



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Posouzení výstavby dobíjecího hubu pro
elektromobily**

**Assessing the building of electric vehicle
charging hub**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Management elektrotechniky a energetiky

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

Bc. David Lukáš

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lukáš** Jméno: **David** Osobní číslo: **466142**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Posouzení výstavby nabíjecího hubu pro elektromobily

Název diplomové práce anglicky:

Assessing the building of electric vehicle charging hub

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište a analyzujte předpokládaný rozvoj e-mobility v EU a ČR
- 2) Identifikujte a popište klíčové technologické prvky nabíjecích hubů a požadavky na ně kladené
- 3) Navrhněte optimalizovaný hub pro vybranou lokalitu
- 4) Proveďte ekonomické vyhodnocení navržené varianty

Seznam doporučené literatury:

- 1) Národní akční plán čisté mobility, MPO, 2015
- 2) L. Haupt, M. Schöpf, L. Wederhake, and M. Weibelzahl, "The influence of electric vehicle charging strategies on the sizing of electrical energy storage systems in charging hub microgrids," Appl. Energy, vol. 273, Sep. 2020
- 3) H. Lin, Y. Liu, Q. Sun, R. Xiong, H. Li, and R. Wennersten, "The impact of electric vehicle penetration and charging patterns on the management of energy hub – A multi-agent system simulation," Appl. Energy, vol. 230, pp. 189–206, Nov. 2018

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Králík, Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **26.01.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **21.05.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2022**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne _____

Podpis autora práce

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáš Králík, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Útvaru čisté technologie ČEZ a.s. za poskytnutá data a zkušenosti ohledně výstavby dobíjecích stanic. V neposlední řadě bych rád poděkoval svojí přítelkyni za pomoc a podporu během studia i při psaní této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou rozvoje elektromobility a s tím spojeného dobíjení se zaměřením na inteligentní dobíjecí hub v kombinaci s vlastní výrobou a úložištěm elektřiny. První kapitola je věnována porovnání rozvoje elektromobility v České republice a Evropské unii. Nejprve jsou analyzovány vývoje počtu elektromobilů a dobíjecích stanic po současnost, následně je pozornost věnována predikcím dalšího rozvoje elektromobility. Druhá kapitola cílí na shrnutí technologií moderního dobíjecího hubu. Postupně jsou probrány technologie dobíjecích stanic, výroby a ukládání energie. Výpočetní část se zabývá návrhem optimálního dobíjecího hubu vzhledem k analyzovanému rozvoji elektromobility a současným technologiím. Ve čtvrté kapitole jsou definovány dvě posuzované varianty dobíjecího hubu a 3 možné scénáře vývoje elektromobility. Následně je nejprve na základě poskytnutých dat od ČEZ a.s. analyzováno chování zákazníků, poté jsou na základě dat o rozvoji elektromobility a chování zákazníků dimenzovány jednotlivé komponenty dobíjecího hubu. Po provedeném dimenzování a zjištění skladby dobíjecího hubu je sestaven ekonomický model, na základě kterého jsou obě varianty porovnávány. Výsledkem je doporučení, zda-li se vyplatí instalovat moderní dobíjecí hub s fotovoltaikou a bateriovým úložištěm na úkor varianty pouze dobíjecích stanic.

Klíčová slova:

Rozvoj elektromobility, predikce vývoje, dobíjecí stanice, dobíjecí hub, solární elektrárna, bateriové úložiště energie, chování zákazníků, optimalizace počtu dobíjecích stanic

Abstract

This diploma thesis deals with the topic of electromobility expansion and connected features of electric vehicle charging. The focus is on electric vehicle charging hub extended by solar power station and battery storage. Firstly, the electromobility expansion is analysed and compared between Czech Republic and European union till nowadays. Secondly, the first chapter also aims to provide the electromobility future expected growth. The second chapter provides information about technical parts of electric vehicle charging hub. Gradually are discussed problematics of EV charging stations, solar power stations and battery storages. In the practical part of this thesis, the optimal charging hub is designed based on observed electromobility expansion and current technologies. For this purpose, I had been given a set of data from CEZ a.s. company to analyse their customer charging behaviour. Also, two EV charging hub variants are introduced in three scenarios. Then the technical components can be optimised based on mentioned data and expected electromobility growth. After the exact components are determined, the economic model is developed. As a result, the optimal variant is recommended.

Key words:

Electromobility expansion, expansion prediction, EV charging station, EV charging hub, solar power station, battery storage, customer behaviour, charging station quantity optimization

Obsah

OBSAH	VI
SEZNAM TABULEK	VIII
SEZNAM GRAFŮ	IX
SEZNAM OBRÁZKŮ	X
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	XII
1 MOTIVACE	1
2 ROZVOJ ELEKTROMOBILITY	6
2.1 HISTORIE VÝVOJE ELEKTROMOBILU	6
2.2 VÝVOJ ELEKTROMOBILITY K ROKU 2020	7
2.2.1 <i>Predikce pro rozvoj elektromobility v Evropské unii</i>	7
2.2.2 <i>Současný stav a zhodnocení vývoje elektromobility v Evropské unii</i>	9
2.2.3 <i>Predikce elektromobility v České republice k roku 2020</i>	10
2.2.4 <i>Současný stav a zhodnocení vývoje elektromobility v České republice</i>	11
2.3 VÝVOJ POČTU DOBÍJECÍCH STANIC	12
2.3.1 <i>Vývoj počtu dobíjecích stanic v Evropě</i>	12
2.3.2 <i>Vývoj počtu dobíjecích stanic v České republice</i>	13
2.4 ODHAD BUDOUCÍHO VÝVOJE ELEKTROMOBILITY V ČESKÉ REPUBLICE	14
2.5 PODPORY A JEJICH VLIV NA ROZVOJ ELEKTROMOBILITY V EU	16
2.5.1 <i>Podpora koncových uživatelů elektromobilů</i>	16
2.5.2 <i>Podpora výstavby dobíjecí infrastruktury</i>	19
2.6 ROZVOJ ELEKTROMOBILITY VZHEDEM K TECHNOLOGIÍM	20
2.7 ZHODNOCENÍ VÝVOJE ELEKTROMOBILITY V EVROPĚ	21
3 TECHNICKÉ PRVKY DOBÍJECÍHO HUBU	23
3.1 TECHNOLOGIE DOBÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ	26
3.2 AC DOBÍJECÍ STANICE	27
3.2.1 <i>Sloupkové AC stanice</i>	28
3.2.2 <i>Nástěnné AC stanice</i>	29
3.3 DC DOBÍJECÍ STANICE	29
3.3.1 <i>Nástěnné DC stanice</i>	30
3.3.2 <i>Nedělená technologie DC stanic</i>	31
3.3.3 <i>Dělená technologie DC stanic</i>	32
3.4 TECHNOLOGIE ÚLOŽIŠTĚ ENERGIE	33
3.4.1 <i>Chemické bateriové systémy</i>	33
3.4.2 <i>Setrvačnickové bateriové systémy</i>	34
3.5 VLASTNÍ ZDROJ ENERGIE	35
3.5.1 <i>Solární zdroj energie</i>	36
3.6 SHRNUTÍ TECHNOLOGIÍ MODERNÍHO DOBÍJECÍHO HUBU	37
4 ÚVOD DO NÁVRHU DOBÍJECÍHO HUBU	39
4.1 VÝBĚR LOKALITY	39
4.2 POPIS VARIANT	41
4.2.1 <i>Bazická varianta</i>	41
4.2.2 <i>Varianta FVE + BAT</i>	41
4.3 POPIS SCÉNÁŘŮ	42
4.4 METODA POROVNÁNÍ VARIANT	43
4.4.1 <i>Kvantitativní porovnání</i>	43
4.4.2 <i>Kvalitativní porovnání</i>	45
5 DIMENZOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT	46

5.1	ANALÝZA PODKLADOVÝCH DAT	46
5.1.1	<i>Analýza dodané energie</i>	46
5.1.2	<i>Analýza chování zákazníků</i>	46
5.2	DIMENZOVÁNÍ POČTU A VÝKONU DS	49
5.2.1	<i>Dimenzování DS pro 1. etapu</i>	49
5.2.2	<i>Dimenzování DS pro 2. etapu</i>	53
5.3	DIMENZOVÁNÍ VÝKONU A KAPACITY ÚLOŽIŠTĚ ENERGIE	54
5.3.1	<i>Dimenzování výkonu měničů</i>	54
5.3.2	<i>Dimenzování kapacity bateriového systému</i>	55
5.4	OPTIMALIZACE VÝKONU FVE SYSTÉMU	58
5.4.1	<i>Simulace vyrobené elektřiny</i>	58
5.4.2	<i>Ekonomická optimalizace počtu panelů</i>	59
5.5	DIMENZOVÁNÍ TRAFOSTANICE	62
5.6	SHRNUTÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	62
6	EKONOMICKÝ MODEL	63
6.1	POPLATKY ZA ELEKTRINU	63
6.2	VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY	64
6.2.1	<i>Predikce množství a ceny spotřebované elektřiny</i>	64
6.2.2	<i>Předpoklady financování projektu</i>	65
6.2.3	<i>Předpoklady provozu dobíjecího hubu</i>	65
6.3	VÝDAJE JEDNOTLIVÝCH VARIANT	66
7	ZHODNOCENÍ VARIANT DOBÍJECÍHO HUBU	67
7.1	OPTIMISTICKÝ SCÉNÁŘ	67
7.1.1	<i>Bazická varianta</i>	67
7.1.2	<i>Varianta FVE + BAT</i>	67
7.2	REALISTICKÝ SCÉNÁŘ	67
7.2.1	<i>Bazická varianta</i>	67
7.2.2	<i>Varianta FVE + BAT</i>	67
7.3	PESIMISTICKÝ SCÉNÁŘ	67
7.3.1	<i>Bazická varianta</i>	67
7.3.2	<i>Varianta FVE + BAT</i>	67
7.4	DISKUSE KVANTITATIVNÍCH VÝSLEDKŮ	68
7.5	CITLIVOSTNÍ ANALÝZY	68
7.5.1	<i>CA závislosti NPV na diskontu</i>	68
7.5.2	<i>CA závislosti výdaje na 1 dodanou kWh na růstu dodané energie</i>	69
7.5.3	<i>CA závislosti NPV na výši dotace pro FVE + BAT</i>	70
7.5.4	<i>CA závislosti NPV na ceně rezervované kapacity</i>	70
7.6	DISKUSE KVALITATIVNÍCH VÝSLEDKŮ	71
8	ZÁVĚR	72
	SEZNAM LITERATURY	76
	SEZNAM PŘÍLOH	81
	PŘÍLOHA A	82
	PŘÍLOHA B	83
	PŘÍLOHA C	83
	PŘÍLOHA D	83

Seznam tabulek

TABULKA 1 - SKLADBA DOBÍJECÍCH STANIC PRO HUB OC LETŇANY	52
TABULKA 2 - OPTIMALIZOVANÉ POČTY DS PRO 2. ETAPU V OPTIMISTICKÉM SCÉNÁŘI	53
TABULKA 3 - OPTIMALIZOVANÉ POČTY DS PRO 2. ETAPU V REALISTICKÉM SCÉNÁŘI	54
TABULKA 4 - OPTIMALIZOVANÉ POČTY DS PRO 2. ETAPU V PESIMISTICKÉM SCÉNÁŘI	54
TABULKA 5 - DATA OSVITU PRO ČTYŘI ROČNÍ OBDOBÍ ZE SYSTÉMU PVGIS [68].....	58
TABULKA 6 - VÝPOČET CENY ELEKTRICKÉ ENERGIE	63
TABULKA 7 - PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH VÝDAJŮ PRO VŠECHNY VARIANTY A SCÉNÁŘE	66

Seznam grafů

GRAF 1 - PRŮMĚRNÝ VÝSTUP Z RAFINERIE PODLE TYPU PRODUKTU V OECD 2017 [2]	1
GRAF 2 – POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH EMISÍ FLOTIL S EMISNÍMI LIMITY PRO ROKY 2015, 2020 A 2030, DOPRACOVÁNO [26] 3	3
GRAF 3 - PREDIKCE VÝVOJE ELEKTROMOBILITY VZTAŽENÁ NA KUMULOVANÝ POČET VOZIDEL [12]	8
GRAF 4 - REÁLNÝ VÝVOJ ELEKTROMOBILITY V EVROPSKÉ UNII [14]	9
GRAF 5 - PREDIKCE VÝVOJE ELEKTROMOBILITY V ČESKÉ REPUBLICE [16]	11
GRAF 6 - VÝVOJ POČTU REGISTRACÍ A KUMULATIVNÍ POČET ELEKTROMOBILŮ [18, 19]	11
GRAF 7 - ANALÝZA VÝVOJE POČTU VEŘEJNÝCH DOBÍJECÍCH STANIC, PŘEPRACOVÁNO [20]	13
GRAF 8 - PREDIKCE VÝVOJE POČTU ELEKTROMOBILŮ V ČR [23]	15
GRAF 9 - ABSOLUTNÍ A RELATIVNÍ PRODEJE ELEKTROMOBILŮ V EVROPĚ, PŘELOŽENO [14]	17
GRAF 10 - POČTY A DRUHY PODPOR V JEDNOTLIVÝCH EVROPSKÝCH ZEMÍCH [28]	17
GRAF 11 - POROVNÁNÍ JEDNOSLOŽKOVÉ A VÍCESLOŽKOVÉ POLOŽKY VE SKLADBĚ CENY ELEKTŘINY PŘI ODBĚRU Z HLADINY VN24	
GRAF 12 - PRŮBĚH NAPĚTÍ A PROUDU V ZÁVISLOSTI NA DOBĚ NABÍJENÍ [42]	27
GRAF 13 - ROZDĚLENÍ ČASŮ ZAHÁJENÍ VEŘEJNÉHO RYCHLÉHO DOBÍJENÍ [23]	47
GRAF 14 - SKUTEČNÉ ROZDĚLENÍ ČASŮ ZAHÁJENÍ VEŘEJNÉHO RYCHLÉHO DOBÍJENÍ	48
GRAF 15 - POROVNÁNÍ DENNÍ UTILIZACE SPECIFICKÝCH SKUPIN STANIC S PRŮMĚREM	49
GRAF 16 - DIAGRAM DENNÍHO ZATÍŽENÍ V ROCE 2032	50
GRAF 17 - ROZDĚLENÍ TRVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DOBÍJENÍ ZA ROK 2020	50
GRAF 18 - DENNÍ DIAGRAM ZATÍŽENÍ PRO NÁHODNĚ RELATIVNÍ ČETNOSTI	57
GRAF 19 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA NPV POŘÍZENÍ FOTOVOLTAIKY NA POČTU INSTALOVANÝCH PANELŮ	60
GRAF 20 - DENNÍ BILANCE ENERGIÍ V LÉTĚ ROKU 2023	61
GRAF 21 - DENNÍ BILANCE ENERGIÍ V LÉTĚ ROKU 2025	61
GRAF 22 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA ZÁVISLOSTI NPV NA DISKONTU	69
GRAF 23 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA ZÁVISLOSTI MĚRNÉ CENY 1 kWh NA RŮSTU DODANÉ ELEKTŘINY	69
GRAF 24 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA ZÁVISLOSTI NPV NA VÝŠI DOTACE PRO FVE + BAT	70
GRAF 25 - CITLIVOSTNÍ ANALÝZA ZÁVISLOSTI NPV NA MEZIROČNÍ ZMĚNĚ CENY REZERVOVANÉ KAPACITY	71

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - SLOUPKOVÁ AC DOBÍJECÍ STANICE (VLEVO) A DOBÍJECÍ KONEKTOR MENNEKES (VPRAVO) [43, 44]	28
OBRÁZEK 2 - AC WALLBOX ABL S INTEGROVANÝMI KABELY [45]	29
OBRÁZEK 3 - DC DOBÍJECÍ STANDARDY CHADEMO (VLEVO) A CCS COMBO (VPRAVO) [46]	30
OBRÁZEK 4 - DOBÍJECÍ STANICE ABB TERRA 54 (VLEVO) A AAB TERRA 184 (VPRAVO) [49]	31
OBRÁZEK 5 - STANICE ABB TERRA HPC A VÝKONOVÉ KABINETY [52]	32
OBRÁZEK 6 - SKLADBA BATERIOVÉHO SYSTÉMU [55]	33
OBRÁZEK 7 - BATERIOVÝ KONTEJNER OBSAHUJÍCÍ MODULÁRNÍ BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ [55]	34
OBRÁZEK 8 - SYSTÉM ÚLOŽIŠTĚ SETRVAČNÍKOVÉ BATERIE [58]	35
OBRÁZEK 9 - PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ INTELIGENTNÍHO DOBÍJECÍHO HUBU [62]	40
OBRÁZEK 10 - ZAVEDENÍ SCÉNÁŘŮ V SOUVISLOSTI S PŮVODNÍMI PREDIKCEMI [23]	42

Seznam symbolů a zkratek

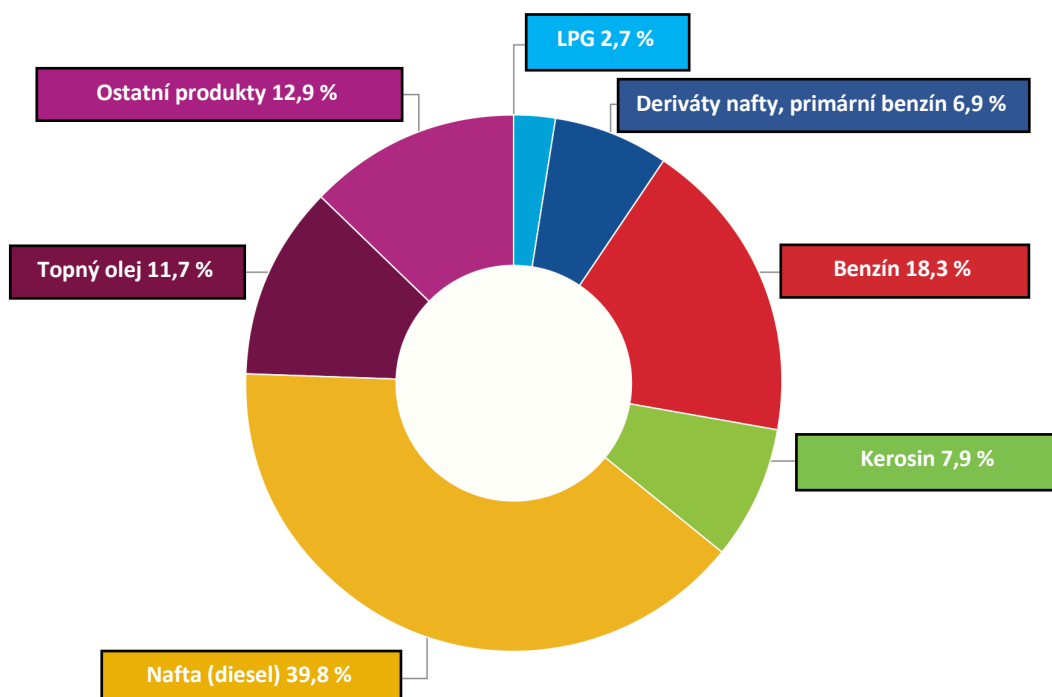
Zkratka	Význam symbolu/zkratky	Jednotka
EU	Evropská unie	-
NO _x	Oxidy uhlíku	-
CO _x	Oxidy dusíku	-
ES	Evropské společenství	-
PSA	Francouzský automobilový koncern	-
FCA	Automobilka Fiat Chrysler	-
NEDC	New European Driving Cycle (Nový evropský jízdní cyklus)	-
WLTP	Celosvětová harmonizovaná norma pro určování emisí	-
DC	Stejnoseměrné (dobíjecí stanice)	-
AC	Střídavé (dobíjecí stanice)	-
EV	Electric vehicle (elektrický vůz)	-
BEV	Battery electric vehicle (bateriový elektrický vůz)	-
PHEV	Plug-in hybridní elektrický vůz	-
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu	-
OPPIK	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost	-
EFTA	Evropské sdružení volného obchodu	-
CEF	Nástroj pro propojení Evropy	-
OPD	Operační program Doprava	-
TEN-T	Síť páteřních dopravních tahů	-
FS	Fond soudržnosti	-
ERDF	Evropský fond pro regionální rozvoj	-
SÍŤ NN	Síť nízkého napětí	-
SÍŤ VN	Síť vysokého napětí	-
OZE	Obnovitelné zdroje energie	-
POZE	Podpora obnovitelných zdrojů energie	-
OTE	Operátor trhu s elektřinou	-
CHADEMO	Charge de motion (název konektoru)	-
OC	Obchodní centrum	-
FVE	Fotovoltaická elektrárna	-
BAT	Bateriové úložiště	-
TRF	Trafostanice	-
DS	Dobíjecí stanice	-
PS	Parkovací stání	-
NPV	Čistá současná hodnota	Kč
CF _t	Cash flow (hotovostní tok) v roce t	Kč
r	Diskont	%
T _ž	Doba životnosti	Roky
N _{i, t}	Investiční náklad v roce t	Kč
N _{o, u, t}	Náklady na opravu a údržbu v roce t	Kč
N _{fix, t}	Fixní náklady v roce t	Kč
N _{var, t (Q)}	Variabilní náklady (závislé na množství) v roce t	Kč
Q	Množství	-
D _t	Dotace v roce t	Kč
C	Měrná cena elektřiny	Kč/kWh

W_t	Dodaná elektřina v roce t	kWh
$WACC$	Vážená průměrná cena kapitálu	%
r_e	Náklad na vlastní kapitál	%
E	Vlastní kapitál	-
D	Cizí kapitál	-
r_d	Náklad cizího kapitálu	%
r_f	Bezriziková míra výnosnosti	%
ERP	Tržní riziková prémie	%
β_L	Parametr systémového rizika	-
β_U	Nezadlužená β projektu	-
NDS	Normální dobíjecí stanice	-
$URDS$	Ultra rychlá dobíjecí stanice	-
UF	Ultrafast	-
P_{rez}	Příkon, který je třeba rezervovat	kW
P_{celk}	Celkový potřebný příkon	kW
$P_{měníč}$	Příkon měniče	kW
E_{celk}	Celková vyrobená energie	kWh
η_{panel}	Účinnost panelu	%
$\eta_{systém}$	In-out účinnost systému	%
S_{panel}	Plocha panelu	m ²
x	Počet panelů	-
G_b	Přímé ozáření	W/m ²
G_d	Difusní ozáření	W/m ²
G_i	Celkové ozáření	W/m ²
CA	Citlivostní analýza	-
HDO	Hromadné dálkové ovládání	-

1 Motivace

Elektromobilita v dnešní době představuje jednu z největších technických revolucí v již zaběhlých technologiích. Jejím cílem je v dopravě nahradit konvenční spalovací motor trakčním pohonem, využívajícím ke svému chodu elektrickou energii. Koncem 40. let 20. století tímto přerodem prošla například železnice, tenkrát však čistě z praktických důvodů souběžně s elektrifikací celého území [1]. Téměř 70 let poté začíná podobný proces v oblasti automobilů.

Důvodů pro tento přechod je několik. Jedním z faktorů jsou ztenčující se zásoby ropy. Automobilový průmysl byl do nedávna prakticky bezvýhradně spjatý s ropou. Doprava jako celek se na roční spotřebě ropy podílí až zhruba 70 %. [2] Ačkoliv v současné době nepociťujeme nedostatek, je nutné mít na paměti, že celosvětové zásoby ropy nejsou nevyčerpatelné. Statistická zpráva britské energetické firmy British Petroleum odhaduje, že současné zásoby ropy vystačí na příštích 50 let. Automobilová odvětví jsou tak nucena postupně hledat alternativní paliva, i přesto však celosvětová spotřeba ropy stoupá [3].



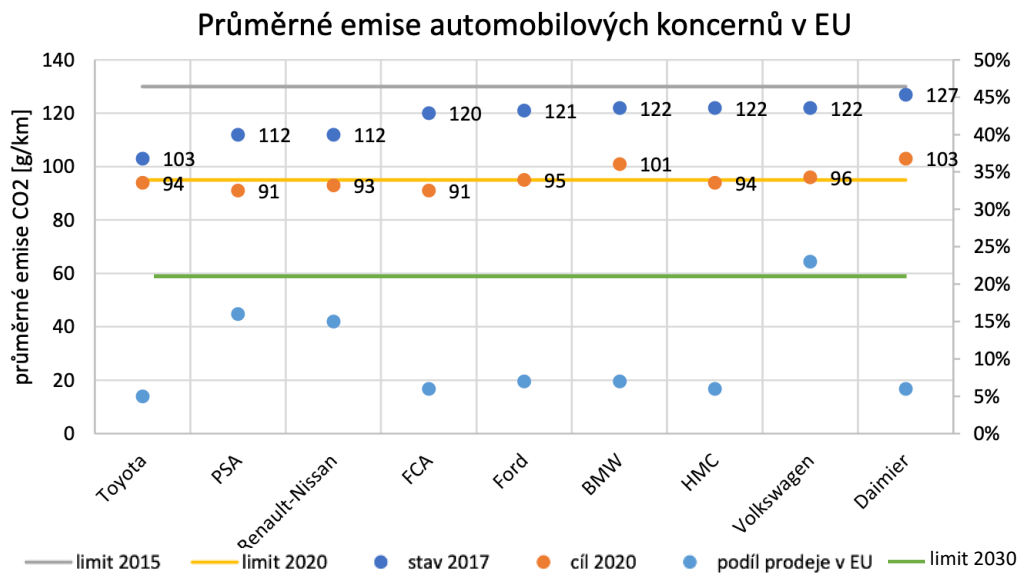
Graf 1 - Průměrný výstup z rafinerie podle typu produktu v OECD 2017 [2]

Koláčový graf průměrného výstupu z rafinerií v EU jasně dokládá, jaká je v Evropě v posledních letech poptávka po ropných produktech. Vzhledem ke stále novým objevům ropných úložišť však nedostatek ropy není hlavním důvodem přechodu na elektrické pohony.

Získáváním energie z ropy spalováním se do atmosféry uvolňují skleníkové plyny (např. oxid uhličitý, metan a oxidy dusíku NO_x) a prašné částice, čímž zhoršují průhlednost atmosféry. To způsobuje, že je záření emitované zemským povrchem atmosférou pohlcováno a částečně odraženo zpět, tudíž dochází k většímu zahřívání povrchu Země. Tento jev je označován jako globální oteplování. [8] Jak již bylo zmíněno, majoritní podíl na tomto efektu mají skleníkové plyny. Konkrétně CO₂ (oxid uhličitý) je odpovědný za 63 % globálního oteplování způsobeného člověkem a je také příčinou kyselých dešťů. [4] Oteplování planety by do budoucna mohlo znamenat například prudší klimatické změny a kvůli rozsáhlému tání ledovců také zvýšení hladin oceánů. Mimo jiné by to znamenalo zatopení pobřežních oblastí, kde sídlí stovky milionů lidí. V rámci udržení změn klimatu na udržitelné míře je proto důležité, aby byla v dopravě postupně nahrazována technologie konvenčních spalovacích agregátů motory elektrickými.

Takto zásadní a rozsáhlá technologická změna vyžaduje nemalé finanční investice. Nové technologie je vždy třeba dovyvinout, otestovat a zlevnit pro komerční využití. Následně je v továrnách potřeba investovat do nových výrobních technologií, zaškolit personál pro nové výrobní i servisní pracovní postupy. Pro žádnou z automobilových společností, kterým jejich obchodní strategie fungují velmi dobře na základě současných technologií, není výhodné, aby do vývoje nových technologií investovaly. O to víc, když je po elektromobilech stále velmi malá poptávka. Bylo tedy třeba, aby orgány činné v organizaci evropského trhu vytvořily potřebné nástroje k motivaci automobilek na evropském trhu k přechodu na alternativní paliva. Za účelem snížit emise sáhla Evropská unie po zavedení emisních kvót přes celé flotily jednotlivých automobilek, jakožto po efektivním nástroji pro podporu své emisní politiky.

V roce 2009 bylo publikováno Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 443/2009, které upravuje povolené emise nových flotil jednotlivých automobilek. Přes postupné omezování v jednotlivých letech se dostává k cílové hodnotě pro rok 2020 ve výši 95 g CO₂/km. K tomu se v roce 2019 přidala legislativa na snížení emisí CO₂ z nových automobilů do roku 2030. Ta výrobce aut zavazuje ke snížení emisí o 37,5 % u osobních automobilů, u lehkých užitkových vozů (převážně dodávky) byla tato hodnota určena na 31 % ve srovnání s emisními úrovněmi za rok 2021 (ty jsou stejné jako pro rok 2020). [5] Jednoduchým přepočtem dostáváme povolené emise pro automobily pro rok 2030, ty činí přibližně 60 g CO₂/km. Následující graf nabízí pohled na aktuální situaci v porovnání s limity pro roky 2015 a 2020.



Graf 2 – Porovnání průměrných emisí flotil s emisními limity pro roky 2015, 2020 a 2030, dopracováno [26]

Efekt těchto opatření je zejména v donucení automobilek zařazovat do svých nabídek automobily na alternativní pohony. Jak je vidět na předchozím grafu, spalovací motory v současné době mohou plnit emisní limity jen díky downsizingu, tedy snižování počtu válců a přidáváním turbodmychadel. To se značně projevuje na životnosti a poruchovosti motorů. [27] Druhou možností, jak se dostat na požadované normy, je kombinace fosilního a alternativního paliva. Vzhledem k praktičnosti, spolehlivosti i z pohledu emisí jsou tedy ideální hybridní vozy. Ty se jako takové svými provozními emisemi pohybují pod stanoveným limitem, a navíc bez výraznějších dopadů na uživatelský komfort. Poslední možností jsou vozy čistě na alternativní paliva v podobě aut na LPG nebo elektromobily. Elektromobily poskytují nulové lokální provozní emise CO₂ a jsou potřebné pro vyvážení prodeje aut se spalovacími motory. Elektrické automobily jsou tedy do budoucna slibným přínosem pro redukci emisí oxidů uhlíku a dusíku do ovzduší, jakožto i nutností pro dosažení uhlíkové neutrality do roku 2050. Pro větší názornost jsou v dalším odstavci převedeny právě emise a limity pomocí přepočtu na fosilní palivo.

Emise tradičních automobilů se například u firmy VW v loňském roce pohybovaly kolem 131,1 g CO₂/km, což odpovídá spotřebě přibližně 5 l na 100 km nafty. Hybridní vozy se v průměru pyšní emisemi o hodnotách 63,2 g/km, tedy zhruba o polovinu méně. To je reflektováno i do spotřeby nafty, zde je ekvivalent 2,3 l na 100 km. Elektromobily se s lokálními provozními emisemi sice drží na 0 g/km, důležité je však brát v potaz, že provoz elektromobilu je tak čistý, jak čistou elektřinu spotřebovává. [6] Z dat společnosti ČEZ vyplývá, že na každou vyrobenou kWh průměrně vypustí do ovzduší 460 g CO₂. Při průměrných spotřebách běžných elektromobilů pohybujících se kolem 15 kWh na 100 km se tak jedná o emise v hodnotě 69 g/km. [7] Proto jsou elektromobily správnou volbou například do měst velmi zatížených znečištěním z dopravy. Důležité je však zmínit, že i přes rostoucí poptávku po hybridech a elektromobilech se v zemích evropské unie meziročně zvýšila produkce emisí z dopravy. Unijní průměr prodaných automobilů v roce 2019 je 121,8 g/km, což je o 1,8 g více oproti roku 2018 a znamená to nárůst třetí rok v řadě. [6] Opět pro

větší názornost, průměrná spotřeba v přepočtu na naftový automobil je 4,5 l na 100 km. Nutno podotknout, že tyto spotřeby a hodnoty emisí jsou udávány u nových automobilů dle metodiky měření NEDC – New European Driving Cycle v takřka ideálních laboratorních podmínkách. Reálné spotřeby nelze přesně určit (to bude možné až s příchodem metodiky WLTP – Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), vždy záleží na stylu řízení. Jisté ale je, že tlak na automobily ze strany EU bude sílit. O to důležitější je, dle mého názoru, přechod na elektromobilitu. Vývojem elektromobility v Evropě a České republice se zabývá kapitola 2 méj práce. S rozvojem elektromobility a přechodem na elektrická auta nejsou však spojeny jen výhody v podobě nižších emisí. Do budoucna je potřeba vyřešit řadu potenciálních problémů a překážek.

Hlavním problémem, proč lidé ve větším počtu nemají důvěru v elektromobily je jejich dojezd. Nikdo nechce zůstat stát u silnice bez paliva, navíc když si elektřinu k autu v kanystru nedonese. V současné době, kdy se jen málo modelů elektromobilů dostane s reálným dojezdem přes 400 km, se tato obava jeví jako reálná pro cestování na dlouhé vzdálenosti. Pro každodenní dojíždění za prací je tento dojezd více než dostačující. Pokud mluvíme o dojezdu, je to maximální vzdálenost ujetá mezi dvěma dobitími. Svým konceptem je tedy elektromobilita vhodná spíše pro pravidelné kratší vzdálenosti. Naprosto klíčovým prvkem v celé logice elektromobility je tedy infrastruktura dobíjecích stanic.

Dobíjecí infrastruktura se skládá ze stanic soukromých a veřejných. Soukromé dobíječky většinou provozují lidé doma nebo v práci pro vlastní využití v podobě takzvaných wallboxů. Jedná se v podstatě o nástěnné chytré rozšíření domácí třífázové zásuvky. Wallbox v sobě má řídicí elektroniku, která dokáže komunikovat s palubní nabíječkou vozu. Na rozdíl od obyčejné třífázové zásuvky tak v reálném čase poskytuje dobíjecí výkon vždy dle potřeb elektromobilu standardně až do 22 kW. Soukromé stanice jsou tedy využívány především pro domácí dobíjení přes noc, kdy elektrické tarify nabízí výhodnější tarif, nebo přes den v práci.

Veřejná infrastruktura dobíjecích stanic oproti tomu poskytuje většinou výkonnější DC stanice s výkony od 50 kW. Dostupné jsou komukoliv, kdo se na nich dokáže připojit a autorizovat pro dobíjení. Jejich účelem je využití ze strany elektromobilistů při delších cestách nebo u lidí, kteří nemají své soukromé dobíjení, například majitelé elektromobilů žijící v panelových domech bez garážového stání. Velmi podstatné je umístění těchto stanic. Rychlodobíjecí stanice je důležité stavět podél páteřní dopravní sítě, která je pro delší cesty většinou využívána. Použití výkonných stejnosměrných dobíjecích stanic je zejména z důvodu potřeby rychle automobil dobít a pokračovat v cestě. Majoritní část baterií v elektromobilech se v efektivním pásmu dobíjení zvládne nabít do půl hodiny. Řešení je to bezpochyby funkční, avšak oproti tankování fosilního paliva do konvenčního automobilu stále pomalé. Mnohem horším scénářem však je obsazená stanice, kdy nečekáte pouze na své nabití, ale také na nabití zákazníka před vámi. Z tohoto důvodu jsou na opravdu vytížených dopravních tazích, na křižení důležitých silnic a dálnic nebo v metropolích instalovány stanice ve větším počtu. Poté mluvíme o dobíjecích hubech.

Dobíjecí huby z pravidla obsahují alespoň 5 a více stanic. Takovéto dobíjecí huby však mohou ve špičce vzhledem k počtu stanic vyžadovat příkon až jednotek megawattů. Pokud jsem mluvil o překážkách a možných problémech v oblasti elektromobility, je určitě důležité zamyslet se nad připraveností distribučních sítí a zdrojů na rozmach elektromobility. Co se zdrojů pro vykrytí špiček týče, lze použít například akumulaci energie v podobě baterií vždy na dané lokalitě. Ty mohou být dobíjeny přes noc, kdy je poptávka po elektřině malá nebo s využitím vlastního zdroje energie, nejčastěji fotovoltaikou. V takovém případě již mluvíme o chytrém hubu a uzavřeném systému Smart Grids.

