

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



Bakalářská práce

**Analýza vlivu rychlonabíjecí stanice s akumulací na distribuční
soustavu elektrické energie**

**Impact analysis of fast charging station with storage system of
electric vehicles on the distribution grid**

Jan Drápela

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.

2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Drápela** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **460190**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analyza vlivu rychlonabíjecí stanice s akumulací na distribuční soustavu elektrické energie

Název bakalářské práce anglicky:

Impact analysis of fast charging station with storage system of electric vehicles on the distribution grid

Pokyny pro vypracování:

1. Popište technologie nabíjení elektromobilů a akumulace elektrické energie v bateriových systémech.
2. Zanalyzujte současné požadavky právních a ostatních předpisů upravující oblast provozu nabíjecích stanic pro elektromobily.
3. Určete několik scénářů, které mohou u rychlonabíjecí stanice s akumulací při nabíjení elektromobilů a provozu akumulace nastat.
4. Proveďte reálná měření daných scénářů, vyhodnoťte a doporučte optimální nastavení volitelných parametrů řídicího systému s ohledem na napěťové charakteristiky elektrické energie.

Seznam doporučené literatury:

- [1] BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE. Large energy storage systems handbook. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2011. ISBN 9781420086003.
- [2] ČSN EN 61851-1 ed. 2: Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [3] ČSN EN 50160 ed. 2: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [4] TANG, W., ZHANG Y., Optimal Charging Control of Electric Vehicles in Smart Grids. 1st ed. Berlin: Springer Verlag, 2017. ISBN 9783319458618

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **26.10.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

„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

Jan Drápela

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé práce Vítu Kleinovi, Ph.D., za odborné rady, zajímavé postřehy a přínosné osobní konzultace. Dále děkuji společnosti PREdistribuce, a.s., za poskytnuté informace a data k praktické části této práce. Jmenovitě děkuji Ing. Zdeňkovi Hejpetrovi a oddělení inovací distribuční sítě za jejich ochotu a vždy vstřícný přístup.

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o zpětném vlivu rychlonabíjecí stanice na distribuční soustavu elektrické energie. V úvodní teoretické části práce jsou řazeny kapitoly věnované popisu technologií nabíjení elektromobilů a technologií akumulace v bateriových systémech. V jejím závěru je provedena analýza právních a ostatních předpisů provozování nabíjecích stanic.

Úvodní kapitola praktické části popisuje rychlonabíjecí stanici s akumulací a fotovoltaickou elektrárnou v Praze – Holešovicích. Následně je určeno několik provozních scénářů této technologie. Poslední kapitola praktické části patří vyhodnocení provozu jednotlivých scénářů s ohledem na napěťové charakteristiky elektrické energie a doporučení optimálního nastavení volitelných parametrů řídicího systému.

Klíčová slova

elektromobilita, nabíjecí stanice, zpětný vliv rychlonabíjecí stanice, akumulace v bateriových systémech, flickr, distribuční soustava

Abstract

The bachelor thesis deals with the impact of the fast charging station on the distribution grid. To begin with, there are theoretical chapters concerning the description of charging technologies of electric vehicles and technologies of battery systems storage. In the end, there is an analysis of legal and other regulations for the service of charging stations.

The introductory chapter of the practical part describes the fast charging station with battery storage and photovoltaic power station located in Prague - Holešovice. Subsequently, there are several operating scenarios identified for this technology. The last chapter of this part deals with the evaluation of scenarios, with regards to voltage characteristics of electric energy. This section also includes the recommendation for the optimal setting of parameters in the control system.

Key words

electromobility, charging station, impact of fast charging station, battery systems storage, flicker, distribution grid

Obsah

1	Úvod.....	15
2	Technologie nabíjení elektromobilů	16
2.1	Nabíjení vodivým propojením.....	16
2.1.1	Přehled nabíjecích stanic.....	17
2.1.2	Režimy nabíjení.....	19
2.1.3	Typy používaných konektorů.....	21
2.1.4	Typy připojení	24
2.2	Indukční nabíjení	24
2.3	Výměna baterie.....	26
3	Technologie akumulace v bateriových systémech.....	28
3.1	Základní parametry baterií	28
3.2	Technologie baterií	30
3.2.1	Olověné baterie.....	30
3.2.2	Baterie na bázi niklu	30
3.2.3	Lithium-iontové baterie.....	32
3.2.4	Baterie na bázi sodíku	33
3.2.5	Průtokové baterie	35
4	Analýza právních a provozních předpisů nabíjecích stanic elektromobilů	36
4.1	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva.....	36
4.2	Národní akční plán čisté mobility.....	37
4.3	Zákon o pohonných hmotách č. 311/2006 Sb.	38
4.4	Pravidla provozování distribučních soustav – Příloha 6.....	38
4.5	ČSN EN 61851-23: Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 23: DC nabíjecí stanice.....	39
4.6	ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí.....	41
4.6.1	Průběžné jevy	41
4.6.2	Náhlé napěťové jevy	42
5	Nabíjecí stanice s akumulací a fotovoltaickou elektrárnou v pražských Holešovicích 44	
5.1	Nabíjecí stojany	45
5.2	Akumulace.....	46
5.3	Fotovoltaická elektrárna.....	47
5.4	Měniče.....	47
5.5	Řídicí a dohledový systém	48

6	Scénáře provozu akumulace rychlonabíjecí stanice v pražských Holešovicích....	49
6.1	Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy (30. 10. 2018).....	50
6.2	Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů (16. 11. 2018)	51
6.3	Scénář 3 - Omezení proudového odběru z distribuční sítě (6. 2. 2019).....	52
6.4	Scénář 4 - Řízené nabíjení a vybíjení akumulace (17. 1. 2019).....	53
6.5	Scénář 5 - Akumulace odstavena (15. 2. 2019).....	54
7	Analýza vlivu rychlonabíjecí stanice s akumulací na distribuční soustavu	55
7.1	Měřicí aparát MEG38/C a zobrazovací software	55
7.2	Naměřená data	56
7.3	Vyhodnocení provozních scénářů.....	57
7.3.1	Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy	58
7.3.2	Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů	60
7.3.3	Scénář 3 - Omezení proudového odběru z distribuční sítě	63
7.3.4	Scénář 4 - Řízené nabíjení a vybíjení akumulace.....	67
7.3.5	Scénář 5 - Akumulace odstavena.....	69
8	Závěr	72
9	Použitá a citovaná literatura	74

Seznam obrázků

Obr. 2-1: Dělení technologií nabíjení	16
Obr. 2-2: Nabíjení vodivým propojením dle typu proudu	17
Obr. 2-3: Blokové schéma DC nabíjecí stanice	19
Obr. 2-4: Přehled konektorů a vozidlových zásuvek pro nabíjení elektromobilů	21
Obr. 2-5: Indukční nabíjení	25
Obr. 2-6: Výměna baterie	26
Obr. 2-7: Vazby zúčastněných stran při zavedení bateriové výměnné stanice	27
Obr. 3-1: Proces nabíjení a vybíjení baterie	28
Obr. 5-1: Nabíjecí stanice v pražských Holešovicích	44
Obr. 5-2: Nabíjecí stanice Terra 53 CJG.....	45
Obr. 5-3: Nabíjecí stanice EVF 200.....	45
Obr. 5-4: PowerCube-M1.....	46
Obr. 5-5: Hlavní okno řídicího a dohledového systému	48
Obr. 7-1: Měření trojfázového napětí a proudu v síti NN monitorem MEg38/C	55
Obr. 7-2: Měření kabelový vývod trafostanice	56
Obr. 7-3: Scénář 1 - Data pouze z dohledového systému stanice.....	58
Obr. 7-4: Scénář 2 - Data z dohledového systému stanice a měření dlouhodobého flikru	60
Obr. 7-5: Scénář 3 - Proud, napětí a dlouhodobý flikr v jednotlivých fázích	63
Obr. 7-6: Scénář 3 - Detail odebíraného proudu v jednotlivých fázích ze soustavy	64
Obr. 7-7: Scénář 3 - Třífázový činný výkon	65
Obr. 7-8: Scénář 3 - Detail proudu a krátkodobého flikru v jednotlivých fázích.....	66
Obr. 7-9: Scénář 4 - Data z dohledového systému stanice a měření krátkodobého flikru	67
Obr. 7-10: Scénář 5 - Proud, dlouhodobý flikr a napětí v jednotlivých fázích	69
Obr. 7-11: Scénář 5 - Detail proudu a napětí v jednotlivých fázích	70

Seznam tabulek

Tab. 2-1: Parametry CHAdeMO a funkce jednotlivých kolíků	22
Tab. 2-2: Parametry CCS COMBO 2 a funkce jednotlivých kolíků	23
Tab. 3-1: Výhody a nevýhody olověných baterií	30
Tab. 3-2: Výhody a nevýhody nikl-kadmiových baterií	31
Tab. 3-3: Výhody a nevýhody nikl-metal hydridových baterií	31
Tab. 3-4: Výhody a nevýhody lithium-iontových baterií	32
Tab. 3-5: Přehled typů lithiových baterií a jejich parametrů	33
Tab. 3-6: Výhody a nevýhody sodík-sírových baterií	34
Tab. 3-7: Výhody a nevýhody sodík-nikl chloridových baterií.....	35
Tab. 3-8: Výhody a nevýhody průtokových baterií	35
Tab. 5-1: Parametry bateriového úložiště PowerCube-M1	46
Tab. 6-1: Scénář 1 – nastavená pásma stabilizace	50
Tab. 6-2: Scénář 2 – nastavená pásma stabilizace	51
Tab. 6-3: Scénář 3 - nastavené limitní hodnoty	52
Tab. 7-1: Období měření dat.....	56

Seznam grafů

Graf 6-1: Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy	50
Graf 6-2: Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů	51
Graf 6-3: Scénář 3 - Omezení proudového odběru z DS	52
Graf 6-4: Scénář 4 - Řízené nabíjení a vybíjení akumulace.....	53
Graf 6-5: Scénář 5 - Akumulace odstavena.....	54

Seznam příloh

Příloha 1: Parametrizace scénářů 1 až 3 v okně řídicího systému	70
Příloha 2: Parametrizace scénářů 4 a 5 v okně řídicího systému	71

Seznam zkratek

AC	Střídavý proud (Alternating Current)
BMS	Systém řízení baterie (Battery Management System)
CAN	Sériový komunikační protokol (Control Area Network)
CCS	Kombinovaný nabíjecí systém (Combined Charging System)
CD	Kompaktní disk (Compact Disc)
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
DOD	Úroveň vybití (Depth of Discharge)
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
EV	Elektrické vozidlo
EVSE	Zařízení pro nabíjení elektromobilu (Electric Vehicle Supply Equipment)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
CHAdemo	Nabít pro pohyb (CHARGE de MOve)
LNG	Zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas)
LPG	Zkapalněný ropný plyn (Liquefied Petroleum Gas)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPPT	Sledování bodu maximálního výkonu (Maximum Power Point Tracking)
NAP	Národní akční plán
NN	Nízké napětí
NS	Nabíjecí stanice
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PRE	Pražská energetika, a.s.
SOC	Úroveň vybití (State of Charge)
UPS	Nepřerušitelný zdroj napájení (Uninterruptible Power Supply)
USA	Spojené státy americké
V2G	Elektromobil jako podpůrná služba (Vehicle to Grid)
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZEBRA	Baterie s nulovými emisemi (Zero Emissions Battery Research)

1 Úvod

Elektromobilita je jedním z předních témat současného, nejen energetického, průmyslu. Rostoucí zastoupení elektromobilů ve světě je již několik let trvajícím trendem a do dalších let se nepředpokládá změna. Například v Evropě se v souvislosti s ambiciózními plány Evropské komise očekává ještě dynamičtější růst objemu vozů na elektrický pohon.

Vozidla s elektrickým pohonem se vyznačují tím, že při jejich provozu nejsou uvolňovány do ovzduší emise. Pokud navíc uvážíme, že vyráběná elektrická energie pro jejich pohon by mohla v budoucnu pocházet výhradně z OZE, dostáváme vysoce ekologický způsob dopravy. I v případě, že vyráběná energie z OZE nepochází, máme přinejmenším šetrnější způsob dopravy do velkých měst, neboť produkování emisí a prachových částic se sníží v hustě obydlených oblastech. Také platí, že elektrická vozidla jsou obecně tišší a efektivnější než auta s konvenčními motory.

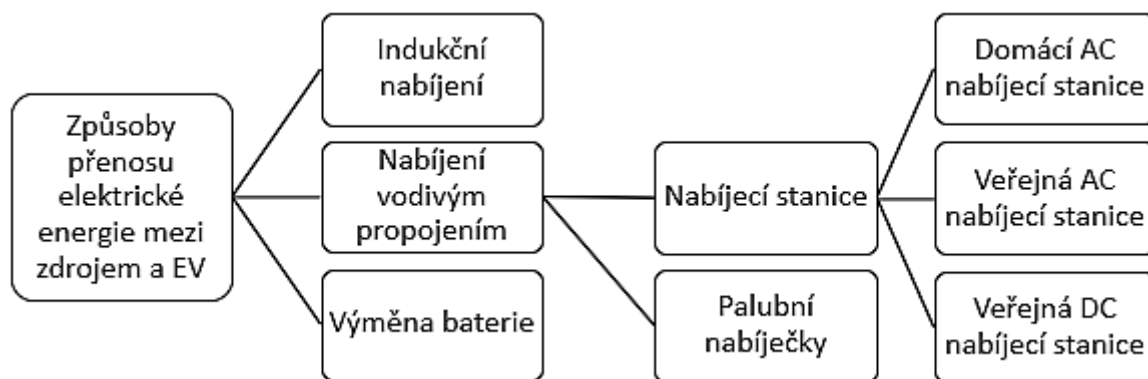
Na druhou stranu elektromobily s sebou přináší i řadu problémů a otázek, na které je potřeba se do budoucna připravit. Jednou z velkých výzev je vybudování nabíjecí infrastruktury, která v širokém měřítku jistě ovlivní poměry v elektrizační soustavě. Možností, jak vůz nabít, existuje hned několik. V této práci, a zejména v její praktické části, se zabývám v současnosti nejrychlejším způsobem nabíjení, které zprostředkovávají tzv. veřejné rychlonabíjecí stanice. U těchto stanic je čas potřebný k plnému nabití elektromobilu maximálně několik desítek minut. Jsou tedy praktické pro každodenní používání. Ovšem odebrání velkých výkonů ze soustavy pro rychlé nabíjení může vyvolat i negativní zpětné vlivy v lokálním místě distribuční soustavy. V konečném důsledku se mohou tyto zpětné vlivy nepříznivě projevit na kvalitě dodávek elektrické energie ostatním uživatelům distribuční sítě. Jedním z možných řešení, jak rozsah nežádoucích vlivů eliminovat, je kombinace nabíjecí stanice s akumulací, případně ještě s OZE.

Hlavním cílem této práce je analýza zpětných vlivů rychlonabíjecí stanice s akumulací v různých scénářích provozu na distribuční soustavu elektrické energie a doporučení optimálního nastavení volitelných parametrů řídicího systému.

V první části práce popisují technologie nabíjení elektromobilů a technologie akumulace elektrické energie v bateriových systémech. Dále se zabývám legislativními a provozními předpisy nabíjecích stanic. V následující praktické části popisují scénáře provozu konkrétní nabíjecí stanice s akumulací, na což pak navazují stěžejním bodem celé práce, kterým je analýza zpětných vlivů.

2 Technologie nabíjení elektromobilů

Se zaváděním elektrických vozidel (EV) bylo postupně vyvinuto několik technologií, jak opětovně nabíjet baterii vozu. Následující obrázek zobrazuje tři hlavní technologie přenosu elektrické energie mezi zdrojem a EV. Největší pozornost z nich věnuji nabíjení vodivým propojením, které je v současné době nejrozšířenější.



Obr. 2-1: Dělení technologií nabíjení¹
(vlastní zpracování)

2.1 Nabíjení vodivým propojením

Nabíjecí výkon je do vozidla přenášen skrze přívodní kabel. Dle typu použitého elektrického proudu rozlišujeme nabíjení na střídavé (AC) a stejnosměrné (DC).

AC nabíjení

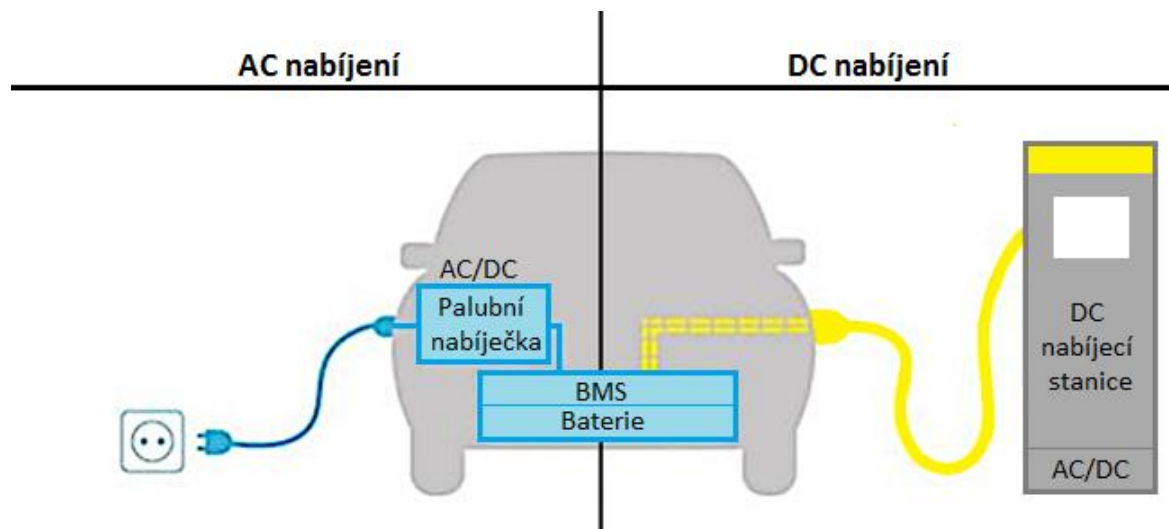
Jelikož současné baterie elektromobilů pro svoji činnost potřebují proud stejnosměrný, je nezbytné, aby při AC nabíjení došlo k jeho usměrnění. K tomu jsou určeny palubní nabíječky zabudované v elektromobilech (viz Obr. 2-2). Jejich technické parametry určují počet připojených fází a velikost odebíraného proudu, respektive výkonu. Maximální odebíraný proud ale značně limituje nabíjecí rychlost. Výkony používaných palubních nabíječek jsou v rozmezí od 3,6 kW (jednofázová) do 22 kW (třífázová). Chceme-li nabíjet rychleji, je potřeba zvýšit výkon palubní nabíječky, což se ale projeví zvětšením jejich rozměrů, hmotnosti a v neposlední řadě také cenou. Je tedy zřejmé, že tento způsob není vhodný, navíc je limitován konstrukcí vozu.²

¹ KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti. *Elektrické pohony a trakce: Návod ke cvičením*. FEL ČVUT, 2017, s. 10. Dostupné také v PDF z: http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%BAloha5_2017_18_elektromobil.pdf

² Difference between AC and DC charging of electrocar. *Evexpert.eu* [online]. 2016 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/tips-advice-manual-curiosities-information-electromobility-evexpert/basics-of-electromobility-basic-abc/ac-dc-charging-electromobil-current-alternating-direct>

DC nabíjení

V tomto případě je střídavý proud usměrněn nabíjecí stanicí, a není tedy důvod využívat palubní nabíječku. Stejný proud pak teče přímo do baterie elektromobilu (viz Obr. 2-2). Toto nabíjení je také nazýváno jako rychlé nabíjení a je až 15x rychlejší než AC. U většiny elektromobilů lze DC nabíjením dosáhnout 80 % nabití baterie za méně než 20 minut. Datová komunikace mezi EV a externí nabíječkou je zde nezbytná, neboť nastavuje parametry odebíraného výkonu dle možností baterie ve voze.³



Obr. 2-2: Nabíjení vodivým propojením dle typu proudu⁴
(upraveno)

2.1.1 Přehled nabíjecích stanic

V kontextu nabíjecích stanic se lze setkat s označením EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*), což obecně označuje zařízení sloužící pro nabíjení elektromobilu za použití komunikační technologie.⁵ Nabíjecí stanice můžeme dělit z několika hledisek, které spolu úzce souvisí. Prvotním kritériem při výběru stanice je určení cílové skupiny uživatelů. Proto rozlišujeme stanice soukromé a veřejné. K tomuto dělení se pak vážou další specifika, jako je typ nabíjecího elektrického proudu a velikost nabíjecího výkonu.

V kapitole 4 uvádím dělení nabíjecích stanic dle několika legislativních dokumentů. Pro tuto část si však vystačím s dělením dle typu nabíjecího elektrického proudu, tedy AC a DC.

³ Evexpert.eu, pozn. 2

⁴ FROESE, Michelle. Everything you've always wanted to know about EV fast charging. *Energy Storage* [online]. 11. 7. 2018 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.energystoragenetworks.com/everything-youve-always-wanted-to-know-about-ev-fast-charging/>

⁵ Definition: Electric Vehicle Charging Station. *Open EI* [online]. 2014 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: https://openei.org/wiki/Definition:Electric_Vehicle_Charging_Station

2.1.1.1 AC nabíjecí stanice

Soukromá – Tato stanice se v praxi označuje jako wallbox. Název odkazuje na nabíjecí stanici umístěnou na stěně místnosti, nejčastěji garáže. Ve srovnání s klasickými domácími zásuvkami jde o bezpečnější, a především rychlejší způsob domácího nabíjení. Vyrábějí se s výkonem až 22 kW, zatímco běžná domácí zásuvka 230 V a 16 A poskytuje maximálně jen 3,7 kW. Elektromobil vybavený 22 kW palubní nabíječkou tak lze nabít až 6x rychleji. Majitele wallboxů dnes ke koupi motivují speciální výhodné tarify cen elektrické energie.⁶

Veřejná - Tyto stanice jsou nejčastěji zastoupeny na sídlištích, tedy v místech, kde není technicky možné využít domácí nabíjení a kde se zároveň předpokládá delší stání EV. Výkon těchto nabíjecích stanic je většinou do 22 kW, neboť to je i maximální výkon současných palubních nabíječek. Existují i třífázové AC rychlonabíjecí stanice s výkonem až 43 kW, jejichž maximální výkon ale zatím EV nedokáží zcela využít, výjimkou je Renault Zoe.⁷

2.1.1.2 DC nabíjecí stanice

Veřejná - Jedná se o nejrychlejší způsob nabíjení s největším přenášeným výkonem mezi stanicí a baterií elektromobilu. Proto jsou vhodné pro místa, kde uživatel EV zastaví jen po omezenou dobu a vyžaduje rychlé nabití. Tomu odpovídají například benzínové pumpy v oblasti tranzitních tahů. Tyto stanice používají konektory CHAdeMO a CCS pro nabíjení do 50 kW, výjimkou jsou rychlonabíjecí stanice Tesla Supercharger s výkonem až 120 kW.⁸

Nabíjení EV u stejnosměrné nabíjecí stanice znázorňuje blokové schéma v obrázku 2-3. Zařízení je napájeno ze střídavé třífázové sítě. Zdroj napájí řídicí a výkonový obvod. Výkonová část přenáší výkon ze sítě až do baterie elektromobilu a řídicí část zprostředkovává komunikační a ochranné funkce. Každá z částí má svůj vlastní jistič, který chrání obvod proti zkratu, nadproudu a zemnímu spojení. Dojde-li k vybavení jističe na výkonové části obvodu, zůstane tak zachována komunikace s vozidlem a také funkce sledování a ochrany samotné stanice. Pro zamezení zpětného toku elektrického proudu z baterie elektromobilu do nabíjecí stanice je ve výstupní části výkonového obvodu umístěna dioda.⁹

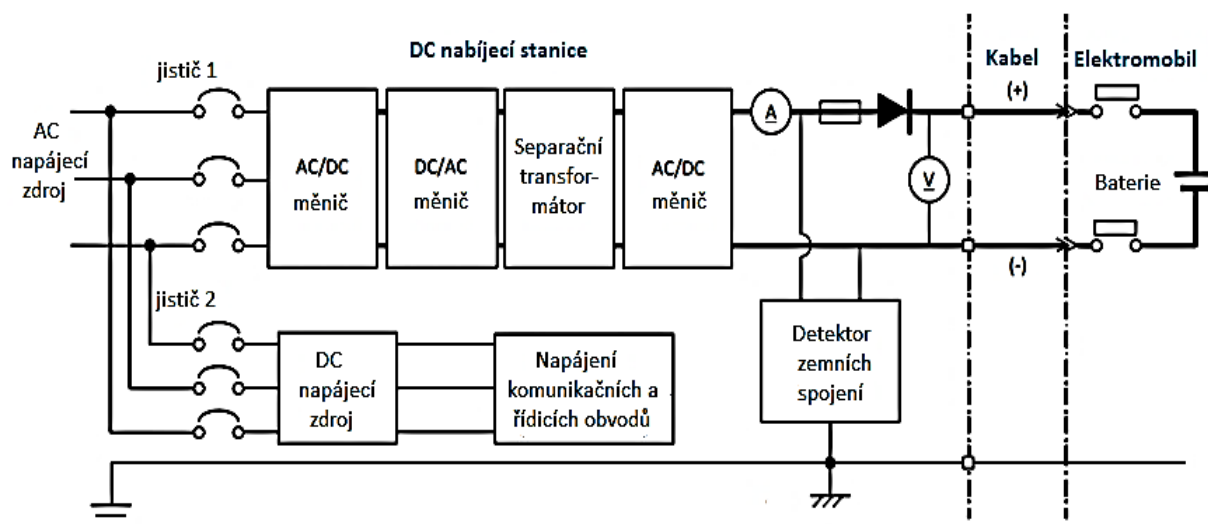
⁶ Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? *Eco Future* [online]. 2018 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/6-zarucenych-rad-ke-snizeni-spotreby-ktere-opravdu-nefunguji>

⁷ KURFÍRT, Martin a Jan HLAVNÍČKA. *Zpětný vliv nabíjení elektromobilů na distribuční soustavu*. Tábor: ČK CIREA, 2018, 1-8, s. 1

LILLY, Chris. Renault Zoe charging guide. *Zap Map* [online]. 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/renault-zoe-charging-guide/>

⁸ KURFÍRT, Martin a Jan HLAVNÍČKA, pozn. 7, s. 2

⁹ IEEE. *Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*. In: IEEE, 2016, 1-86, s. 12 [cit. 2019-01-16]. DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7400449. ISBN 978-0-7381-9999-3. Dostupné také v PDF z: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=7400447>



Obr. 2-3: Blokové schéma DC nabíjecí stanice¹⁰

V poslední době se na trhu nově objevují i DC wallboxy s výkonem 24 kW. Ty jsou primárně určeny pro veřejná nabíjecí místa, jako je například parkoviště u obchodního centra.¹¹

2.1.2 Režimy nabíjení

Norma ČSN EN 61851-1 (Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením) rozlišuje čtyři režimy nabíjení. V zásadě se jedná o rozdělení z pohledu velikosti nabíjecího výkonu, potažmo charakteru nabíjecího proudu. V mnoha zdrojích, zejména internetových, se pak lze setkat s dělením mezi tzv. úrovně 1 až 3. Toto dělení ale odpovídá americké normě SAE J1772 a parametrům sítě, proto se mu blíže nevěnuji.

