



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**

**Modelování vlivu dobíjení elektromobilů na poměry v distribuční síti nn**

**Modeling the influence effect of recharging electric vehicles on the ratios  
connected in the distribution grid**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Jan Kůla

**Bc. Filip Tomáš**

---

**Praha 2018**



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tomáš** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **420206**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Modelování vlivu dobíjení elektromobilů na poměry v distribuční síti**

Název diplomové práce anglicky:

**Modeling the influence effect of recharging electric vehicles on the ratios connected in the distribution grid**

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část

- Elektromobilita v ČR a ve světě
- Technologie, způsoby, režimy, kategorizace, výkony dobíjení elektromobilů
- Kvalita elektrické energie v distribučních sítích

Praktická část

- Výpočet ustáleného chodu sítě a vyhodnocení zatížení prvků a parametrů kvality el. energie pro vybranou síť
- Návrh řešení a optimalizace dobíjení elektromobilů

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 61851  
ČSN EN 62196  
ČSN EN 50160  
Pravidla pro provozování distribuční soustavy.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jan Kůla, katedra elektroenergetiky FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **16.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Jan Kůla  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



# 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: .....

.....  
Bc. Filip Tomáš

## Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Kůlovi za objektivní rady a vedení. Dále bych rád poděkoval společnosti ČEZd za poskytnutá data pro praktickou část této práce. V neposlední řadě děkuji svým rodičům a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

## Abstrakt

Cílem této diplomové práce, vypracované na ČVUT v Praze, je modelace vlivu dobíjení elektromobilů na poměry v distribuční síti nízkého napětí.

V první části této práce se zabývá přiblížením problematiky elektromobility a jejího budoucího vývoje. Uvádí možné scénáře rozvoje a výzvy kterým celé odvětví bude čelit.

Dále přibližuje proces dobíjení elektromobilů ve veřejných či soukromých dobíjecích bodech. V praktické části měříme vliv zvýšeného výkonu odebíraného elektromobily na úrovni vybraných sítí nízkého napětí, včetně rozboru rizikových stavů a možných řešení.

## Abstract

Goal of this thesis, elaborated at CTU in Prague, is modeling the effect of recharging electric vehicles connected in the distribution grid.

The first part of the thesis is dealing with main factors of electromobility and its future development. Various scenarios of possible future development are presented along with challenges linked to them.

The next part introduces form of recharging electric vehicles in public or private charging points.

In the practical part we measure effect of increased demand caused by electric vehicles on specific low voltage grids, including analysis of risk factors and possible solutions.

## Klíčová slova

Elektrické vozidlo, dobíjecí bod, dobíjecí stanice, výkon, distribuční síť, chytré dobíjení

## Key words

Electric vehicle, charging point, charging station, power, distribution network, smart-charging

## Seznam použitých symbolů a zkratek

MW	- megawatt
kW	- kilowatt
kV	- kilovolt
kVA	- kilovoltampér
kWh	- kilowatthodina
MWh	- megawatthodina
Hz	- Hertz
EV	- elektromobil
HDO	- Hromadné dálkové ovládání
PHEV	- Plug-in hybridní elektrické vozidlo
BEV	- Čistý elektromobil bez spalovacího motoru
EU	- Evropská unie
NAP CM	- Národní akční plán čisté mobility
ERÚ	- Energetický regulační úřad
OTE	- Operátor trhu s elektřinou
MPO	- Ministerstvo průmyslu a obchodu
DS	- distribuční síť
PDS	- provozovatel distribuční sítě
PPDS	- pravidla provozování distribuční sítě
nn	- nízké napětí
ČSN	- české technické normy
OCPI	- Open Charging Point Interface
OSCP	- Open Smart Charging Protocol
OCPP	- Open Charging Point Protokol
CSO	- Operátor dobíjecího bodu
EVSE	- Dobíjecí stanice
MPO	- Modul komunikačního protokolu
AC	- střídavý proud
DC	- stejnosměrný proud
ČEZd	- ČEZ Distribuce
TDD	- Typový diagram dobíjení
OZE	- Obnovitelné zdroje energie
SnT	- jmenovitý výkon transformátoru



# Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Výhled do budoucna .....	1
1.1	Výzvy do budoucna.....	2
1.2	Zdroje .....	2
1.3	Rozdělení elektromobilů.....	3
1.4	Elektromobilita ve světě.....	3
1.5	Elektromobilita v ČR .....	4
1.6	Národní plán čisté mobility.....	5
1.7	Podpora elektromobility.....	6
2	Nabíjení elektromobilů.....	7
2.1	Elektrické parametry nabíjení .....	7
2.1.1	Frekvence.....	7
2.1.2	Napětí.....	7
2.1.3	Vysokofrekvenční složky .....	8
2.1.4	Ochrana.....	8
2.1.5	Odpojování .....	8
2.2	Požadavky na funkci .....	8
2.3	Režimy nabíjení.....	9
2.3.1	Režim nabíjení I .....	9
2.3.2	Režim nabíjení II.....	9
2.3.3	Režim nabíjení III.....	9
2.3.4	Režim nabíjení IV .....	9
2.4	Konektory .....	10
2.4.1	SAE J1772.....	10
2.4.2	IEC 62196.....	11
2.4.3	CCS.....	11
2.4.4	CHAdEMO .....	12
2.4.5	Schuko .....	12
2.5	Nabíjecí stanice.....	13
2.6	Typy .....	14
2.6.1	Běžné dobíjení.....	14
2.6.2	Rychlé dobíjení.....	14
2.7	Infrastruktura veřejného dobíjení.....	15
3	Smart-charging.....	16
3.1	Nesymetrické dobíjení.....	17
3.2	Vehicle-to-grid.....	18
4	Elektrina v síti .....	19
4.1	Denní diagram zatížení.....	19
4.1.1	Typový diagram dodávek elektřiny .....	19
4.2	Požadavky na kvalitu elektřiny .....	21

4.2.1	Frekvence.....	21
4.2.2	Napětí.....	21
4.2.3	Flikr.....	22
4.2.4	Nesymetrie napětí.....	22
4.3	HDO.....	22
5	Scénáře vývoje elektromobility.....	23
5.1	Nízký scénář.....	23
5.2	Střední scénář.....	23
5.3	Vysoký scénář.....	24
5.4	Vliv na životní prostředí.....	25
6	Praktická část.....	27
6.1	Výpočetní software.....	27
6.2	Zátěž.....	27
6.3	Vliv zátěží elektromobilů na síť nn.....	28
6.4	Podscénáře.....	30
6.5	Sítě.....	31
6.6	Distribuční síť nízkého napětí.....	31
7	Výpočet.....	32
7.1	Soudobost.....	33
7.2	Střední scénář.....	34
7.3	Vysoký scénář.....	36
8	Výsledky výpočtů.....	37
8.1	Síť D.....	39
8.2	Síť L.....	41
8.3	Síť T.....	43
8.4	Nesymetrie napětí.....	45
8.5	Vliv na celkovou spotřebu.....	48
8.6	Doporučení.....	49
8.6.1	Regulace zátěží.....	49
8.7	Finanční rozvaha.....	51
9	Závěr.....	53
	Příloha.....	57

# Seznam tabulek

TABULKA 1 TŘÍDY TDD [22] .....	21
TABULKA 2 STŘEDNÍ SCÉNÁŘ .....	23
TABULKA 3 VYSOKÝ SCÉNÁŘ .....	24
TABULKA 4 TTD .....	28
TABULKA 5 ROZDĚLENÍ EV – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ .....	32
TABULKA 6 ROZDĚLENÍ EV – VYSOKÝ SCÉNÁŘ .....	32
TABULKA 7 SÍŤE NN .....	33
TABULKA 8 VÝKONOVÉ ROZDĚLENÍ 1 FÁZOVÝCH EV – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ BEZ OMEZENÍ.....	34
TABULKA 9 VÝKONOVÉ ROZDĚLENÍ 1 FÁZOVÝCH EV – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ HDO .....	34
TABULKA 10 VÝKONOVÉ ROZDĚLENÍ 3 FÁZOVÝCH EV – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ BEZ OMEZENÍ .....	34
TABULKA 11 VÝKONOVÉ ROZDĚLENÍ 3 FÁZOVÝCH EV – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ HDO .....	35
TABULKA 12 ZÁTĚŽE UVAŽOVANÝCH SÍTÍ – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ BEZ OMEZENÍ.....	35
TABULKA 13 ZÁTĚŽE UVAŽOVANÝCH SÍTÍ – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ HDO .....	36
TABULKA 14 POČTY EV – VYSOKÝ SCÉNÁŘ .....	36
TABULKA 15 ZÁTĚŽE UVAŽOVANÝCH SÍTÍ – VYSOKÝ SCÉNÁŘ BEZ OMEZENÍ.....	36
TABULKA 16 ZÁTĚŽE UVAŽOVANÝCH SÍTÍ – VYSOKÝ SCÉNÁŘ HDO .....	37
TABULKA 17 ROZLOŽENÍ VÝKONU – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ.....	38
TABULKA 18 ROZLOŽENÍ VÝKONU – VYSOKÝ SCÉNÁŘ.....	38
TABULKA 19 ODCHYLKY NAPĚTÍ – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ .....	38
TABULKA 20 ODCHYLKY NAPĚTÍ – VYSOKÝ SCÉNÁŘ .....	38
TABULKA 21 PROUDY KMENOVÝCH LINEK – STŘEDNÍ SCÉNÁŘ .....	39
TABULKA 22 PROUDY KMENOVÝCH LINEK – VYSOKÝ SCÉNÁŘ .....	39
TABULKA 23 NESYMETRIE.....	46
TABULKA 24 NETTO VÝROBA A SPOTŘEBA ČR [28] .....	48
TABULKA 25 SOUDOBOST.....	50
TABULKA 26 NÁKLADY NA INOVACI .....	52

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 PODÍL NA TRHU EV V EVROPSKÉ UNII [4] .....	3
OBRÁZEK 2 CELOSVĚTOVÝ VÝVOJ POČTU EV [5] .....	4
OBRÁZEK 3 POČET ZAREGISTROVANÝCH VOZIDEL [6] .....	4
OBRÁZEK 4 POČET VEŘEJNÝCH NABÍJECÍCH STANIC [6] .....	5
OBRÁZEK 5 REŽIMY DOBÍJENÍ [9] .....	10
OBRÁZEK 6 SAE J1772 [10] .....	10
OBRÁZEK 7 MENNEKES[11].....	11
OBRÁZEK 8 CCS [12].....	11
OBRÁZEK 9 CHADEMO [13].....	12
OBRÁZEK 10 SCHUKO [14] .....	12
OBRÁZEK 11 BĚŽNÉ DOBÍJENÍ [15].....	14
OBRÁZEK 12 RYCHLÉ DOBÍJENÍ [15] .....	14
OBRÁZEK 13 DOBÍJECÍ STANICE ČEZ [17].....	15
OBRÁZEK 14 NESYMETRICKÉ DOBÍJENÍ [19].....	18
OBRÁZEK 15 PRŮBĚH CELOSTÁTNÍCH PŘEPOČTENÝCH TDD [21].....	20
OBRÁZEK 16 ZDROJE EMISÍ SPOJENÉ S EV [27] .....	26
OBRÁZEK 17 TOPOLOGIE SÍTĚ PRO NESYMETRII [10 1-F ZÁTĚŽÍ] .....	47



# 1 Úvod

V dnešní době je elektromobilita rozvíjející se oblastí z několika důvodů. Její hlavní předností je absence emisí vznikajících ve spalovacích motorech a snížení závislosti na fosilních palivech. Výhodou je také spolehlivost dodávek elektřiny, vzhledem k nestabilitě některých regionů vyvážejících fosilní paliva. Elektromobily se vzhledem ke svému dojezdu a přístupu k elektrické síti uplatní nejvíce ve městech, kde také řeší problém s hlukem v hustě osídlených lokalitách. Vybudování spolehlivé infrastruktury k bezproblémovému provozu elektromobilů je jedna z výzev, které bude muset energetika do budoucna zvládnout.

V dnešní době je kromě nabíjení problém i s vyšší pořizovací cenou a omezeným dojezdem. I přes tyto problémy je predikován nárůst počtu elektromobilů, a to především vzhledem k provozovací ceně. Pod pojem elektromobilita spadají všechna vozidla poháněná pomocí elektrické energie. Spadají sem jak hromadné dopravní prostředky, jako vlaky či tramvaje, tak i osobní dopravní prostředky jako osobní automobily.

Dále je možné dělení na vozidla se závislou či nezávislou trakcí, podle závislosti dopravního prostředku na síti. V této práci se budu zabývat především osobními elektromobily s nezávislou trakcí a jejich vlivy na distribuční síť.

## 1.1 Výhled do budoucna

Elektrifikace dopravy je jednou z dalších výzev moderní doby. Úspěšnější a životní prostředí šetřící vozy budou, především s užitím systémů autonomního řízení dalším krokem ve vývoji automobilového průmyslu. Některé plány předpovídají do roku 2040 až 54% podíl EV na nově prodaných vozidlech. [1] Vzhledem k jejich ekologickému provozu jde o prostředek k omezení emisí a efektivnější energetické distribuci. S vývojem elektromobility nastává potřeba vybudování spolehlivé infrastruktury za účelem jejich provozuschopnosti. Dále je třeba korigovat soudobý dobíjecí výkon například pomocí signálu HDO, či nově vznikajícím systémem Smart charging.

Do budoucna se dále počítá s přesunem dobíjecích výkonů na vyšší napěťové hladiny vzhledem ke zvyšující se kapacitě baterií a tlaku na zkracování doby dobíjení. Jedním z cílů je také zvýšení počtu 3 fázově dobíjených EV pro omezení rizika vzniku napěťových nesymetrií, především v sítích nn. Vzhledem k charakteru dobíjení EV je třeba dimenzovat tyto sítě tak, aby byly schopné přenášet vyšší výkony. Tyto kroky vyžadují pevný právní rámec a vhodnou formu komunikace mezi výrobcí elektromobilů, provozovateli distribučních sítí, provozovateli dobíjecích stanic, státem a koncovými uživateli.



## 1.1 Výzvy do budoucna

Pro rychleji rostoucí podíl na celkovém množství užívaných vozů je třeba překonat několik překážek. Jedním z nich je kapacita baterií a jejich dobíjení. Při použití rychlonabíjecích stanic je potom problém s velkými lokálně odebíranými výkony o velikosti až 0,5 MW. Nastávají problémy s udržením kvality elektrické energie v dané části sítě a v celostátním měřítku jde o další nárůst celkově odebírané energie, což může v konečném důsledku vést k nutnosti rychlejší výstavby zdrojů elektrické energie. Dalším z problémů, které přináší aplikace rychlonabíjecích stanic je průchod velkých proudů a tepelné namáhání páteřního vedení. Nejrizikovější jsou sítě nn a v budoucnu bude třeba jejich renovace, a to buďto výměnou stávajícího vedení, nebo připojení paralelních linek. Tím ale dojde ke zvýšení hmotnosti kabeláže, což může mít v případě venkovního vedení nepříznivý dopad na lokální síť.

Jedním z možných řešení je například výměna vybitých baterií za plně dobité. Tento způsob byl již vyzkoušen na několika trzích, například v Izraeli nebo Austrálii společností Better Place. Místo klasické dobíjecí stanice byla na stanici pouze vyměněna vyčerpaná baterie za novou plně nabitou. Tento koncept má ale při praktickém použití řadu nedostatků. Jedním z problémů je například spor o vlastnictví baterií.

Do budoucna je také rozvíjen princip bezkontaktního dobíjení elektromobilů pomocí elektromagnetické indukce. Koncept byl v roce 2011 představen společností BMW a Siemens. Jde o systém, kde je primární cívka připojená na rozvodnou síť a sekundární cívka je součástí elektromobilu. Ve chvíli přiblížení cívek začne docházet k přenosu energie a baterie v elektromobilu bude dobíjena automaticky. Deklarovaná účinnost systému je až 90 %.

## 1.2 Zdroje

Dalším z možných úskalí je ztenčení zásob vzácných kovů používaných při výrobě baterií. Lithium je v současné době dostupné v dostatečné míře. Ložiska lithia se vyskytují na mnoha místech a například v České republice byly nedávno objeveny poměrně velké zásoby lithia, dle různých zdrojů údajně 5 - 6,5 milionu vytěžitelných tun. Problematickým materiálem při výrobě akumulátorů je kobalt. Dvě třetiny jeho zásob ovládá Demokratická republika Kongo. K obecné nestabilitě celého afrického regionu jsou v této republice také problémy s pracovními podmínkami. Tesla odmítla vykupovat kobalt vytěžený v této zemi, což také může stát za aktuálním nedostatkem akumulátorů.

*Kobalt je na světě unikátní právě v tom, že je jeho těžba koncentrována na jedno místo. „Stal se téměř tak důležitý jako lithium, a právě proto je mu v tomto roce věnována taková pozornost, a také proto se jeho cena na světových trzích zdvojnásobila,“ vysvětluje Trent Mell, šéf firmy First Cobalt Group. [2]*



### 1.3 Rozdělení elektromobilů

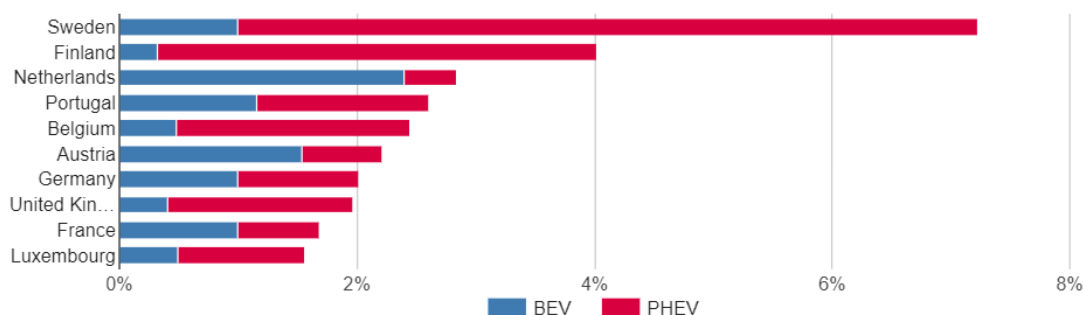
PHEV – Plug-in hybrid electric vehicles = Vozidla s hybridním pohonem, využívající jak klasický spalovací motor, tak elektrický. Baterie elektrického motoru lze dobít z vnějšího zdroje a v případě jejího vyčerpání převezme spalovací motor roli primárního pohonu. Kombinuje výhody klasického spalovacího automobilu s čistým elektromobilem.

BEV – Battery electric vehicles = Jde o čistý elektromobil bez vnitřního zážehového motoru s nabíjecími bateriemi, s různými způsoby nabíjení. [3]

### 1.4 Elektromobilita ve světě

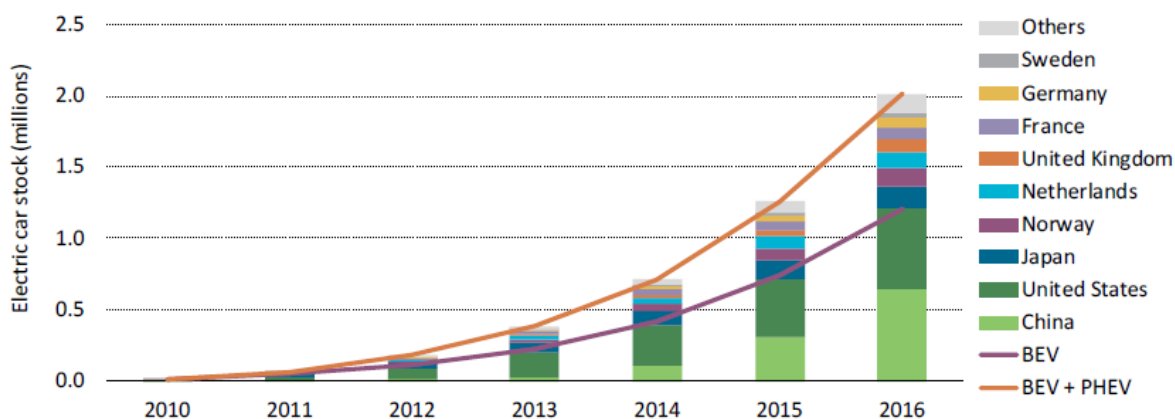
Podíl elektromobilů konstantně roste, především v rozvinutých západních zemích. Největší procentuální podíl v rámci EU trhu s elektromobily mají severské země v čele se Švédskem. Na obrázku č.1 vidíme tabulku podílů EV na trhu jednotlivých zemí EU. V Evropě je zemí s největším podílem na trhu Norsko, které oproti Švédskému 7 % podílu na trhu mělo 39 % podíl na trhu za rok 2017. Počet registrovaných EV stále zvyšuje a v roce 2017 přesáhl v Evropské unii 200 000 kusů.

Probíhá také intenzivní rozvoj dobíjecí infrastruktury a testování způsobů řízení zátěže. V rámci EU existuje přes 120 000 veřejných dobíjecích stanic. [4]



Obrázek 1 Podíl na trhu EV v Evropské unii [4]

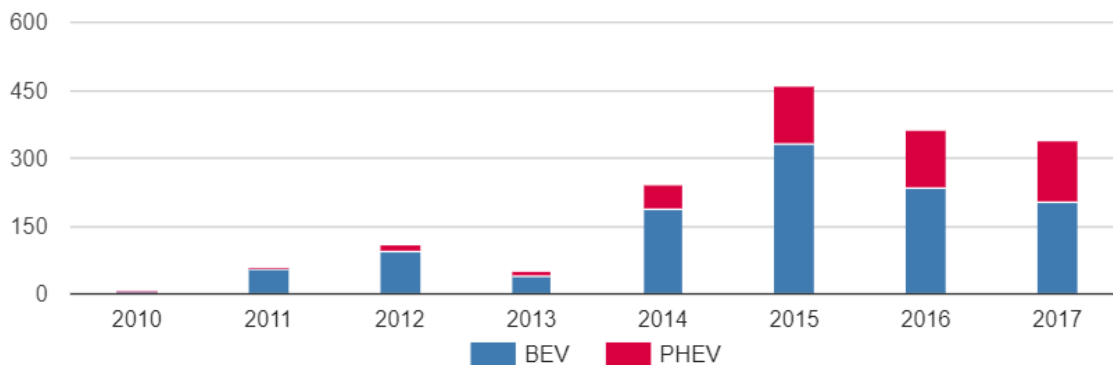
Nejvýznamnějším státem na poli elektromobility je Čína, která měla v roce 2016 o 110 tisíc nově registrovaných EV více než EU. Celkem došlo v roce 2016 celosvětově k registraci 750 000 nových EV. Celosvětově bylo v roce 2016 v provozu okolo 2 milionů EV. Důležitým krokem pro budoucí rozvoj je iniciativa EV30@30, který stanovuje cíle rozvoje elektromobility. [5]



Obrázek 2 Celosvětový vývoj počtu EV [5]

## 1.5 Elektromobilita v ČR

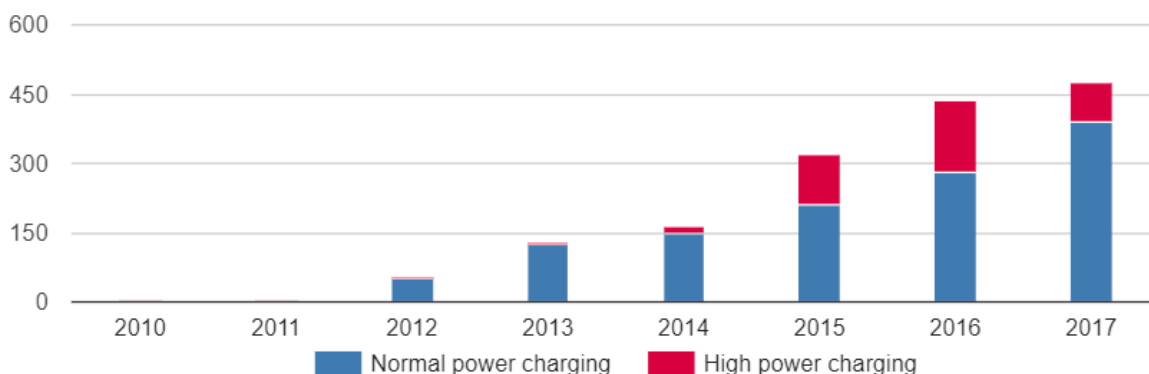
Na obrázku č.2 můžeme vidět počet nově registrovaných elektrických vozidel v České republice. Jejich celkový počet meziročně roste, i když přírůstek se posledních dvou letech zpomalil vlivem příznivého vývoje cen ropy. Větší počet registrovaných automobilů je typu BEV čili čistě elektrických bez spalovacího motoru.



