudová zatížitelnost kabelu	81 A

5.4 Prostorové uspořádání

Prostorové uspořádání nabíjecích stanic v rámci parkoviště ZČU FEL, je rozděleno do dvou nabíjecích stanovišť, každé stanoviště je vybaveno vlastní rozvodnou stanicí pro případné rozšíření. Umístění jednotlivých stanovišť (NS1, NS2) a nabíjecích stanic (zelené čtverečky) je vyobrazeno na obrázku 5.2. Tato umístění byla vybrána z důvodu přítomnosti napájecího transformátoru (DTS) vedle NS1 a v nedaleké vzdálenosti od NS2. Vzhledem ke krátkým vzdálenostem od napájecího místa se výrazně sníží náklady přípravu napájecí infrastruktury.

Dvě napájecí lokace v různých částech parkoviště byly zvoleny z důvodu nižších požadavků na dimenzování připojení jednotlivých rozvaděčů a větší možnosti rozšíření nabíjecích stanovišť do budoucna. Vzhledem k tomu, že NS1 je umístěna ve vymezenější části parkoviště, je možno v rámci chytrého řízení výkonu omezit nabíjecí výkony pro všechny nabíjecí stanice v NS2 v případě nedostatku výkonu a upřednostnit nabíjecí stanice v NS1. Jednotlivé nabíjecí stanice jsou umístěny na pomezí dvou parkovacích míst ve všech případech. Dané rozmístění umožní obsloužit jednou nabíjecí stanicí dvě parkovací místa, tato problematika bude popsána níže v kapitole.



Obrázek 5.2: Prostorové uspořádání nabíjecích stanic a rozdělení stanovišť

5.5 Uživatelský přístup

Přístup uživatelů v případě nabíjení je klíčový zejména na parkovištích tohoto typu, kde uživatel tráví více času než je potřeba k nabití elektromobilu. Nabíjecí stanice jsou vybaveny správcovským systémem, který má přehled o všech nabíjecích stanicích. Daný systém podporuje RFID karty (JIS karty). Pomocí JIS karty se uživatel přihlásí do nabíjecí stanice a může zahájit nabíjení.

5.5.1 Správcovský systém

Tento systém má přehled o všech nabíjecích stanicích a obsahuje databázi uživatelů, kteří mohou dané stanice využívat na základě JIS karty. Celý systém je připojen do internetové sítě a uživatel má možnost zjistit dostupnost nabíjecích stanic. Systém vyhodnotí úspěšné nabití EV a pošle notifikaci pomocí aplikace nebo SMS uživateli. V případě, že se uživatel nedostaví do 30 min po obdržení SMS ke svému EV a neodpojí ho od nabíjecí stanice, může být uživatel penalizován. V případě více penalizací může být uživateli s danou JIS zakázáno nabíjení na daném parkovišti.

Z důvodu větší flexibility jsou umístěny nabíjecí stojany na pomezí dvou parkovacích míst. Druhé místo je primárně určeno pro uživatele EV, který čeká na uvolnění dané nabíjecí stanice. Čekající uživatel taktéž obdrží notifikaci o uvolnění nabíjecí stanice a musí se dostavit do 15 min a připojit svůj EV do nabíjecí stanice. V případě nedodržení daného limitu není uživatel penalizován, jen dostává přednost další čekající.

5.5.2 Stručný popis realizace

V případě realizace optimalizace parkoviště ZČU FEL pro elektromobilitu budou instalovány nabíjecí stanice. Instalace bude provedena vyvedením nového napájecího přívodu z místní DTS 22/0,4 kV (400 kVA). Vývod bude připojen kabelem AYKY 3x240+120 do rozpojovací skříně SD822/NKW2, která bude sloužit pro připojení rozvodných skříní nabíjecích stanic. V projektu byly zvoleny dvě rozvodné skříně (NS1, NS2), které budou připojeny paralelně do rozpojovací skříně kabelem AYKY 3x120+70. Rozvodné skříně budou osazeny jisticími prvky pro každou připojenou nabíjecí stanicí. Z jednotlivých rozvaděčů budou napojeny paralelně jednotlivé nabíjecí stanice kabelem AYKY 4x16. Uvedený popis je vyobrazen ve schématu zapojení na obrázku v příloze A.