Režim 1:

V režimu 1 je EV připojeno ke střídavé napájecí síti s využitím běžných jednofázových zásuvek do 16 A a 250 V. Třífázová varianta umožňuje hodnoty do 16 A a až 480 V. Tento režim je proveden bez zvláštních bezpečnostních a komunikačních funkcí. Nezbytné je zapojení proudového chrániče v obvodu ve spojení s nadproudovou ochranou. V některých zemích je tento režim zakázaný, neboť jsou zde jiné požadavky na provedení proudových ochranných zařízení. Ochrannu lze doplnit použitím přívodního kabelu s již vestavěným proudovým chráničem. Vzhledem k nízkým nabíjecím výkonům je režim 1 vhodný pro malé dopravní prostředky, jako jsou například elektrické skútry a kola.¹²

¹⁰ IEEE, pozn. 9, s. 12 (upraveno)

¹¹ DC Wallbox - 24 kW: A compact DC charger for dealerships, offices and shopping areas. ABB [online]. 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/products/car-charging/dc-wallbox>

¹² ČSN EN 61851-1. Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením: Část 1: Všeobecné požadavky. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2011. s. 17

Charging modes (IEC - 61851-1). Drive the city [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.conducutciudad.com/en/all-about-charging/charging-modes>

Režim 2:

Jedná se o podobný princip nabíjení jako je v režimu 1 za použití normalizovaných jednofázových zásuvek do 32 A a 250 V, nebo třífázových zásuvek do 32 A a 480 V. Mezi EV a vidlici jsou umístěny proudové chrániče eliminující riziko úrazu elektrickým proudem. Proudové chrániče lze také integrovat do řídicí kabelové skříňky. Lepší systém ochrany a přenášení vyšších nabíjecích výkonů jsou hlavními důvody, proč je tento způsob ve srovnání s režimem 1 výhodnější.¹³

Režim 3:

Tento režim již počítá s využíváním specializovaných nabíjecích terminálů (stanic), které svým provedením zajišťují bezpečné použití a datovou komunikaci s EV. Pro tyto funkce jsou použity specializované konektory a zástrčky připojující EV ke střídavé napájecí síti.¹³ U třífázové varianty připojení lze dosáhnout nabíjecích výkonů až 43 kW.

Datové spojení řídicího vodiče s napájecím zařízením umožňuje aplikovat koncept V2G (*Vehicle to Grid*). Hlavní myšlenka spočívá ve využití energie z baterií zaparkovaných elektromobilů. Tu by mohl distributor využívat jako podpůrný zdroj v době špičkové poptávky. V době stále rostoucí kapacity lithiových akumulátorů se jedná o velmi atraktivní myšlenku. V praxi tento koncept funguje tak, že uživatel při připojení EV nastaví, kdy chce s vozidlem odjet a jakou požaduje úroveň nabití. Od tohoto nastavení je pak odvíjen čas nabíjení v době nižšího zatížení sítě. Nevýhodou konceptu V2G je fakt, že způsobuje vyšší opotřebení baterií.¹⁴

Režim 4:

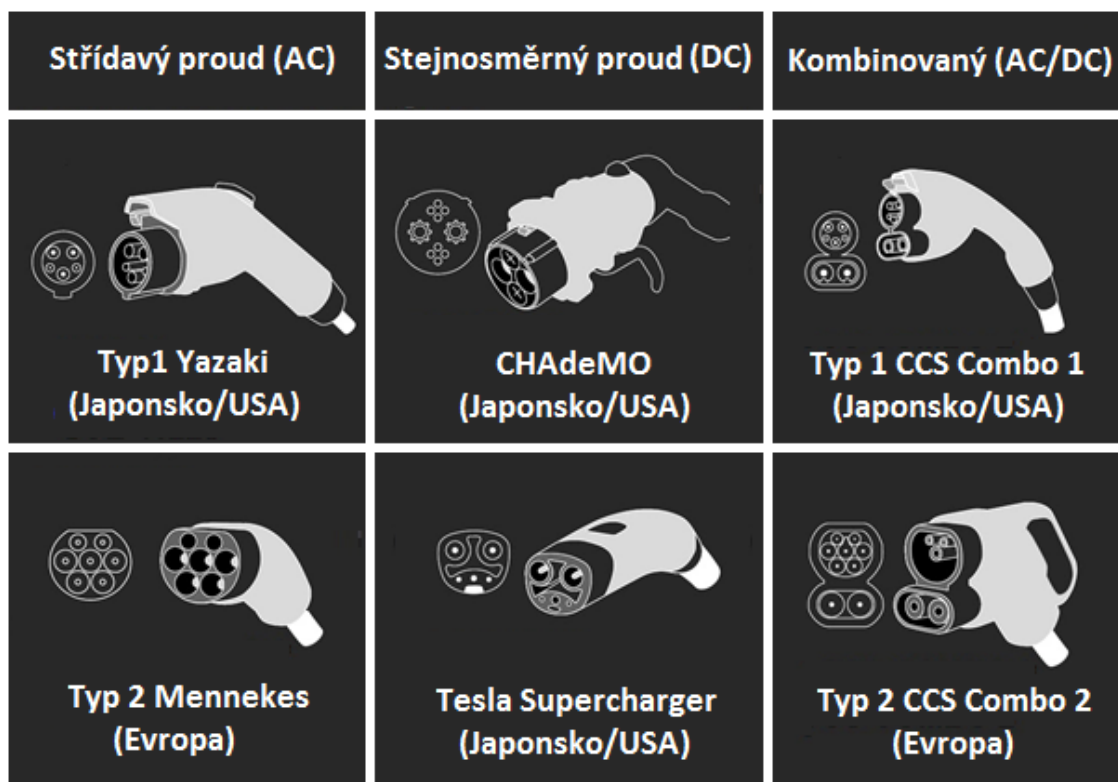
Z důvodu přenášení velkých nabíjecích výkonů v tomto režimu není využívána palubní nabíječka k usměrnění nabíjecího proudu. Nabíjení plně zajišťuje externí nabíjecí stanice, která není limitována hmotnostními ani prostorovými možnostmi vozu. Střídavý proud napájecí sítě je usměrněn ve stanici ještě před vstupem do vozidla (viz Obr. 2-3). Kontrolní a ochranné prvky jsou instalovány ve stanici. Datové spojení, které je pro tento režim nezbytné, zahrnuje řídicí vodič. Kabel a speciální konektor jsou pevnou součástí nabíjecí stanice.¹³

¹³ ČSN EN 61851-1, pozn. 12, s. 17

¹⁴ LIU, Chunhua a kol. *Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies* [online]. In: IEEE, 2013, 2409-2427. s. 2410-2411 [cit. 2019-03-17]. DOI: 10.1109/JPROC.2013.2271951. ISSN 1558-2256. Dostupné také v PDF z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6571224>

2.1.3 Typy používaných konektorů

Jedním z problémů, se kterým se rozšiřování elektromobility potýká je nejednotnost nabíjecích konektorů. Ty jsou rozděleny z pohledu oblasti výskytu na konektory evropské a konektory používané v USA a Japonsku (viz Obr. 2-4). Zajímavostí je americká automobilka Tesla, která jako jediná vyvinula svůj vlastní konektor kompatibilní pouze s jejími vozy. Americké a japonské konektory jsou totožné, což je dáno provázaností automobilových trhů těchto států. V České republice se vyskytují konektory evropského typu. Mimo oblast výskytu se konektory dále dělí z pohledu použitého nabíjecího proudu, což v podstatě znamená dělení mezi nabíjení pomalé a rychlé. Namísto označení konektor se lze také často setkat s názvem standard, neboť nabíjecí konektory vycházejí z několika různých technických norem.



*Obr. 2-4: Přehled konektorů a vozidlových zásuvek pro nabíjení elektromobilů¹⁵
(upraveno)*

S ohledem na zaměření této práce se zde blíže věnuji pouze konektorům určeným pro rychlé DC nabíjení. Je ale nutné podotknout, že pro vysoce výkonné nabíjení není stejnosměrný proud vždy podmínkou. V některých případech i AC nabíjecí stanice mohou poskytovat

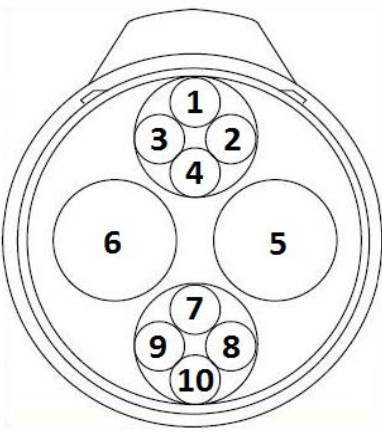
¹⁵ Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu. *Eco Future* [online]. 2018 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/na-pokraji-evropy-na-pokraji-rozvodu-to-vse-kvuli-elektrokolum>

výkony, které odpovídají rychlému, vysoce výkonnému nabíjení. Přesto je střídavé nabíjení obvykle používáno pro nižší nabíjecí výkony.

2.1.3.1 CHAdeMO

Japonská společnost CHAdeMO vznikla spoluprací automobilek Mitsubishi, Toyota, Nissan a dalších japonských firem v roce 2010. Hlavní snahou této iniciativy bylo stanovit první globálně rozšířený standard nabíjení elektromobilů, který by byl kompatibilní i se značkami jiných výrobců. To se nakonec podařilo a dnes je standard CHAdeMO používán celosvětově. Na svých internetových stránkách společnost uvádí celkem 7 936 instalovaných nabíjecích bodů v Evropě, přičemž 140 z nich se nachází na území ČR. Označení CHAdeMO odkazuje na spojení *Charge de Move*, což lze volně přeložit jako nabít pro pohyb. Konektor obsahuje dva velké kolíky pro stejnosměrné napájení a dva menší pro komunikační spojení sběrnice CAN. Na rozdíl od kombinovaných systémů nepodporuje střídavé nabíjení.¹⁶

Tab. 2-1: Parametry CHAdeMO a funkce jednotlivých kolíků¹⁷

		Kolík	Funkce
			1
	2	Stop/start nabíjení 1	
	3	Bez funkce	
	4	Kontrola připravenosti nabíjet	
	5	Silový vodič (-)	
	6	Silový vodič (+)	
	7	Kontrola a ověření připojení	
Max. napětí [V]	500 (DC)	8	Komunikace CAN (+)
Max. proud [A]	120 (DC)	9	Komunikace CAN (-)
Max. výkon [kW]	60	10	Stop/start nabíjení 2

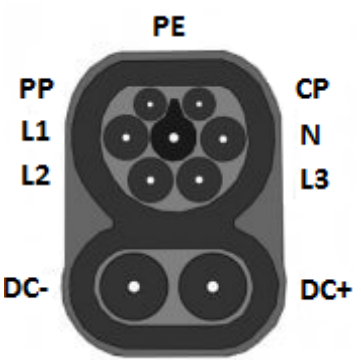
¹⁶ CHAdeMO crossed the global 20k mark with Europe leading in installation. *Chademo* [online]. 26. 10. 2018 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/chademo-surpasses-20k-mark-with-europe-leading-in-installation/>
HERRON, David. EV DC Fast Charging standards – CHAdeMO, CCS, SAE Combo, Tesla Supercharger, etc. *Green Transportation* [online]. 2017 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>

¹⁷ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: JIMÉNEZ, Ignacio Martín a kol. *Quick Charging Technology* [online]. In: Zaragoza: International Energy Agency, 2015, 8. 7. 2015, 1-70, s. 14-15 [cit. 2019-02-13]. Dostupné také v PDF z: http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA_Final_Report_Task_20.pdf

2.1.3.2 CCS

Obdobně jako technologie CHAdeMO, tak i CCS systém (*Combined Charging System*) vznikl kooperací několika automobilek, a to zejména německých. První prototyp byl prezentován v roce 2012. CCS umožňuje používat pouze jednu vozidlovou zásuvku pro dva různé nabíjecí konektory. Evropský kombinovaný systém vzešel z konektoru Mennekes přidáním dvou spodních kolíků. Vozidlo tak lze pomocí jediné zásuvky nabíjet buď střídavě nebo stejnosměrně. V Evropě stejnosměrný CCS konektor nese označení Combo 2. Tento systém kombinuje střídavé jednofázové a trojfázové nabíjení s výkonem až 43 kW a stejnosměrné nabíjení do 170 kW.¹⁸ Nyní je v Evropě přibližně 1 900 konektorů Combo 2. Podobný vývoj se odehrál také v USA a Japonsku, kde bylo CCS odvozeno od konektoru Yazaki. Zde se kombinovaný konektor označuje Combo 1.

Tab. 2-2: Parametry CCS COMBO 2 a funkce jednotlivých kolíků¹⁹

 <p style="text-align: center;">Combo 2</p>				Kolíček	Funkce	Poznámka
					PP	Komunikace a řízení nabíjecího procesu
	CP	Řídicí vodič				
	PE	Uzemnění	Uzemnění EV			
	N	AC 3f nabíjení	AC 1f nabíjení			
	L1		Neutrální vodič			
	L2		Fáze L1			
	L3	-	Fáze L 2			
	L3	-	Fáze L3			
	DC (-)	DC nabíjení	Silový vodič (-)			
	DC (+)		Silový vodič (+)			
		DC	AC 1f	AC 3f		
Max. napětí [V]	850	230	400			
Max. proud [A]	200	70	63			
Max. výkon [kW]	170	13	43			

2.1.3.3 Tesla Supercharger

Tesla jako jediná automobilka začala budovat vlastní síť nabíjecích stanic v roce 2012. Stanice jsou vybaveny rychlým DC nabíjením. Supercharger konektory jsou obvykle u nabíjecích

¹⁸ DC Fast Charging Explained. *EV Save Charge* [online]. LA, California [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://evsafecharge.com/dc-fast-charging-explained/>

¹⁹ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v:

EV Save Charge, pozn. 18

JIMÉNEZ, Ignacio Martín a kol., pozn. 17, s. 17 a 20

stanic instalovány v párech. V případě připojení dvou vozidel současně musejí sdílet maximální dostupný nabíjecí výkon, který je 145 kW. Pokud bychom ho dělili rovným dílem, efekt rychlého nabíjení by byl pro oba vozy potlačen. Z tohoto důvodu je vozidlo, které bylo připojeno jako první, upřednostněno a odebírá si tolik energie, kolik v dané fázi vybití potřebuje. Maximálně je však jeden elektromobil Tesla nabíjen výkonem 120 kW.²⁰

Modely určené pro evropský trh byly dříve vybaveny zásuvkou kompatibilní s upraveným konektorem Mennekes. Ten umožňoval DC nabíjení bez přídavných spodních kolíků o výkonu až 70 kW. Kvůli dosažení ještě vyššího nabíjecího výkonu automobilka přistoupila na evropský standard CCS Combo 2, který bude v Evropě nabízen u modelu S a X.²¹

2.1.4 Typy připojení

Dle normy ČSN EN 61851-1 lze kabelové propojení elektromobilu a nabíjecí stanice provést třemi různými způsoby.

- **Typ připojení A**

Napájecí kabel s vidlicí je pevnou součástí elektromobilu.

- **Typ připojení B**

Kabelová sestava je odnímatelná jak na straně nabíjecí stanice, tak také na straně elektromobilu. Jedná se zatím o nejrozšířenější provedení.

- **Typ připojení C**

Napájecí kabel je pevnou součástí stanice. Pro režim nabíjení 4 je přípustný pouze typ C.

2.2 Indukční nabíjení

Nabíjení EV vodivým propojením skýtá několik nedostatků. Tím zásadním je potřeba vůz zastavit a připojit v nabíjecím místě po určitý čas. Než vozidlo dosáhne požadované hodnoty nabití, může to trvat u běžného nabíjení až několik hodin. Dokonce i při rychlém nabíjení je čas potřebný k nabití několik desítek minut. Bezdrátové nabíjení nabízí zajímavou alternativu, která by nevýhody plynoucí ze statického nabíjení vodivým propojením eliminovala. Tato technologie totiž dovoluje EV dynamicky nabíjet za jízdy po speciální vozovce s řadou zabudovaných cívek.²²

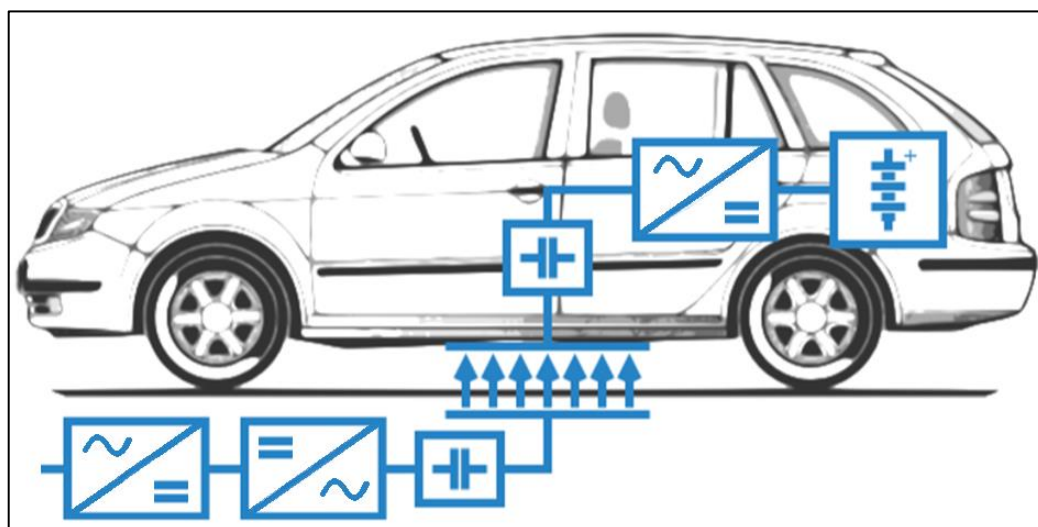
²⁰ Understanding charging rates. *Teslapedia* [online]. Teslapedia, 2015 [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <http://teslapedia.org/model-s/tesla-driver/understanding-charging-rates/>

²¹ Tesla Model S Charging Inlet In Europe. *Inside EVs* [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://insideevs.com/tesla-model-s-charging-inlet-in-europe/>

²² MACHURA, Philip a Quan LI. A critical review on wireless charging for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2019, **104**, 209-234. s. 209. DOI: 10.1060/j.rser.2019.01.027. ISSN 1364-0321. Dostupné také v PDF z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.027>

Bezdrátové nabíjení využívá principu elektromagnetické indukce mezi dvěma cívkami (odtud také indukční nabíjení). Nabíjecí výkon je přenášen mezi primární a sekundární cívkou elektromagnetickým polem ve vzduchové mezeře, která je obvykle menší než 40 cm.²³

Primární část systému je umístěna pod povrchem vozovky a sekundární část je zabudována ve vozidle (viz Obr. 2-5). Část umístěná pod povrchem vozovky je napájena z distribuční střídavé sítě o frekvenci 50 Hz. Kmitočet o této hodnotě je pro přenos výkonu ve vzduchové mezeře příliš nízký. Proto je nutná jeho konverze z nízkofrekvenčního střídavého napájení na vysokofrekvenční v rozmezí 20 až 100 kHz. Nejdříve je tedy střídavý proud usměrněn na stejnosměrný a následně pomocí vysokofrekvenčního střídače je převeden na vysokofrekvenční střídavý proud, který vstupuje do primární vysílací cívky. Sekundární část systému se skládá ze sekundární přijímací cívky, usměrňovače s filtrem vytvářejícího proud bez vlnění a palubní baterií. Na obou stranách systému je zařazena kompenzační kapacita. Na primární straně je určena ke snížení jalového výkonu napájení a na sekundární straně pro zlepšení přenosové kapacity eliminací indukčnosti přijímací cívky. Oba subsystemy sdílejí informace prostřednictvím komunikačního spojení.²⁴



Obr. 2-5: Indukční nabíjení²⁵
(upraveno)

Zatím se jedná o relativně novou a nezavedenou technologii, jejíž další uplatnění bude záviset na budoucím vývoji a zejména pak ceně. Zavedení technologie by obnášelo velké investice do speciální vozovky s řadou zabudovaných cívek. Zároveň ale může snížit pořizovací náklady

²³ MACHURA a LI, pozn. 22, s. 211-212

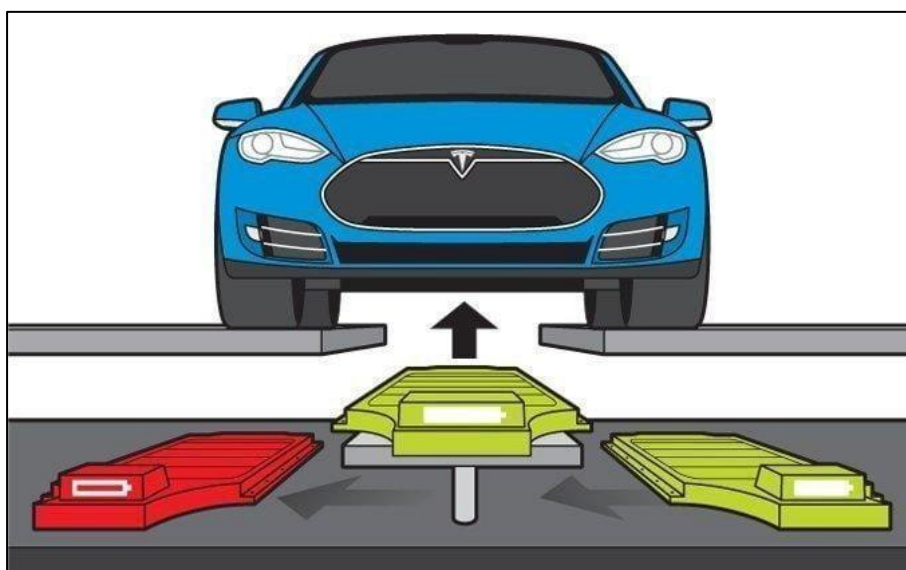
²⁴ MACHURA a LI, pozn. 22, s. 211-212

²⁵ KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK, pozn. 1, s. 10

za EV, neboť v masovém uplatnění by nebylo nutné pro elektromobily vyrábět baterie s tak velkou kapacitou jako je tomu nyní.²⁶

2.3 Výměna baterie

Výměna baterie nabízí doposud nejrychlejší způsob nabíjení EV. Vybitá baterie je z vozu vyjmuta a nahrazena baterií jinou, plně nabitou (viz Obr. 2-6). Proces bateriové výměny zajišťují speciální automatizované stanice. V ideálním případě by se na těchto místech vyjmutá baterie pro její opětovné použití znovu i nabíla. Hlavní výhoda spočívá v rychlosti celého procesu, jenž trvá řádově jednotky minut. Tato rychlost je již plně srovnatelná s tankováním paliva vozidlům se spalovacím motorem na čerpacích stanicích.²⁷



Obr. 2-6: Výměna baterie²⁸

Jelikož by jednotlivé baterie byly sdíleny mezi mnoha uživateli, nabízí se svěřit jejich vlastnictví provozovatelům výměnných stanic, případně výrobcí elektromobilů. Tuto myšlenku se v praxi snažila otestovat automobilka Tesla v roce 2013. Pro nízký zájem veřejnosti byl ale projekt zastaven. Velkou roli sehrála skutečnost, že v té době již Tesla svým zákazníkům umožnila nabíjení Superchargery. Podobně jako Tesla se technologii snažila prosadit koncem roku 2008 společnost Better Place. Ta vybuodovala menší síť stanic v Izraeli a Dánsku. Navzdory spokojenosti zákazníků společnost v roce 2013 zbankrotovala. Důvodem

²⁶ MACHURA a LI, pozn. 22, s. 226

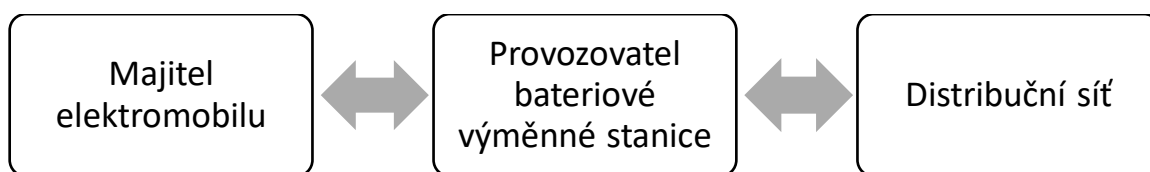
²⁷ MAHOOR, M a kol. *Electric Vehicle Battery Swapping Station* [online]. In: Paris: CIGRE, 2017, 6. s. 1 [cit. 2019-02-14]. Dostupné také v PDF z: <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-begins-pilot-battery-swap-program-for-model-s-owners/>

²⁸ Tesla drivers on the go, rejoice: Model S owners invited into pilot battery swap program. *DIGITAL TRENDS* [online]. 2014 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-begins-pilot-battery-swap-program-for-model-s-owners/>

byla nedostatečná podpora ze strany výrobců EV a přehnané odhady ohledně vývoje počtu elektromobilů v těchto státech.²⁹

Hlavními důvody, proč tato technologie není zatím rozšířena, jsou výše investic nutné k vybudování potřebné infrastruktury a nízký zájem ze strany veřejnosti. Pro větší uplatnění by bylo nezbytné standardizovat konstrukční řešení baterií různých elektromobilů. To by si vyžádalo značné úsilí a shodu mezi výrobci.³⁰

Obrázek 2-7 znázorňuje vzájemné vazby zainteresovaných stran při nasazení bateriové výměnné stanice. Následující odstavce pak popisují hlavní možné benefity plynoucí jednotlivým stranám.