Obrázek 3 Počet zaregistrovaných vozidel [6]

Oproti pomalejšímu přírůstku elektromobilů se počet nabíjecích stanic zvyšuje stabilním tempem a přibývá počet rychlonabíjecích stanic. [6]





Obrázek 4 Počet veřejných nabíjecích stanic [6]

Vizí rozvoje elektromobility v ČR, na které jsou založeny jednotlivé strategické cíle a opatření obsažená dále v NAP CM, je dosažení stavu, kdy by do roku 2030 bylo v ČR v provozu 250 tisíc vozidel s elektrickým pohonem. [7]

## 1.6 Národní plán čisté mobility

V České republice byl 20. listopadu 2015 schválen Národní akční plán čisté mobility, který vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Jedná se o plán pro podporu rozvoje elektromobility s horizontem mezi lety 2020 až 2030. Plán pojednává o technologiích na prahu plného komerčního využití a má být každé tři roky aktualizován. Obecné cíle plánu jsou snížení negativních dopadů dopravy na životní prostředí, jako emise vznikající při spalování a závislosti na kapalných palivech. Především v dnešní době a při nejistém vývoji na některých trzích je energetická samostatnost velmi důležitým faktorem. Dalším z hlavních cílů je zvýšení energetické účinnosti v dopravě a snížení nákladů.

Ve vztahu k článkům evropské směrnice o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva pojednává NAP mimo jiné o rozvoji veřejně přístupných dobíjecích stanic pro motorová vozidla. V souladu se směrnicí 2014/94/EU je základním východiskem pro stanovení žádoucího počtu veřejných dobíjecích stanic je předpokládaný počet vozidel s pohonem na elektřinu, které lze z této infrastruktury dobíjet (tj. týká se BEV a PHEV) na konci roku 2020. NAP CM v tomto směru pracuje s předpokladem 17 000 elektrických vozidel, z toho by mělo být 6 000 BEV a 11 000 PHEV. [7]

Národní akční plán čisté mobility určuje počet veřejných dobíjecích stanic tak, aby dokázal s rezervou pokrýt předpokládaný trh čistě elektrických vozidel (BEV) v horizontu alespoň 2025. Cíl vychází z předpokladů, které budou na základě empirických zkušeností zpřesňovány.



- 80 % dobíjení BEV probíhá v soukromě
- 90 % - 95 % dobíjení PHEV probíhá soukromě
- Průměrný dojezd elektromobilu na jedno nabití je 120 km.
- Elektromobil průměrně denní ujede cca 50 km
- Průměrný akumulátor má kapacitu 20 kWh

Je použita následující terminologie:

- „Dobíjecí bod“ = rozhraní, které umožňuje dobíjení jednoho vozidla (směrnice v tomto případě používá termín „dobíjecí stanice“).
- „Dobíjecí stanice“ = zařízení, které obsahuje jeden nebo více dobíjecích bodů fungujících nezávisle na sobě.
- „DC dobíjecí stanice“ = stanice stejnosměrného dobíjení (směrnice používá termín vysoce výkonné dobíjecí stanice na stejnosměrný proud).
- „AC dobíjecí stanice“ = stanice střídavého dobíjení (směrnice používá termín běžná dobíjecí stanice na střídavý proud pro výkon do 22 kW nebo vysoce výkonné dobíjecí stanice na střídavý proud pro výkon nad 22 kW).

Plán předpokládá pro zjednodušení instalace stanic a omezení nákladů s výstavbou několika dobíjecích bodů v jedné lokalitě, což bude sice znamenat vyšší nároky na příkon elektřiny. Dle plánu by pro rok 2020 mělo v České republice existovat 1300 veřejných dobíjecích bodů se zvýšeným podílem rychlonabíjecích stanic. Stanice by měly pokrýt především velká města a hlavní silniční tahy. Do roku 2025 bude v provozu 35 tis. vozidel BEV a 66 tis. PHEV. [7]

## 1.7 Podpora elektromobility

Elektromobilita je jedno z perspektivních odvětví, které má před sebou významný rozvoj. Ten se dá řídit použitím státních pobídek a veřejných prostředků, kdy stát umožňuje hladký nástup na trh a poskytuje benefity pro uživatele elektromobilů, aby došlo k jejich rozšíření. Podpora existuje do chvíle, kdy se trh EV stane ekonomicky soběstačným. I poté se ale počítá s angažováním státu na úrovni inovací a legislativy pro užívání. Systém veřejné podpory počítá s následujícími způsoby podpory:

- Bezplatné parkování – Jde o atraktivní pobídku především ve městech, kde se předpokládá nejvyšší koncentrace EV. V průměru by se jednalo o nejméně 5 tisíc Kč ročně pro jeden elektromobil
- Monetární pobídky – Cílem této pobídky je srovnat prostřednictvím podpory cenu elektromobilů s cenou vozidel se spalovacím motorem a odstranit tak problém zákazníků s výškou investice. Odhadovaná velikost podpory je 200 000 Kč na vozidlo. S poklesem ceny EV vlivem inovací a velkovýroby se počítá se snižováním velikosti této podpory.



- Rozvoj infrastruktury – Hustota sítě dobíjecích stanic je stěžejní pro rozvoj elektromobility a její kvalita vede ke zvýšení zájmu o elektromobilitu ze strany veřejnosti. Důležitou roli zde hraje rychlodobíjení. Zde je třeba podporu zaměřit především na investory financující výstavbu těchto dobíjecích stanic. Uvažuje se jak o finanční podpoře, tak o možnosti využití pozemků státu a jejich prodej či pronájem na lokalitách vhodných pro výstavbu dobíjecích stanic. Náklady na přívod pro rychlonabíjecí stanice jsou odhadnuty na 750 000 -1 500 000 Kč.
- Daňové a environmentální – Vzhledem ke zvýšení podílu elektromobility a jejímu vlivu na životní prostředí se předpokládá pokles ve výběru spotřební daně v důsledku sníženého zájmu o uhlovodíková paliva. [7]

## 2 Nabíjení elektromobilů

Jak je již výše uvedeno, převážná většina dobíjení elektromobilů bude probíhat v domácnostech. Norma ČS EN 61851-21 udává parametry, které by měly být při nabíjení EV splněny, aby se zajistilo bezproblémové dobíjení. Dále určuje krajní hodnoty, při jejichž překročení vzniká nebezpečí poruch dobíjení. Jedná se o rizika spojená s AC dobíjením.

### 2.1 Elektrické parametry nabíjení

#### 2.1.1 Frekvence

Elektrické vozidlo napájeno přímo z AC sítě musí být schopno akceptovat napájecí napětí o frekvenci harmonického rušení v rozsahu od 50 Hz po 2 kHz pro případ, kdy jsou na síť připojovány nelineární zátěže.

#### 2.1.2 Napětí

Zatížený elektromobil napájený přímo ze sítě AC musí být sám schopný vydržet poklesy a přerušení napájecího napětí, které může být vyvoláno poruchami v síti. U žádné z těchto možností nesmí dojít k poruchovému stavu nabíjecího systému, nebo přerušena jeho funkčnost.

- 1) Minimální požadavek: Snížení napětí při nabíjení na 30 %  $U_{jmen}$  po dobu 10 ms
- 2) Minimální požadavek: Snížení napětí při nabíjení na 50 %  $U_{jmen}$  po dobu 100 ms
- 3) Minimální požadavek: Snížení napětí při nabíjení na >95 %  $U_{jmen}$  po dobu 5 s [8]



### 2.1.3 Vysokofrekvenční složky

Dobíjecí systém musí odolávat vysokofrekvenčním složkám, které se mohou vyskytnout v síti.

- a) Rychlé přechodové skupiny impulzů – Vznikají vlivem spínání malých indukčních zátěží či spínáním vysokofrekvenčních spínačů
- b) Rázové impulzy – Vznikají v silnoproudé síti při poruchách či úderu blesku do sítě. Je požadovaná odolnost proti impulzům 1,2/50  $\mu$ s, 2 kV, při nesymetrických napětích a 1 kV při symetrických.
- c) Elektrostatické výboje
- d) Elektromagnetické rušení: minimální 3 V/m v rozsahu 80 MHz až 1000 MHz

Dále musí být dobíjecí systém elektromobilů odolný proti nesouměrnosti napětí v případech trojfázového dobíjení. Stejně tak musí být v případě DC dobíjení odolný proti možným stejnosměrným složkám

### 2.1.4 Ochrana

Všechny živé části elektromobilu musí být vybaveny ochranou před nepřímým dotykem, a to přidavnou nebo zesílenou izolací, ochranným pospojováním, stíněním, nebo odpojením od zdroje.

### 2.1.5 Odpojování

Po odpojení vozidla nesmí být po uplynutí 1 s napětí mezi přístupnými vodivými částmi a zemí vyšší než 60 V DC a naakumulovaná energie musí být menší než 20 J

## 2.2 Požadavky na funkci

Vozidlo musí být provozováno se zařízením znemožňujícím nastartování motoru vozidla, pokud je připojeno k nabíjení. Pokud se jedná o pohyblivou zásuvku, vozidlo musí být schopné zjistit její přítomnost. Pokud je vidlice spojena se zásuvkou napájecího zařízení (typ A) vozidlo musí zjistit, že vidlice je uložena bezpečně ve voze. [9]



## 2.3 Režimy nabíjení

Je vhodné, aby systém napájení obsahoval funkce podporující dobíjecí proces. Jde například o možnost volby rychlosti dobíjení, kdy je uživatel schopný nastavit ať už přímo nebo pomocí vzdáleného přístupu rychlost dobíjení na základě osobní potřeby. Tímto způsobem může využívat nízký a vysoký tarif poskytovaný provozovatelem distribuční sítě. Dále jde o možnost odpojení EV od sítě, nebo řízení obousměrného toku energie vozidla v případě aplikace funkce Vehicle-to-grid. Ve všech režimech se uvažuje použití proudového chrániče s charakteristikou typu A spolu s nadproudovou ochranou.

### 2.3.1 Režim nabíjení I

Připojené EV na střídavou napájecí síť za použití zásuvek od 16 do 250 A pro jednofázové použití a do 480 A v případě trojfázového dobíjení za použití silových vodičů a vodičů ochranného uzemnění.

### 2.3.2 Režim nabíjení II

Připojené EV na střídavou napájecí síť za použití zásuvek od 32 do 250 A pro jednofázové použití a do 480 A v případě trojfázového dobíjení. Využívá se funkce řídicího vodiče a systém ochrany osob před úrazem elektrickým proudem pomocí proudového chrániče zapojeného mezi EV a vidlici, nebo jako součást kabelové skříně ve vzdálenosti minimálně 0,3 m od napájecího místa.

### 2.3.3 Režim nabíjení III

Vozidlo je vybaveno datovým spojením s řídicím zařízením napájecího systému.

### 2.3.4 Režim nabíjení IV

Externí nabíjení, kdy existuje datové spojení mezi vozidlem a nabíječkou. [8]



Obrázek 5 Režimy dobíjení [9]

## 2.4 Konektory

K nabíjení elektromobilů jsou využívány tyto typy konektorů

### 2.4.1 SAE J1772



Obrázek 6 SAE J1772 [10]

Typ 1. Jde o nejpoužívanější konektor pro asijské výrobce, využívaný například v elektromobilech Kia Soul EV, Nissan LEAF, Ford Focus. Jedná se o jednofázovou zásuvku na střídavý proud až do výše 7,4 kW (230 V, 32 A).



## 2.4.2 IEC 62196



Obrázek 7 Mennekes [11]

Typ 2 – Mennekes. Třífázová zásuvka, která umožňuje využívat vyšších nabíjecích výkonů, a to až do výše 43 kW (400 V, 63 A). Nejpoužívanější provozní hladina je na 22 kW pro 32 A na třífázových 400 V. Vyvinuta v Německu a využívána automobilkami BMW a Volkswagen.

## 2.4.3 CCS



Obrázek 8 CCS [12]

Combined charging systém. Kombinuje nabíjení výkonovou nabíječkou typu 2. s možností stejnosměrného nabíjení pomocí dolních kontaktů. Mezi automobilky využívající tento systém patří například Jaguar, Volkswagen nebo General Motors. Je schopná dobít až 350 kW, ale v reálných použitích se jedná o nižší výkony.



#### 2.4.4 CHAdeMO



Obrázek 9 CHAdeMO [13]

Jedná se o stejnosměrnou nabíječku s výkonem až 62 kW vyvinutou v Japonsku. Mezi firmy využívající tento model patří Mitsubishi, Nissan či Toyota.

#### 2.4.5 Schuko



Obrázek 10 Schuko [14]

Standartní evropská zásuvka s napětím 230 V. Nejvíce rozšířená a schopná přenášet výkon do 3,7 kW.





## 2.5 Nabíjecí stanice

Nabíjecí stanice slouží stejnému účelu jako čerpací stanice pro auta se spalovacími pohony. Podle typu se dělí na střídavé a stejnosměrné. V případě střídavých nabíjecích stanic musí být nabíječka elektromobilu vybavena usměrňovačem, aby mohlo dojít k nabití baterie. Dále se nabíjecí stanice dělí podle výkonu. U nás instalované nabíjecí stanice jsou v případě střídavého proudu nejčastěji o výkonu 22 kW s třífázovou zásuvkou na 32 A a jednofázovou zásuvku na 16 A. Počet zásuvek se může podle typu stanice lišit. V jednom místě je potom možná instalace více nabíjecích stanic pro větší souhrnný výkon. Od klasických domovních nabíječek má tu výhodu, že může optimalizovat dobíjení elektromobilu a tím prodlužovat životnost baterie.

Dalším typem nabíjecí stanice je rychlonabíjecí stanice na stejnosměrný proud. Výkon rychlonabíjecích stanic je až 50 kW a obsahují více konektorů. Při využití DC nabíjení je možno dobít elektromobil při aktuálních velikostech baterie až na 80 % během 20 až 30 minut. Díky tomuto krátkému času jsou velmi oblíbené. Mohou být vybaveny i klasickým střídavým konektorem pro nabíjení. [15]

Nezanedbatelnou výhodou nabíjecích stanic oproti nabíjení z běžných jednofázových nebo třífázových zásuvek je také možnost vzdálené komunikace, diagnostiky a řízení režimů nabíjení. Komunikace probíhá prostřednictvím protokolů.

OCPI (Open Charging Point Interface) je rozhraní, díky kterému může uživatel získat informace o konkrétním dobíjecím bodu v reálném čase. Prostřednictvím mobilních operátorů je tak zákazník informovaný o charakteru daného dobíjecího bodu. Díky tomuto systému je možné propojení lokální sítě dobíjecích stanic a jejich společné ovládání. Využívá protokolu HTTP.

Protokol OSCP (Open Smart Charging Protocol)

se využívá k předpovědi lokální dostupné kapacity. Predikce bere v úvahu odběrové denní diagramy a je upravována na základě vnějších vlivů. Operátor distribuční sítě neboli DSO zasílá informace o budoucí volné kapacitě v síti pro nabíjení EV. Operátor dobíjecího bodu (CSO) tak může upravit profil dobíjení tak aby nepřekročil hranice dostupného výkonu. K tomu využívá modul komunikačního protokolu (MPO) prostřednictvím kterého komunikuje s dobíjecí stanicí (EVSE). V rizikových situacích je možnost i přechod do offline modu, kdy není možné dobíjecí stanici využívat. Informace z lokální trafostanice jsou zasílány a na jejich základě je vytvořena predikce volné odběrové kapacity. V komunikačním procesu není třeba informovat provozovatele distribuční sítě o nárocích odběrového bodu. Při nedostatku volné kapacity k dobíjení lze zaslat žádost provozovateli k poskytnutí výkonu k dobíjení. Díky tomuto systému může být připojeno až 10krát více dobíjecích bodů a snižuje se nutnost vylepšení sítě. Tato funkce není ještě v České republice využívána.



Protokol OCPP (Open Charging Point Protokol) zajišťuje komunikaci mezi dobíjecím bodem a jeho provozovatelem prostřednictvím internetu. Provozovatel jeho prostřednictvím získává informace o provozu a je schopen získávat informace o dobíjení v nastavených intervalech. Zároveň umožňuje transakce dobíjení pro zákazníky. Systém je schopen provádět diagnostiku dobíjecího bodu a poskytuje možnost rezervace dobíjecího bodu zákazníkem. [16]

## 2.6 Typy



Obrázek 11 Běžné dobíjení [15]



Obrázek 12 Rychlé dobíjení [15]

### 2.6.1 Běžné dobíjení

Stanice s AC připojením a dvěma konektory typu Mennekes o parametrech 32 A/400 V nebo 16 A/400 V.

### 2.6.2 Rychlé dobíjení

Stanice rychlého dobíjení, umožňující jak DC, tak AC dobíjení. Stejnoseměrná strana nabíjení stanice je vybavena konektory CHAdeMO a CCS o výkonu až 50 kW, kterým lze dobít osobní elektromobil až na 80 % do 30 minut. AC část dobíjecí stanice je vybavena konektory typu Mennekes o výkonu až 22 kW.



## 2.7 Infrastruktura veřejného dobíjení

K roku 2018 je v České republice v provozu více než 200 dobíjecích míst a tento počet se stále zvyšuje. Většinu z nich provozují největší energetické společnosti (ČEZ, PRE, E.ON). Jedná se buď o rychlodobíjecí stanice, nebo o kombinaci stanic na střídaný a stejnosměrný proud. Hlavními místy pro výstavbu dobíjecích stanic jsou velká obchodní centra a dálnice a hlavní dopravní tahy. V rámci operačního programu Doprava výzvy č. 30 byl stanoven cíl postavit do roku 2023 celkem 500 stanic s možností rychlodobíjení a 400 stanic pomalého dobíjení. Většina dobíjecích stanic se tak bude nacházet ve velkých městech. [7]



Obrázek 13 Dobíjecí stanice ČEZ [17]



### 3 Smart-charging

Elektrická síť v minulosti byla a z velké části stále je provozovaná na základě předpokladu, že poptávka určuje nabídku, a že dodávka energie musí pokrývat spotřebu. Zdroje jsou rozděleny do kategorií, podle doby provozu na trvale pracující, flexibilní a špičkové. S postupem digitalizace systému a se shromažďováním dat začalo být možné předvídat výkyvy v odběrech a předem se na ně připravit. Velkou roli hrají i obnovitelné zdroje energie, jako větrné nebo solární elektrárny. Na základě meteorologických předpovědí je možné odhadnout energii vyrobenou v těchto elektrárnách s předstihem. Na diagramu denního zatížení je vidět, že uprostřed dne, kdy jsou lidé většinou v práci a v noci, kdy naopak většina lidí spí je zatížení nejmenší. Jednou z možností využití tohoto stavu je uložení přebytečné energie v síti do úložišť. K tomu jsou využívány například přečerpávací elektrárny, ale s rozvojem bateriových úložišť a jejich aplikace v elektromobilitě bude možno využít pro zákazníka příznivějších tarifů pro nabíjení a pro provozovatele sítě.

V rámci elektromobility by vybavení nabíječek systémem smart-charging znamenalo, že automobil by po dobu svého parkování, ať doma nebo v práci odebíral energii pouze tehdy, kdy by byla za nižší cenu v době jejího přebytku. Pro udržení stability sítě je možné další rozšíření systému a jeho propojení s lokální rozvodnou sítí. V případě přiblížení se k přípustné hranici pro kvalitu elektrické energie v dané větvi se omezí počet nabíjených elektromobilů a předejde se tím překročení podmínek pro kvalitu energie v síti. Systémy založené na smart-chargingu jsou již aplikované v různých zemích především západní Evropy. [18]

Ze svého charakteru ovlivní nabíjení elektromobilů sítě nízkého napětí, vzhledem k předpokládanému množství domácího dobíjení. Tyto sítě nejsou obecně dimenzované na vysoké zátěže, které EV představují. Rizikové jsou především v případě špičkových odběrů, kde větší připojení elektromobilů na síť může způsobit její přetížení nebo překročení parametrů kvality ovlivňující chod ostatních spotřebičů v domácnostech vlivem snížení síťového napětí. Počet EV, který je daná síť schopná napájet se v konkrétních případech liší. Jedná se jak o celkový výkon, tak o vznik napěťových nesymetrií, které vznikají vlivem jednofázového nebo dvoufázového dobíjení.

Vzniká tak nutnost do budoucna provést opatření, která zabrání přetěžování těchto sítí. Jednou z možností je zvýšení robustnosti sítí a jejich přebudování na vyšší výkony. Toto řešení je ale v mnoha případech finančně náročné, jelikož by se jednalo o velký počet úprav prvků, respektive ekonomicky neefektivní kompletní rekonstrukce distribučních sítí dlouhou dobu před jejich dožitím.

Řešením může být právě systém Smart-charging, díky kterému bude pro provozovatele sítě možné korigovat dodávku energie do sítě a vyhnout se rizikovým stavům vrcholových odběrů rozvrstvením výkonu do delšího časového úseku. Do budoucna by mohl být systémem Smart charging řešen problém asymetrií v síti vlivem 1 fázového dobíjení, kdy by nebyla regulovaná pouze celková zátěž, ale i selektivně její složky připojené na jednotlivé fáze. [19]

Další z možností využití je aplikace systému Vehicle-to-Grid, které umožňuje provozovateli sítě využívat EV jako úložiště elektřiny a v případě nutnosti energii i odebírat.



Jedná se o finančně výhodné řešení, které je několikanásobně levnější než přestavba sítí. Přesto s rostoucí poptávkou nastane v budoucnosti v případě některých sítí potřeba investic, aby se zajistil jejich hladký chod i s implementací systému smart-charging.

Systém smart-charging řeší mnoho problémů spojených s rozvojem elektromobility. Důležitá je správná technologická a legislativní aplikace, komunikace s koncovými uživateli a kontrolní rozhraní pro provozovatele sítí. Je třeba vyřešit problémy skladování dat a systém pobídek, kterými budou uživatelé systému motivováni k jeho využívání. Jde například o nižší cenu odebírané elektřiny a další. Do budoucna se také uvažuje o rozšíření systému pro spolupráci s obnovitelnými zdroje energie a koordinaci odběrů a příspěvků do sítě.

### 3.1 Nesymetrické dobíjení

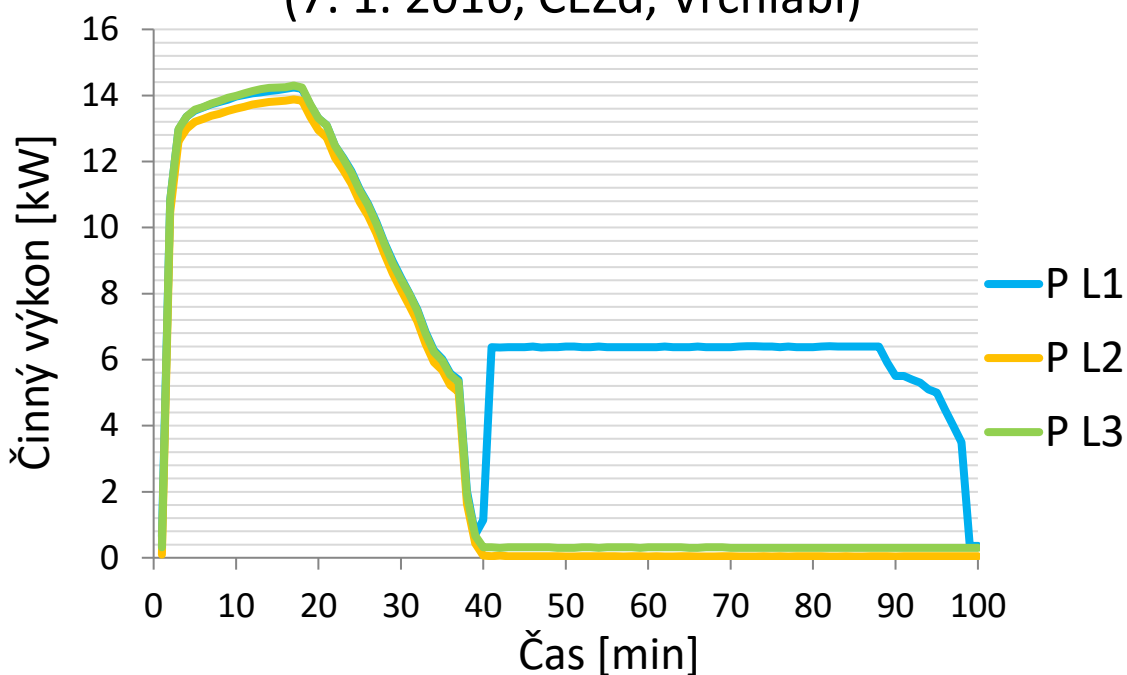
V případě jednofázového dobíjení vzniká riziko vzniku nesymetrií, které ohrožují stabilitu sítě. V případě rychlého DC dobíjení, které zpravidla využívá 3 fázového připojení na síť a tento problém nenastává. V případech domácího nabíjení, které zpravidla využívá 1 fázové dobíjení 16 A Schuko zásuvkou o maximálním výkonu 3,7 kVA toto riziko existuje. Některé automobily využívají dobíjení až 32 A jednofázově o maximálním výkonu 7,4 kVA. Z pohledu dobíjení je zde také nevýhoda limitování výkonu proti 3 fázovému dobíjení. [19]

Podle platné normy ČS EN 50160 nesmí být nesymetrie v místě připojení vyšší než 2 %. Existuje zde reálné riziko, že při větším počtu EV připojených na stejnou fázi může dojít k překročení tohoto limitu.