6 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit projekt parkoviště Západočeské univerzity pro rozvoj elektromobility do roku 2030. V první kapitole byl vyhodnocen rozvoj elektromobility a popsány tři scénáře vývoje na základě studií Global EV Outlook 2018 [1] a Národního akčního plánu čisté mobility [4]. Nejpříznivější scénář vývoje pro účteli této práce, byl zvolen **Base Scenario** (scénář dle NAP CM). Na základě tohoto scénáře dojde během následujících 11 let k 97 násobnému růstu počtu elektromobilů v ČR, a to z současných 2620 na 255000 EVs v roce 2030.

Druhá kapitola je zaměřena na dopad rozvoje elektromobility na výrobu a spotřebu energie. Tento dopad je i v případě nejméně příznivého scénáře minimální. Podíl spotřeby elektromobilů na celkové spotřebě České republiky bude v roce 2030 pouhých 1,1 % (663 GWh). Rozvoj elektromobility nebude mít zásadní dopad na spotřebu energie. Problémem jsou místa jako parkoviště, která provozují více nabíjecích stanic v jednom čase a odbírají velký výkon. Pro tento účel nemusí být dostatečně dimenzována síť. Ve všech případech a může docházet k opotřebování síťových prvků a snižování životnosti.

V třetí kapitole byla získána důležitá data o elektromobilech a nabíjecích stanicích, ta byla použity pro simulace. Jedná se především o kapacity baterií elektromobilů, které mají průměrnou kapacitu 31 kWh v případě levnějších automobilových značek a prémiový segment 91 kWh. Průměrná spotřeba všech EVs je 16,5 kWh/100km. S pohledu nabíjecích stanic jsou pro parkoviště ZČU FEL zásadní parametry privátních nabíjecích stanic, které se vyskytují v poměru 0.9 EVSE/EV pro domácí nabíjecí stanic a 0.4 EVSE/EV v případě nabíjecích stanic v místě zaměstnání a škole.

Ve čtvrté kapitole je řešen hlavní bod práce optimalizace provozu parkoviště a simulace výkonové kapacity a zatížení parkoviště ZČU FEL. V rámci optimalizace parkoviště byl na základě scénářů vývoje zjištěn vývoj počtu EVs vyskytujících se na parkovišti a optimální počet nabíjecích stanic. Vývoj je zaznamenán v grafu na obrázku 4.1. Jak již bylo uvedeno v případě parkoviště ZČU FEL uvažujeme Base Scenario pro rok 2030. Výsledný počet nabíjecích stanic pro daný scénář je **7 EVSE** a 17 EVs v případě plné parkovací kapacity parkoviště (470 automobilů). Počet nabíjecích stanic byl použit následně v simulacích. Nejdříve byla provedena simulace výkonové kapacity parkoviště pro dva příkony nabíjecích stanic (7 a 22 kW). Bylo vyhodnoceno, že nabíjecí stanice s příkonem 22 kW je vhodnější vzhledem k tomu, že při použití námi zvoleného scénáře chování EVs (příloha B) dokážou nabíjecí stanice nabít **40 EVs** s maximálním příkonem všech nabíjecích stanic 154 kW (graf na obr. 4.4). V případě využití dynamického řízení výkonů, které bylo nasimulováno pro případ zatížení přípojného místa (DTS) a nedostatku volného výkonu pro nabíjecí stanice, dojde k omezení nabíjecího výkonu. Vzhledem k dostatečné rezervě výkonové kapacity nabíjení v případě uvedené simulace řízení výkonů, kdy zátěž dosahuje ve svém maximum 300 kW a výkon DTS je 400 kVA, dojde pouze ke snížení počtu nabitých vozidel ze 40 na 29. V případě simulace se jednalo pouze o

modelovou situací, přesto můžeme říci, že nabíjecí kapacita parkoviště při použití 7 stanic s příkonem 22 kW je dostatečná pro vývoj elektromobility do roku 2030, a to i v případě velké zátěže DTS přilehlým objektem.