*Obr. 2-7: Vazby zúčastněných stran při zavedení bateriové výměnné stanice³⁰
(vlastní zpracování)*

Majitel elektromobilu – hlavním přínosem majitelům elektromobilů je vysoká rychlost nabití. Dále by mohla být výrazně nižší jejich cena, neboť baterie by již nebyla jeho pevnou součástí. Je ovšem otázkou, zda by pak v ceně vozu byly zohledněny i náklady na vybudování a údržbu potřebné infrastruktury.³⁰

Provozovatel stanice – energii momentálně nevyužívaných akumulátorů by šlo využít pro potřeby kompenzace sítě. Tím by si provozovatel stanice mohl ve spolupráci s distributorem částečně vynahradiť vysoké investiční náklady. Provozovatel stanice si může zvolit dobu, ve které budou baterie nabíjeny, čímž se lze vyhnout dražšímu nabíjení v období špičkového zatížení.³⁰

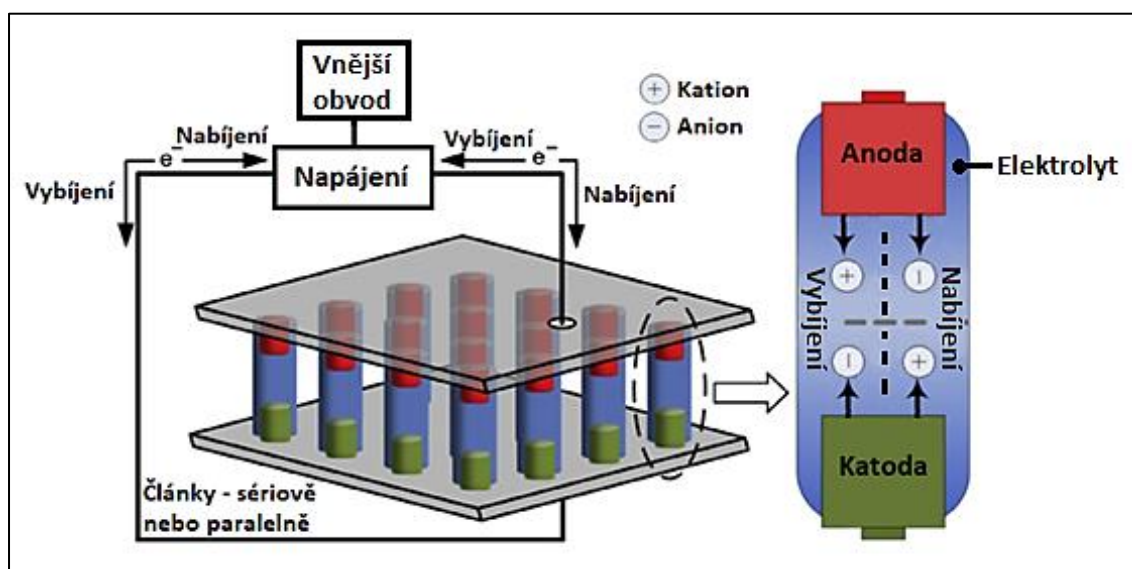
Distribuční síť – na rozdíl od nabíjení vodivým propojením je zde možné odložit dobu nabíjení baterií mimo špičkové zatížení sítě. Tím lze zmírnit problémy přetěžování sítě bez nutnosti modernizace stávající infrastruktury.³⁰

²⁹ DIWAN, Parag. Is Battery Swapping a Viable Option for Public Transportation EVs? *MEDIUM* [online]. 2018 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://medium.com/@pdiwan/is-battery-swapping-a-viable-option-for-public-transportation-evs-adb4ced74ff2>

³⁰ MAHOOR, M a kol, pozn. 27, s. 1-3

3 Technologie akumulace v bateriových systémech

Rozvoj elektrizační soustavy úzce souvisí se schopností reagovat na změnu křivky poptávané elektrické energie. Nejistá a hůře předvídatelná výroba z OZE, zejména větrných a slunečních elektráren, přináší problém v rovnováze mezi nabízenou a poptávanou elektřinou v čase. Pro zajištění dostatečného množství elektrické energie v každém okamžiku je výhodné přebytky z výroby uschovávat pro její pozdější potřebu. K tomu slouží celá řada akumulacních systémů. V této kapitole se zabývám pouze bateriovými systémy, které nyní zažívají dynamický vývoj a rostoucí uplatnění.



Obr. 3-1: Proces nabíjení a vybíjení baterie ³¹
(upraveno)

Elektrická baterie se skládá z několika elektrochemických článků, přičemž rozlišujeme články primární, které lze použít pouze jednou a články sekundární, které lze dobít opakovaně. Elektrochemický článek se skládá ze dvou elektrod opačných nábojů a elektrolytu, který zajišťuje tok iontů mezi nimi a tím i přenos elektrického náboje. Obrázek 3-1 schematicky popisuje strukturu baterie elektrochemického článku a znázorňuje pohyb iontů při procesech nabíjení a vybíjení.

3.1 Základní parametry baterií

Baterie lze charakterizovat a porovnávat dle několika parametrů. Základní z nich, se kterými budu navíc dále pracovat, jsem vybral a popsal v následujících odstavcích.

³¹ LUO, Xing a kol. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. In: *Applied Energy* [online]. UK: Elsevier, 2015, 511-536. s. 517. [cit. 2019-01-20]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>

- **Jmenovité napětí – [V]**

Nominální napětí, které je používáno pro provoz baterie. Je třeba odlišovat od pracovního napětí, neboť to odpovídá aktuálním podmínkám baterie při zatížení. Dle požadovaného výstupního napětí se články v modulech baterií zapojují sériově nebo paralelně.³²

- **Kapacita – [Ah], [kWh]**

Celková kapacita elektrické energie, kterou lze získat z článku nebo baterie za předem definovaných podmínek pro vybíjení. Důležité je znát provozní podmínky a vybíjecí proud. Používáme-li jednotku ampérhodina, pak velikost reprezentuje počet hodin, po které může baterie dodávat proud o určité hodnotě. Vynásobíme-li kapacitu baterie výstupním napětím, obdržíme jednotku Wh, resp. kWh. Častěji se ale používají ampérhodiny, neboť napětí baterie se může při vybíjení měnit.³²

- **Energetická hustota – [Wh.kg⁻¹], [Wh.l⁻¹]**

V souvislosti s akumulátory rozlišujeme dvě hustoty, buď se jedná o hustotu gravimetrickou, nebo objemovou. V prvním případě se jedná o množství elektrické energie z jednotky hmotnosti, v druhém o množství energie z jednotky objemu, resp. litru. V této práci budu dále používat pouze jednotku Wh.kg⁻¹.³²

- **C-rate – [-]**

Neboli také proudová zatížitelnost (případně rychlost nabíjení nebo vybíjení) je velikost vybíjecího nebo nabíjecího proudu baterie, která je vyjádřena jako násobek jmenovité kapacity. Například baterie se jmenovitou kapacitou 300 mAh je při C-rate 1 C vybíjena nebo nabíjena proudem 300 mA po dobu jedné hodiny, při 2 C proudem 600 mA po dobu 30 minut.³²

- **Úroveň nabití, SoC (*State of Charge*) – [%]**

Dostupná kapacita baterie vyjádřená procentem jmenovité kapacity.

- **Úroveň vybití, DoD (*Depth of Discharge*) – [%]**

DoD vyjadřuje hloubku vybití baterie. Například je-li DoD 80 %, pak baterie obsahuje ještě 20 % své původní kapacity. Jedná se o inverzní veličinu k SoC.

- **Životnost – [cykly], [rok]**

Životnost akumulátorů lze vyjádřit buď počtem nabíjecích cyklů, při kterých se nezmění jmenovitá kapacita, nebo počtem let, během kterých nedojde k degradaci obsažených materiálů.

³² REDDY, Thomas B. *Linden's Handbook of Batteries*. 4th ed. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, 2011. s. 1332-1341 ISBN 978-0-07-162419-0.

3.2 Technologie baterií

3.2.1 Olověné baterie

Olověné baterie (Pb) jsou nejrozšířenějším používaným typem baterií na světě. Kladná elektroda (katoda) je složena z oxidu olovičitého a záporná elektroda (anoda) z olova. Elektrolytem bývá kyselina sírová. Při vybíjení se obě elektrody chemickými reakcemi přeměňují na síran olovnatý a elektrolyt na vodu. Při nabíjení je proces opačný.

Olověné akumulátory jsou používány ve stacionárním i mobilním provozu. Typické aplikace jsou nouzové napájecí systémy, systémy s ostrovní FVE nebo telekomunikační systémy. Vzhledem ke schopnosti poskytovat vysoké rázové proudy je lze také využít pro startování automobilů. Jejich životnost se při dobré údržbě pohybuje mezi 30 až 40 roky. Údržba obvykle zahrnuje doplňování vody, neboť ta se spotřebovává vlivem chemických reakcí při přebíjení.³³ Současný výzkum a vývoj je zaměřen na zlepšení jejich vlastností pro malá vozidla, jako jsou například golfové vozíky nebo manipulační technika.

Tab. 3-1: Výhody a nevýhody olověných baterií³⁴

Výhody	Nevýhody
+ Nízké investiční náklady	- Nižší energetická hustota (40 Wh.kg ⁻¹)
+ Snadná recyklovatelnost	- Toxicita olova
	- Delší doba nabíjení

3.2.2 Baterie na bázi niklu

Nikl–kadmiové baterie (NiCd)

První komerční použití nikl–kadmiových baterií se datuje na počátek 20. století. Anoda je tvořena z kadmia a katoda z hydroxidu niklu. Elektrolytem je vodný alkalický roztok, obvykle ve vodě rozpuštěný hydroxid draselný. Elektrody jsou vzájemně odděleny separátorem, který zabraňuje elektrickému kontaktu mezi elektrodami a zároveň umožňuje jejich kontakt s elektrolytem.³⁵

³³ BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE. *Large Energy Storage Systems Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2011. s. 156-158. ISBN 978-1-4200-8600-3.

³⁴ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: *Electrical Energy Storage* [online]. Geneva, Switzerland: IEC, 2012 [cit. 2019-03-18]. s. 21. ISBN 978-2-88912-889-1. Dostupné také v PDF z: <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>

³⁵ NiCd akumulátory. *Battex* [online]. Slaný: Battex [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>

V porovnání s olověnými akumulátory mají lehce vyšší energetickou hustotu a také vyšší počet nabíjecích cyklů. V současné době jsou používány především pro stacionární aplikace. V mobilních aplikacích jsou nahrazeny bateriemi Li-Ion.³⁶

Tab. 3-2: Výhody a nevýhody nikl-kadmiových baterií³⁷

Výhody	Nevýhody
+ Konstrukční jednoduchost	- Nižší energetická hustota (50 Wh.kg ⁻¹)
+ Životnost	- Toxicita kadmia
+ Nízká míra samovybíjení	- Potřeba odvětrávání
	- Paměťový efekt = ztráta kapacity

Nikl-metal hydridové baterie (NiMH)

Tyto baterie se liší od nikl-kadmiových baterií tím, že pro materiál elektrody se nepoužívá kadmium, čímž jsou šetrnější vůči životnímu prostředí a také se nepotýkají s paměťovým efektem při opakovaném dobíjení. Anoda je vyrobena z kovového hydridu a katoda z hydroxidu niklu. Elektrolytem je stejně jako u NiCd baterií hydroxid draselný.

Dalším rozdílem oproti NiCd akumulátorům je vyšší energetická hustota. Problémem při jejich aplikaci je vysoká míra samovybíjení. Během prvních 24 hodin po plném nabití ztrácí 5 až 20 % své kapacity.³⁸ Dlouhá životnost těchto baterií je dána vlastnostmi elektrolytu, neboť ten chemicky nereaguje se zbytkem článku. Pro některé výhodné vlastnosti se aplikují tam, kde byly dříve uplatněny NiCd akumulátory. Používají se u hybridních vozidel nebo také pro průmyslové aplikace jako jsou UPS.³⁹

Tab. 3-3: Výhody a nevýhody nikl-metal hydridových baterií

Výhody	Nevýhody
+ Životnost	- Vysoké investiční náklady
+ Nižší toxicita, absence kadmia	- Vysoká míra samovybíjení
+ Šetrnější k ŽP než NiCd baterie	
+ Energetická hustota (až 100 Wh.kg ⁻¹)	

³⁶ IEC, pozn. 34, s. 21

³⁷ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 518

³⁸ LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 518

³⁹ NiMH akumulátory. *Battex* [online]. Slaný: Battex [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory>

3.2.3 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové (Li-Ion) akumulátory jsou komerčně používány již od počátku 90. let minulého století, kdy s touto technologií přišla společnost SONY u mobilních telefonů. Označení Li-Ion souvisí s chemickým složením článků, které zajišťují přenos iontů lithia. Přibližně od roku 2000 jsou nejdůležitější akumulací technologií pro přenosné a mobilní provozy. Dnes lithiové akumulátory pokrývají zhruba třetinu všech akumulacích aplikací na světě. V souvislosti s předpokládaným rozšiřováním elektromobility se navíc počítá s ještě větším zastoupením lithium-iontových akumulátorů.⁴⁰

Katodu tvoří některý z lithiových kovových oxidů, jako je například LiCoO_2 . Anoda je vyrobena z uhlíku. Elektrolytem bývají rozpuštěné soli lithia v organických sloučeninách uhlíku. Během nabíjení lithiové ionty z katody protékají přes porézní separátor na anodu. Při vybíjení dochází k opačnému toku iontů.

Ve stacionárních aplikacích je lze využít pro různý energetický rozsah od několika kWh v případě například kombinace se střešními fotovoltaickými panely, až po několik MWh jako je poskytování podpurných služeb typu regulace frekvence. Mají řadu výhodných vlastností, které shrnuje tabulka 3-4. Největším problémem Li-Ion baterií je stále vysoká cena. Přesto se ale očekává, že by s rostoucím zastoupením měla postupně klesat.⁴¹

Tab. 3-4: Výhody a nevýhody lithium-iontových baterií⁴²

Výhody	Nevýhody
+ Energetická hustota (75 - 200 Wh.kg ⁻¹)	- Vysoké investiční náklady
+ Nízká hmotnost	- Ztráta kapacity při hlubokém vybíjení
+ Vysoká účinnost	
+ Nízká míra samovybíjení	

V důsledku vysoké obliby lithiových baterií byly vyvinuty další lithiové technologie se specifickými vlastnostmi. Pro přehled uvádím tabulku (Tab. 3-5), která shrnuje několik těchto podtypů s vybranými parametry.

⁴⁰ BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE, pozn. 33, s. 174

Li - akumulátory. *Battex* [online]. Slaný: Battex [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/historie>

⁴¹ LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 517

⁴² Sestaveno autorem na základě informací uvedených v:
BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE, pozn. 33, s. 175-176
LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 517

Tab. 3-5: Přehled typů lithiových baterií a jejich parametrů ⁴³

Chemický vzorec	Název	Jmenovité napětí článku [V]	Energetická hustota [Wh.kg ⁻¹]	C-Rate [C]		Počet cyklů
				Nab.	Vyb.	
LiCoO ₂	Lithium Kobalt Oxid	3,6	150 - 240	1	1	500 - 1000
LiMn ₂ O ₄	Lithium Mangan Oxid	3,7	100 - 150	3	10	300 - 700
LiNiMnCoO ₂	Lithium Nikl Mangan Kobalt Oxid	3,7	150 - 220	1	2	1000 - 2000
LiFePO ₄	Lithium Železo Fosfor	3,3	90 - 120	1	25	1000 - 2000
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	Lithium Titan Oxid	2,4	50 - 80	5	10	3000 - 7000

Za povšimnutí stojí vysoká proudová zatížitelnost (C-rate) při vybíjení u baterií LiFePO₄ (je nutné podotknout, že citovaný zdroj tuto hodnotu uvádí pouze pro některé články). Dále se technologie LiFePO₄ vyznačuje poměrně vysokým počtem nabíjecích cyklů. Uvedené vlastnosti jsou výhodné pro aplikace s častým vybíjením baterie a potřebou rychlého nárůstu vybíjecího proudu. Těmto parametrům vyhovuje například právě bateriové úložiště v kombinaci s rychlonabíjecí stanicí.

3.2.4 Baterie na bázi sodíku

Sodík–sírové baterie (NaS)

Jako první se touto technologií zabývala automobilka Ford. Ta v roce 1960 představila prototyp elektrického vozu, jenž využíval jako zdroj energie sodík–sírové baterie. Elektrody jsou v tomto případě v tekutém stavu. Anoda je tvořena roztaveným sodíkem, katoda pak roztavenou sírou. Mezi elektrody je vložen pevný elektrolyt, keramický hlinitan sodný.

Procesy nabíjení a vybíjení si vyžadují provozní teplotu mezi 270 až 350 °C. Jedině tak lze udržet aktivní materiál elektrod v roztaveném stavu a zajistit tak tok kladných iontů skrze elektrolyt. Pro dostatečně vysokou provozní teplotu se používají externí ohřívače. Jakmile je baterie v provozu, chemické procesy generují dostatečné množství tepla pro udržení požadované teploty. Pokud systém v provozu není, nemůže ani docházet k jeho samovybíjení, neboť nemá dostatečnou teplotu. ⁴⁴

⁴³ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: BU-205: Types of Lithium-ion. *Battery University* [online]. 31. 5. 2018 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/index.php/learn/>

⁴⁴ BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE, pozn. 33, s. 158-161

Tyto baterie jsou vhodné pro aplikace s častým cyklováním, při kterém by systém neztrácel potřebnou provozní teplotu. Dále jsou vhodné pro aplikace o vyšších výkonech v jednotkách MW, kde se méně projeví tepelné ztráty při provozu. S ohledem na uvedené skutečnosti a také jejich rychlou odezvu, je vhodným použitím například stabilizace výroby z OZE jako jsou větrné elektrárny. V současné době jsou dokonce nejslibnějším adeptem pro aplikace vysokých výkonů.⁴⁵

Tab. 3-6: Výhody a nevýhody sodík-sírových baterií⁴⁶

Výhody	Nevýhody
+ Energetická hustota (150 - 350 Wh.kg ⁻¹)	- Potřeba ohřivačů = nižší účinnost
+ Rychlá odezva (milisekundy)	- Vysoké provozní náklady
+ Snadná recyklovatelnost	
+ Levné materiály	

Sodík-nikl chloridové baterie (NaNiCl)

Sodík-nikl chloridové baterie jsou konstrukcí podobné sodík-sírovým akumulátorům. I v tomto případě jsou elektrody odděleny keramickým pevným elektrolytem, který vede pouze kladné ionty sodíku. Anoda je vyrobena z roztaveného sodíku, katoda je ve vybitém stavu z niklu a v nabitém stavu z chloridu nikelnatého.

Stejně jako pro NaS akumulátory, i zde je požadována vysoká provozní teplota kolem 270 °C. Známé jsou také pod označením ZEBRA (*Zero Emission Battery Research*), tedy baterie s nulovými emisemi. Kvůli tomu mají lepší bezpečnostní charakteristiky než NaS akumulátory. V případě poruchy si baterie uchovává nízký vnitřní odpor, čímž dochází v sériovém zapojení pouze k úbytku napětí na jednom článku namísto selhání celého systému. Oproti bateriím na bázi niklu vydrží vyšší počet nabíjecích cyklů.⁴⁷

Předpokládá se, že NaNiCl baterie budou jedním z řešení elektromobilů. Nyní se vývojem zabývá několik společností na světě, jejichž hlavním cílem je navýšení měrného výkonu. Ve vysokoenergetických aplikacích mohou být vhodné jako stabilizátor výroby z OZE.⁴⁸

⁴⁵ LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 517-518

⁴⁶ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 517-518

⁴⁷ IEC, pozn. 34, s. 23-24

⁴⁸ LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 518

Tab. 3-7: Výhody a nevýhody sodík-nikl chloridových baterií

Výhody	Nevýhody
+ Nulové emise	- Energetická hustota (100 Wh.kg ⁻¹)
+ Vyšší počet nabíjecích cyklů	- Vysoké provozní náklady
+ Nižší míra samovybíjení	
+ Levné materiály	

3.2.5 Průtokové baterie

Tento typ se od klasických bateriových akumulátorů liší svojí konstrukcí. Energie není uložena v bateriových člancích, ale je akumulována v elektrolytu, respektive dvou externích nádržích. Elektrolyty jsou čerpány skrze elektrochemický článek, kde dochází ke konverzi chemické energie na elektrickou. Elektrody odděluje iontově selektivní membrána, čímž je zamezeno promíchání elektrolytů. Množství akumulované energie je určeno pouze velikostí externích nádrží. Tato vlastnost je pak společně s možností okamžitého dobíjení za pomoci výměny elektrolytických kapalin hlavní předností těchto baterií.⁴⁹ Za hlavní nedostatky lze považovat poměrně vysokou cenu, zejména pak separátorů a nižší energetickou hustotu než například u Li-Ion baterií. S ohledem na jejich technické řešení jsou výhodné pro aplikace větších výkonů, jako je vyrovnávání výkyvů ve výrobě větrných a fotovoltaických elektráren.⁵⁰

Tab. 3-8: Výhody a nevýhody průtokových baterií⁵¹

Výhody	Nevýhody
+ Množství akumulované energie	- Vysoké investiční náklady
+ Výměna elektrolytů = okamžité dobíjení	- Nižší energetická hustota
+ Nízké provozní náklady	
+ Nízká míra samovybíjení	

⁴⁹ LUO, Xing a kol., pozn. 31, s. 518

⁵⁰ IEC, pozn. 34, s. 24

⁵¹ Sestaveno autorem na základě informací uvedených v: IEC, pozn. 34, s. 24

REICHL, Tomáš. Průtoková baterie. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/prutokova-baterie>

4 Analýza právních a provozních předpisů nabíjecích stanic elektromobilů

Problematika legislativy a provozních předpisů týkajících se nabíjecích stanic je poměrně rozsáhlá. Do obsahu této kapitoly lze zahrnout různé dokumenty, zákony, vyhlášky a také technické normy. V této kapitole se věnuji jen vybraným zdrojům, které považuji s ohledem na jejich význam za stěžejní. Dále jsem se zaměřil na zdroje, které obsahují důležité informace související s praktickou částí této práce.