Na obrázcích můžeme vidět vliv 1 fázového dobíjení v 3 fázových dobíjecích stanicích provozovaných společností ČEZ. Pozorujeme zatížení jednotlivých fází, kdy je v prvních cca 40 minutách na dobíjecí stanici připojena 3 fázová symetrická zátěž o špičkovém výkonu 14 kVA. Po odpojení 3 fázové zátěže dochází k připojení 1 fázové zátěže o velikosti 6,6 kVA, přičemž zbylé dvě fáze nejsou zatíženy. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení zátěže stoupá v síti riziko vzniku napěťové nesymetrie.

Jedním z možných řešení vedoucích k omezení rizik vzniku nesymetrií je legislativní opatření zamezující instalovat do nově vyráběných EV 1 fázové dobíjení o příkonu 3,7 kVA a přesun k symetrickému 3 fázovému dobíjení, které zároveň umožní rychlejší dobítí větších akumulátorů.

## Činný výkon v závislosti na čase při dobíjení elektromobilu (7. 1. 2016, ČEZd, Vrchlabí)



Obrázek 14 Nesymetrické dobíjení [19]

### 3.2 Vehicle-to-grid

Význam tohoto anglického termínu je v překladu vozidlo na síť. Jde o myšlenku využití baterií v elektromobilech připojených na distribuční síť jako akumulaci jednotku pro ukládání přebytečné energie a v případě potřeby její zpětné čerpání. Tímto způsobem by bylo možné dále zlepšit poměry v síti a lépe korigovat výkyvy odebírané energie. Z průzkumů vyplývá, že 95 % osobních automobilů je vždy zaparkováno a pouze 5 % aktivních. Ideální stav je takový, že vlastníci automobilů s přístupem k vehicle-to-grid systému budou schopni nastavit podmínky, za kterých bude provozovateli sítě umožněno odebírat energii uloženou v jejich baterii. Hlavními parametry jsou cena a čas, kdy je možné odebírat.

V jednom vozidle BEV může být uskladněno až 100 kWh, což je vzhledem k odběru typické domácnosti významná úložní kapacita. Se zvyšováním podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie a v důsledku toho zvýšené nutnosti regulace se do budoucna jedná o velmi perspektivní systém využití elektromobilů. Další možností je kombinace s obnovitelnými zdroji energie jako solární panely a využívat baterii elektromobilu pro ukládání takto vyrobené



energie. Testování těchto systémů probíhá v Nizozemsku a ve Spojených státech na lokální úrovni [20]

## 4 Elektřina v síti

### 4.1 Denní diagram zatížení

Jde o graf závislosti výkonu dané sítě na čase. Grafy se často liší v závislosti na roční době, ze zřejmého důvodu, kdy v zimě mnoho domácností elektřinou topí a osvětlení se využívá déle. Co se týče denního diagramu i zde jsou viditelné poklesy způsobené nerovnoměrným odběrem ze sítě. Na tomto grafu můžeme pozorovat minima a maxima.

Různé části denního diagramu jsou pokrývány jinými typy elektráren. Základní část je pokryta:

1. Průtočnými vodními elektrárnami
2. Tepelnými elektrárnami
3. Jadernými elektrárnami

Střední část diagramu se nazývá pološpičková.

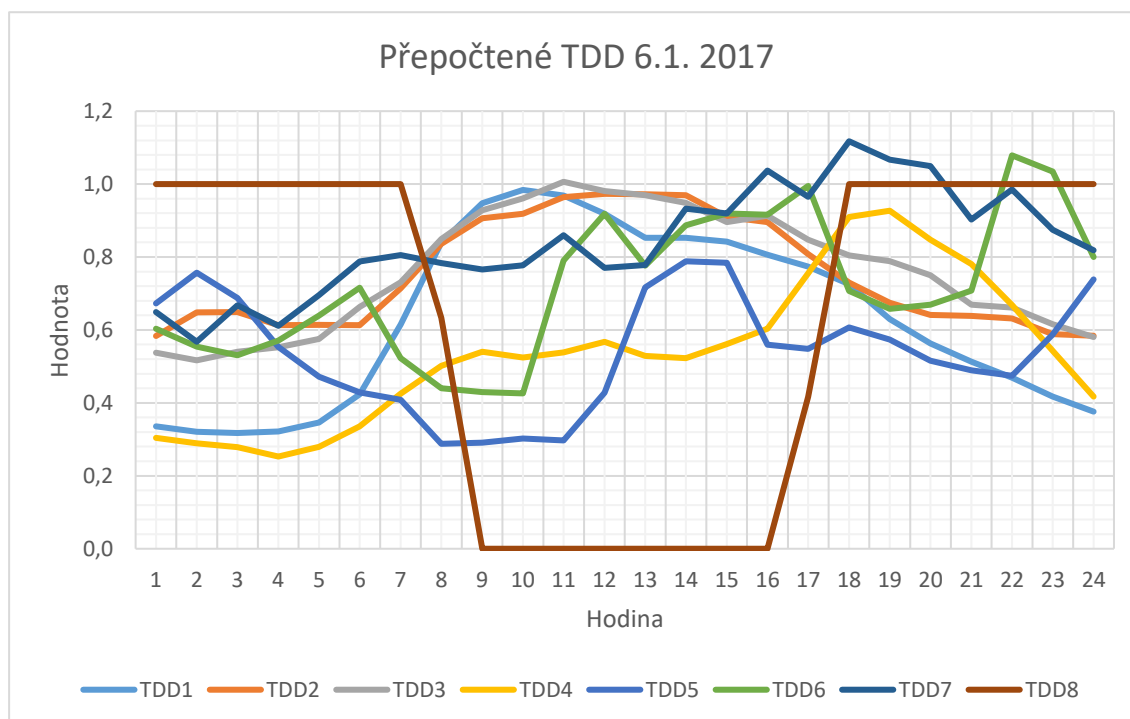
Může být pokryta zvýšením výkonu tepelných či vodních elektráren či připojením dalších soustrojí. Spadají sem také fotovoltaické elektrárny.

Vrchní část tzv. špičková.

- Vodní elektrárny
- Turbínový režim PVE
- PVE v čerpadlovém režimu

#### 4.1.1 Typový diagram dodávek elektřiny

TDD diagram se skládá ze 8760 hodnot relativních průměrných hodinových odběrů vztahených k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů. Průměrné hodinové odběry jsou přepočteny na normální klimatické podmínky, které ovlivňují finální velikost odběrů. Normalizované hodnoty se pohybují na intervalu (0;1) a jsou definované vždy pro určitý typ zátěže. Celkový součet relativních hodnot průměrných hodinových odběrů TDDn vyjadřuje dobu využití maxima. [21]



Obrázek 15 Průběh celostátních přepočtených TDD [21]

V grafu vidíme hodnoty přepočtených hodnot na skutečné venkovní teploty pro den 6.1. 2017. Vidíme, že po uvážení vlivu venkovní teploty mohou hodnoty přepočteného TDD dosahovat hodnot vyšších než 1. Pro každou třídu spotřebičů se vypracovává samostatný diagram v závislosti na jejich typických odběrech. V tabulce můžeme vidět třídy a jejich charakter. Nejčastějším odběrem je odběr č. 4, který je typický pro obytný dům.





Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru
1	Odběratel kategorie C	Odběr bez tepelného využití elektřiny
2	Odběratel kategorie C	Odběr a akumulacním spotřebičem nebo hybridním vytápěním
3	Odběratel kategorie C	Odběr s přímotopným vytápěním nebo tepelným čerpadlem
4	Odběratel kategorie D	Odběr bez tepelného využití elektřiny
5	Odběratel kategorie D	Odběr s akumulacním spotřebičem
6	Odběratel kategorie D	Odběr s hybridním vytápěním
7	Odběratel kategorie D	Odběr s přímotopným systémem vytápění nebo tepelným čerpadlem
8	Odběratel kategorie C	Odběr pro veřejné osvětlení

Tabulka 1 Třídy TDD [22]

## 4.2 Požadavky na kvalitu elektřiny

Pro spolehlivé fungování přenosové a distribuční soustavy je důležité udržet takovou kvalitu přenášené energie, aby nedocházelo ke zhoršení funkce spotřebičů, v krajním případě i k výpadku sítě v dané lokaci, kde dochází k odchylce. Mezi nejdůležitější parametry patří napětí a frekvence. Vzhledem k měnícímu se diagramu denního zatížení je třeba tyto parametry korigovat s jasně zadanou tolerancí. Vzhledem k povaze práce se budeme zabývat především sítěmi nn.

### 4.2.1 Frekvence

U systémů nízkého a vysokého napětí se frekvence měří v intervalu 10 s. Její střední hodnota je 50 Hz. Uvažujeme systém se synchronním připojením.

- 50 Hz  $\pm$  1 % během 99,5 % roku
- 50 Hz + 4 %/-6 % po 100 % času

### 4.2.2 Napětí

Měření napětí probíhá v intervalu 10 minut. Měří se průměrná efektivní hodnota Příčin kolísání napětí může být několik:

- a) spínání velkých zátěží v síti
- b) zkratem a následným spuštěním ochran
- c) atmosférickými vlivy
- d) změny odběrů činného a jalového proudu v síti



Požadovaná kvalita:

$U_n \pm 10 \%$  během 95 % času (týdenní perioda)

$U_n +10\%/-15 \%$  pro sítě nn pro 100 % naměřených hodnot

### 4.2.3 Flickr

Rychlé periodické změny napětí (flickr) Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flickru  $Plt < 1$

### 4.2.4 Nesymetrie napětí

Měřená v desetiminutových intervalech a za dobu jednoho týdne musí být střední efektivní zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0-2 % sousledné složky, přechodně až 3 %. [23]

## 4.3 HDO

Hromadné dálkové ovládání. Jde o systém komunikace a řízení částí spotřeby za účelem optimalizace a plynulosti řízení soustavy. Využívá spínání akumulčních prvků například přímotopných zařízení. Jde o nástroj podpory řízení sítě, využívající přesun odběrů z vysoce zatížených stavů do časů s menší výkonovou poptávkou. Pomáhá tak omezit odběrové špičky a vyhladit denní diagram zatížení. Lze ho využívat v rizikových stavech pro dispečerské řízení výroby OZE tak, že omezuje dodávku jalového nebo činného výkonu.

Pro využívání služeb a možností HDO je třeba u koncového zákazníka nainstalovat přijímač odpovídající požadavkům stanoveným provozovatelem. Zákazník se zájmem o využití této služby předává řízení určitých spotřebičů provozovateli DS. Ten je povinen informovat zákazníka o aktuálním stavu spotřebičů, buď na vyžádání, nebo po internetu. Zákazník využívající tuto službu využívá sníženého tarifu za odebranou energii.

Systém využívá vysílačů instalovaných do transformoven na úrovni 110 nebo 22 kV. Vysílají odtud signály o dané tónové frekvenci okolo 200 Hz po silovém vedení. Fáze vysílače lze ovládat i jednotlivě. Signál HDO prochází celou sítí a řídí dané zátěže. Aby se předešlo nežádoucímu rušení signálu, nesmí úroveň řídicího napětí kolísat mimo stanovené meze a do sítě nesmí být emitovány rušivé napětí o frekvenci blízké signálu HDO. Dále nesmí samotná zařízení koncových zákazníků nadměrně přetěžovat vysílače. Kvalitu signálu v síti je nutné dlouhodobě monitorovat předcházet tak jeho zkresení.

Význam této služby stoupá spolu s čím dál vyšším využitím elektromobilů a jejich akumulčními možnostmi. Jednou z možností je instalace HDO přijímačů pro potřeby samostatného ovládání domácích dobíjecích stanic. V současnosti jsou připravovány změny v tarifech a nové tarify pro dobíjení elektromobilů s požadavkem na blokování dobíjecí stanice. Zároveň je připravován mechanismus rozdělení vysílaných povelů do více úrovní tak, aby došlo k ča-



sovému rozdělení blokování dobíjecích stanic i pod konkrétní trafostanicí. Provozovatelé distribučních soustav budou v budoucnu usilovat o co nejefektivnější využití stávajícího systému HDO s cílem předejít lokálnímu přetěžování DS v prvních letech masivního nástupu a zvýšení prodeje elektromobilů. Systém lze také využít v krizových scénářích, kdy je třeba za účelem zachování stability sítě odpojit větší množství zátěží. [24]

## 5 Scénáře vývoje elektromobility

Pro předpověď možného vývoje elektromobility využívám scénářů zpracovaných v Národním akčním plánu rozvoje elektromobility zpracovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí.

### 5.1 Nízký scénář

Nejméně pravděpodobný scénář, který ilustruje situaci, kdy nedochází k podpoře elektromobility ze strany státu. Počítá, že dalších pět let bude počet EV stoupat aktuálním tempem bez výrazného zvyšování. Po této době je predikována stejná rychlost nárůstu počtu elektromobilů jako ve středním scénáři. Počítá tedy se zpožděním oproti NAP CM, a to zhruba o pět let. [7]

### 5.2 Střední scénář

Počítá se splněním cílů navázaných na NAP CM s rychlým rozvojem elektromobility až do roku 2030, kdy se předpokládá částečné zpomalení růstu způsobené nasycením poptávkou. Tato predikce závisí na míře snahy státu redukovat hladinu skleníkových plynů a většího zájmu veřejnosti o energeticky úsporná vozidla. Podle predikcí společnosti Bloomberg – New Energy dojde vlivem pokroku nových technologií a inovací k vyrovnání cen elektromobilů a klasických zážehových a vznětových motorů do roku 2030, což povede ke zvýšenému zájmu o koupi EV. Tato predikce počítá v roce 2040 s cca 1 milionem elektromobilů ve vozovém parku České republiky. Očekává se také významnější zastoupení vozidel typu BEV oproti PHEV díky jejich pozitivnímu vlivu na emise skleníkových plynů. [7]

Střední scénář vývoje elektromobility			
Uvažovaný rok	2020	2030	2040
Elektromobily celkem ČR [ks]	8 400	200 000	1 070 000

Tabulka 2 Střední scénář



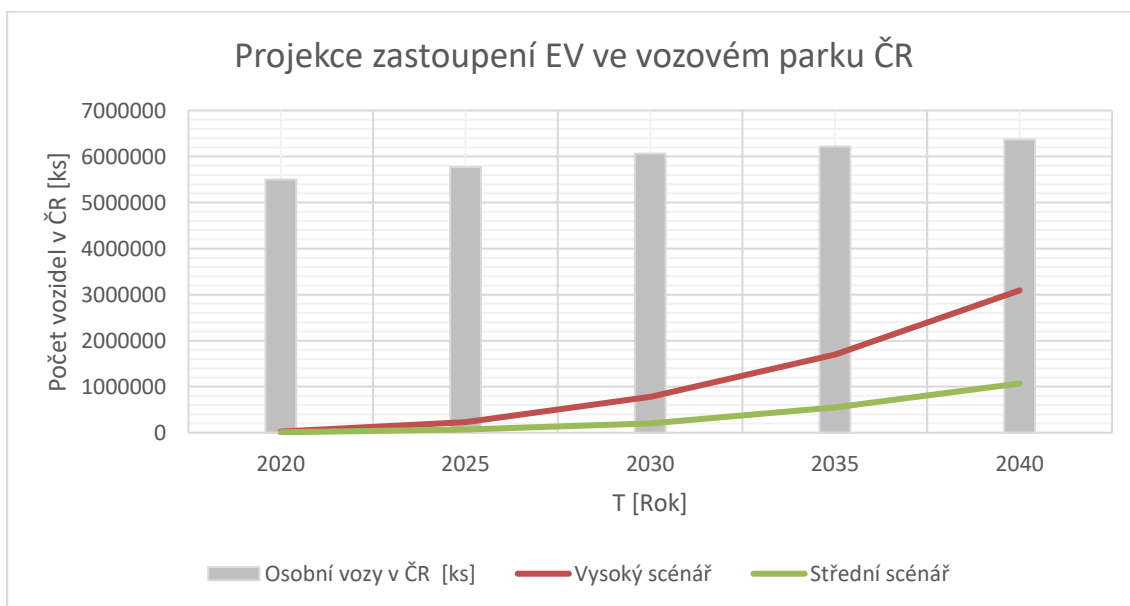
### 5.3 Vysoký scénář

Vychází z cílů kampaně EV30@30, kterou přijali například Čína, Kanada nebo Velká Británie. Cílem kampaně je 30% podíl elektromobilů na celkových prodejích osobních vozidel. Kampaň se dává za cíl zvýšit podporu elektromobility s důrazem na vytvoření odpovídající infrastruktury. Dalším z cílů je omezení uhlíkových emisí, které se podílí jednou čtvrtinou na celkových skleníkových plynech vypouštěných do ovzduší. Za rok 2016 dosáhl celosvětový trh s elektromobily 2 milionů podle zprávy Global EV Outlook. Jedná se tak o 0,2 % celkem prodaných automobilů. Program také počítá až se stovkou Global EV Pilot City 's do 5 let, města s rozsáhlou infrastrukturou podporující elektromobilitu. [25]

Od roku 2030 také počítá s cenovou paritou spalovacích a elektrických vozidel dle predikce společnosti Bloomberg – New Energy. V roce 2040 tak předpokládá až 90% podíl v nově prodaných vozidlech. V poměrech ČR by se tak v roce 2040 jednalo až o 3 miliony provozovaných elektromobilů na našem území. Česká republika se však k této iniciativě zatím nezávázala, i když její pozdější zapojení není vyloučené.

Vysoký scénář vývoje elektromobility			
Uvažovaný rok	2020	2030	2040
Elektromobily celkem ČR [ks]	25 463	778 241	3 091 821

Tabulka 3 Vysoký scénář





## 5.4 Vliv na životní prostředí

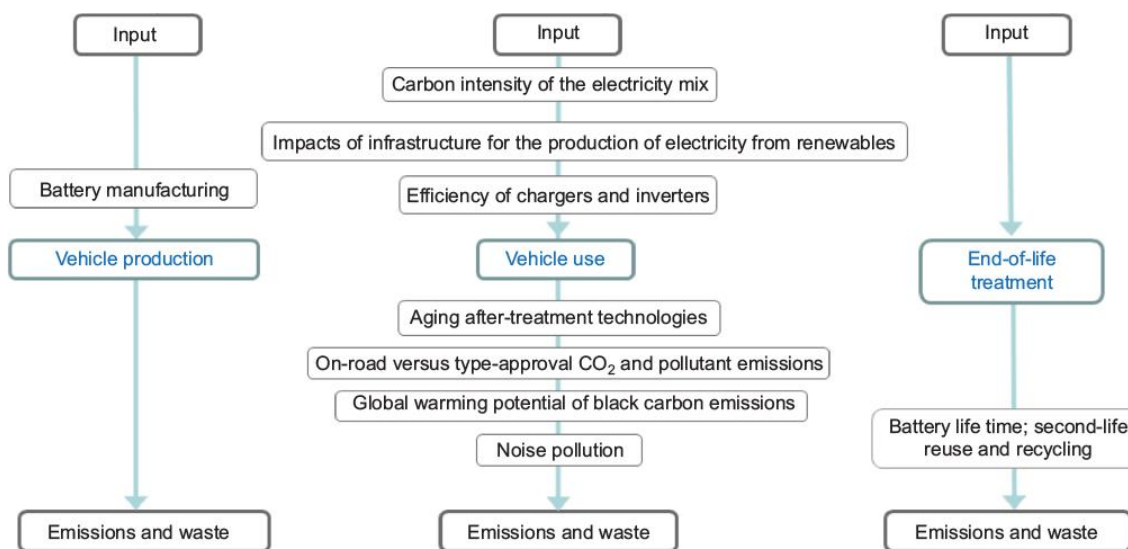
V závislosti na scénáři vývoje elektromobility se bude měnit míra vlivu EV na životní prostředí. Jedním z přínosů spojených s rozvojem elektromobility je omezení environmentálních dopadů způsobených spalováním fosilních paliv. Omezení těchto přímých emisí má pozitivní vliv na ovzduší. Nejvýraznějšími škodlivinami jsou CO<sub>2</sub>, CO a NO<sub>x</sub>. Pro vyhodnocení vlivu rozvoje elektromobility jsou porovnávány řetězce tzv. „Well-to-Wheel“ analýza. Ta nám udává, jaké množství emisí bylo v daném případě vypuštěno. Sestává se ze dvou částí a totiž z výroby pohonného média a emise způsobené provozem vozidla. V případě EV vznikají emise pouze u výroby elektřiny v závislosti na daném mixu konkrétního výrobce. V případě, že byla elektřina vyrobena z obnovitelných zdrojů, považuje se celkový provoz daného EV za bezemisní.

Studie provedená v rámci analýzy NAP CM ukazuje, že dochází k výraznému omezení všech složek škodlivin v případě rozvoje elektromobility. Výjimkou jsou emise SO<sub>2</sub>, které mohou v krátkodobém horizontu stoupnout, vzhledem k produkci elektřiny z tepelných elektráren. Při samotné výrobě má však EV dopad na globální oteplování až dvojnásobný oproti výrobě klasických automobilů.

Studie „Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles“ srovnávající dopady EV na životní prostředí uvádí, že za předpokladu průměrného dojezdu 150 000 km dochází ve srovnání s benzínovými automobily k omezení vlivu životního prostředí o 20 % až 24 % a v porovnání s naftovými automobily o 10 % až 14 %. Až polovina emisí je v případě EV výsledkem výrobního procesu. Z toho je nejvýznamnější částí výroba baterie, která se podílí na emisích v rámci výrobního procesu až 40 %. Tyto hodnoty záleží na způsobu výroby elektřiny a pro případy, kdy je elektřina vyráběna primárně spalovacími uhelnými elektrárnami jsou výhody EV v porovnání s klasickými automobily téměř nulové. Celkový dopad záleží na životnosti a s jejím prodloužením dochází k omezení dopadu na životní prostředí.

Dalším rizikovým faktorem je závislost EV na vzácných kovech a jejich potenciální vyčerpání. V souvislosti s těžbou těchto kovů existuje také riziko kontaminace vodních zdrojů v místě těžby. Pro další omezení vlivu na životní prostředí je třeba klást důraz na zlepšení výrobních procesů EV [26]

Na obrázku č. 16 vidíme zdroje emisí spojených s EV. V prvním sloupci je výroba baterie a výroba samotného EV, v druhém jsou uvedeny zdroje emisí spojených s používáním a provozem. Záleží zde na podílu uhelných elektráren v celkové výrobě elektřiny v oblasti provozu EV, účinnost nabíjecího systému nebo dopady spojené s výstavbou nových zdrojů elektřiny. V posledním sloupci je konec životního cyklu a recyklace. Ve všech případech je výstupní veličinou objem emisí a odpad z výroby či provozu.



Obrázek 16 Zdroje emisí spojené s EV [27]



## 6 Praktická část

### 6.1 Výpočetní software

Praktická část diplomové práce spočívá ve vyhodnocení vlivu odběrů elektromobilů na síť nn. Pro tento účel byly firmou ČEZ Distribuce poskytnuta data tří reálných sítí nn, na jejíž příkladech bude vliv zkoumán. Pro zkoumání vlivů těchto odběrů na síť je využit program e-Vlivy firmy EnerGoConsult ČB s.r.o ve své demo verzi. Tato verze umožňuje výpočet pro omezený počet prvků v síti, takže zadané parametry reálných sítí nn musely být zjednodušeny, aby mohl být výpočet v programu proveden.

Program využívá pro výpočet ustáleného chodu sítí Newtonovu iterační metodu, jejíž výhodou je malý počet iteračních kroků nutných k dosažení výsledků s uspokojivou přesností. Parametry prvků sítí jsou podrobně rozepsány v elektronické příloze diplomové práce.

### 6.2 Zátěž

V praktické části diplomové práce vycházím z reálných dat poskytnutých společností ČEZd. Jedná se o tři typy sítí nn, na kterých budu testovat vliv zátěže elektromobilů. Pro výpočty uvažuji moment sítě, kdy je zátěž největší a okamžité odběry jsou na maximu. Pro zjištění tohoto údaje využívám maximální velikost energie spotřebované zátěží za rok a typový diagram zátěže pro daný rok. Vycházím z přepočtených dat TDD pro rok 2017, kde jsou uvedeny hodinové hodnoty velikosti jednotlivých TDD.

