

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky



**Vliv e-mobility na elektrizační soustavu**

**E-mobility influence on Power Grids**

*Bakalářská práce*

**Jan Linhart**

**Praha 2018**

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D

*Studijní program:* Elektrotechnika, energetika a management

*Studijní obor:* Aplikovaná elektrotechnika

## **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 18. 5. 2018

.....  
Jan Linhart

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Zdeňku Müllerovi, Ph.D za poskytnuté materiály, cenné rady i čas, který mi věnoval, a bez kterých by tato práce nevznikla.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Linhart** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **457027**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv e-mobility na elektrizační soustavu**

Název bakalářské práce anglicky:

**E-mobility influence on Power Grids**

Pokyny pro vypracování:

1. Přehled technologií pro dobíjení elektromobilů.
2. Analýza vlivů elektromobility na elektrizační soustavu.
3. Případová studie.

Seznam doporučené literatury:

- [1] EN 50160
- [2] Kodexy přenosových a distribučních sítav
- [3] Dugan R.: Electrical Power System Quality. McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-0071761550

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D., K 13115 - katedra elektroenergetiky FEL ČVUT**

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

Datum zadání bakalářské práce: **16.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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

## **Anotace**

V první části této bakalářské práce je uvedena historie elektromobilů včetně jejich současného stavu v České republice. Následně je zde seznámení s právním prostředím, hlavně pro provozování dobíjecích stanic. Dále se zaměřuji na základní obecné informace spojené s tímto tématem. Například na výhody a nevýhody elektromobilů, technologie dobíjení, používané vozidlové nástrčky a přívodky a přehled dobíjecích stanic v ČR. V další části je vypočteno zvýšení spotřeby elektrické energie, zapříčiněné různým počtem elektromobilů, a zvážení dopadu dobíjení na denní diagram zatížení. Na závěr je provedena případová studie, pro tři konkrétní části distribuční soustavy, při různých případech dobíjení.

## **Klíčová slova**

dobíjecí stanice, elektromobil, elektromobilita, nabíjení, plug-in hybrid, spotřeba elektrické energie, úbytek napětí, zatížení sítě

## **Summary**

In the first part of this bachelor thesis there is presented the history of electric vehicles including their current state in the Czech Republic. The following part is focused on introduction to the legal environment, mainly for the operation of charging stations, and on general information related to this topic. For example, the advantages and disadvantages of electric vehicles, charging technology, used vehicle plugs and sockets, and a list of charging stations in the Czech Republic. The following section concentrates on possible increase in electricity consumption caused by different numbers of electric vehicles. Impacts are calculated and considered for charging on the daily load diagram. In conclusion, there is carried a case study out for three specific parts of the distribution system with different cases of charging.

## **Keywords**

charging station, electric vehicle, electromobility, plug-in hybrid, power consumption, voltage drop, power load

## Obsah

Úvod.....	7
1 Vývoj elektromobilů.....	8
1.1 Historie .....	8
1.2 Rozdělení vozidel s elektrickým pohonem .....	10
1.3 Výhody a nevýhody elektromobilů.....	10
1.4 Současný stav v ČR .....	11
2 Legislativa .....	12
3 Technologie dobíjení .....	14
3.1 Dobíjení .....	14
3.2 Režimy dobíjení .....	15
3.3 Zajišťované funkce u režimů nabíjení .....	16
3.4 Typy připojení při použití kabelů a vidlic .....	17
3.5 Používané vozidlové nástrčky a přívodky.....	18
3.6 Bezdrátové indukční dobíjení .....	19
3.7 Přehled dobíjecích bodů v ČR .....	20
4 Analýza vlivů elektromobility na elektrizační soustavu .....	22
4.1 Nárůst spotřeby způsobené elektromobilitou.....	22
4.2 Zvýšení zatížení.....	24
5 Případová studie .....	27
5.1 Distribuční síť 1.....	27
5.2 Distribuční síť 2.....	32
5.3 Distribuční síť 3.....	39
6 Závěr .....	43
Seznam symbolů a zkratk .....	45
Seznam použité literatury .....	46
Seznam obrázků .....	48
Seznam tabulek .....	48
Seznam příloh .....	49
Přílohy.....	50