4.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva

Směrnice se zabývá zaváděním infrastruktury pro alternativní paliva, u nichž lze předpokládat potenciál pro dlouhodobé nahrazení ropy. Mezi tato paliva patří elektřina, vodík, biopaliva, zemní plyn (LNG a CNG) a zkapalněný ropný plyn (LPG). Další text této části věnuji pouze pasážím zabývajícím se elektřinou. Z technologií nabíjení EV dokument specifikuje pouze nabíjení vodivým propojením pomocí veřejných nabíjecích stanic. Direktiva pro indukční nabíjení a bateriové výměnné stanice text neuvádí. S jejich doplněním se počítá až v nově aktualizovaném dokumentu.⁵²

Dělení nabíjecích stanic dle výkonu

- Běžná nabíjecí stanice – s výkonem v rozmezí 3,7 až 22 kW.
- Vysoce výkonná dobíjecí stanice – výkon nad 22 kW.

Zavádění nabíjecích stanic

- Dle směrnice má být do 31. 12. 2020 vybudován dostatečný počet nabíjecích stanic, a to především v hustě obydlených oblastech. V textu směrnice se uvádí, že konečné číslo se bude odvíjet od počtu elektrických vozidel na konci téhož roku. Pro urychlení celého procesu jsou členské státy povinny přijmout příslušná opatření.

⁵² Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva In: EUR-Lex [právní informační systém]. Evropský parlament, Rada Evropské unie [cit. 2019-03-04]. Dostupné také v PDF z:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=CS>

- Běžné stanice uvedené do provozu po datu 18. 11. 2017 musejí být vybaveny nabíjecími konektory typu 2 Mennekes. Vysoce výkonné dobíjecí stanice na střídavý proud budou vybaveny stejným typem konektoru. Stejnoseměrné pak systémem CCS Combo 2.

Provozování nabíjecích stanic

- Provozovatel nabíjecí stanice si může libovolně vybrat dodavatele elektřiny, jedinou podmínkou je souhlas dodavatele.
- Účtované ceny za nabíjení musejí být přiměřené a nediskriminační.
- Provozovatelé DS musí vůči provozovatelům stanic zachovávat rovný přístup.

4.2 Národní akční plán čisté mobility

Národní akční plán čisté mobility (NAP ČM) implementuje požadavky předchozí směrnice 2014/94/EU do prostředí ČR. Plán je výhledově koncipován až do roku 2030. Tento dokument se věnuje především palivům, která jsou již nyní komerčně využívána, nebo jejich využití lze v blízké době očekávat. Opět jsem se zaměřil pouze na elektřinu a s tím související nabíjecí infrastrukturu. Verze dokumentu, ze kterého jsem čerpal informace a který je uveden na webových stránkách MPO, je pro období 2015 - 2018, ale dosud nebyla aktualizována.

Definice

NAP ČM používá oproti předchozímu dokumentu odlišnou terminologii. Nabíjecí stanice zde nejsou děleny dle výkonu, ale jsou rozděleny podle způsobu nabíjení, tedy na střídavé (AC) a stejnosměrné (DC). Dále dokument rozlišuje nabíjecí bod jako místo, kde lze nabíjet pouze jeden elektromobil a nabíjecí stanici, která může obsahovat více nabíjecích bodů.

Rozvoj veřejné sítě nabíjecích stanic v ČR

Stanovené cíle a jednotlivá opatření vyplývají z vize, která odhaduje 250 tisíc provozovaných elektromobilů na území ČR do konce roku 2030. Jedním z hlavních cílů je usnadnění výstavby nabíjecí infrastruktury. K tomu jsou potřebné podpůrné kroky vlády ČR v podobě investiční podpory a vytvoření jednotné metodiky schvalovacího procesu výstavby nabíjecích stanic. Finanční podporu prostřednictvím evropských fondů již zahrnuje Operační program Doprava 2014 - 2020, který předpokládá podpůrné výdaje až 1,2 mld. Kč.⁵³

⁵³ MPO. *Národní akční plán čistá mobilita*. Praha: MPO, říjen 2015. s. 83 a 128. Dostupné také v PDF z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>

Zahušťování sítě nabíjecí infrastruktury se bude jistě potýkat s omezenou kapacitou DS. Dle Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) má distributor možnost zamítnout požadavek o připojení v případech, kdy kapacita sítě uvažovaného místa je nedostačující. Odmítnutí žadatele ale musí obsahovat jiný technicky proveditelný návrh připojení.⁵⁴

Do roku 2020 je pro ČR vytyčen cíl 1 300 veřejných nabíjecích bodů. Ty jsou rozděleny do dvou skupin. První je páteří sítě nabíjecích stanic v oblasti tranzitních tahů, pro kterou je vyčleněno 500 stejnosměrných nabíjecích bodů. Druhou skupinou jsou různé druhy veřejných parkovišť, pro které je určeno 800 bodů především střídavého nabíjení.⁵⁵

4.3 Zákon o pohonných hmotách č. 311/2006 Sb.

Celým názvem „*Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách), ve znění pozdějších předpisů*“. Tento zákon, obdobně jako NAP ČM, implementuje požadavky směrnice 2014/94/EU do české legislativy. V tomto případě jsou stanice rozlišovány z hlediska maximálního výkonu, stejně jako je tomu ve směrnici 2014/94/EU. Dokument ukládá provozovatelům veřejně přístupných nabíjecích stanic následující povinnosti:⁵⁶

- nabíjecí stanice musí být opatřena informacemi o kompatibilitě s EV,
- konektory nově zprovozněných stanic musí být v souladu s požadavky směrnice 2014/94/EU (viz kapitola 4.1),
- ceny účtované za nabíjení musí být veřejně dostupné,
- uživatelům musí být umožněno jednorázové nabití, bez nutnosti uzavření smlouvy s provozovatelem,
- před zahájením provozu musí být informace o stanici oznámeny MPO (provozovatel, adresa, počet nabíjecích bodů).

4.4 Pravidla provozování distribučních soustav – Příloha 6

Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS) vytváří několik subjektů, které podnikají v oboru distribuce elektrické energie. Dokument schvaluje Energetický regulační úřad (ERÚ). Příloha 6 tohoto dokumentu se zabývá připojováním zařízení k DS. Požadavky pro připojení

⁵⁴ MPO, pozn. 53, s. 86

⁵⁵ MPO, pozn. 53, s. 96

⁵⁶ ČR. Zákon č. 152/2017 Sb., zákon, kterým se mění zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2017. ISSN 1211-1244.

elektromobilů a nabíjecích stanic uvádí část 5 této přílohy. Nabíjecí stanice jsou zde rozděleny do tří výkonnostních kategorií.⁵⁷

- **Kategorie DoS1**

Stanice určené k nabíjení jednostopých vozidel s výkonem do 3,7 kW.

Připojení těchto stanic nenese žádnou ohlašovací povinnost. Za překročení rezervovaného příkonu zodpovídá zákazník.

- **Kategorie DoS2**

Běžná nabíjecí stanice s výkonem v rozmezí 3,7 až 22 kW.

Dle vyhlášky ERÚ č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě musí být u provozovatele DS podána žádost o připojení. Smlouva o připojení nabíjecí stanice musí obsahovat velikost rezervovaného příkonu, dovolené limity zpětných vlivů na DS a zajištění komunikace pro sledování a řízení nabíjení.

- **Kategorie DoS3**

Vysoce výkonné nabíjecí stanice s výkonem nad 22 kW.

Stejně jako u DoS2, tak je i zde nutné podat žádost o připojení. Smlouva o připojení ale navíc pro stanice s více nabíjecími body požaduje zajištění komunikace mezi řídicím systémem stanice a řídicím systémem provozovatele DS pro sledování a řízení celkového odběru.

4.5 ČSN EN 61851-23: Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 23: DC nabíjecí stanice.

Tato norma stanovuje provozní funkce, které musí být splněny pro nabíjecí stanice s DC výstupním napětím až 1500 V. Všechny požadavky jsou uvedeny pouze pro režim nabíjení 4, kde je nezbytnou součástí datové spojení mezi nabíjecí stanicí a EV. Komunikační linka je integrována do řídicího vodiče, který zajišťuje většinu provozních funkcí. Jediným přípustným způsobem připojení je typ C.⁵⁸

Povinné provozní funkce při DC nabíjení

- **Ověření správného připojení EV.**

Nabíjecí stanice musí ověřit správné zasunutí vozidlové nástrčky. V případě, že je vozidlo ke stanici fyzicky připojeno, hnací systém EV se automaticky sám zablokuje.

⁵⁷ ERÚ. Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě. In: *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 6*. ERÚ, 2017. s. 18. Dostupné také v PDF z:

<https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds-priloha-6/>

⁵⁸ ČSN EN 61851-23: *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 23: DC nabíjecí stanice*. Praha: Český normalizační institut, 2016, s. 13

- **Nepřetržitá kontrola spojitosti ochranného vodiče.**

Je-li rozpojení ochranného vodiče mezi nabíjecí stanicí a EV detekováno déle než 10 s, musí se stanice sama nouzově odpojit. Pro neizolované nabíjecí stanice, jejichž DC okruh není elektricky oddělen od napájecí sítě, nastává nouzové odpojení do 5 s.

- **Odpojení napájení řídicího obvodu.**

Tato funkce se uplatní při chybových stavech jako je například zkrat nebo výpadek procesoru. Přívod nabíjecího proudu je ihned přerušen a řídicí obvod odpojen od napájení.

- **Stejnoseměrný zdroj pro nabíjení akumulátoru EV.**

DC napětí a proud je do akumulátoru dodáváno dle požadavků vozidla, přičemž ale nesmí dojít k překročení maximálních limitů nabíjecí stanice.⁵⁹

- **Měření výstupních veličin**

Nabíjecí stanice měří výstupní proud a napětí s předem stanovenou přesností dle technických norem. Ta se může pro různé stanice s ohledem na odlišná technická specifika lišit.

- **Zajištění nebo uvolnění vozidlové spojky.**

Při napětí vyšším, než je 60 V, musí být nabíjecí konektor zajištěn proti náhodnému odpojení. To je provedeno buď mechanicky, nebo elektrickým blokováním, případně jejich kombinací.

- **Posouzení kompatibility.**

Kompatibilita NS a EV je ověřena při výměně informací během úvodní fáze nabíjení.

- **Ověření izolačního stavu před započítím nabíjení.**

Izolační odpor mezi výstupním obvodem NS a ochranným vodičem EV musí být ověřen dříve, než dojde k sepnutí stykače elektromobilu.

- **Ochrana akumulátorů.**

Je-li překročeno maximální napětí stanovené baterií EV, musí být z důvodu ochrany akumulátorů provedeno nouzové vypnutí a přerušování napájení.⁵⁹

- **Ochrana proti zkratu před započítím nabíjením.**

Před sepnutím stykače EV musí stanice ověřit správnost polarity zásuvkového spojení. Při nesprávné polaritě nedojde k sepnutí stykače elektromobilu.

- **Ukončení nabíjení uživatelem.**

Uživateli je umožněno ukončení nabíjení kdykoliv během procesu.

- **Zamezení přetížení paralelních vodičů.**

Při používání více než jednoho přívodního vodiče proudu do vozidla musí NS zajistit, aby žádný z vodičů nebyl přetěžován.⁵⁹

⁵⁹ ČSN EN 61851-23, pozn. 58, s. 15-17

4.6 ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí

Tato norma definuje charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů veřejné distribuční sítě na hladině NN, VN a VVN. Mezi zaručované charakteristiky napětí patří kmitočet, velikost, tvar vlny a symetrie třífázového napětí. Tyto indikátory mohou kolísat nebo být narušeny vlivem proměnného zatížení soustavy, rušením od určitého zařízení, případně výskytem poruch.⁶⁰

Proměnné zatížení DS způsobuje také proudový odběr u rychlonabíjecí stanice elektromobilů. Při rychlém nabíjení EV proudový odběr ze soustavy běžně dosahuje hodnot až 3 x 60 A, čemuž odpovídá třífázový činný výkon přes 40 kW. Tato hodnota se již může nepříznivě projevit na kvalitě napětí v místě distribuční sítě.

Nežádoucí vlivy lze z časového hlediska dělit na jevy vyskytující se průběžně nebo náhle. Pro potřeby této práce uvádím pouze vybrané charakteristiky napájecího napětí. Na tyto veličiny se budu dále odkazovat v praktické části.

4.6.1 Průběžné jevy

Při těchto jevech se odchylky od jmenovitých hodnot vykytují průběžně. Příčinou obvykle bývají změny v zatížení.

Odchylky napájecího napětí

Velikost normalizovaného jmenovitého napětí U_n ve veřejné síti NN je 230 V. Pro třífázovou soustavu se tato hodnota uvažuje mezi fází a uzlem. Dovolená odchylka je v rozsahu $\pm 10 \% U_n$. Do tohoto intervalu musí spadat 95 % průměrných efektivních hodnot změřených za jeden týden, přičemž interval měření je 10 min. Tento interval dovoluje rozsah od - 5 % do + 10 % U_n .⁶¹

Rychlé změny napětí – flickr

Rychlá a cyklická změna obálky napětí způsobuje v napájených světelných zdrojích změnu jasu. Tento jev u člověka vyvolává zrakový vjem zvaný flickr. Při určité amplitudě kolísání napětí se pro lidské vnímání stává flickr nepříjemným a v konečném důsledku může vyvolat psychickou únavu.

⁶⁰ ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Praha: ÚNMZ, 2011. s. 6

⁶¹ ČSN EN 50160, pozn. 60, s. 12 a 13

Intenzitu nepříjemnosti vyjadřuje veličina míra vjemu flikru. Tato veličina se vyhodnocuje ve dvou různých intervalech.

- Krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} (short term) je vyhodnocována za časový interval 10 minut. Je tedy vhodná k ověření přípustných hodnot u zařízení, které mají krátký pracovní cyklus.
- Dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} (long term) se počítá z dvanácti po sobě jdoucích hodnot P_{st} dle následujícího vzorce: ⁶²

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad [-] \quad (4.1)$$

Pro popis kvality napětí je upřednostňována dlouhodobá míra vjemu flikru. Požadavky stanovené normou říkají, že během jednoho týdne musí být po 95 % času hodnota P_{lt} menší než 1. ⁶⁶

4.6.2 Náhlé napěťové jevy

Náhlé jevy jsou způsobeny neočekávanými vnějšími vlivy, jako je například porucha, cizí zavinění nebo vliv počasí. Do této skupiny patří náhlé poklesy a zvýšení napájecího napětí, případně i přerušení dodávek.

Dočasný pokles nebo zvýšení napětí

Jedná se o hůře předvídatelné jevy s náhodným charakterem výskytu. Četnost výskytu je proměnlivá a nejvíce závisí na místě sledování a typu napájecí sítě. Jako vztažná referenční hodnota se používá jmenovité napětí sítě.

Dočasné poklesy napětí jsou obvykle zapříčiněny poruchami v DS nebo na instalacích uživatelů. Za pokles se považuje změna napětí pod prahovou hodnotu, která činí 90 % U_n . Doba trvání tohoto jevu je od 10 ms do 1 min včetně. Většina krátkodobých poklesů trvá méně než 1 s. U vícefázových soustav se za pokles označuje už případ, kdy napětí jedné fáze klesne pod prahovou mez. Stejně tak pokles končí ve chvíli, kdy jsou všechna napětí rovna nebo vyšší, než je mezní hodnota. ⁶³

⁶² ČSN EN 50160, pozn. 60, s. 8

PNE 333430-7. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*. 4. vyd. Praha: ČSRES, 2011. s. 41

⁶³ ČSN EN 50160, pozn. 60, s. 10

PNE 333430-7, pozn. 62, s. 10

Dočasné zvýšení napětí (efektivní hodnoty) většinou nastává z provozních důvodů, jako je například spínání a odpojování zátěže v síti nebo zkrat. Prahová hodnota přepětí je rovna 110 % U_n . Doba trvání je zde stejně jako u poklesu napětí v intervalu 10 ms až 1 min včetně. Doba čela přepětí může být od několika milisekund až po méně než jednu mikrosekundu.⁶⁴

⁶⁴ ČSN EN 50160, s. 11 a 17

5 Nabíjecí stanice s akumulací a fotovoltaickou elektrárnou v pražských Holešovicích

Data pro praktickou část této práce jsem získal ve spolupráci se společností Pražská energetika, a.s. (dále jen PRE), která v rámci jedné ze svých aktivit buduje a spravuje infrastrukturu nabíjecích stanic na území ČR.

Pro ověření zpětných vlivů vyvolaných rychlým nabíjením byla vybrána nabíjecí stanice s akumulací v pražské čtvrti Holešovice. Tuto stanici společnost PRE provozuje od února roku 2018. Objekt se nachází na rohu ulic U Výstaviště a Za Elektrárnou. Tato lokalita byla pro stavbu vybrána z důvodu široké přístupnosti potenciálním uživatelům, dostatečného prostoru na instalaci a také s ohledem na vhodnou topologii sítě NN. V přílehlém okolí se nachází park Stromovka, Výstaviště Praha Holešovice a zimní stadion s parkovištěm.

Objekt je složen z betonového kontejneru, ve kterém je umístěno bateriové úložiště s inventory, PC s řídicím systémem, rozváděče a vnitřní část tepelného čerpadla. Vně kontejneru se pod zastřešením nacházejí nabíjecí stojany a dvě parkovací místa. Na střeše celého objektu jsou instalovány fotovoltaické panely. Stanice je připojena na NN kabelový vývod trafostanice 22/0,4 kV, který napájí i několik okolních činžovních domů. Délka vývodu od trafostanice je přibližně 300 m. Připojovací kabel je typu AYKY 3x240+120.



Obr. 5-1: Nabíjecí stanice v pražských Holešovicích ⁶⁵

⁶⁵ Fotografie z interní databáze společnosti PREdistribuce, a.s.

5.1 Nabíjecí stojany

- **Rychlá nabíjecí stanice ABB Terra 53 CJG**

Instalovaná stanice od výrobce ABB je v konfiguraci se třemi nabíjecími výstupy. Nabíjet lze střídavě pomocí konektoru Mennekes v režimu 3 s výstupním výkonem až 43 kW, nebo stejnosměrnými nabíjecími konektory CHAdeMO a CCS Combo 2 o výkonech až 50 kW v režimu 4. Tato jednotka se hodí do hustě obydlených oblastí a pro čerpací stanice v okolí dálniční sítě. Délka kabelu je pro všechny tři výstupy 3,9 m.

- **Běžná nabíjecí stanice ENSTO EVF 200**

Pro běžné AC nabíjení slouží nabíjecí stojan od společnosti ENSTO. Ten disponuje dvěma třífázovými zásuvkami 400 V a 32 A kompatibilními s konektory Mennekes. Výstupní výkon těchto zásuvek je až 22 kW v nabíjecím režimu 3. Dále lze nabíjet dvakrát z jednofázových zásuvek 230 V a 16 A s výstupním výkonem 3,7 kW. Zde se uplatňuje režim nabíjení 2, který je vhodný pro malé dopravní prostředky jako jsou elektrokola a elektroskútry.



Obr. 5-2: Nabíjecí stanice Terra 53 CJG ⁶⁶



Obr. 5-3: Nabíjecí stanice EVF 200 ⁶⁷

Platbu u obou nabíjecích stojanů lze provést několika způsoby. Mimo placení speciálním čipem nebo kartou lze také zaplatit pomocí chytrého mobilního telefonu načtením QR kódu. ⁶⁸

⁶⁶ Electric vehicle charging station – TERRA 53 CJG – ABB. *ArchiExpo - The online architecture and design exhibition: kitchen, bathroom, lighting, furniture, office, etc.* [online]. 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/abb/product-82776-1474009.html>

⁶⁷ ENSTO. *Chago Pro* [online] 14. 3. 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné také v PDF z: http://products.ensto.com/documents/datasheet/Solutions/EVF_RAK108_14032016.pdf

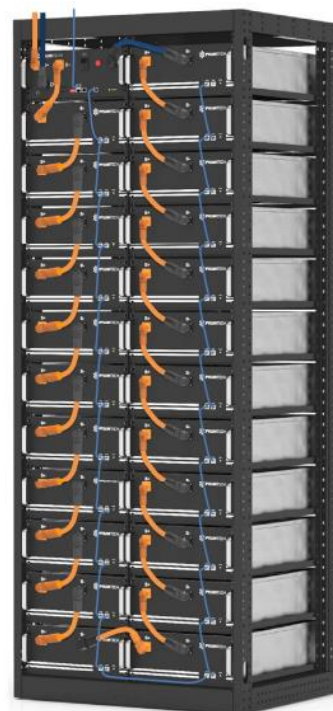
⁶⁸ PRE. *Přímá platba na dobíjecích stanicích-PREmobilita* [online]. 2015 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/nabijeni/dobijeni-pro-neregistrovane-zakazniky/>

5.2 Akumulace

Pro uskladnění elektrické energie je uvnitř betonového kontejneru stanice instalováno bateriové úložiště od společnosti Pylon Technologies v provedení PowerCube-M1. Úložiště je složeno z 23 kusů bateriových modulů zapojených sériově. Parametry instalovaného akumulčního systému kompaktně shrnuje následující tabulka. Většinu těchto parametrů jsem objasnil v kapitole 3.1.

Tab. 5-1: Parametry bateriového úložiště PowerCube-M1 ⁶⁹

Technologie	Li-Ion (LiFePO ₄)
Celková kapacita	148 Ah, 108,9 kWh
Výstupní napětí	736 Vdc
Počet zásuvných modulů	23 ks
Kapacita modulu	148 Ah, 4,74 kWh
Maximální nabíjecí proud	148 A
Maximální vybíjecí proud	148 A
Maximální nabíjecí napětí	828 Vdc
Minimální vybíjecí napětí	690 Vdc
Účinnost	96 %
DoD	80 %
Provozní teplota	10-40 °C
Životnost	10 let
Počet cyklů	3500



Obr. 5-4: PowerCube-M1 ⁷⁰

Hlavními úkoly a přínosy akumulace nabíjecí stanice připojené v síti NN jsou:

- pokrytí špičkových odběrů a dodávek elektrické energie,
- stabilizace napětí řízeným odběrem či dodávkou výkonu do sítě,
- bezproblémová integrace OZE.

Součástí bateriové skříně je také systém řízení baterií (BMS), který vyhodnocuje stav akumulátorů a prostřednictvím programovatelného logického automatu (PLC) komunikuje s měniči, dále monitoruje provozní teplotu. Úložiště je nabíjeno a vybíjeno pomocí dvou invertorů.

⁶⁹ Sestaveno autorem na základě informací z: PYLONTECH. *Lithium-Ion Phosphate Battery PowerCube-M1 Product Manual* [online]. Shanghai, China 2017, str. 7. Dostupné také v PDF z:

<https://m.solidpower.cz/data/user-content/datasheety/baterie/pylontech/vysokonapetove/m1/m1-manual-en.pdf>

⁷⁰ PYLONTECH, pozn. 69, str. 6

Pokyny pro stabilizaci napětí přicházejí z PLC, které zaznamenává parametry sítě, akumulace, nabíjecích stojanů a reaguje i na výrobu FVE. Data pro PLC zaznamenává tzv. analyzátor sítě, systém DIRIS DIGIWARE.

5.3 Fotovoltaická elektrárna

Na střeše objektu nabíjecí stanice je rozmístěno v šesti řadách celkem 30 kusů solárních panelů typu IBC PolySol 245 DS. Jeden panel poskytuje špičkový výkon 245 Wp, přičemž celá FVE má pak špičkový výkon 7,35 kWp. Panely jsou orientovány jihozápadně a jejich úhel sklonu se zemskou rovinou je 15°. Zapojeny jsou do dvou stringů. Energie vyrobená z FVE slouží primárně pro vlastní spotřebu stanice, jako je například její chlazení. Přebytky z výroby jsou ukládány do akumulátorů, případně je energie dodávána přímo do sítě.^{71, 72}

5.4 Měniče

- **Fotovoltaický střídač Fronius Symo 7.0-3-M**

Stejnoseměrné napětí a proud generovaný FVE musí být pro potřeby nabíjecí stanice převeden na střídavý. K tomu je použit střídač s dvojitým sledováním pracovního bodu maximálního výkonu fotovoltaického panelu (MPP tracker). Maximální výstupní výkon střídače je 7 kW a maximální účinnost je 98 %. Výkon z měniče je veden do hlavního rozvaděče, kde je umístěno i jištění 3 x 20 A. V případě výpadku napájení dojde k odpojení fotovoltaického střídače, čímž se zamezí ostrovnímu provozu FVE.⁷³

- **Invertory Sunsys PCS2-66TR**

Tyto invertory slouží pro nabíjení a vybíjení akumulace, resp. ke konverzi proudu a napětí na střídavé nebo stejnosměrné veličiny. Řízeny jsou dle pokynů z PLC. Do sítě jsou pak zapojeny třífázově a odběr nebo dodávka výkonu probíhá symetricky na všech fázích. Jejich jmenovitý výkon je 66,6 kW. V betonovém kontejneru stanice jsou umístěny dva tyto invertory, přičemž jeden z nich se využívá pro kompenzaci činné energie a druhý pro kompenzaci jalové energie.⁷³ Přesto lze používat pouze jeden inverter pro dodávku obou výkonů současně.