Motivací pro výstavbu chytrých hubů je hned několik. Fotovoltaika vyrábí zelenou energii a elektromobil tak opravdu může dosahovat nulových provozních emisí díky energetickému mixu vyrobené elektřiny. Dalším důvodem je decentralizace výroby energie a schopnost pracovat v ostrovním režimu. To znamená, že v případě výpadku sítě je systém dle kapacity baterie schopen odbavit určitý počet aut a poskytnout jim energii pro dojezd. Decentralizací výroby dochází také k nižším nárokům na centrální výrobní zdroje, přenosovou soustavu a distribuční soustavu (v případě lokálního využití decentralizovaného zdroje). Právě technologií moderního dobíjecího hubu se zabývá kapitola 3 této práce.

Po položení teoretických základů o predikcích počtu elektromobilů a technických parametrech moderního dobíjecího hubu následuje praktická část, v níž se zabývám návrhem ideálního dobíjecího hubu pro elektromobily. Druhou sekcí této výpočetní části je vliv investice do technologií Smart Grids na možnost snížení rezervované kapacity pro připojení z napěťové hladiny VN. Díky výkonu bateriového úložiště a nízké soudobosti v dobíjení na všech stojanech hubu je teoreticky možno žádat o nižší rezervovanou kapacitu bez ztráty požadovaného výkonu pro všechny dobíjecí stanice. Roční rezervovaná kapacita je největší položkou na provozních nákladech u dobíjecích stanic obecně. Součástí této práce je výpočet, jak ekonomicky efektivní je toto řešení a jestli přináší užitek.

2 Rozvoj elektromobility

Motivace a důvody pro rozvoj elektromobility byly popsány v úvodu této práce. V této kapitole však bude kladen důraz přímo na rozvoj elektromobility jako takový. Nejprve se stručně zaměřím na historii a vývoj elektricky poháněných automobilů. To bude úzce souviset s vývojem elektromobility v současném komerčním provedení, které lze pozorovat v posledních letech.

Dále na základě prognóz, které byly vytvořeny k roku 2020, zhodnotím, jestli se situace vyvinula dle očekávání, a zda můžeme takovému předpovědím věřit i vzhledem k dalšímu vývoji elektromobility. I ten bude totiž velmi důležitou částí mé práce, abych v praktické části dokázal správně dimenzovat dobíjecí hub. Analýza rozvoje elektromobility bude vždy provedena v prostředí České republiky a porovnána v kontextu s celou Evropskou unií. V neposlední řadě se tato kapitola zaměří na technologický rozvoj elektromobilů s důrazem na schopnosti dobíjení a vlastnosti baterií.

2.1 Historie vývoje elektromobilu

Před analýzou současného stavu elektromobility je důležité uvědomit si, že elektromobilita není žádná novinka. Její podstata, tedy automobil poháněný elektromotorem, byla poprvé využita již na konci 19. století. [9] Společnost Electric Carriage and Wagon Company vyvinula v Americe první „komerčně“ dostupná elektrická vozidla v roce 1897. Toho času s přelomem 19. a 20. století byla elektrická auta ve Spojených státech na vrcholu. Jednu třetinu všech aut na silnici tvořila právě elektroauta. V ta vkládal velkou důvěru také T. A. Edison a podílel se na vývoji lepších baterií. [10] Na českém území touto dobou první elektromobil sestavil František Křížík. Kvůli značně omezenému výkonu a dojezdu se s rozmachem cestování díky rostoucí infrastruktuře silnic od roku 1920 začaly více prosazovat vozidla benzínová. Od tohoto momentu byl vývoj elektrifikovaných automobilů upozaděn. [9]

Kvůli vysokým cenám ropy v 60. a 70. letech 20. století začaly především americké automobilky kolem roku 1973 znovu žít naději na přerod automobilismu. Firma General Motors (GM) vyvinula vlastní funkční prototypy. Zúžitkovat je firmy dokázaly však až na sklonku tisíciletí, kdy v roce 1996 GM představilo své EV₁. [9] To se stalo prvním masově vyráběným moderním elektromobilem. Evropské automobilky však nezůstaly pozadu, v 90. letech své elektrické modely vyráběl také Citroen, Fiat, Peugeot nebo Renault. V roce 2000 pak Toyota představila historicky první hybridní automobil Toyota Prius, který kombinoval benzínový a elektrický motor. Vědci a průmyslníci se tak touto dobou znovu pokouší o zdokonalení bateriových článků. V roce 2006 se na trh dostává start-upová společnost Tesla Motors. Elektromobily zůstávají stranou až do roku 2008, od té doby jejich prodeje a využití rychle rostou. [10]

2.2 Vývoj elektromobility k roku 2020

V roce 2009 Evropský parlament svým nařízením o redukci skleníkových plynů předurčil nutnou změnu v automobilismu. Toho času tedy bylo vypracováno mnoho analýz a predikcí růstu elektromobility. Většina z nich mířila právě k letošnímu roku 2020. Zajímavý je tedy retrospektivní pohled na tyto predikce a jejich vyhodnocení v porovnání se současným stavem.

2.2.1 Predikce pro rozvoj elektromobility v Evropské unii

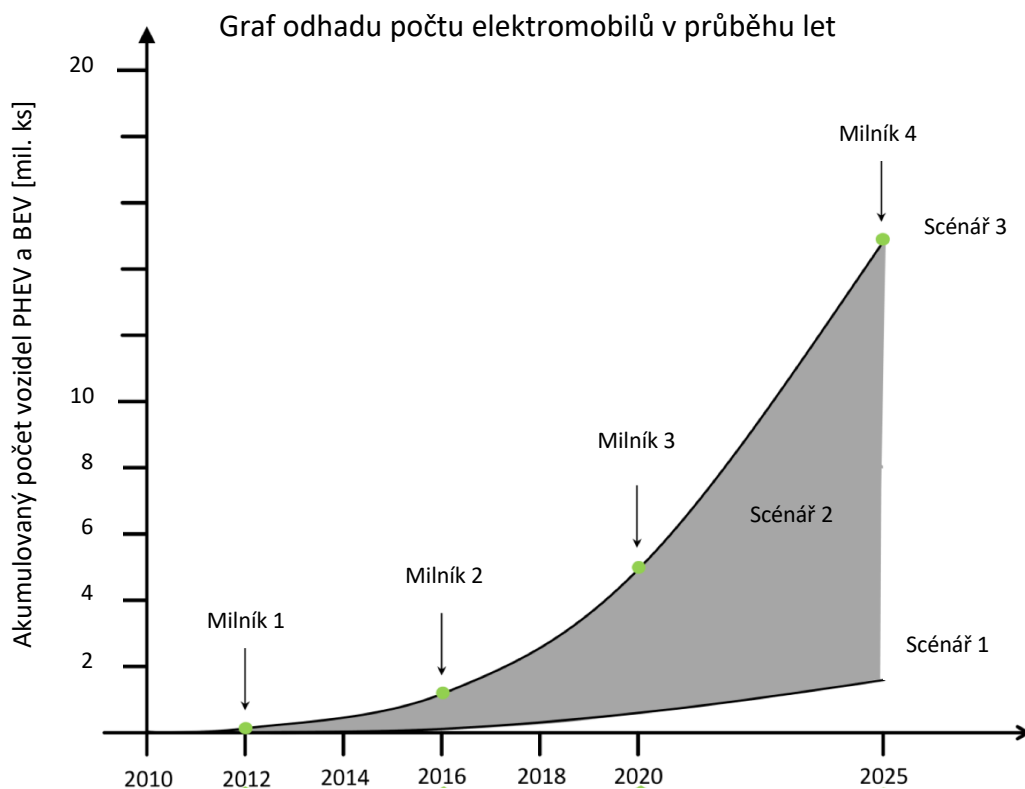
Byla vytvořena řada studií zabývajících se predikcemi ohledně rozvoje elektromobility v Evropské unii, přičemž studie ve většině případů uvádí velmi podobné údaje. Já ve své práci budu vycházet z dokumentu Evropského parlamentu. [11] V rámci této studie byly vytvořeny predikce pro 3 různé scénáře:

- 1) **Scénář 1** vycházel z předpokladů, že nebude existovat globálně závazná politika v oblasti klimatu, ceny ropy mírně vzrostou, biopaliva 2. generace zůstanou drahá apod. Jedná se tedy o nejvíce umírněný scénář. Elektromobilita se podle něj měla vyvíjet s nejpomalejším růstem. V následujícím grafu 3 je tento průběh znázorněn spodní křivkou ohraničující odhadované scénáře.
- 2) **Scénář 2** vycházel z předpokladů, že dojde k dohodě nejdůležitějších průmyslových a rozvíjejících se zemí o limitech CO₂ (podle toho budou navrženy politiky včetně pobídek a pokut). Dále předpokládal následující: neustálé zvyšování cen ropy, diverzifikaci energetické infrastruktury, energetické společnosti investují do infrastruktury dobíjení, a další. Tento scénář je v grafu 3 reprezentován šedou plochou. Míra růstu elektromobility se tak může velmi lišit v závislosti na okolnostech, jako jsou např. přijatelnost technologie pro zákazníky, atraktivita provozu apod.
- 3) **Scénář 3** byl založen na předpokladech, že se v roce 2015 uzavře globálně závazná úmluva o změně klimatu, která požaduje 50% snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030, zvýšení cen ropy na 200 USD za barel, stále více se přijímají modely sdílení automobilů, většina městských oblastí umožňuje pouze místní dopravu bez emisí apod. Tento, nejméně pravděpodobný scénář, je v grafu 3 reprezentován horní hranicí možných scénářů.

Zároveň byly pro elektromobilitu odhadnuty 4 klíčové milníky, díky kterým dokážeme popsat, v jaké fázi vývoje se elektromobilita nachází. Tyto klíčové body jsou odhadem přiřazeny přímo do grafu 3.

První milník v roce 2012 očekával, že jsou správně chápány všechny relevantní vlastnosti baterií, životnosti důležitých prvků, výkonnost a bezpečnost. Na pilotních projektech měly probíhat testovací aktivity a měly se konat akce pro zvýšení povědomí mezi lidmi. **Druhý milník** v roce 2016 očekával rozvinutější technologie pro pokročilé elektromobily. Zároveň docházelo k rozvoji dobíjecí infrastruktury. [12] **Třetím milníkem** v roce 2020 je masová

produkce plug-in hybridů a čistě elektrických vozidel. Od tohoto momentu mají baterie poskytovat dvakrát vyšší životnost a energetickou hustotu oproti roku 2009 za zhruba třetinovou cenu. Všechny důležité části elektromobilu jsou na trhu s cenou konkurence schopnou konvenčním automobilům. Elektrická síť a infrastruktura dobíjecích stanic se v tomto momentě učí velmi rychlé dobíjení (stovky kW) jen s malými ztrátami, bezkontaktní dobíjení a obousměrné toky energie (pro technologie Smart Cities). **Čtvrtý milník** v roce 2025 pak počítá s plně vyvinutou elektromobilitou v podobě možnosti ukládat do dobíjených elektromobilů přetoky v síti a v době nedostatku energie naopak elektřinu odebírat. To zahrnuje dokonalou formu pro všechny potřebné technologie a legislativu. [12]



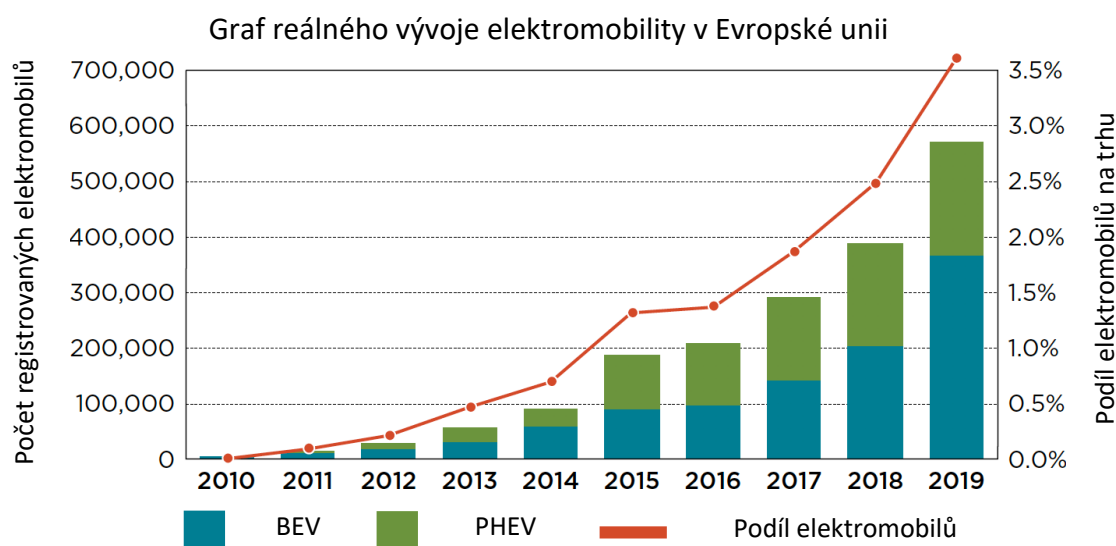
Graf 3 - Predikce vývoje elektromobility vztážená na kumulovaný počet vozidel [12]

Dále je třeba doplnit, že dle tří různých scénářů byly odhady na podíl elektromobilů na trhu s automobily 3-10 % pro rok 2020. [11] V EU se v roce 2019 prodalo 15,8 milionu automobilů. [12] Za předpokladu podobných výsledků pro rok 2020 lze tedy snadno odvodit, jaký je predikovaný počet prodaných elektromobilů pro rok 2020. Pro spodní hranici odhadu dostávám číslo přibližně 474 tisíc a pro horní hranici 1,58 milionu nově registrovaných elektromobilů. Tyto informace jsou klíčové pro možnost porovnání se současným stavem.

2.2.2 Současný stav a zhodnocení vývoje elektromobility v Evropské unii

V předchozí podkapitole 2.2.1 byla objasněna predikce budoucího vývoje elektromobility v EU a její metodika, na základě které vznikala. Naopak cílem této podkapitoly je analyzovat současný stav elektromobility v EU a zhodnotit, zda-li (a jak) se predikce naplňují. Srovnání bude provedeno jak na základě počtu registrovaných elektromobilů, tak na základě scénářů rozvoje a technické vyspělosti technologií a systémů pro dobíjení. Tato technologická vyspělost byla v předchozí podkapitole reprezentována pomocí milníků. Pro srovnání je tedy klíčové zjistit současnou situaci.

Poslední kompletní data (za celý ukončený rok) jsou k dispozici pro rok 2019, což je v podstatě ideální, neboť i můj výpočet vycházel z prodejů aut pro rok 2019. Současnou situaci nejlépe popisuje následující graf z práce *European electric vehicle outlook* založený na konkrétních datech. [14]



Graf 4 - Reálný vývoj elektromobility v Evropské unii [14]

Počet nově registrovaných elektromobilů se za rok 2019 vyšplhal na 564 tisíc. Tato hodnota odpovídá podílu 3,6 % elektromobilů na trhu s automobily. Celkově v Evropské unii dostáváme kumulativní počet přibližně 1,8 mil. elektromobilů. [14] Zároveň jde z grafu vyčíst trend, který připomíná exponenciální nárůst podobný trendu růstu v predikcích. Jak již bylo řečeno, úkolem této kapitoly je srovnat reálný vývoj s predikcemi. Srovnání provedu na několika následujících základních parametrech.

Prvním důležitým faktorem pro analýzu růstu elektromobility je celkový počet nově registrovaných vozidel. Ten, jak již bylo určeno, byl v roce 2010 odhadován na počet přibližně 474 tisíc až 1,58 milionu elektromobilů v roce 2019-2020. Reálný počet pro stejné období je 564 tisíc, což odpovídá predikci na spodní hranici odhadu. Také tempo růstu elektromobility bylo určeno správně na hodnotu přes 3 % při současných 3,6 %. S touto analýzou přímo souvisí hodnocení kumulovaného počtu vozidel. Predikovaná hodnota byla dle grafu 3 přibližně 1,3 až 5 milionů, současná situace se pohybuje kolem 1,58 mil. I tento odhad tedy patří spíše ke spodní mezi odhadnutého počtu elektromobilů. Pro vyvození závěrů z této problematiky je důležité zjistit, proč se vyplnily spíše pesimistické předpovědi, a zda-li bylo dosaženo konkrétních milníků.

Dle současných hodnot se skutečný rozvoj elektromobility nachází ve spodní až střední části grafu. To znamená, že se situace vyvíjela dle scénáře 2, ale pomaleji, než se očekávalo. Již při popisu tohoto scénáře bylo nastíněno, že vývoj elektromobility podle něj může nastat velmi odlišně v závislosti na několika faktorech. Většina z nich se vyplnila, dohoda o limitech CO₂ existuje, energetické společnosti se zabývají výstavbou infrastruktury pro dobíjení, energetická infrastruktura se oproti roku 2010 začíná diverzifikovat. Nenaplnil se jen předpoklad, že cena ropy bude stoupat. Ta oproti roku 2010 klesla zhruba na polovinu. [17] Cena pohonných hmot na tento pokles reagovala také poklesem. Za nejdůležitější faktor pro nenaplnění celého potenciálu Scénáře 2 však považuji neochotu zákazníků přejít na novou technologii.

Právě ani ta totiž zcela nedosahuje třetího milníku předpovězeného pro rok 2020. Infrastruktura dobíjecích stanic se sice učí velmi rychlému dobíjení. V současné době například Ionity provozuje dobíječky o výkonu až 350 kW a vozy Porsche Taycan disponují schopností dobíjet výkonem až 270 kW. Jedná se však o velmi nákladné kusy technologie. Nebyl tedy naplněn nejdůležitější předpoklad, a sice že technologie zlevní na konkurenceschopnou míru oproti konvenčním automobilům. Nejvíce se tento fakt stále projevuje na bateriích, které tak nabízí vysoký poměr cena/kapacita. Baterie měly dle predikce nabízet až dvojnásobnou hustotu energie za třetinovou cenu oproti roku 2009. [11]

Tento fakt identifikuji za naprosto klíčový pro nedosažení odhadovaného vývoje. Jelikož ceny baterií představují podstatnou část celého vozu, a právě o tuto vysokou cenu baterií nejsou elektromobily cenově konkurenceschopné, lidé nemají důvod na tuto technologii přecházet. Důležitou skutečností je také vyšší degradace baterie při častém rychlodobíjení. Pokud tedy rychlodobíječky snižují životnost jednoho z nejdražších komponentů elektromobilu, tento způsob dobíjení nebude dlouhodobě preferovaným (lidé ho budou využívat pouze v případech nutnosti).

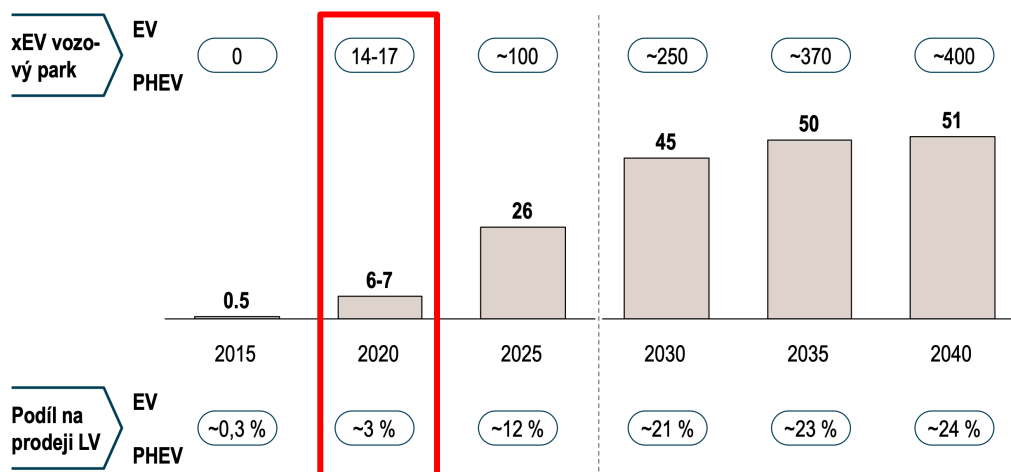
S rozvojem technologie a s obavami lidí před koupí elektromobilu souvisí ještě jedna podstatná věc, a sice hustota dobíjecí infrastruktury. Pokud nebudou mít elektromobilisté kde dobít nebo budou muset čekat fronty na dobítí z důvodu malého počtu stanic, elektromobilita bude mít špatnou pověst a další lidé se k ní přiklánět nebudou. To samé ovšem platí obráceně. Pokud nebudou zákazníci v podobě elektromobilistů, nemá cenu stavět dobíjecí stanice. Tento problém se začarovaným kruhem částečně řeší dotační tituly pro podporu elektromobility, které budou detailněji rozebrány v podkapitole 2.5.

2.2.3 Predikce elektromobility v České republice k roku 2020

Jelikož je Česká republika součástí Evropské unie, nemá již cenu zabývat se předpoklady pro predikce v globálnějším měřítku. Ty byly objasněny v podkapitole 2.2.2. Pro porovnání tedy budu vycházet z předpokladu podílu prodejů elektromobilů na trhu v České republice na spodní hranici predikce o hodnotě 3 %. Pokud opět použiji předpokladu podobného počtu nově prodaných automobilů na území České republiky jako v roce 2019, který činí 250 tisíc [15], dostanu odhadovaný 3% podíl ve výši 7500 nově prodaných elektromobilů.

Tuto prognózu pak potvrzuje analýza firmy Roland Berger [16] z roku 2014, z které také vychází například Národní akční plán čisté mobility z roku 2015 českého Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO). Ta došla ke shodnému podílu elektromobilů na trhu ve výši přibližně 3 % pro rok 2020. Jak je vidět z následujícího grafu, predikce počítá s ročním přírůstkem 6-7 tis. elektromobilů a s kumulativním počtem 14-17 tisíc čistě elektrických (BEV nebo EV) a plug-in hybridních (PHEV) automobilů.

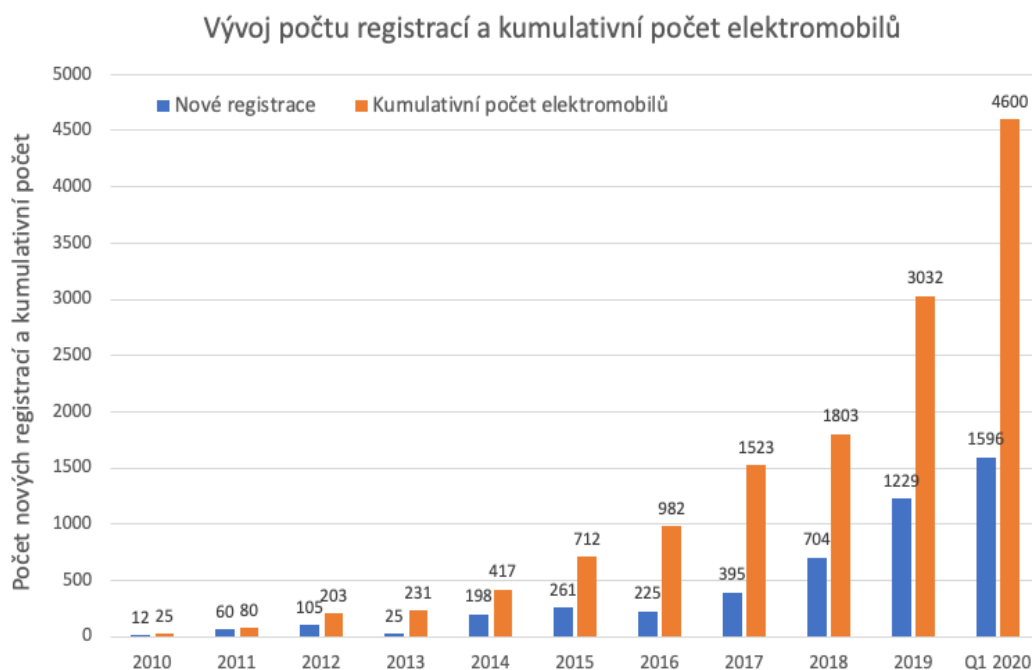
Výchozí scénář, roční prodeje xEV [tis. kusů]



Graf 5 - Predikce vývoje elektromobility v České republice [16]

2.2.4 Současný stav a zhodnocení vývoje elektromobility v České republice

Pro porovnání je znovu je nejprve nutné analyzovat současný stav elektromobility v ČR. Pro tuto analýzu vycházím z dat Centrálního registru vozidel [18] a z Ročenek dopravy ČR [19], ze kterých jsem sestavil následující graf.



Graf 6 - Vývoj počtu registrací a kumulativní počet elektromobilů [18, 19]

Z grafu 6 je vidět, že růst mezi lety 2010 až 2019 byl pozvolný a vůbec neodpovídá predikcím. V roce 2020 by se ročně mělo prodat kolem 6 000 elektromobilů. Po prvním čtvrtletí roku 2020 (Q1 2020) se toto číslo zdálo být jako reálné, ovšem toto období ještě nebylo plně zasaženo koronavirovou krizí a zpomalením až propadem ekonomiky. Nedá se tudíž s jistotou předpokládat, že prodeje budou atakovat hranici 6 000. Lze však usoudit, že za normálních podmínek by i tato predikce byla víceméně správná. Důležité je však zmínit, že i s ročním nárůstem kolem 6 tisíc by ani z daleka nebylo dosaženo akumulovaného počtu 14-17 tisíc elektromobilů, a to zejména kvůli nízkým ročním přírůstkům v letech minulých.

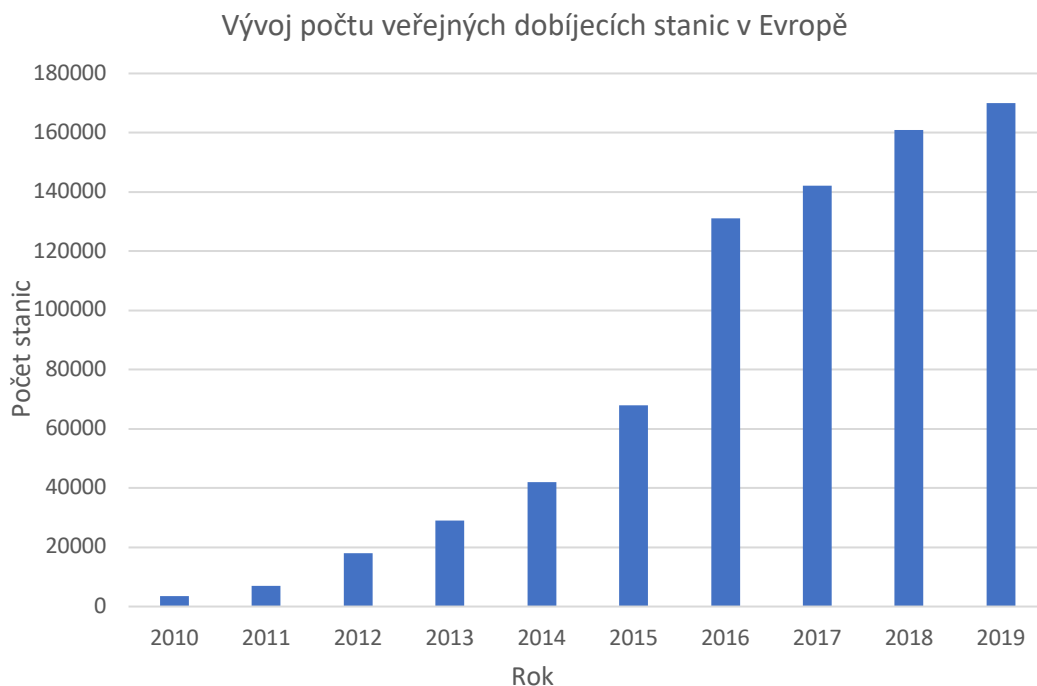
Z této analýzy vyplývá, že popularita elektromobilů v České republice roste zejména v posledních letech. Její nástup je tedy mírně opožděný a vývoj nastává dle spíše pesimistických scénářů. Hlavní důvody pro zpomalený vývoj v České republice jsou především nižší kupní síla v porovnání se západní nebo severní Evropou. Druhým důležitým důvodem je horší dotační prostředí v porovnání s elektromobilně vyspělými státy. Touto problematikou se detailně zabývá kapitola 2.5.

Pro můj technicko-ekonomický model na posouzení výstavby dobíjecího hubu bude hrát odhad budoucího vývoje klíčovou roli. Díky této kapitole jsem vyjasnil, že současnému stavu odpovídají spíše spodní hranice predikcí. Těchto poznatků využiji ve svých výpočtech.

2.3 Vývoj počtu dobíjecích stanic

2.3.1 Vývoj počtu dobíjecích stanic v Evropě

Důležitým prvkem principu elektromobility je síť dobíjecích stanic. I tuto oblast elektromobility jsem se rozhodl zpětně analyzovat. Pro popis vývoje počtu dobíjecích stanic jsem vyšel z dat německého serveru Statista.com pro Evropu. [20] Pro úplnost je nutno zmínit, že data pro Evropu obsahují data ze zemí EU28 a Turecka. Protože pro Turecko bylo započítáno celkem 832 dobíjecích stanic, což je pod rozlišovací schopností grafu, rozhodl jsem se tento údaj zanedbat a použít původní následující graf. [21]



Graf 7 - Analýza vývoje počtu veřejných dobíjecích stanic, přepracováno [20]

Z grafu 7 můžeme vyčíst podobný průběh připomínající exponenciálu jako u průběhu vývoje počtu elektromobilů. To podporuje tvrzení z podkapitoly 2.2.2, že počty elektromobilů musí růst v souvislosti s počtem dobíjecích stanic. Celkem je tedy v Evropě přibližně 170 tisíc dobíjecích stanic ke konci roku 2019. Pokud tato čísla porovnáme s původními předpoklady rozvoje elektromobility, opět se dostávám někam mezi druhý a třetí milník. Tyto milníky odpovídali letům 2016 a 2020, takže mohu konstatovat, že z pohledu infrastruktury dochází k odhadovanému vývoji.

Abych mohl provést porovnání dat pro Evropu s daty pro Českou republiku, počet stanic budu přepočítávat na počet elektromobilů. Pokud tedy uvažuji rok 2019 a počet elektromobilů 564 tis. [14] a počet veřejných stanic 170 tis. [20], dostávám průměrně 3,32 auta na veřejnou stanic.

2.3.2 Vývoj počtu dobíjecích stanic v České republice

Vzhledem k tomu, že Ministerstvo průmyslu a obchodu data o registrovaných veřejných dobíjecích stanicích publikuje nepravidelně uprostřed roku, oficiálně neexistuje mnoho dat, ze kterých by šlo vytvořit podobné průběhy vývoje počtu dobíjecích stanic v průběhu minulých let. Z tohoto důvodu jsem přistoupil pouze k číselné analýze počtu dobíjecích stanic z posledního kompletního roku. Jak již bylo řečeno, výstavba stanic by měla jít ruku v ruce s rozvojem elektromobilů. Důkazem toho bylo evropské měřítko. Z tohoto důvodu zde zavádím předpoklad, že i vývoj výstavby dobíjecích stanic bude mít podobný průběh jako vývoj počtu elektromobilů v České republice. Vzhledem k lehce opožděnému nástupu elektromobilů bude posunut směrem k současnosti (křivka připomínající exponenciálu se posune na časové ose x doprava).

Z výsledků studie zpracované Magistrátem hl. m. Prahy a dalšími [22] vyplývá, že ke konci roku 2019 bylo v České republice přibližně 470 veřejných dobíjecích stanic. Po aplikování stejného principu přepočtu aut na dobíjecí stanici dostávám pro 3 032 elektromobilů poměr 6,45. Poměr zhruba dvakrát vyšší než v případě celoevropského měřítka. Tento poměr může sloužit jako vodítko k relativně nízkému počtu elektromobilů v České republice, a také dokládá tvrzení, že se elektromobilita bez dobíjecích stanic (nebo s malým počtem) může rozvíjet relativně pozvolna. Z těchto zjištění mohu konstatovat, že v případě České republiky zaostává spíše počet elektromobilů za rozvojem počtu dobíjecích stanic. Jak bude ukázáno v kapitole věnované dotacím, pomalejší růst počtu elektromobilů může být zapříčiněn méně štědrými dotačními programy v porovnání s programy na výstavbu dobíjecích stanic. Výstavbou nových stanic se v současné době zabývají hlavně tři největší české energetické společnosti.

Lídrem v oblasti výstavby dobíjecích stanic je společnost ČEZ a.s. s více než 240 stanicemi v provozu. Z toho je více než 180 stanic rychlodobíjecích (50 kW a více). Tento údaj je platný k listopadu roku 2020. Na druhém místě se nachází PRE a.s. a za ní E.ON a.s. U posledních dvou zmíněných nelze jednoduše dohledat současný přesný počet stanic. Alespoň přibližný počet stanic (470) však bude klíčový pro dimenzování modelu ve výpočetní části této práce.

Zvyšování počtu dobíjecích bodů napříč Českou republikou má za následek především nutné zvyšování distribučních kapacit soustavy. V současné době není problémem v ČR energii vyrobit nebo přenést. Největší problémy mají provozovatelé dobíjecích stanic s připojováním do distribuční soustavy. Nejen že ne všude lze stanici připojit do sítí nízkého napětí, ještě samotný proces vybudování vlastního odběrného místa trvá z pravidla 12-18 měsíců. Z tohoto důvodu bude do budoucna více kladen důraz na výstavbu více stanic na jednom místě a připojování se do sítí vysokého napětí. Nebude tak docházet k přetěžování NN sítí a provozovatelé stanic budou moci dosáhnout na nižší cenu silové energie. Na budoucí vývoj elektromobility je nutné se dobře připravit.

2.4 Odhad budoucího vývoje elektromobility v České republice

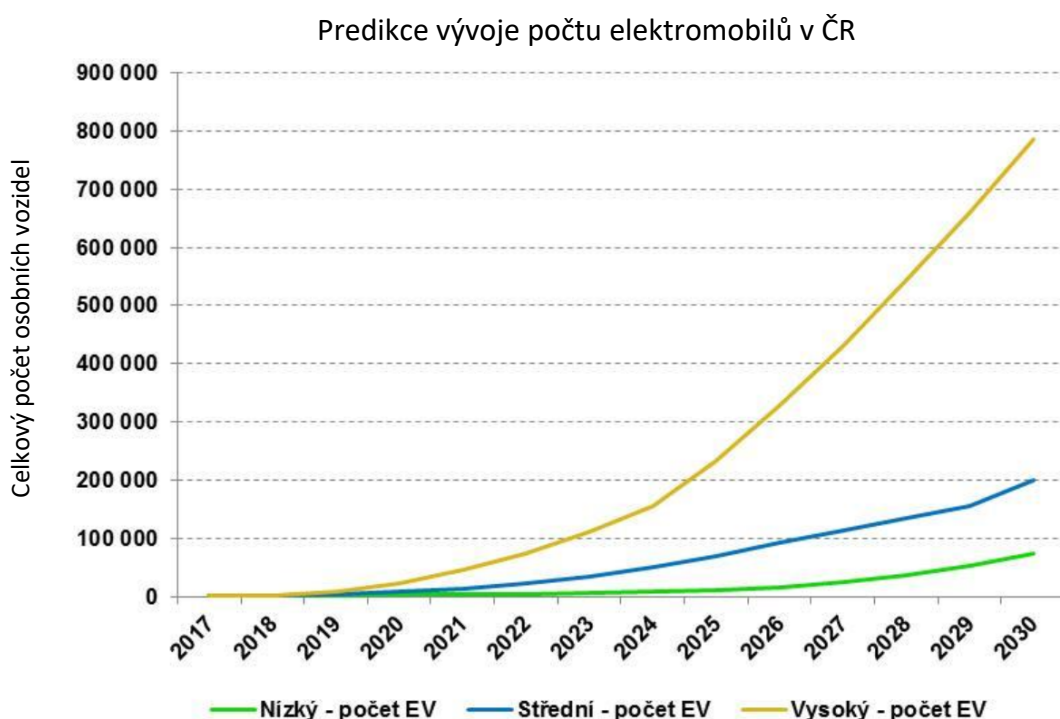
Tématice prognózy budoucího vývoje je věnována tato podkapitola. Jelikož pro posouzení dobíjecího hubu vycházím z prostředí České republiky, nepovažuji za nutné se dále zabývat předpovědí vývoje v celo unijním rozsahu. V předchozí části práce bylo názorně dokázáno, že prognózám můžeme přiřkladat určitou váhu a rozhodně se dají použít. Vždy je však nutno zvolit správný scénář a realistický úsudek. Z přechodního zkoumání tedy vyplývá, že i v této části práce je potřeba cílit na nízké až střední scénáře růstu elektromobility.