## Úvod

Elektromobilita v posledních letech zažívá veliký rozvoj. Důvodem je hledání nových typů tzv. alternativních pohonů. Přechod na alternativní pohony je dán z části snahou o snížení závislosti na ropě, přestože ropy je stále dostatek, což zajistily objevy dalších ložisek s využitím nové technologie těžení, tzv. frakování. Existují odvětví, ve kterých je ropa pro své vlastnosti doposud nenahraditelná, např. chemický průmysl a výroba léčiv. Dalším důvodem je snižování emisí skleníkových plynů, hlavně oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Zde je důležitá obezřetnost, je pravdou, že elektromobily během jízdy neprodukují žádné emise výfukových plynů a s jejich využíváním dochází ke snižování produkce  $\text{CO}_2$  v dopravě. Zde je ale důležité spojení „snižování produkce  $\text{CO}_2$  v dopravě“, protože celkové emise nižší být nemusí. Za celý životní cyklus, včetně výroby elektrické energie pro dobíjení, výroby a následné likvidace akumulátorů, může být produkce skleníkových plynů, mezi které  $\text{CO}_2$  patří, přibližně srovnatelná s automobily se spalovacím motorem. Pokud bychom dokázali naplno využít potenciál obnovitelných zdrojů elektrické energie, tak by samozřejmě byly elektromobily bezesporu výhodnější v porovnání se spalovacími motory. Nicméně vozidla s alternativním pohonem „odsouvají“ emise  $\text{CO}_2$  a prachových částic pryč z velkých měst, kde je velká hustota provozu a tím zlepšují kvalitu života obyvatel. Největším problémem u elektromobilů jsou akumulátory. Jejich cena je velmi vysoká, mají poměrně vysokou hmotnost a jejich kapacita omezuje dojezd vozidla. Proto je masové rozšiřování aktuálně hlavně závislé na vyvíjení nových typů akumulátorů. Dále je také nutné vytvořit dostatečně hustou síť dobíjecích stanic.

V první části této práce uvedu obecné informace potřebné pro nastínění dané problematiky. Je jisté, že rozšíření vozů s elektrickým pohonem, bude mít vliv na parametry v elektrizační soustavě. Proto se následně v praktické části zaměřím na dopad elektromobility na distribuční soustavu. Spočítám možný nárůst spotřeby elektrické energie a výkonového zatížení. Dále provedu případovou studii pro konkrétní části distribuční sítě, kdy budu do jednotlivých odběrných bodů umisťovat simulované dobíjení elektromobilů. Při tom budu zkoumat změny parametrů sítě a jejich limitující hodnoty.

# 1 Vývoj elektromobilů

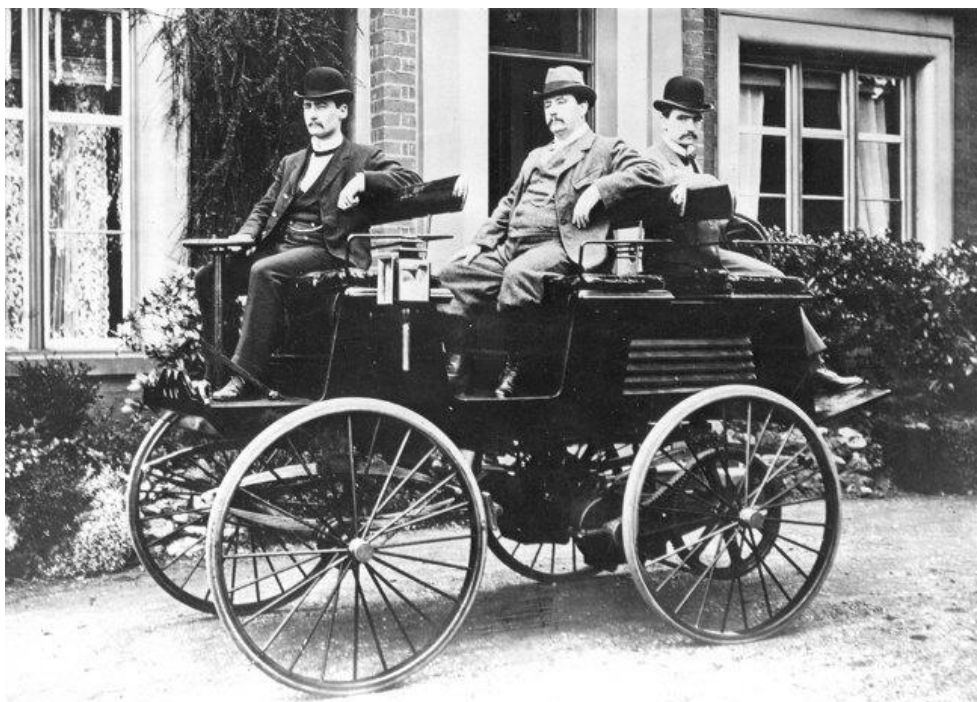
## 1.1 Historie

Ačkoliv se elektromobily, díky jejich rozmachu v posledních letech, mohou zdát jako nový vynález, není tomu tak. Myšlenka postavit elektricky poháněný vůz je poměrně stará, zrodila se velmi brzo po objevení elektrického motoru. Za úplně prvního předchůdce elektromobilu je považován vůz z roku 1835, který postavil nizozemský profesor Sibrandus Stratingh se svým asistentem Christopherem Beckerem. Jednalo se o malý model s primitivním elektromotorem poháněným z jednorázové baterie, kterou si vezl s sebou. [1], [2]