⁷¹ ŠRÁMEK, Miroslav. PRE měření. *Revize elektrického zařízení: FVE U Výstaviště*. Praha, 2017. Str. 2
ČERMÁK, Michal. ENERCON. *Technická zpráva-Rychlodobíjecí stanice pro elektromobily: Dokumentace skutečného provedení*. Brno, 2017. str. 9. č. dokumentu EAE_0010-A01

⁷² pozn.: Pro maximalizaci výroby z FVE by byl vhodný větší sklon panelů než je jen 15° (většina mnou prostudovaných zdrojů uvádí pro ČR jako optimální sklon 35°), ovšem s ohledem na rozhodnutí Odboru památkové péče bylo přistoupeno k nižšímu sklonu, a to tak, aby panely výškou nepřesahovaly okraj střechy.

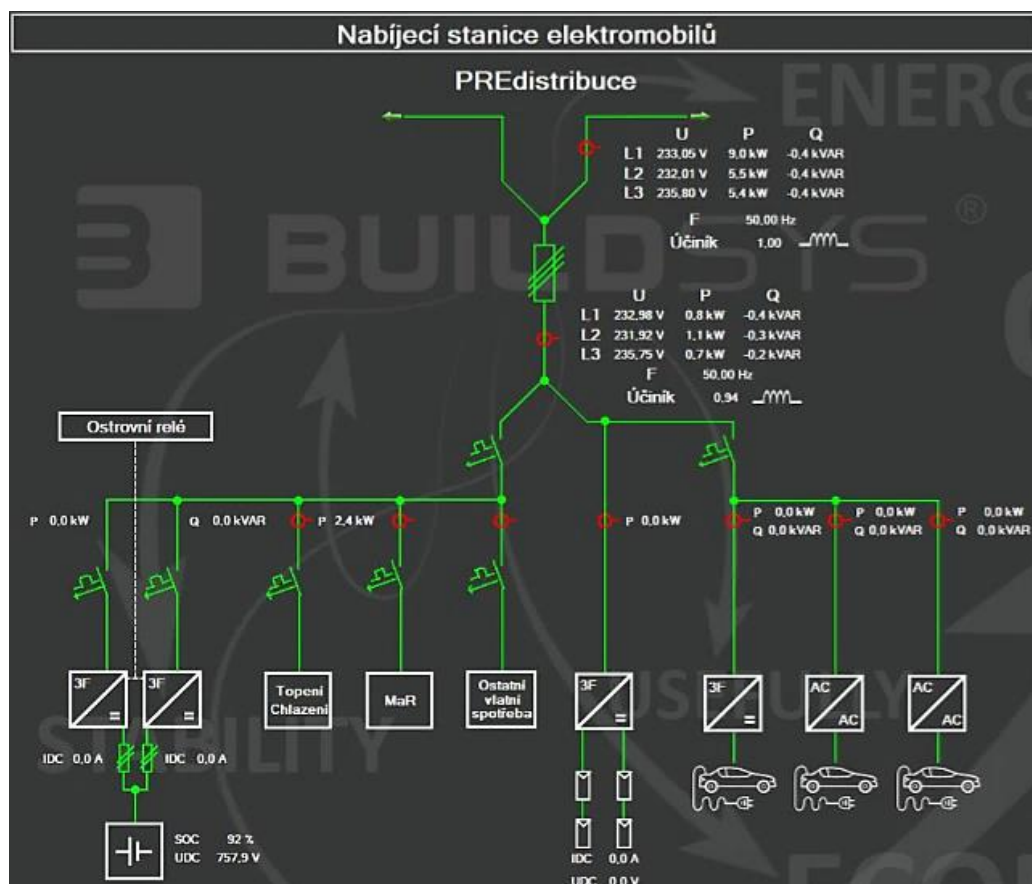
⁷³ ČERMÁK, pozn. 71, str. 10-11

5.5 Řídicí a dohledový systém

Pro chod nabíjecí stanice a nastavení jejích parametrů slouží řídicí systém od společnosti BuildSys. Obrázek 5-5 znázorňuje výřez okna obrazovky z instalovaného softwaru. Červené symboly označují místa, kde se měří elektrické veličiny. Zároveň je také v obrázku znázorněno jednoduché blokové schéma celé stanice. Systém je možné ovládat uvnitř kontejneru nabíjecí stanice, kde je umístěn dotykový ovládací panel, nebo dálkově z PC.⁷⁴

Mezi hlavní funkce řídicího systému patří:

- ovládání provozních režimů a jejich nastavování (viz příloha 1 a 2),
- měření elektrických veličin (I, U, P, Q, T, SoC),
- zobrazování grafů s měřenými veličinami pro vyznačené body,
- hlášení různých událostí ve stanici (např. nabíjení elektromobilů),
- zobrazování celkové spotřeby a dodávky elektrické energie,
- nastavování jednotlivých zařízení stanice.



Obr. 5-5: Hlavní okno řídicího a dohledového systému

⁷⁴ KŘIVANEC, Lukáš. *Zkušenosti s využitím akumulačního zařízení v místě připojení rychlonabíjecí stanice do distribuční sítě*. Tábor: ČK CIRED, 2018, s 5. str. 3

6 Scénáře provozu akumulace rychlonabíjecí stanice v pražských Holešovicích

Akumulace této nabíjecí stanice lze provozovat v několika provozních režimech. Každý režim dovoluje jiný rozsah parametrizace, případně nastavování jiných veličin. Režimy lze parametrizovat v okně řídicího systému a pomocí toho lze namodelovat různé scénáře chování technologie vůči soustavě.

V této kapitole definuji celkem pět scénářů:

- scénář 1 – Kompenzace napětí distribuční soustavy,
- scénář 2 – Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů,
- scénář 3 – Omezení proudového odběru z distribuční sítě,
- scénář 4 – Řízené nabíjení a vybíjení akumulace,
- scénář 5 – Akumulace odstavena.

Cílem této kapitoly je scénáře provozu popsat, nikoliv vyhodnocovat. Jejich vyhodnocením se zabývám až v další kapitole. Pro jejich názornější popis jsem si vybral vždy několik hodin provozu v konkrétním dni. Zobrazení celého dne je pro detailní popis nepřehledné, a navíc kvůli absenci jakýkoliv jevů, zejména pak v noci, i zbytečné. Časový úsek jsem tedy volil tak, aby zachycoval charakteristické jevy poplatné příslušnému scénáři. Každý den jsem doplnil grafem s průběhy vybraných veličin. Pro některé scénáře uvádím také tabulku s parametry, které byly v daný den nastaveny v okně řídicího systému.

Dny jsem dále vybíral s ohledem na nízké využití běžné nabíjecí stanice, jejíž zpětné vlivy mají na ostatní veličiny, zejména napětí sítě, minimální účinky. Z tohoto důvodu jsem odebíraný výkon při AC nabíjení u běžné nabíjecí stanice nezahrnul do žádného z uvedených grafů. Zahrnuto je pouze nabíjení z vysoce výkonné nabíjecí stanice.

Prezentovaná data pocházejí z dohledového systému stanice a jedná se tedy o vlastní měření technologie. Všechny veličiny jsou zaznamenávány v minutových profilech, přičemž se jedná o jejich okamžitou hodnotu.

Poznámka k prezentovaným grafům:

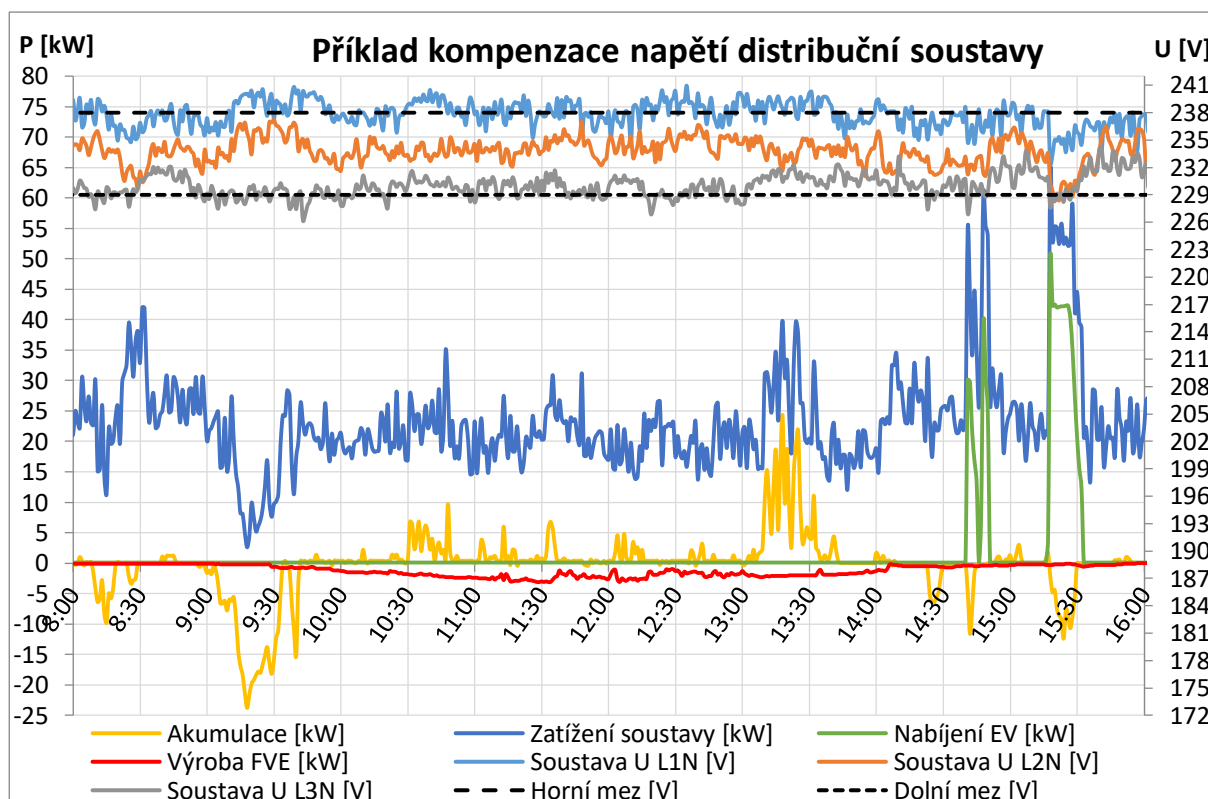
Hodnoty průběhů výkonů “Akumulace [kW]“ a “Výroba FVE [kW]“ v záporné polorovině znamenají výkon dodávaný do soustavy. Průběh “Nabíjení EV [kW]“ reprezentuje nabíjení elektrického vozidla z vysoce výkonné nabíjecí stanice. Tato poznámka dále platí ke všem grafům v této práci.

6.1 Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy (30. 10. 2018)

V tomto provozním scénáři akumulace NS reaguje na poklesy a zvýšení napětí v síti (fázové napětí v místě připojení stanice) bez ohledu na to, který jev je vyvolal. Základním požadavkem této stabilizace je udržovat povolené rozmezí fázového napětí 207 - 253 V. Jelikož se jedná o relativně široký rozsah, bylo v rámci projektu přistoupeno k jeho zúžení, a rozdělení do 3 pásem. Tím je docílena vyšší efektivita provozu akumulace, neboť pásmo je voleno s ohledem na aktuální stav její kapacity. Velikost mezí dovoleného napěťového rozsahu lze libovolně nastavit v řídicím systému. Pro aktivaci dodávání výkonu z akumulace musí být odchylka napětí trvalejší. Časová prodleva činnosti akumulace je stanovena na 10 s. Toto opatření zabraňuje zbytečné aktivaci systému v reakci na náhlé a krátkodobé odchylky.

Tab. 6-1: Scénář 1 – nastavená pásma stabilizace

	Dolní mez [V]	Kapacita [%]	Horní mez [V]
Pásmo 1	229	80	238
Pásmo 2	226	60	237
Pásmo 3	223	30	236



Graf 6-1: Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy

Do grafu 6-1 jsem zanesl nastavené meze napětí pouze pro pásmo 1, neboť kapacita akumulátorů během dne neklesla pod 80 %. Lze pozorovat, že v čase nejvýraznějšího poklesu

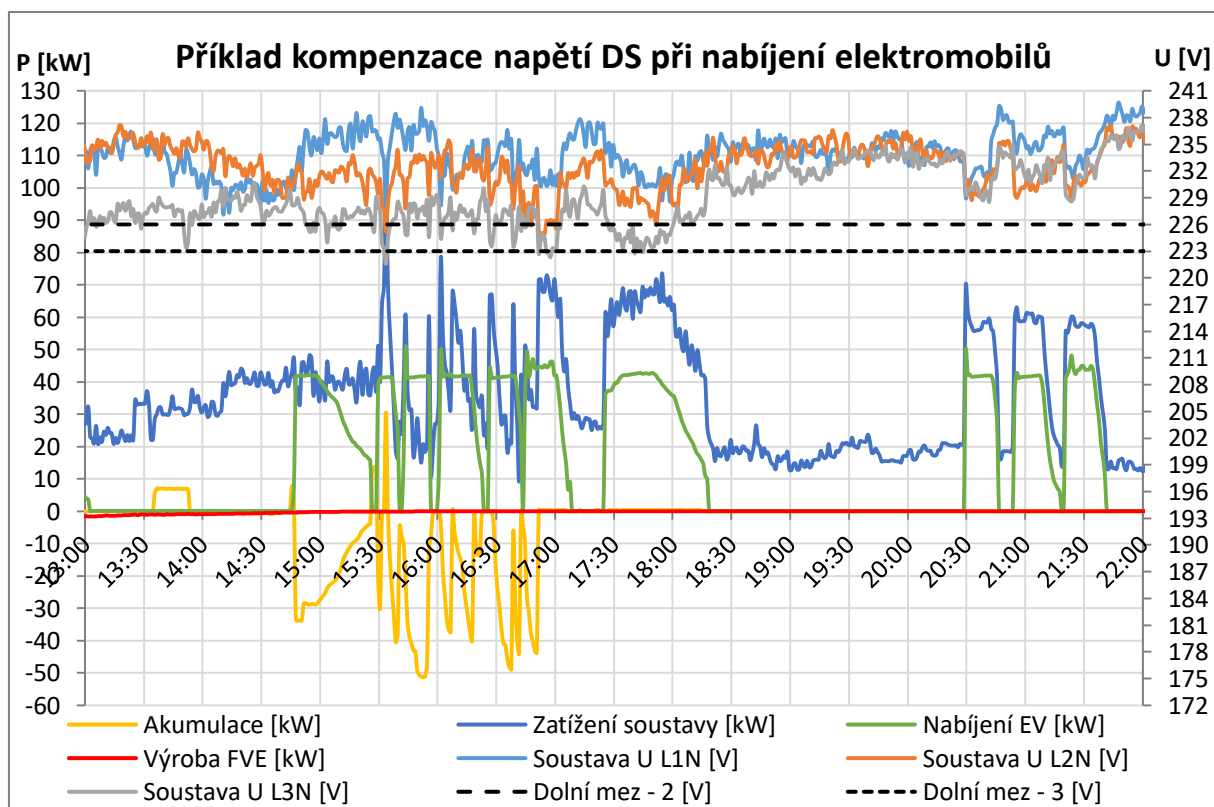
napětí, přibližně v čase 9:15 až 9:45 hodin, akumulace dodává činný výkon do soustavy. Naopak v čase 10:30 až 13:45 opakovaně dochází k překročení horní meze napětí, v důsledku čehož si akumulace odebírá energii ze sítě. V zobrazeném časovém úseku byl 2x využit rychlonabíjecí sloupek, čímž se zvýšilo zatížení sítě a zároveň došlo k poklesu napětí pod dolní mez. Proto odběr výkonu při nabíjení EV kompenzuje akumulace. Výroba FVE v tomto scénáři má jen malý vliv na chování režimu a vyrobená energie se ukládá v akumulátorech.

6.2 Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů (16. 11. 2018)

V tomto případě se systém chová podobně jako v předchozím scénáři (viz 6.1). Stabilizace napětí ovšem nastává jen u poklesů vyvolaných nabíjením elektromobilu. Z tohoto důvodu stačí v řídicím systému nastavit pouze dolní napěťovou mez pro tři různé úrovně nabití akumulace. Horní meze napětí se zde nenastavují a systém tak na zvýšené napětí nereaguje.

Tab. 6-2: Scénář 2 – nastavená pásma stabilizace

	Dolní mez [V]	Kapacita [%]
Pásmo 1	229	80
Pásmo 2	226	60
Pásmo 3	223	30



Graf 6-2: Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů

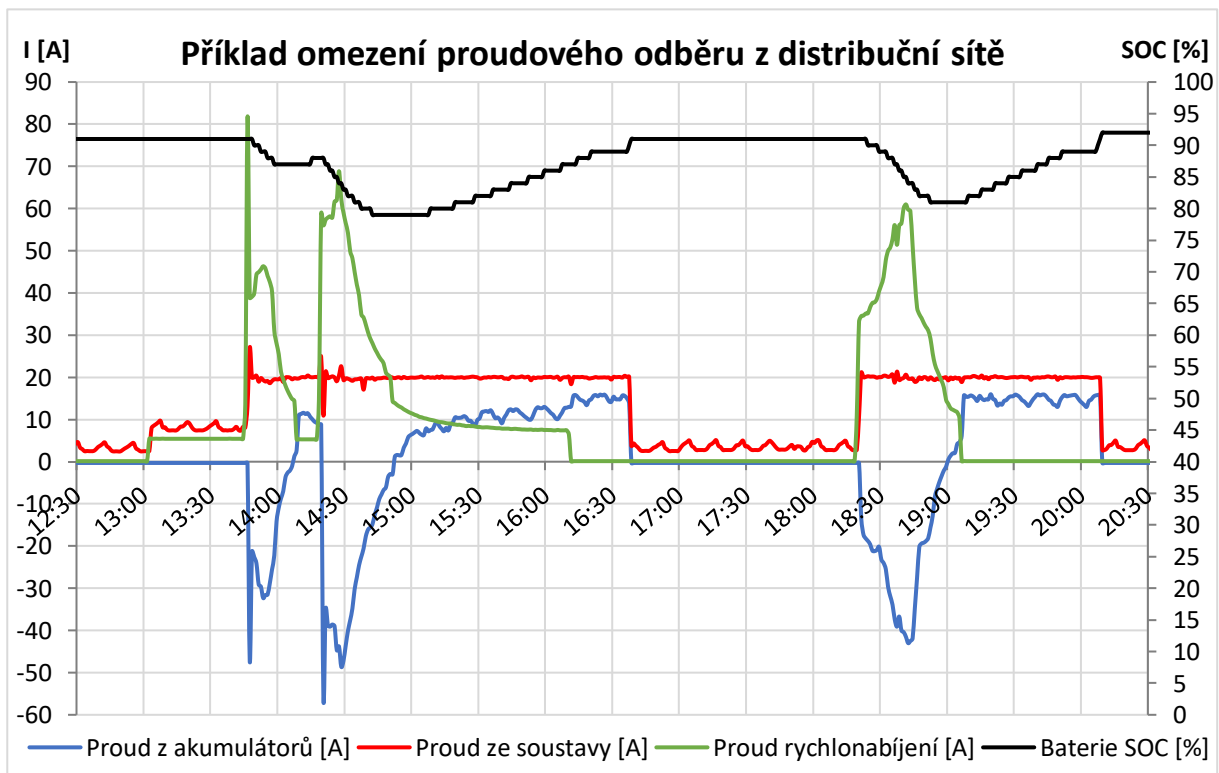
Stav nabití akumulace v tento den nepřesáhl hodnotu 80 %, klesl ale pod 60 %. Z tohoto důvodu jsou v grafu zaneseny dolní meze napětí v pásmech 2 a 3. Z grafu lze vyčíst, že přibližně od 16:50 systém pracuje v pásmu 3 (akumulace již nereaguje na poklesy napětí pod dolní mez 2). Dolní mez pásma 3 byla překročena jen velmi krátce (asi v 17:00) a časová prodleva činnosti akumulace nebyla překročena. Lze pozorovat, že od 16:50 již v důsledku nabíjení nedocházelo k poklesům napětí pod dolní mez 3 a žádná kompenzace nabíjení proto nenastala. Výroba energie z FVE je ve vybraném časovém úseku relativně nízká a nepřesáhla 1,6 kW.

6.3 Scénář 3 - Omezení proudového odběru z distribuční sítě (6. 2. 2019)

Pro chování technologie v tomto scénáři je určující maximální hodnota proudu, který lze ze sítě odebírat (tzv. virtuální jistič). Nastavená hodnota omezeného proudového odběru z DS je platná jak pro nabíjení EV ve stanici, tak i pro nabíjení akumulátorů. Akumulace dodává energii pouze v případech, kdy je již maximální nastavený odběr proudu z DS nedostačující.

Tab. 6-3: Scénář 3 - nastavené limitní hodnoty

Maximální hodnota proudu	3 x 20 A
Požadovaná hodnota nabití	92 %
Limitní hodnota vybití	20 %



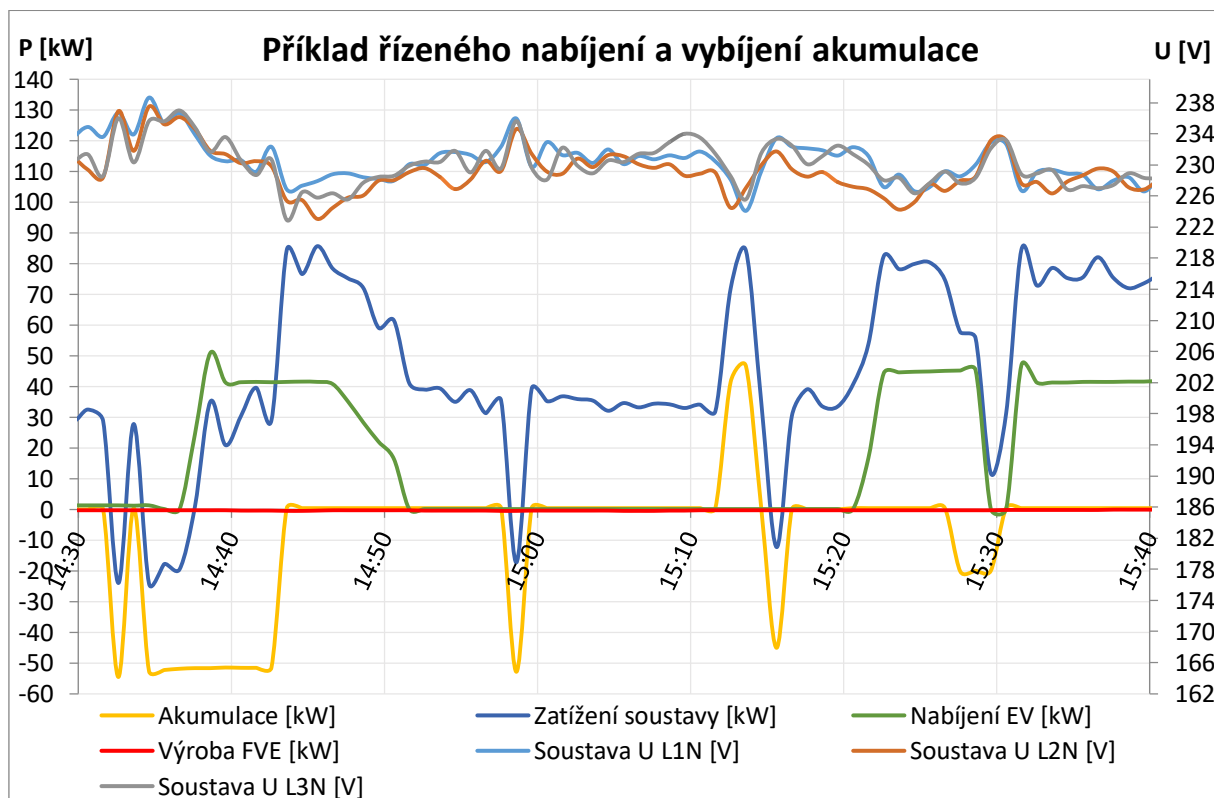
Graf 6-3: Scénář 3 - Omezení proudového odběru z distribuční sítě

Technologie v tomto nastavení nijak nereaguje na odchylky napětí, a proto je v přiloženém grafu ani neuvádím (Graf 6-3). Místo toho jsem zahrnul průběh hodnoty SoC, neboli stav nabití akumulace. Přibližně v čase 14:50 hodin je možné pozorovat začátek nabíjení akumulátorů, který končí zhruba v 16:40 hodin, kdy je dosaženo požadované hodnoty nabití. V průběhu tohoto procesu se akumulátory nabíjí omezeným proudem ze sítě. Velikost odebíraného proudu při nabíjení EV je rovna součtu hodnot proudů z akumulace a ze soustavy.

Hodnoty proudu akumulace a nabíjení EV jsou aritmetickým průměrem hodnot jednotlivých fází. Odběr proudu při nabíjení je totiž měřen na napájecím kabelu a je tudíž střídavý a bez zohlednění vlastních ztrát nabíjecího stojanu.