Simulace výkonového zatížení na základě reálných dat návštěvnosti parkoviště porovnává denní výkonové zatížení pro tři rozdílně měsíce (červenec, říjen a leden). Největší návštěvnost je v měsíci říjen a to až 569 aut. To má za důsledek i nejvyšší výkonovou zátěž parkoviště (graf na obr. 4.6). Maximální výkon je stále výrazně menší než v případě simulace výkonové kapacity parkoviště. Parkoviště má dostatečnou rezervu pro další vývoj elektromobily a případné zvýšení návštěvnosti parkoviště, která se dá předpokládat vzhledem k rozvoji kampusu ZČU.

Poslední kapitola obsahuje projektovou dokumentaci pro realizaci nabíjecích stanic včetně rozmístění stanic do dvou nabíjecích stanovišť po 4 a 3 stanicích. Rozmístění je znázorněno na obrázku 5.2. Součástí projektu je návrh typu kabelů, realizaci připojení, stručný popis realizace, popis správcovského systému pro efektivní využití stanic a schéma zapojení (příloha A).

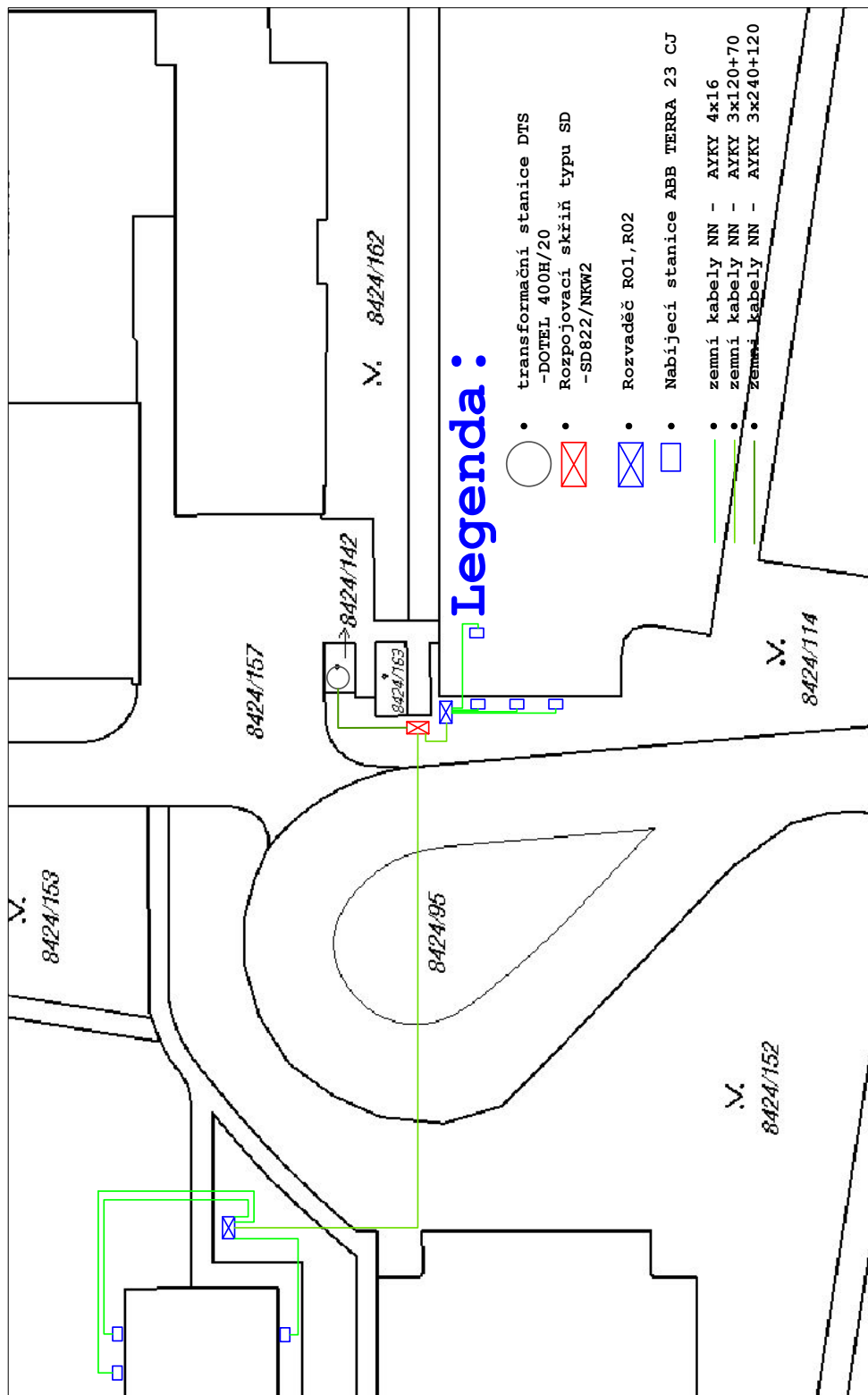
Závěrem této práce můžeme konstatovat, že parkoviště ZČU FEL je možné adaptovat na potřeby elektromobility i dle nejrychleji se vyvíjejícího scénáře vývoje se značnými rezervami nabíjecí a výkonové kapacity. Výsledkem práce je mimo jiné program, pomocí kterého lze provést obdobné výpočty a simulace pro jakoukoliv změnu ve vývoji elektromobility a lze jí případně aplikovat na jiné parkoviště (instalační program.zip přiložen digitálně na flash disku).