*Obr. 1.1-1 Stratinghův elektrický vůz, 1835 [3]*

Opravdu pracující elektrický silniční „kočár“ sestavil Angličan Robert Davidson roku 1873, nicméně poháněný bateriemi pouze na jedno použití. V roce 1884 postavil Angličan Thomas Parker elektrický vůz, který již využíval dobíjecí baterie vytvořené jeho společností Elwell-Parker Ltd. [1], [2]



*Obr. 1.1-2 Elektrický vůz Thomase Parkera (sedící uprostřed) [4]*



Dalším významným milníkem bylo překonání rychlosti 100 km/h. Belgičan Camille Jenatton 29. dubna 1899 vytvořil nový světový rychlostní rekord 105,88 km/h. To se mu podařilo s elektromobilem Jamais Contente ve tvaru rakety. [1], [2]

Na území českých zemí se mimo jiné stavbou elektrického vozu zabýval významný český elektrotechnik a vynálezce František Křižík, který v roce 1895 dokončil svůj první prototyp. Byl poháněn stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW. Jeho druhý typ využíval v každém zadním kole zabudovaný elektromotor o výkonu 2,2 kW. Třetí vůz doplnil benzinovým motorem, ten poháněl dynamo, které dobíjelo akumulátor. Jednalo se tedy o jedno z prvních vozidel s hybridním pohonem, který umožnil prodloužení dojezdu. [1], [2]

V rozmezí let 1900-1910 dosáhly elektromobily svého největšího úspěchu. Jejich podíl na americkém trhu byl 38 %. Dále byly zastoupeny vozidla s parním pohonem ze 40 % a benzinové vozy z 22 %. Tyto tři typy pohonů měly své klady i zápory. Parní stroje byly dobře zavedené, výkonné, rychlé a spolehlivé, ale měly dlouhé doby spouštění (25–45 min), krátký dojezd daný nutností doplňování vody a vyžadovaly kvalifikované obsluhy. Automobily s benzinovým pohonem byly hlučné, zapáchající, nespolehlivé, nestálé, silně vibrující, změny rychlosti byly obtížné a měly náročné a nebezpečné startování klikou. Naopak elektrické vozy byly tiché, bez zápachu, spolehlivé, jednoduché na ovládání, snadno se startovaly, ale byly velmi drahé, pomalé (24–32 km/h) a měly krátký dojezd (30–60 km) daný dobíjením akumulátorů. Pro svoji jednoduchost obsluhy byly elektromobily označovány jako vozy pro ženy. S postupným rozšiřováním silniční infrastruktury, hlavně propojováním velkých amerických měst, vzrůstala poptávka po vozech s větším dojezdem. Následně dochází k objevům velkých nalezišť ropy, což způsobí pokles ceny benzínu. Ve stejné době zavádí Henry Ford montážní linku a tím dochází k výraznému snížení ceny jeho vozidel se spalovacím motorem. Nakonec je vyřešen i problém náročného startování klikou vynálezem elektrického startéru. To způsobí jejich rozšíření a postupný zánik elektromobilů. [1]

Obnovení zájmu o elektromobily přinesla až ropná krize kolem roku 1965 a také nepříznivý vývoj životního prostředí. Naše státní orgány tak pověřily některé organizace výrobou a testováním vzorku elektromobilů s finančním krytím státem. Výzkumný ústav elektrických strojů v Brně spolu s brněnským Vysokým učení technickým vyrobily funkční prototypy elektrického městského automobilu EMA 1 a následně EMA 2. Nicméně celá akce poměrně brzy a bez sebemenších úspěchů skončila. Každopádně tato situace podnítila jednotlivce nebo malé skupiny kutilů, kteří stavbě a vývoji svých elektromobilů věnovali množství volného času. [1], [2]

Z dnešních zavedených automobilek má pravděpodobně nejdelší tradici ve vývoji elektromobilů automobilka Citroën. V rozmezí let 1941–1942 vyrobila přibližně 100 ks nákladních vozů pod označením TUB Electrique. Po vzniku koncernu PSA, spojení automobilek Citroën a Peugeot v roce 1974, vznikla samostatná divize PSA Electrique se zaměřením na vývoj vozů s elektrickým pohonem. Vyráběla několik typů elektromobilů a v roce 1995 spustila do té doby největší sériovou výrobu elektromobilů. Ze záhadných důvodů ale došlo k ukončení výroby koncem roku 2000. [2]