6.4 Scénář 4 – Řízené nabíjení a vybíjení akumulace (17. 1. 2019)

Při manuálním řízení akumulace je důležité parametrizaci provádět ve vhodný okamžik a rozhodovat se s ohledem na data změřená dohledovým systémem. Nastavováním hodnoty činného nebo jalového výkonu akumulace lze ovlivnit strmost jeho nárůstu (nabíjecí a vybíjecí rampa). Tento scénář je vhodný pro testovací účely a pro ověření různých situací, které by mohly teoreticky nastat.

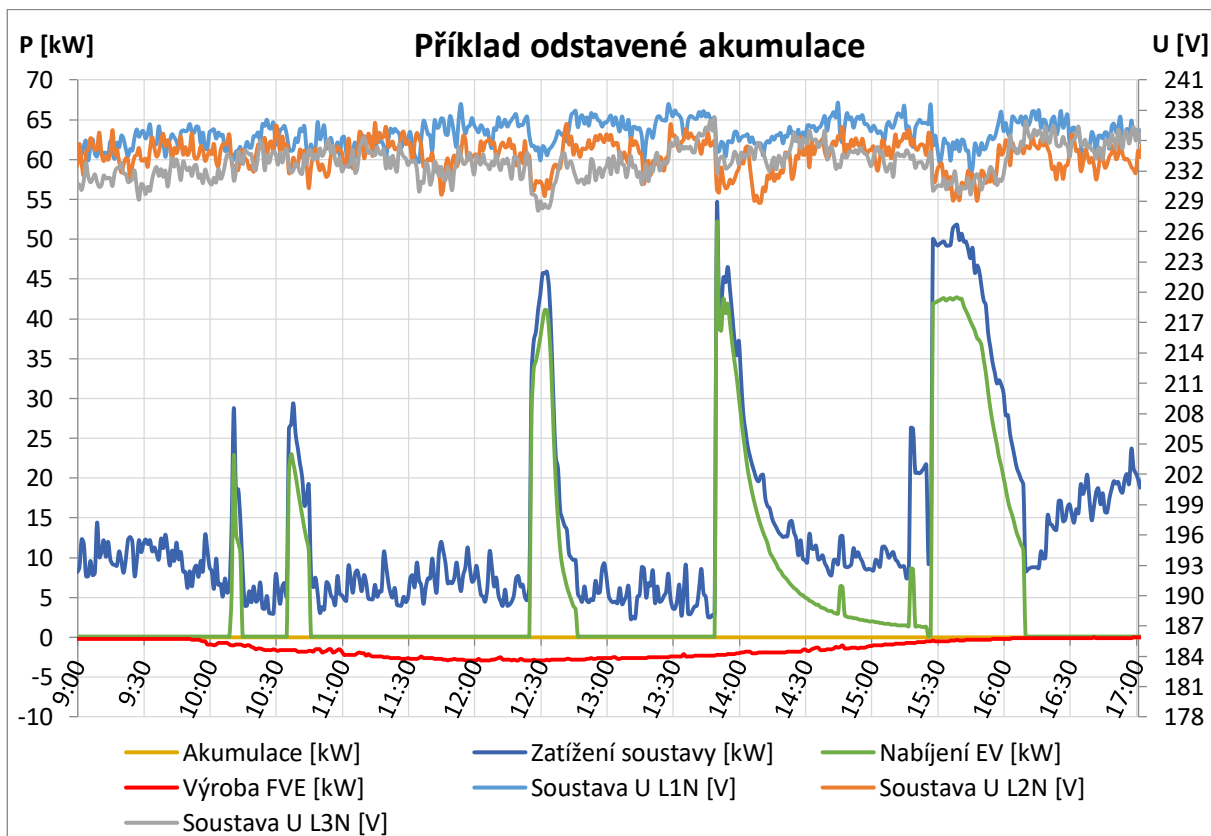


Graf 6-4: Scénář 4 - Řízené nabíjení a vybíjení akumulace

V průběhu uvedeného časového úseku bylo v řídicím systému několikrát měněno nastavení. Řízené nabíjení a vybíjení se děje v čase 15:10 až 15:16 hodin. V řídicím systému bylo nejdříve nastaveno nabíjení akumulace výkonem 50 kW. O dvě minuty později došlo ke změně původního nastavení na vybíjení akumulace taktéž výkonem 50 kW. Lze si povšimnout, že tato změna byla tak rychlá, že nastavené hodnoty výkonu nebylo dosaženo ani v jednom případě.

6.5 Scénář 5 - Akumulace odstavena (15. 2. 2019)

V tomto provozním scénáři se akumulace nijak nepodílí na chodu celého systému a je tedy vypnuta. Provozování nabíjecí stanice s odstavenou akumulací může ovlivnit kvalitu napětí sítě, neboť jeho velikost není nijak stabilizována. Pro tento scénář se nemusí nastavovat žádné parametry. Případná výroba z FVE je dodávána přímo do distribuční soustavy, nebo spotřebována při nabíjení.



Graf 6-5: Scénář 5 - Akumulace odstavena

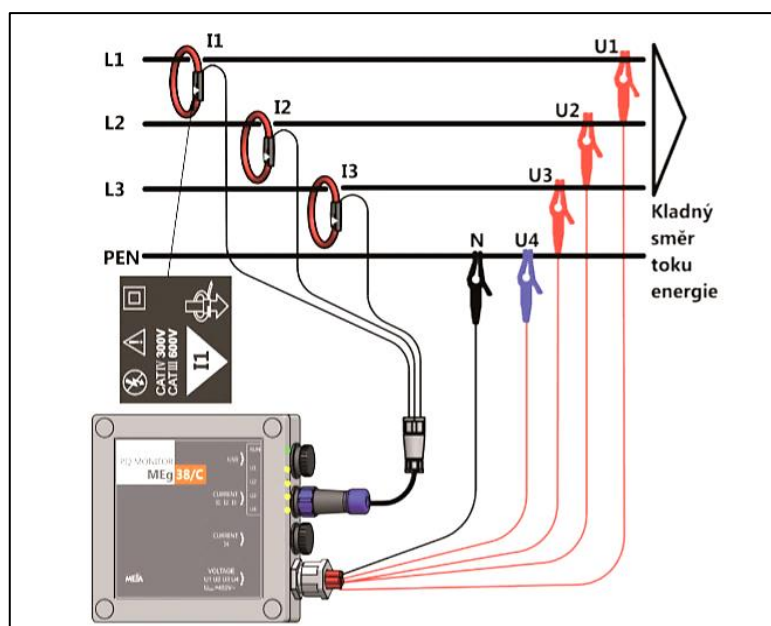
V grafu 6-5 lze názorně pozorovat poklesy napětí vyvolané DC nabíjením. Pokles napětí nastává až od určité hodnoty odebíraného výkonu.

7 Analýza vlivu rychlonabíjecí stanice s akumulací na distribuční soustavu

V této kapitole vyhodnocuji měření provozních scénářů, které jsem popsals v předešlé části. Cílem je vyhodnotit zpětné vlivy nabíjecí stanice v pražských Holešovicích na poměry lokální distribuční sítě a ověřit, zda došlo ke splnění základních požadavků platných předpisů a technických norem. Důraz je kladen na napět'ové charakteristiky, jako jsou odchylky napětí, dočasné zvýšení a snížení napětí a míra vjemu flikru. Jako měřicí aparát bylo použito zařízení MEG38/C.

7.1 Měřicí aparát MEG38/C a zobrazovací software

Pro měření trojfázového napětí a trojfázového proudu bylo přípojn'é místo stanice osazeno měřicím aparátem. Ten je při provozu trvale připojený na všechny měřicí napět'ové vstupy. K měření proudů je vybaven ohebnými snímači (viz Obr. 7-1).



Obr. 7-1: Měření trojfázového napětí a proudu v síti NN monitorem MEG38/C⁷⁵

Monitor dále měří velikost činné a jalové složky výkonu. Záznamy ostatních veličin a ukazatelů závisí na délce měřicího intervalu. Nejistoty měření proudu a napětí jsou uvedeny v katalogu výrobce a při vyhodnocení měřených dat je pro jejich malý význam nezohledňuji.

⁷⁵ PQ monitor MEG38/C: Uživatelský návod. ČR: MEG A - Měřicí Energetické Aparáty, 2016, s. 29. Dostupné také v PDF z: <http://www.e-mega.cz/doc/cz/MEG38C.pdf>

Součástí zařízení je i CD s výpočetním a zobrazovacím softwarem. Zobrazení navolených veličin umožňuje program Data Viewer DVMEg, kde lze data zobrazit v grafické nebo tabulkové formě. Některá naměřená data prezentují právě pomocí obrázků z DVMEg.

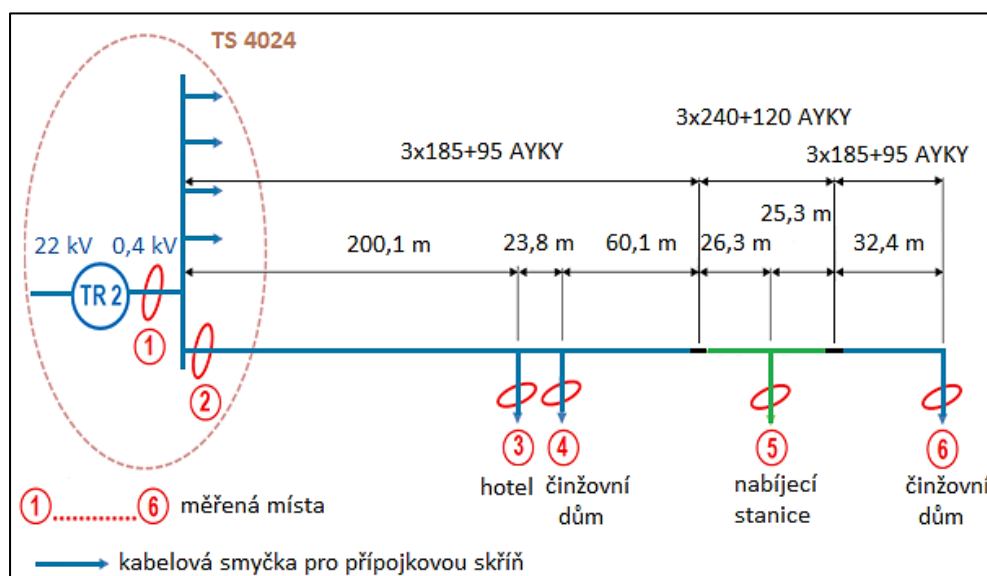
7.2 Naměřená data

Pro analýzu jednotlivých scénářů kombinuji data, změřená monitorem MEG38/C, a data z měření dohledového systému stanice.

Data změřená monitorem MEG38/C

Tab. 7-1: Období měření dat

22. 12. 2018 – 18. 1. 2019
21. 1. 2019 – 8. 3. 2019



Obr. 7-2: Měřený kabelový vývod trafostanice ⁷⁶
(upraveno)

Měření těchto dat probíhalo především v zimním období (viz Tab. 7-1), pro které je typické vyšší zatížení soustavy a nižší výroba FVE. Díky těmto podmínkám je možné lépe prověřit funkcionalitu systému.

Obrázek 7-2 znázorňuje NN vývod z trafostanice s měřenými místy, která byla monitorována aparátem MEG38/C (viz kapitola 7.1). Pro svoji analýzu jsem použil data pouze z místa připojení nabíjecí stanice, tedy měřené místo č. 5. Je důležité si uvědomit, že do charakteristik získaných v tomto místě se promítá i vliv ostatních odběrných míst směrem k trafostanici.

⁷⁶ HEJPETR, Zdeněk. *Provozní zkušenosti s dobíjecími stanicemi pro elektromobily: Referát č. 10*. Tábor: ČK CIREC, 2018, s. 16, str. 4

Data z tohoto zařízení prezentují s různými měřicími intervaly:

- Interval měření 10 min – jedná se o data průběžných jevů s důrazem na hodnocení kvality napětí. V obrázcích zobrazovacího softwaru DVMEg je za názvem veličiny uvedeno (*Qua*). Tento měřicí interval odpovídá měřicímu úseku většiny veličin uvedených v normě ČSN EN 50160 (viz kapitola 4.6).
- Interval měření 10 s – jedná se o interval záznamu hodnot. Data zobrazena s tímto intervalem používám pro kratší časové úseky s důrazem na detail. Toto měření je odlišeno poznámkou (*Rec*) za názvem sledovaného parametru.

Data změřená dohledovým systémem stanice

S těmito daty jsem již pracoval v kapitole 5. Jejich měření zajišťuje nabíjecí stanice a interval záznamu je 1 min. Tato data používám v případech, kdy jsou obrázky ze zobrazovacího softwaru nepřehledné nebo nedostačující, případně pro dané období chybějí data z měřicího monitoru.⁷⁷

Dohledový systém zaznamenává data po celý rok. Výjimkou mohou být ojedinělé případy, kdy dojde k výpadku komunikace mezi zařízením a dohledovým systémem.

7.3 Vyhodnocení provozních scénářů

Parametrizace scénářů probíhala vždy dálkově z PC, třebaže lze nastavení měnit také přímo uvnitř betonového kontejneru nabíjecí stanice. Úseky, ve kterých byl daný scénář provozován, jsou nahodilé a pokaždé jinak dlouhé. Pro průběh měření tedy nebyl stanoven žádný konkrétní systém jejich přepínání. Nejčastěji byla provozována funkce omezeného proudového odběru ze sítě, čemuž odpovídá scénář číslo 3. Z hlediska provozu technologie je toto nastavení nejvýhodnější (více v dalších částech).

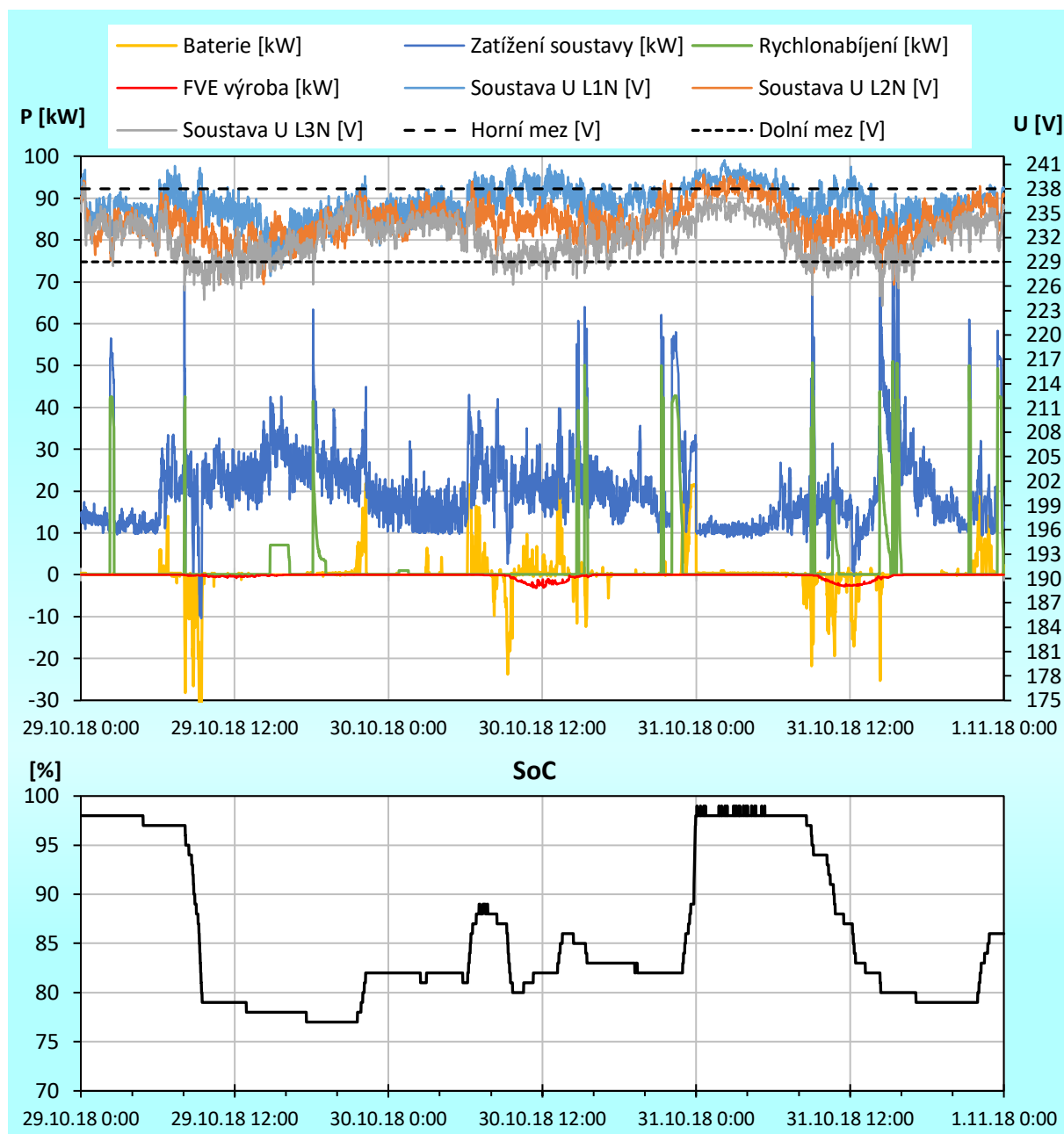
Z důvodu velkého množství zaznamenaných dat a jejich interpretaci formou grafů, by bylo velmi nepřehledné zahrnovat celé měřené období. Proto uvádím jen některé časové výseky, které jsem vybral na základě typických či jinak zajímavých průběhů. Data pro analyzované období jsem vybíral tak, aby chování technologie odpovídalo předdefinovaným scénářům.

Nastavené parametry jednotlivých scénářů zobrazuje Příloha 1 a 2, na ně se průběžně odkazují v dalším textu.

⁷⁷ V softwaru DVMEg totiž nelze přesně odlišit vlastní parametry stanice jako je např. odběr činného výkonu při AC a DC nabíjení EV, výroba FVE, výkon akumulace nebo stav jejího nabití SoC.

7.3.1 Scénář 1 - Kompenzace napětí distribuční soustavy

Sledované období: 29. 10. 2018 00:00 – 31. 10. 2018 23:59 (interval měření - 1 min)



Obr. 7-3: Scénář 1 - Data pouze z dohledového systému stanice

Vyhodnocení

Komentář 1 – Kompenzování napětí v distribuční soustavě bylo nastaveno v období, kdy ještě nebyl kabelový NN vývod osazen měřícím aparátem. Z tohoto důvodu tak uvádím pouze data vlastního měření stanice. Je potřeba zmínit, že tato interpretace je pro tento scénář názornější. Lze totiž detailně pozorovat průběhy jednotlivých parametrů, zejména akumulace a rychlonabíjení včetně napěťových mezí. To zobrazovací software DVMEg neumožňuje.

Na druhou stranu nelze přehledně zobrazit delší časový úsek a také pro toto měření chybí sledování hodnoty flikru. Pro všechny další scénáře je již měření flikru uvedeno.

Komentář 2 – Pro sledované období byly nastaveny tři pásma napěťových hladin, viz Příloha 1. Při hodnotě SoC v rozmezí 60 až 80 % bylo stabilizováno druhé pásmo, pro které byly nastaveny mezní hodnoty 226 V a 237 V. Stabilizace v druhém pásmu probíhala ve dne 29. 10. 2018 přibližně od 9:30 do 22:00 hodin. V průběhu sledovaného období systém nepracoval ve třetím pásmu.

Komentář 3 – V situacích, kdy napětí sítě překračuje dolní a horní mez zároveň, je dohledovým systémem stanice vyhodnocena vyšší absolutní hodnota překročení. Dle toho je pak akumulace nabíjena nebo vybíjena.

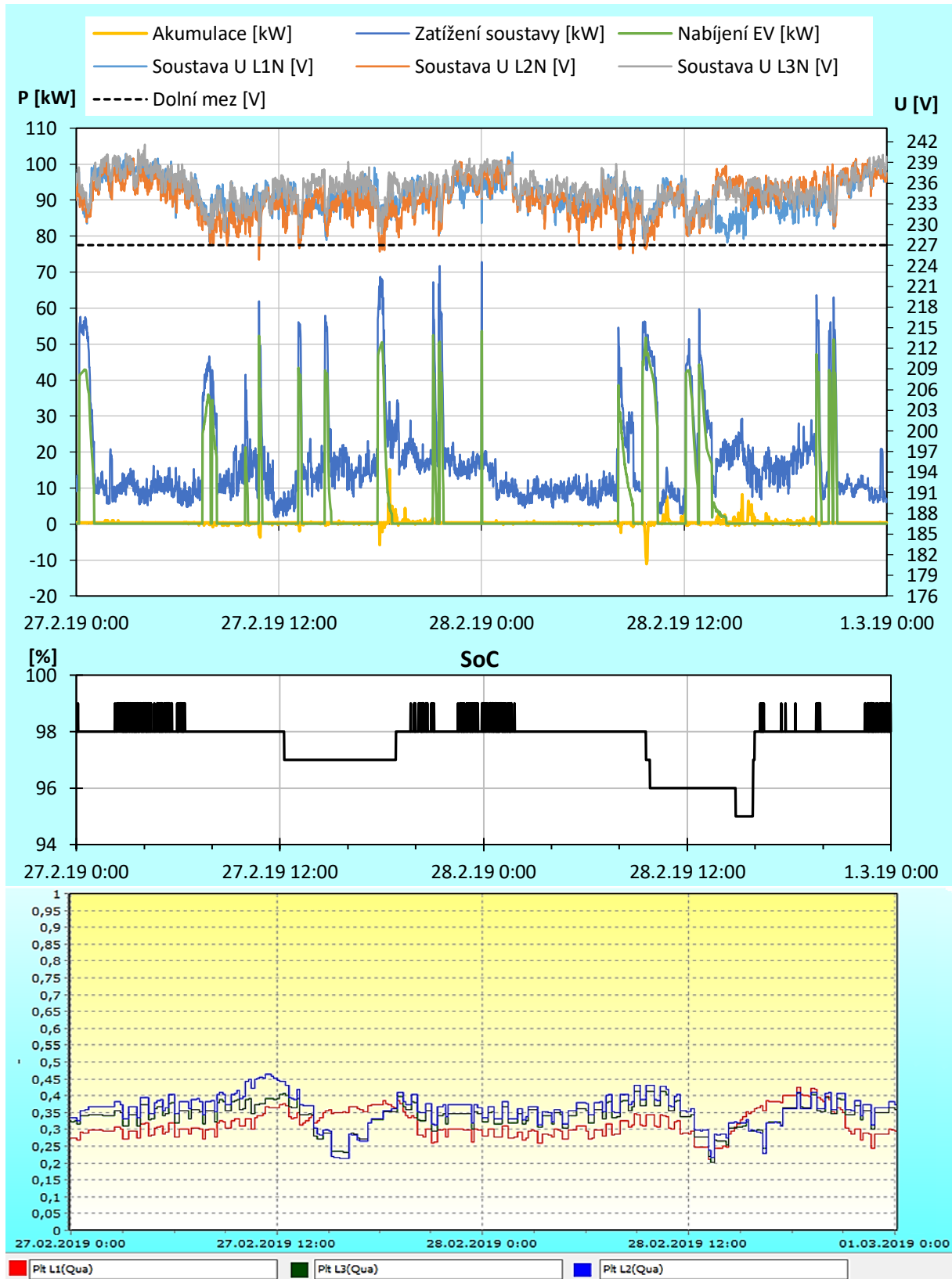
Komentář 4 – Ve dne 31. 10. přibližně v 00:00 hodin se v síti objevilo napětí převyšující horní mez. Standardně by v této situaci měla akumulace stabilizovat napětí odběrem energie ze sítě. To se ale nestalo, neboť akumulace již byla nabita blízkosti maxima své kapacity, jak ukazuje dolní část grafu. Napětí tak nemohlo být udrženo v požadovaných mezích až do 7:30 hodin téhož dne. Příčinou tohoto jevu je nevhodné nastavení řídicího systému, ve kterém byla nastavena požadovaná úroveň nabití na 98 %.

Doporučené nastavení – Nastavené parametry pro tento scénář uvádí příloha 1. Doporučuji nenastavovat požadovanou hodnotu nabití vyšší, než je 80 %. Tím bude ponechána dostatečná rezerva kapacity pro situace, kdy je potřeba elektřinu ze soustavy odebírat a akumulaci nabíjet. Ostatní parametrizaci sledovaného období považuji za vyhovující.

Závěr – V tomto scénáři je stabilizováno napětí sítě ve zvoleném pásmu bez ohledu na nabíjení ve stanici. Na uvedeném příkladu je patrné, že pro jeho správnou funkci je podstatné vhodné nastavení. Zejména je důležité uvažovat určitou rezervu kapacity akumulace pro případy, kdy je třeba elektřinu ze soustavy odebírat. Jedině tak lze snižovat napěťové hladiny v okolí předávacího místa stanice. Sledovanou veličinou kvality elektrické energie je v tomto případě pouze napětí, jehož hodnoty vyhovují požadavkům normy ČSN EN 50160.