Právě různou variabilitu scénářů poskytuje studie vytvořená pro Národní akční plán pro chytré sítě: Dílčí studie – Predikce vývoje elektromobility v ČR. [23] Na základě populační predikce, zahraničních trendů, předpovědi celkového počtu vozidel a odhadu podílu elektromobilů na trhu byli vytvořeny 3 varianty očekávaných výstupů plošné projekce počtu vozidel na elektřinu. Z této práce přebírám pouze údaje o osobních automobilech, neboť právě dobíjecí stanice pro osobní automobily jsou předmětem výpočetní části této práce. Zároveň tato práce přebírá některé parametry pro predikce z Národního akčního plánu čisté mobility 2015 [24] a jeho aktualizace z roku 2019. [25]

Nízký scénář vychází ze současné situace a poučení se z chyb předchozích odhadů. Varianta zachovává současný tržní podíl EV v České republice (cca 3 %) až do roku 2023, následně přichází očekávané navýšování tohoto podílu podle původních predikcí dokumentu CAP CM pro střední scénář. Došlo tedy ke zpoždění růstu kvůli nenaplnění klíčových faktorů. Pro větší názornost, tržní podíl v nízkém scénáři v roce 2024 odpovídá tržnímu podílu středního scénáře v roce 2019. [23]

Střední scénář byl navázán na původní odhady až do roku 2030. Predikci NAP CM 2015 jsem již znázornil v grafu 5 v podkapitole 2.2.3. Dle tohoto scénáře by mělo dojít k dokonalé cenové konkurenci mezi konvenčními a elektrickými vozy někdy mezi roky 2025-2029. Z tohoto důvodu lze od roku 2030 očekávat ještě zvýšený nárůst podílu prodaných elektromobilů na trhu.

Na základě výše zmíněných predikcí pro dva různé nejvíce pravděpodobné scénáře byl sestaven následující graf.



Graf 8 - Predikce vývoje počtu elektromobilů v ČR [23]

Z grafu predikce vývoje počtu elektromobilů k roku 2030 je vidět rozmezí, ve kterém by se měly tyto počty pohybovat. Spodní mez je ohraničená počtem přibližně 75 tis. elektromobilů. Horní hranice čítá cca 175 tisíc elektromobilů. Z předchozího vyhodnocení minulých prognóz již vím, že se nechám očekávat vývoj spíše na nižší hranici tohoto rozmezí přibližně kolem 80 000 elektrických automobilů.

Pro porovnání by koncem roku 2020 mělo být v České republice (dle mého zjištění) kolem 8-9 tisíc elektromobilů, jejich počet by tedy měl za 10 let vzrůst přibližně desetkrát. Pro účely technicko-ekonomického hodnocení výstavby dobíjecího hubu však budou klíčové pouze počty BEV čistých elektromobilů. Plug-in hybridní vozy nejsou nuceny dobíjet na

veřejných stanicích z důvodu možnosti využít spalovací motor pro dojezd. Technologie vozidel PHEV navíc neumožňují dobíjení na rychlých DC stanicích (vzhledem k malé baterii hybridů by to bylo zbytečné). Počet čistých elektromobilů je dle studie [23] odhadnut v nízkém scénáři na přibližně 25 tis. vozidel, respektive 75 tis. elektromobilů ve scénáři středním. Veškerý rozvoj elektromobility však bude záviset na ceně vozidel. Není možné a ani logické, aby běžní lidé začali hromadně kupovat auta, která nabízí snížený uživatelský komfort za vyšší cenu.

Důležité tak pro rozvoj elektromobility nejsou pouze nabízené technologie nebo nátlak ze strany EU. Za klíčové považují také motivaci lidí ze strany vlád jednotlivých zemí. Následující kapitola analyzuje situaci rozvoje elektromobility v Evropě v přímé návaznosti na poskytování dotačních titulů pro zájemce o elektromobilitu.

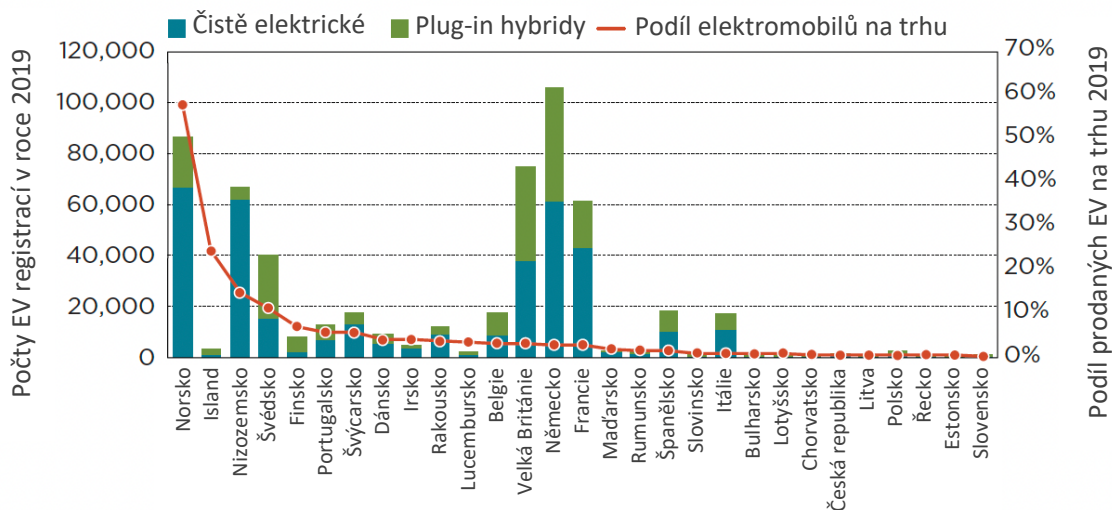
2.5 Podpory a jejich vliv na rozvoj elektromobility v EU

2.5.1 Podpora koncových uživatelů elektromobilů

Při analýze vývoje elektromobility v Evropské unii bylo uvedeno, že Česká republika oproti průměru zaostává především v poměru nově registrovaných elektromobilů. Z podrobnějšího zkoumání jsem navíc zjistil, že rozhodně není v Evropě sama. To ovšem znamená, že pro dosažení evropského průměru musí existovat země, které svými procenty prodeje tuto statistiku vyvažují. Pro pochopení různorodého rozvoje elektromobility je důležité analyzovat odlišné politiky států s největšími elektromobilními trhy v porovnání s Českou republikou.

Pro zjištění stavu jednotlivých trhů a podpor na nich dostupných jsem vyšel z práce European Electric Vehicle Factbook 2019/2020. [14] Tato zpráva byla vypracována pro země Evropské unie a členy organizace EFTA (Evropské sdružení volného obchodu). Důvodem pro zařazení členů EFTA je především vedoucí pozice Norska a Islandu v poměrných hodnotách prodaných elektromobilů na tamních trzích. Následující graf zobrazuje celkové i relativní počty registrovaných elektromobilů. Uvádět zde relativní počty je důležité především kvůli velmi odlišným velikostem trhů v jednotlivých zemích.

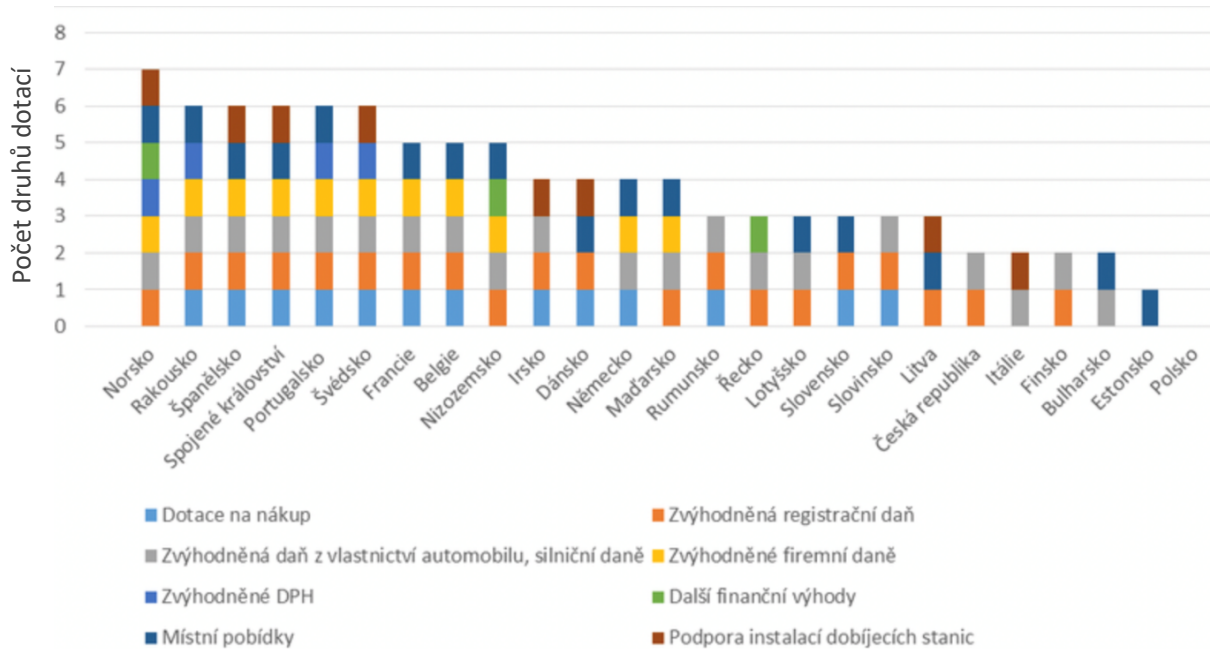
Prodeje a podíly elektromobilů na evropském trhu



Graf 9 - Absolutní a relativní prodeje elektromobilů v Evropě, přeloženo [14]

Z grafu je patrné, že mezi země s nejvyššími relativními prodeji elektromobilů patří především severské země a Nizozemsko. Důležité je také zmínit, že se jedná obecně o země s vyšším životním standardem. Abych dokázal odůvodnit, proč se elektromobilita nejrychleji rozvíjí právě v těchto zemích, rozhodl jsem se pro použití ještě doplňujícího grafu. Ten znázorňuje, jaké podpory a dotace tamější obyvatelé nákupem elektromobilu získávají.

Počty a druhy podpor v jednotlivých evropských zemích



Graf 10 - Počty a druhy podpor v jednotlivých evropských zemích [28]

Z předloženého doplňujícího grafu lze vyčíst přímou souvislost mezi poskytovanými podporami a relativními prodeji z grafu 9. Jedinou výjimkou je Finsko, u něj si vysoké procentuální prodeje elektromobilů vysvětlují vysokou životní úroveň ve spojení s moderním stylem života a trendem ostatních severských zemí. Obecně však lze tvrdit, že

elektromobilita je více rozvinutá v zemích s vyšším životním standardem. Lídrem v poskytování dotací je Norsko se sedmi druhy podpor. Zajímavý je však fakt, že jediná uvažovaná podpora, na kterou Norové nedosáhnou, jsou dotace na nákup. Naopak všechny ostatní daňové úlevy, místní pobídky (mýtné, parkování, využívání pruhů pro autobusy) a další finanční výhody (vyjmutí z daně z luxusu, prominutí dovozního cla apod.) čerpat mohou.

Velmi zajímavé řešení má například také Francie. Jejich systém „Bonus-malus“ je úzce spojený s CO₂ štítkováním vozidel. Zatímco nákup elektromobilu je podporován částkou 7 000 EUR, pořízení automobilu s vysokými emisemi je penalizováno. Tento systém ve Francii skutečně dosahuje dobrých výsledků. Lidé jsou více motivováni a průměrné emise CO₂ na automobil klesají. Při zpětném hodnocení tohoto systému však došli k závěru, že dotace jsou příliš štědré a pokuty málo striktní. Tento francouzský program tak v současné době prochází reformou. [28]

Na podobném principu dotací na koupi elektromobilu v současné době fungují také německý, britský a mnoho dalších systémů. Například německá vláda rozhodla, že od příštího roku navýší dotaci pro nákup elektromobilu až na 9 000 EUR. Na tuto částku se skládá jak německá pokladna (nově 6 000 EUR místo 3 000 EUR), tak automobilky v podobě slevy. Příspěvek od vlády lze použít jak na nákup vozu, tak na financování leasingu. V Německu tedy vzniká situace, kdy si občané mohou pomoci leasingu v podstatě pořídit nový elektromobil zadarmo. Dotace se vztahují pouze na elektromobily do 40 000 EUR, aby byla podpora směřována pouze do sektoru s nejvyšším potenciálem pro růst elektromobility. [28] Německo sáhlo po navýšení dotací také jako po nástroji pro oživení ekonomiky. Ta v současné době potřebuje stimul kvůli pandemii koronaviru.

V České republice se zatím uskutečnily pouze dotační výzvy programu OPPIK 2014-2020 [29] směrem k podnikatelům nejprve v Praze, následně mimo Prahu. Zájem byl poměrně velký a dotační tituly dokázaly uspokojit také žádosti o výstavbu soukromých dobíjecích stanic (s využitím pro firemní flotily elektromobilů a hybridů). Pokud chce Česká republika pomýšlet na změnu situace ohledně prodeje elektromobilů, měla by tyto dotace zavést také pro fyzické osoby. Otázka je, jestli je to vzhledem k současné situaci ohledně rekordního schodku státního rozpočtu vůbec možné.

Za důležité sdělení této kapitoly považuji, že rozvoj elektromobility je ve většině států přímo navázán na dotační tituly poskytované státem. Země s rozsáhlými druhy podpor mají vždy vysoké absolutní nebo relativní prodeje elektromobilů. Česká republika v tomto směru zaostává. Pro rychlejší přechod k elektromobilitě a splnění emisních limitů je třeba dotační výzvy směřovat také pro fyzické osoby. Velmi by také prospělo poskytovat dotaci v okamžiku nákupu elektromobilu, ne až zpětně několik měsíců až let po nákupu. Ani se štědrými dotačními tituly by se však elektromobilita nemohla rozvíjet bez dobíjecí infrastruktury.

2.5.2 Podpora výstavby dobíjecí infrastruktury

Rozvoj elektromobility je úzce spojen s rozvojem veřejné infrastruktury dobíjecích stanic. Firmy provozující infrastrukturu dobíjecích stanic mohou profitovat pouze za předpokladu určité minimální utilizace na nich. Té se však bez elektromobilů dočkat nemohou. Z tohoto začarovaného kruhu však dokážou najít cestu ven dotační tituly vypisované pro budování veřejných dobíjecích stanic.

V České republice jsou v současné době aktivní dva hlavní dotační tituly. Prvním je nástroj Evropské unie pro propojení Evropy CEF (Connecting Europe Facility). Ten své celkové alokované prostředky z Fondu soudržnosti rozděljuje jednotlivým státům prostřednictvím ministerstev dopravy a v České republice tomu není jinak. [30] Pro elektromobilitu byla vypsána až třetí výzva tohoto programu v roce 2016. V současné době pod tímto titulem nelze o dotace žádat. Tento program je zde uveden z důvodu stále trvajících termínů pro dokončení staveb tímto programem podpořených. Omezení staveb v tomto programu se vztahuje pouze na výstavbu podél dopravních cest označovaných jako TEN-T (Trans-European Transport Network).

Výstavba dobíjecích stanic není jediným cílem tohoto programu. Podpořeny byly také aktivity týkající se provozu dobíjecích stanic. V České republice například společnost ČEZ a.s. využila výzvu k implementaci nového IT systému dodaného izraelskou společností Driivz. [31] Důležitosti a provozu IT systému je detailněji věnována část technologické kapitoly 3.

Druhým v současné době aktivním nástrojem pro podporu elektromobility je Operační program doprava 2014-2020. Navazuje na stejně pojmenovaný program z roku 2007. Řídícím orgánem je také Ministerstvo dopravy, které tuto roli vykonává prostřednictvím Odborů fondů EU. Financování probíhá z Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF) a Fondu soudržnosti (FS). Cílem OP Doprava je podpora udržitelné dopravy a příslušné dopravní infrastruktury. [32]

Do této chvíle byly vypsány dva druhy výzev týkající se veřejné infrastruktury dobíjecích stanic pro elektromobily v tomto programu. Rozdělení je provedeno dle účelu dobíjecích stanic. Pro rozvoj dobíjecích stanic kolem silniční páteřní sítě slouží výzvy na podporu výstavby páteřní sítě dobíjecích stanic. Ta vždy preferovala výstavbu rychlejších DC dobíjecích stanic v počtu 125 ks napříč Českou republikou. V poslední (v pořadí již čtvrté) páteřní výzvě je navíc specifikace pro výstavbu 10 ultra rychlých dobíjecích stanic. O žádný z těchto titulů již není možné žádat.

Druhou možností, jak získat dotaci z OP Doprava, je zažádat o podporu na výstavbu doplňkové sítě dobíjecích stanic. Ta v první výzvě nabízela financování pouze AC dobíjecích stanic, ve druhé již umožňuje žádat také o dotace na výstavbu DC dobíjecích stanic. Horní limit žádosti je však 300 tis. Kč, což je v případě DC stanice přibližně polovina částky na pořízení. Žádosti ke druhé OPD Doplňkové výzvě navíc Ministerstvo dopravy přijímá až do 11. 1. 2021. [33]

2.6 Rozvoj elektromobility vzhledem k technologiím

V poslední dekádě došlo nejen k výraznému rozvoji kumulativního počtu elektromobilů, ale také k rozšíření počtu nabízených modelů. Díky rozsáhlému vývoji jednotlivých automobilek začínají být vozy stavěny na vlastních elektromobilních platformách. Doposud se jednalo pouze o přestavěné konvenční automobily. S použitím elektromobilních platform může být celý vůz od základů uzpůsoben potřebám elektromobilu. Největším problémem při použití konvenčních platform je umístění bateriového systému. Ten je u většiny nativních EV platform zabudovaný v podlaze mezi nápravami. Ve autě se tak šetří prostorem a zlepšují se jízdní vlastnosti vozu (těžiště je posunuto velmi nízko). [34]

Pro posouzení rozvoje elektromobilních technologií je nejprve podstatné analyzovat důležité prvky bateriových automobilů. Jelikož se technologie elektromobilů snaží vyrovnat praktičnosti a funkčnosti konvenčních automobilů, nabízí se nejprve analyzovat odlišné části těchto vozidel. Elektromobily se liší ve dvou nejdůležitějších částech, a sice v pohonné jednotce a trakční baterii. Zatímco elektromotor využívaný elektromobilem je konstrukčně mnohem jednodušší a celkově spolehlivější než jeho spalovací konkurent, největším problémem elektromobilů současnosti jsou baterie.

Právě technologii trakčních baterií je v posledních letech věnováno mnoho výzkumů a financí. Průměrná energetická hustota baterií stoupá každým rokem zhruba o 4-5 % a na trhu se objevují nová chemická složení. Cena obzvláště lithium-iontových baterií prudce klesá. Zatímco v roce 2010 stály baterie přes 1 100 \$/kWh, koncem roku 2019 se tato cena pohybovala kolem 156 \$/kWh. Tento fakt významně pomáhá konkurenci schopnosti elektromobilů, jelikož cena trakční baterie je jednou z nejdůležitějších položek ceny vozu. Díky vyšší energetické hustotě a nižší ceně lze také do aut vměstnat baterie o vyšších kapacitách za lepší cenu. Tím se zvyšuje dojezd. [35, 36] Průměrná kapacita baterií osazených ve vozidlech BEV i PHEV vzrostla oproti roku 2018 ze 37 kWh na 44 kWh. Statistika čistě elektrických BEV vozidel pak hovoří o průměru kolem 60 kWh. To opět souvisí s dostupnější cenovou relací baterií s vyšší kapacitou. [35, 36]

Další důležitou vlastností bateriového systému v autech je bezpečnost. Vzhledem k vysokému riziku dopravních nehod musí být bateriové celky vybaveny ochranou proti externím nárazům a deformacím. K nejhorším poškozením baterií dochází z boku, proto jsou elektromobilní platformy vybaveny dodatečnou ochranou kolem prahů vozu. Zároveň je bateriový celek rozdělen do mnoha oddílů tak, aby se při narušení systému minimalizovalo riziko šíření poškození. [36, 37]

Rozvoj technologie elektromobilů lze také dobře pozorovat na dobíjení. I zde můžeme dobíjení v principu rozdělit na AC a DC, přičemž významným rozvojem v posledních deseti letech prochází obě technologie. Pro dobíjení střídavým proudem je nutné, aby elektromobil obsahoval takzvanou palubní nabíječku. Ta v sobě zjednodušeně obsahuje řídicí elektroniku a usměrňovač, neboť energie musí být do baterie ukládána stejnosměrně. Výrazným vývojem prošly palubní nabíječky z pohledu možného přenášeného výkonu. Většina elektromobilů ještě pár let zpátky podporovala AC dobíjení výkonem maximálně 11

(například koncernové vozy – za příplatek), potažmo dokonce 7,3 kW (například starší modely BMW i3). Z přípojky 3x32 A tedy docházelo k využívání pouze jedné fáze. To se postupem času mění, 11 kW dobíjení se stává standardem a mezi příplatkové se řadí dobíjení 22 kW. Snad jedinou výjimkou je v tomto ohledu značka Tesla. Ta 22 kW AC dobíjení nabízí již od prvních modelů v základní výbavě. To je však vykoupeno vyšší pořizovací cenou elektromobilu.

S rostoucími výkony dobíjecích stanic, kdy neuvěřitelnější komerčně používané dobíjecí stanice dosahují výkonů 350 kW, je nutné na takové náporů energie připravit také baterie. Jelikož je nutné baterie pro správnou funkčnost a životnost udržovat na optimálních teplotách (především při dobíjení), byla do elektromobilů implementována technologie aktivního chlazení a zahřívání baterie. Chlazení je využíváno především při dobíjení vysokým výkonem. Obrovský energetický tok způsobuje zahřívání článků. Pokud by teplota stoupla nad udržitelnou mez, mohlo by dojít k poškození a následnému zahoření baterií. Naopak předehřev baterií je aplikován v chladných ročních měsících před dobíjením. Ve voze se při cestě zvolí zastávka na dobíjení a auto si na základě dojezdového času nastaví zahřátí baterie na optimální teplotu. Zahřátí baterie je nutné ze dvou důvodů. Optimální teplota baterie je nezbytná pro využití plného výkonu, a také pro ochranu vlastností a životnosti článků. I přes tyto pokročilé technologie by nemělo být DC dobíjení dlouhodobě preferováno. Samotní výrobci elektromobilů doporučují, aby uživatelé dobíjeli spíše přes AC konektory. Důvodem je zvyšující se degradace baterie a s tím spojené snižování kapacity, respektive dojezdu.

2.7 Zhodnocení vývoje elektromobility v Evropě

Druhá kapitola byla věnována rozvoji elektromobility v Evropě. Nejprve jsem analyzoval predikce elektromobility k roku 2020 pro Evropskou unii a Českou republiku. Následně jsem výsledek zkoumání minulých predikcí porovnal se současným stavem elektromobility. Nejdůležitější informací podkapitoly 2.2 je, že predikcím lze věřit. Vždy je však důležitý realistický pohled, neboť predikce se plní spíše na spodní hranici odhadů.

Výsledek podkapitoly 2.2 byl přímo uplatněn v části 2.4. V této sekci práce se zabývám odhadem budoucího počtu elektromobilů v České republice až do roku 2030. Na základě závěrů podkapitoly 2.2 a scénářů možného vývoje dle Národních akčních plánů jsem realisticky odhadl počet BEV elektromobilů v roce 2030 na 25-50 tisíc. Tento řádový odhad je důležitý pro výpočetní část práce v kapitole 5 – navržení optimálního dobíjecího hubu v podmínkách České republiky.

S dobíjecím hubem přímo souvisí také rozvoj dobíjecí infrastruktury. Touto tematikou se zabývá podkapitola 2.3. Byl v ní analyzován počet stanic jak v Evropské unii, tak v České republice. Na základě přepočtu přes počet elektromobilů jsem určil poměr elektroaut na jednu dobíjecí stanici. Ten je ke konci roku 6,45 vozů na stanici. Poměr je platný pro přibližně 3 032 elektromobilů a 470 veřejných dobíjecích stanic. Tento poměr je důležitý ukazatel na nízký počet aut v ČR, a dokazuje tak pomalejší rozvoj elektromobility oproti

unijnímu průměru. Také lze konstatovat, že v rozvoji elektromobility zaostává spíše růst počtu elektromobilů za výstavbou infrastruktury dobíjecích stanic.

Důležitou podkapitolou druhé kapitoly je část věnovaná vazbě elektromobility na různé druhy podpor. Zde bylo vysvětleno, že bez dodatečné iniciativy úřadů nemůže elektromobilita vzkvétat. Dobíjecí stanice jsou převážně stavěny z investičních dotací z fondů Evropské unie. Bylo ukázáno, že v České republice lze dotace pro veřejné dobíjecí stanice získat z dotačních titulů CEF a OP Doprava. Dále bylo v této kapitole ukázáno, jak množství a výše podpor pro koncového zákazníka může ovlivňovat trh s elektromobily v dané zemi. Zatímco Česká republika má podíl prodaných elektromobilů pod celoevropským průměrem, elektromobilně vyspělejší státy drží vysoké prodeje především díky dotacím. V podkapitole 2.5 bylo také přehledně demonstrováno, jaké dotace mohou čerpat majitelé elektromobilů v jednotlivých zemích. Závěr této části je tedy takový, že by se české úřady měly více zaměřit na provozní i investiční podpory na pořízení elektromobilu, pokud se má v České republice elektromobilita rozvíjet rychleji.

Klíčovým prvkem dobíjecí infrastruktury bude do budoucna jednoznačně vyřešit také problém dobíjení u lidí, které pro svůj automobil nemají vlastní parkování. Soukromá stání s vlastním dobíjecím bodem představují nejpohodlnější a nejlevnější řešení dobíjení elektromobilu. Otázkou bude řešení dobíjení na velkých sídlištích. Postavit tisíce dobíjecích bodů napříč ulicemi u většiny parkovacích míst nebude lehký ani levný úkol. I v tomto směru bude důležité zajistit potřebnou legislativu, podporu obyvatel a dostatek financí.

S rozvojem elektromobility souvisí také technický vývoj elektromobilních komponent. Podkapitola 2.6 se věnuje především nejdůležitější části elektromobilu – bateriím. V této kapitole je vysvětleno, proč je důležité přejít na novou elektromobilní platformu, jak se vyvíjí rozvoj baterií a podobně. Stěžejní část podkapitoly je zaměřena na rozvoj baterií z pohledu dobíjení. Důležitý závěr plynoucí z této kapitoly je, že dobíjet lze rychleji a rychleji, ovšem za cenu vyšších nároků na baterie a jejich chlazení. Časté rychlé dobíjení pak navíc více degraduje baterii a snižuje její životnost. Tato více technicky zaměřená část není poslední podobnou kapitolou, neboť další část práce se zabývá technickými prvky moderního elektromobilního hubu.

3 Technické prvky dobíjecího hubu

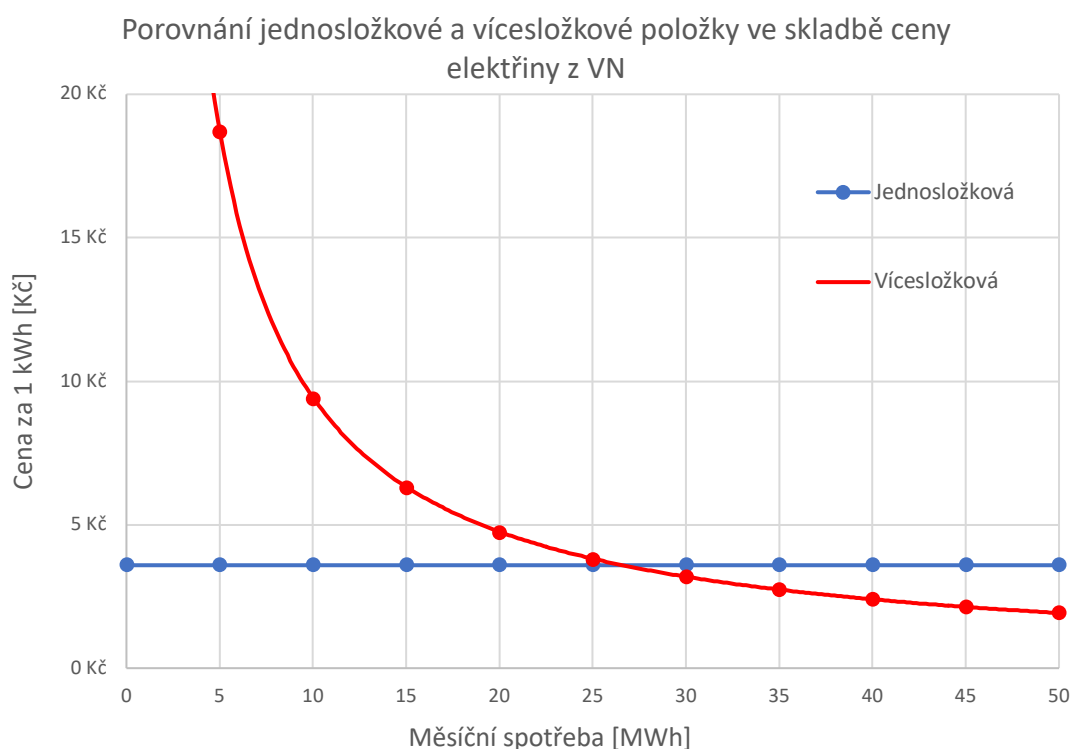
Z předchozí kapitoly lze usoudit, že se elektromobilita začíná dostávat do fáze rychlejšího růstu počtu vozidel. Jak již bylo vysvětleno, důležité je udržet tempo také v rozvoji počtu veřejných dobíjecích stanic. Do roku 2020 bylo prioritou zahušťovat již vybudovanou síť dobíjecích stanic a posilovat počty dobíjecích bodů na jednotlivých dopravních tazích (dle přepravní kapacity silnice). Výstavba tedy probíhala převážně po jedné až dvou stanicích na lokalitu.

S rokem 2021 a vyšší poptávkou po dobíjení se tento způsob výstavby mění. Zákazníci si v elektromobilních komunitách a fórech čím dál více stěžují na obsazenost dobíjecích stanic. Řešení tohoto problému musí být vždy konkrétní pro danou situaci. Obecně lze však říct, že pokud se s tímto problémem potýkají stanice ve městě, pak lze v krátké dojezdové vzdálenosti postavit dobíjecí stanice na dalších lokalitách. Připojování stanic do sítě po jedné tedy většinou nedělá potíže. Opačným případem je umístění stanic na vytížených silničních tazích.

Vytížené silnice a dálnice většinou neprocházejí skrze města, maximálně leží například na okraji. Pokud se stane, že je dobíjecí stanice na takovém místě obsazena, dojezdový čas a vzdálenost k další dobíjecí stanici se velmi protahují, což přináší další nepříjemnosti. Na těchto lokalitách je tedy třeba využít připojení více dobíjecích stanic. Takovému shromáždění více DS na jednom místě říkáme dobíjecí hub. Počet stanic není přesně definovaný (ani to není podstatné), avšak mezi provozovateli dobíjecí infrastruktury se běžně mluví o hubech od počtu pěti stanic. Více než na počtu stanic totiž záleží na jejich výkonu. V České republice standardně používaná rychlodobíjecí stanice ABB Terra 54 vyžaduje příkon 77 kW. Pět těchto stanic na jednom místě tedy potřebuje příkon 385 kW a zcela určitě připojení do napěťové hladiny VN. S tím jsou spojené nemalé náklady na připojení, náklady na vybudování trafostanice apod., což snižuje potenciální rentabilitu.

Na druhou stranu se díky velkoodběru provozovatel takového hubu dokáže dostat na nízké ceny silové elektřiny, což může umožnit potenciální profit. Problém připojení stanic do sítě VN je však skryt ve skladbě ceny elektřiny. Ta se skládá ze tří hlavních složek – regulované ceny, neregulované ceny a daně. Neregulovaná část ceny obsahuje platbu za silovou elektřinu (variabilní) a stálou platbu (fixní). U regulované složky ceny energie, která se účtuje za službu provozovatele sítě distribuční soustavy, si může subjekt zúčtování vybrat mezi jednosložkovou a vícesložkovou cenou. Jednosložková cena je kompletně variabilní a skládá se pouze z jedné složky. Její výše je určena Energetickým regulačním úřadem pro každého distributora. Například pro distribuční území ČEZ Distribuce a.s. je tato částka určena na 3 587,30 Kč/MWh. [38] Jednosložková varianta regulované ceny je ideální, pokud se na lokalitě odebírá menší množství elektrické energie. Zajímavostí je, že tato cena klesla na téměř polovinu oproti roku 2019. V té době byla na 7 042,41 Kč. [39] Oproti tomuto roku tedy dovoluje výhodněji spotřebovat větší množství energie než v roce 2019.

Druhou možností regulované části je vícesložková cena energie. Ta se skládá především z platby za rezervovanou kapacitu. Tuto fixní částku je nutno platit, i když se žádná energie neodebírání. Kvůli této vlastnosti není vícesložková cena vhodná pro malé odběry energie. Vysoká fixní částka se totiž rozprostře do nízkého počtu odebraných kWh a výsledná cena za odebranou kWh je vysoká. Poplatek za rezervovanou kapacitu se platí měsíčně v jiné výši pro každého z distributorů. Pro distribuční území společnosti ČEZ Distribuce a.s. je platba stanovena na 176 388 Kč/MW. [38] Pokud bude navíc rezervovaná kapacita přesažena (měří se na základě čtvrt hodinového maxima), následují nemalé pokuty. Kromě platby za rezervovanou kapacitu vícesložková cena obsahuje také variabilní cenu za použití sítí vysokého napětí. Ta se účtuje za počet odebraných MWh znovu dle konkrétního distributora. Dále je zde složka ceny na podporu obnovitelných zdrojů energie OZE, cena za činnost operátora trhu OTE a případná penále za nedodržení rezervované kapacity nebo účinníku. [38] Následující graf porovnává obě varianty regulované složky ceny elektřiny z hladiny VN pro 5 dobíjecích stanic (celkem 385 kW).



Graf 11 - Porovnání jednosložkové a vícesložkové položky ve skladbě ceny elektřiny při odběru z hladiny VN

Graf byl sestaven na předpokladech, že je pro účely porovnání použito stejných parametrů neregulované složky a zároveň je porovnání provedeno ve stejném daňovém prostředí. Proto lze tyto parametry zanedbat. Z grafu je vidět, že je regulovaná složka v distribučním území ČEZ nastavená tak, že se do měsíčního odběru přibližně 26 MWh vyplatí jednosložková cena regulované složky. Pro spotřebu vyšší než 26 MWh je naopak výhodnější vícesložková varianta.