Další automobilky začaly s vývojem později. Např. automobilka Fiat v roce 1975 a první sériově vyráběný elektromobil sjel z linky v roce 1990. Automobilka Renault započala vývoj v roce 1980. Za pět let představila svoje první dva prototypy, nicméně do sériové výroby se dostal až model z konce roku 1992. Obě automobilky vyvinuly několik úspěšných prototypů, které vyráběly sériově. Samozřejmě se výrobou nezabývaly pouze jmenované automobilky, ale i mnohé další. Z důvodu nedostupnosti baterií v té době, některé společnosti upustily od vývoje vozidel s elektrickým pohonem a zaměřily se pouze na výrobu vozů se spalovacím motorem. Některé automobilky místo čistých elektromobilů přešly na výrobu vozidel s hybridním pohonem. V posledních letech mimo jiné díky rozšíření nových lithiových akumulátorů dochází k znovu projevení zájmu o elektromobily. Snad každá automobilka již ve svém výrobním portfoliu nějaký elektromobil má nebo se na jeho uvedení do výroby v nejbližších letech chystá. [2]

## 1.2 Rozdělení vozidel s elektrickým pohonem

### **Elektrické vozidlo (EV – Electric Vehicle), též Bateriové elektrické vozidlo (BEV – Battery EV):**

Jedná se o čistý elektromobil, jako pohon jsou využívány pouze elektromotory. Napájecí energie pro elektromotory je uložena v akumulátorech, nejčastěji lithium-iontových, které se dobíjejí připojením k elektrické síti přes dobíjecí stanice nebo pomocí rekuperace při zpomalování. Kapacita akumulátorů umožňuje dojezd i několik stovek kilometrů. [9]

### **Plug-in hybrid (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle):**

Plug-in hybrid obsahuje jak elektromotor s externě dobíjenými akumulátory z elektrické sítě, tak spalovací motor. Akumulátory se také dobíjejí rekuperací při zpomalování a brždění. Motory mohou pracovat společně pro zvýšení výkonu i točivého momentu, nebo samostatně. Na rozdíl od plně elektrických vozů mají akumulátory nižší kapacitu, řádově pro ujetí desítek kilometrů (50 km). Plug-in hybrid je mezistupeň mezi elektromobilem a vozem se spalovacím motorem. [9]

### **Plně hybridní vůz (Full hybrid):**

Plně hybridy mají podobné uspořádání jako plug-in hybridy, ale nelze je dobíjet prostřednictvím sítě. Elektrickou energii získávají pouze pomocí rekuperace. Vozidlo přepne z konvenčního pohonu na elektrický při nízkých zatíženích a ušetří tak palivo. Maximální možná ujetá vzdálenost výhradně na elektromotor se pohybuje pouze v řádu jednotek kilometrů (2 km). Tento typ pohonu ale nelze považovat za elektrické vozidlo dle zákona č. 152/2017 Sb. [5], [9]

### **Elektrické vozidlo s prodloužením dojezdu (REX – Range Extender, REEV – Range Extender EV):**

Obsahuje také elektrický i spalovací motor. Spalovací motor je určen pouze pro dobíjení akumulátoru, ne pro přímý pohon vozu. V okamžiku poklesu uložené energie v akumulátoru pod určitou mez se spustí spalovací motor a elektrická energie pro provoz elektromotoru je vyráběna prostřednictvím generátoru poháněného maloobjemovým spalovacím motorem. Spalovací motor je určen pouze pro prodloužení dojezdu v okamžiku, kdy jsou akumulátory téměř vybité, nikoli pro pravidelný a plnohodnotný provoz. [9]