Seznam použité literatury

- [1] *Global EV Outlook 2018*. OECD, červ. 2018, ISBN: 9789264302365. DOI: 10.1787/9789264302365-en. WWW: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/global-ev-outlook-2018_9789264302365-en.
- [2] *Electromobility: OSHwiki*. WWW: <https://oshwiki.eu/wiki/Electromobility>.
- [3] *Stručná historie elektromobilů | Asociace pro elektromobilitu České republiky*. WWW: <http://www.elektromobily-os.cz/stru%C4%8Dn%C3%A1-historie-elektromobilu>.
- [4] *Národní akční plán čisté mobility | MPO*. WWW: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>.
- [5] P. Sadhukhan, *An IoT-based E-Parking System for Smart Cities*, ISBN: 9781509063673.
- [6] *World Energy Statistics | Enerdata*. WWW: <https://yearbook.enerdata.net/>.
- [7] *Světová výroba elektřiny stále roste | iUHLLI.cz*. WWW: <http://iuhli.cz/svetova-vyroba-elektriny-stale-roste/>.
- [8] „Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, Praha 2018“, tech. zpr.
- [9] *Průzkum pojišťovny Direct: Jak Češi jezdí? - oPojištění.cz*. WWW: <https://www.opojisteni.cz/pojistne-produkty/pojisteni-aut/pruzkum-pojistovny-direct-jak-cesi-jezdi/>.
- [10] C. Tsai-Hsiang a L. Rih-Neng, „Analysis of Charging Demand of Electric Vehicles in Residential Area“, Atlantis Press, srp. 2013. DOI: 10.2991/rsete.2013.7.
- [11] *Compare EVs & PHEVs - Price, Specs & Range*. WWW: <https://insideevs.com/compare-plug-ins/>.
- [12] *Srovnání: Audi e-tron je větší než I-Pace a EQC, ale má nižší dojezd a je pomalejší - Autobible.cz*. WWW: <https://autobible.euro.cz/srovnani-audi-e-tron-vetsi-nez-i-pace-eqc-ma-nizsi-dojezd-pomalejsi/>.
- [13] *Reálný dojezd 12 elektromobilů: Kdo dojede nejdál a kdo nejvíc lže? - Autobible.cz*. WWW: <https://autobible.euro.cz/realny-dojezd-12-elektromobilu-dojede-nejdal-nejvic-lze/>.
- [14] „V roce 2018 přibylo na českých silnicích téměř 1 000 osobních elektromobilů a plug-in hybridů“, Centrum dopravního výzkumu., Ostrava, tech. zpr., 2019. WWW: <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2018-pribylo-na-ceskych-silnicich-temer-1-000-osobnich-elektromobilu-a-plug-in-hybridu/>.
- [15] P. Zobal, „Návrh lithium-iontové baterie pro elektrickou motokáru“, dis, Západočeská univerzita v Plzni, 2014. WWW: <http://hdl.handle.net/11025/14227>.
- [16] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1.část) - Cnews.cz*. WWW: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>.
- [17] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady (2.část) - Cnews.cz*. WWW: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-2-cast/>.