Specifika dobíjecích stanic jsou vysoký výkon (nutná vysoká rezervovaná kapacita) a nejisté využití. Vždy je tedy nutno zvolit správnou variantu regulované složky ceny elektřiny podle spotřeby na lokalitě a jejím vytížení. Využití dobíjecích stanic je totiž čistě na zákaznících. Může se tedy stát, že provozovatel kvůli vysokému fixnímu poplatku a nízkému využití stanic energii nakoupí za desítky korun a následně elektřinu prodá s velkou ztrátou zákazníkovi za zlomek ceny. To samozřejmě nikdo nechce. Dnes se ceny dobíjení pohybují mezi čtyřmi až patnácti korunami v závislosti na tarifu. [40] Druhým extrémním případem je obsazení všech dostupných dobíjecích konektorů a využití plného výkonu stanic. Byť by taková situace nemusela nikdy nastat, je potřeba na ni myslet. Tato situace by však nemusela za celou životnost dobíjecího hubu vzniknout a rezervovaná kapacita by se platila zbytečně. Jak tedy takovou situaci řešit?

V principu existují dvě řešení. Obě řešení mají výchozí pozici ve snížené rezervované kapacitě. Pro hub pět stanic stačí tedy rezervovat například 250 kW místo již zmíněných 385 kW. První možnost využívá chytrého řízení stanic prostřednictvím ovládacího systému. Jejich výkon lze omezit softwarově tak, že pokud se v jeden okamžik připojí více elektromobilů, systém ví, že může pracovat pouze s přiřazeným příkonem a ten dle potřeby v reálném čase distribuuje mezi stanice. Tento koncept je vhodný především na méně vytěžované lokality. Jeho nevýhodou je zpomalování rychlosti probíhajících dobíjení, což snižuje uživatelský komfort a může potenciálně odrazovat zákazníky.

S omezováním výkonu nemá v ideálním případě problém druhé řešení. To je založeno také na snížené rezervované kapacitě, dobíjecí stanice jsou však navíc doplněny systémem ukládání energie. Úložiště dodává výkon primárně v případě, kdy se na dobíječkách sejde tolik zákazníků, že by byla překročena rezervovaná kapacita. Instalace například bateriového úložiště znamená vynaložení dodatečných vynaložených prostředků. Úvaha je taková, že by při správně zvolených parametrech úložiště mohlo dojít k ekonomickým úsporám v projektu při zachování výkonových parametrů dobíjecího hubu v každém okamžiku. Během životnosti projektu lze tímto způsobem ušetřit na roční rezervované kapacitě, neboť chybějící výkon ze sítě je nahrazován výkonem baterie.

Druhým aspektem úspor vzhledem k použití baterie může být šetření na silové elektřině. Její cena je pro velkoodběratele určována cenou elektřiny na burze pro každou hodinu. Přirozeně větší spotřeba je během dne. V tuto dobu je zpravila vyšší cena elektřiny způsobena vyšší poptávkou. Během dne je také jednoznačně vyšší poptávka po výkonném dobíjení. V důsledku toho je zákazníkům u stojanů dodávána dražší silová elektřina. Systém ukládání energie však přichází s možností akumulovat levnou noční energii a následně ji využít pro dobíjení ve dne. I tímto způsobem lze na provozu ušetřit.

Na vhodných místech lze do chytrého dobíjecího hubu dokonce začlenit také lokální výrobu elektrické energie. Uvažovat lze ideálně o solárních panelech, neboť ty mohou vyrábět elektřinu pouze přes den. Právě tato doba je, jak již bylo řečeno, výkonově nejnáročnější. Naopak v nočních hodinách, kdy fotovoltaická elektrárna vyrábět nemůže, je vyžadováno ukládání energie ze sítě.

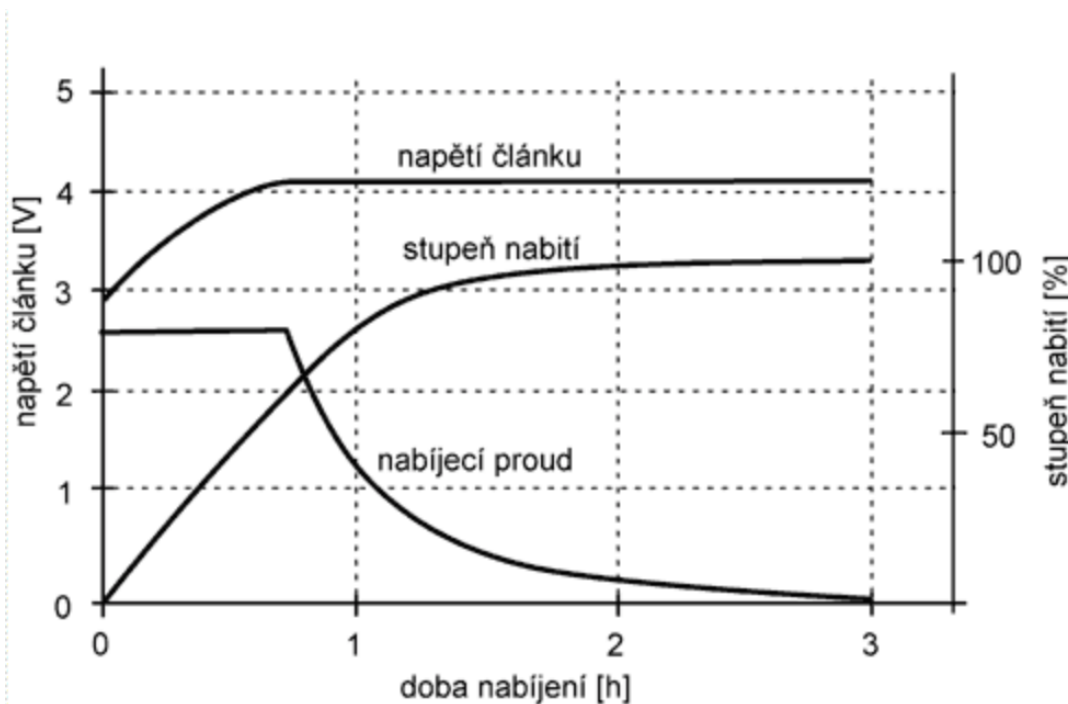
V úvodu této kapitoly byl popsán technologický i ekonomický princip, kterým se tato práce věnuje. Cílem je navrhnout ideální dobíjecí hub pro elektromobily. Za tímto účelem je nezbytné popsat jednotlivé technické komponenty, které lze pro výstavbu uvažovat. Rozborem klíčových technických částí výstavby dobíjecího hubu se zabývá tato třetí kapitola.

3.1 Technologie dobíjení elektromobilů

Obecně existují tři hlavní principy, pomocí kterých lze do elektromobilu doplňovat energii. Jediným dnes běžně používaným řešením jsou stacionární dobíjecí stanice, ke kterým je auto připojováno kabelem. Druhou možností jsou indukční dobíječky. Ty se používají buď na soukromých parkovacích stáních nebo na silnici v běžném provozu. V prvním případě je indukční deska umístěna v garáži, elektromobil nad ni najede do správné pozice a zahájí se přenos energie. Dobíjení je realizováno například přes noc při parkování. Touto technologií se v současné době zabývá především BMW a Mercedes. Naopak druhá technologie umožňuje dobíjet vozidlo za jízdy. Označuje se jako dynamické indukční dobíjení. Technologie dobíjecích cívek je umístěna ve vozovce a auto je dobíjeno průběžně během jízdy. V Evropě jsou tyto projekty ve fázi testování a například Švédsko nebo Velká Británie na ně poskytují různé dotační tituly. [41]

Třetí možností, jak dodat elektromobilu energii potřebnou k jízdě, je výměna elektrolytu (popřípadě celé baterie). I tato zajímavá technologie je ve fázi testování. Pokud by se podařilo vše odladit, rychlost doplnění energie by byla srovnatelná se spalovacími motory. Právě v tomto parametru elektromobily výrazně zaostávají za konvenčními modely. Jelikož je většina těchto technologií teprve ve fázi testování a jsou velmi nákladné, nebudou dále uvažovány pro možnost začlenění do dobíjecího hubu.

Na rozdíl od předchozích zmíněných technologií ve fázi testování je další důležitá technologie dobíjení již běžně využívána. Jedná se o technologii aktivně řízeného dobíjení. Ta spočívá na obousměrné komunikaci mezi dobíječkou a řídicí jednotkou elektromobilu. Pomocí této technologie je optimalizován nabíjecí výkon dodávaný stanicí. Toto opatření bylo zavedeno kvůli zvyšování životnosti baterií a předejití nebezpečným stavům baterie. Při nabíjení jsou baterie elektromobilu namáhány. Bateriím obecně nejvíce škodí úplné vybití a úplné nabíjení. Jedná se o stavy, kdy je maximálně vytěžena kapacita celé baterie. Z důvodu ochrany baterie a vyvarování se nebezpečným stavům je dobíjecí výkon stanic v určitých rozmezích omezen. Jedná se především o rozmezí od úplného vybití do 20 % kapacity baterie a také o rozmezí 80–100 % kapacity článků. Na následujícím grafu je vyobrazen průběh dobíjení baterie v čase. Graf potvrzuje, že nevyšší využití výkonu dobíjecí stanice je právě v rozmezí od 20–80 %. Z grafu lze také vyčíst, že dobíjení posledních 20 % trvá přibližně stejně dlouho jako dobití od 0–80 %. [42]



Graf 12 - Průběh napětí a proudu v závislosti na době nabíjení [42]

Naprostě klíčovým prvkem dobíjení elektromobilů jsou tedy dobíjecí stanice. Pro účely návrhu ideálního dobíjecího hubu je třeba stanice rozdělit dle jejich předpokládaného využití. Všechny stanice budou sloužit pro veřejné účely, z tohoto důvodu budou vynechány technologická řešení domácího dobíjení. U veřejných stanic je důležité odlišit dobu, kterou je u nich ochoten zákazník strávit. Z pohledu stanic je tedy důležitý dobíjecí výkon. Stanice rozlišujeme jako tzv. normální, rychlé a ultrarychlé. To souvisí především s tím, jaký výkon je stanicí dodáván. Pro účely této práce tedy provedu klasické rozdělení dle druhu dodávaného proudu. Podle tohoto parametru mohu stanice rozdělit na stanice dobíjecí AC střídavým a DC stejnosměrným proudem.

3.2 AC dobíjecí stanice

AC dobíjecí stanice neboli stanice dodávající střídavý proud, jsou označovány jako normální. Normální dobíjecí stanice jsou ve své podstatě pouze chytré zakončení kabelů o výkonech domácích zásuvek. Jejich výkon se tedy pohybuje od 3,7 kW do 22 kW. AC stanice mají oproti standardním zásuvkám zásadní výhodu. Obsahují totiž řídicí elektroniku, která během dobíjení komunikuje s autem. Vozidlo díky tomu dokáže optimalizovat nabíjecí proud tak, aby byla baterie co nejméně namáhána. Díky tomuto opatření lze prodloužit životnost baterie. Nevýhodou AC dobíjení je paradoxně střídavý proud. Trakční baterie elektromobilů jsou uzpůsobeny k ukládání stejnosměrné energie, z tohoto důvodu je nutné do elektromobilu instalovat tzv. palubní nabíječku. Ta obsahuje usměrňovač, aby dobíjecí proud mohl být usměrněn pro uskladnění do baterie. Nevýhodou palubních nabíječek je, že kvůli nim je dobíjecí výkon velmi omezen. Maximální AC výstupní výkon současných dobíječek je 22 kW. Na trhu je však velmi málo vozů, jež disponují palubní nabíječkou, která by tento výkon dokázala přenést. Existují vozy, které dokážou nabíjet proudem dokonce jen

z jedné fáze. I když je tedy na lokalitě instalováno AC dobíjení 22 kW, reálně kvůli palubní dobíječce využijí pouze 7,3 kW. Takto nízký výkon značně prodlužuje čas potřebný k dobití baterie.

Doba nabíjení záleží také na kapacitě dobíjené baterie. Obecně však lze říct, že AC dobíjecí stanice slouží pro dobíjení během delší přestávky v jízdě. Ideálně několik hodin. Z tohoto důvodu je optimální tyto dobíjecí stanice instalovat do míst, kde je předpoklad pro parkování na delší dobu. Ideálně tedy residenční parkování, parkování v obchodních centrech apod. AC dobíjecí stanice je však dobré použít také jako součást dobíjecích hubů. Je tomu tak z důvodu výše zmíněném, a sice že nad 80 % nabitě kapacity baterie je dobíjení výrazně zpomalováno. Od této dosažené kapacity tedy není důvod rychlodobíječku blokovat. Správný elektromobilista, pokud chce dobíjet až do 100 %, v tomto okamžiku přepojí vůz na AC dobíjení a DC stanice je uvolněna ostatním. Pro použití v dobíjecím hubu je také důležitý způsob instalace. Podle něj lze AC dobíjecí stanice rozdělit na samostatně stojící a tzv. wallboxy.

3.2.1 Sloupkové AC stanice

Využití těchto stanic je především na venkovních lokalitách. Stanice se montuje do betonového základu, ze kterého jsou vytaženy napájecí kabely. Výhodou těchto stanic je jejich velikost. Nechá se do nich umístit dostatek elektroniky na to, aby zvládaly poskytovat dobíjecí výkony až 2x22 kW. To znamená, že jedna stanice dokáže souběžně obstarávat dobíjení pro 2 elektromobily plným výstupním výkonem 22 kW. Tyto stanice jsou stavěny na místech, kde je dostatek prostoru pro jejich umístění. Specifikem AC dobíjecích stanic jsou dobíjecí konektory Mennekes Type 2. Jejich cena se pohybuje od 70 - 150 tisíc. [43]



Obrázek 1 - Sloupková AC dobíjecí stanice (vlevo) a dobíjecí konektor Mennekes (vpravo) [43, 44]

3.2.2 Nástěnné AC stanice

Druhou variantou AC dobíjecích stanic jsou AC wallboxy. Jak již název napovídá, jedná se spíše o menší stanice určené k zavěšení například na zeď. Kvůli menším rozměrům většina AC wallboxů umí dodávat výkon maximálně 22 kW. Stanice, které disponují dvěma konektory, svůj výkon rozdělují po 11 kW. Výhodou AC wallboxů je jejich skladnost. Primárně se využívají v garážích nákupních center, v parkovacích domech a podobně. I u těchto stanic dominuje dobíjecí konektor Mennekes. Výhoda těchto zařízení je oproti samostatně stojícím stanicím především cena. Snížený výkon 2x11 kW navíc nepředstavuje pro většinu dnešních elektromobilů žádný problém, vzhledem k již zmíněným omezením způsobeným EV palubními nabíječkami. Cena veřejně využívaných AC wallboxů se pohybuje mezi 40–80 tis. Kč. [45]



Obrázek 2 - AC wallbox ABL s integrovanými kabely [45]

3.3 DC dobíjecí stanice

Druhou kategorií stacionárních dobíjecích stanic jsou DC stanice. Jejich výkony se již dnes běžně pohybují od 24-350 kW. DC stanice lze rozdělit na DC wallboxy, rychlé DC a ultrarychlé DC stanice. Specifikem těchto stanic jsou konektory CCS Combo a CHAdeMO. Konektor CHAdeMO je určen především pro japonské automobilky, jelikož se jedná o tamější standard. CCS Combo je standard využívaný především v Evropě. Oproti koncepci CHAdeMO má výhodu, že dokáže přenést vyšší výkon (CHAdeMO využívá výstup maximálně 500 V, CCS až 920 V). Vysoce výkonné ultrarychlé stanice využívají výhradně tento standard také kvůli nutnému aktivnímu chlazení. Oba konektory jsou vyobrazeny na obrázku 3.



Obrázek 3 - DC dobíjecí standardy CHAdeMO (vlevo) a CCS Combo (vpravo) [46]

Tyto konektory však nejsou jediné ve světě elektromobilů. Pro rychlé dobíjení existují ještě speciální konektory Tesla. Ty jsou výhradně pro vozy americké značky, stejně tak jako dobíjecí stanice. Takzvané Superchargery jsou výhradní technologií Tesly a jejich výstavba je řízena primárně touto společností. V současné době tak nelze stavět stanice přímo s nativními Tesla konektory. Tento fakt evropským zákazníkům Tesly do nedávna přinášel nemalé komplikace, proto se firma rozhodla osazovat vozy určené pro evropský trh konektory CCS. [47] Důležité však je, že výkonné stanice s Tesla konektory nebudou (a ani nemohou být) pro výstavbu dobíjecího hubu uvažovány.

Běžně dostupné technologie DC dobíjecích stanic lze rozdělit také dle konstrukce. Typ konstrukce navíc vždy přímo souvisí s výkonem, neboť vysoký výkon vyžaduje spoustu výkonové elektroniky a prostor pro chlazení. Nejmenší a nejméně výkonné DC stanice jsou DC wallboxy. O něco výkonnější jsou velké dobíjecí stojany, které mají všechnu elektroniku instalovanou ve svojí konstrukci. Třetím typem DC dobíjecích stanic jsou ultrarychlé stanice. Výkonová část je tak prostorná a náročná na chlazení, že vedle samotného dobíjecího stojanu musí být takzvaný výkonový modul dobíjecí stanice. Takto komplexní řešení se nazývá jako dělená technologie. Na základě tohoto rozdělení bude nyní provedena analýza jednotlivých typů DC dobíjecích stanic.

3.3.1 Nástěnné DC stanice

DC nástěnné wallboxy jsou obdobou AC stanic. Jedná se o prostorově úsporná řešení primárně určená k zavěšení na zeď. Výhodou je oproti AC stanicím vyšší reálně využitelný výkon. Naprostá většina elektromobilů dokáže využít plný výkon této stanice, neboť je stejnosměrným proudem obcházena palubní nabíječka a baterie je dobíjena plným výkonem. Důležité je zmínit, že i tyto stanice jsou vybaveny pouze konektory CCS Combo nebo CHAdeMO. I zde je technologie DC dobíjení oproti AC vykoupena cenou. DC wallboxy se zatím nenachází v nabídkách mnoha firem, avšak u největších hráčů na trhu se první modely již dají sehnat v cenovém rozmezí 200-300 tis. Kč. [48]

3.3.2 Nedělená technologie DC stanic

Druhým typem DC stanic jsou „All in one“ sloupková řešení. Toto nedělené technické provedení znamená, že veškerá potřebná elektronika je obsažena ve stanici. Tu tedy stačí pouze připojit do sítě s potřebným příkonem. Typicky se výkon těchto stanic pohybuje mezi 50 a 180 kW, tudíž o nich mluvíme jako o rychlých stanicích (fast chargers). Dalším charakteristickým znakem je možnost souběžného dobíjení. Některé stanice jsou schopné dodávat plný výkon přes DC konektor, popřípadě se o výkon dělit ještě s integrovaným AC výstupem. Tento typ stanic, konkrétně stanice ABB Terra 54, je nejrozšířenějším typem v Evropě a Severní Americe. [49] Výhodou nedělené technologie DC dobíjecích stanic je relativně prostorově úsporné řešení. Stanice se z pravidla instaluje na betonový základ metr na metr. Kromě místa pojistkové skříně je to tedy jediný prostor, který stanice zabírá. Vhodná je tak její instalace například i k chodníku nebo do travnatého pásu. Na obrázku 4 je vlevo vyobrazena nejrozšířenější dobíjecí stanice ABB Terra 54 a vpravo nová výkonná nedělená technologie ABB Terra 184.



Obrázek 4 - Dobíjecí stanice ABB Terra 54 (vlevo) a AAB Terra 184 (vpravo) [49]

Tyto stanice jsou ideální volbou pro všechny možné druhy lokalit v dnešní době. Od instalací jednotlivých kusů do menších měst až po použití pro výstavbu velkého dobíjecího hubu. Cena těchto stanic se odvíjí od výkonu. Nejslabší 50 kW stanice začínají s cenou zhruba na půl milionu korun. Na druhém konci cenového i výkonového spektra jsou stanice až o výkonech kolem 180 kW. Ty se cenou pohybují kolem 1,5 milionu Kč. [49]

3.3.3 Dělená technologie DC stanic

Modulární technologie je využívána především u vysoce výkonných dobíjecích stanic (ultrafast chargers). V této kategorii se pohybují stanice s výkony od 175 kW a více. Běžně se v dnešní době provozují stanice s výkonem až 350 kW především díky společnosti Ionity. V Německu navíc stojí první veřejně dostupné stanice o výkonu 450 kW od Siemens. [50] Stanice s velmi vysokými výkony je třeba stavět na dálnicích a ostatních páteřních tazích. Takto vysoké výkony vyžadují aktivně chlazené součástky i dobíjecí kabely. Výkonové prvky jsou uloženy v tzv. výkonovém kabinetu. Ten je od samotného dobíjecího stojanu oddělen. Tato technologie se nazývá modulární, protože jednotlivé výkonové kabinety na sebe lze řetězit a zvyšovat tak celkový výkon stanice. V současné době nedokáže žádné vozidlo pojmout plný výkon 350 kW. Nejblíže k tomu má nové Porsche Taycan s 270 kW na vstupu. [51] Ideálním řešením je tedy na lokalitách, na kterých se do budoucna předpokládá potřeba nejvýkonnějších stanic, instalovat právě modulární technologii. Výkon 175 kW je i v dnešní době (hlavně v České republice) vysoce nadprůměrný, tudíž instalace těchto stanic je rozhodně přínosem. V případě potřeby může být navíc výkon jednoduše navýšen až na dvojnásobek. Již z počátku je však nutné instalovat správně nadimenzované kabely, jističe a transformátor. Připojení do sítí VN je nutností. Na obrázku 5 jsou vyobrazeny výkonové kabinety. Jeden kabinet dodává výkon až 175 kW. [52]



Obrázek 5 - Stanice ABB Terra HPC a výkonové kabinety [52]

Na obrázku 5 je vidět hlavní nevýhoda dělené technologie. Výkonové kabinety zabírají více místa než samotné stanice. Z tohoto důvodu není možné instalovat modulární technologii na všech lokalitách (ne všude je dost prostoru). Další nevýhodou je cena. Dobíjecí stojan samotný vyjde přibližně na 22 500 EUR a sám o sobě nic neumí. Potřebuje k sobě modulární výkonovou elektroniku. Jeden výkonový kabinet s výstupem až 175 kW stojí přibližně 50 000 EUR. Pro jednu 350 kW dobíjecí stanici je tedy nutno počítat jen za technologii s investicí kolem 3,1 milionu Kč. [53] Životnost DS se obecně považuje za 10 let.

3.4 Technologie úložiště energie

V předchozích podkapitolách byly popsány technologie dobíjecích stanic. Zároveň byla v úvodu třetí kapitoly zmíněna problematika provozu dobíjecích stanic a hubů. Vysoce výkonné stanice nebo dobíjecí huby vyžadují připojení do sítí vysokého napětí. Pro odběry od 26 MWh měsíčně se vyplatí uvažovat pouze o vícesložkové regulované části ceny elektřiny při odběru právě z VN. S tím se pojí vysoké platby za rezervovanou kapacitu. Ve spojení s nízkým soudobě dodávaným výkonem a nejistými měsíčními odběry je třeba hledat jiné (nejlépe levnější) řešení této problematiky.

Technickým řešením by do budoucna mohly být systémy akumulace energie. Ty by svým výkonem mohly určitou dobu pokrývat kladný rozdíl mezi potřebným výkonem a rezervovanou kapacitou bez nutnosti omezit výkon dobíjecích stanic. Ukládání energie by navíc ideálně probíhalo v době, kdy je elektřina nejlevnější. Takovému principu se říká peak shaving, neboli rozkládání odebírané energie do delšího časového úseku (snižování krátkodobého soudobého výkonu). K tomu je samozřejmě kromě úložiště samotného potřeba spousta dalších technologií. Jedná se například o řídicí systém, výkonové měniče, měření a další. Tato práce si klade za cíl kompletní řešení dobíjecího hubu, proto by návrh a popis těchto jednotlivých prvků byl příliš velký detail, tudíž na tuto část nebude kladen velký důraz. Důležité je, že komplexní systém ukládání energie dokáže poskytovat [54]:

- Snížení rezervovaného výkonu (rozložení spotřeby do 24 hodin)
- Řízení ¼ hodinového maxima
- Ochranu a energetickou zálohu proti výpadkům
- Řízení a kompenzaci kvality sítě
- Maximalizaci využití energie z fotovoltaiky

V současné době se ve spojení s elektromobilitou pro akumulaci energie používají dva odlišné systémy. Tradičně velmi rozšířeným řešením jsou chemické baterie. Druhou možností jsou takzvané setrvačnickové baterie. Obě technologie mohou být využity v kombinaci s dobíjecím hubem, proto budou v následující části představeny.

3.4.1 Chemické bateriové systémy

Nejčastěji aplikovaným řešením akumulace energie jsou bateriové systémy na bázi chemických látek. Nejrozšířenější systémy jsou postaveny na lithium-iontových bateriových článcích - tzv. battery cells. Ty jsou základními stavebními kameny pro každý takový bateriový systém. Tyto bateriové články jsou skládány do modulů o různých velikostech. Z modulů je ve finále tvořen celý bateriový rack uzpůsobený pro umístění do prostor pro úložiště. Vše je pro představu znázorněno na následujícím obrázku. [55]



Obrázek 6 - Skladba bateriového systému [55]

Pokud mluvíme o prostoru na umístění těchto bateriových racků, je jasné, že i tato technologie je na tento parametr náročná. V případě umístění uvnitř budovy lze pro tyto účely vyhradit například technickou místnost. Pro účely v použití s dobíjecími huby je však předpokládána primárně venkovní instalace. V takovém případě se řeší prostor pro umístění tzv. bateriového kontejneru. Ten v sobě obsahuje jak bateriové racky, výkonové měniče, systémy měření, tak také například chlazení celého prostoru.



Obrázek 7 - Bateriový kontejner obsahující modulární bateriové úložiště [55]

Jak je vidět na obrázku 7, při použití bateriového úložiště je dopředu nutné promyslet umístění také této technologie. To ve výsledku může znamenat zvýšení nákladů například na pronájem pozemku. Vzhledem k pořizovací ceně bateriového úložiště, která se pohybuje kolem 2,5 milionu Kč za baterie o kapacitě 100 kWh [64], je částka za pronájem v podstatě zanedbatelná. Důležité je říct, že cena není přímo úměrná kapacitě, vždy záleží na konkrétním řešení. Bateriová úložiště jsou navíc předmětem různých dotačních programů.

Při výběru bateriového systému jsou důležitými parametry právě kapacita baterií a výkon měničů. Právě tyto parametry udávají, jak dlouho dokáže baterie dodávat energii při určitém výkonu. V současné době není problém stavět ani bateriové systémy, které pomáhají vyrovnávat parametry v celé soustavě. Bateriová úložiště o kapacitách (ale i výkonech) desítek megawatthodin (potažmo MW) nejsou ve světě výjimkou. **[Chyba! Nenašel jsem zdroj odkazů.]** Jedinou závažnější nevýhodou je degradace kapacity baterií, výrobci se ale snaží poskytovat relativně zajímavé záruky například na 10 let nebo tisíce cyklů. Stejná záruka se vztahuje na měniče.

3.4.2 Setrvačnickové bateriové systémy

Chemické bateriové systémy sice neustále vylepšují své parametry, avšak pořád trpí degradací. Navíc je jednou bude nutné obtížně ekologicky zlikvidovat. Tento problém řeší setrvačnickové bateriové systémy. V současné době na světě existuje pouze pár pilotních projektů, o to je tato technologie zajímavější. Úložiště využívá elektrickou energii ze sítě v době přebytku a ukládá ji ve formě kinetické energie roztáčením setrvačnicků do vysokých otáček. Jakmile je výkon potřeba dodat na dobíječky, setrvačnický systém postupně zpomalovat, vybíjí se a dodávají tím potřebný výkon k dobití elektromobilu. Na určitou dobu (dle konfigurace) dokáže až zdvojnásobit dobíjecí výkon stanic na lokalitě nebo naopak

pokryt nedostatek rezervované kapacity v síti. Jelikož jde o čistě mechanickou formu ukládání energie, nedochází časem ke snižování kapacity úložiště. Životnost takového systému je odhadována na 200 tisíc cyklů a až 20 let. Vysoké účinnosti i při přeměně na mechanickou energii je dosahováno díky tomu, že setrvačníky rotují v prostředí blízkém vakuu. Rotace tak není brzděna vzduchem. [58] Technologie je vyobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 8 - Systém úložiště setrvačnickové baterie [58]

V případě investice do tohoto typu úložiště je potřeba počítat v podstatě se stejným schématem, jako u bateriových systémů. Setrvačníky a výkonová elektronika jsou umístěny v podobném kontejneru. Dle parametrů výkonu a kapacity se pak rozhoduje o celkové velikosti projektu co se prostoru i financí týče. Ceny této technologie bohužel nejsou veřejně dostupné, ale i zde lze říct, že část ceny této technologie může být kryta z dotací.

3.5 Vlastní zdroj energie

Na prostor i finance je náročná také další klíčová technologie moderního dobíjecího hubu. Důležitým technologickým prvkem moderního hubu je vlastní zdroj energie. Problémem elektromobility je relativně vysoký nárok na síť. V zastavěných oblastech navíc nejde jednoduše posilovat kapacitu sítě, proto je dobré podporovat decentralizaci výroby a celkově posouvat výrobu blíže ke spotřebě.

Pro elektromobilní elektřinu se jako zdroj nejvíce hodí zdroj obnovitelný. Na ty je v dnešní době nahlíženo jako bezuhlíkaté – stejně jako na BEV čisté elektromobily. Pokud se ale zamyslím nad tím, které zdroje vůbec připadají v úvahu, jedná se v podstatě pouze o solární elektrárnu. Pouze ta jde postavit víceméně všude, kde je kus volného prostranství nebo

volná střecha. S ostatními zdroji energie by kombinace s elektromobilním dobíjecím hubem (v prostředí, kde mají být huby stavěny) nebyla vůbec jednoduchá.

3.5.1 Solární zdroj energie

Pro návrh moderního inteligentního dobíjecího hubu jsem se tedy rozhodl uvažovat pouze decentralizovaný zdroj v podobě fotovoltaických panelů. Zároveň pro potřeby této práce nemá cenu rozebírat jednotlivé technologie solárních panelů. Důležitý je pouze výkon, který se u dnešních panelů pohybuje od 250–450 Wp, prostorová náročnost a cena. V případě zajištění prostoru musí být uvažováno také o budoucím natočení panelů. Obecně totiž platí, že s čím vyšším odklonem od přímého jižního směru panely stojí, tím nižší je jejich účinnost. To samé pak platí také o sklonu panelů. Ideálním sklonem pro přímý jižní směr je 35 stupňů (v poměrech České republiky). Nicméně pokud například sklon střechy nemůžeme ovlivnit, fotovoltaické panely lze instalovat v úhlu od 20–50 stupňů. Nepřípustná je pak instalace s úhlem nižším než 15 stupňů, neboť panely pak ztrácí schopnost samočištění (nespadává z nich sníh, prach se neočistí deštěm apod.). Tento úhel je vždy měřen kvodorovně. [59]

Pro přibližné určení energie, kterou panely za rok vyrobí, je nutné vzít v potaz také geografické umístění. S tím souvisí pojem roční doba osvitů. Ten udává dobu, po kterou mohla solární elektrárna využívat udávaný výkon ve watt peaku. Zjednodušeně řešeno, solární elektrárna o výkonu 1 kWp v podmínkách ČR vyrobí přibližně 1 000 kWh energie, neboť doba osvitů se pohybuje kolem 1 000 hodin za rok. Důležité je zmínit, že tato doba každým rokem roste. Důvodem je dle mého nejspíše postupná změna klimatu. [59,60]

Výhodou fotovoltaického systému ve spojení s dobíjením elektromobilů a baterií je fakt, že výroba elektřiny probíhá přes den. Právě v tuto dobu je také nejvyšší poptávka po rychlém dobíjení a fotovoltaika tak může odlehčit celému systému. Pokud panely nemohou dodávat energii rovnou do elektromobilů, přichází na řadu ukládání do baterie. Dobíjení baterie z panelů tedy nastává v okamžicích, kdy je energie dražší. V noci, když slunce nesvítí, je baterie dobíjena za levnou elektřinu ze sítě. To přispívá ekonomice provozu celého hubu.

S touto souvisí také cena panelů. Ta se odvíjí od výkonu jednotlivých panelů a od výrobce. Stejně jako bateriový systém, také systém výroby energie potřebuje určitou výkonovou elektroniku v podobě měničů, a tedy místo na jejich uložení. Cena systému o výkonu 10 kWp činí cca 300–400 tisíc Kč v závislosti na dodavateli a náročnosti instalace. Důležité je dodat, že s rostoucím výkonem celého systému se měrná cena 1 kWp snižuje. [59,61] Také na solární panely lze získat dotaci. Ta závisí na konkrétním dotačním programu a velikosti subjektu žadatele.

3.6 Shrnutí technologií moderního dobíjecího hubu

V této kapitole jsem představil základní technologické stavební kameny pro sestavení inteligentního dobíjecího hubu. Ideální skladba těchto technologií je závislá na konkrétní lokalitě, nicméně vždy se skládá z kombinace AC a DC dobíjecích stanic, bateriového úložiště, popřípadě vlastního zdroje energie. AC dobíjecí stanice jsou vhodné pro dobíjení na delší čas nebo jako doplněk k rychlým stanicím. Hodí se jako veřejné stanice do nákupních center, ke kinům nebo například k panelovým domům. Právě obyvatele panelových domů bez vlastního parkovacího stání nejvíce omezuje fakt, že nemají přes noc kde dobít a musí tak využívat veřejnou infrastrukturu. Součástí veřejné dobíjecí infrastruktury jsou také DC dobíjecí stanice.

V podkapitole 3.3 byly DC stojany rozděleny do třech hlavních skupin dle výkonu. Novinkou na trhu jsou tzv. DC wallboxy. Ty oproti AC wallboxům sice nabízejí stejný výkon, ale u DC wallboxů tento výkon dokážou využít všechny elektromobily. Do baterie je totiž dodáván rovnou stejnosměrný proud a je tak obcházena palubní dobíječka, která může uměle snižovat výkon AC dobíjecí stanice. To je vykoupeno cenou, neboť DC wallboxy mají 2-3 krát vyšší pořizovací náklady než AC stanice o podobných výkonech. Svým umístěním se DC wallboxy hodí do businessově zajímavých míst, které však nemají tak vysoké dopravní vytížení. Řeč je tedy primárně o menších dobře situovaných městech, ve kterých není žádná konkurence v podobě výkonnějších stanic.

Podobné využití lze přisoudit také rychlým DC stanicím, neboť ty jsou v současné chvíli nejvíce používaným řešením pro městskou i meziměstskou výstavbu infrastruktury. Elektromobilita se dostala do fáze, že tyto stanice o výkonu 50–180 kW jsou nejdůležitějším prvkem dobíjecí soustavy, i když jsou stanice nad 100 kW stále poměrně vzácností. Výstavba kombinovaných stanic ABB Terra 54 o výkonu 77 kW se v současné době provádí i po více kusech na jedné lokalitě (dokonce nejen na dálničních tazích).