Pro každý typový diagram jsem zvolil jednu zátěž, pro kterou provedu výpočet. Využívám funkce citlivostní analýzy, kdy hledám maximální okamžitý odběr zátěže takový, že po vynásobení této hodnoty hodinovými hodnotami TDD v průběhu celého roku dostanu po jejich sečtení celkovou roční spotřebu rovnou referenční celkové spotřebě.

Hodnota maximální denní TDD je nejvyšší možná suma hodinových koeficientů v denním diagramu. Pro použití hodnoty připadá čas s nejvyššími hodnotami TDD diagramu na 6.1.2017 v 18:00. Tato hodina zároveň odpovídá předpokládanému maximu soudobému odběru dobíjených elektromobilů.

Pro zjištění maximálního odběru další zátěže podělím velikost jejího celoročního odběru velikostí referenční roční spotřeby pro daný typový diagram. Tímto koeficientem vynásobím referenční hodnotu odběrového maxima vypočítanou pro referenční celkovou spotřebu zátěže. Výslednou hodnotou je maximální hodnota odběru zátěže daném čase. Ve výpočtu v budoucích letech 2020 až 2040 neuvažujeme změnu celkové velikosti zátěže v čase u měřených odběrových míst. Není jisté, zda bude jejich spotřeba stoupat vlivem rostoucího počtu připojených zařízení, nebo zda bude klesat vlivem úsporných opatření.

Všechny zátěže jsou uvažovány jako 3fázové o jmenovitém napětí 400 V. Počítáme s velikostí účinníku  $\cos \varphi = 0,95$  induktivního charakteru.

Z důvodu času, ve kterém probíhá výpočet, jsou také fotovoltaické elektrárny, které jsou součástí výpočetního modelu pasivovány a nepočítá se s jejich příspěvkem do sítě.



	TDD1	TDD2	TDD3	TDD4	TDD5	TDD6	TDD7
Referenční celková spotřeba [kWh]	3883	7805	3632	2210	2710	8609	10092
Referenční hodnota odběrového maxima [kW]	0,675	1,213	0,773	0,515	0,441	1,643	3,061

Tabulka 4 TTD

$T_{ref}^i$  - referenční celková spotřeba i-tého TDD

$O_{MAX\_ref}^i$  - referenční hodnota odběrového maxima i-tého TDD

$T_t^i = \sum_{h=1}^{8760} TDD_t^h * O_t^{max}$  - celková roční spotřeba t-té zátěže i-tého TDD

$O_k^i = \frac{T_{ref}^i}{T_t^i} * O_{MAX\_ref}$  - hodnota odběrového maxima k-té zátěže i-tého TDD

$TDD_k^h$  - hodnota k-té zátěže v  $h$  hodině roku (8760 hodnot)

Velikost hodnoty odběrového maxima k-té zátěže i-tého TDD  $O_k^i$  značí velikost spotřeby dané zátěže v uvažovaný čas.

Suma zátěží získaných touto metodou je rovna maximálnímu zatížení sítě. Jedná se o nejvíce rizikový stav z pohledu zatížení, který může v síti nastat. Na takto vyhotovený model bude modelován vliv přídatných zátěží elektromobilů a bude zkoumána schopnost sítě zajistit dodávku energie o kvalitě garantované normou ČSN EN 50160.

### 6.3 Vliv zátěží elektromobilů na síť nn

Praktická část diplomové práce se zabývá vlivem odběrů elektromobilů na síť nízkého napětí. Je jasné, že v budoucnosti se bude podíl elektromobilů ve vozovém parku České republiky zvyšovat. Pro počet elektromobilů používáme predikci, která nastiňuje možný vývoj v počtu elektromobilů pro roky 2020, 2030 a 2040. Využíváme středního scénáře, který má při stávající legislativě a podpoře největší pravděpodobnost realizace a vysokého scénáře, vycházejícího z dohody o rozvoje elektromobility. Pro konkrétní použití a zhodnocení vlivu na zadané





soustavy nn je třeba odhadnout, kolik na každou jednu soustavu připadá elektromobilů. Pracujeme pouze v sítích provozovaných společnostmi ČEZd. Nastíněny byly tři možné způsoby vývoje:

1) Nízký

- Do roku 2020 uvažován trend růstu z let 2016/2017, mezi roky 2020–2030 cca třetinový růst oproti NAP CM
- K roku 2040 podíl 7 % EV  $\approx$  0,4 mil. Vozů

2) Střední

- Roky 2020, 2025, 2030 dle NAP CM
- K roku 2040 podíl 17 % EV  $\approx$  1 mil. vozů

3) Vysoký

- Předpokládáme dosažení 30 % tržního podílu prodeje EV v roce 2030 (vychází z Pařížské klimatické dohody)
- K roku 2040 podíl 50 % EV  $\approx$  3 mil. vozů

Odběry nn činí ročně za rok 2016 22,8 TWh na celém území ČR. Pracujeme v síti nn a předpokládáme 64,28% podíl společnosti ČEZd na celkové spotřebě elektřiny na území ČR, dle dat získaných od společnosti ERÚ. Velikost odběrů za uvažovaný rok v sítích nn provozovaných společnostmi ČEZd je tak 14,68 TWh. Dalším zjednodušením je předpoklad rovnoměrného rozdělení elektromobilů v síti. Tento předpoklad může mít výjimky v případech lokálních pobídek pro koupi a provozování EV, které mohou v budoucnosti situaci ovlivnit. Výjimečná situace platí pro Prahu, kde je vyšší koncentrace vozidel, a tudíž bude i koncentrace EV vyšší.

Důležitou skutečností je také podíl 3 a 1 fázově dobíjených elektromobilů. Plán rozvoje elektromobility počítá se zvyšováním podílu třífázově nabíjených elektromobilů na úkor jednofázově nabíjených, včetně omezení výkonu 1 fázově dobíjených EV. Při vysokých 1-fázových odběrech je zvýšené riziko vzniku napětových nesymetrií v síti a zvýšená nutnost regulace. V případě 3-fázového dobíjení se předpokládá rovnoměrné zatížení fází a riziko vzniku nesymetrií se nezvyšuje.

Tento problém uvažujeme tvorbou podscénářů, které jsou odvislé od velikosti regulace dobíjení osobních automobilů v sítích nn. Otázkou je, zda dojde na legislativní úrovni k regulaci velikosti odebíraného výkonu při jednofázovém dobíjení.



## 6.4 Podscénáře

- Bez omezení – žádné omezení výkonu dobíjení
- Omezení 1fázového výkonu – omezení výkonu 1fázového dobíjení na max. 3,7 kVA
- HDO regulace – omezení výkonu 1fázového dobíjení (na max. 3,7 kVA) + blokování dobíjení EV v čase platnosti vysokého tarifu pomocí HDO

V první variantě nedochází k regulaci výkonu odebíraného EV. Jedná se tak o nejvíce rizikový stav. Dochází k souběžnému dobíjení většího počtu elektromobilů a distribuční síť je tak více namáhána.

U druhé varianty dochází k regulaci výkonu odebíraného 1 fázovým dobíjením. Jde o způsob snižování rizika napěťových nesymetrií, ale významně to neovlivní celkový odebíraný výkon ani jeho časové rozložení.

Třetí varianta pracuje s možností aplikace HDO komunikace při dobíjení EV a snižuje tak koeficient soudobosti dobíjení. Jde o aplikaci systému hromadného dálkového ovládní dobíjení EV pro zajištění rozložení výkonu a omezení rizika vzniku odběrových špiček vznikajících především ve večerních hodinách. Ve výpočetní části tuto skutečnost reprezentuje nižší koeficient soudobosti, který je pro tento scénář snížen o 20 %.

Z přepočtených počtů elektromobilů provozovaných a dobíjených v rámci sítě společnosti ČEZd zjistíme jejich celkový výkon pro každý z počítaných časových režů. Z celkové zátěže sítě zjistíme, jak velkým procentem je zastoupena na celkové spotřebě. Z předpokladu rovnoměrného rozdělení EV určíme, jak je velké předpokládané zvýšení zátěže vlivem nárůstu počtu EV pro danou síť. Do sítě poté doplníme zátěže EV o reálných velikostech a provedením výpočtů zjišťujeme, zda nedochází v síti k rizikovým jevům v rozporu s PPDS a Vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice.

Velikost odběrů v každém konkrétním místě je omezena velikostí jističe a kapacitou kabelového vedení. Předpokládáme také pro všechny případy konstantní velikost ostatních zátěží.

V programu eVlivy jsem podle vypočtených hodnot namodeloval výkonové stavy elektromobilů připojených v dané síti a roce. Pro každou síť máme 4 možné průběhy zátěže. Uvažujeme střední a vysoký scénář vývoje počtu elektromobilů a u každého z nich dále variantu s a bez HDO regulace.



## 6.5 Síť

Za použití programu eVlivy byly vytvořeny z hodnot zadaných společností ČEZd modely 3 sítí, vycházející z reálných hodnot. Topografie sítí lze najít v příloze práce. Vybrané sítě jsou starší s rokem výstavby 1980 až 1990 s venkovními vodiči, kde se však dá předpokládat jejich provoz až do roku 2040. Vzhledem k předpokládané životnosti 50 let jsou tedy vybrané sítě v současnosti přibližně za polovinou doby provozu. Do zadání patřily jak zátěže připojené na danou síť včetně jejich specifikací a charakteru v TDD diagramu, tak velikosti transformátorů a délky i typy vedení a kabelů použitých v dané síti. Součástí sítí jsou i fotovoltaické elektrárny, nejsou ale vzhledem k povaze měření aktivovány. Sítě mají transformátory o různém jmenovitém výkonu a různé délky vedení. To ovlivní především odchylky napětí. Oproti zadaným hodnotám bylo třeba sítě upravit, aby bylo možné provádět výpočty v demoverzi programu eVlivy, která omezuje počet prvků v daném modelu na 100. Vzhledem k tomuto omezení došlo ke slučování zátěží připojených do stejného odběrového bodu a v některých případech ke slučování vedení o stejných nebo velmi podobných parametrech. Tyto úpravy byly prováděny tak, aby došlo k co nejmenšímu odklonu od reálných sítí a výsledky získané z takto upravených sítí byly relevantní.

Zátěže připojené na sítě jsou 3 fázového charakteru a jejich velikost vychází z hodnot maximálního špičkového odběru. Vliv jednofázového dobíjení na nesymetrii byl posuzován samostatně na jedné z modelovaných sítí. V Praktické části testujeme vliv připojení elektromobilů na konkrétní síť a zkoumáme dopady způsobené zvýšením zátěže.

## 6.6 Distribuční síť nízkého napětí

Tyto sítě pracují na napětí 400 V. Jde o poslední stupeň mezi výrobou elektřiny a konečnými maloodběrateli. Co se topologie týče, jedná se nejčastěji o síť paprskové. V tomto modelu vychází vedení z jednoho místa, kde se nachází transformovna převádějící napětí na požadovaných 400 V. Vedení se větví dle připojovaných odběrových míst. Tohoto typu jsou i sítě používané v praktické části práce. Jedná se o nejlevnější způsob stavby sítí nn, ale také jde o nejméně spolehlivý způsob.

Sítě 400 V mají také omezení, co se týče jejich dosahu z důvodu úbytku napětí na vedení pod povolenou hladinu. Pro přenos po venkovních vedení se využívají nejčastěji holé vodiče AlFe a izolované vodiče. V současnosti je dle energetického zákona povinnost při výstavbě v zastavěné oblasti instalovat pouze podzemní kabelová vedení. Pouze ve výjimečných případech ve vzdálených oblastech od obcí se stále využívá venkovních vedení.



## 7 Výpočet

Výpočet provádíme z dat středního a vysokého scénáře vývoje elektromobility. Ze zadaných hodnot počtu elektromobilů je vypočítána poměrná část EV provozovaných v sítích spravovaných společnostmi ČEZ Distribuce. Na celkové spotřebě ČR se společnost ČEZd podílí 64,28 %. Dále je počet elektromobilů rozdělen na EV dobíjené 1 fázově a 3 fázově. Poměr se do budoucna přesouvá ve prospěch 3 fázového dobíjení díky předpokládaným vyšším kapacitám akumulátorů a nutnosti rychlejšího dobíjení.

### EV – Střední

Tento scénář předpokládá, že z cca 6 milionů vozidel bude v roce 2040 až 1 milion elektromobilů. Jedná se o součet PHEV A BEV.

Rok		2020	2030	2040
Elektromobily celkem ČR	[ks]	8 400	200 000	1 070 000
elektromobily celkem v ČEZd	[ks]	4 915	117 020	626 057
Elektromobily – dobíjení 1fáz.	[%]	80	50	30
Elektromobily – dobíjení 3fáz.	[%]	20	50	70
Elektromobily – dobíjení 1fáz.	[ks]	3 932	58 510	187 817
Elektromobily – dobíjení 3fáz.	[ks]	983	58 510	438 240

Tabulka 5 Rozdělení EV – Střední scénář

### EV – Vysoký

Vysoký scénář projektující vývoj elektromobility v rozsahu v souladu se snahou o 30% podíl prodaných EV v roce 2040. Předpokládá se stejný vývoj poměru 3 a 1 fázových dobíjení.

Rok		2020	2030	2040
Elektromobily celkem ČR	[ks]	25 463	778 241	3 091 821
Elektromobily celkem v ČEZd	[ks]	14 898	455 349	1 809 024
Elektromobily – dobíjení 1fáz.	[%]	80	50	30
Elektromobily – dobíjení 3fáz.	[%]	20	50	70
Elektromobily – dobíjení 1fáz.	[ks]	11 919	227 674	542 707
Elektromobily – dobíjení 3fáz.	[ks]	2 980	227 674	1 266 317

Tabulka 6 Rozdělení EV – Vysoký scénář



Pro zjištění celkové zátěže na danou síť předpokládáme rovnoměrné rozložení EV do sítí nn provozovaných ČEZd. Z dat získaných z ERÚ zjistíme celkovou spotřebu ČR za rok a dále celkovou spotřebu sítí nn. Díky podílu společnosti ČEZ na celkové spotřebě zjistíme roční spotřebu v síti ČEZd.

Ze zadaných dat známe celkové roční odběry v konkrétní síti. Ze znalosti celkové roční spotřeby v síti a celkového ročního odběru konkrétních lokálních sítí zjistíme, jak jsou procentuálně zastoupeny na celkovém odběru v rámci ČEZd. Z velikostí jmenovitých výkonů jednotlivých transformátorů SnT vidíme, že v nejzatíženějším bodě je daná síť namáhána na cca 40 % své kapacity.

Síť	Roční odběr [MWh]	Špičková zátěž [kW]	SnT [MVA]	Podíl sítě na celkovém odběru [%]
odbD	281,6	70,61	0,16	0,000019
odbL	223,7	43,7	0,10	0,000015
odbT	363,4	94,26	0,40	0,000025

Tabulka 7 Síť nn

Díky poměru velikosti sítě a celkové spotřebě EV v daném scénáři zjistíme celkový výkon, o který se v daném roce zvýší spotřeba v dané síti vlivem elektromobility. Tato hodnota závisí na daném scénáři a roce. Dále se hodnoty liší na základě soudobosti, odvislé od využití systému HDO pro regulaci zátěže.

## 7.1 Soudobost

Důležitým faktorem je soudobost nabíjení čili jaký poměr EV bude v danou chvíli dobíjen. Vždy bude záležet na čase zapojení elektromobilu na dobíjecí stanici. Chování řidičů není předmětem této práce, proto byly soudobosti dobíjecích výkonů stanoveny dle dat ČEZd a výsledků pilotních projektů.

Jako výchozí hodnota soudobosti u 1 fázového dobíjení je 0,8. Jde o číselný údaj vyjadřující, že v měřeném čase se bude aktivně dobíjet 80 % z celkem provozovaných elektromobilů. Tato hodnota je v případě 3 fázově provozovaných EV o 5 % nižší jde tedy o 75 %. Důvodem tohoto snížení je rychlejší dobíjení 3 fázemi a díky tomu se zkracuje doba odběru ze sítě. Soudobost pro výpočty byla po konzultaci s PDS zvolena o něco vyšší než u klasických odběrů v domácnosti, a to z důvodu uživatelského požadavku na připravenost použití elektromobilu následující den. Předpokládáme, že elektromobil bude řidič připojovat vždy, kdy vozidlo stojí a má tedy možnost dobíjet doma nebo v zaměstnání. Problematika nedostatku dobíjecích bodů u bytových domů a sídlišť není v této práci řešena. Tyto hodnoty soudobostí jsou společné pro vysoký i střední scénář za předpokladu neomezení výkonu systémem HDO.



Při jeho implementaci do dobíjecího procesu dojde k rozvrstvení výkonu odebíraného zátěží v daném čase a snížení soudobosti. V našem případě uvažujeme o snížení v 1 i 3 fázovém případě o 25 %. Elektromobily budou poté dobity v době, kdy nehrozí riziko vzniku odběrových špiček.

## 7.2 Střední scénář

V tabulce můžeme vidět předpokládané rozdělení výkonů v rámci 1 a 3 fázových EV. Výkony odpovídají typickým velikostem odběrů provozovaných EV na trhu. Počítá se s růstem více výkonových EV na úkor méně výkonných.

Střední scénář-bez omezení				
<b>1fáz [kW]</b>	2,3	3,3	6,6	7,4
Rok 2020 [%]	65	20	10	5
Rok 2030 [%]	45	30	15	10
Rok 2040 [%]	30	35	20	15

Tabulka 8 Výkonové rozdělení 1 fázových EV – Střední scénář bez omezení

V případě aplikace systému HDO pro řízení soudobosti odběrů EV se počítá také s omezením velikosti 1 fázového dobíjení vzhledem k riziku vzniku napět'ových nesymetrií v distribučních sítích.

Střední scénář-blokování dobíjení pomocí HDO				
<b>1fáz [kW]</b>	2,3	3,3	6,6	7,4
Rok 2020 [%]	80	20	0	0
Rok 2030 [%]	70	30	0	0
Rok 2040 [%]	65	35	0	0

Tabulka 9 Výkonové rozdělení 1 fázových EV – Střední scénář HDO

V případě 3 fázového dobíjení vidíme také postupný posun směrem k vyšším výkonům.

Podscénář – bez omezení				
<b>3fáz</b>	11	16,5	22	
Rok 2020 [%]	85	10	5	
Rok 2030 [%]	75	15	10	
Rok 2040 [%]	65	20	15	

Tabulka 10 Výkonové rozdělení 3 fázových EV – Střední scénář bez omezení



Podscénář – blokování dobíjení pomocí HDO			
<b>3fáz</b>	<b>11</b>	<b>16,5</b>	<b>22</b>
Rok 2020 [%]	85	10	5
Rok 2030 [%]	75	15	10
Rok 2040 [%]	65	20	15

Tabulka 11 Výkonové rozdělení 3 fázových EV – Střední scénář HDO

Celkový roční výkon zátěže EV v daném roce v konkrétním scénáři vychází ze vzorce:

$$\text{Zátěž}_{EV} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m k * m * s * EV_{1f} + \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m k * s * m * EV_{3f}$$

- k..... podíl EV o daném výkonu  
 m..... typový výkon EV  
 s..... soudobost  
 $EV_{1f}$  ... počet 1 fázově dobíjených EV v daném scénáři  
 $EV_{3f}$  ... počet 3 fázově dobíjených EV v daném scénáři

Střední scénář bez omezení					Počet 3f vozidel na síti		
Měřený rok	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2040
Celkový odběr EV [MW]	18,94	742,95	2344,89	5161,68			
odbD [kW]	0,36	14,25	44,98	99,00	0	1	9
odbL [kW]	0,29	11,32	35,73	78,65	0	1	7
odbT [kW]	0,47	18,39	58,04	127,76	0	2	12

Tabulka 12 Zátěže uvažovaných sítí – Střední scénář bez omezení

Z výsledných hodnot vidíme velikost celkového odběru v sítích nn provozovaných v rámci ČEZd pro daný rok. Z předem zjištěných hodnot zjistíme, jakou procentuální velikost představuje každá konkrétní síť v celkovém odběru a pomocí tohoto poměru podělíme i velikosti zátěží EV pro dané roky. Z výsledných dat vidíme, že v případě všech sítí nedojde do roku 2020 k výraznému zvýšení výkonu. Výkon připadající na každou jednotlivou síť není velikostí roven odběru jednoho EV.

Jako referenční odběr elektromobilu se uvažuje 11 kW 3-fázový odběr. Můžeme vidět postupný nárůst zátěží a počtu EV připojených na síť. Pro použití v modelu bylo počítáno se zaokrouhleným počtem vozidel. V případě sítí v roce 2020 byl přidán jeden elektromobil o velikosti 3,3 kW.



Střední scénář s omezením systémem HDO [MW]					Počet 3f vozidel na síti		
Měřený rok	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2040
Celkový odběr EV [MW]	11,35	461,79	1473,46	3286,64			
odbD [kW]	0,22	8,86	28,26	63,04	0	1	6
odbL [kW]	0,17	7,04	22,45	50,08	0	1	5
odbT [kW]	0,28	11,43	36,47	81,35	0	1	7

Tabulka 13 Zátěže uvažovaných sítí – Střední scénář HDO

V případě scénáře s regulací pomocí systému HDO vidíme významný pokles v souběžně zapojovaných zátěžích díky rozložení špičkových odběrů.

### 7.3 Vysoký scénář

Dle zadaných hodnot počítáme s následujícími počty elektromobilů na území ČR pro volbě vysokého scénáře.

Uvažovaný rok	2020	2030	2040
Elektromobily celkem ČR [ks]	25 463	778 241	3 091 821

Tabulka 14 Počty EV – Vysoký scénář

Vidíme, že oproti střednímu scénáři respektující rozhodnutí NAP CM jde o znatelný nárůst v počtu provozovaných EV. Rozložení mezi výkonové hladiny dobíjení je v tomto případě stejné pro vysoký a střední plán. Stejně jsou i hladiny soudobostí. Tedy 0,8 pro případ bez regulace připojovaného výkonu a 0,55 pro řízení systémem HDO. Hodnoty soudobosti 3-fázových EV jsou ještě o 5 % procent nižší.

Celková výkon odebíraný EV v distribuční síti ČEZd je znovu přepočten na jednotlivé sítě a pro použití v modelu zaokrouhlen podle počtu EV připadajících na danou síť. Referenční hodnota zátěže je 11 kW 3 fázově dobíjených. Z tabulky je vidět, že v roce 2040 jsou špičkové odběry způsobované EV až 4krát vyšší než maximální špičkové odběry lokální sítě nízkého napětí.

Vysoký scénář – Zátěž bez omezení				Počet 3f vozidel na síti		
Uvažovaný rok	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Celkový odběr EV [MW]	57,41	2890,95	14914,95			
odbD [kW]	1,10	55,45	286,08	0	5	26
odbL [kW]	0,87	44,05	227,26	0	4	21
odbT [kW]	1,42	71,56	369,18	0	7	34

Tabulka 15 Zátěže uvažovaných sítí – Vysoký scénář bez omezení





Vysoký scénář – Zátěž s omezením výkonu HDO [MW]				Počet 3f vozidel na síti		
Uvažovaný rok	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Celkový odběr EV [MW]	34,42	1796,92	9496,93			
odbD [kW]	0,66	34,47	182,16	0	3	17
odbL [kW]	0,52	27,38	144,70	0	2	13
odbT [kW]	0,85	44,48	235,07	0	4	21

Tabulka 16 Zátěže uvažovaných sítí – Vysoký scénář HDO

## 8 Výsledky výpočtů

Pro každou ze tří sítí byl vytvořen model zatížení pro vysoký a nízký scénář. Ty se pak dále rozdělily na model bez omezení výkonu a model počítající s regulací soudobosti pomocí systému HDO. Každá z variant je testována ve třech uvažovaných letech. Celkem se tak pro každou síť počítá s 12 stavy.

V tabulce vidíme hodnoty okamžitých zátěží pro dané síť. Každá síť je limitovaná několika faktory, které určují její provozuschopnost. Nejdůležitější je maximální přenášený výkon. Ten je limitován jak kapacitou síťového transformátoru, tak zatížitelností vedení proudem neboli  $I_{max}$ . V krajních případech lze transformátor krátkodobě přetěžovat, ale v modelu počítáme s doporučenou výkonovou rezervou 20 %  $S_{nT}$ . Především tzv. kmenové linky, tedy vedení spojující zátěže blízko u vstupu transformátoru může být v případě připojení většího množství zátěží přetíženo nad povolenou hladinu.

Riziko je také překročení velikosti jističe při dobíjení EV. V některých případech může u malých 16 A pojistek u odběratele docházet k přetěžování při připojení EV spolu s větším počtem zátěží. V našem případě však vzhledem k možnostem výpočetního softwaru došlo ke slučování zátěží, a tak možnost lokálního přetížení pojistek nesledujeme.