- [18] *Wall Box: saving money through efficient charging | Knowledge center*. WWW: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/wallbox-saving-money-through-efficient-charging.
- [19] *Tesla Charging: The Complete Guide to Charging at Home, in Public and Autonomously | Plugless Power*. WWW: <https://www.pluglesspower.com/learn/tesla-model-s-charging-home-public-autonomously/>.
- [20] *Will the new VW electric cars use the same plug/charger as Tesla? - Quora*. WWW: <https://www.quora.com/Will-the-new-VW-electric-cars-use-the-same-plug-charger-as-Tesla>.
- [21] „PHOENIX CONTACT | Hlavní stránka Česká Republika“, WWW: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz>.
- [22] P. PŘIKRYL, „Výběr optimálního hybridního pohonu na základě hustoty dobíjecích stanic“, dis, ŠKODA AUTO Vysoká škola o.p.s., 2018.
- [23] *Nordic EV Outlook 2018*. OECD, břez. 2018, ISBN: 9789264293229. DOI: 10.1787/9789264293229-en. WWW: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/nordic-ev-outlook-2018_9789264293229-en.
- [24] *Vehicles stats*, 2019. WWW: <https://www.eafo.eu/vehicle-statistics>.
- [25] *Nové rychlodobíjecí stanice ČEZ pro elektromobily dodá ABB | Tiskové zprávy | Skupina ČEZ*. WWW: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/5470.html>.
- [26] *Siemens rychlonabíjecí stanice pro elektromobily se představí na veletrhu Amper 2018- Transport-logistika.cz - online deník o dopravě a logistice*. WWW: <https://www.transport-logistika.cz/zpravy/2571-siemens-rychlonabijeci-stanice-pro-elektromobily-se-predstavi-na-veletrhu-amper-2018.html>.
- [27] *Pro - Ensto*. WWW: <https://www.ensto.com/products/electric-vehicle-charging/pro/>.
- [28] *Nabíjecí stanice - EVlink parkoviště | Schneider Electric*. WWW: <https://www.se.com/cz/cs/product-range/60850-evlink-parkovist%C5%A1t%C4%9B/?filter=business-5-reziden%C4%8Dn%C3%AD-a-mal%C3%A9-budovy&parent-category-id=1800&parent-subcategory-id=80408>.
- [29] *Full global fast charging portfolio - EV Charging documents | ABB*. WWW: <https://new.abb.com/ev-charging/documents/full-global-portfolio>.

Příloha A - Schéma zapojení nabíjecích stanic na parkovišti FEL ZČU



Příloha B - Scénáře chování EVs (výkonové kapacity parkoviště)