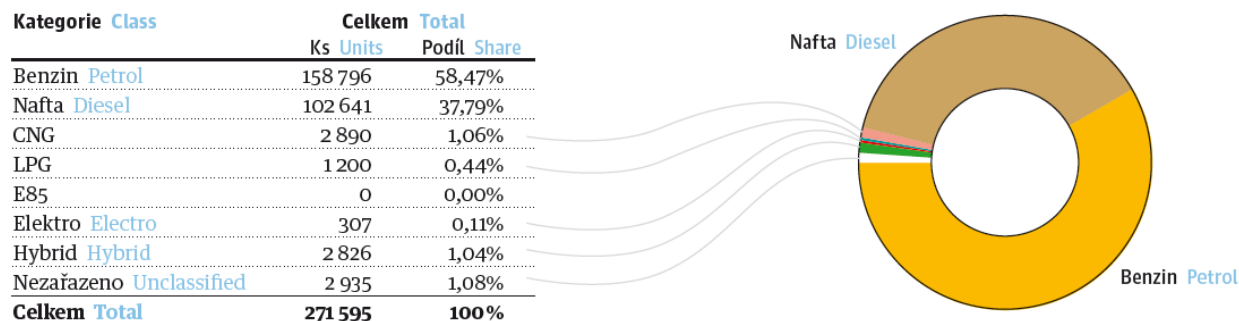
## 1.3 Výhody a nevýhody elektromobilů

Elektromobily neprodukují při jízdě žádné místní emise ani hluk, což je velmi přívětivé pro městskou dopravu. Jsou velmi spolehlivé, bez vibrací, mají jednoduché ovládání a jsou téměř bezúdržbové, čímž klesají provozní náklady. Konstrukce je jednodušší, neobsahují tolik mechanických komponentů jako automobily se spalovacími motory. Místo spalovacího motoru tak vznikne volné místo, jelikož akumulátory jsou většinou ukládány pod podlahu. Elektromotory dosahují vysoké účinnosti přes 97 % a jejich cena při velké sériové výrobě může být zlomkem ceny složitých spalovacích motorů. Cena paliva, tedy elektřiny, za ujetý kilometr je nižší v porovnání s běžnými pohonnými hmotami. Během jízdy v kolonách neroste spotřeba paliva. Elektromobil je možné dobíjet pomalu kdekoliv, kde je elektrická síť. Existují různé bonusy pro uživatele elektromobilů, např. osvobození od silniční daně u podnikatelů, zvýhodněné parkování v Praze. Pro dobíjení lze využít obnovitelné zdroje energie. Předpokládá se také převážné dobíjení v noci, čímž by mohlo dojít ke stabilizaci rozvodné sítě. Dále mohou elektromotory poskytnout téměř okamžitý maximální trakční výkon, čímž dosahují vysokého zrychlení. Při zpomalování a brždění lze rekuperovat energii pro další využití. [2], [10]

Mezi hlavní negativa elektromobilů patří akumulátory. Jejich kapacita omezuje dojezd, dále mají vysokou hmotnost, jsou drahé a jejich výroba a následná likvidace zatěžuje životní prostředí. Vývojem nových technologií ale dochází ke zvyšování kapacity a při hromadné výrobě by jejich cena mohla být nižší. Další nevýhodou je delší doba dobíjení v případě potřeby (20 min u rychlonabíjení), v porovnání s tankováním pohonných hmot, a zároveň stále omezená infrastruktura dobíjecích stanic. [2], [10]

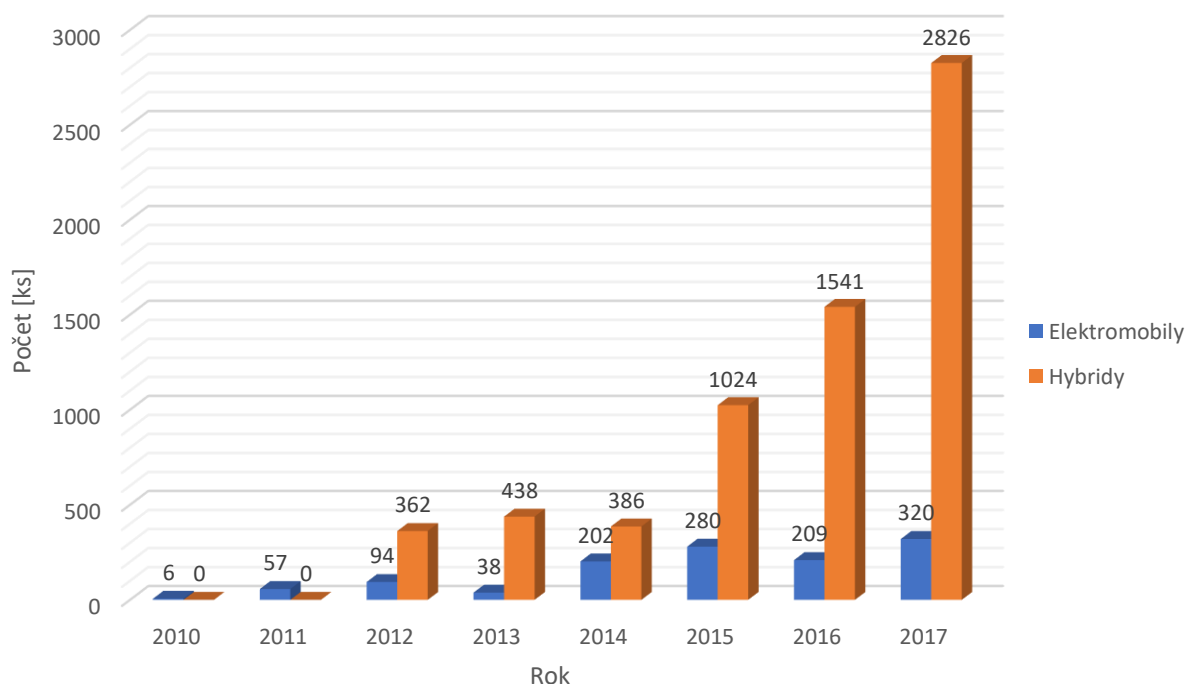
## 1.4 Současný stav v ČR

Loňský rok byl rekordní v počtu registrací nových osobních automobilů v České republice. Celkem jich bylo registrováno 271 595 kusů. Oproti roku 2016 vzrostly registrace o 4,58 % (11 902 kusů). Z pohledu této práce je ale zajímavější rozložení dle paliva. Na prvním místě je samozřejmě benzin s 58,46 %, za ním diesel s 37,79 %, poté CNG s 1,06 %, hybrid 1,04 %, LPG 0,44 %, elektro 0,11 %, nezjištěno 1,08 %. [13]