Dalším závažným rizikem ohrožujícím stabilitu sítě je kvalita napětí. Ta kolísá především na vzdálených koncích vedení a při překročení hladiny  $U_n \pm 10\%$  definované ČSN EN 50160 nastává nežádoucí stav. Síť s dlouhým a více zatíženým vedením mají vyšší riziko vzniku těchto odchylek. V příloze práce vidíme rozložení odchylek napětí v jednotlivých uzlech sítě. U každé sítě je přiřazen graf ukazující výsledný předpokládaný vývoj zátěží, odchylek napětí a proudů nejvíce zatíženou kmenovou linkou sítě vlivem rozvoje elektromobility. Základem každého scénáře v grafu jsou 4 stavy pro roky 2020, 2030, 2035 a 2040. V případě velikosti proudů jsou v tabulkách uváděny nejvyšší hodnoty proudů v uvažovaném schématu. Jejich hodnota výrazně záleží na rozvrstvení zátěží v dané síti. Velikosti naměřených zátěží jsou v grafech spojeny přímou linkou.

Ve výsledných grafech je také vyznačena velikost připojeného trafo a maximální připojitelná zátěž na dané trafo. V grafech můžeme vidět, kdy dojde, podle jakého scénáře ke stavu, kdy



odebíraný výkon ze sítě překročí stanovenou hodnotu  $S_n T$  pro daný transformátor. Jedná se o maximální soudobé hodnoty v odběrových špičkách. Mimo dobu špičkových odběrů budou hodnoty odebíraného výkonu nižší.

Scénář	EV-střední					
Rozložení výkonu	Střední scénář bez omezení výkonu			Střední scénář s HDO regulací		
Uvažované roky	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Grid D [kW]	77,26	85,84	181,105	77,26	85,84	145,397
Grid L [kW]	50	58,74	136,46	50	58,74	110,54
Grid T [kW]	99,76	120,42	239,45	99,76	108,34	178,36

Tabulka 17 Rozložení výkonu – Střední scénář

Scénář	EV-vysoký					
Rozložení výkonu	Vysoký scénář bez omezení výkonu			Vysoký scénář s HDO regulací		
Uvažované roky	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Grid D [kW]	77,26	131,71	406,98	77,26	108,91	281,98
Grid L [kW]	50	97,96	401,1	50	70,79	234,85
Grid T [kW]	99,76	179,57	527,76	99,76	143,2	349,11

Tabulka 18 Rozložení výkonu – Vysoký scénář

Scénář	EV-střední							
Rozložení výkonu	Střední scénář bez omezení výkonu				Střední scénář s HDO regulací			
Měřené roky	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2035	2040
GridD [%]	0,794	1,698	2,647	5,502	0,794	1,698	2,122	4,603
GridL [%]	0,572	3,81	5,068	13,752	0,572	3,81	4,31	11,567
GridT [%]	3,756	6,146	6,658	11,274	3,756	5,741	6,168	7,791

Tabulka 19 Odchylky napětí – Střední scénář

Scénář	EV-vysoký							
Rozložení výkonu	Vysoký scénář bez omezení výkonu				Vysoký scénář s HDO regulací			
Měřené roky	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2035	2040
GridD [%]	0,794	3,005	7,889	15,959	0,794	2,103	5,427	10,32
GridL [%]	0,572	10,082	16,978	49,199	0,572	4,31	10,987	29,96
GridT [%]	3,756	8,652	12,068	25,046	3,756	6,32	8,573	14,863

Tabulka 20 Odchylky napětí – Vysoký scénář



Scénář	EV-střední							
	Střední scénář bez omezení výkonu				Střední scénář s HDO regulací			
Měřené roky	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2035	2040
GridD [A]	67,68	79,56	96,12	131,84	67,68	79,56	79,86	114,72
GridL [A]	37,43	49,39	65,75	122,21	37,43	49,39	49,6	87,11
GridT [A]	82	111,11	127,54	183,56	82	94,1	110,55	129,23

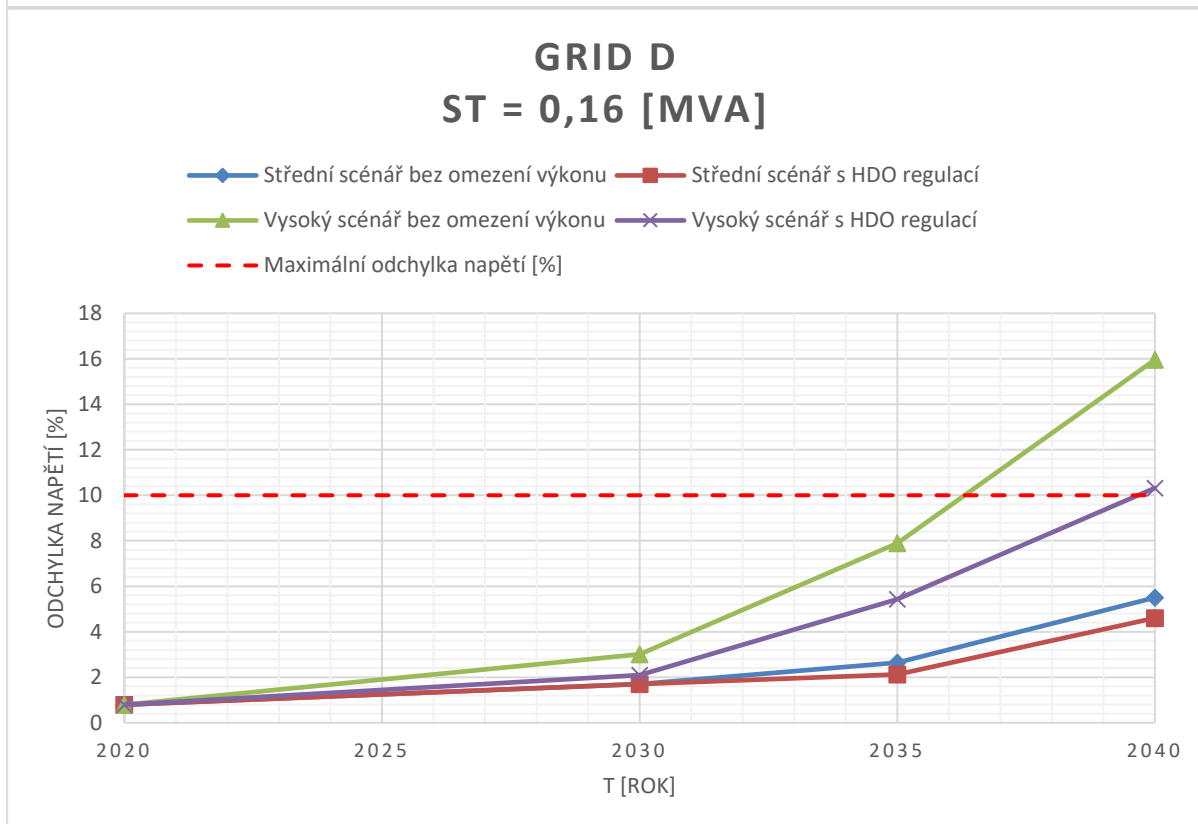
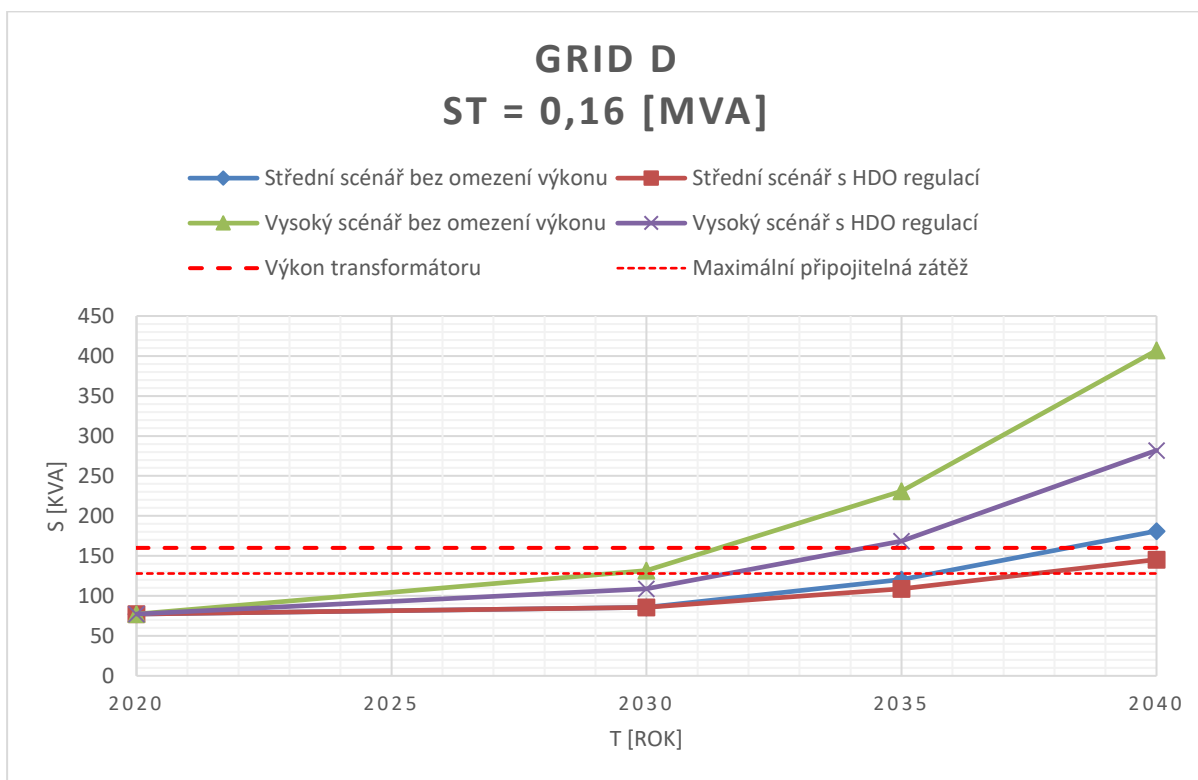
Tabulka 21 Proudy kmenových linek – Střední scénář

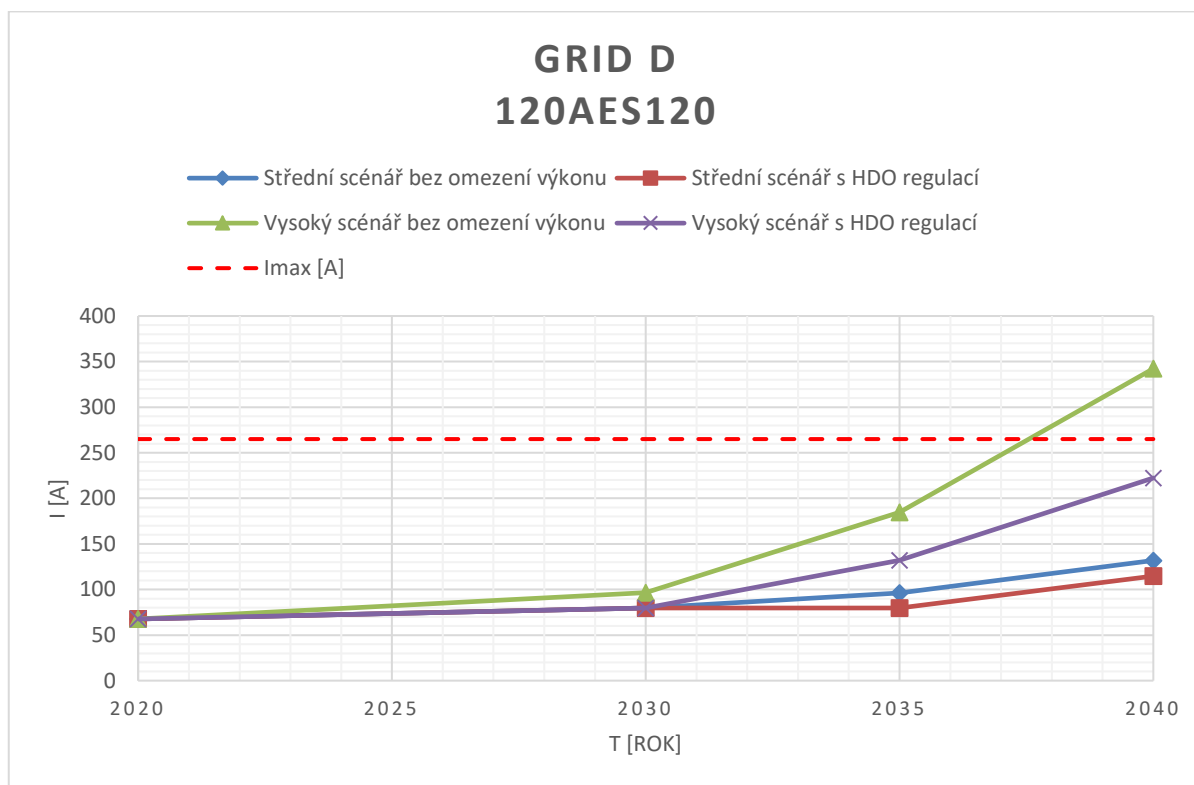
Scénář	EV-vysoký							
	Vysoký scénář bez omezení výkonu				Vysoký scénář s HDO regulací			
Měřené roky	2020	2030	2035	2040	2020	2030	2035	2040
GridD [A]	67,68	96,49	184,71	342,22	67,68	79,85	131,94	222,33
GridL [A]	37,43	86,42	160,1	398,23	37,43	49,6	117,76	236,7
GridT [A]	82	146,7	201,8	410,56	82	111,36	146,74	273,4

Tabulka 22 Proudy kmenových linek – Vysoký scénář

## 8.1 Síť D

Síť je vybavena 160 kVA transformátorem a její výchozí špičkové zatížení je 70,61 kVA. Na grafu pozorujeme nárůst maximálního výkonu odebraného ze sítě vlivem připojených EV podle vypočítaných scénářů. Ačkoli je možné krátkodobě přetěžovat v krizových situacích výkon přenášený transformátorem, neměl by dlouhodobě odběr přesáhnout 80 % jeho kapacity. Jde o rezervu doporučenou metodikou PDS ČEZd. Tuto hodnotu reprezentuje maximální připojitelný odběr. Vidíme, že v případě vysokého scénáře bez omezení jsou výkonové rezervy transformátoru vyčerpány vlivem připojených EV již před rokem 2030. Střední scénář bez omezení výkonu dosáhne hranice připojitelné zátěže okolo roku 2036. Při aplikaci regulace výkonu systémem HDO se čas překročení zátěže posune o 2 roky. Ačkoli jde o model pro nejhorší situaci v roce, kdy dochází k největším odběrům, je třeba, aby byla síť dimenzována i na tyto stavy. K přetížení dochází v případě vysokého scénáře i na kmenových linkách vedoucích od transformátoru, které jsou vlivem velikosti přenášeného výkonu přetíženy nad své konstrukční možnosti. Je zde instalované venkovní vedení 120AES120 schopné přenášet až 265 A. V topologii jde o vedení s označením V21. K překročení limitů kmenových linek dochází pouze v tomto scénáři. Při vysokém scénáři bez omezení výkonu dochází také k překročení povolené odchylky od jmenovitého napětí  $\pm 10\%$ . V nejbližších bodech sítě (cca 578 metrů od distribuční trafostanice) dochází až k 15 % odchylkám od jmenovitého napětí. V případě aplikace regulace systémem HDO se v nejbližších bodech pohybují odchylky v okolí povolených 10 % viz. Příloha Grid D.

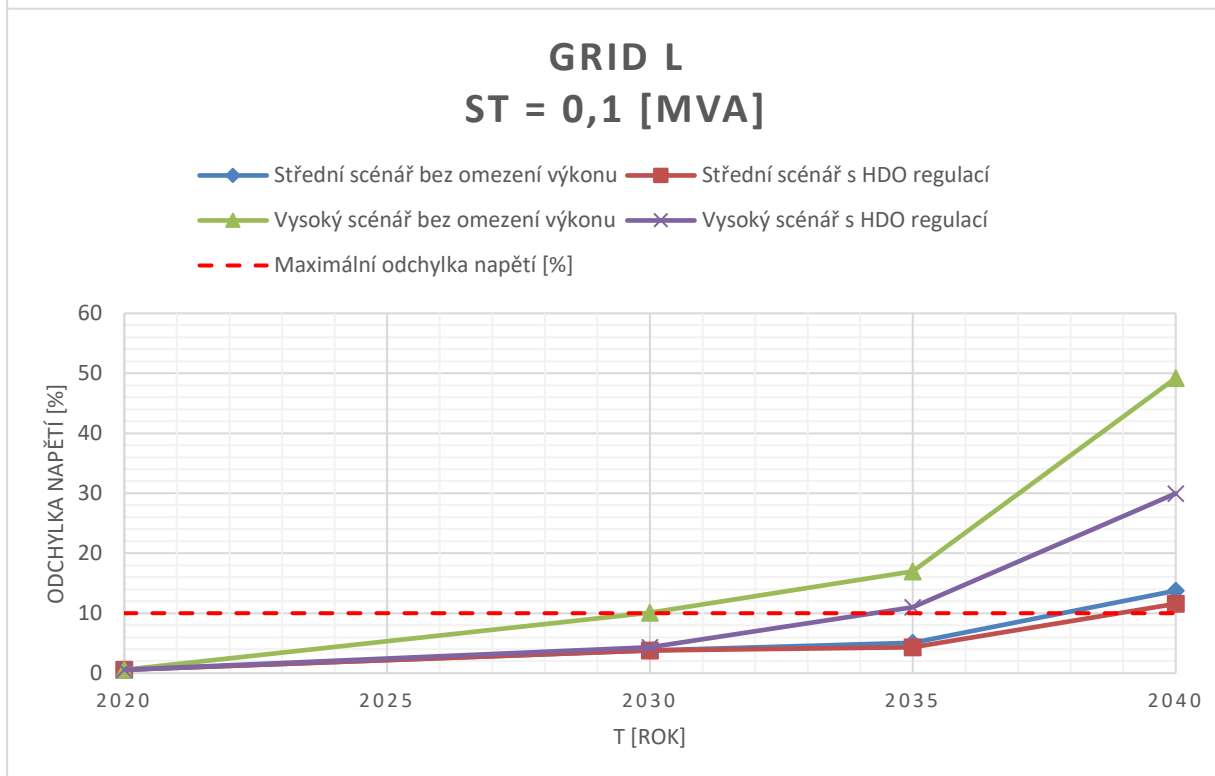
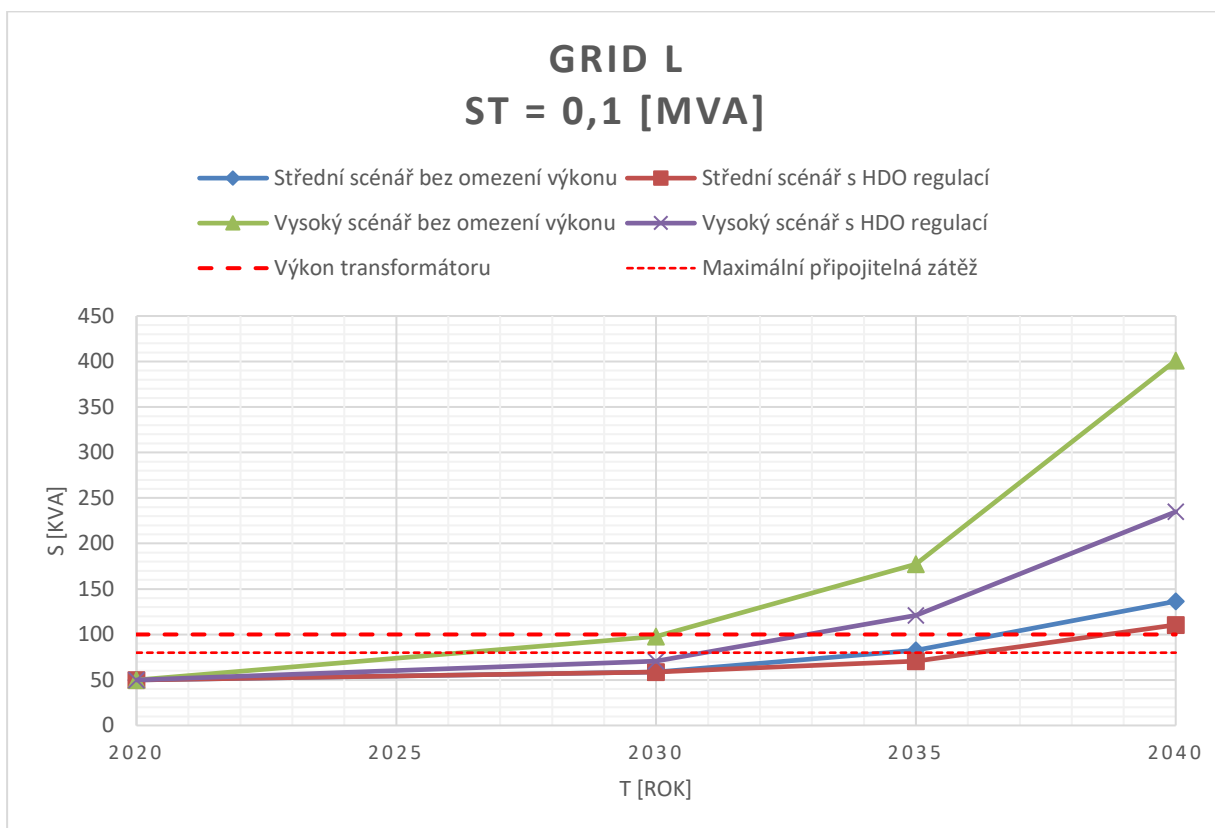


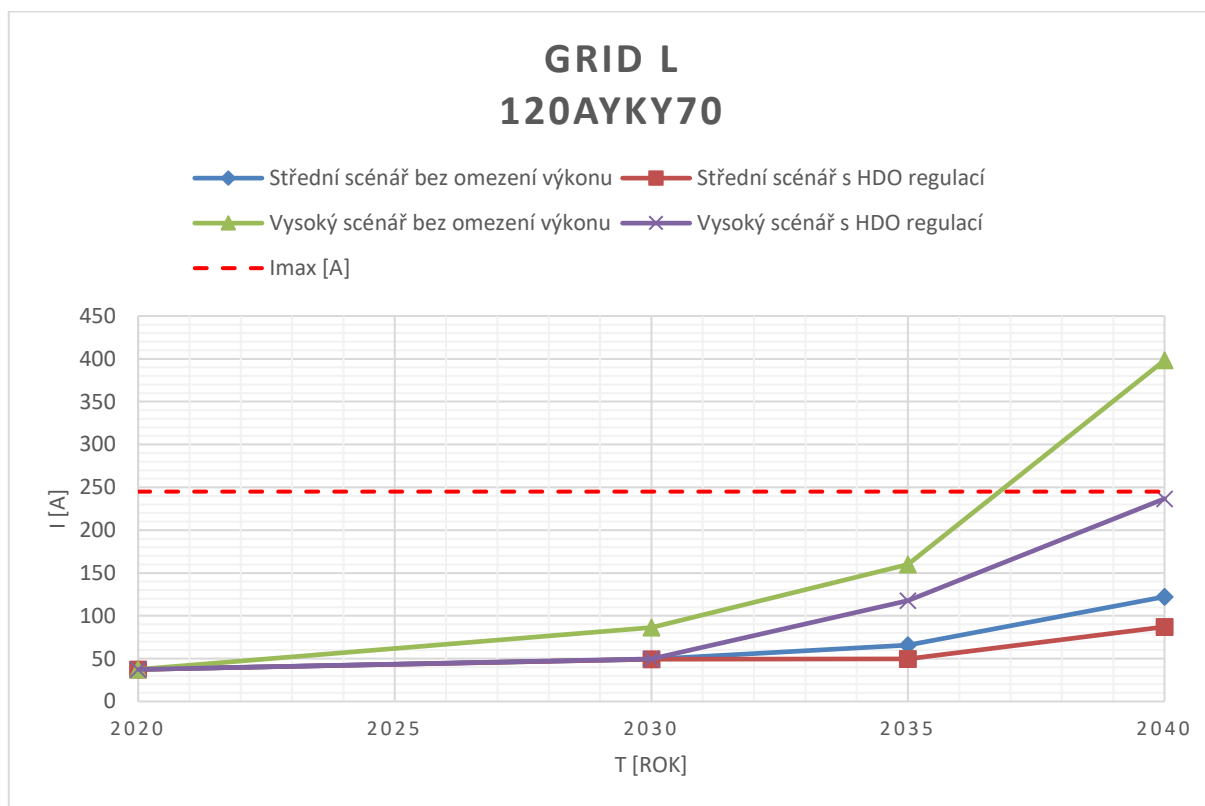


## 8.2 Síť L

Co do výkonu jde o nejmenší z počínaných sítí. Jako taková má přiřazený i transformátor o nejmenším výkonu 100 kVA a je také více náchylná na zvýšení odebíraného výkonu připojenými EV. Vidíme, že k překročení hranice pro bezproblémový provoz dochází pro vysoký scénář bez omezení výkonu již v roce 2027. V případě středního scénáře bez omezení výkonu dojde k překročení v roce 2034. Závažným problémem je v této síti odchýlení od jmenovitého napětí, a to v roce 2040 při středním scénáři bez omezení výkonu. V obou variantách uvažující vysoký scénář můžeme pozorovat významné překročení 10 % hranice. Pro vysoký scénář bez omezení výkonu pozorujeme až 40 % odchylku od hodnot jmenovitého napětí v nejvzdálenějším bodě sítě 861 metrů od příslušné trafostanice viz. Příloha Grid L.