Dominantou dálničních tahů je poslední kategorie DC dobíjecích stojanů, a sice ultra rychlé dobíjecí stanice. Vzhledem k vysokým výkonům nejčastěji až 350 kW je těchto stanic prozatím pomálu, neboť na trh teprve přichází elektromobily, které jsou schopné takto vysoké výkony (přes 200 kW) pojmout. S vysoce výkonnými stanicemi a instalacemi mnoha stanic na jedné lokalitě přichází zajímavá výzva pro elektromobilitu. Vysoké výkony vyžadují připojení do sítí VN a s tím spojenou platbu za rezervovanou kapacitu (detailní popis této problematiky byl proveden v úvodu třetí kapitoly). Vzhledem k nízkému soudobému vytížení a nejistému odběru energie by se mohlo vyplatit snižovat rezervovanou kapacitu a tento rozdíl nahrazovat systémem akumulace energie.

V podkapitole 3.4 byly probrány dvě používané technologie bateriového úložiště. Jedná se o chemické a setrvačnickové baterie. Kromě možnosti snížení rezervované kapacity poskytují baterie také způsob, kterým lze řídit čtvrt hodinová maxima, nabízí výkonovou zálohu v případě výpadku dodávky elektřiny a maximalizují využití elektřiny z vlastního zdroje energie. To souvisí s částí 3.5, ve které bylo vyjasněno, proč je ideálním zdrojem pro elektromobilitu právě fotovoltaická elektrárna.

Solární elektrárna může dodávat zelenou elektřinu buď přímo do elektromobilu nebo ji během dne ukládat do baterií. To navíc napomáhá ozeleňování energetického mixu, který je použit pro dodávku elektřiny do elektromobilu, zvyšování podílu OZE a také provoz elektromobilu se reálně může stát nízkoemisním. Úložiště energie je navíc primárně v nočních hodinách dobíjeno. Snižují se tím náklady na elektřinu, protože v nočních hodinách je nejnižší poptávka po elektřině. Tím klesá její cena.

Systémy akumulace energie svými vlastnostmi pomáhají také stabilitě sítě. Přes den ve špičkových hodinách soustavy lze předpokládat také vyšší poptávku po dobíjení elektromobilů právě výkonnými stanicemi. Díky bateriím lze krátkodobě snižovat nároky na soustavu, neboť část dobíjecího výkonu je poskytována z akumulace. Naopak v nočních hodinách se mohou baterie starat o odběr energie, což by do budoucna mohlo znamenat ne tak častou potřebu draze odstavovat elektrárny, nebo je krátkodobě nechat vyrábět pouze pro vlastní spotřebu. S tímto řízením stability sítě souvisí celá technologie Smart Grid, která je úzce spjatá s elektromobilitou. Do budoucna se předpokládá, že operátoři sítí budou moct využívat krátkodobé snižování výkonu stanic, energii z baterií (nebo do baterií) a to samé platí o elektromobilech. Také baterie elektromobilů budou za určitých podmínek sloužit ke stabilizaci sítě.

Výhodou komplexního řešení inteligentního dobíjecího hubu je tedy soběstačnost v případě výpadku sítě, decentralizace výroby energie, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie, možnost snížení rezervované kapacity pro odběr z VN a řada provozních ekonomických benefitů (akumulace levnější energie, výroba vlastní energie a podobně). To vše je však vykoupeno řadou negativ. Největším záporem je bezpochyby cena celého takového řešení, což je také důvod pro mnohé dotace na všechny zmíněné technologie. Další nevýhodou je prostorová náročnost na umístění moderního dobíjecího hubu. Vyžadována je plocha na umístění stanic, výkonových kabinetů, vybudování parkovacích míst, umístění kontejneru s bateriovým systémem a plocha pro výstavbu fotovoltaické elektrárny.

4 Úvod do návrhu dobíjecího hubu

Celý tento projekt bude časově rozdělen do 3 fází, které vychází ze životností jednotlivých komponent dobíjecího hubu. První přípravná fáze se skládá z let 2021 a 2022. Během této doby bude probíhat potřebné projektování, připojování do sítě a samotná realizace. Druhá část (1. etapa chodu systému) je plánována mezi lety 2023–2032. Třetí část projektu se skládá z dalších deseti let do roku 2042. Pro druhou etapu provozu dobíjecích stanic bude nutná rozsáhlá reinvestice. Reinvestice bude dimenzována pro 3 různé scénáře přechodu k elektromobilitě, které budou podrobně probrány v příslušné kapitole.

V této kapitole však bude nejprve proveden výběr ideální lokality, pro kterou bude modelový příklad počítán. Následně budou do konkrétní lokality zasazeny obě uvažované varianty a detailně popsány. V neposlední řadě tato kapitola pokryje teoretické základy ohledně metody porovnání obou investic, která bude interpretována později v kapitole 6. Optimalizace počtů, výkonů a kapacit jednotlivých klíčových zařízení bude provedena v kapitole 5. Jakmile bude jasno v otázce výkonů a kapacit, bude sestaven také model výpočtu elektrické energie. Nejprve je však nutné vybrat lokalitu pro instalaci celého systému.

4.1 Výběr lokality

Již v závěru předešlé kapitoly bylo popsáno, že instalace rozsáhlého nabíjecího systému může odhalit řadu překážek, kvůli kterým nebude možné dobíjecí hub na mnoha místech realizovat. Z tohoto důvodu jsem se před výběrem konkrétní lokality rozhodl identifikovat několik klíčových faktorů pro výběr ideálního místa.

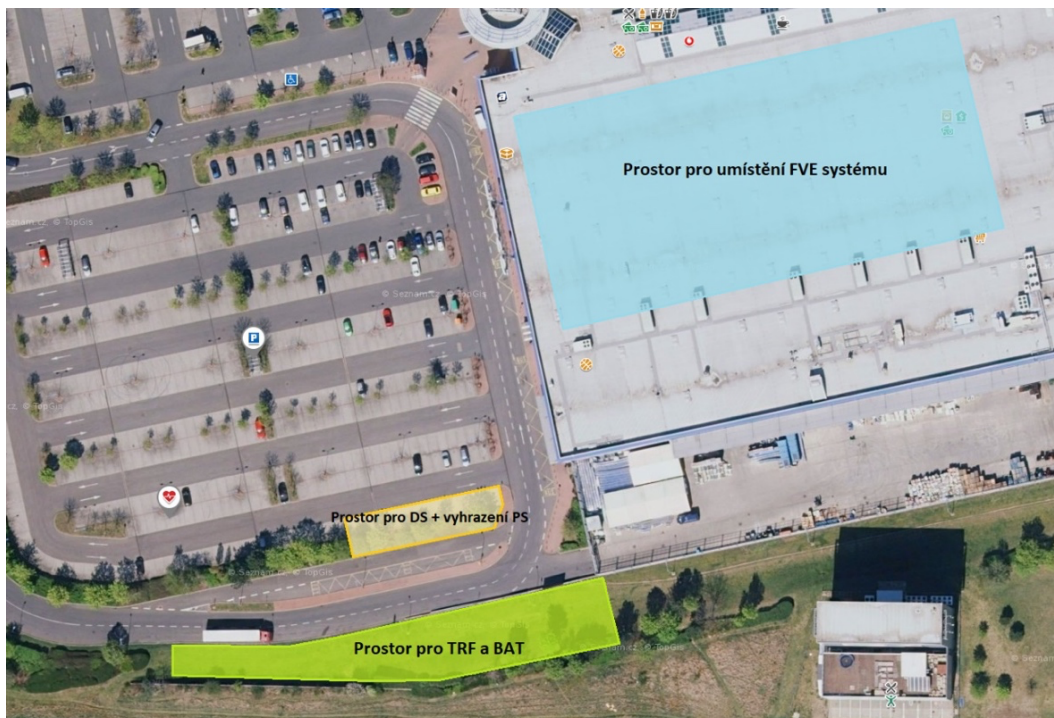
Naprostou klíčovou roli hraje dobrá dopravní obslužnost. Rychlodobíjecí stanice, které by měl správný moderní hub obsahovat, je třeba instalovat na dálnicích nebo městských výpadevkách. Bez přítomnosti páteřních tahů nebudou mít dobíjecí stanice potřebné využití, což by se jistě promítlo do ekonomiky celého projektu.

Druhým velmi podstatným faktorem je možnost připojení celého systému do sítě vysokého napětí, což vyžaduje prostor pro umístění trafostanice. Prostorově náročné je taktéž umístění kontejneru s úložištěm energie, a také hlavně vhodné místo pro umístění fotovoltaické elektrárny.

Třetím důležitým faktorem jsou samotná parkovací stání. V ideálním případě lze vyhradit již existující venkovní parkovací stání pro potřeby elektromobility. Místa musí být veřejně přístupná 24 hodin denně 7 dní v týdnu. Těmto parametrům u páteřních tahů odpovídá relativně málo druhů lokalit. Tím nejvhodnějším se dle mého jeví velká nákupní centra. Parkovacích míst mají dostatek, v okolí existuje dostatečné připojení do sítě, leží na rozlehlých okrajích města a na střechách mají dost prostoru pro umístění fotovoltaické elektrárny.

Například v Praze lze takto pokrýt lokalit hned několik. Jmenovitě jde o OC Černý Most, Westfield Chodov, Metropoli Zličín a OC Letňany. Výhodou všech těchto lokalit je také v pokrytí městskou hromadnou dopravou – ideálně metrem (uvažovat by se dalo také o P+R řešení pro elektromobily). Pro potřeby umístění dobíjecích hubů se navíc jedná o ideální místa z pohledu rozložení velkých dobíjecích míst rovnoměrně kolem Prahy. Nespornou výhodou je také umístění u okrajových sídlištních částí města (Černý Most, Chodov), čímž může být uspokojena poptávka po komunitním dobíjení.

Ve své práci jsem se rozhodl umístit dobíjecí hub do areálu OC Letňany, neboť leží na pražské výpadovce v bezprostřední blízkosti křížení dálnice D8 a přivaděče od dálnice D10. Kolem OC Letňany bydlí v bytových domech mnoho lidí s potenciálem pro využití dobíjení přes noc. V přilehlých částech obchodního centra na Praze 18 žije přibližně 17 tisíc obyvatel. [77] Přibližně tedy jako průměrně velké okresní město. Dalším faktorem je nákupní centrum samotné, které k sobě stahuje zákazníky ze širokého okolí.



Obrázek 9 - Prostorové uspořádání inteligentního dobíjecího hubu [62]

Na Obrázku 9 je vidět prostorové uspořádání celého systému. Budova obchodního centra disponuje využitelnou plochou (s dostatečnou nosností) střechy pro instalaci fotovoltaického systému (FVE) o rozloze až 5 000 m² (označeno modře). Trafostanice (TRF) a kontejner s bateriovým úložištěm energie (BAT) budou umístěny do zeleně označeného travnatého pásu v blízkosti plánovaného umístění dobíjecích stanic (DS). Ty budou realizované ve žlutě vyznačené oblasti i včetně vyhrazení příslušného počtu parkovacích stání (PS). Volba jednotlivých technologií je závislá na konkrétní porovnávané variantě.

4.2 Popis variant

4.2.1 Bazická varianta

Bazická varianta se skládá z instalace pouze dobíjecích stanic (druh a počet dobíjecích stanic bude upřesněn v 5. kapitole). Po uzavření smlouvy za účelem pronájmu ploch OC Letňany proběhnou v přípravné fázi veškerá projektování, žádosti o připojení, schvalování apod. Varianta počítá s výstavbou trafostanice pro připojení do sítí VN. Trafostanice bude dimenzována pro nejvyšší uvažované zatížení (nejvyšší scénář). Spuštění stanic je předpokládáno v roce 2023 s životností etapy 10 let a s následnou reinvesticí na stejnou dobu, což životnost projektu prodlouží na finálních 20 let.

Za klíčové považují identifikovat jednotlivé náklady, které z investice v tento projekt a jeho provoz plynou:

Investiční náklady: Největším investičním nákladem jsou náklady na pořízení dobíjecích stanic. V pořadí druhým nejvyšším investičním nákladem je připojení do sítě VN. To vyžaduje náklady na trafostanici, transformátor, náklady na připojení, veškeré elektroinstalační práce apod. V neposlední řadě se jedná o náklady na stavební práce a úpravu parkovacích ploch.

Provozní náklady: Do provozních nákladů lze zahrnout náklady na projektovou dokumentaci, osobní náklady pověřených osob, náklady na opravu a údržbu stanic, náklady na pronájem a údržbu parkovacích míst, platbu za elektřinu. Provozní náklady na elektřinu budou podrobně popsány v 5. kapitole.

Na dobíjecí stanice pro 1. dobíjecí etapu bude využita dotace Ministerstva průmyslu a obchodu ve výši 60 %. [64] S dotací na DS pro reinvestici do 2. etapy již počítáno není.

4.2.2 Varianta FVE + BAT

Jak již název napovídá, druhá varianta se skládá ze stejného počtu dobíjecích stanic. Navíc však bude instalováno také bateriové úložiště a fotovoltaická elektrárna. Veškerá technologie bude instalována v přípravné fázi a ke spuštění dojde taktéž k roku 2023. Životnost projektu je v obou variantách vztažena na životnost fotovoltaických panelů 20 let. Stanice, baterie i veškeré měniče mají životnost 10 let. V této variantě bude tedy nutné reinvestovat do všech těchto technologií.

I v této části je důležité identifikovat veškeré náklady:

Investiční náklady: Největšími investičními náklady jsou náklady na pořízení dobíjecích stanic, baterie a solární elektrárny. Ostatní investiční náklady jsou shodné (například trafostanice se dimenzuje na stejný příkon – pro případ dlouhodobého výpadku baterie).

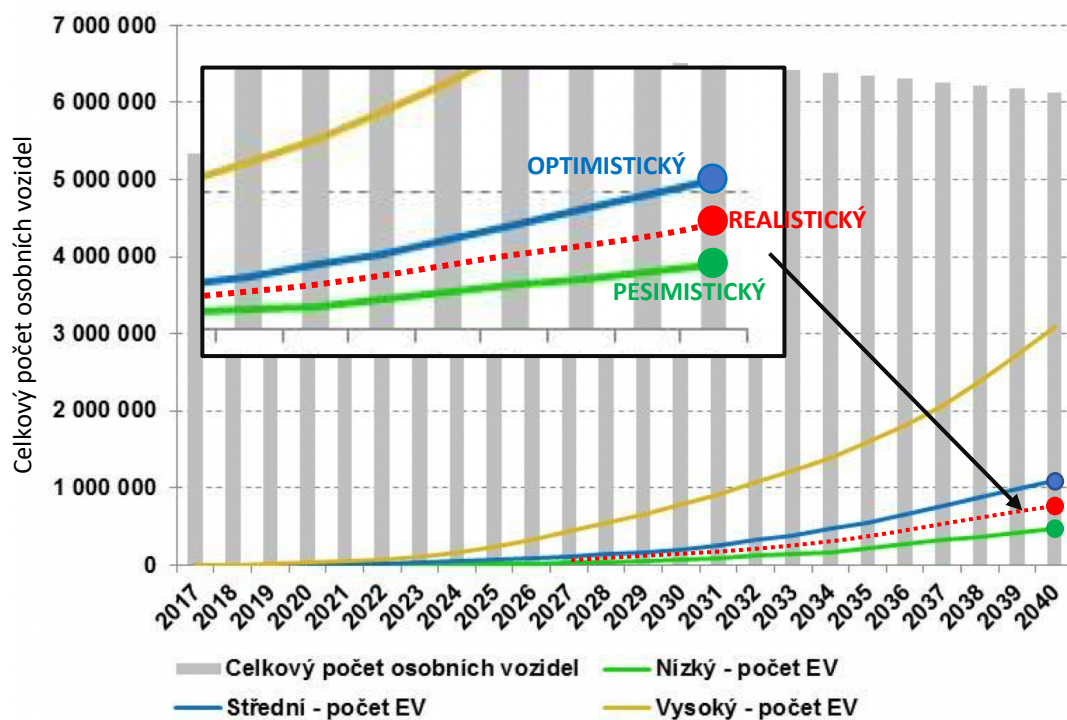
Provozní náklady: Do provozních nákladů lze zahrnout krom nákladů ve výchozí variantě také náklady na opravu, údržbu a pronájem prostorů pro technologii FVE, bateriového úložiště a veškeré výkonové technologie (měniče).

I zde bude v 1. etapě na dobíjecí stanice uplatněna dotace 60 %. Na technologii výroby a ukládání energie lze uplatnit dotaci 30 % z dotačního programu OPPIK. [65] Druhá etapa je bez dotace. Zmíněné varianty budou později porovnány na základě následujících scénářů.

4.3 Popis scénářů

Dalším důležitým krokem je určení scénářů, podle kterých se elektromobilita bude (pravděpodobně) vyvíjet. Pro tuto fázi je klíčové podívat se na již analyzované predikce vývoje elektromobility z kapitoly 2. V té jsem zdůvodnil, že pro odhad budoucího růstu lze použít predikce nejvýše středního scénáře. Pokud se tedy v Grafu 8 podívám na cílové hodnoty zmiňovaného scénáře, měl by se k roku 2030 v České republice po silnicích pohybovat přibližně dvacetinásobek elektromobilů oproti roku 2020 (přibližně 200 tisíc vozidel). Za rok 2020 přibylo přes 5 200 elektromobilů ke stávajícím 4 500, pro srovnání celkem tedy přibližně 9 700 vozů celkem. [63] Tento poměr považuji za velmi důležitý, neboť ho zavádím jako jeden ze zjednodušujících předpokladů, díky kterému mohu tvrdit, že k roku 2030 bude v České republice kvůli dvacetinásobku vozidel také dvacetkrát vyšší poptávka po veřejném dobíjení. To odpovídá ročnímu růstu dodané energie na úrovni 35 %. První etapa bude u všech scénářů dimenzována podle tohoto klíče.

Pro druhou etapu již budu moci využít data o vývoji elektromobility od roku 2020. Pro reinvestici do klíčových komponent tedy budu moci přibližně usoudit, jakým tempem růstu se elektromobilita skutečně vyvíjí, a s čím mohu přibližně počítat do budoucna. Dimenzování komponent k roku 2042 proběhne podle 3 následujících scénářů:



Obrázek 10 - Zavedení scénářů v souvislosti s původními predikcemi [23]

a) Optimistický scénář

Scénář, který počítá s nejvyšším ročním nárůstem počtu elektromobilů nazývám jako optimistický. Tento scénář kopíruje původní střední predikce ročního růstu. K roku 2040 předpokládá 1 milion elektromobilů. Aby bylo dosaženo hodnot predikcí, do roku 2030 je koeficient růstu dodané energie 35 % a následně od roku 2030 do roku 2042 14 %.

b) Realistický scénář

Realistický scénář vychází z reálně zjištěných počtů elektromobilů během let minulých. Tyto počty odpovídaly hodnotám mezi predikcemi v mírném a středním scénáři. K roku 2040 počítám s počtem elektromobilů 800 tisíc. Do roku 2030 je meziroční koeficient růstu dodané energie 29 %, na který plynule navazuje od roku 2030 do roku 2042 míra růstu 15 %.

c) Pesimistický scénář

Pesimistický scénář kopíruje predikce mírného růstu elektromobility. Celkový počet elektromobilů by v něm měl dosáhnout 500 tisíc k roku 2040. To odpovídá tempu ročního růstu 20 % do roku 2030 a následně 17 % každý rok.

Všechny 3 scénáře jsou naznačeny na obrázku 10. Nyní je nutné ke konkrétním scénářům nalézt predikované objemy dodané energie.

4.4 Metoda porovnání variant

Níže je popsána metodika, na jejímž základě budou varianty mezi sebou porovnány. Na úvod je důležité zmínit, že varianty posuzuji z pohledu projektu, nikoliv z pohledu investora.

4.4.1 Kvantitativní porovnání

První metodou je kvantitativní porovnání, pomocí kterého lze výhodnější variantu objektivně vyjádřit určitou peněžní hodnotou. Jednotlivé varianty mezi sebou budu ve všech scénářích porovnávat na základě kritéria čisté současné hodnoty NPV. V modelu nebudu počítat s žádnými příjmy z prodeje (jediný příjem bude vyplacení dotace), tudíž výsledné NPV bude výdajové. Výhodou tohoto přístupu je, že z pohledu příjmů nemusí být řešeny různé cenové politiky mnoha společností na trhu a výsledek tak bude indikativní pro všechny zainteresované. Výsledek práce bude také vyjádřen v podobě výdaje na 1 dodanou kilowatthodinu.

Pro ekonomické hodnocení obou uvažovaných variant jsem vybral kritérium NPV. Net Present Value (neboli kritérium současné čisté hodnoty) je metoda, která po dobu životnosti sčítá všechny diskontované hotovostní toky CF (Cash flow). Při výpočtu je právě diskontem zohledněna inflace, bezrizikový výnos a příplatek za riziko spjaté s odvětvím. Výhodou je také poměrně jednoduché zavedení potřebných eskalací cen v průběhu času. Jako nejlepší varianta bude u výdajového NPV určena varianta s nejnižší hodnotou NPV a nižší přepočtená cena za 1 kWh.

NPV ve své práci počítám dle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{N_{i,t} + N_{o,u,t} + N_{fix,t} + N_{var,t}(Q) - D_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

kde:

CF_t ... Cash flow v roce t

$N_{i,t}$... Investiční náklady v roce t

$N_{o,u,t}$... Náklady na opravu a údržbu v roce t

$N_{fix,t}$... Fixní náklady v roce t

$N_{var,t}(Q)$... Variabilní náklady závislé na množství Q v roce t

D_t ... Dotace obdržené v roce t

T_z ... Celková doba životnosti

r ... Diskont

Výpočet NPV lze pojmut také jinak. Pokud označím C jako průměrný náklad na dodanou kWh elektrické energie, pak lze NPV vyjádřit následujícím způsobem:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} C * W_t * (1+r)^{-t}, \quad (2)$$

kde:

C ... Měrná cena 1 dodané kWh elektrické energie

W_t ... Množství elektrické energie dodané v roce t

Průměrný náklad na dodanou elektřinu vychází z rovnosti obou zmíněných NPV. Jelikož je C měrná cena za životnost, jedná se o konstantu. Mohu ji tedy vytknout před sumu a obě rovnice pro NPV mezi sebou porovnat. Výsledkem je rovnice LCOE, která vyjadřuje výslednou cenu 1 dodané kWh:

$$C = \frac{\sum_{t=0}^{T_z} (N_{i,t} + N_{o,u,t} + N_{fix,t} + N_{var,t}(Q) - D_t) * (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^{T_z} W_t * (1+r)^{-t}}, \quad (3)$$

Nyní již zbývá pouze definovat výši diskontu. Tu získám na základě určení průměrné vážené ceny kapitálu WACC (Weighted Average Cost of Capital) dle vzorce:

$$WACC = r_e * \frac{E}{(E+D)} + r_d * (1 + \tau) * \frac{D}{(E+D)}, \quad (4)$$

kde:

r_e ... Náklad na vlastní kapitál

E ... Objem vlastního kapitálu

r_d ... Náklad na cizí kapitál

D ... Objem cizího kapitálu

τ ... Sazba daně z příjmu

Jelikož jsou hlavními provozovateli dobíjecích sítí energetické společnosti, nemají potřebu si na podobné projekty od banky půjčovat. V svém modelu tedy uvažují 100 % financování z vlastních zdrojů. Z toho důvodu mohu z výpočtu WACC vynechat část o cizím kapitálu a dostávám vzorec ve tvaru:

$$WACC = r_e * \frac{E}{(E+D)} = r_e \quad (5)$$

Výsledný diskont je tedy určen pouze nákladem na vlastní kapitál r_e . Investor totiž vyžaduje kompenzaci za časovou hodnotu peněz a dodatečný risk, který investicí podstupuje. Náklad na vlastní kapitál lze spočítat pomocí modelu CAPM, který využívám ve tvaru:

$$r_e = r_f + ERP * \beta_L, \quad (6)$$

$$\beta_L = \beta_U * [1 + (1 - t) * \frac{D}{E}], \quad (7)$$

kde:

r_f ... bezriziková míra výnosnosti

ERP ... Equity Risk Premium – prémie (přirážka) za tržní riziko

β_L ... Parametr systémového rizika

β_U ... nezadlužená Beta celé investice

Bezrizikovou míru výnosnosti jsem stanovil na 1,87 % jako výnos státního dluhopisu 10R v březnu letošního roku. [69] Tržní rizikovou prémii ERP a nezadlužený koeficient β_U jsem získal z uznávaného zdroje – z dat profesora Damodarana. [70] Z dat vyplývá koeficient β_U v lednu roku 2021 o hodnotě 0,58 a ERP je rovno 5,31 %. Tržní riziková prémie je vyjádření přirážky investorů za investici do kapitálového trhu vypočítanou jako rozdíl očekávaného výnosu kapitálového trhu a výnosu z bezrizikového aktiva. Koeficient β_U je nutné pro výpočet nákladu na vlastní kapitál zadlužit pro konkrétní společnost. Ve své práci volím společnost ČEZ a.s., jakožto provozovatele největší sítě dobíjecích stanic. Při analýze zadlužení této společnosti vycházím z Výroční zprávy 2019, neboť je toho času nejaktuálnějším zdrojem. [71] Míra zadlužení D/E vychází pro tento rok na 2,06.

Po dosazení do výše zmíněných rovnic dostávám **výsledný diskont** v podobě nákladu na vlastní kapitál $r_e = 10,1 \%$.

4.4.2 Kvalitativní porovnání

Principiálně odlišný typ porovnání je kvalitativní porovnání, které je založeno na nečíselném vyjádření. Diskuse subjektivních nefinančních vstupů, které mohou mít vliv na výběr varianty, bude provedena na závěr v samostatné kapitole.

5 Dimenzování jednotlivých komponent

5.1 Analýza podkladových dat

5.1.1 Analýza dodané energie

Veškeré instalované technologie je třeba vybírat s přihlédnutím na jejich reálné budoucí využití. Budoucí vytížení mohou analyzovat přes analýzu reálné (pravděpodobné) budoucí spotřeby.

Pro zjištění budoucí spotřeby v jednotlivých letech (za použití již vypočtených koeficientů) je potřeba zajistit současná výchozí data o dobíjení, která následně budu moct každý rok násobit již zjištěným koeficientem růstu dodané energie (za předpokladu užívání technologie, která je srovnatelná s technologií dnešní). Pro účely méj diplomové práce mi byla poskytnuta data o dobíjení za nekompletní rok 2020 od největšího poskytovatele služeb veřejného dobíjení – společnosti ČEZ a.s. Data jsou nekompletní (až od měsíce března) z důvodu implementace nového informačního systému v prvních měsících roku. I přes tuto skutečnost se však jedná o vzorek necelých 123 500 uskutečněných dobíjení, který považuji za více než dostačující. Při použití celkové roční dodané energie bude použit koeficient 1,2 jako zjednodušená extrapolace deseti měsíců provozu na dvanáct. Vzhledem k absenci řídicích systémů se sběrem dat u ostatních velkých poskytovatelů v České republice (E.ON a PRE) se i tak jedná o nejreálnější a nejrozsáhlejší soubor dat, který je momentálně dostupný. [64]

Vzhledem k potřebě dosáhnout co nejpřesnější predikce budoucí spotřeby na konkrétním místě v pražském OC Letňany jsem se rozhodl analyzovat data z existujících dobíjecích stanic, které se této lokalitě typově nejvíce podobají. Kvůli předpokladu značného růstu elektromobility je nutné, aby analyzovaná lokalita obsahovala co nejvíce dobíjecích stanic s maximálním (nebo co nejvyšším) vytížením. Ke druhému kvartálu roku 2021 je pro ČEZ a.s. lokalitou s nejvyšším počtem dobíjecích stanic (a zároveň s vysokým vytížením) lokalita Kaufland Vypich. Nachází se zde 3 DC dobíjecí stanice o celkovém výkonu 231 kW.

Z poskytnutých dat jednoduchým vyfiltrováním dobíjení na zmíněných 3 stanicích, sečtením dodaných kWh a přenásobením koeficientem 1,2 získávám celkovou dodanou energii za rok 2020, která činí přibližně 55 MWh. Díky této hodnotě již nyní dokážu predikovat budoucí roční spotřeby. Ty jsou detailně vypočteny v příloženém souboru MODEL_DP na listu Elektrina.

5.1.2 Analýza chování zákazníků

Než však budu moct využít hodnot roční spotřeby, je třeba si uvědomit, že dobíjecí stanice (a všechny ostatní potřebné systémy) nelze dimenzovat na základě ročních hodnot. Je třeba podívat se na chování zákazníků během dne. Tím zjistím, zda-li elektromobilisté využívají dobíjecí stanice rovnoměrně během dne, anebo v určité časy vznikají dobíjecí špičky. K této

analýze jsem nejprve použil veřejně dostupnou predikci z roku 2018 od společnosti EuroEnergy pro Ministerstvo průmyslu a obchodu. [23] Ta zobrazuje rozdělení časů zahájení dobíjení na veřejných rychlých dobíjecích stanicích. Graf relativních četností v čase je vyobrazen na Grafu 13.

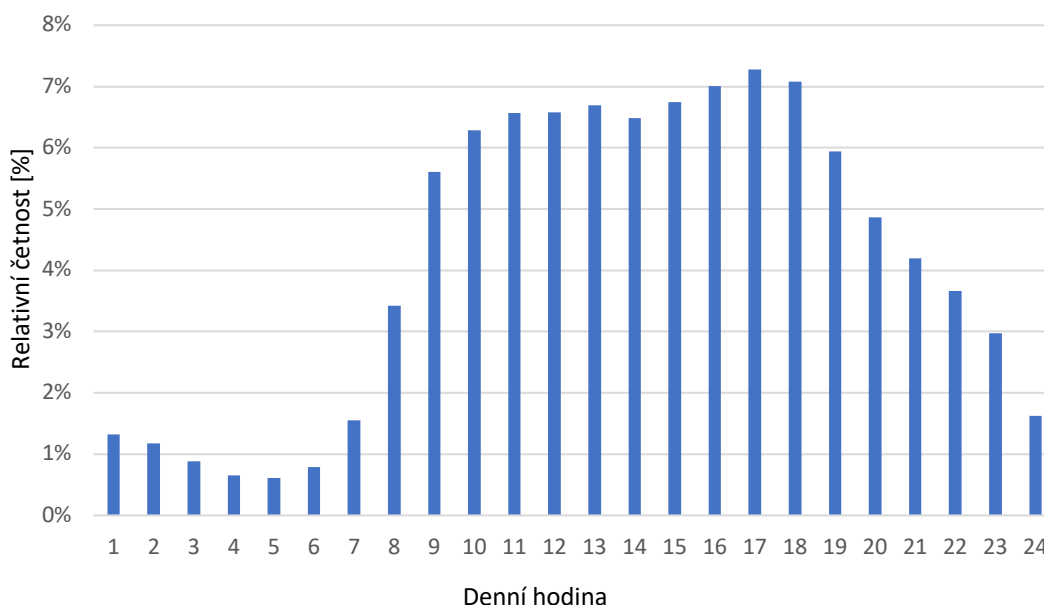


Graf 13 - Rozdělení časů zahájení veřejného rychlého dobíjení [23]

V předloženém grafu autoři předpokládají, že chování elektromobilistů způsobí dvě výrazné denní špičky. Ty jsou naznačeny vysokou relativní četností mezi 7 a 8 hodinou ráno a kolem 16. hodiny odpoledne. Tato predikce lze logicky vysvětlit dojížděním lidí do práce a z práce v těchto hodinách.

Vzhledem k dostupným datům mohu nyní tuto predikci ověřit nebo vyvrátit. Pro potřeby analýzy chování zákazníků využiji již zmíněná poskytnutá data. Ovšem v tomto případě je naopak důležité vzít co možná největší vzorek dobíjení napříč všemi lokalitami tak, aby byl pokryt co nejvyšší počet dobíjecích. Reálné četnosti zahájení dobíjení jsou promítnuty na následujícím Grafu 14.

Skutečné rozdělení časů zahájení veřejného dobíjení

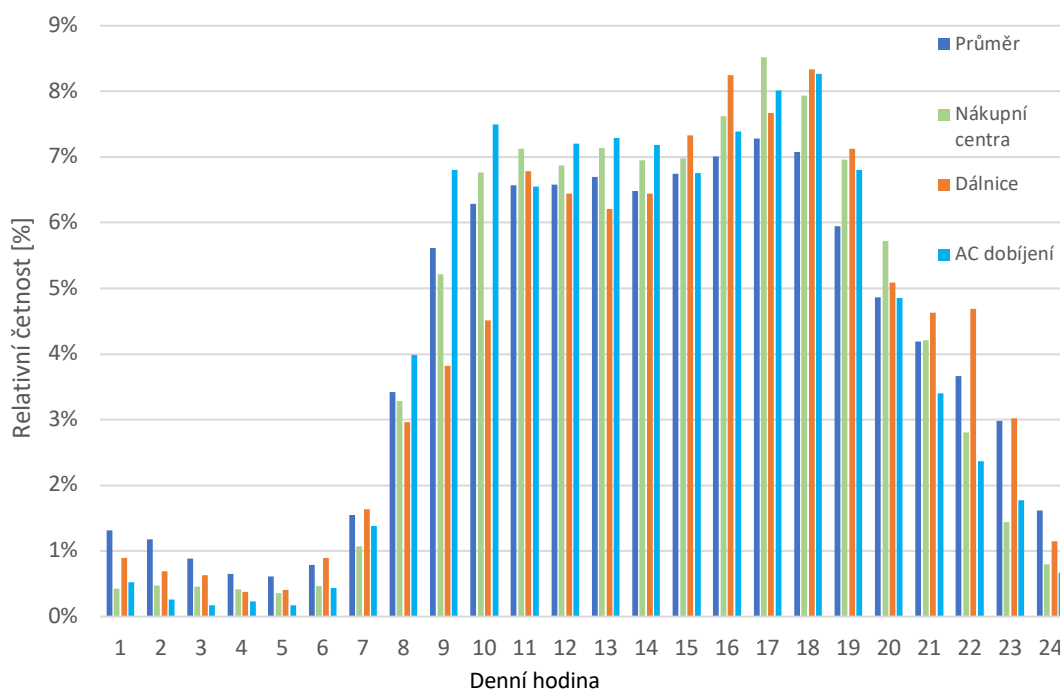


Graf 14 - Skutečné rozdělení časů zahájení veřejného rychlého dobíjení

Ze skutečného rozdělení časů je vidět, že **predikce neodpovídá realitě**. Nejvyšší utilizace dobíjecích stanic nastává v jakési (oproti očekávání) méně výrazné špičce kolem 17. hodiny. Naopak očekávání ranní špičky nebylo naplněno vůbec. Navíc lze z grafu usoudit, že lidé dobíjení zahajují mezi 9. - 19. hodinou relativně rovnoměrně (kolem 6 až 7 % denní utilizace v každé této hodině).

Data o dobíjení obsahují informace ze všech stanic v systému ČEZ. Ten obsahuje rozsáhlé množství jednotlivých druhů lokalit. Kvůli tomu jsem dále provedl hlubší analýzu pomocí základního grupování specifických druhů dobíjecích stanic. Jelikož původní studie EuroEnergy nedefinuje pojem „rychlé dobíjecí stanice“, pro jistotu jsem zvlášť sestavil graf relativních četností AC dobíjení. Díky tomu mohu určit, jestli tento sestavený průměr není AC dobíjením příliš ovlivněn. Počet provedených AC dobíjení je navíc oproti počtu DC dobíjení zanedbatelný. Další grupou a opačným typem skupiny k AC dobíjení (spíše pomalé a v centrech měst) jsou stanice dálničního dobíjení (rychlé na páteřních tazích). Poslední logicky vytvořenou skupinou jsou dobíjení uskutečněná v nákupních centrech.