Obr. 1.4-1 Registrace nových osobních automobilů v ČR dle paliva za období 1-12/2017 [13]

Z tabulky na Obr. 1.4-1 můžeme odečíst odpovídající počet elektromobilů. Vidíme, že osobních čistých elektromobilů bylo zaregistrováno pouze 307, což je velmi málo. Vozidel s hybridním systémem přibýlo o něco více, konkrétně 2 826, ale stejně je to pouze 1 % ze všech nově registrovaných osobních vozidel. Dále bylo ještě registrováno 13 elektromobilů v kategorii lehkých užitkových vozů. Na konci roku 2017 dosáhl celkový počet elektromobilů přibližně 1 500 ks a hybridních vozů přibližně 6 600 ks. Přesný počet je obtížné určit, protože Svaz dovozců automobilů ve statistikách nerozlišuje dělení dle paliva u vyrazených a registrovaných ojetých automobilů. Vývoj počtu registrovaných nových elektromobilů a hybridů v kategorii osobních a lehkých užitkových vozů v letech 2010-2017 demonstruje Obr. 1.4-2. Vidíme, že počet registrovaných elektromobilů v posledních letech nijak zvláště nenarůstá. U hybridů je trend nárůstu za poslední tři roky výraznější, což je dáno jejich přechodnou funkcí mezi konvenčními spalovacími motory a elektromobily. [13]



Obr. 1.4-2 Registrace nových elektromobilů a hybridů v kategorii osobních a lehkých užitkových vozů 2010-2017 [13]

## 2 Legislativa

Pro rozvoj elektromobility je zásadní vytvoření dostatečně husté sítě veřejných dobíjecích stanic. Po celé republice musí být vytvořena taková infrastruktura, která zajistí, že se řidič neocitne bez pohonné hmoty, tedy elektřiny. Investoři a provozovatelé dobíjecích stanic se do nedávna potýkali s neexistujícím legislativním prostředím v tomto odvětví. Navíc také řešili otázku účtování za poskytnutou službu dobíjení, aniž by došlo k porušování energetického zákona. Nedefinovaná pravidla je ještě více odrazovala od provozování neprofitabilních dobíjecích stanic. Aby si stanice na sebe vydělala, musí ji využívat určitý počet elektromobilistů, ale aby zde bylo dané množství elektromobilů, musí být předem zajištěna dostatečná infrastruktura. Budování dobíjecích stanic je v současné době investice s velmi dlouhou dobou návratnosti.

V říjnu 2015 vydalo Ministerstvo průmyslu a obchodu Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) pro období 2015-2018 s výhledem do roku 2030 v návaznosti na směrnici Evropského parlamentu a rady 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. V tomto dokumentu udává jako jeden z hlavních cílů transpozici této směrnice do právní úpravy ČR. [6]

V rámci stavby infrastruktury dobíjecích stanic proto byla velmi zásadní implementace této směrnice do českého právního prostředí. Směrnice byla implementována pomocí zákona č. 152/2017 Sb. ze dne 19. dubna 2017, který mění zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. [5]

Tento zákon přidává elektřinu k alternativním palivům, která jsou současně pohonnou hmotou. Dále definuje elektrické vozidlo jako motorové vozidlo s pohonem zahrnujícím alespoň jedno neperiferní elektrické zařízení jako měnič energie s elektricky dobíjeným systémem ukládání energie, který je možno dobíjet externě. [5]