V roce 2040 nastává rizikový stav také na linkách kmenové sítě pro obě varianty vysokého scénáře. Linky vedoucí z transformátoru jsou typu 120AYKY70 s maximálním možným přenášeným proudem 245 A. V topologii jde o vedení s označením V2. Vzhledem k těmto skutečnostem jde o nejvíce rizikovou z uvažovaných sítí, kde v roce 2040 dochází k překročení hranice maximální připojené zátěže i v nejmírnějším středním scénáři v HDO regulaci.



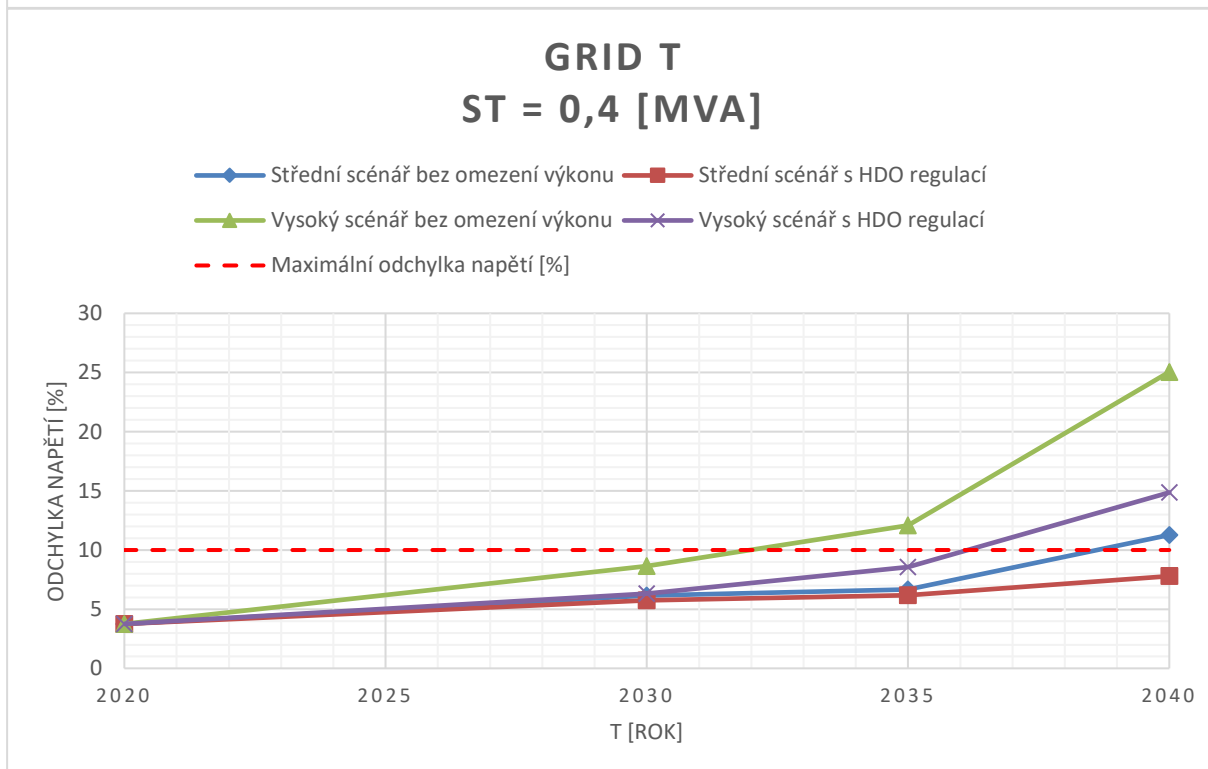
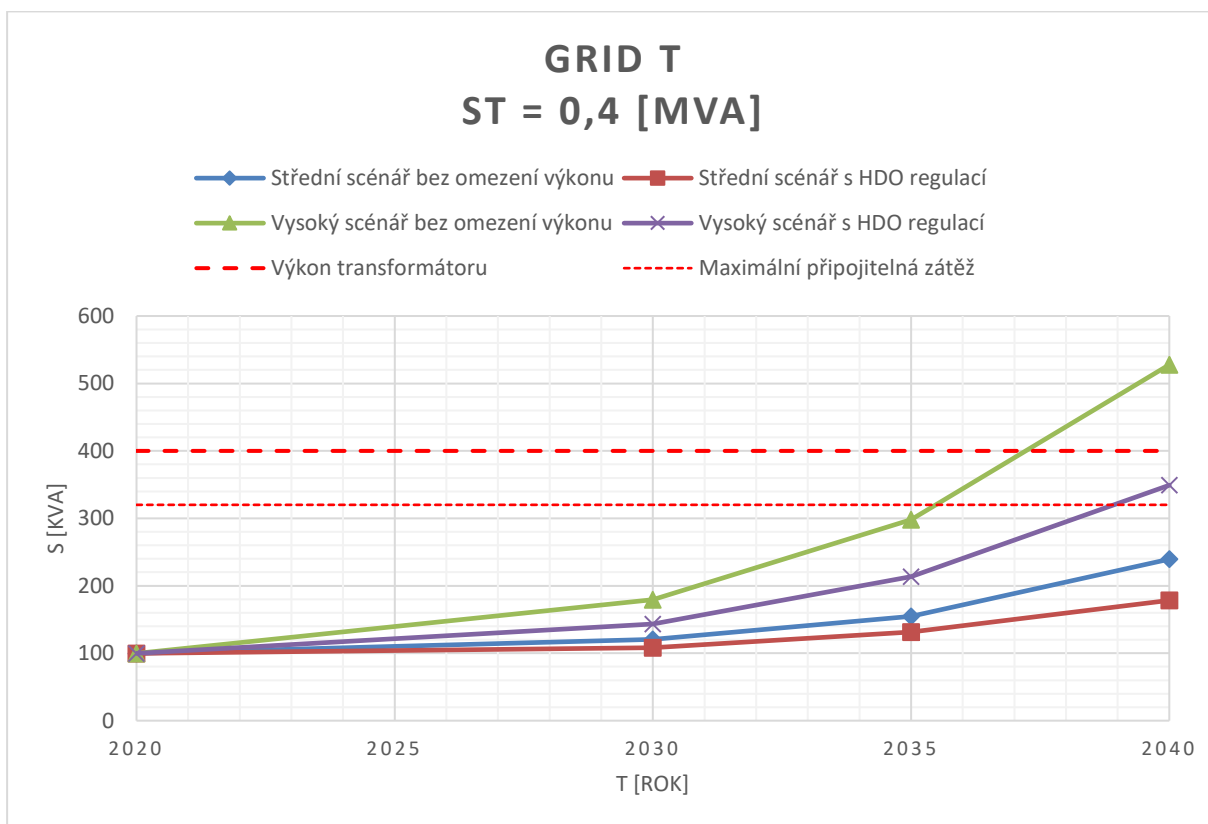


### 8.3 Síť T

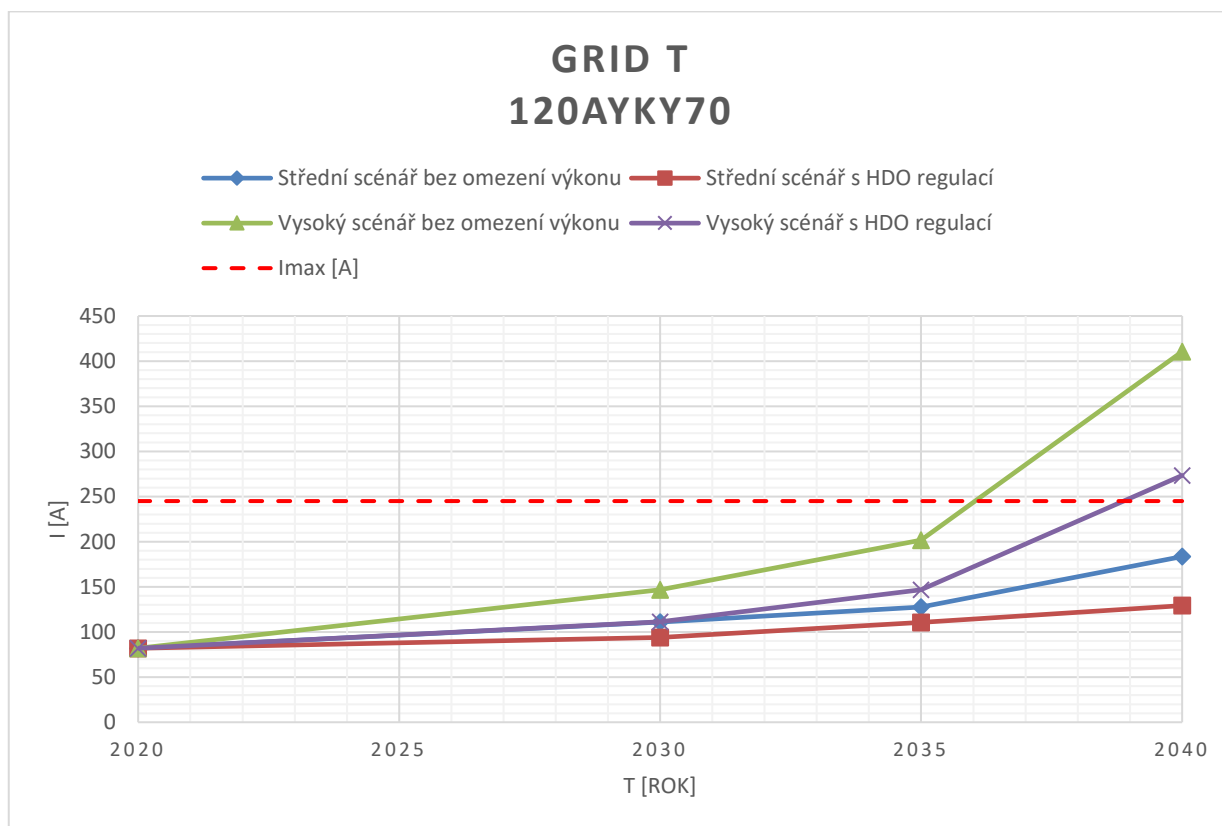
Nejrobustnější z uvažovaných sítí je vybavena 400 kVA transformátorem, který činí linku odolnou z pohledu výkonového zatížení. Z grafu vidíme, že i v nejnáročnějším Vysokém scénáři bez omezení výkonu je síť provozuschopná až do roku 2036 při zachování aktuálního stavu. V případě středního scénáře dokonce nedochází k překročení výkonové rezervy transformátoru dané sítě.

Stejně jako u předchozích sítí dochází v roce 2040 v překročení povolené odchylky od jmenovitého napětí na nejdálkových uzlech vedení, a to jak pro oba stavy vysokého scénáře, tak pro střední scénář bez omezení výkonu. Nejdálkový uzel leží 581 metrů od distribuční trafostanice. Pro vysoký bez omezení jde o 35 % odchylku viz. Příloha.

V případě vysokého scénáře dochází také k překročení limitů kmenových linek vedoucích od transformátoru typu 120AYKY70 pro případ bez regulace i HDO regulací. V topologii sítě jde o vedení V47. Z pohledu výkonu jde o nejlépe vybavenou linku, která by v případě aplikace systému řízení výkonu HDO nebo Smart-charging byla schopná fungovat ve stávající podobě.







## 8.4 Nesymetrie napětí

Dalším z rizik spojených s rozvojem elektromobility je vznik napěťových nesymetrií, vznikajících při připojení většího množství zátěží na stejnou fázi, způsobující její přetížení. Vycházíme ze sítě D pro Střední scénář bez omezení soudobosti systémem HDO. Pro tento stav je odběr zátěží sítě 70,61 kVA a přídavná zátěž připojených elektromobilů o velikosti 99 kVA. Celkem se tak jedná o 169,61 kVA odebíraného výkonu. Pomocí softwaru eVlivy testujeme, jak velké zastoupení vzhledem ke zbytku sítě musí mít 1 fázový odběr, aby způsobil alespoň 2 % odchylku mezi po sobě jdoucími hodnotami fázových napětí nebo fázových úhlů. Zbylá síť je nadále považována pro zjednodušení modelu jako ideální třífázová, kde jediným vlivem nesymetrie jsou 1 fázově připojované EV o výkonu 3,3 kVA.

Součástí sítě je celkem 45 odběrných míst s různými hodnotami TDD. Z hlediska nesymetrie je důležité rozmístění zátěží. Pokud by se soustředilo větší množství jednofázových zátěží do nejvzdálenějšího bodu sítě došlo by k překročení povolené hranice mnohem dříve než při rovnoměrném rozložení zátěží. Pokud pro uvažovanou síť dojde k připojení 1 fázové zátěže o velikosti 12 kVA dojde k překročení povolené velikosti nesymetrie v daném uzlu.



Předpokládali jsme rovnoměrné rozložení jednofázových zátěží a měřili jsme míru nesymetrie v nejrizikovějším bodě. Pro lepší přehlednost uvádíme v tabulce pouze počty 1-fázových zátěží v okolí výkonu, při kterém je překročena hranice vzniku napět'ové nesymetrie. Z grafu vidíme, že k překročení hranice povolené nesymetrie dochází při zapojení cca 30 kW na jednu fázi.

Při připojení této zátěže na jednu fázi dochází k překročení hranice vzniku 1-fázové nesymetrie na nejvzdálenějším uzlu sítě s označením 461. Uzel je od distribučního transformátoru vzdálen 578 metrů.

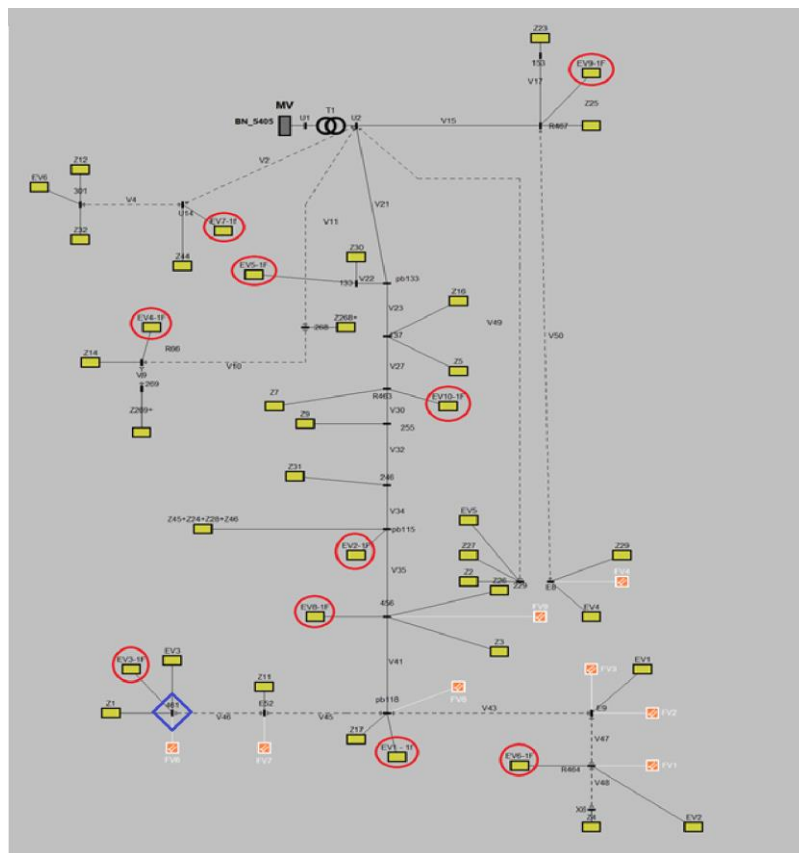
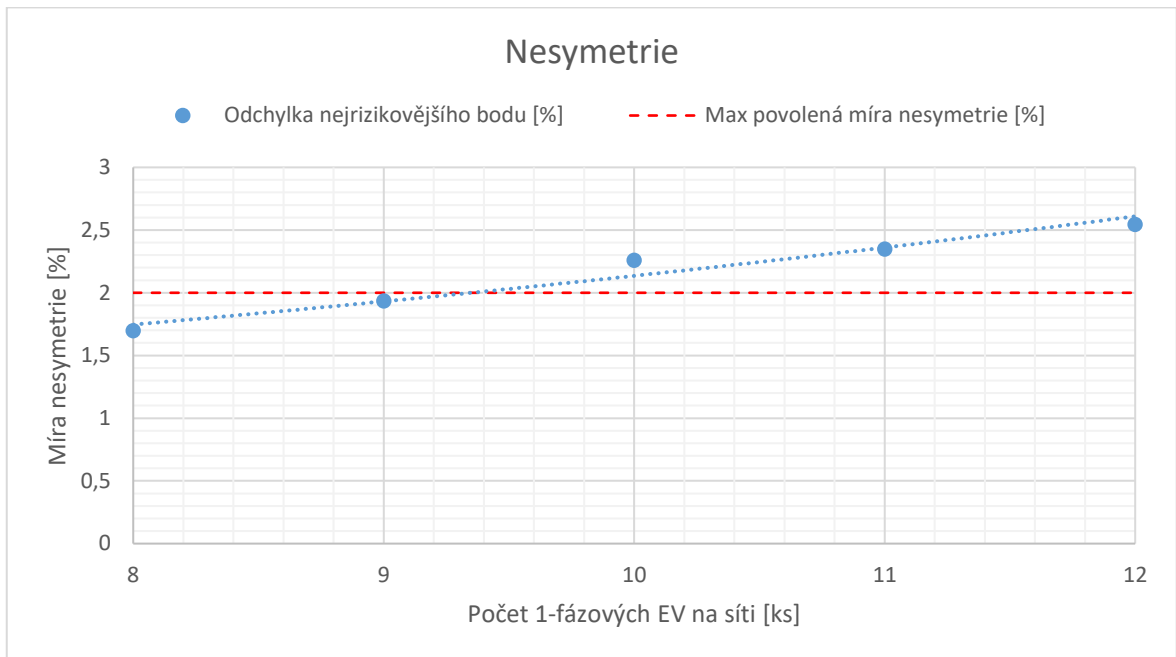
$$\text{Poměr jednofázového výkonu k celkové zátěži} = \frac{\text{Celková zátěž měřené fáze}}{\text{Celková zátěž sítě}}$$

Nesymetrie					
Počet 1-f EV [ks]	8	9	10	11	12
1-fázový připojený výkon [kVA]	26,4	29,7	33	36,3	39,6
Poměr jednofázového výkonu k celkové zátěži [-]	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23
Odchylka nejrizikovějšího bodu [%]	1,697	1,935	2,259	2,35	2,545

Tabulka 23 Nesymetrie

V našem případě je třeba pro vyvolání stavu napět'ové nesymetrie v nejvzdálenějším uzlu měřené sítě připojit na jednu fázi 18 % celkové zátěže sítě.

Na obrázku č. 17 můžeme vidět umístění 1-fázových odběrů EV rozvrstvených v měřené síti nn. V modrém kosočtverci se nachází uzel, ve kterém je nejvyšší riziko vzniku napět'ové nesymetrie. Jednofázové zátěže jsou označeny červeně. Jak již bylo řečeno tyto hodnoty jsou orientační a předpokládají rovnoměrné rozložení zátěží v síti. Riziko nesymetrie roste s velikostí připojeného výkonu, délkou sítě a vzájemnou blízkostí jednofázových zátěží.



Obrázek 17 Topologie sítě pro nesymetrii [10 1-f zátěží]



## 8.5 Vliv na celkovou spotřebu

Dopady na celoroční spotřebu nejsou tak závažné, jako v případě špičkových odběrů. Vycházíme z předpokladů, že:

- Průměrný denní dojezd EV je 55 km
- Průměrná spotřeba je 16 kWh/100 km

Z toho vyplývá, že EV v průměru spotřebuje za den 8,8 kWh.

$$\text{Roční spotřeba EV} = S_{avg} * EV_{total} * 365$$

$S_{avg}$  - průměrná denní spotřeba

$EV_{total}$  - celkový počet EV

$$\text{Zvýšení spotřeby} = \frac{\text{Roční spotřeba EV}}{\text{Celoroční spotřeba ČR}} * 100 [\%]$$

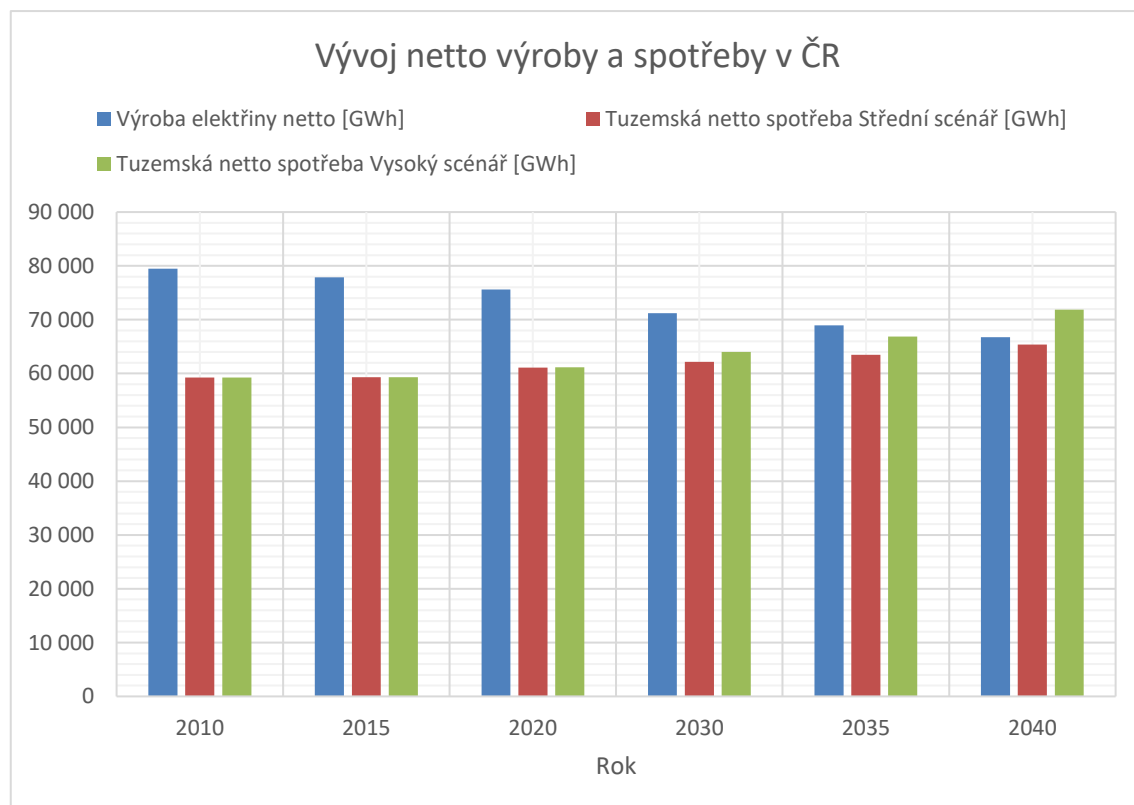
V případě provozu 1 milionu EV v roce 2040, který predikuje střední scénář by se zvýšila celková roční spotřeba ČR, která byla pro rok 2016 o velikosti 60,88 TWh o 5 %. Celoročně jde o 3,2 TWh. Pro vysoký scénář a 3 miliony EV jde o 15 % zvýšení zátěže. V tabulce č. 24 vidíme vývoj netto výroby a spotřeby ČR. Mezi roky 2007 a 2016 můžeme pozorovat pokles celkové netto vyrobené elektřiny a mírný růst celkové roční netto spotřeby. Saldo udává rozdíl mezi výrobou a spotřebou. V roce 2016 bylo vyrobeno o 16 GWh elektřiny více, než bylo na území ČR spotřebováno. Na základě těchto dat vyplývá meziroční změna vyrobené netto elektřiny -444 GWh a meziroční změna spotřeby 44,78 GWh. Za předpokladu těchto meziročních změn by v roce 2040 bylo saldo -5,8 TWh. Vzhledem k rozvoji elektromobility je tak vhodné rozšíření výroby elektřiny v ČR.