auto	d [km]	Ta [h]	Tc [h]	Td [h]	SOC [-]	Bc [kWh]
4	28	7.4	0.4	7.7	0.31	30
14	279	8.2	2.1	10.2	0.68	100
4	134	10.7	1.2	11.8	0.91	30
1	113	12.3	1.1	13.4	0.76	33.2
10	226	14.1	2.3	16.3	0.66	80
11	297	16.9	3.1	19.9	0.78	90
6	144	7.2	1.1	8.2	0.87	28
14	238	8.7	2.1	10.7	0.6	100
7	98	11.3	1	12.2	0.64	35.8
12	282	12.8	2.1	14.9	0.74	100
12	160	15.5	2.2	17.6	0.49	100
13	288	7.9	2.5	10.3	0.72	80.5
3	68	10.9	0.7	11.5	0.63	25.5
12	108	12.1	1.7	13.7	0.38	100
4	60	14.2	0.7	14.8	0.49	30
4	83	11.9	0.8	12.6	0.62	30
12	243	13.2	2.9	16	0.66	100
5	131	16.7	1.3	17.9	0.85	33.5
8	26	7.4	0.5	7.8	0.25	40
11	68	8.4	1.2	9.5	0.29	90
7	70	10.1	0.8	10.8	0.5	35.8
11	287	11.9	3	14.8	0.76	90
12	121	15.4	1.8	17.1	0.4	100
9	312	17.6	2.5	20	0.94	95
5	159	7.2	1.5	8.6	1	33.5
7	104	9.1	1.1	10.1	0.67	35.8
8	125	10.6	1.2	11.7	0.65	40
4	30	12.3	0.5	12.8	0.32	30
6	75	13.4	0.7	14.1	0.53	28
9	334	14.6	4.1	18.6	0.99	95
3	94	7.9	0.9	8.7	0.81	25.5
8	196	9.4	1.6	10.9	0.93	40
6	138	11.5	1.1	12.5	0.84	28
5	105	13.1	1.1	14.1	0.71	33.5
1	51	14.7	0.7	15.3	0.43	33.2
10	299	16	2.9	18.8	0.82	80
10	185	7.4	2	9.3	0.57	80
5	56	9.8	0.7	10.4	0.45	33.5
12	383	11.1	4.1	15.1	0.95	100
11	348	15.7	3.5	19.1	0.88	90
6	146	7.2	1.1	8.2	0.88	28
5	82	8.8	0.9	9.6	0.59	33.5
11	370	16.6	3.5	20	0.93	90
8	139	8	1.3	9.2	0.71	40
3	100	9.9	1	10.8	0.86	25.5
12	236	12.1	2.8	14.8	0.65	100

Příloha C - Scénáře chování EVs (výkonového zatížení FEL ZČU)

auto	d [km]	Ta [h]	Tc [h]	Td [h]	SOC [-]	Bc [kWh]
Červenec						
14	461	8	4.5	12.4	1.03	100
7	38	13.1	0.6	13.6	0.34	35.8
Říjen						
13	436	7.4	2.1	9.4	1.02	80.5
1	156	10.1	1.5	11.5	1	33.2
11	176	12.2	2.1	14.2	0.52	90
3	18	14.9	0.4	15.2	0.28	25.5
1	140	15.8	1.3	17.1	0.91	33.2
5	20	17.8	0.4	18.1	0.26	33.5
6	147	7.4	1.1	8.4	0.89	28
7	121	8.9	1.2	10	0.76	35.8
11	295	10.7	3	13.6	0.77	90
3	71	14.3	0.8	15.1	0.65	25.5
5	49	15.8	0.6	16.4	0.41	33.5
4	116	17.1	1.1	18.1	0.81	30
14	78	7.9	1.3	9.1	0.3	100
4	51	9.6	0.6	10.1	0.44	30
4	65	10.8	0.7	11.4	0.52	30
4	83	11.9	0.8	12.6	0.62	30
12	243	13.2	2.9	16	0.66	100
5	131	16.7	1.3	17.9	0.85	33.5
8	26	7.4	0.5	7.8	0.25	40
11	68	8.4	1.2	9.5	0.29	90
7	70	10.1	0.8	10.8	0.5	35.8
Leden						
4	28	7.4	0.4	7.7	0.31	30
14	279	8.2	2.1	10.2	0.68	100
4	134	10.7	1.2	11.8	0.91	30
1	113	12.3	1.1	13.4	0.76	33.2
10	226	14.1	2.3	16.3	0.66	80
11	297	16.9	3.1	19.9	0.78	90
6	144	7.2	1.1	8.2	0.87	28
14	238	8.7	2.1	10.7	0.6	100
7	98	11.3	1	12.2	0.64	35.8
12	282	12.8	2.1	14.9	0.74	100
12	160	15.5	2.2	17.6	0.49	100
13	288	7.9	2.5	10.3	0.72	80.5
3	68	10.9	0.7	11.5	0.63	25.5
12	108	12.1	1.7	13.7	0.38	100
4	60	14.2	0.7	14.8	0.49	30