Zavádí pojem dobíjecí bod, což je zařízení, které umožňuje dobíjet v určitém okamžiku jedno elektrické vozidlo nebo u něhož je v určitém okamžiku možno provést výměnu baterie u jednoho elektrického vozidla, a jehož hlavním účelem je dobíjení elektrického vozidla. Dobíjecí stanicí se poté rozumí jeden či více dobíjecích bodů. Dobíjecí stanice jsou rozděleny na běžné a vysoce výkonné a na veřejné a neveřejné. Běžnou dobíjecí stanicí je stanice, která umožňuje přenos elektřiny do elektrického vozidla s výkonem 22 kW nebo nižším, s výjimkou zařízení o výkonu 3,7 kW nebo nižším, jež jsou umístěna v domácnostech nebo jejichž hlavním účelem není dobíjet elektrická vozidla, a která nejsou veřejně přístupná. Vysoce výkonnou dobíjecí stanicí je stanice, která umožňuje přenos elektřiny do elektrického vozidla s výkonem vyšším než 22 kW. Veřejně přístupnou dobíjecí stanicí je stanice na dodávku elektřiny, jejíž provozovatel uživatelům z Evropské unie poskytuje nediskriminační přístup, přičemž nediskriminační přístup může zahrnovat různé podmínky ověření, použití a platby. Za veřejně přístupnou dobíjecí stanicí není považována stanice, kterou výrobce vozidel provozuje výhradně pro účely dobíjení elektrických vozidel své vlastní výroby. Dále taková, kterou využívá provozovatel dobíjecí stanice nebo jím ovládaná osoba nebo osoba ovládající tohoto provozovatele dobíjecí stanice výhradně za účelem dobíjení elektrických vozidel, která používá některá z uvedených osob pro svou potřebu nebo pro účely svého podnikání nebo pro potřebu svých zaměstnanců, přičemž předmětem podnikání v takovém případě nesmí být poskytování služby dobíjení elektrického vozidla prostřednictvím této dobíjecí stanice. Ani stanice, kterou provozuje prodejce vozidel pro dobíjení elektrických vozidel pro účely jejich prodeje a která není přístupná veřejnosti. A nakonec dobíjecí stanice provozovaná provozovatelem autoservisu pro dobíjení zde servisovaných vozidel a která není přístupná veřejnosti. Pro omezení administrativy a nutnosti plnění technických standardů bylo nutné ze zákona vyjmout i dobíjecí stanice, které jsou připojeny a užívány pro bezúplatné dobíjení elektrických vozidel v odběrném místě nepodnikající fyzické osoby nebo pro dobíjení elektrických vozidel v odběrném místě bytového družstva nebo společenství vlastníků jednotek výhradně pro členy tohoto družstva nebo společenství nebo pro uživatele družstevního bytu tohoto družstva nebo jednotky tohoto společenství, současně dobíjecí stanice s výkonem do 3,7 kW, které jsou určeny pro dobíjení jednostopých elektrických vozidel. Tento zákon se dále nevztahuje na dobíjení vozidel veřejné hromadné dopravy napájené přímo z trakčního nebo trolejového vedení. [5]

Evidenci dobíjecích stanic je pověřeno Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO). Evidence by měla být vedena v elektronické podobě a ministerstvo by mělo zveřejňovat způsobem umožňujícím dálkový přístup seznam veřejně přístupných dobíjecích stanic, který obsahuje adresu dobíjecí stanice nebo, v případě, že to není možné, jiné údaje určující její polohu, počet dobíjecích bodů na dobíjecí stanici, datum uvedení do provozu a datum ukončení provozu dobíjecí stanice. Ostatní údaje z evidence dobíjecích stanic jsou neveřejné. Jedná se o údaje o vlastníku dobíjecí stanice a údaje o provozovateli dobíjecí stanice. U právnické osoby se požaduje obchodní firma nebo název, sídlo a identifikační číslo osoby, u fyzické osoby jméno a příjmení, popřípadě též obchodní firma, datum narození, identifikační číslo osoby, bylo-li přiděleno, adresa trvalého pobytu, popřípadě též místa podnikání. Dále typ nebo stručný popis dobíjecí stanice, údaj, zda je dobíjecí stanice veřejně přístupná nebo nikoliv. Tyto údaje je povinen ministerstvu nahlásit vlastník dobíjecí stanice. [5]

Provozovatel veřejně přístupné dobíjecí stanice je povinen na dobíjecí stanici zpřístupnit informace o kompatibilitě dobíjecí stanice s elektrickým vozidlem, zveřejnit ceny účtované na jím provozované dobíjecí stanici, poskytnout uživatelům elektrických vozidel rovněž možnost jednorázového dobití bez uzavření smlouvy s daným provozovatelem, která by uživatele vážala nad rámec tohoto jednorázového dobití. Na každé dobíjecí stanici by tedy mělo být umožněno dobíjení bez nutnosti vlastnit různé čipy a podobná identifikační zařízení, která byla doposud využívána některými provozovateli. Provozovatel běžné dobíjecí stanice je povinen zajistit, aby jím provozovaná dobíjecí stanice, s výjimkou bezdrátové nebo indukční jednotky, splňovala požadavky stanovené zvláštním právním předpisem upravujícím technické požadavky na stavby (vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů) a českou technickou normou upravující technické požadavky na nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením a požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro přístroje s kolíky a dutinkami na střídavý proud (ČSN EN 62196-2). V případě běžných dobíjecích stanic, které byly uvedeny do provozu nebo obnoveny před 18. listopadem 2017, toto nebylo povinností. Provozovatel vysoce výkonné dobíjecí stanice je povinen zajistit, aby jím provozovaná dobíjecí stanice, s výjimkou bezdrátové nebo indukční jednotky, splňovala požadavky stanovené zvláštním právním předpisem upravujícím technické požadavky na stavby (vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů) a českými technickými normami upravujícími technické požadavky na nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením a požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro přístroje s kolíky a dutinkami na střídavý proud (ČSN EN 62196-2) a požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro vozidlová zásuvková spojení s kolíky a dutinkami na stejnosměrný a střídavý nebo stejnosměrný proud (ČSN EN 62196-3). V případě vysoce výkonných dobíjecích stanic, které byly uvedeny do provozu nebo obnoveny před 18. listopadem 2017, toto nebylo povinností. [5]