7.3.2 Scénář 2 - Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů

Sledované období: 27. 2. 2019 00:00 – 28. 2. 2019 23:59 (interval měření - 1 min a 10 min)



Obr. 7-4: Scénář 2 - Data z dohledového systému stanice a měření dlouhodobého flikru

Vyhodnocení

Komentář 1 – Sledovaný úsek, ve kterém je kompenzováno pouze nabíjení EV, zahrnuje dva celé dny. Během těchto dnů kompenzace nabíjení probíhala pouze v pásmu 1, tedy poklesne-li napětí mez 227 V. Horní část obrázku 7-4 znázorňuje, že všechny poklesy napětí pod tuto mez jsou způsobeny nabíjením EV ve stanici. Je-li tento pokles detekován, akumulace dodává činný výkon do soustavy.

Komentář 2 – Kvůli vyšší názornosti dodávaného výkonu z akumulace obrázek nezahrnuje výrobu z FVE, která byla v uvedených dnech obdobná jako v předchozím scénáři 1. Tedy, že nejvyšší výroba je vždy okolo 12:00 a dosahuje maximálně hodnot 3 kW.

Komentář 3 – Hodnota napětí v síti je obecně vyšší v nočních hodinách, kdy nejsou používány nabíjecí stojany EV. V některých místech dosahuje hodnota napětí až 240 V.

Započetí procesu nabíjení EV ve stanici způsobuje skokový pokles napětí v síti. Při ukončení nabíjení (odpojení zátěže) nastává rychlé zvýšení hodnoty napětí. Velikost změny dosahuje u těchto jevů zhruba 4 % oproti předchozí hodnotě. Nárůst hodnoty napětí je patrný při ukončení nabíjecího procesu například dne 27. 2. asi v čase 18:00 nebo dne 28. 2. přibližně ve 14:00 hodin.

Komentář 4 – Prostřední část obrázku 7-4 zobrazuje stav nabití akumulace SoC. Nastavená požadovaná hodnota SoC byla pro sledované dny 98 %. Dojde-li v důsledku kompenzace nabíjení k vybití akumulace pod tuto hodnotu, opětovné nabití nastává ihned po ukončení nabíjení EV, tedy bez ohledu na momentální velikost napětí v DS. Toto lze pozorovat na příkladech, které jsem uvedl v komentáři 3.

Na průběhu SoC je patrné kolísání mezi hodnotou 98 a 99 %, způsobené nepřesností měření dohledového systému.

Komentář 5 – Časová prodleva činnosti akumulace je zde 1 min, viz Příloha 1. To je nižší nastavená hodnota než pro předchozí scénář 1. Zde se nepředpokládá využití energie z akumulace v takovém rozsahu jako při kompenzaci DS a není tedy nutné udržovat pohotovostní stav tak často jako v předešlém scénáři.

Komentář 6 – Ve sledovaném období již bylo přípojné místo stanice osazeno měřicím aparátem MEg38/C, a je tedy možné okomentované průběhy doplnit sledováním dlouhodobého flikru P_{it} (Obr. 7-4 dolní část). Porovnáme-li horní a dolní část obrázku 7-4, vidíme, že hodnota P_{it} koresponduje se zatížením sítě, čemuž přispívá i proudový odběr ve

stanici. V úsecích častého opakování nabíjecího procesu je hodnota dlouhodobého flikru mírně vyšší.

Doporučené nastavení – Nastavené parametry pro scénář 2 jsou uvedeny v příloze 1.

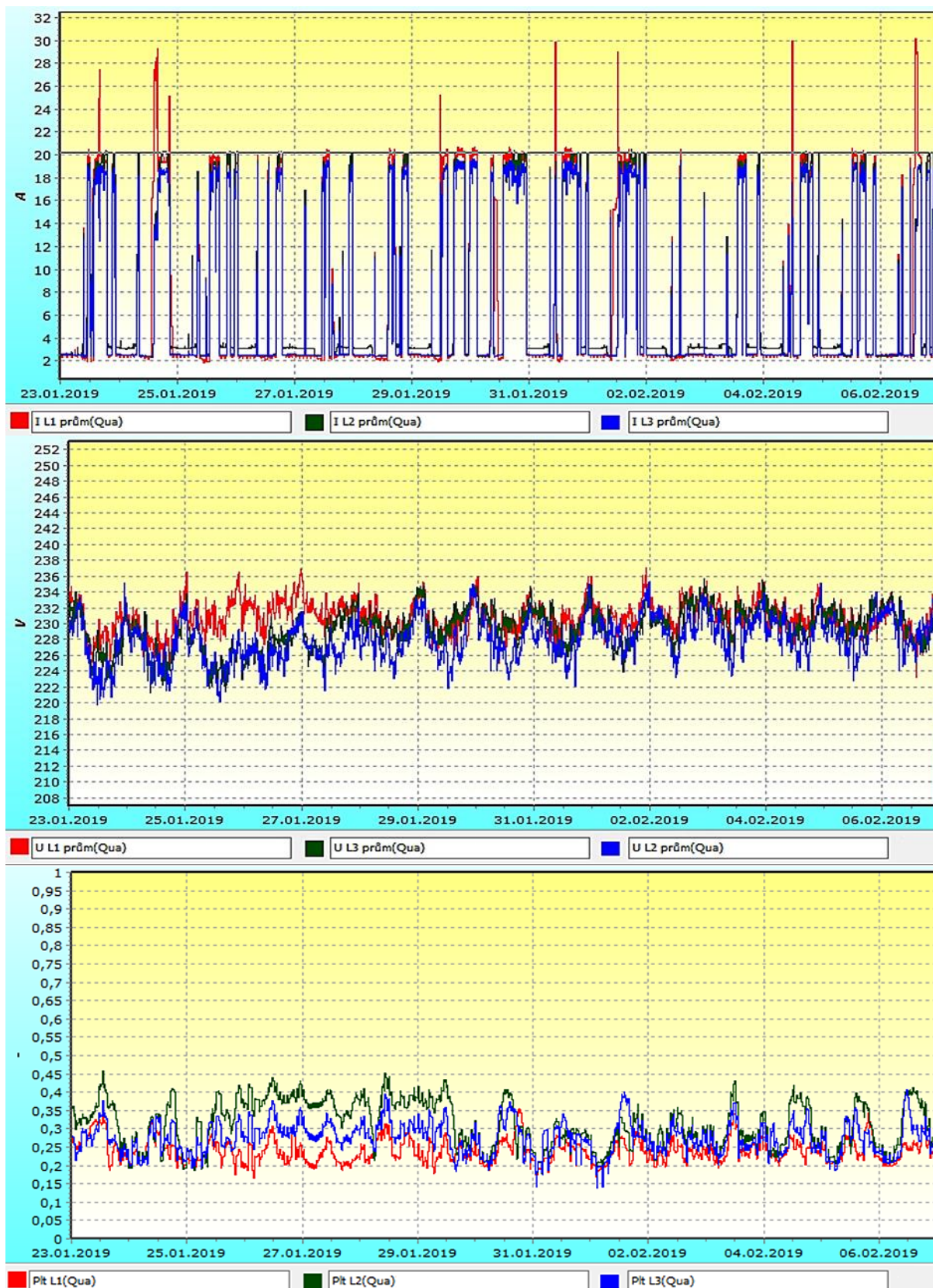
Horní část obrázku 7-4 znázorňuje, že hodnota výkonu, která kompenzuje nabíjení EV ve stanici je relativně nízká (ve srovnání s obrázkem 7-3 nebo grafem 6-2). Tato hodnota se odvíjí od velikosti překročení dolní meze napětí. Pro větší efektivitu využívání akumulace bych doporučil zvýšit dolní mez napětí alespoň na 229 V. Tím by mohla kompenzace probíhat dříve a ve větším rozsahu. V důsledku toho by byl průběh napětí hladší a příspěvek flikru nižší. O stejně velikou hodnotu bych také zvýšil dolní meze pásem 2 a 3.

Je důležité brát v potaz, že doporučené nastavení se vztahuje ke konkrétnímu období. Ve sledovaném úseku je totiž hodnota napětí v síti obecně vyšší (lze například srovnat s průběhem napětím v prostřední části obrázku 7-5). To je zapříčiněno lokálními poměry v DS, nikoliv technologií nabíjecí stanice.

Závěr – V tomto nastavení rychlé nabíjení ve stanici způsobuje poklesy napětí a přispívá k mírně vyšší hodnotě flikru. Jedná se ale jen o nízké hodnoty, a to navíc v přijatelném rozsahu. Předpokládám, že po provedení doporučeného nastavení by byly tyto projevy eliminovány. Všechny sledované parametry kvality elektrické energie v uvedeném úseku vyhovují požadavkům ČSN EN 50160.

7.3.3 Scénář 3 - Omezení proudového odběru z distribuční sítě

Sledované období: 23. 1. 2019 00:00 – 6. 2. 2019 23:59 (interval měření - 10 min)

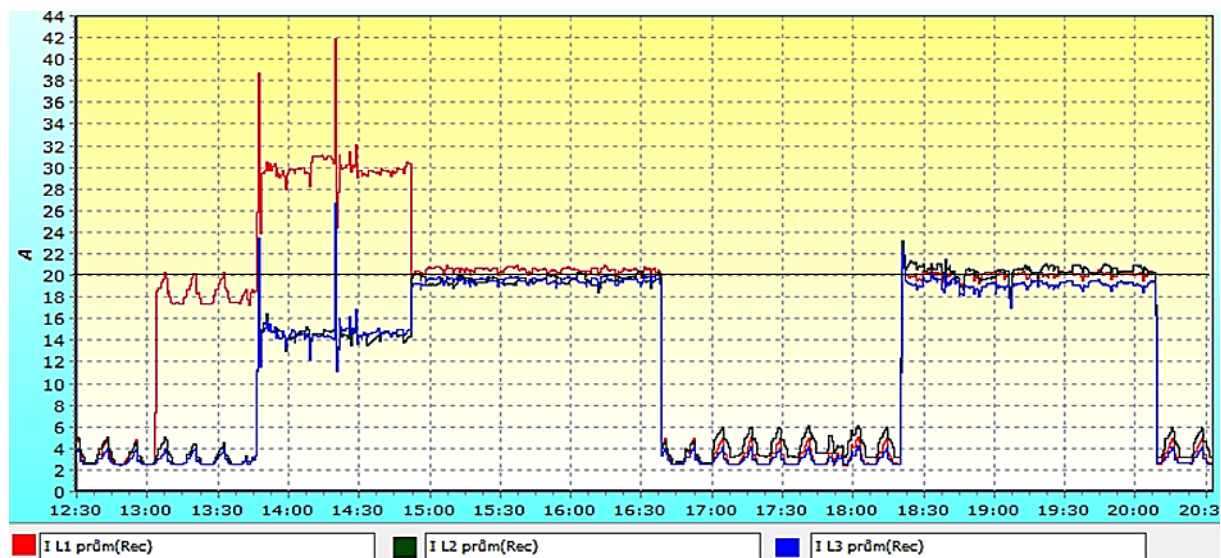


Obr. 7-5: Scénář 3 - Proud, napětí a dlouhodobý flicker v jednotlivých fázích

Vyhodnocení

Komentář 1 - Obr. 7-5 zachycuje dva týdny provozu stanice s omezeným proudovým odběrem. Pro zaznamenaný úsek byla v řídicím systému nastavena hodnota proudového omezení 3 x 20 A. V horním průběhu si lze ale povšimnout, že nastavená hodnota byla pro fázi L1 (červená) několikrát překročena.

Tento jev je podrobněji zachycen na obrázku 7-6. Detail jsem vybral pro poslední den sledovaného období, tedy 6. února 2019.



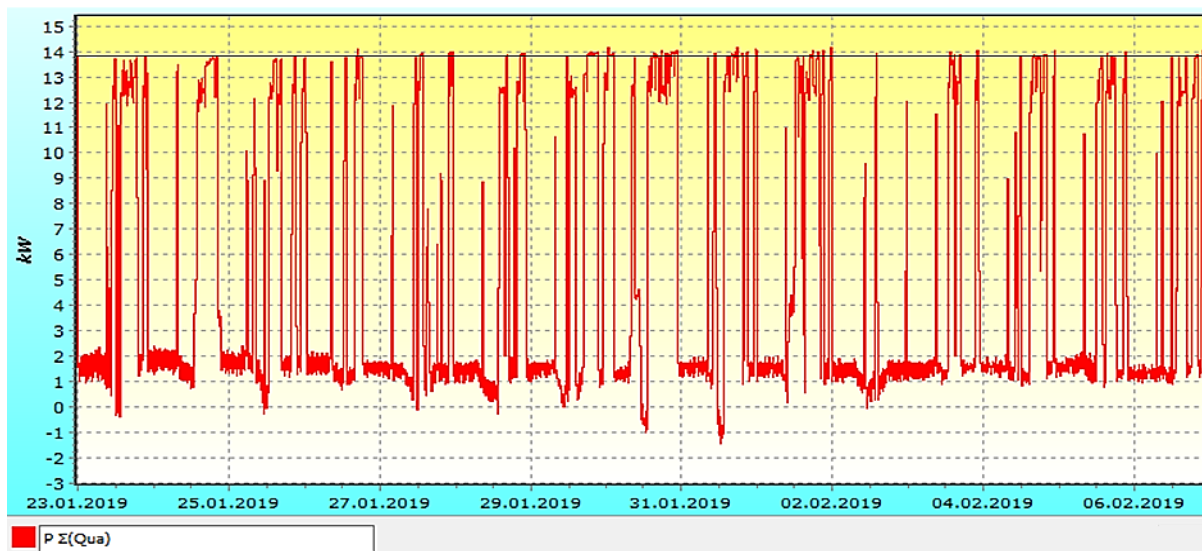
Obr. 7-6: Scénář 3 - Detail odebraného proudu v jednotlivých fázích ze soustavy

Proud fáze L1 zde výrazně převyšuje limitní hodnotu znázorněnou vodorovnou křivkou. Příčinou tohoto jevu je souběžné nabíjení dvou elektromobilů, přičemž první z nich je nabíjen jednofázově střídavě a druhý je nabíjen stejnosměrně. Rychlonabíjecí stojan střídavé nabíjení umožňuje (viz. kapitola 5.1).

První elektromobil, nabíjející se střídavě, se připojil krátce po 13. hodině. V čase 13:45 se připojilo druhé vozidlo, které se nabíjelo stejnosměrně. V důsledku připojení dalšího vozidla nastalo zvýšení proudového odběru ve všech fázích o stejnou hodnotu, přičemž rozdíl zatížení ve fázi L1 zůstal. Ve 14:50 pak došlo k odpojení prvního elektromobilu, čímž bylo ukončeno nesymetrické zatížení a proud ve všech fázích skokově přešel na hodnotu přibližně 20 A.

Na tomto detailu si lze všimnout, že nastavená hodnota 3 x 20 A neznamena proudové omezení každé fáze zvlášť, ale že součet proudů ve všech fázích nepřevyší v žádný okamžik 60 A. Jednofázově připojeným vozidlem byl Volkswagen e-up!.

Komentář 2 - Hodnotám 3 x 230 V x 20 A odpovídá činný výkon 13,8 kW. Následující obrázek 7-7 zobrazuje, že tato hodnota výkonu nebyla za celý sledovaný úsek nikdy výrazně překročena. Menší odchylky nad tuto výkonovou mez jsou způsobeny proudovou nesymetrií a hysterezí. Správněji se tedy jedná spíše o omezení odebíraného výkonu z DS, nikoliv proudu. V řídicím systému lze ale nastavit pouze velikost odebíraného proudu.



Obr. 7-7: Scénář 3 - Třífázový činný výkon

Komentář 3 – Proudový odběr nabíjecí stanice nemá vliv na kvalitu napětí distribuční sítě, jak ukazuje prostřední průběh obrázku 7-5. Zde lze vidět, že přípustné napěťové rozpětí 207 až 253 V bylo bez problémů dodrženo. V časovém úseku 25. 1. až 28. 1. 2019 jsou patrné napěťové rozdíly mezi fázemi L1 a L2, L3. Ty jsou vyvolány nesymetrickými odběry ostatních uživatelů v DS, nikoliv nabíjecí stanicí.

Komentář 4 – V dolním průběhu obrázku 7-5 je vidět, že hodnota dlouhodobého flikru v žádný den nepřekračuje povolený limit, tedy hodnotu jedna. Nabíjecí stanice s nastaveným omezením proudového odběru ani nepřispívá k vyšším hodnotám flikru. Tento fakt dokazuje detail ze dne 6. 2. 2019, obrázek 7-8. V této části DS se určitá hodnota flikru vyskytuje i v momentech, kdy stanice není v provozu.

Detail sledovaného období: 6. 2. 2019 18:00 až 22:00 (interval měření – 10 s a 10 min)



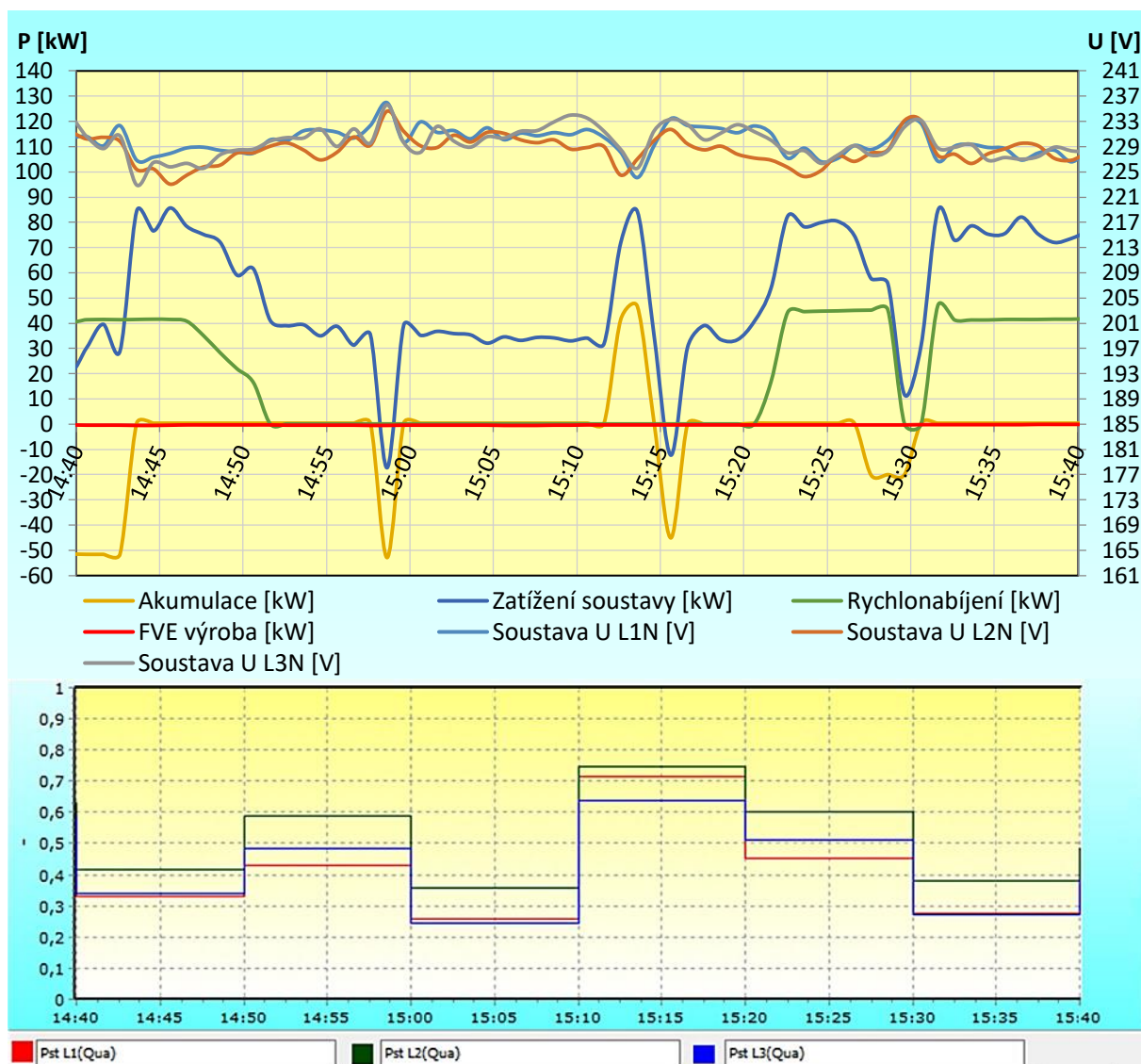
Obr. 7-8: Scénář 3 - Detail proudu a krátkodobého flikru v jednotlivých fázích

Doporučené nastavení – Nastavené parametry pro sledovaný úsek uvádím v příloze 1. Doporučuji namísto maximální hodnoty proudu nastavovat maximální hodnotu odebíraného výkonu. Tuto možnost ale zatím řídicí systém nenabízí (viz příloha 1) a změna nabízených parametrů by si vyžádala softwarový zásah programátora. Úpravu ale považuji za nezbytnou, neboť nynější nastavení je přinejmenším matoucí a neodpovídá reálnému chování technologie.

Závěr – Funkce omezeného proudového odběru je velmi výhodná pro provozování technologie s ohledem na DS. Její hlavní přínosy spočívají v eliminaci negativních vlivů při větším zatížení a dále efektivnímu využívání kapacity akumulace. Kvalitativní požadavky napětí v distribuční síti dle ČSN EN 50160 byly po celý sledovaný úsek dodrženy a lze dokonce tvrdit, že stanice v tomto nastavení nemá vliv na napětí sítě, ani nepřispívá k vyšším hodnotám flikru, jak dokazuje obrázek 7-8.

7.3.4 Scénář 4 - Řízené nabíjení a vybíjení akumulace

Sledované období: 17. 1. 2019 14:40 až 15:40 (interval měření – 1 min a 10 min)



Obr. 7-9: Scénář 4 - Data z dohledového systému stanice a měření krátkodobého flickru

Vyhodnocení

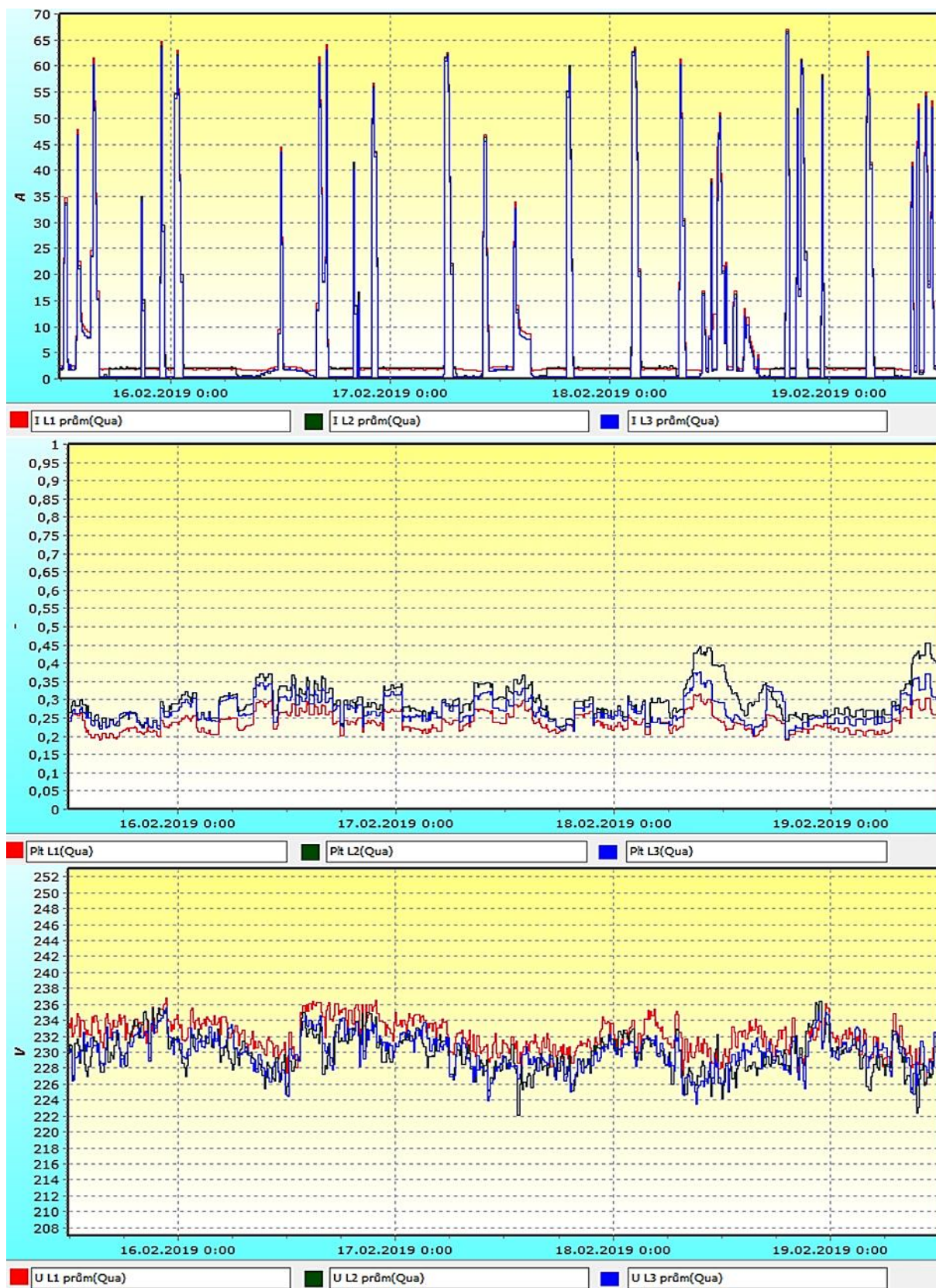
Komentář 1 – Cílem tohoto měření bylo vyvolat maximální příspěvek hodnoty flickru řízeným nabíjením a vybíjením akumulace. Nejdříve bylo v řídicím systému nastaveno nabíjení akumulace maximálním výkonem 50 kW. Ihned po této události (asi po 2 minutách) bylo nastaveno její vybíjení stejnou hodnotou výkonu. Jelikož hodnota krátkodobého flickru je měřena pouze pro desetiminutový interval, bylo nutné veškerou parametrizaci systému provést v průběhu jednoho měřicího úseku. Pro toto řízení byl vybrán úsek od 15:10 do 15:20 hodin (viz Obr. 7-9 horní část). Pro zvolený čas se podařilo vyvolat nejvyšší hodnotu flickru za celé období měření. Pro fázi L2 bylo dosaženo hodnoty krátkodobého flickru 0,75.