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Výroba elektřiny netto [GWh]	81 413	77 085	75 990	79 465	81 028	81 088	80 858	79 886	77 881	77 415
Tuzemská netto spotřeba [GWh]	59753	60478	57112	59255	58634	58799	58656	58295	59280	60881
Saldo [GWh]	-21660	-16607	-18878	-20210	-22394	-22289	-22202	-21591	-18601	-16534

Tabulka 24 Netto výroba a spotřeba ČR [28]



V grafu vidíme predikci vývoje netto výroby a spotřeby v ČR v závislosti na scénářích rozvoje elektromobility. Vycházíme z meziročních změn za posledních 10 let viz. Tabulka č.24 a velikost spotřeby je navýšena o odběry elektromobilů v daném scénáři. Za těchto předpokladů vidíme, že dochází k vyrovnání celkové vyrobené a spotřebované energie na území ČR okolo roku 2035. V případě vysokého scénáře vývoje dochází pro rok 2040 k situaci, kdy je spotřeba větší než výroba. Do budoucna je tak vhodná výstavba dalších výroben elektrické energie.



## 8.6 Doporučení

### 8.6.1 Regulace zátěží

Z vypočtených hodnot vidíme, že v horizontu 20 let je reálné riziko přetížení stávajících sítí nn s venkovními vodiči slabších průřezů a větších délek. Jedním ze způsobů, kterým lze tomuto riziku předejít je řízení soudobosti odběrů. V praktické části jsme s pomocí citlivostní analýzy otestovali, při jaké soudobosti by byla schopná ve špičce zatížení fungovat nejrizikovějších sítí grid L. Účelem je zjistit, jaké kvality by musel systém řízení zátěže dosahovat bez nutnosti inovace linek distribuční sítě až do roku 2040. Počítáme s 20% rezervou ve zdánlivém výkonu transformátoru a 5% rezervou, která představuje ztráty na vedení. To pro síť L činí 75 kVA. Pro dosažení tohoto výkonu musí být vzhledem k počtu EV v jednotlivých scénářích odpovídající velikost koeficientu soudobosti.



$$S_{max} = S_{nT} * 0,8 * 0,95$$

Předpokládáme 5 % rozdíl v soudobosti mezi 3 a 1 fázovým dobíjením, vzhledem k rychlejšímu dobíjení při třífázovém připojení. Pro střední scénář 1 milionu provozovaných EV by byla nutná soudobost 0,36 pro jednofázové a 0,31 pro třífázové EV, aby bylo zajištěno fungování nejméně odolné distribuční sítě. Pokud by bylo možné dosáhnout řízením odběrů toho, aby v nejméně vytižených časech byla nabíjena pouze třetina provozovaných EV bylo by možné tuto síť provozovat při středním scénáři podle NAP CM i bez navyšování její kapacity. V případě vysokého scénáře, kdy se počítá s až 3 miliony EV na území ČR jsou požadavky na regulaci vyšší. Pro udržení odebíraného výkonu na přípustných hladinách i pro síť grid L je třeba dosáhnout 0,15 soudobosti pro jednofázové EV a 0,10 pro třífázově dobíjené EV.

V tabulce vidíme, jak by vypadaly výkony v jednotlivých sítích při daných velikostech koeficientu soudobosti.

T [rok]	S řízením soudobosti			Bez řízení		
	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Odb D [kW]	70,77	78,31	110,01	71,71	126,06	356,69
Odb L [kW]	43,83	49,81	75,00	44,57	87,75	270,96
Odb T [kW]	94,47	104,19	145,11	95,68	165,82	463,44

Tabulka 25 Soudobost

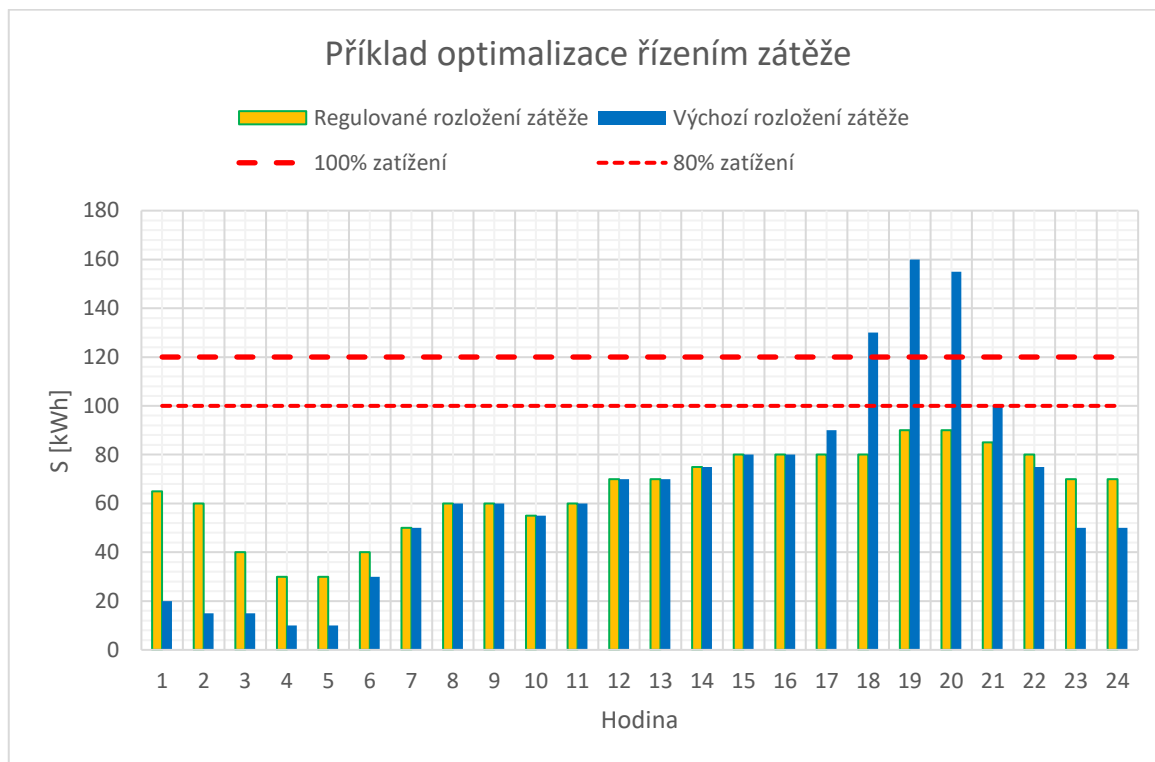
V případě středního scénáře vývoje by bylo teoreticky možné regulovat zatížení sítě tak, aby nedocházelo k přetížení v maximech odběru bez renovace vedení a zvyšování velikosti transformátorů. Pro vysoký scénář je však nutná kombinace systému řízení spotřeby ať už systémem HDO, nebo nově vyvíjeným systémem Smart-charging a fyzického zvýšení přenosové kapacity v případě některých sítí nn.

Elektromobil ujede za den v průměru 50 km při průměrné spotřebě 16 kWh na 100 km. V případě jednofázového dobíjení výkonem 3,3 kW by tak průměrná doba nabití EV byla cca 2,5 hodiny. V grafu příklad optimalizace řízením zátěže vidíme typovou situaci v síti před a po užití optimalizace rozložení zátěže v čase. Oba dva scénáře mají za 24 hodin stejnou celkovou spotřebu, liší se však její rozložení v čase.

Systém řízení spotřeby musí být schopen motivovat uživatele EV k přesunutí dobíjení do méně vytižených časů. Nutná je komunikace s lokální distribuční sítí nn v podobě měření sledovaných veličin kvality elektrické energie. Prostřednictvím těchto informací bude možné na



dispečerské úrovni řídit rozložení zátěží EV v čase. Toho lze například docílit finančními pobídkami ve formě snížené ceny odebírané elektřiny. V propojení s webovým či mobilním rozhraním pro majitele EV je tak možné flexibilně řídit odběry v sítích nn.



## 8.7 Finanční rozvaha

Vzhledem ke zvýšeným odběrům je nutná inovace sítí nn pro zajištění elektřiny o požadované kvalitě. Náklady na zvýšení přenosové kapacity se liší podle konkrétní sítě. V této části vypočítáme pro námi uvažované sítě nn cenu jejich renovace pro přenosy výkonů zapříčiněných rozvojem elektromobility. Pro každou síť počítáme náklady v rámci vysokého a středního scénáře. Výpočet provádíme pro rok 2040 na základě cen poskytnutých ČEZd pro výměnu částí v sítích nn. Součástí zadání je seznam cen úprav sítí nn dodaných ČEZd a jejich predikce na základě inflace do roku 2040 v pětiletých intervalech. Používáme ceny inovace v roce předcházejícím rizikovému stavu sítě. V případě grid D dochází k přetížení trafo při středním scénáři okolo roku 2036. Uvažujeme tedy cenu výměny trafo pro rok 2035. Pro vysoký scénář vývoje dochází k nutnosti inovace vedení a trafo v roce 2029, uvažujeme tedy ceny pro rok 2025. Použita je vždy nejnižší možná cena úpravy bez doplňkového dimenzování. V případě překročení SnT v síti je použito trafo s nejbližším vyšším výkonem. Uvažujeme jeho cenu



včetně dopravy na místo stavby, instalace a uvedení do provozu, výměnu jisticích prvků a demontáže starého modelu. Další položkou, která bude hrát roli bude v případě mnoha uživatelů EV nutnost zvýšení velikost jističe.

V tabulce vidíme ceny za úpravu jednotlivých sítí v situaci, kdy by nedocházelo k regulaci výkonu EV a distribuční síť by musela být dimenzována na příslušnou velikost odběrů. V případě středního scénáře u sítí vidíme, že by bylo nutno vyměnit trafo za model s vyšším výkonem, což je pro danou situaci dostatečná úprava. V případě vysokého scénáře rozvoje elektromobility zde však nastává nutnost posílit i vedení. Ceny nového kabelového vedení jsou uvažovány pro vesnické instalace. Výměna vedení počítá s připojením 1x AYKY do 240 mm<sup>2</sup>, včetně prací nutných k jeho zapojení do stávající sítě a prací k instalaci koncovky, spojky skládky, záboru a zádlažby. Jednou z možností zvýšení přenosové kapacity vedení je vybavit stávající vedení venkovním závěsným vodičem AES, který má oproti klasickým AlFe vodičům lepší přenosové schopnosti při srovnatelném namáhání opěrných bodů až o 70 %. Dále se uvádí oproti klasickým holým vodičům až o 80 % snížená poruchovost. Tuto možnost jsme však nevyužili. Grid D byla již těmito vodiči vybavena a pro zbylé sítě by přenosová schopnost získaná pouhým přidáním tohoto vodiče nebyla dostatečně zvýšena.

V případě sítě Grid T nastane v rámci vysokého scénáře vlivem velikosti odběrů a odchylek napětí v síti potřeba nové distribuční trafostanice.

Sít	Scénář	Trafo [Kč]	Vedení [Kč]	Celkem
GridD 2040	Střední	398 085	0	398 085,22 Kč
	Vysoký	537 393	430 463	967 856,75 Kč
GridL 2040	Střední	369 527	0	369 526,72 Kč
	Vysoký	623 667	435 403	1 059 069,75 Kč
GridT 2040	Střední	623 667	0	623 666,85 Kč
	Vysoký	1 724 458	430 819	2 155 276,91 Kč

Tabulka 26 Náklady na inovaci

Námi uvažované sítě jsou vesnické a patří mezi rizikovější v celkovém počtu distribučních sítí. Městské sítě jsou obecně lépe dimenzovány a mají lepší předpoklady ke zvládnutí zvýšených zátěží.





## 9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo nastínit problematiku, kterou sebou přináší rozvoj elektromobility a analyzovat vliv elektromobilů na konkrétní síť nízkého napětí. Do budoucna se počítá s rychlým růstem elektromobility a provozovatelé dobíjecích bodů a distribučních sítí musí ve spolupráci s výrobcí a uživateli nastavit takový model používání EV, který bude dlouhodobě udržitelný. Mezi hlavní výhody elektromobilů patří nižší provozní náklady v porovnání s klasickými automobily se spalovacím motorem a jejich ekologický provoz. Zároveň rozvoj elektromobility snižuje závislost na importovaných fosilních palivech.

Existuje potenciál pro využití EV jako úložiště energie a zvýšení flexibility sítě využitím baterií pro vykrývání odběrových špiček a rizikových stavů.

Důležitá je role státu a jeho vliv na regulaci provozu a dobíjení EV, například možné omezení 1 fázového výkonu za účelem předcházení napěťovým nesymetriím. Budoucí vývoje elektromobility bude určen mírou podpory pro rozvoj odvětví ze strany státu. Podle míry podpory jsou možné dva scénáře vývoje, střední a vysoký. Důležitým faktorem je vybudování sítě dobíjecích stanic a technická podpora.

Hlavním rizikem, který rozvoj elektromobility přináší je zvyšování odběrových špiček v sítích nn a s ním spojené přetěžování transformátorů a snižování kvality napětí. V praktické části můžeme na konkrétních příkladech pozorovat vývoj elektromobility a její vliv na stávající síť. Na příkladech vidíme, že v závislosti na scénáři vývoje mohou jisté síť dosáhnout hranice připojených zátěží již před rokem 2030. Uvažované síť byly starší vesnické a více rizikové. Za předpokladu 2 automobilů na odběrové místo je u těchto sítí nutná úprava pro potřeby dobíjecích výkonů. Výsledky nejsou aplikovatelné na celou distribuční soustavu, a především novější městské síť by měly mít dostatečnou záložní výkonovou kapacitu.

Klíčovým krokem bude vývoj a aplikace vhodného nástroje pro řízení soudobosti napájení elektromobilů pro zajištění chodu sítě a garantované kvality přenášené energie. Včasnou aplikací systému řízení spotřeby je možné dosáhnout významných úspor v inovaci lokálních sítí ať už pomocí systému HDO, či nově vyvíjeným a testovaným systémem Smart-Charging. V případě snížení soudobosti o 25 % systémem řízení HDO je možné prodloužení životnosti stávajících sítí o cca 3 roky.

Nástup elektromobility bude postupný a poskytuje čas na úpravu rizikových sítí. Je nutná komplexní analýza těchto typů sítí a jejich úprava v závislosti na jejich rizikovosti a lokálních podmínkách. V případě vysokého scénáře vývoje elektromobility je vhodná renovace rizikových sítí do roku 2025 a v případě středního scénáře vývoje do roku 2030.



## Bibliografie

- [1] Bloomberg, „EV Sales,“ 6 7 2017. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-07-06/the-electric-car-revolution-is-accelerating>. [Přístup získán 10 4 2018].
- [2] M. Bednář, „www.autoforum.cz,“ 20 7 2017. [Online]. Available: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/rozmach-elektrickych-aut-muze-zastavit-jediny-vzacny-kov-a-lithium-to-neni/>. [Přístup získán 15 4 2018].
- [3] The Canadian Fuels Association, „www.canadianfuels.ca,“ 15 Zář 2016. [Online]. Available: <http://www.canadianfuels.ca/Blog/September-2016/ICE,-HEV,-PHEV-and-BEV-%E2%80%93-What-they-mean-and-what-s-under-the-hood/>. [Přístup získán 15 Březen 2018].
- [4] EAFO, „www.eafo.eu,“ EAFO, 1 Březen 2018. [Online]. Available: <http://www.eafo.eu>. [Přístup získán 20 3 2018].
- [5] IEA, „www.iea.org,“ Červen 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>. [Přístup získán 18 3 2018].
- [6] EAFO, „www.eafo.eu,“ 1 Duben 2018. [Online]. Available: <http://www.eafo.eu/content/czech-republic>. [Přístup získán 4 Květen 2018].
- [7] MZP, „www.mzp.cz,“ 1 Ř 2015. [Online]. Available: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista\\_mobilita\\_seminar/\\$FILE/SOPSPZ-NAP\\_CM-20160105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSPZ-NAP_CM-20160105.pdf). [Přístup získán 15 2 2018].
- [8] Technická normalizační komise, *ČS EN 61851-21*, Brno: Technická normalizační komise, 2002.
- [9] Smartev, „www.smartev.cz,“ [Online]. Available: <http://www.smartev.cz/cz/centrum-znalosti/>. [Přístup získán 2 Květen 2018].
- [10] T. Marcucci, „www.edn.com,“ 2013. [Online]. Available: [www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works](http://www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works). [Přístup získán 6 Duben 2018].
- [11] Wikipedia, „wikipedia.org,“ 23 Prosinec 2015. [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196#/media/File:2015-12-23\\_Typ-2-Ladestecker.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/IEC_62196#/media/File:2015-12-23_Typ-2-Ladestecker.jpg). [Přístup získán 15 2 2018].
- [12] Wikipedia, „wikipedia.org,“ 2017. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Combined\\_Charging\\_System#/media/File:Iec-type2-ccs-combo2-and-iec-type2-charging-connectors-side-by-side.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_Charging_System#/media/File:Iec-type2-ccs-combo2-and-iec-type2-charging-connectors-side-by-side.jpg). [Přístup získán 28 Duben 2018].
- [13] Solvingev, „solvingev.com,“ 2018. [Online]. Available: <http://solvingev.com/charger-type/chademo>. [Přístup získán 12 3 2018].



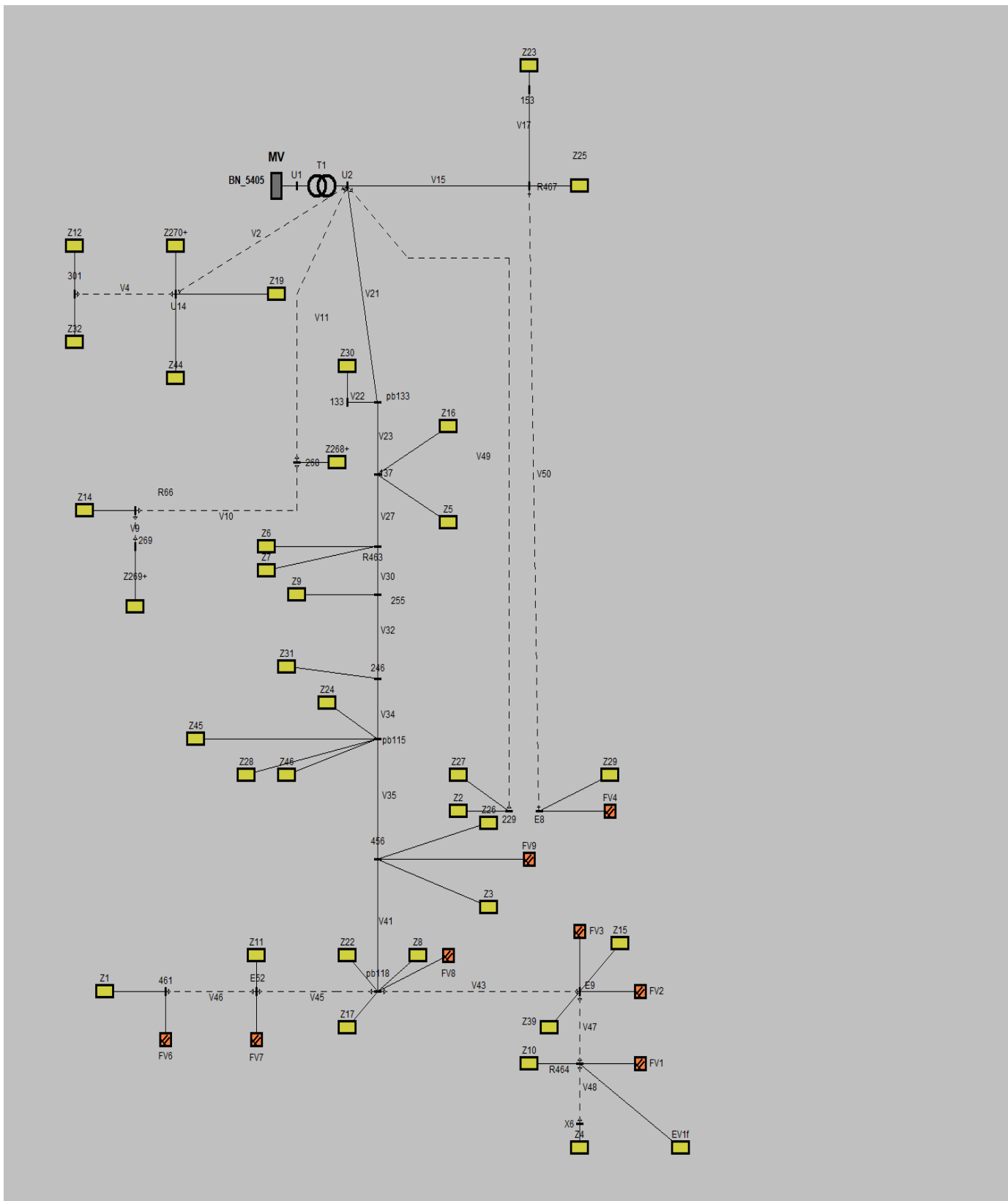
- [14] Conrad, „www.conrad.cz,“ [Online]. Available: <https://www.conrad.cz/schuko-zasuvka-pro-zasuvkovy-dil-bila-71680.k623312>. [Přístup získán 28 Duben 2018].
- [15] ČEZ, „www.elektromobilita.cz,“ [Online]. Available: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeni-na-cestach.html>. [Přístup získán 7 Leden 2018].
- [16] Open Charge Alliance, „www.openchargealliance.org/,“ [Online]. Available: <http://www.openchargealliance.org/protocols/>. [Přístup získán 8 Květen 2018].
- [17] ČEZ, „www.elektromobilita.cz,“ 2016. [Online]. Available: <http://www.elektromobilita.cz/cs/mapa-dobijecich-panic.html>. [Přístup získán 7 Leden 2018].
- [18] P. O'Connor, „blog.ucsusa.org,“ 7 Leden 2016. [Online]. Available: <https://blog.ucsusa.org/peter-oconnor/what-is-smart-charging-a-look-at-how-electric-vehicles-fit-in>. [Přístup získán 9 Únor 2018].
- [19] J. K. W. Arian, „www.edsoforsmartgrids.eu,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/wp-content/uploads/EDSO-paper-on-electro-mobility-2.pdf>. [Přístup získán 10 2 2018].
- [20] The Mobility House, „www.mobilityhouse.com,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.mobilityhouse.com/en/vehicle-to-grid-und-vehicle-to-home/>. [Přístup získán 27 Únor 2018].
- [21] OTE, „www.ote-cr.cz,“ 2018. [Online]. Available: : <http://www.ote-cr.cz/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektřiny/prepoctene-tdd>. [Přístup získán 28 Duben 2018].
- [22] ERÚ, „www.eru.cz,“ 2012. [Online]. Available: [https://www.eru.cz/documents/10540/474995/Priloha\\_4\\_541.pdf/91493ff9-be09-4af0-8791-87b36410b071](https://www.eru.cz/documents/10540/474995/Priloha_4_541.pdf/91493ff9-be09-4af0-8791-87b36410b071). [Přístup získán 28 Duben 2018].
- [23] ČSN EN, *ČSN EN 5016*, Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [24] Jaroslav Riedl, *Technická koncepce systému HDO*, Praha: ČEZ, 2018.
- [25] IEA, „www.iea.org,“ 8 Květen 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/media/topics/transport/3030CampaignDocumentFinal.pdf>. [Přístup získán 18 Březen 2018].
- [26] S. B. Hawkins Troy, „onlinelibrary.wiley.com,“ 10 Říjen 2012. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>. [Přístup získán 10 Květen 2018].
- [27] W. M. Helmers E, „www.dovepress.com,“ 30 Říjen 2016. [Online]. Available: <https://www.dovepress.com/advances-and-critical-aspects-in-the-life-cycle-assessment-of-battery--peer-reviewed-fulltext-article-EECT>. [Přístup získán 10 Květen 2018].
- [28] ERÚ, „www.eru.cz,“ 2017. [Online]. Available: [https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5](https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5). [Přístup získán 10 5 2018].
- [29] EAFO, „www.eafo.eu,“ 1 Duben 2018. [Online]. Available: <http://www.eafo.eu/vehicle-statistics/m1>. [Přístup získán 10 Duben 2018].