Porovnání denní utilizace specifických skupin stanic s průměrem



Graf 15 - Porovnání denní utilizace specifických skupin stanic s průměrem

Z grafu je patrné, že v průměrné utilizaci přes všechny stanice **nedochází k výrazným kompenzacím různých grup** mezi sebou. Pouze v 9. a 10. hodině se o cca 2,5 % liší dobíjení skupin AC a dálnice. Obecně však u všech druhů dobíjecích stanic zaznamenávám srovnatelný průběh denní utilizace. I touto analýzou tedy potvrzuji, že **základní předpoklad rozdělení dobíjení není správný**.

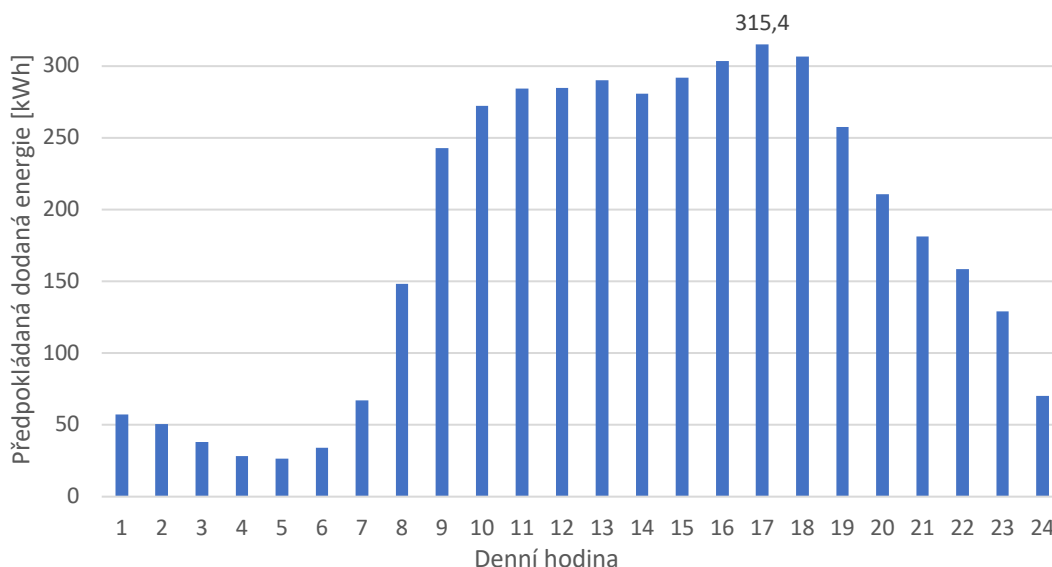
Pro potřeby dimenzování počtu dobíjecích stanic mohu kvůli tomuto tvrzení použít pouze skutečně zjištěný průměr relativních četností přes všechny grupy. Dobíjecí stanice umístěné u OC Letňany navíc také spadají do všech zmíněných skupin. Nyní tedy už vím, kolik procent energie za den je na dobíjecích stanicích dodáno v každé hodině, a mohu tak začít pokrývat denní diagram zatížení této lokality pro průměrný den.

5.2 Dimenzování počtu a výkonu DS

5.2.1 Dimenzování DS pro 1. etapu

Jak již bylo naznačeno v úvodním nastínění scénářů, vzhledem k předpokládané vyšší poptávce po dobíjení za 10-12 let je třeba optimalizovat celý dobíjecí hub na tyto vyšší dodávky energie (optimalizace pro nejhorší scénář – nejvyšší zatížení). Nižší využitelnost během prvních let provozu bude naopak sloužit k vyšší atraktivitě pro zákazníky, neboť nebudou nuceni čekat na uvolnění stanice a podobně. Pro první etapu tedy stanice budou dimenzovány na roční dodanou energii dobíjecím hubem v roce 2032. Denní diagram zatížení pro rok 2032 jsem vytvořil přepočtením roční hodnoty spotřebované elektřiny pro rok 2032 (1,58 GWh) na denní (4,33 MWh) a následným přenásobením relativními četnostmi pro konkrétní hodiny.

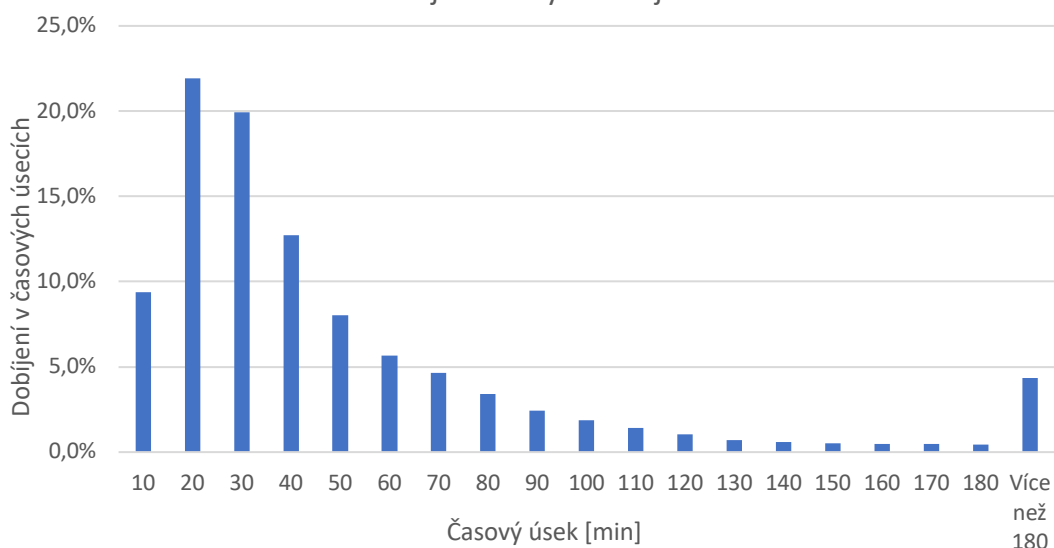
Diagram denního zatížení pro rok 2032



Graf 16 - Diagram denního zatížení v roce 2032

Největší vytížení na dobíjecích stanicích pozoruji v 17. hodině. Zatížení je 315,4 kWh dodaných za hodinu. Právě toto zatížení je nutné pokrýt výkonem dobíjecích stanic. Nelze však tvrdit, že každá stanice bude po celý den každou hodinu dodávat plný výkon. Nejen že existuje řada technických omezení, kvůli kterým nelze přenášet plný výkon (viz Graf 12 - nabíjecí křivka), ale zároveň většina elektromobilních dobíjení celou hodinu netrvá. [64] Pro časovou analýzu dobíjení je tedy nutné provést hlubší prozkoumání poskytnutých dat. Z těch jsem sestavil následující sloupcový graf četností trvání dobíjení.

Rozdělení trvání jednotlivých dobíjení za rok 2020



Graf 17 - Rozdělení trvání jednotlivých dobíjení za rok 2020

Časový úsek na ose x znamená, do jaké doby bylo nabíjení ukončeno. Tzn. hodnota časového úseku 20 vyjadřuje čas dobíjení 10:00 - 19:59 minut. Z grafu je zajímavé, že více než 4 % dobíjení trvá přes 2 hodiny. To přisuzuji dobíjení na pomalých AC stojanech, popřípadě připojenému autu ke stanici i v čase, kdy bylo již dobito do 100 %.

Z tohoto důvodu nelze pro časovou analýzu dobíjení vzít průměrný čas dobíjení. Tento čas by byl zkreslený extrémními hodnotami. Proto jsem přistoupil k volbě mediánu – tedy k hodnotě s nejčastějším výskytem. Z Grafu 17 je patrné, že nejčastěji zákazníci nabíjí kolem 20 minut. Dále je důležité, že přibližně tři čtvrtiny dobíjení jsou realizované v celkovém čase pod jednu hodinu.

Časová analýza chování zákazníků je důležitá pro modelování zatížení dobíjecích stanic během jedné hodiny. Nelze předpokládat, že po každou jednu hodinu bude stanice dodávat svůj jmenovitý výkon. To je důvodem pro další zavedené zjednodušení. Zavádím zde předpoklad, že za jednu hodinu dokáže jedna stanice obsloužit dvě dvacetiminutové dobíjení. Když tedy nyní budu pokrývat zatížení v dané „nejhorší“ 17. hodině roku 2032, musím brát v potaz, že každá stanice dodá maximálně dvě třetiny teoretického maxima energie.

Jak již bylo vysvětleno ve třetí kapitole, existuje mnoho typů dobíjecích stanic. Ideální hub skladbou odpovídá kombinaci těchto technologií. O to víc, když lokalita OC Letňany leží na kombinaci dálnic, obchodního centra a rezidenčního bydlení. Svůj dobíjecí hub jsem se rozhodl poskládat celkem ze 4 druhů technologií dobíjecích stanic:

- d) DC Wallbox 24 kW
- e) Kombinovaná DC stanice (50 kW DC + 22 kW AC)
- f) UF nedělená technologie DC 175 kW
- g) UF dělená technologie DC 150 kW (výkonový kabinet + dobíjecí stojan)

V dané lokalitě OC Letňany bude díky kombinaci těchto technologií zajištěno uspokojení poptávky po všech druzích dobíjení. DC Wallboxy a AC konektory poslouží pro pomalé dobíjení (pro zákazníky na delší nákupy nebo rezidenty). DC konektory na kombinovaných stanicích poslouží pro středně rychlé dobíjení (pro kratší nákupy nebo EV, které nedisponují rychlejšími dobíjeními) a DC ultrafast konektory pokryjí poptávku po rychlém dálničním dobíjení. Optimální počty jednotlivých stanic je třeba získat pomocí vhodného matematického aparátu. Cílem je minimalizovat náklady na pořízení stanic tak, aby byl pokryt příslušný diagram zatížení, a zároveň byly pokryty všechny požadavky na dálniční, nákupní a rezidenční lokalitu.

Tyto a podobné optimalizační úlohy řeší obor lineárního programování. Pro řešení je třeba definovat kriteriální funkci, pro kterou je hledáno minimum nebo maximum za splnění příslušných omezujících podmínek. Takto sestavená úloha se nazývá lineární optimalizační model. Ve svém modelu optimalizace počtu dobíjecích stanic musím minimalizovat náklady, tj. kriteriální funkce je nákladová a minimalizační. Na levé straně jsou pořizovací ceny jednotlivých typů dobíjecích stanic a k nim příslušné proměnné. Proměnné odpovídají písmennému rozdělení na 4 typy uvažovaných technologií. [67]

Omezující podmínky jsem sestavil na základě potřebného pokrývání výkonu a energie v dané hodině. Koeficienty u proměnných v 1. omezující podmínce znamenají, kolik dokáže stanice za průměrný hodinový cyklus na konektoru (dvě nabíjení po 20. minutách) dodat energie. Důležité je zde zmínit, že některé stanice disponují více konektory, do kterých dokážou výkon rozdělovat. Tyto údaje vyjadřuje druhá omezující podmínka.

2. omezující podmínka udává, kolik zákazníků se na stanici za jednu hodinu dokáže vystřídat. To je založeno na informaci, že průměrné dobití v roce 2020 bylo 15 kWh. [64] Pokud tedy pokrývám 315 kWh, potřebuji, aby se na stanicích vystříдалo za hodinu 21 elektromobilů. Zde je respektován také výkon stanic, tj. AC 22 kW zásuvka zvládne za jednu hodinu průměrně jedno 15 kWh dobití. Na DC superchargeru se s 15 kWh dobíjeními vystřídají v průměru zákazníci 3.

Zbylé podmínky definují, aby byly dodrženy požadavky plynoucí z druhu lokality. Je zde potřeba minimálně jeden stojan 175 kW z důvodu umístění u dálnice (proměnná c je větší nebo rovno 1). Dále je potřeba instalovat jeden modulární stojan (d je větší nebo rovno 1) pro případ vyššího než očekávaného nárůstu počtu elektromobilů (možnost rozšíření na 300 kW) a maximálně 2 DC Wallboxy, neboť jejich nízká cena by mohla znamenat doporučení pro pořízení mnoha těchto pomalých stanic na úkor těch rychlých. Ty jsou vyžadovány z mnoha již zmíněných důvodů. Sestavený lineárně optimalizační model:

Kriteriální funkce:

$$300a + 600b + 1500c + 2000d = MIN \quad (08)$$

Omezující podmínky:

$$16a + (25 + 10)b + 110c + 90d \geq 315 \quad (09)$$

$$a + (1 + 2)b + 4c + 3d \geq 21 \quad (10)$$

$$a \leq 2 \quad (11)$$

$$c \geq 1 \quad (12)$$

$$d \geq 1 \quad (13)$$

$$a ; b ; c ; d \geq 0 \quad (14)$$

Pro vyřešení této soustavy nerovnic jsem použil přiložený notebook výpočetního programu Wolfram Mathematica. Řešením je instalovat 2 ks DC Wallboxu 24 kW, 4 ks kombinované DC a AC technologie 72 kW, 1 ks nedělené DC technologie 175 kW a 1 ks dělené DC technologie 150 kW. **Celková pořizovací cena je 6 500 000 Kč.**

Položka	Jednotkový příkon [kW]	Jednotkový výkon [kW]	Uvažovaný počet stanic	Potřebný příkon [kW]	Celkový výkon [kW]
DC Wallbox (24 kW)	25	24	2	50	48
URDS (50 DC + 22 AC kW)	77	72	4	308	288
UF nedělená t. (175 kW)	184	175	1	184	175
Výkonový kabinet (150 kW)	150	150	1	150	150
UF dělená t. (-)	10	0	1	10	0
Celkem	-	-	8	702	661

Tabulka 1 - Skladba dobíjecích stanic pro hub OC Letňany

Celkový výkon dobíjecího hubu o 8 stanicích bude 661 kW. Kvůli vlastní spotřebě stanic v řádech jednotek procent je však nutno počítat také s o něco vyšším příkonem 702 kW.

5.2.2 Dimenzování DS pro 2. etapu

Dimenzování počtu a výkonu dobíjecích stanic probíhá na stejném předpokladu. To znamená, že jako první potřebuji pro každý scénář znovu určit cílové zatížení v posledním roce provozu. Zde již není potřeba celý postup detailně popisovat. V následujících řádcích tak budou zmíněny pouze klíčové informace. Podrobné výpočty lze nalézt v příloženém souboru Optimalizace počtu DS.nb z programu Mathematica.

a) Optimistický scénář

Optimistický scénář počítá s koeficientem růstu dodané energie od roku 2030 do roku 2042 s meziroční mírou 14 %. To znamená, že cílová hodnota spotřebované energie je přibližně 5,86 GWh za rok 2042. Přepočteno na denní zatížení 16,1 MWh za den se špičkou 1169,1 kWh v 17. hodině. Celkově je také potřeba obsloužit až 50 zákazníků ve špičkovou hodinu. Výsledek optimalizace:

Položka	Jednotkový příkon [kW]	Jednotkový výkon [kW]	Uvažovaný počet stanic	Potřebný příkon [kW]	Celkový výkon [kW]
DC Wallbox (24 kW)	25	24	2	50	48
URDS (50 DC + 22 AC kW)	77	72	2	154	144
UF nedělná t. (175 kW)	184	175	9	1656	1575
Výkonový kabinet (150 kW)	150	150	1	150	150
UF dělná t. (-)	10	0	1	10	0
Celkem	-	-	14	2020	1917

Tabulka 2 - Optimalizované počty DS pro 2. etapu v optimistickém scénáři

Z tabulky je vidět, že výsledkem optimalizace je upřednostnění rychlých dobíjecích stanic, na kterých je možné dodat potřebnou energii průměrného dobití výrazně rychleji, tudíž se během jedné hodiny stihne vystřídat více zákazníků. Celkový výdaj na reinvestici do 14 DS v optimistickém scénáři činí **17 350 000 Kč**.

b) Realistický scénář

Realistický scénář počítá s koeficientem růstu dodané energie od roku 2030 do roku 2042 s meziroční mírou 15 %. Vyšší růst ve 2. etapě oproti optimistickému scénáři je způsoben nižším růstem v etapě první. Cílová hodnota spotřebované energie je přibližně 4,65 GWh za rok 2042. Přepočteno na denní zatížení 12,75 MWh za den se špičkou 928,5 kWh v 17. hodině. Celkově je také potřeba obsloužit až 40 zákazníků ve špičkovou hodinu. Výsledek optimalizace je znázorněn v následující tabulce:

Položka	Jednotkový příkon [kW]	Jednotkový výkon [kW]	Uvažovaný počet stanic	Potřebný příkon [kW]	Celkový výkon [kW]
DC Wallbox (24 kW)	25	24	2	50	48
URDS (50 DC + 22 AC kW)	77	72	4	308	288
UF nedělná t. (175 kW)	184	175	6	1104	1050
Výkonový kabinet (150 kW)	150	150	1	150	150
UF dělná t. (-)	10	0	1	10	0
Celkem	-	-	13	1622	1536

Tabulka 3 - Optimalizované počty DS pro 2. etapu v realistickém scénáři

I v tomto scénáři je kladen větší důraz na výstavbu ultrarychlých dobíjecích stanic. Celkový výdaj za 13 stanic této varianty reinvestice činí **14 050 000 Kč**.

c) Pesimistický scénář

Pesimistický scénář počítá s meziroční mírou růstu na úrovni 17 %. Vyšší růst ve 2. etapě je opět způsoben nižším růstem v etapě první. Cílová hodnota spotřebované energie je přibližně 3 GWh za rok 2042. Přepočteno na denní zatížení 8,26 MWh za den se špičkou 601,4 kWh v 17. hodině. Celkově je také potřeba obsloužit až 26 zákazníků ve špičkové hodině. Výsledek optimalizace:

Položka	Jednotkový příkon [kW]	Jednotkový výkon [kW]	Uvažovaný počet stanic	Potřebný příkon [kW]	Celkový výkon [kW]
DC Wallbox (24 kW)	25	24	2	50	48
URDS (50 DC + 22 AC kW)	77	72	2	154	144
UF nedělná t. (175 kW)	184	175	4	736	700
Výkonový kabinet (150 kW)	150	150	1	150	150
UF dělná t. (-)	10	0	1	10	0
Celkem	-	-	9	1100	1042

Tabulka 4 - Optimalizované počty DS pro 2. etapu v pesimistickém scénáři

Také u pesimistického scénáře je ekonomicky nejvýhodnější pořídit vyšší počet ultrarychlých dobíjecích stanic na úkor běžných kombinovaných stanic. Celkový výdaj za reinvestici do 9 stanic v pesimistické variantě činí **9 850 000 Kč**.

Výsledkem tedy je, že pro první etapu bude potřeba zajistit příkon 702 kW pro celkem 8 dobíjecích stanic. Pro druhou etapu bude vyžadován příkon až 2 MW. Podle tohoto nejvyššího zatížení bude zároveň dimenzována trafostanice pro obě uvažované varianty.

5.3 Dimenzování výkonu a kapacity úložiště energie

5.3.1 Dimenzování výkonu měničů

S tematikou příkonu také velmi úzce souvisí dimenzování výkonu měničů u bateriového systému. V úvodu práce jsem již zmiňoval potenciál snížení rezervované kapacity a nahrazení tohoto výkonu bateriemi. Hlavním úkolem u dimenzování výkonu měničů je tedy stanovit, o kolik mohou snížit rezervovanou kapacitu, při dodržení spolehlivosti a bezpečnosti dodávky.

Teoretické maximum příkonu bude v praxi využito jen velmi zřídka (navíc po velmi krátkou dobu) nebo vůbec. To souvisí s koeficientem soudobosti dobíjení, který udává, kolik procent příkonu je potřeba při nejvyšším dlouhodobějším zatížení. Pravděpodobnost vysokého koeficientu soudobosti navíc s počtem stanic klesá. Běžně se v praxi pro vyšší počty stanic než 2 používají koeficienty kolem 0,7 – 0,8. [64] Jelikož mám však k dispozici data od lokality, kde jsou dobíjecí stanice 3 (navíc se 6 konektory), rozhodl jsem se tento koeficient také analyzovat.

V roce 2020 nastala pouze jednou situace, kdy bylo v jeden okamžik dobíjeno na všech šesti konektorech (zároveň jsem ověřil, že se jednalo o okamžik s nejvyšší soudobostí). Teoretické maximum lokality je 3x50 kW na DC konektorech a 3x22 kW na AC kabelech – tedy 216 kW. Reálně naměřené maximum však bylo 126,7 kW, což je přibližně **60 %** instalovaného výkonu (koeficient souběhu $k_s = 0,6$). Důvodem pro tento snížený dodávaný výkon jsou opět odlišné nabíjecí schopnosti, nabíjecí křivky a neideální stavy baterií všech 6. připojených elektromobilů. Ke zmiňovanému souběhu došlo za zkoumané období deseti měsíců přibližně na 35 minut.

Z této analýzy vyplývá, jaký rezervovaný příkon budu pro hub v 1. etapě potřebovat. Zbytek příkonu do teoretického maxima bude pokryto měničem z baterie. Dle zjištěných souběhů by zřejmě nebylo nutné dimenzovat měniče na 100% pokrytí příkonu, ve všech předchozích částech této práce jsem však aplikoval metodu dimenzování na nejhorší scénář (worst case scenario), a tudíž i zde dimenzuji měnič na pokrytí 100 % příkonu. Potřebný příkon popisují následující rovnice:

$$P_{rez} = k_s * P_{celk} = 0,6 * 702 \doteq 421 \text{ kW}, \quad (15)$$

$$P_{měnič} \geq P_{celk} - P_{rez} \geq 702 - 421 \geq 281 \text{ kW}, \quad (16)$$

kde:

k_s ... získaný koeficient soudobosti

P_{rez} ... příkon který je třeba rezervovat

P_{celk} ... celkový potřebný příkon

$P_{měnič}$... minimální příkon bateriového měniče

Z rovnic vyplývá, že poplatek za rezervovanou kapacitu (rezervovaný příkon ze sítě) bude počítán pro 421 kWh. Výkon měničů bude zvolen dle dostupných technologií, minimálně však 281 kW.

Dimenzování příkonu pro 2. etapu je analogické. Ve druhé etapě je navíc ještě více nepravděpodobné, že by docházelo k vysokým soudobostem (čím více stanic, tím těžší je dosáhnout plného výkonu lokality). [64] Z tohoto důvodu bude systém měničů (po reinvestici) vyhovovat i dalších 10 let druhé etapy.

5.3.2 Dimenzování kapacity bateriového systému

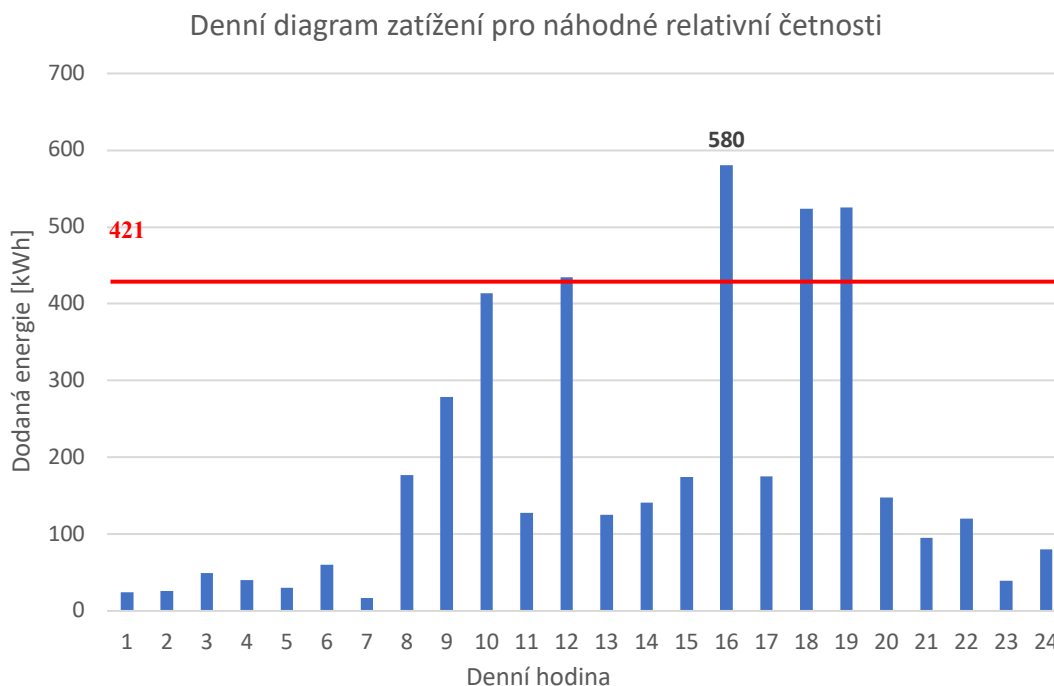
Druhým důležitým parametrem úložiště energie je kapacita. V prvních letech provozu (nižší poptávka po dobíjení) by měl bateriový systém především akumulovat přebytečnou energii z FVE, neboť neočekávám příliš časté nabíjecí špičky, ve kterých by byla energie z baterie

potřeba. Postupem času naopak očekávám poptávku vysokou, tudíž bude bateriový systém sloužit k vykrývání možných nárazových špiček dobíjení. Základní diagram zatížení sice v žádné hodině nepočítá s vyšším odběrem, než je možné dodat ze sítě kvůli rezervované kapacitě, ale to neznamená, že tam krátkodobé vyšší výkonové špičky nastat nemohou. Přesně v těchto okamžicích bude zasahovat baterie.

Optimalizace kapacity baterie proběhne pro první etapu, neboť právě v této části projektu očekávám klíčové využití baterie. To je dáno nižším počtem dobíjecích stanic (je tedy pravděpodobnější vyšší soudobé zatížení) a potenciálem pro uložení vyrobené elektřiny. Podíl využití elektřiny ku vyrobené elektřině bude jistě časem stoupat.

Pro první etapu jsem definoval, že je ze sítě kvůli rezervované kapacitě možné za jednu hodinu dodat maximálně 421 kWh (rezervovaný příkon je 421 kW). Pokud však energie v předloženém diagramu v dané hodině převyšuje 421 kWh, musí zbylou energii pokrýt baterie. Celková kapacita baterie pak musí vykrýt podobné špičky za celý den, než bude možno ji přes noc opět dobít. V hodinách s nízkým vytižením je naopak nutné, aby baterie dokázala uložit co nejvíce vyrobené elektrické energie FVE systémem. V nočních hodinách vysoké zatížení na dobíjecích stanicích nepředpokládám. Nyní je důležité modelem náhodného chování zákazníků namodelovat potenciální špičky za celý den v roce 2032 (rok s nejvyšším zatížením v první etapě).

Tentokrát jsem tedy pro diagram denního zatížení nechal relativní četnosti náhodně generovat. Generovaná čísla vždy odpovídají očekávanému průběhu. To znamená, že v 17. hodině, kde jsem pozoroval nejvyšší zatížení, je generováním možné dosáhnout také maximálního zatížení. V ostatních hodinách je maximální možné zatížení generováno poměrově vzhledem ke zjištěným hodnotám. To znamená, že v 17. hodině je možné vygenerovat zatížení přibližně 700 kWh/h (tedy relativní četnosti 26 %). Naopak v 7. hodině ráno je možné dosáhnout relativní četnosti pouze 4 %, protože je přibližně dodržen poměr relativních četností ze získaných skutečných. Vygenerovaná hodinová zatížení jsou následně znormována tak, aby byla dodržena hodnota celkového denního zatížení v roce 2032. Celková denní spotřebovaná energie tedy opět činí 4,4 MWh. Následující graf ukazuje vygenerovaný denní diagram zatížení s deficitem 383 kWh. Veškeré detailní podklady jsou k dispozici v příloženém souboru MODEL_DP na listu „Dimenzování baterie“.



Graf 18 - Denní diagram zatížení pro náhodně relativní četnosti

Tento algoritmus jsem opakovl 365krát pro každý den v roce. Maximální deficity energie dosahovali hodnot 300-390 kWh. Z celkového počtu iterací pouze 8 výsledků překročilo hodnotu 300 kWh deficitu. Z toho usuzuji, že v 98 % případů bude naprosto dostačující instalace baterie o využitelné kapacitě 300 kWh. Baterií nepokrytelný deficit bude pokryt výrobou z FVE, případně následným softwarovým omezením výkonu v reálném čase. Toto softwarové omezení zcela jistě žádný ze zákazníků nebude schopen identifikovat. V časech nízkého vytížení na dobíjecím hubu je navíc možné baterii dobít i přes den. V tomto vygenerovaném případě se v Grafu 18 jako ideální hodinou pro dobíjení baterie jeví 17. hodina. Z grafu lze pozorovat, že je baterie částečně vybita po vysoké špičce v 16. hodině. V 17. hodině je zde výkonová rezerva, která může být využita pro dobítí a přípravu baterie na následující špičku. Touto problematikou jsem se však dále nezabýval, neboť podrobná optimalizace těchto dobíjecích cyklů by byla nad rámec této diplomové práce.

Výsledkem dimenzování úložiště energie je tedy chemická baterie o celkové kapacitě 330 kWh (chemická vzhledem k vysoké kapacitě) s měničem 300 kW. **Náklad na pořízení** takového systému byl na základě historických nabídek podobných bateriových řešení pro ČEZ a.s. stanoven na **6 500 000 Kč**. [64] Životnost baterie je při správném cyklování a údržbě odhadnuta na 20 let. [73] Toho je dosaženo také vysokou modularitou bateriových článků. Degradace je dodavatelskou firmou v prvních 10 letech uváděna nulová. Po dalších 10 let počítám s degradací 1 % ročně, což v roce 2042 zajistí dostatečnou využitelnou kapacitu přibližně 269 kWh.

5.4 Optimalizace výkonu FVE systému

Jak již bylo řečeno, pro maximální využití bateriového systému je ideální instalovat také fotovoltaickou elektrárnu. Pokud se podívám na základní diagram zatížení dobíjecího hubu, je vidět, že většina energie je dodávána mezi 8. a 19. hodinou. Právě v těchto časech ve slunné dny FVE vyrábí elektřinu, tudíž je zde velký potenciál využití. Pro dimenzování výkonu FVE je třeba veškeré průběhy výroby elektřiny nasimulovat v závislosti na instalovaném výkonu.

5.4.1 Simulace vyrobené elektřiny

Optimalizace počtu zakoupených panelů musí vycházet z množství energie, kterou je systém reálně schopen vyrobit. Pro simulaci této výroby jsem využil data systému Evropské unie PVGIS (Photovoltaic geographical information system). [68] Do programu jsem zadal přesnou polohu střechy OC Letňany a nechal vygenerovat data osvitů pro čtyři roční období. Instalace FVE na plochou střechu má navíc tu výhodu, že pomocí nosné konstrukce může být docíleno ideálního sklonu a natočení panelů pro danou lokalitu. Vybral jsem tudíž jižní azimut a sklon 35 %. Měsíce byly pro znázornění voleny tak, aby zahrnovaly data o nejvyšším a nejnižším osvitě, a zároveň byly rovnoměrně rozprostřeny v roce. Nejnižší osvit je běžně v měsíci lednu, naopak s nejvyšším osvitem se počítá v červenci. Tabulka 2 prezentuje rozdělení osvitů v jednotlivých ročních obdobích. Každý jednotlivý denní průběh (ze čtyř ročních období) byl pro zjištění ročního osvitů násoben koeficientem 91,25, aby bylo dosaženo potřebného počtu dní v roce.

čas	LEDEN [W/m ²]	DUBEN [W/m ²]	ČERVENEC [W/m ²]	ŘÍJEN [W/m ²]
0:00	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
5:00	0	0,6	25,7	0
6:00	0	49,36	90,28	0
7:00	0	181,95	223,22	60,58
8:00	7,36	350,3	390,81	190,36
9:00	126,73	504,04	525	304,84
10:00	200,09	600,58	627,64	370,68
11:00	218,86	645,15	663,81	426,59
12:00	239,39	668,18	649,29	435,66
13:00	229,17	624,22	616,65	391,26
14:00	182,14	536,9	534,62	332,02
15:00	119,16	418,29	451,03	227,18
16:00	10,53	304,6	355,34	110,62
17:00	0	155,52	216,89	2,89
18:00	0	29,76	91,66	0
19:00	0	0,01	30,25	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0

Tabulka 5 - Data osvitů pro čtyři roční období ze systému PVGIS [68]

Celková dodaná energie z FVE systému v dané hodině se pak vypočítá podle následujícího vzorce [56]:

$$E_{celk} = G_i * \eta_{panel} * S_{panel} * \eta_{systém} * x \quad (17)$$

$$G_i = (G_b + G_d), \quad (18)$$

kde:

E_{celk} ... dodaná energie systémem [Wh]

G_i ... globální ozáření v dané hodině, G_b ... přímé ozáření, G_d ... difuzní ozáření [W/m²]

η_{panel} ... účinnost panelu

S_{panel} ... plocha panelu [m²]

$\eta_{systém}$... účinnost systému

x ... počet panelů

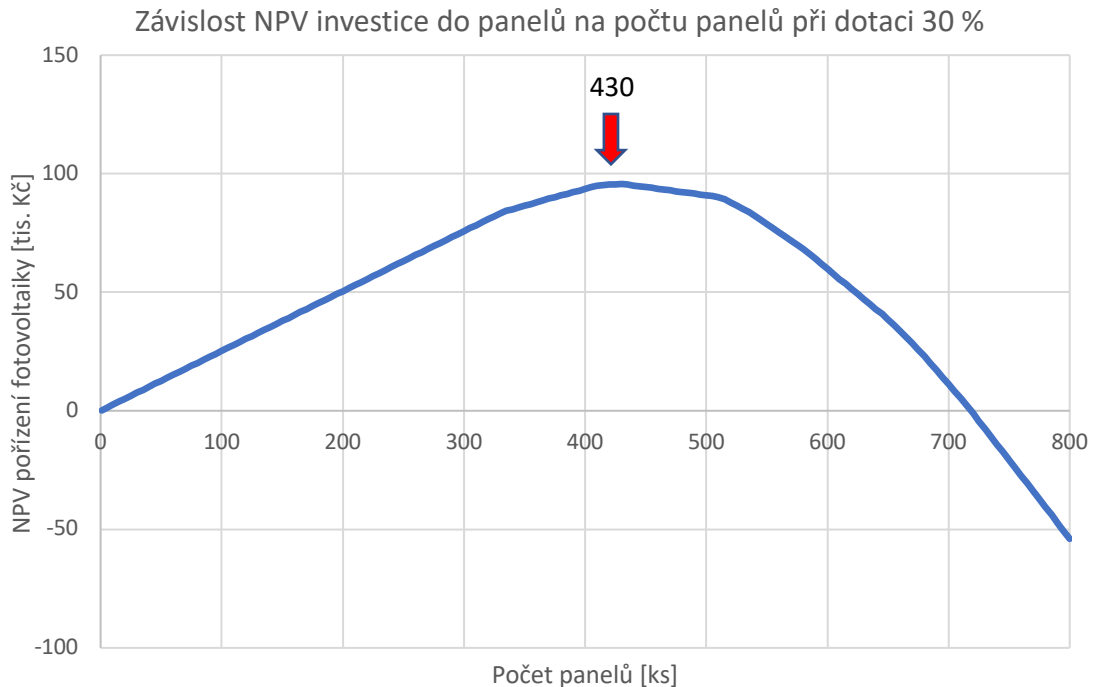
5.4.2 Ekonomická optimalizace počtu panelů

Nyní už dokážu říct, kolik elektřiny panel vyrobí, tudíž kolik silové elektřiny nebude muset být odebráno ze sítě. Pro ekonomickou optimalizaci jsem v tomto případě vybral kritérium NPV. Od původně představeného NPV, které bylo prezentováno jako výdajové, se tento postup lehce liší. V roce 2022 počítám s instalací do panelů. V následujících letech však očekávám „příjmy“ v podobě neodebrané síťové elektřiny. Tato elektřina je vyrobena z panelů a není tudíž nutné za ni platit. V tomto případě tedy aplikuji teorii, že nejlepší možná volba investice má nejvyšší čistou současnou hodnotu NPV.