Doporučené nastavení – Nastavované parametry uvádí příloha 2. Cílem tohoto měření bylo vyvolat maximální příspěvek hodnoty flikru. Je tedy zřejmé, že tato konkrétní parametrizace není vhodná pro reálný provoz. Používána bude maximálně pro testovací účely a nestandardní situace. Neuvádím tedy žádné doporučení.

Závěr – Řízením akumulace s důrazem na vyvolání maximálního příspěvku hodnoty flikru nedošlo k překročení povoleného rozsahu této veličiny dle normy ČSN EN 50160.

7.3.5 Scénář 5 - Akumulace odstavena

Sledované období: 15. 2. 2019 12:00 – 19. 2. 2019 12:00 (interval měření - 10 min)



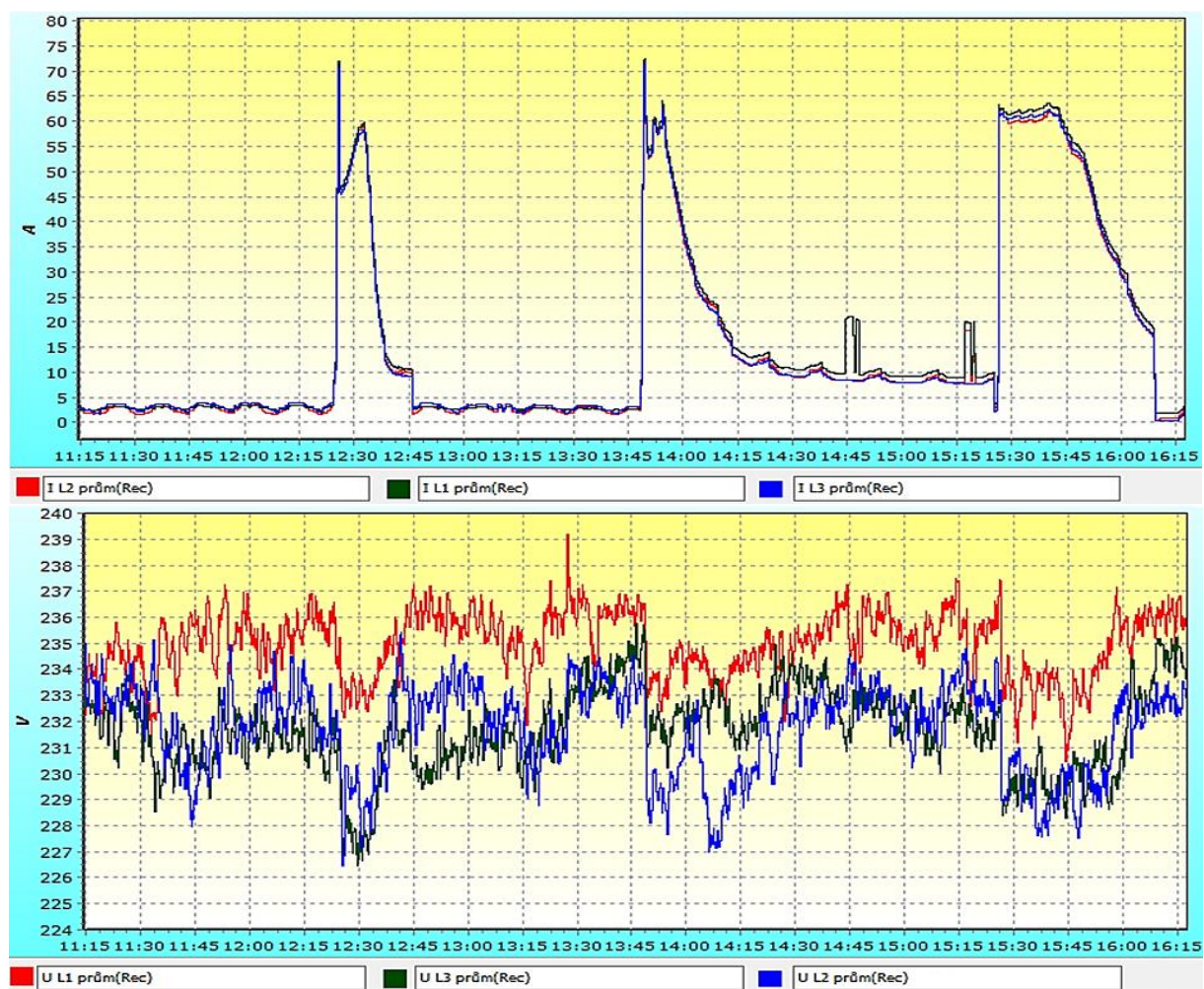
Obr. 7-10: Scénář 5 - Proud, dlouhodobý flicker a napětí v jednotlivých fázích

Vyhodnocení

Komentář 1 – Ve srovnání se scénářem 3, lze pozorovat vyšší proudový odběr stanice při rychlém nabíjení (Obr. 7-10 horní část). To je způsobeno odstavením akumulace, která se na provozu systému nijak nepodílí a nabíjení a provoz stanice v daný moment plně pokrývá pouze odběr z DS. Případná výroba z FVE je dodávána do sítě.

Komentář 2 – Při porovnání prvních dvou částí obrázku 7-10 si lze povšimnout, že hodnota dlouhodobého flikru P_{It} koresponduje s proudovým zatížením sítě. Časté opakování nabíjecího procesu přispívá k jeho vyšší hodnotě, obdobně jako je tomu ve scénáři 2. Zde je však v některých místech příspěvek flikru dokonce vyšší, neboť nabíjení ve stanici není nikterak kompenzováno.

Komentář 3 – Vysoký proudový odběr v tomto případě vyvolává dočasné poklesy napětí v síti, viz obrázek 7-11. Tato dočasná změna se pohybuje v rozmezí 4 až 4,5 V a z hlediska standardů a požadavků kvality se nejedná o riziko ohrožení kvality napětí ostatním uživatelům DS. Obrázek 7-11 zachycuje detail tohoto jevu ve dne 15. 2. 2019.



Obr. 7-11: Scénář 5 - Detail proudu a napětí v jednotlivých fázích

Komentář 4 – Průběh napětí v obrázku 7-10 zachycuje dne 16. 2. 2019 přibližně v 12:00 hodin náhlou změnu napětí, podobný jev se vyskytuje i dne 19. 2. 2019 v čase asi 00:00 hodin. Tyto výraznější změny hodnoty napětí nejsou vyvolány provozem nabíjecí stanice, ale jsou způsobeny přepínáním odbočky na trafostanici 110/22 kV napájející danou distribuční trafostanici.

Doporučené nastavení – Při odstavené akumulaci se nenastavují žádné parametry v okně řídicího systému, viz příloha 2. Z tohoto důvodu tedy ani nelze žádné nastavení doporučit.

Závěr – Provozování technologie s odstavenou akumulací slouží především pro potřeby testování a simulaci případných poruch. Toto nastavení se nepředpokládá při běžném provozování technologie. Za sledovaný úsek byly kvalitativní požadavky dle ČSN EN 50160 dodrženy a nedošlo tak k nedovolenému ovlivnění sledovaných parametrů napětí a flikru.

8 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval analýzou zpětných vlivů rychlonabíjecí stanice s akumulací na distribuční soustavu elektrické energie. Za tímto účelem jsem nejdříve provedl rešerši zdrojů v oblasti technologií nabíjení elektromobilů a technologií akumulace elektrické energie v bateriových systémech. Uvedené informace z těchto zdrojů mi posloužily pro celkový vhled do problematiky nabíjecích stanic v kombinaci s bateriovým úložištěm. Kromě toho jsem také provedl analýzu požadavků platných předpisů a technických norem, která mi byla užitečná při vyhodnocování dat a formulaci dílčích závěrů praktické části práce. Označením akumulace mám v dalším textu na mysli bateriové úložiště nabíjecí stanice.

Pro analýzu zpětných vlivů jsem si vybral rychlonabíjecí stanici s akumulací a FVE v pražských Holešovicích provozovanou společností PRE, a.s. Nejdříve jsem určil několik provozních scénářů, jejichž fungování jsem následně vyhodnotil s ohledem na napěťové charakteristiky elektrické energie. Pro některé scénáře jsem také navrhl optimalizaci nastavení volitelných parametrů řídicího systému.

Prvním analyzovaným scénářem v této práci je Kompenzace napětí distribuční soustavy. Odběrem a dodáváním energie z akumulace do soustavy je napětí sítě udržováno ve zvoleném pásmu. Na základě sledovaného časového úseku doporučuji pro tento scénář nastavovat nižší požadovanou hodnotu stavu nabití akumulace. Z naměřených dat je totiž patrné, že při vysokém stavu nabití nelze odebírat energii ze soustavy a snižovat tak hodnotu napětí v místě připojení nabíjecí stanice.

Následně jsem vyhodnotil scénář Kompenzace napětí distribuční soustavy při nabíjení elektromobilů. Poklesne-li napětí distribuční sítě pod určitou mez v důsledku nabíjení elektromobilů ve stanici, začne akumulace dodávat energii do soustavy. Oproti předchozímu scénáři se zde nastavuje pouze hodnota dolní meze napětí. S ohledem na měřené veličiny analyzovaného časového úseku doporučuji nastavit vyšší hodnotu dolní meze napětí tak, aby energie z akumulace byla využívána častěji a efektivněji. Předpokládám, že navržená optimalizace zlepší napěťové charakteristiky elektrické energie.

Dále jsem analyzoval scénář Omezeného proudového odběru z distribuční sítě. Tento scénář se vyznačuje vůbec nejpříznivějšími charakteristikami napětí a výhodným chováním s ohledem na distribuční soustavu. V průběhu analýzy měřených dat jsem vyznamenal, že průběh scénáře není zcela v souladu s jeho názvem a parametrizací, která se provádí v řídicím systému. Zde se nastavuje hodnota maximálního odebíraného proudu ze sítě, jak ale ukazuje

naměřený průběh proudu, tato hodnota byla při provozu několikrát překročena. Zjistil jsem, že proudové omezení neznámá omezit proud každé fáze zvlášť, ale že součet proudů všech fází nepřekročí nastavenou hodnotu. Těmto projevům by lépe odpovídalo nastavovat maximální odebíraný výkon namísto maximálního odebíraného proudu, což také doporučuji. Tento fakt nemá vliv na správnou funkcionalitu scénáře.

Poslední dva analyzované scénáře jsou vhodné pro simulaci nestandardních jevů a poruchových stavů a ani se nepředpokládá jejich využití v běžném provozu.

Prvním z nich je Řízené nabíjení a vybíjení akumulace, jehož cílem bylo vyvolat maximální příspěvek hodnoty flikru a ověřit, zda dojde k překročení povoleného limitu. V důsledku rychlého nabíjení a vybíjení akumulace maximálním výkonem byla naměřena hodnota krátkodobého flikru P_{st} o velikosti 0,75. Tato hodnota vyhovuje povolenému rozsahu.

Druhým z nich je provoz technologie s odstavenou akumulací. Veškerou energii potřebnou k provozování technologie zajišťuje pouze odběr z distribuční soustavy. Hodnota dlouhodobého flikru je zde ze všech analyzovaných scénářů nejvyšší, stejně jako vyvolané krátkodobé poklesy napětí v důsledku nabíjení elektromobilů ve stanici. I přes tyto skutečnosti nedošlo k překročení povoleného rozsahu charakteristik napětí elektrické energie. Pro tento scénář se kromě odstavení akumulace nenastavují žádné další parametry.

V průběhu všech sledovaných scénářů byl dodržen povolený rozsah sledovaných parametrů kvality napětí elektrické energie dodávané z distribuční sítě dle technické normy ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí.

Na základě analyzovaných scénářů jsem dospěl k závěru, že integrace bateriového úložiště u rychlonabíjecí stanice eliminuje její zpětné vlivy a zlepšuje charakteristiky napětí distribuční sítě. Tato technologie je obzvláště výhodná v místech, kde by připojení rychlonabíjecí stanice nebylo možné pro nedostatek potřebného rezervovaného příkonu a kde by jinak hrozilo negativní ovlivnění dodávky elektřiny ostatním uživatelům distribuční sítě.

Předpokládám, že tato práce bude užitečná zaměstnancům společnosti PRE, a.s. a také každému, kdo se zabývá zpětným vlivem rychlonabíjecích stanic.

V rámci navazující diplomové práce bych se chtěl zabývat porovnáním efektivity provozu rychlonabíjecí stanice v pražských Holešovicích v letních a zimních měsících. V té době již bude více dostupných dat, na jejichž základě bych mohl provést hlubší analýzu a doporučení parametrizace řídicího systému pro konkrétní roční období.

9 Použitá a citovaná literatura

Tištěné prameny

- [1] BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE. *Large Energy Storage Systems Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-8600-3.
- [2] ČERMÁK, Michal. ENERCON. *Technická zpráva-Rychlodobíjecí stanice pro elektromobily: Dokumentace skutečného provedení. Brno, 2017. č. dokumentu EAE_0010-A01*
- [3] ČR. Zákon č. 152/2017 Sb., zákon, kterým se mění zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2017. ISSN 1211-1244.
- [4] ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [5] ČSN EN 61851-1. *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením: Část 1: Všeobecné požadavky*. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [6] ČSN EN 61851-23: *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 23: DC nabíjecí stanice*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [7] HEJPETR, Zdeněk. *Provozní zkušenosti s dobíjecími stanicemi pro elektromobily: Referát č. 10*. Tábor: ČK CIRED, 2018.
- [8] KŘIVANEC, Lukáš. *Zkušenosti s využitím akumulárního zařízení v místě připojení rychlonabíjecí stanice do distribuční sítě*. Tábor: ČK CIRED, 2018.
- [9] KURFIŘT, Martin a Jan HLAVNIČKA. *Zpětný vliv nabíjení elektromobilů na distribuční soustavu*. Tábor: ČK CIRED, 2018.
- [10] PNE 333430-7. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*. 4. vyd. Praha: ČSRES, 2011.
- [11] REDDY, Thomas B. *Linden's Handbook of Batteries*. 4th ed. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, 2011. ISBN 978-0-07-162419-0.
- [12] ŠRÁMEK, Miroslav. PRE měření. *Revize elektrického zařízení: FVE U Výstaviště*. Praha, 2017.

Elektronické a internetové zdroje

- [1] DC Fast Charging Explained. *EV Save Charge* [online]. LA, California [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://evsafecharge.com/dc-fast-charging-explained/>
- [2] DC Wallbox - 24 kW: A compact DC charger for dealerships, offices and shopping areas. *ABB* [online]. 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/ev-charging/products/car-charging/dc-wallbox>
- [3] Definition: Electric Vehicle Charging Station. *Open EI* [online]. 2014 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: https://openei.org/wiki/Definition:Electric_Vehicle_Charging_Station
- [4] Difference between AC and DC charging of electrocar. *Evexpert.eu* [online]. 2016 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/tips-advice-manual-curiosities-information-electromobility-evexpert/basics-of-electromobility-basic-abc/ac-dc-charging-electromobil-current-alternating-direct>
- [5] DIWAN, Parag. Is Battery Swapping a Viable Option for Public Transportation EVs? *MEDIUM* [online]. 2018 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://medium.com/@pdiwan/is-battery-swapping-a-viable-option-for-public-transportation-evs-adb4ced74ff2>
- [6] Electric vehicle charging station – TERRA 53 CJG – ABB. *ArchiExpo - The online architecture and design exhibition: kitchen, bathroom, lighting, furniture, office, etc.* [online]. 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/abb/product-82776-1474009.html>
- [7] *Electrical Energy Storage* [online]. Geneva, Switzerland: IEC, 2012 [cit. 2019-03-18]. ISBN 978-2-88912-889-1. Dostupné také v PDF z: <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>
- [8] ENSTO. *Chago Pro* [online] 14. 3. 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné také v PDF z: http://products.ensto.com/documents/datasheet/Solutions/EVF_RAK108_14032016.pdf
- [9] ERÚ. Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě. In: *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 6*. ERÚ, 2017. Dostupné také v PDF z: <https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds-priloha-6/>
- [10] FROESE, Michelle. Everything you've always wanted to know about EV fast charging. *Energy Storage* [online]. 11. 7. 2018 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.energystoragenetworks.com/everything-youve-always-wanted-to-know-about-ev-fast-charging/>
- [11] HERRON, David. EV DC Fast Charging standards – CHAdeMO, CCS, SAE Combo, Tesla Supercharger, etc. *Green Transportation* [online]. 2017 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>

- [12] CHAdeMO crossed the global 20k mark with Europe leading in installation. *Chademo* [online]. 26. 10. 2018 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/chademo-surpasses-20k-mark-with-europe-leading-in-installation/>
- [13] Charging modes (IEC - 61851-1). *Drive the city* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.conducetuciudad.com/en/all-about-charging/charging-modes>
- [14] IEEE. *Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*. In: IEEE, 2016, s. 1-86 [cit. 2019-01-16]. DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7400449. ISBN 978-0-7381-9999-3. Dostupné také v PDF z: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=7400447>
- [15] JIMÉNEZ, Ignacio Martín a kol. *Quick Charging Technology* [online]. In: Zaragoza: International Energy Agency, 2015, 8. 7. 2015, s. 1-70 [cit. 2019-02-13]. Dostupné také v PDF z: http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA_Final_Report_Task_20.pdf
- [16] KOŠÍK, Michal a Pavel SKAROLEK. Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti. *Elektrické pohony a trakce: Návodů ke cvičením*. FEL ČVUT, 2017. Dostupné také v PDF z: http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%BAloha_5_2017_18_elektromobil.pdf
- [17] Li - akumulátory. *Battex* [online]. Slaný: Battex [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/historie>
- [18] LILLY, Chris. Renault Zoe charging guide. *Zap Map* [online]. 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/renault-zoe-charging-guide/>
- [19] LIU, Chunhua a kol. *Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies* [online]. In: IEEE, 2013, s. 2409-2427 [cit. 2019-03-17]. DOI: 10.1109/JPROC.2013.2271951. ISSN 1558-2256. Dostupné také v PDF z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6571224>
- [20] LUO, Xing a kol. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. In: *Applied Energy* [online]. UK: Elsevier, 2015, s. 511-536. [cit. 2019-01-20]. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
- [21] MAHOOR, M a kol. *Electric Vehicle Battery Swapping Station* [online]. In: Paris: CIGRE, 2017, s. 6. [cit. 2019-02-14]. Dostupné také v PDF z: <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-begins-pilot-battery-swap-program-for-model-s-owners/>
- [22] MACHURA, Philip a Quan LI. A critical review on wireless charging for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2019, **104**, s. 209-234. DOI: 10.1060/j.rser.2019.01.027. ISSN 1364-0321. Dostupné také v PDF z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.027>

- [23] MPO. *Národní akční plán čistá mobilita*. Praha: MPO, říjen 2015. Dostupné také v PDF z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>
- [24] NiCd akumulátory. *Battex* [online]. Slaný: Battex [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>
- [25] *PQ monitor MEg38/C: Uživatelský návod*. ČR: MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, 2016. Dostupné také v PDF z: <http://www.e-mega.cz/doc/cz/MEg38C.pdf>
- [26] PRE. *Přímá platba na dobíjecích stanicích-PREmobilita* [online]. 2015 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/nabijeni/dobijeni-pro-neregistrovane-zakazniky/>
- [27] Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu. *Eco Future* [online]. 2018 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/na-pokraji-evropy-na-pokraji-rozvodu-to-vse-kvuli-elektrokolum>
- [28] PYLONTECH. *Lithium-Ion Phosphate Battery PowerCube-M1 Product Manual* [online]. Shanghai, China 2017. Dostupné také v PDF z: <https://m.solidpower.cz/data/user-content/datasheety/baterie/pylontech/vysokonapetove/m1/m1-manual-en.pdf>
- [29] REICHL, Tomáš. Průtoková baterie. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/prutokova-baterie>
- [30] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva* In: EUR-Lex [právní informační systém]. Evropský parlament, Rada Evropské unie [cit. 2019-03-04]. Dostupné také v PDF z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=CS>
- [31] Tesla drivers on the go, rejoice: Model S owners invited into pilot battery swap program. *DIGITAL TRENDS* [online]. 2014 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-begins-pilot-battery-swap-program-for-model-s-owners/>
- [32] Tesla Model S Charging Inlet In Europe. *Inside EVs* [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://insideevs.com/tesla-model-s-charging-inlet-in-europe/>
- [33] Types of Lithium-ion. *Battery University* [online]. 31. 5. 2018 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/index.php/learn/>
- [34] Understanding charging rates. *Teslapedia* [online]. Teslapedia, 2015 [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <http://teslapedia.org/model-s/tesla-driver/understanding-charging-rates/>
- [35] Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? *Eco Future* [online]. 2018 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/6-zarucenych-rad-ke-snizeni-spotreby-ktere-opravdu-nefunguji>

Nastavení

Řízení akumulace Ne

Kompenzace distribuční soustavy

Kompenzace jalové energie Vypnuto

Požadovaná hodnota nabití 98 %

Fázové napětí pro dobíjení 231 V

Uspávat akumulátor ANO

Uspávat měniče NE

Časová mez pro probuzení 10 s

Časová mez pro uspání 180 s

	Dolní mez	Kapacita	Horní mez
Pásmo 1	229 V	80 %	238 V
Pásmo 2	226 V	60 %	237 V
Pásmo 3	223 V	30 %	236 V

Aktuální pásmo kompenzace Pásmo

Aktuální kapacita akumulátoru: 80 %

Kompenzace nabíjení

Požadovaná hodnota nabití 98 %

Uspávat akumulátor ANO

Uspávat měniče ANO

Časová mez pro probuzení 10 s

Časová mez pro uspání 60 s

	Dolní mez	Kapacita
Pásmo 1	227 V	80 %
Pásmo 2	224 V	60 %
Pásmo 3	220 V	30 %

Aktuální pásmo kompenzace Pásmo

Aktuální kapacita akumulátoru: 80 %

Omezení proudového odběru ze sítě

Maximální hodnota proudu 20 A

Požadovaná hodnota nabití 90 %

Limitní hodnota vybití 20 %

Poznámka: Jedná se o snímek obrazovky řídicího systému v PC. Fotografii jsem vytvořil v náhodném dni. Z tohoto důvodu jsem v grafickém editoru upravil nastavené parametry tak, aby odpovídaly sledovaným úsekům (modré obdélníky).

Manuální režim

Řízení akumulace: Odstaveno

Manuální režim: Vypnuto

Testovací měření: Vypnuto

Nabíjení / Vybíjení

Limit nabití akumulátoru: 90 %

Limit vybití akumulátoru: 20 %

Čas náběhu rampy IDC na 74A: 60 s

Plné řízení

Režim akumulátoru: Zapnuto

Měnič 1 připojení: Připojit

Měnič 1 činný výkon: 0,0 kW

Měnič 1 jalový výkon: 0,0 kVAr

Měnič 2 připojení: Odpojit

Měnič 2 činný výkon: 50,0 kW

Měnič 2 jalový výkon: 0,0 kVAr

Reset poruch: Reset

PREdistribuce

	U	P	Q
L1	235,30 V	1,0 kW	-0,4 kVAR
L2	231,12 V	0,7 kW	-0,4 kVAR
L3	231,82 V	5,2 kW	-0,4 kVAR
F	49,99 Hz		
Účinnost	1,00		

	U	P	Q
L1	235,16 V	-0,6 kW	-0,3 kVAR
L2	231,11 V	-0,8 kW	-0,1 kVAR
L3	232,44 V	-0,8 kW	-0,1 kVAR
F	49,99 Hz		
Účinnost	-0,98		

	P	Q
Top Left	-0,0 kW	-0,0 kVAR
Top Right	-0,0 kW	-0,0 kVAR
Right	0,1 kW	0,0 kVAR

	IDC	SOC	UDC	Umax	Umin
Left Inverter	-0,0 A	88 %	770,40 V	816,50 V	720,50 V
Right Inverter	-0,0 A				
Battery	0,0 A				

I_{max charge} 74,0 A I_{max discharge} -74,0 A