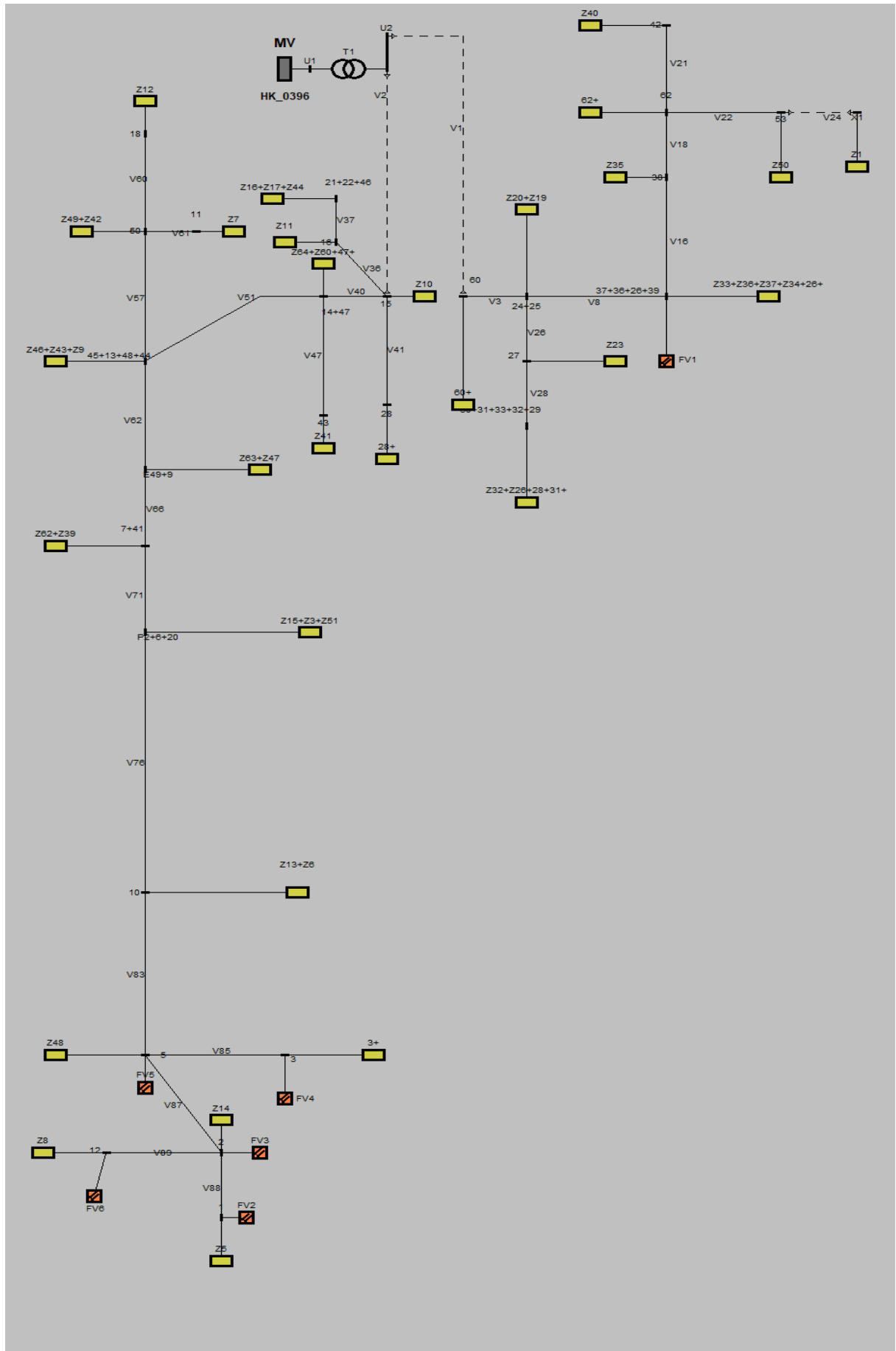
- [30] ČEZd, „[WWW.cezdistribuce.cz](http://www.cezdistribuce.cz)“, květen 2016. [Online]. Available: [https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2016/ppds\\_2016.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2016/ppds_2016.pdf). [Přístup získán 20. 1. 2018].

# Příloha

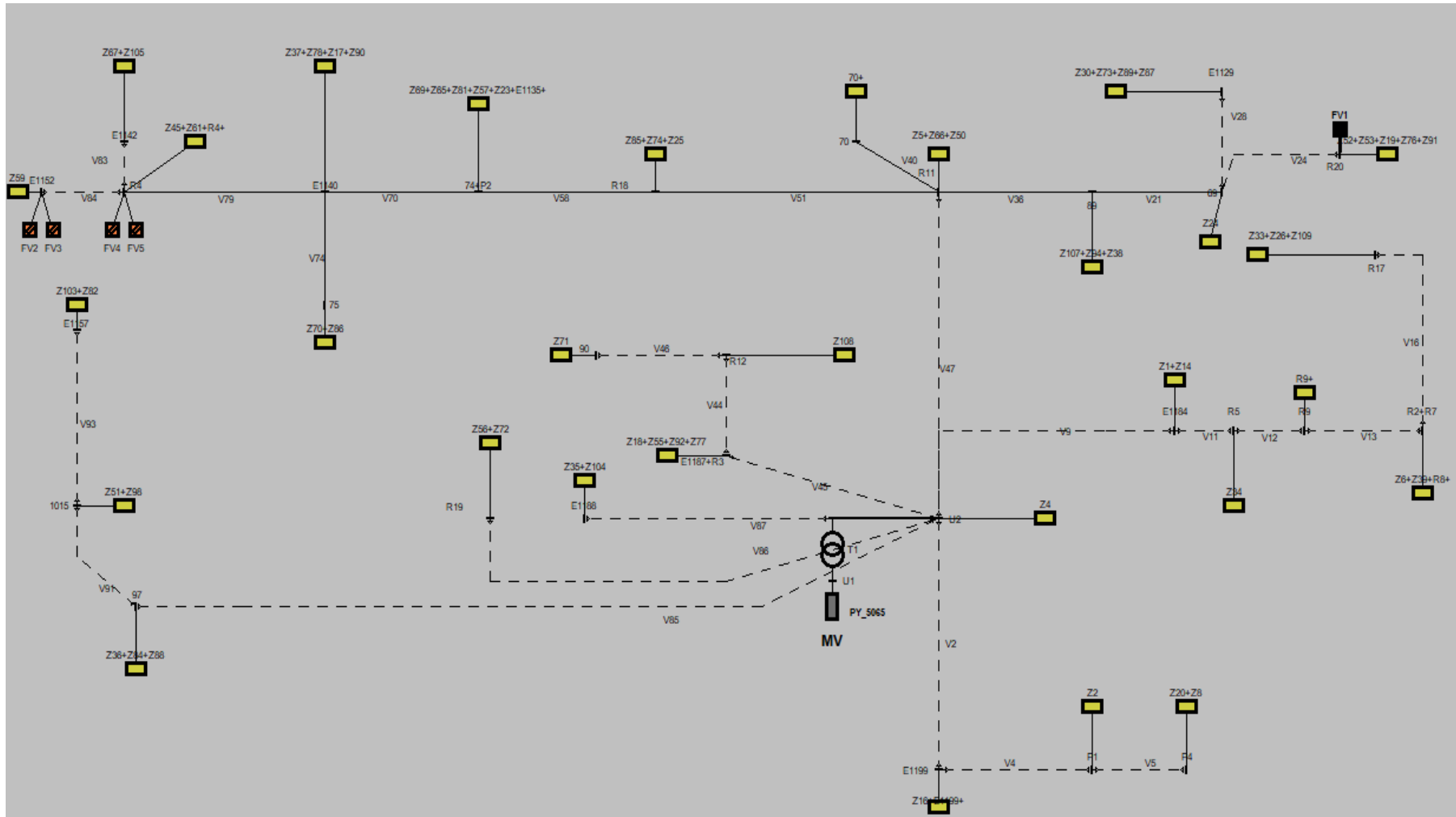
## Grid D-Topologie



# Grid L-Topology

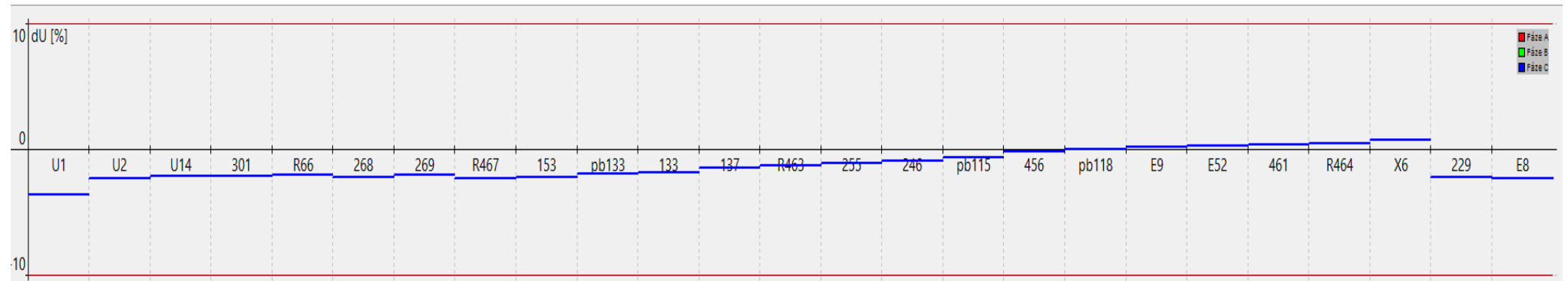


# Grid T-Topology

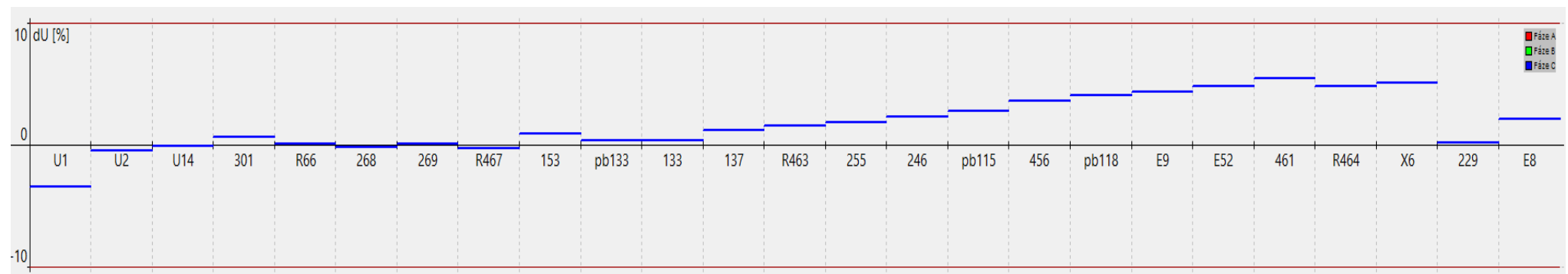


# Rozložení napětí

## Grid D – Rozložení napětí výchozí stav

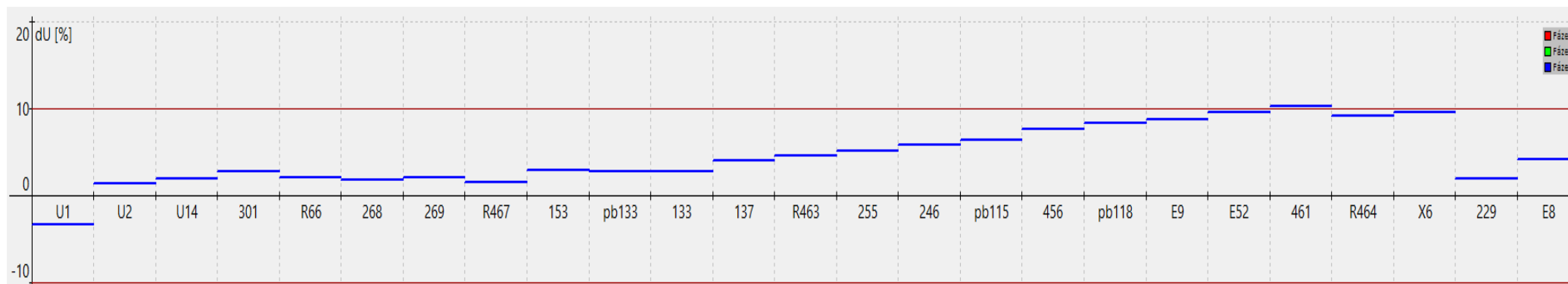


## Grid D – Rozložení napětí střední scénář bez omezení 2040

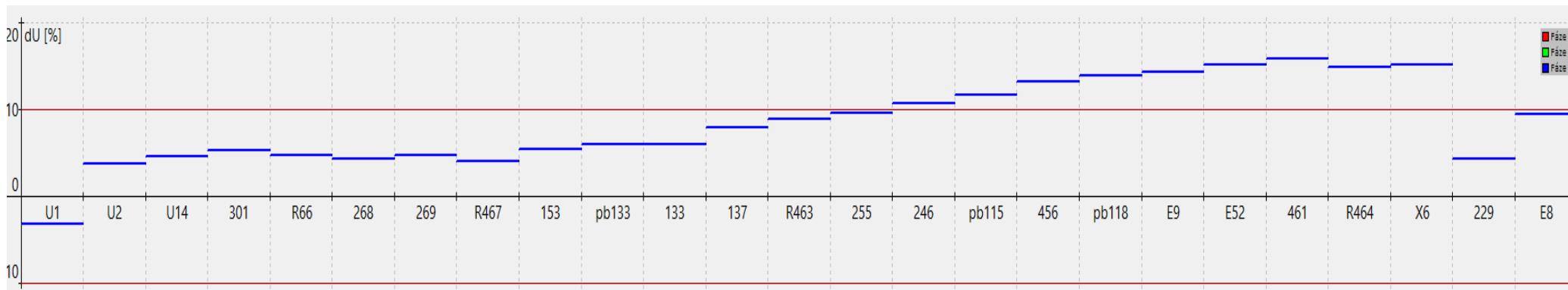




### Grid D – Rozložení napětí vysoký scénář HDO regulace 2040

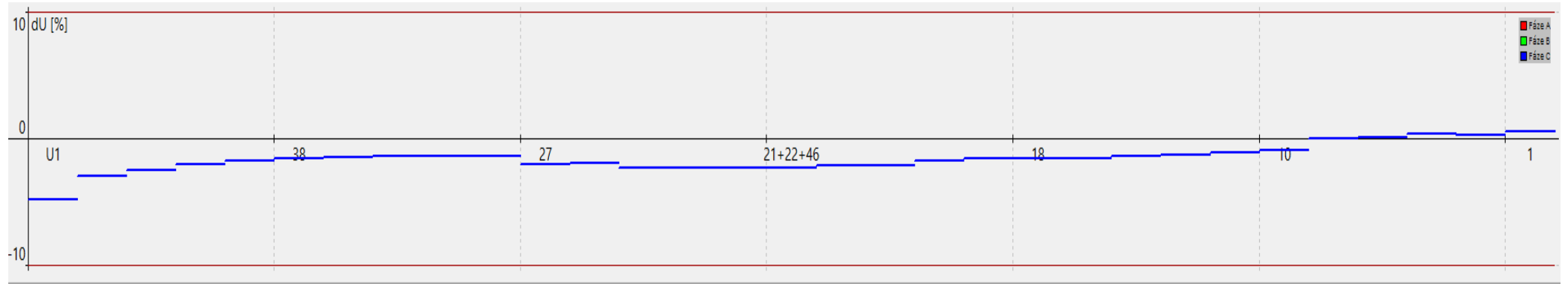


### Grid D – Rozložení napětí vysoký scénář bez omezení 2040

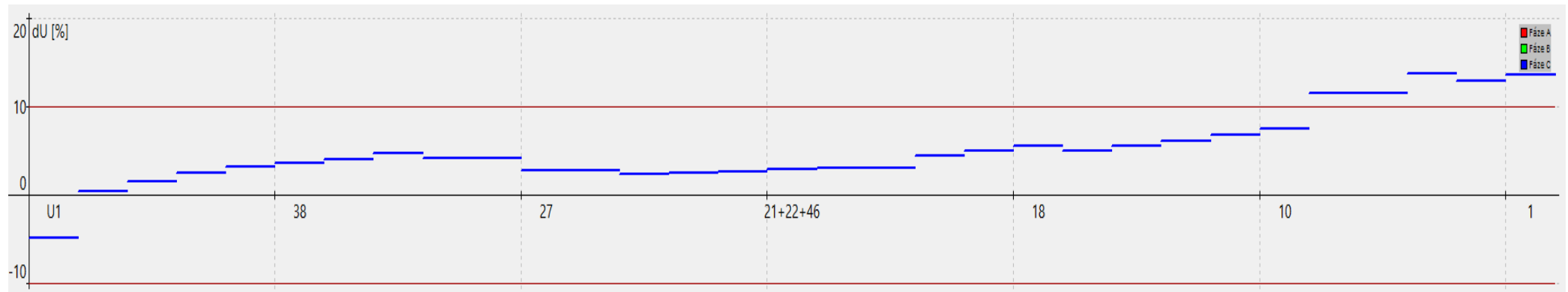


# Grid L

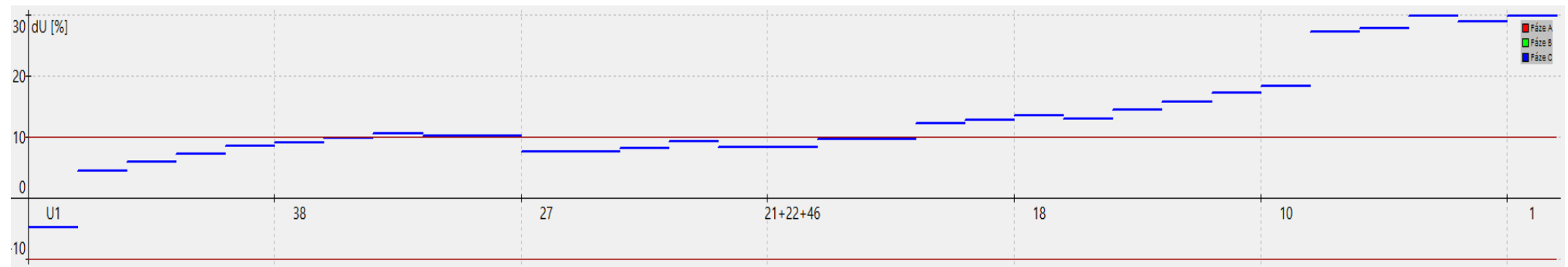
## Grid L – Rozložení napětí výchozí stav



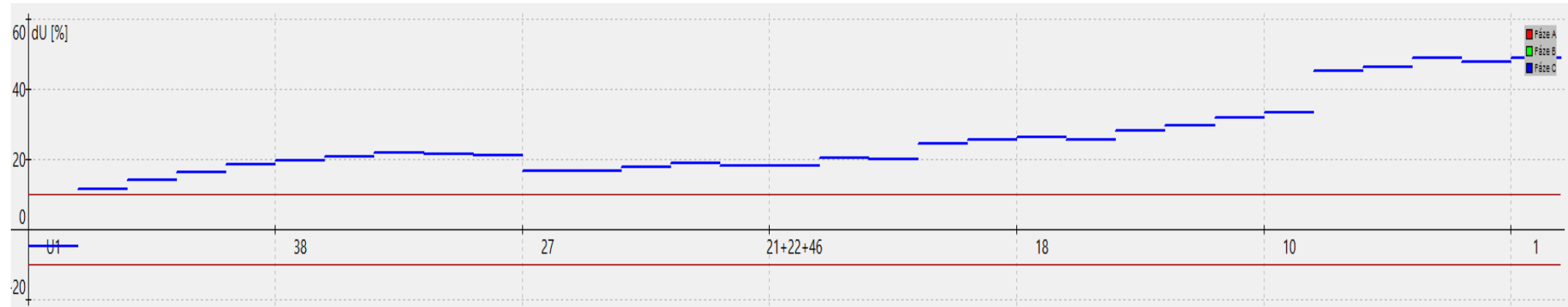
## Grid L – Rozložení napětí střední scénář bez omezení 2040



### Grid L – Rozložení napětí vysoký scénář HDO regulace 2040

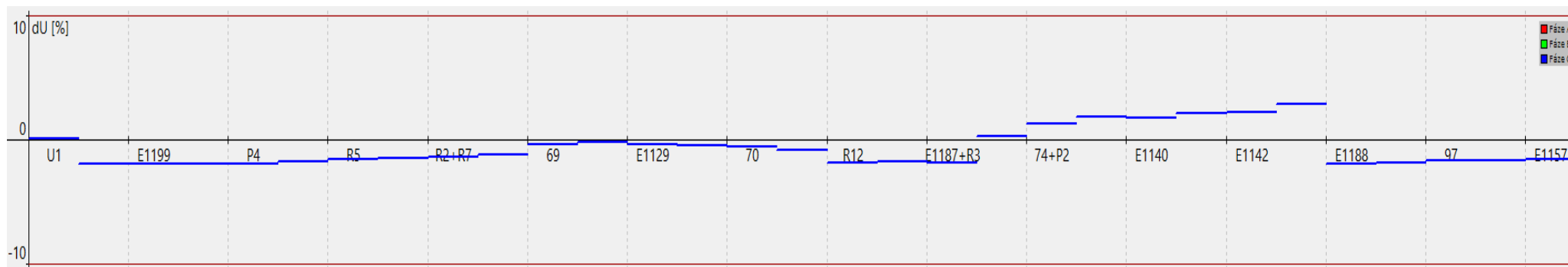


### Grid L – Rozložení napětí vysoký scénář bez omezení 2040

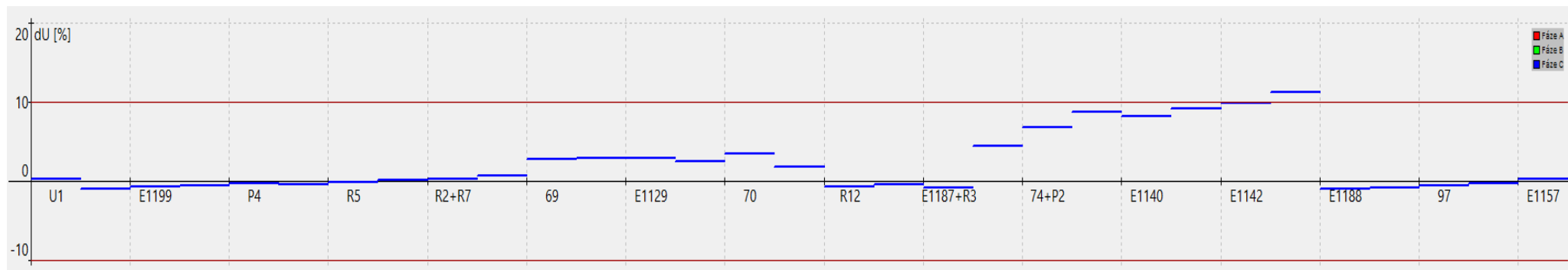


# Grid T

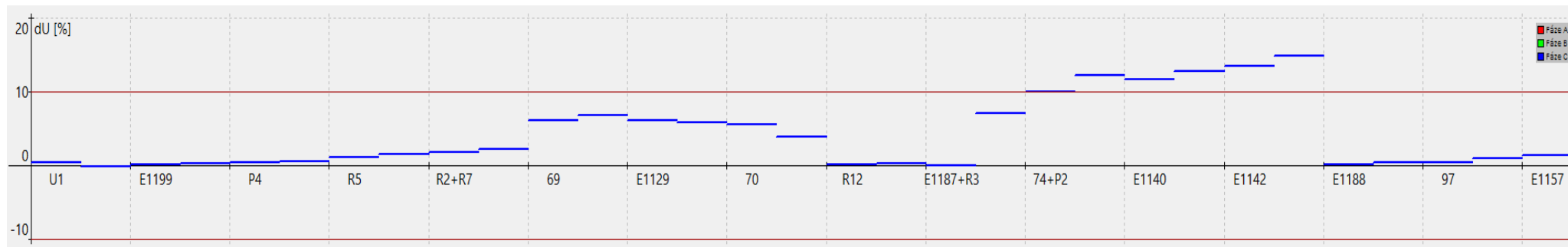
## Grid T – Rozložení napětí výchozí stav



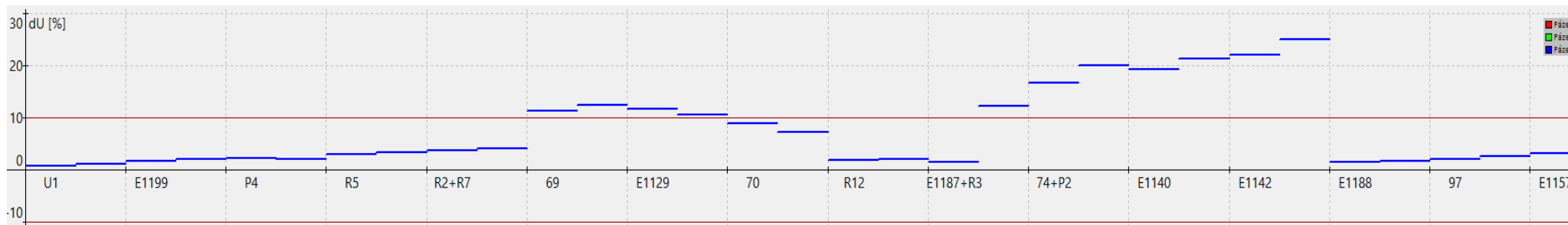
## Grid T – Rozložení napětí střední scénář bez omezení 2040



### Grid T – Rozložení napětí střední scénář HDO regulace 2040



### Grid T – Rozložení napětí vysoký scénář bez omezení 2040



## Nesymetrie – Grid D