Zavedené předpoklady:

- Výpočet byl proveden pro jeden standardní panel o výkonu 260 Wp, ploše 1,6 m² a s účinností 16 %. Pořizovací cena jednoho panelu je 2 017 Kč [72]
- Uvažuji investiční dotaci z programu OPPIK ve výši 30 % [65]
- Účinnost in-out FVE systému je 84 % [72]
- Degradaci panelů jsem linearizoval na hodnotu 1 % ročně (koncová úč. 83 %) [72]
- Model počítá s dotací OPPIK na pořízení FVE systému ve výši 30 %
- „Příjem“ za nevyužitou vyrobenou elektřinu se skládá z variabilních složek ceny elektřiny, eskalaci této ceny volím na úrovni 3,5 % včetně inflace [75]
- Přebytečná el. energie bude prodávána do sítě za cenu 500 Kč/MWh (zavádím zde předpoklad na základě skutečnosti, že přetoky do sítě z FVE jsou obchodovány za velmi nízké ceny, což se ani do budoucna zřejmě nezlepší)
- Předpokládám, že provozovatel již má licenci na provoz FVE
- V případě přetoků bude možné energii dodat do sítě
- Výše diskontu byla diskutována již v úvodu, jeho velikost volím 10,1 %
- Ekonomika byla posuzována na životnost panelů 20 let s reinvesticí do měničů
- Ekonomická optimalizace počítá s ukládáním přebytků do FVE viz. Grafy 20 a 21
- Optimalizace cyklování baterie s FVE nebyla provedena z důvodu programování různých optimalizací, což převyšuje náročnost jedné diplomové práce

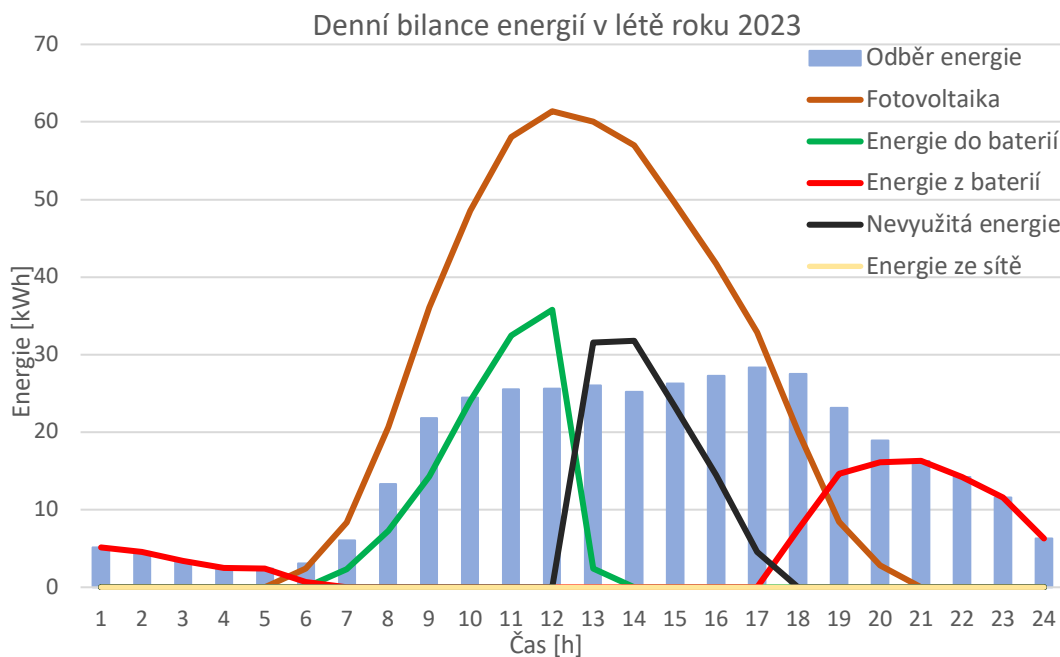
Čistá současná hodnota této úlohy pro jeden panel je 252 Kč. Nyní je nutné udělat citlivostní analýzu. Citlivostní analýza zkoumá vliv vstupní proměnné na celkový výsledek. V mém případě zkoumám vliv počtu panelů na výslednou hodnotu NPV. Čistou současnou hodnotu se snažím maximalizovat. Na Grafu 19 je CA změny počtu panelů vyobrazena:



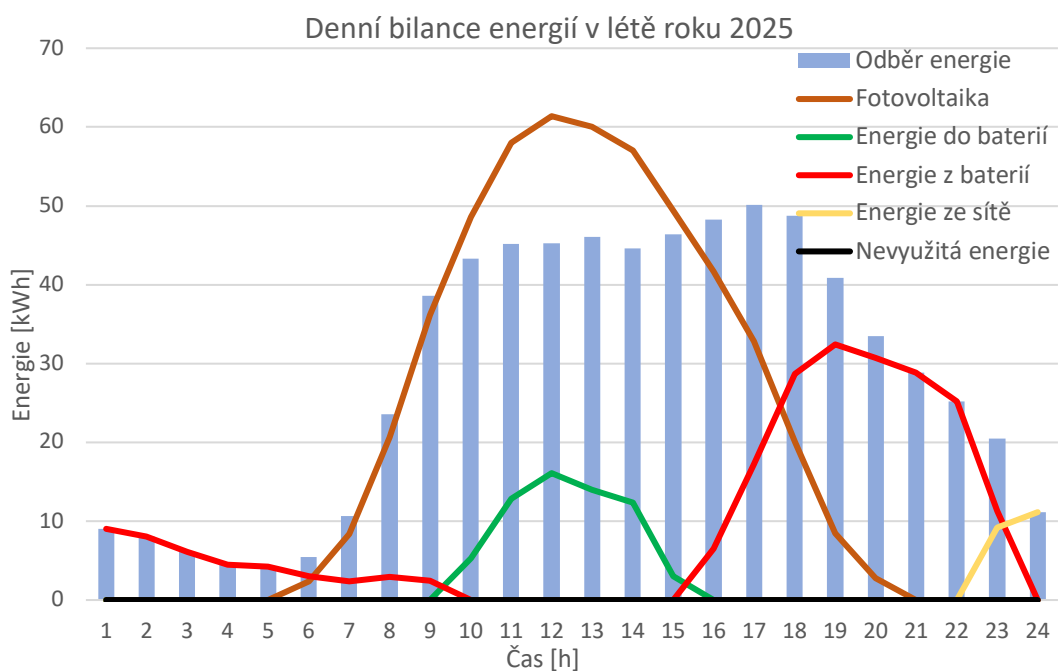
Graf 19 - Citlivostní analýza NPV pořízení fotovoltaiky na počtu instalovaných panelů

Z analýzy vyplývá, že největšího ekonomického užítku NPV = 95 660 Kč bude dosaženo při instalaci 430 ks panelů. Celkový instalovaný výkon bude 108 kWp. **Celkový náklad** na takto rozsáhlý systém bude přibližně **2,5 mil. Kč**. Z grafu je také vidět několik změn směrnice jednotlivých úseček. To je zapříčiněno tím, že ekonomicky nejvýhodnější počet panelů souvisí s maximalizací využití vyrobené elektřiny. Čím více panelů, tím více elektřiny bude dodáno do sítě za mnohem nižší cenu. Pro počet panelů 430 vzniknou přetoky elektřiny pouze v letních měsících roku 2023. Do sítě bude za den dodáno 105 kWh. Pokud by byl počet panelů vyšší, docházelo by k prodeji elektřiny také v dalších letech, což by vzhledem k diskontování prodejní ceny elektřiny přinášelo nižší a nižší užitek. Zároveň by se více vyrobené elektřiny využívalo s nižším ekonomickým přínosem pro projekt (cena elektřiny na prodej ve špičce je mnohem levnější, než cena elektřiny ušetřené). Právě to způsobuje postupné zvyšování strmosti křivky NPV od 430 panelů.

Na druhou stranu je tento zvolený výkon FVE zařízení v kombinaci s baterií tak velký, že v prvním roce provozu bude k uspokojení poptávky po dobíjení potřeba připojení na síť pouze v zimních měsících. Pro analýzu souběhů solární elektrárny s poptávkou po dobíjení jsem sestavil následující grafy denních průběhů toků energií, ze kterých je vidět využití baterie a fotovoltaiky v jednotlivých letech.



Graf 20 - Denní bilance energií v létě roku 2023



Graf 21 - Denní bilance energií v létě roku 2025

Z grafů denní bilance energií je vidět, že procento pokrytí spotřeby přímo z FVE postupem jednotlivých let klesá a neobjevuje se nevyužitá energie. Pro nastavení celého systému je tedy důležité, aby v počátečních letech projektu byly baterie na začátku dne spíše prázdné, aby bylo přes den možno akumulovat elektřinu a využívat ji pro odpolední špičku. V průběhu let se situace bude měnit. Okamžitý výkon FVE bude využíván pro dodávku rovnou do dobíjecích stanic. Energie a výkon baterie bude naopak potřeba po celý den pro pokrytí náhodných špiček. Z tohoto důvodu bude od určitého roku baterie nastavena na plné dobití přes noc. Konkrétní optimalizace chodu a cyklování takto komplexního systému však přesahuje obsah této diplomové práce.

5.5 Dimenzování trafostanice

V předchozích kapitolách již byly určeny všechny komponenty potřebné pro dobíjecí hub a tím byly určeny jednotlivé příkony. Z těchto informací mohu dimenzovat také velikost trafostanice. Podstatnou informací pro tuto optimalizaci je fakt, že náklady na projektování, realizaci a připojení lze z části pokrýt dotací na vybudování dobíjecích stanic. [64] Z tohoto důvodu je logické dimenzovat trafostanici (stejně jako počty dobíjecích stanic pro 1. etapu) na nejvyšší uvažované zatížení. Příkon trafostanice tak bude vždy dostatečný pro všechny uvažované varianty i scénáře po celou dobu životnosti projektu.

Nejvyšší příkon je potřeba ve druhé etapě optimistického scénáře ve výši přibližně 2 MW. Trafostanice o takto vysokém výkonu již musí být pochozí (větší nároky na prostorové umístění na lokalitě) a musí vměstnat 2 transformátory. Dle již provedených instalací byla cena takové trafostanice na klíč odhadnuta na 2,5 - 3 mil. Kč. [64] Dalším podstatným nákladem je poplatek za připojení do sítí vysokého napětí. To se vždy liší od požadovaného výkonu (kvůli tloušťce kabelu) a vzdálenosti od vedení VN (kvůli délce kabelu). Tato cena byla odhadnuta na 0,5 – 1 mil. Kč. [64] Celkový maximální **náklad na připojení** by tedy neměl přesáhnout **4 mil. Kč**.

5.6 Shrnutí jednotlivých variant

Bazickou variantu výstavby dobíjecích stanic budu porovnávat s variantou výstavby dobíjecího hubu s bateriovým systémem a fotovoltaickou elektrárnou ve 3 scénářích. Optimistický scénář kopíruje střední predikci růstu elektromobility, pesimistický scénář naopak predikci mírnou. Realistický scénář je vytvořen tak, aby byl kompromisní variantou k oběma dříve zmíněným scénářům.

Uvažovaný projekt je počítán na dobu životnosti 20 let (podle životnosti fotovoltaiky a baterií), přičemž tato doba je dále rozdělena do dvou provozních etap 2 x 10 let (podle životnosti dobíjecích stanic a měničů). První etapa je po technologické stránce pro všechny scénáře stejná. Instalováno bude celkem 8 ks dobíjecích stanic. V případě inteligentního dobíjecího hubu navíc také baterie o využitelné kapacitě 300 kWh a solární elektrárna o výkonu 108 kWp. Dobíjení elektromobilů bude v každém okamžiku řízeno dynamicky na základě aktuálních podmínek (stav baterie, zatížení, výroba FVE).

Pro dimenzování komponent do 2. etapy uvažuji s již zmíněnými třemi scénáři. Na základě těchto scénářů jsem optimalizoval počty DS, do kterých bude reinvestováno po 1. etapě. V optimistickém scénáři bude potřeba vybudovat 14 DS. Realistický scénář si vyžádá stanic 13 a v pesimistickém scénáři je uvažováno s výstavbou 9 DS. Pro variantu s baterií a fotovoltaikou je navíc nutné počítat také s reinvesticí do výkonových měničů obou těchto systémů. Elektrické připojení bude realizováno za všech okolností stejné. Připojení bude realizováno do sítí VN. Za tímto účelem bude vybudována trafostanice o příkonu 2 MW.

6 Ekonomický model

6.1 Poplatky za elektřinu

S připojením do sítí vysokého napětí přímo souvisí platby za elektřinu. Princip určení celkové ceny za elektřinu při odběru z VN byl již podrobně vysvětlen v úvodu 3. kapitoly. Pro připomenutí však lze zmínit, že právě na tomto nákladu lze ušetřit, pokud bude na lokalitě instalována baterie. Dále lze ušetřit na arbitráži na ceně silové energie. V nočních hodinách mohou odebrat levnou elektřinu, uložit ji do baterií a v době drahé elektřiny přes den dodat na dobíjecí stanice. Tento ekonomický benefit jsem se však rozhodl zanedbat vzhledem k vysoké volatilitě cen elektřiny na vnitrodenním trhu. Zahrnutí tohoto faktoru by celý model velmi (a relativně nepredikovatelně) zkomplikovalo.

Cena elektřiny při odběru ze sítí VN je založena na vysokém fixním poplatku (regulovaném). Pokud tedy bude poptávka po dobíjení malá, ve výsledku se tento vysoký fixní poplatek dostatečně nerozpustí do odebraného množství elektřiny. Nejvyšší položkou těchto fixních plateb jsou platby za rezervovanou kapacitu a platby na podporu obnovitelných zdrojů energie. Částečně tento problém řeší již zmíněný jednosložkový tarif, ten je však vhodný pouze pro malé odběry.

Ve své práci jsem výpočet ceny elektrické energie provedl vždy pro obě varianty ve všech 3 scénářích. Důvodem pro tento postup jsou rozdílné nároky na příkon (ve variantách s bateriovým úložištěm je potřebný příkon snížen o výkon z měničů) a rozdílné množství energie odebrané ze sítě. Jednotlivé příkony jsou pro každou variantu zmíněny v příslušných tabulkách 1–4. Celkový postup výpočtu ceny elektrické energie je obsažen v příloze MODEL_DP na listu „Elektřina“.

Regulované položky ceny elektrické energie jsou uvedeny v aktuálním Energetickém regulačním věstníku. [38] Roční rezervovaná kapacita je vztažena na distribuční území PREDistribuce a.s. Všechny použité ceny jsou uvedeny v následující tabulce:

Položka		Cena	Jednotka	Odhad meziroční změny	
Regulovaná část ceny elektřiny	Jednosložková varianta regulované části ceny elektřiny	Jednosložkový tarif	3 929,07 Kč	Kč/MWh	3,0%
		POZE	65 510,69 Kč	Kč/MW a měsíc	3,0%
		OTE	3,91 Kč	Kč/měsíc	3,0%
		Daň z elektřiny	28,30 Kč	Kč/MWh	0,5%
	Výsledná částka za jednosložkovou variantu				
	Vícesložková varianta regulované části ceny elektřiny	Rezervovaná kapacita	194 060 Kč	Kč/MW a měsíc	4,0%
		Cena za použití sítí	47,9 Kč	Kč/MWh	3,0%
		POZE	65 510,7 Kč	Kč/MW a měsíc	3,0%
		OTE	3,9 Kč	Kč/měsíc	3,0%
		Daň z elektřiny	28,3 Kč	Kč/MWh	0,5%
Výsledná částka za vícesložkovou variantu					
Neregulovaná část ceny elektřiny	Cena silové elektřiny	1 550,0 Kč	Kč/MWh	3,5%	
	Cena za použití sítí	75,0 Kč	Kč/MWh	3,5%	
Výsledná částka za neregulovanou složku					
Celková cena elektřiny					

Tabulka 6 - Výpočet ceny elektrické energie

Pro neregulované ceny elektrické energie vycházím z ceníku ČEZ ESCO a.s. Ceny se liší v závislosti od produktu obchodníka, nicméně pro smlouvu na dobu neurčitou se ceny za silovou elektřinu v tarifu C02d pohybují kolem 1 550 Kč/MWh a cena za použití sítí je 75 Kč/MWh. [74] Právě tento tarif je pro výpočty použit.

Vzhledem k velkému množství výstupů z modelu výpočtu elektřiny je zbytečné číselné výsledky vypisovat zde v textové části práce. Důležitý však je zmínit, že se nákupní cena elektřiny pohybuje v rozmezí 3–11 Kč/kWh v závislosti na scénáři a variantě. Druhým poznatkem je, že se ve všech scénářích v prvních několika letech uplatňuje jednosložková varianta regulované části elektřiny. Dochází k tomu z důvodu malé spotřeby elektřiny (která je při využití FVE a baterie ještě nižší). Odhady meziročních změn (eskalace) jednotlivých položek ceny elektřiny budou probrány v navazující podkapitole.

6.2 Výchozí předpoklady

Ve svojí práci jsem již v mnoha krocích použil zjednodušující předpoklady a eskalace, které vstupují také do ekonomického modelu. Z tohoto důvodu budou výchozí předpoklady seřazeny a uceleny do této kapitoly. Každé zjednodušení bude navíc ohodnoceno na základě toho, zda-li došlo jeho použitím ke zvýhodnění nebo znevýhodnění ekonomického modelu. Možné jsou však také předpoklady, které jsou neutrální vůči ovlivnění modelu.

6.2.1 Predikce množství a ceny spotřebované elektřiny

- Pro dodanou elektřinu během let vycházím z predikcí pro očekávaný růst elektromobility. Zavádím zde zjednodušující předpoklad, že růst počtu elektromobilů v ČR je přímo úměrný poptávce po dobíjení. Tento předpoklad považuji za neutrální vůči možnosti ovlivnění modelu. Díky tomu jsem pro 3 scénáře stanovil meziroční míry růstu poptávky po dobíjení na úrovni 35 %, 29 % a 20 % (optimistický, pesimistický a realistický scénář) pro 1. etapu, potažmo 14, 15 a 17 % pro 2. etapu.
- Spotřebovaná energie se skládá z odběru za sítě a z energie vyrobené FVE systémem. Výroba elektřiny je ovlivněna degradací panelů, kterou jsem linearizoval na - 1 % ročně. Tento předpoklad je lehce v neprospěch modelu, neboť ve skutečnosti je degradace panelů v prvních letech provozu nižší a postupně se zvyšuje. [72]
- Výpočty ceny elektřiny jsou vztaženy na spotřebovanou elektřinu odebranou ze sítě. Zde zavádím zjednodušující předpoklad, že celková spotřebovaná elektřina je rovna dodané elektřině navýšené o vlastní spotřebu a ztráty dobíjecího hubu ve výši + 10 % dodané elektřiny. [64]
- Ve všech výpočtech zohledňuji inflaci, která je k březnu 2021 podle veřejně dostupných dat určena na 2,3 %. [75] Pokud se však podívám na trend a zohledním současnou situaci ovlivněnou covidem 19, přijde mi nepravděpodobné, že by inflace zůstala na této hodnotě. Vzhledem k rostoucímu trendu ve své práci uvažuji inflaci na úrovni 2,5 %, což je v pořádku vzhledem ke dlouhodobému cíli ČNB, který je 2 % (s tolerancí 1 %) Tento předpoklad je mírně v neprospěch modelu.
- Neregulovanou část ceny elektřiny, tedy cenu silové elektřiny a cenu za použití sítí eskaluji na úrovni 1 % nad inflaci, celkově tedy předpokládám 3,5% meziroční nárůst.

- U regulované složky ceny elektřiny také předpokládám zvýšení cen jednotlivých položek. Jednosložkový tarif byl pro aktuální období snížen téměř na polovinu, proto zde předpokládám opět mírný nárůst 0,5 % nad inflaci. Celkově 3% nárůst očekávám také u podpory obnovitelných zdrojů energie, neboť právě na ty se bude kvůli Green Deal v dalších letech přecházet. Cena obnovitelných zdrojů energie je navíc stále vysoká, proto je potřeba ji dále podporovat. S přechodem na OZE souvisí také podpora činnosti OTE, neboť s rostoucím počtem intermitentních zdrojů předpokládám rostoucí nároky také na operátora trhu. Tato eskalace je též 3 %.
- Dále zavádím předpoklad, že rezervovaná kapacita bude ve spojení s elektromobilitou nákladnější. Meziroční nárůst počítám na úrovni 4 %. I cenu za použití sítí ve vícesložkové variantě eskaluji nad inflaci. Celkově předpokládám 3% nárůst.
- Vzhledem k současné situaci s rostoucím zadlužením státu předpokládám růst daně z elektřiny o 0,5 % ročně.
- Ve výpočtu elektřiny v žádném roce neuvažuji s pokutami za nedodržení účinníku a čtvrt hodinového maxima, jelikož je proti nim celý systém jištěn řízením výkonu v reálném čase.

6.2.2 Předpoklady financování projektu

- Pro financování projektu zavádím předpoklad, že veškeré výdaje budou kryty z vlastního kapitálu. Velikost diskontu je rovna nákladu na vlastní kapitál r_e . Tento předpoklad je v neprospěch modelu.
- Diskont uvažuji ve výši 10,1 %.
- Výstavba dobíjecích stanic bude realizovaná energetickou společností. Pro výpočet nákladu na vlastní kapitál pomocí CAPM modelu počítám se zadlužením pro společnost ČEZ a.s.
- Daň z příjmu právnických osob uvažuji v nezměněné výši 19 %.
- Na dobíjecí stanice, trafostanice a vypracovaný projekt uvažuji investiční dotaci 60 %.
- Na bateriový systém a solární elektrárnu uvažuji investiční dotaci 30 %.
- Dotace jsou propláceny zpětně v 1. roce provozu.

6.2.3 Předpoklady provozu dobíjecího hubu

- Životnost projektu uvažuji 20 let podle životnosti FVE panelů. Tento předpoklad je spíše v neprospěch modelu, neboť životnost FVE panelů může být až 25 let.
- Životnosti stanic a měničů předpokládám na úrovni 10 let. Počítám s pravidelnými náklady na opravu a údržbu. V případě měničů je tento předpoklad spíše v neprospěch modelu, neboť při pravidelných údržbách lze docílit životností 12-15 let. [76]
- Pro reinvestici nepředpokládám pokles ceny technologií v letech. Výsledná výše reinvestice je tedy v současných cenách navýšená o inflaci. Tento předpoklad je v neprospěch modelu.
- V projektu počítám s řadou provozních nákladů. Osobní náklady eskalují na úrovni inflace. Náklady na opravu a údržbu dobíjecích stanic odhaduji v prvních letech provozu minimální. S postupem času však očekávám rapidní nárůst těchto nákladů. Z tohoto důvodu uvažuji růst nákladů na opravu a údržbu dobíjecího hubu na úrovni 30 %. Výše

nákladu na opravu a údržbu je závislá na scénáři a variantě. Dvě třetiny zmíněných nákladů připadají na dobíjecí stanice, zbytek je určen pro údržbu baterií a FVE systému.

- Pronájem a údržba parkovacích míst je meziročně eskalována na úrovni předpokládané inflace 2,5 %.
- Pronájem prostorů pro FVE a baterii je také eskalován 2,5 % kvůli výši inflace.
- Osobní náklady činní pro všechny varianty 20 tis. Kč v prvním roce a jsou eskalovány na úrovni inflace.

6.3 Výdaje jednotlivých variant

Jelikož každá z variant obsahuje jiné složení komponent, od kterého se odvozují náklady na opravu a údržbu, pronájem parkovacích míst a prostorů pro FVE a baterii, považují za důležité tyto finanční vstupy přehledně shrnout. Celkové výdaje uvedené v tisících Kč jsou seřazeny podle jednotlivých variant i scénářů v následující tabulce:

VÝDAJE	Položka	Optimistický scénář		Realistický scénář		Pesimistický scénář	
		BAZICKÁ	FVE + BAT	BAZICKÁ	FVE + BAT	BAZICKÁ	FVE + BAT
1. etapa (rok 2023)	Investice (bez dotací)	10 950 Kč	20 028 Kč	10 950 Kč	20 028 Kč	10 950 Kč	20 028 Kč
	Náklady osobní	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč
	Náklady na opravu a údržbu hubu	13 Kč	20 Kč	13 Kč	20 Kč	13 Kč	20 Kč
	Pronájem a údržba parkovacích míst	80 Kč	80 Kč	80 Kč	80 Kč	80 Kč	80 Kč
	Pronájem prostorů pro FVE a baterii	- Kč	50 Kč	- Kč	50 Kč	- Kč	50 Kč
2. etapa (rok 2033)	Investice	22 765 Kč	25 948 Kč	18 435 Kč	21 618 Kč	12 924 Kč	16 108 Kč
	Náklady osobní	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč	20 Kč
	Náklady na opravu a údržbu hubu	34 Kč	51 Kč	32 Kč	48 Kč	22 Kč	33 Kč
	Pronájem a údržba parkovacích míst	179 Kč	179 Kč	166 Kč	166 Kč	115 Kč	115 Kč
	Pronájem prostorů pro FVE a baterii	- Kč	64 Kč	- Kč	64 Kč	- Kč	64 Kč

Tabulka 7 - Přehled jednotlivých výdajů pro všechny varianty a scénáře

Tabulka obsahuje jednotlivé výdaje zapsány v reálných hodnotách, tj. pro rok 2033 již po započtení inflace. Z tabulky je na výdajích vidět rozlišení jednotlivých scénářů. Tabulka neobsahuje pouze výdaje za elektřinu, protože ty již byly popsány v podkapitole 6.1.

7 Zhodnocení variant dobíjecího hubu

Tato kapitola se zabývá interpretací a vyhodnocením ekonomického modelu. Varianty budou nejprve porovnávat v jednotlivých scénářích, následně bude rozhodnuto o celkově lepší variantě výstavby dobíjecího hubu. Toto tvrzení podložím citlivostními analýzami. Nejprve bude provedeno hodnocení na základě kvantitativního porovnání, následně bude provedena diskuse kvalitativních parametrů obou variant. Všechny podrobné **výsledky modelu jsou přiloženy v soboru Model-DP.xlsx**.

7.1 Optimistický scénář

7.1.1 Bazická varianta

V optimistickém scénáři vychází výdajové NPV pro bazickou variantu ve výši **85 684 tis. Kč**. Měrná cena 1 dodané kWh elektřiny vychází na **7,78 Kč/kWh**.

7.1.2 Varianta FVE + BAT

Čistá současná hodnota varianty inteligentního dobíjecího hubu v optimistickém scénáři vychází **80 595 tis. Kč**. Měrnou cenu jsem určil ve výši **7,31 Kč/kWh**.

7.2 Realistický scénář

7.2.1 Bazická varianta

Bazická varianta v realistickém scénáři udává výdajové NPV = **71 158 tis. Kč**. Přepočtená konstantní cena C za životnost, která udává měrnou cenu dodané elektřiny vychází **8,52 Kč/kWh**.

7.2.2 Varianta FVE + BAT

Varianta s bateriovým úložištěm a fotovoltaikou má výdajové NPV **67 123 tis. Kč** s přepočtenou měrnou cenou **8,04 Kč/kWh**.

7.3 Pesimistický scénář

7.3.1 Bazická varianta

NPV pro bazickou variantu v pesimistickém scénáři vychází **52 107 tis. Kč**. Přepočtený výdaj potřebný pro dodání 1 kWh zákazníkům vychází **9,92 Kč/kWh**.

7.3.2 Varianta FVE + BAT

Druhá posuzovaná varianta má v tomto scénáři NPV = **48 830 tis. Kč** s měrnou cenou za dodanou kWh **9,30 Kč/kWh**.

7.4 Diskuse kvantitativních výsledků

Z výsledků ekonomického modelu mohu nyní vyvodit několik závěrů. Jelikož porovnávám varianty na základě NPV, které je výdajové, ekonomicky výhodnější variantou je ta s nižší hodnotou NPV. Z předložených výsledků je patrné, že **ve všech scénářích vychází ekonomicky lépe varianta moderního dobíjecího hubu s fotovoltaikou a bateriovým úložištěm**. Toho je docíleno především úsporou na vysokých fixních poplatcích při odběru elektřiny ze sítí vysokého napětí. Dále by úspora mohla být ještě vyšší vzhledem k možné arbitráži na ceně silové elektřiny.

Dále lze z modelu vyvodit, že ekonomicky **nejvhodnějším scénářem je scénář optimistický**. NPV zde sice vychází nejvyšší, to je však zapříčiněno vyššími investicemi. Důležité je, že se vysoké výdaje rozpustí mezi vyšší množství dodaných kWh, což ve výsledku sníží měrnou cenu.

Za klíčové pro ověření správnosti vytvořeného ekonomického modelu považuji zasadit získané měrné ceny do reality. V závislosti na scénáři a variantě se vypočtené ceny pohybují mezi 7,31 - 9,92 Kč. Při analýze současných cen, za které lze v České republice dobít, jsem došel k závěru, že se tyto ceny pohybují od 3,50 do 15,50 Kč. [64] Mnohdy se navíc k této ceně za odebranou elektřinu přičítá poplatek za čas dobíjení, čímž se nechá zohlednit dobíjecí výkon stanic. Na dobíjecí stanici s vyšším výkonem je oproti pomalé DS možné strávit méně času při dobití stejného množství energie, tudíž je možné na ní účtovat přírůstek za tento benefit. Vzhledem k tomuto cenovému porovnání 1 dodané kWh mohu tvrdit, že **výsledky odpovídají realitě**.

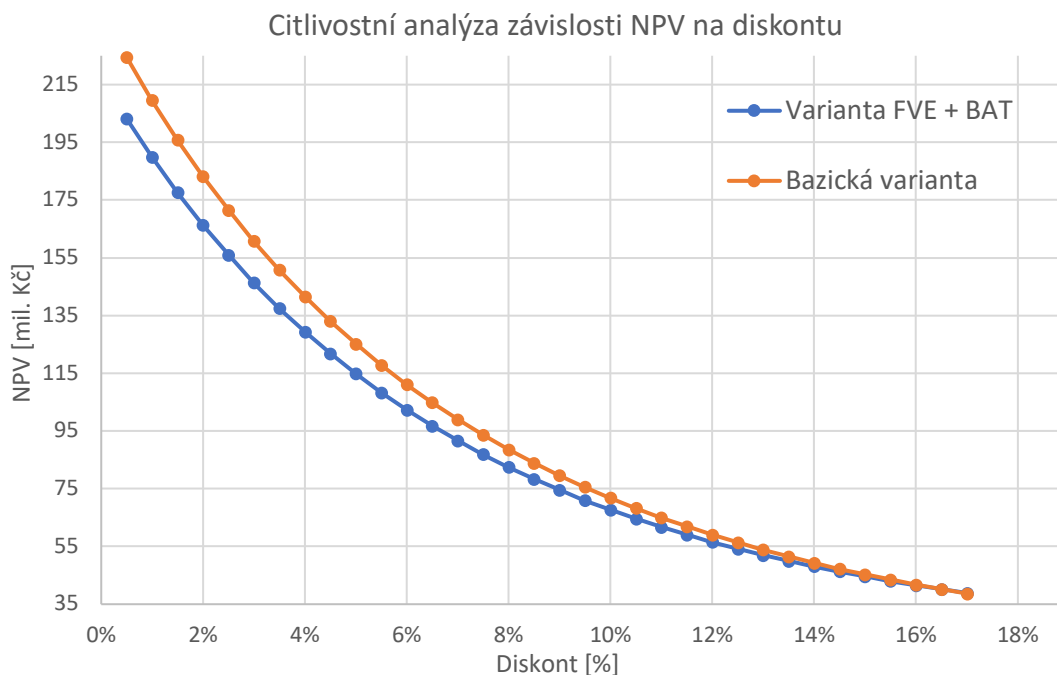
7.5 Citlivostní analýzy

K podrobné analýze výsledků jsem se rozhodl vypracovat citlivostní analýzy (CA) na jednotlivé vstupy modelu. Vzhledem k použití kvalifikovaných odhadů a predikcí budoucího vývoje vstupních dat modelu je potřebné provést analýzu výsledků při změně klíčových vstupních údajů.

Vzhledem k relativně velké podobnosti citlivostních analýz vytvořených ve všech scénářích budu v této části prezentovat pouze citlivostní analýzy vytvořené pro realistický scénář. První sestavenou citlivostní analýzou je CA závislosti výsledného NPV projektu na diskontu.

7.5.1 CA závislosti NPV na diskontu

I když byl diskont vypočítán pro konkrétní oblast energetiky a firmu ČEZ a.s. podle modelu CAPM, pořád jde o údaj, který nelze s jistotou očekávat. Následující graf znázorňuje, jak změna vstupu v podobě diskontu ovlivní výsledné NPV.

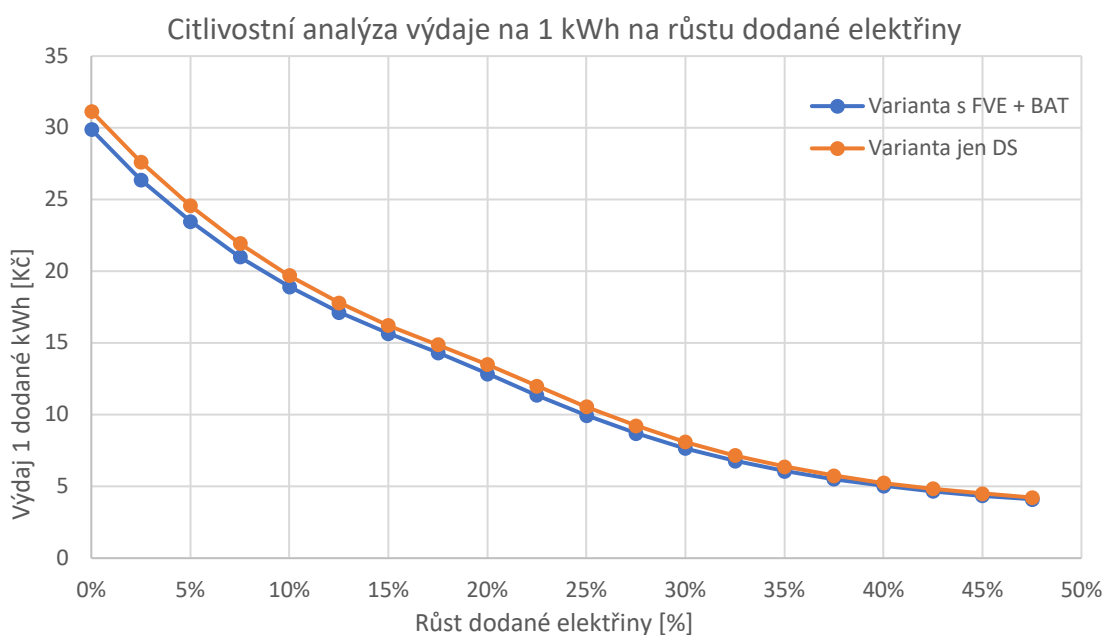


Graf 22 - Citlivostní analýza závislosti NPV na diskontu

Z provedené analýzy závislosti NPV obou variant v realistickém scénáři vyplývá, že se zvyšujícím se diskontem se bude ekonomický rozdíl mezi oběma variantami snižovat. Při diskontu převyšujícím 17 % bude výhodnější volbou bazická varianta projektu. Takto vysoký diskont však považuji za velmi nepravděpodobný.

7.5.2 CA závislosti výdaje na 1 dodanou kWh na růstu dodané energie

Druhým poměrně nejasným vstupem je odhad růstu dodané energie. Tento vstup jsem se rozhodl zkoumat ve vztahu k měrné ceně energie, neboť výsledná analýza má vyšší vypovídací hodnotu.

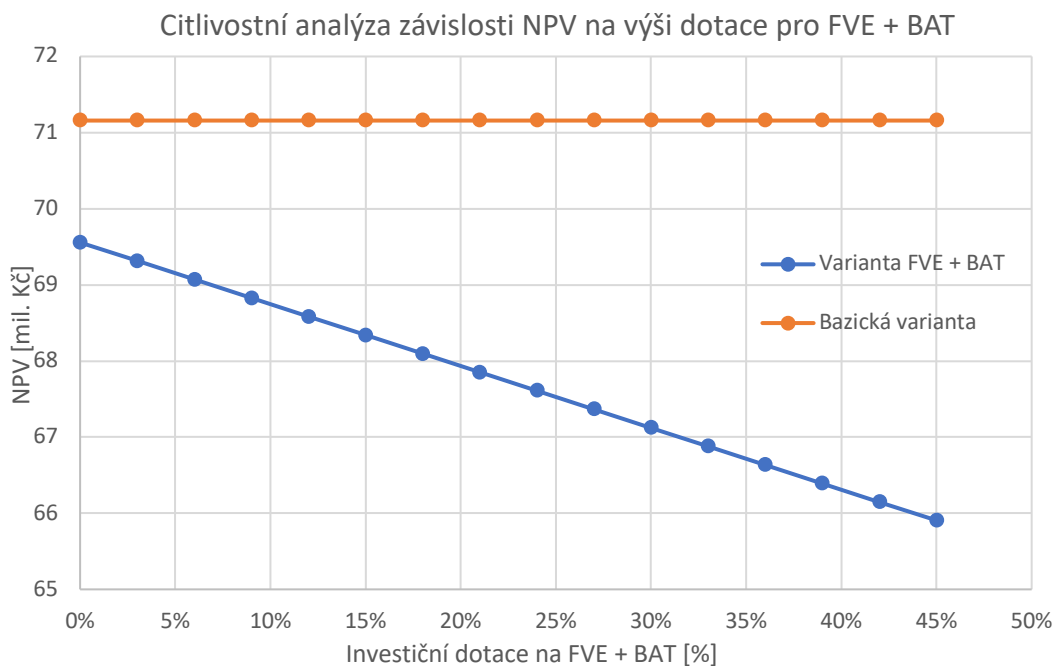


Graf 23 - Citlivostní analýza závislosti měrné ceny 1 kWh na růstu dodané elektřiny

Z této citlivostní analýzy je vidět, jak moc je pro elektromobilitu důležitý její rozvoj. V případě stagnace na současném stavu by se elektřina z dobíjecího hubu musela prodávat na úrovni 30 Kč/kWh, nebo by byl celý projekt výrazně ztrátový. S rostoucím tempem růstu elektromobility je však cena snižována. Pro analýzu variant je však důležité, že až do růstu 47 % ročně se vyplatí dobíjecí hub realizovat s FVE a baterií, neboť výsledné NPV je nižší v celé této oblasti. To je dáno tím, že se vysoké fixní poplatky při odběru ze sítí VN rozpustí mezi velmi vysoké počty odebraných kWh. Výsledná měrná cena tak může být nižší pro bazickou variantu. Podobný efekt je možné pozorovat také pro ostatní scénáře růstu elektromobility. Vyšší růst elektromobility než 47 % ročně však nepovažuji za reálný.

7.5.3 CA závislosti NPV na výši dotace pro FVE + BAT

Dalším důležitým faktorem pro vývoj NPV jsou obdržené dotace. Pro případ že by dotace pro projekt nebyla přiznána v plném rozsahu (nebo vůbec), je třeba prozkoumat, jak se výsledek modelu změní v souvislosti s výší této investiční podpory. Jelikož jsou dotace pro dobíjecí stanice shodné v obou variantách, zvolil jsem pro citlivostní analýzu pouze dotace na podporu OZE a úložiště energie v realistickém scénáři.



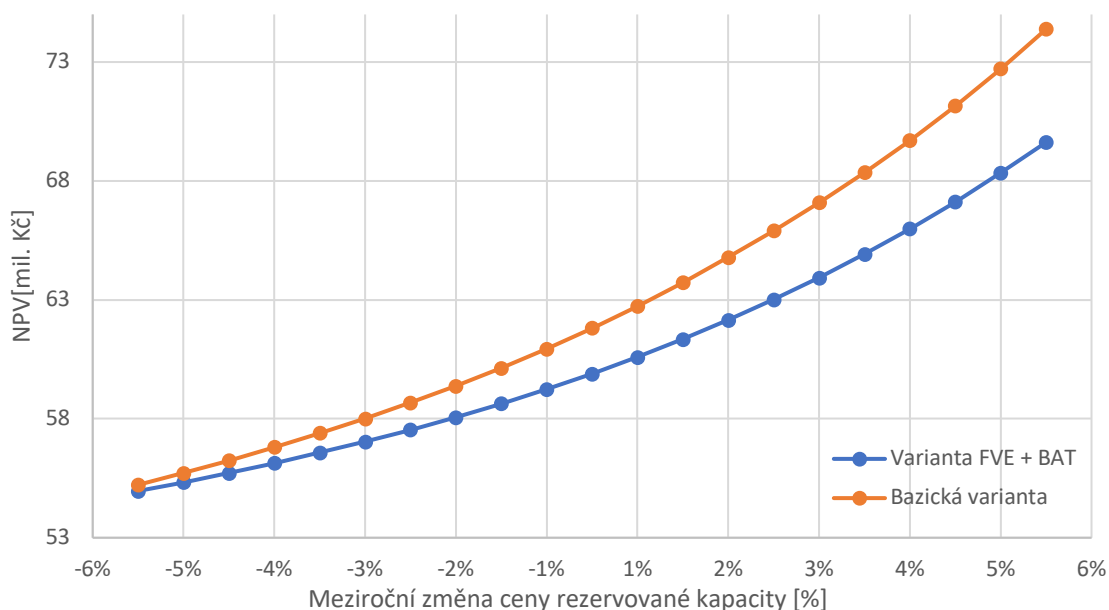
Graf 24 - Citlivostní analýza závislosti NPV na výši dotace pro FVE + BAT

Z Grafu 24 je patrné, že i přes snižující se podíl dotace je bazická varianta ekonomicky horší volbou. Výdajové NPV s rostoucím podílem dotace klesá, což odpovídá očekávání. Tento fakt platí zároveň pro všechny 3 scénáře.

7.5.4 CA závislosti NPV na ceně rezervované kapacity

Jelikož jsem celou teorii instalace akumulace a fotovoltaiky k chytrému dobíjecímu hubu založil na využití ušetřených poplatků za rezervovanou kapacitu pro potřebnou investici, bude dále provedena také citlivostní analýza na tento vstupní parametr. Následující vypracovaná CA tedy vykresluje závislost NPV na meziroční změně ceny roční rezervované kapacity.

CA závislosti NPV na roční změně ceny rezervované kapacity



Graf 25 - Citlivostní analýza závislosti NPV na meziroční změně ceny rezervované kapacity

Z Grafu 25 je dobře vidět, že čím vyšší růst poplatku za rezervovanou kapacitu nastane, tím více se vyplatí investovat do akumulace energie. Naopak čím vyšší pokles nastane, tím více se začne bazická varianta stávat ekonomicky efektivnější. Vzhledem k tomu, že je tato cena regulovaná, dlouhodobě neočekávám meziroční změny vyšší než 5 %.

Citlivostní analýzy potvrdily, že **ekonomicky efektivnější variantou je dobíjecí hub s instalovanou solární elektrárnou a bateriovým úložištěm energie.**

7.6 Diskuse kvalitativních výsledků

Nyní je třeba provést diskusi neekonomických parametrů, které mohou ovlivnit volbu optimální varianty. Jelikož jsem dle ekonomického modelu zvolil jako lepší variantu dobíjecí hub s FVE + BAT, diskusi kvalitativních parametrů hubu provedu pro tuto variantu.

Kvalitativních benefitů lze pro variantu FVE + AKU pozorovat hned několik. Fotovoltaická elektrárna podporuje princip nulových emisí elektromobilů, protože vyrábí tzv. bezemisní elektřinu. Zároveň dochází ke zvyšování podílu OZE a decentralizaci výroby elektřiny. Solární panely ve spolupráci s bateriovým úložištěm mohou eliminovat výkonové špičky, a pomáhají tak ke snižování okamžité zátěže soustavy. V případě výpadku nebo nuceného omezení ze strany sítě navíc celý systém dokáže částečně fungovat v ostrovním režimu a být soběstačný. V neposlední řadě dokáže takto stavěný dobíjecí hub lépe eliminovat rizika spojená s nízkým rozvojem elektromobility, protože při nízkých odběrech vykazuje nižší měrnou cenu dodané kWh.

Jako kvalitativní nevýhodu vidím pouze nutnost věnovat více času a práce na údržbu spojenou s velkou komplexitou celého řešení. V takto rozsáhlém systému je bezesporu více potenciálních míst, na kterých může vzniknout nějaký problém.

8 Závěr

Doprava jako celek byla doposud prakticky bezvýhradně spjata se spalovacími motory. Přitom zásoby ropy nejsou neomezené a postupem času bude třeba hledat alternativní paliva pro dopravu. To nabízí právě elektromobily. Užívání elektromobilů navíc pomáhá snižovat ekologickou zátěž v podobě vypouštění lokálních emisí. Nevýhodou elektromobilů je kratší dojezd, nutnost relativně zdlouhavého dobíjení baterií a prozatím také počty veřejných dobíjecích stanic. Z tohoto důvodu je naprosto klíčovým prvkem v rozvoji elektromobility právě infrastruktura veřejných dobíjecích stanic. V této práci jsem se zaměřil na výstavbu dobíjecích stanic v podobě moderního dobíjecího hubu. Pro návrh moderního dobíjecího hubu bylo nejprve nutné zhodnotit problematiku vývoje elektromobility a technologie s dobíjecím hubem spojené.

Rozvoji elektromobility byla věnována druhá kapitola. Nejprve jsem krátce nastínil dlouhodobou historii vývoje elektromobilu, následně jsem popsal a porovnal reálný vývoj elektromobility do roku 2020 v Evropské unii a v České republice. Reálný vývoj byl také porovnán s původními predikcemi vývoje k roku 2020. Na základě této analýzy jsem zjistil, že se elektromobilita v Evropské unii doposud vyvíjí dle očekávání na úrovni horšího středního scénáře. Relativní počty nově registrovaných elektromobilů tvoří přibližně 3 %. V České republice jsem však identifikoval značně pomalejší roční přírůstky. Počet nově registrovaných elektromobilů v ČR se pohybuje kolem 1 %, což odpovídá naplnění původních predikcí na úrovni nízkého rozvoje elektromobility. To souvisí s nižší kupní silou, nízkou ochotou lidí k pořízení elektromobilu a také s nevýhodami elektromobilů. Zároveň jsem v této části diplomové práce analyzoval budoucí vývoj elektromobilů v České republice a ukázal jsem, že těmto predikcím lze důvěřovat na úrovni nízkého až středního scénáře.

Dále jsem ve druhé kapitole ukázal, že poměr vozidel na jednu dobíjecí stanici je v České republice přibližně 2x vyšší než ve zbytku Evropské unie. Tento fakt může být také jedním z důvodů, proč se v České republice registruje podprůměrné relativní množství elektromobilů. Zároveň se ale také jedná o ukazatel, který říká, že je výstavbu veřejných dobíjecích stanic třeba podporovat, neboť bez dobíjecích stanic nebudou růst ani počty elektromobilů. Právě podporám pro výstavbu dobíjecích stanic je věnována podkapitola 2.5.

S výstavbou dobíjecích stanic a dobíjecího hubu obecně úzce souvisí kapitola 3. V úvodu této kapitoly jsem popsal problematiku spojenou s připojením dobíjecího hubu do sítí VN. Následně byly postupně popsány a rozděleny technologie dobíjecích stanic, úložiště elektrické energie a vlastní decentralizované výroby elektřiny. Dále jsem v této kapitole definoval pojem moderní dobíjecí hub. Ten se skládá z vhodné kombinace všech zmíněných technologií. Tato ideální kombinace je dána zejména lokalitou, na které je dobíjecí hub realizován, neboť každý druh dobíjecí stanice by měl sloužit odlišnému účelu. V neposlední řadě byly diskutovány výhody a nevýhody komplexního řešení s fotovoltaickou elektrárnou a bateriovým úložištěm. Výhody jsou především v decentralizaci výroby energie

v kombinaci s ukládáním přebytků, snižováním nároků na distribuční síť v podobě vykrývání výkonových špiček a zvyšování podílu OZE v českém energetickém mixu. Dodávaná energie z obnovitelných zdrojů navíc podporuje myšlenku minimálních emisí elektromobilů. Systém se solární elektrárnou a úložištěm energie také dokáže být částečně soběstačný (pracovat v ostrovním režimu) v případě výpadku nebo omezení ze strany sítě.

Ve čtvrté kapitole byly představeny obě uvažované varianty. Bazická varianta se skládá pouze z výstavby dobíjecích stanic, varianta FVE + BAT je založená na kooperaci dobíjecích stanic, bateriového úložiště a solární elektrárny. Dále jsem v této části definoval 3 scénáře, ve kterých jsem obě varianty porovnával. Scénáře se liší stupněm rozvoje elektromobility v následujících 20 letech. Jedná se o scénář pesimistický, realistický a optimistický. Zavedeny byly také metody porovnávání. Pro kvantitativní porovnání jsem zvolil metodu výdajového NPV a měrné ceny 1 dodané kWh. V této části jsem také pomocí modelu CAPM vypočítal diskontní sazbu pro výpočet NPV. Kvalitativní porovnání jsem provedl v závěru práce formou diskuse.

Pro návrh optimálního hubu jsem v 5. kapitole nejprve zvolil ideální lokalitu, a sice OC Letňany. Pro optimalizaci jednotlivých technologií bylo však nutné nejprve analyzovat chování zákazníků. Za tímto účelem mi byla poskytnuta data o dobíjení společnosti ČEZ a.s. Z obdržných dat jsem sestavil graf denního zatížení (v relativních čtenostech), který jsem porovnal s teoretickými predikcemi společnosti EuroEnergy. Výsledkem porovnání je, že očekávání v podobě predikce neodpovídá realitě. Predikce očekává silnou ranní špičku dobíjení, která se ve skutečnosti v současné době neobjevuje. Na základě sestaveného denního diagramu zatížení a zjištění budoucí spotřeby ve všech scénářích jsem optimalizoval počty dobíjecích stanic, počet panelů pro fotovoltaickou elektrárnu a výkon a kapacitu úložiště energie. Optimalizace dobíjecích stanic byla sestavena na základě lineárního programování pro minimalizaci nákladů na pokrytí maximálního zatížení ve špičkové hodině. Z optimalizace FVE vyplývá, že velikost fotovoltaické elektrárny je ideální taková, aby docházelo k co nejmenším přetokům do sítě (aby bylo co nejvíce energie spotřebováno).

Navržený dobíjecí hub se v obou variantách vždy skládá ze stejného počtu dobíjecích stanic. Počet stanic se liší pouze v závislosti na scénáři. Pro optimistický scénář je počet stanic 14, realistický scénář vyžaduje stanic 13 a pro pesimistický scénář byl počet stanic optimalizován na 9. Velikost bateriového úložiště jsem optimalizací určil na 300 kWh a instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny čítá 108 kWp. Dobíjecí hub byl navržen tak, aby bylo dobíjení v každém okamžiku řízeno dynamicky na základě aktuálních podmínek (stav baterie, zatížení, výroba FVE).

V navazující 6. kapitole jsem představil všechny ekonomické vstupy modelu a uvedl zjednodušující předpoklady. Nastínil jsem také výpočet ceny elektřiny při odběru z hladiny VN. Sedmá kapitola byla věnována porovnání variant na základě výdajového NPV a měrné ceny 1 dodané kWh ve všech scénářích. Z předložených výsledků je patrné, že ve všech scénářích je ekonomicky efektivnější varianta s fotovoltaikou a bateriovým úložištěm energie, jelikož výdajové NPV vychází pro každý scénář lépe pro variantu FVE + BAT. Úspory

na platbě za elektřinu jsou tedy dostatečné na to, aby pokryly počáteční investici této varianty. Tento fakt potvrdily také provedené citlivostní analýzy. Potenciálnímu investorovi tedy mohu doporučit investici do varianty s FVE + BAT. Důležité je také zmínit, že vypočtená měrná cena 1 dodané kWh se pohybuje v rozmezí 7,31 - 9,92 Kč/kWh, což odpovídá reálným cenám na veřejných dobíjecích stanicích. V současné době je však veřejné dobíjení silně podporováno, s čímž se však v případě masivního rozvoje elektromobility nadále počítat nedá. Diskuse kvalitativních parametrů je také ve prospěch navrženého inteligentního dobíjecího hubu. Klady tohoto řešení již v závěru byly probrány. Jediným záparem jsou potenciální problémy vycházející ze složitosti celého systému, což může vyžadovat více času a práce s řešením těchto potíží a provozem dobíjecího hubu.

Ve své práci jsem navrhl funkční řešení, které se týká velmi aktuálního tématu. Zhodnocení predikcí a vývoje elektromobility v České republice, porovnání skutečných dat s teoretickými předpoklady a vytvoření optimalizačních nástrojů pro stavbu moderních dobíjecích hubů může být silným nástrojem při výstavbě podobných řešení dobíjení pro elektromobily v průmyslu. Dále jsem ve své práci jsem potvrdil nebo vyvrátil předpoklady, na jejichž základě může probíhat další zkoumání v elektromobilním odvětví. Těmito předpoklady jsou především chování zákazníků při dobíjení na veřejných stanicích, analýza souběhů při dobíjení, předpoklady pro budoucí vývoj elektromobility apod.

Při psaní této diplomové práce jsem narazil na řadu zajímavých problémů a otázek. Vypočtená měrná cena, která se blíží 10 Kč/kWh, se v prostředí České republiky stále jeví jako neakceptovatelná. Elektromobilitu (a takto komplexní řešení dobíjecího hubu) je tedy třeba dále finančně podporovat, aby byla konkurenceschopná. Pokud dojde k širokému rozšíření elektromobility, bude třeba v budoucnosti odpovědět na mnoho dalších otázek, např. jak bude ve státní kase nahrazeno manko za nevybranou spotřební daň z paliv (benzín, nafta)? Kdo bude platit poplatky za posilování sítě kvůli elektromobilům? Jak se na elektromobilitě promítne plánované omezování výkonu ze strany distributora přes HDO? Novým zajímavým tématem je bezpochyby také prodej emisních povolenek z dodané elektřiny na dobíjecích stanicích pro elektromobily.

Seznam literatury

1. Elektrifikace železnic, František Majda [Online]. říjen 2011 [cit. 2020-09-28]. Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/elektrifikace-zeleznic--10059>
2. Statistická zpráva o palivech v Evropě, FuelsEurope [Online]. [cit. 2020-09-28]. Dostupné na: <https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/FuelsEurope-Statistical-Report-2018.pdf>
3. Statistická zpráva o světové energii 2020, British Petroleum [Online]. [cit. 2020-09-29]. Dostupné na: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-oil.pdf>
4. Příčiny změny klimatu, Evropská komise [Online]. [cit. 2020-09-30]. Dostupné na: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_cs
5. Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (Infografika, Evropský parlament [Online]. [cit. 2020-10-01]. Dostupné na: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
6. Emise CO₂ už třetím rokem v Evropě rostou, hybrid.cz [Online]. [cit. 2020-10-09]. Dostupné na: <http://www.hybrid.cz/emise-novych-aut-v-evrope-uz-tretim-rokem-rostou-letos-prijde-zlom>
7. Je provoz auta na elektřinu opravdu ekologičtější než toho se spalovacím motorem?, Patrik Svatoš – fdrive.cz [Online]. [cit. 2020-09-30]. Dostupné na: <https://fdrive.cz/clanky/je-provoz-elektrickeho-vozu-skutecne-ekologictejsi-nez-toho-se-spalovacim-pohonem-539>
8. LIBRA, Martin; MLYNÁŘ, Jan, POULEK, Vladislav. Jaderná energie. Praha: ILSA, 2012. ISBN 978-80-904311-6-4.
9. GRAUERS, Anders; SARASINI, Steven; KARLSTROM, Magnus. System Perspectives on Electromobility 2013. Chalmers University of Technology, 2012. ISBN 978-91-980973-1-3.
10. Timeline: History of Electric Car, The department of energy, U.S. Government [Online]. [cit. 2020-10-28]. Dostupné na: <https://www.energy.gov/timeline/timeline-history-electric-car>
11. Challenges for a european market for electric vehicles, European parliament – Economic and scientific department [Online]. [cit. 2020-10-30]. Dostupné na: <https://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201106/20110629ATT22885/20110629ATT22885EN.pdf>
12. European Roadmap: Electrification of Road Transport. 2nd version, 2010, ERTRAC, EPoSs, and ETIP SNET [Online]. [cit. 2020-10-30]. Dostupné na: https://egvi.eu/wp-content/uploads/2018/01/electrification_roadmap_web.pdf
13. Economic and Market Report: state of the EU auto industry – Full year 2019, ACEA – European Automobile Manufacturers Association [Online]. [cit. 2020-10-30]. Dostupné na: <https://www.acea.be/statistics/article/economic-and-market-report-state-of-the-eu-auto-industry-full-year-2019>
14. European electric vehicle outlook 2019/2020; HALL Dale, WAPPELHORST Sandra, MOCK Peter, LUTSEY Nic (The international council of clean transportation) [Online]. [cit. 2020-11-03]. Dostupné na: <https://theicct.org/publications/european-electric-vehicle-factbook-20192020>
15. Prodej aut v ČR loni klesl o 4,4 procenta na 249.915 vozů; Česká tisková kancelář [Online]. [cit. 2020-11-03]. Dostupné na: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/prodej-aut-v-cr-loni-klesl-o-4-4-procenta-na-249-915-vozu/1839836>

16. Vývoj elektromobility v České republice – Shrnutí studie, Roland Berger [Online]. [cit. 2020-11-03]. Dostupné na:
http://www.hybrid.cz/img/Roland_Berger_eMobility_study2014_20141105.pdf
17. Vývoj ceny ropy Brent 1 barel, kurzy.cz [Online]. [cit. 2020-11-03]. Dostupné na:
https://www.kurzy.cz/komodity/ropa-brent-graf-vyvoje-ceny/?dat_field=05.11.2010&dat_field2=05.11.2020
18. Centrální registr vozidel, Ministerstvo dopravy [Online]. [cit. 2020-11-09]. Dostupné na:
<https://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel>
19. Ročenky dopravy, Ministerstvo dopravy [Online]. [cit. 2020-11-09]. Dostupné na:
<https://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>
20. Number of public electric vehicle charging stations in Europe from 2010 to 2019, statista.com [Online]. [cit. 2020-11-13]. Dostupné na: <https://www.statista.com/statistics/955443/number-of-electric-vehicle-charging-stations-in-europe/>
21. Number of electric vehicle charging stations in Turkey from 2012 to 2019, statista.com [Online]. [cit. 2020-11-13]. Dostupné na: <https://www.statista.com/statistics/935960/number-of-electric-vehicle-charging-stations-turkey/>
22. Strategie podpory alternativních pohonů v Praze do roku 2030 – Zásady zřizování dopravní infrastruktury, Usnesení rady HMP [Online]. [cit. 2020-11-13]. Dostupné na:
https://www.ippraha.cz/uploads/assets/dokumenty/usneseni_rady_hmp_c_538_verze_1.1.pdf
23. Dílčí studie pro pracovní tým A25 – Predikce vývoje elektromobility v ČR, Euro Energy pro Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné na:
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/Studie-NAPS-SG-A25_Elektromobilita.pdf
24. Národní akční plán čisté mobility 2015, Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>
25. Aktualizace národního akčního plánu čisté mobility 2019, Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>
26. JANOTA, Lukáš. Druhotné vyřazení baterií z elektromobilů. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd.
27. Downsizing of Gasoline Engine: an Efficient Way to Reduce CO2 Emissions, LEDUC P., DUBAR B., RANINI A., MONNIER G. [Online] [cit. 2020-11-24]. Dostupné na:
https://www.researchgate.net/publication/237899136_Downsizing_of_Gasoline_Engine_an_Efficient_Way_to_Reduce_CO2_Emissions
28. Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí, Centrum pro otázky životního prostředí, Univerzita Karlova – kolektiv autorů [Online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné na: <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
29. Firmy mohou získat podporu na rozšiřování nabíjecí infrastruktury a pořízení elektromobilů, Ministerstvo průmyslu a obchodu [Online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné na:
<https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/aktualni-informace/firmy-mohou-ziskat-podporu-na-rozsirovani-nabijeci-infrastruktury-a-porizeni-elektromobilu--251128/>

30. Program CEF, Ministerstvo dopravy [Online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné na:
<https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Evropska-unie/Programy/Program-CEF>
31. ČEZ nasadí moderní zákaznický systém pro elektromobilitu a upraví tarify pro síť veřejného dobíjení., Martin Schreier – mluvčí ČEZ a.s. [Online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné na:
<https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-nasadi-moderni-zakaznicky-system-pro-elektromobilitu-a-upravi-tarify-pro-sit-verejneho-dobijeni-68776>
32. Základní informace OP Doprava, Operační program Doprava [Online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné na: <https://www.opd.cz/stranka/zakladni-informace>
33. Změna výzvy č. 84, Operační program Doprava [Online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné na: <https://www.opd.cz/stranka/Zmena-vyzvy-c-84>
34. Modulární platforma pro elektromobily MEB, Volkswagen [Online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné na: <https://www.volkswagen.cz/elektricke-vozy/vse-o-elektromobilite/modularni-platforma-pro-elektromobily-meb>
35. Electric vehicle outlook 2020, BloombergNEF – kolektiv autorů [Online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné na: <https://about.newenergyfinance.com/electric-vehicle-outlook/>
36. Global EV Outlook 2020, Clean energy Ministerial [Online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné na: http://www.aver-france.org/Uploads/Documents/1592385579525e5999e87f780c79b80d5eb7f996c6-Global_EV_Outlook_2020.pdf
37. EV A to Z Encyclopedia - 2: Battery Safety, Hyundai Motor Group [Online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné na: <https://news.hyundaimotorgroup.com/Article/EV-A-to-Z-Encyclopedia-Battery-Safety>
38. Energetický regulační věstník 08/2020, Energetický regulační úřad [Online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné na: https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV8_2020.pdf/dd7c9fcc-b3e2-4151-9eff-3ccc5fd3971b
39. Energetický regulační věstník 10/2018, Energetický regulační úřad [Online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné na: https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_10_2018.pdf/3feb1c47-0aa0-4766-a0d0-39715afd9fe0
40. Jak, kde a za kolik dobít elektromobil?, fdrive.cz - PULTZNER Martin, SVATOŠ Patrik [Online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné na: <https://fdrive.cz/clanky/jak-kde-a-za-kolik-nabit-elektromobil-kompletni-pruvodce-5005>
41. Dynamic Wireless Charging, Chargedevs [Online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné na: <https://chargedevs.com/features/dynamic-wireless-charging-whats-feasible-qa-with-qualcomms-graeme-davison/>
42. Li-ion: Vývoj baterií, Šimíček Petr [Online]. 2005 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>
43. Post eVolve Smart, elexim.net [Online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: https://elexim.net/elektromobilita/wp-content/uploads/sites/2/2020/08/datasheetA4-Post_eVolveSmart-v20.04.pdf
44. Type 2 charging plug proposed as the common standard for Europe, Mennekes 2018 [Online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: [http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&tx_ttnews\[tt_news\]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f](http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f)
45. Wallbox eMH3, ABL Mobility [Online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://www.ablmobility.de/en/products/emh3.php>

46. Charging point connector types, ElectricCar home [Online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://electriccarhome.co.uk/charging-points/charging-point-connector-types/>
47. Charging connectors, Tesla Support [Online]. [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_EU/support/charging-connectors
48. Terra DC Wallbox, ABB [Online]. [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/terra-dc-wallbox>
49. Terra EV Fast Chargers, ABB [Online]. [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/products/car-charging/dc-fast-chargers>
50. Ultrarychlá 450 kW nabíjecí stanice pro elektromobily spoléhá na technologie Siemens, Siemens Česká republika [Online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/ultrarychla-450-kw-nabijeci-stance-pro-elektromobily-spolehna-technologie-siemens>
51. The charging process: Quick, comfortable, intelligent and universal, The Porsche Newsroom [Online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/products/taycan/charging-18558.html>
52. High power charging, ABB [Online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/products/car-charging/high-power-charging>
53. ABB HPC Cabinet, chargingshop.eu [Online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://chargingshop.eu/product/abb-hpc-power-cabinet/>
54. Velkokapacitní bateriové úložiště SAS, Advanced Energy Storage [Online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.aers.cz/spickovaci-akumulacni-stance>
55. Introduction - What is an ESS?, LG Energy Solution [Online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.lgessbattery.com/eu/grid/intro.lg>
56. Fotovoltaické systémy: Učební texty k semináři, Prof. Ing. Vítězslav Benda, CSC., Ing. Kamil Staněk, Ing. Petr Wolf [Online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf
57. Ve Velké Británii vznikne zatím největší bateriové úložiště s bateriemi od Tesly, oenergetice.cz - Kroneisl Jan [Online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zahranicni/ve-velke-britanii-vznikne-zatim-nejvetsi-bateriove-uloziste-bateriemi-od-tesly>
58. Energie uložena v setrvačniku, ŠKODA AUTO DigiLab [Online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/elektrina-ulozena-v-setrvacniku/>
59. Jak velkou fotovoltaickou elektrárnu potřebujete?, Solární experti - Matajs Vladimír [Online]. [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/kolik-solarnich-panelu-na-strechu-potrebuje/>
60. Stanovení dopadající sluneční energie, EkoWATT [Online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/stanoveni-dopadajici-slunecni-energie.php>
61. Kolik stojí solární panely?, E.ON.cz [Online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/solarni-panely-cena>
62. Internetové mapy Seznam, mapy.cz [Online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4994837&y=50.1351083&z=18&base=ophoto&source=firm&id=13027865>
63. V roce 2020 bylo registrováno přes 5 000 nových osobních elektrických vozidel, Centrum Dopravního Výzkumu – tisková zpráva [Online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2020-bylo-v-cr-registrovano-pres-5-tisic-novych-osobnich-elektrickyh-vozidel/>

64. NĚMEC, Karel. Projektový manažer - Útvar čisté technologie [ústní sdělení]. ČEZ a.s. Duhová 1444/3, Praha 4 - Michle. 21. 01. 2021.
65. Úspory energie, OPPIK.cz [Online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
66. Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025 pro odvětví energetiky, Energetický regulační úřad [Online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/-/zasady-cenove-regulace-pro-regulacni-obdobi-2021-2025-pro-odvetvi-elektroenergetiky-plynarenstvi-pro-cinnosti-operatora-trhu-v-elektroenergetice-a-ply>
67. KNÁPEK, Jaroslav: Lineární programování [studijní materiál]. Operační výzkum [online]. FEL ČVUT, 18. 2. 2020 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/241406/mod_resource/content/1/02%20LP-1.pdf
68. Photovoltaic geographical information system, European Commission [Online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP
69. Výnos dluhopisu 10R – ČR, kurzy.cz [Online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/cnb/ekonomika/vynos-dluhopisu-10r-cr/>
70. Data, Professor Damodaran [Online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>
71. Výroční zpráva 2019, Skupina ČEZ [Online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport/investori/vz-2019/vyrocnizprava-2019-skupina-cez.pdf>
72. Produktový list Suntech, nemakej.cz [Online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.nemakej.cz/pdf/suntech%20stp260-20wfw.pdf>
73. Siemens dodal technologii největšího bateriového úložiště v ČR, Siemens.cz [Online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/siemens-dodal-technologie-nejvetsiho-baterioveho-uloziste-v-cr>
74. Ceníky Elekřina Podnikatelé, ČEZ ESCO a.s. [Online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.cezesco.cz/cs/produkty/elektrina/ceniky>
75. Inflace - 2021 - míra inflace a její vývoj v ČR, kurzy.cz [Online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/makroekonomika/inflace/?imakroGraphFrom=1.1.2011>
76. Otázky a odpovědi, Sunfin.cz [Online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.sunfin.cz/otazky-a-odpovedi>
77. Místopisný průvodce po České republice – Praha 18, mistopisy.cz [Online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/5226/praha-18/pocet-obyvatel/>

Seznam příloh

PŘÍLOHA A	82
PŘÍLOHA B	83
PŘÍLOHA C	83
PŘÍLOHA D	83

PŘÍLOHA A

Optimalizace počtu DS v programu Wolfram Mathematica

```
In[*]:= PrvniEtapa = FindMinimum[{300 a + 600 b + 1500 c + 2000 d,  
16 a + (25 + 12) b + 110 c + 90 d ≥ 315.4 && a + 3 b + 4 c + 3 d ≥ 21 && a ≤ 2 &&  
c > 1 && d ≥ 1 && a ∈ PositiveIntegers && b ∈ PositiveIntegers &&  
c ∈ PositiveIntegers && d ∈ PositiveIntegers}, {a, b, c, d}]  
Out[*]:= {6500., {a → 2, b → 4, c → 1, d → 1}}
```

(* 1. ETAPA

$$\begin{aligned} 300a+600b+1500c+2000d &= \text{MIN} \\ 16a+(25+10)b+110c+90d &\geq 315 \\ a+(1+2)b+4c+3d &\geq 21 \\ a &\leq 2 \\ d &\geq 1 \\ c &\geq 1 \\ a,b,c,d &\geq 0 \end{aligned}$$

*)

```
In[*]:= DruhaOptimista = FindMinimum[{300 a + 600 b + 1500 c + 2000 d,  
16 a + (25 + 12) b + 110 c + 90 d ≥ 1170 && a + 3 b + 4 c + 6 d ≥ 50 && a = 2 &&  
c > 1 && d ≥ 1 && a ∈ PositiveIntegers && b ∈ PositiveIntegers &&  
c ∈ PositiveIntegers && d ∈ PositiveIntegers}, {a, b, c, d}]
```

```
DruhaRealista = FindMinimum[{300 a + 600 b + 1500 c + 2000 d,  
16 a + (25 + 12) b + 110 c + 90 d ≥ 928 && a + 3 b + 4 c + 6 d ≥ 40 && a = 2 &&  
c > 1 && d ≥ 1 && a ∈ PositiveIntegers && b ∈ PositiveIntegers &&  
c ∈ PositiveIntegers && d ∈ PositiveIntegers}, {a, b, c, d}]
```

```
DruhaPesimista = FindMinimum[{300 a + 600 b + 1500 c + 2000 d,  
16 a + (25 + 12) b + 110 c + 90 d ≥ 601.5 && a + 3 b + 4 c + 6 d ≥ 26 && a = 2 &&  
c > 1 && d ≥ 1 && a ∈ PositiveIntegers && b ∈ PositiveIntegers &&  
c ∈ PositiveIntegers && d ∈ PositiveIntegers}, {a, b, c, d}]
```

```
Out[*]:= {17300., {a → 2, b → 2, c → 9, d → 1}}
```

```
Out[*]:= {14000., {a → 2, b → 4, c → 6, d → 1}}
```

```
Out[*]:= {9800., {a → 2, b → 2, c → 4, d → 1}}
```

PŘÍLOHA B

Model_DP.xlsx

Tato příloha obsahuje technický a ekonomický model včetně optimalizací počtu panelů a velikosti bateriového úložiště.

PŘÍLOHA C

Dobíjení 2020.xlsx

Tato příloha obsahuje data o dobíjení a chování zákazníků v roce 2020.

PŘÍLOHA D

Souběh 2020.xlsx

Tato příloha obsahuje data o dobíjení a zjištěný souběh.