Mimo jiné implementací směrnice pomocí zákona č. 152/2017 Sb. došlo ke změně zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Úpravou zákona se již na využití elektřiny při provozování dobíjecí stanice nevyžaduje licence na obchod s elektřinou podle energetického zákona, což usnadňuje činnost širšímu okruhu provozovatelů. [5]

## 3 Technologie dobíjení

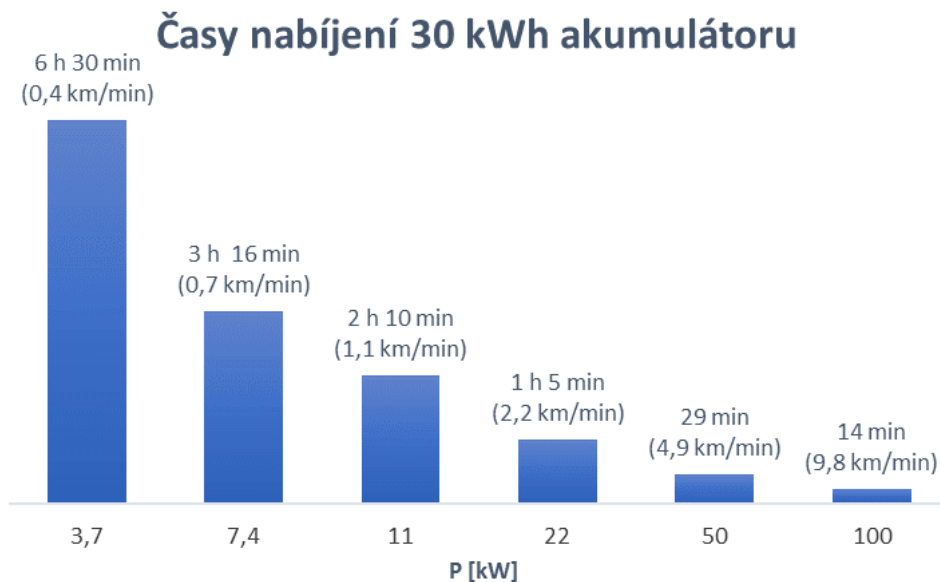
### 3.1 Dobíjení

Optimálně by mělo dobíjení probíhat v okamžiku, kdy elektromobil zastaví (doma, v zaměstnání, v nákupním středisku, na parkovišti atd.) a nemělo by vyžadovat zastavení jen pro potřebu dobíjení. Pro vhodné nabíjení v závislosti na čase uživatele jsou potřebné různé typy infrastruktury. Pro dlouhé zastávky (doma, v zaměstnání), může být plné nabití provedeno za 6 až 8 hodin. Proto v těchto lokalitách stačí instalovat pomalé AC dobíjecí stanice nižších výkonů. Pro krátké zastávky na 1 až 2 hodiny (parkoviště, obchodní centra atd.), je potřeba středně rychlé dobíjení. Pokud dojde k tomu, že je nutné zastavit jen z důvodu dobíjení, je potřeba aby nabití proběhlo velmi rychle (15 až 30 min, na 80 % kapacity akumulátoru). Je tedy logické umísťovat rychlodobíjecí DC stanice v okolí důležitých silničních tahů. Samozřejmě vždy to trvá déle než v případě tankování pohonných hmot na čerpacích stanicích, ale pravděpodobně nikdo nepoužívá automobil nepřetržitě 24 hodin denně a může tedy pro dobíjení použít okamžik, kdy elektromobil stojí. Zároveň kapacity akumulátorů dnes již umožňují poměrně dlouhý dojezd, který mnohým uživatelům postačí na cestování, popřípadě si mohou elektromobil dobít na zpětnou trasu, během zastávky v cílové destinaci. Na Obr. 3.1-1 je zobrazeno rozdělení dobíjecích stanic a jejich parametrů podle instalace v typových lokalitách. [7]

Typová lokalita	Hlavní tahy, klíčové městské lokality	Nákupní centra, parkoviště	P+R, dlouhodobá parkování
Účel	Dobíjení		Parkování
Adekvátní čas dobíjení	<30 min	<2 hodiny	<8 hodin
Dobíjecí stanice (výkon)	22-100 kW	10-22 kW	< 10 kW
Přípojka	Distribuční síť / spotřeb. síť	LDS / spotřeb. síť	LDS / spotřeb. síť
Kapacita přípojky	250A/ 400V	64A/400V	64A /400V
	Rychlodobíjecí stanice (DC)	Normální dobíjecí stanice (AC i DC))	

Obr. 3.1-1 Typy dobíjecích stanic a modely dobíjení [12]

Pro přehlednost jsou na Obr. 3.1-2 uvedeny časy nabíjení 30 kWh akumulátoru na 80 % kapacity (24 kWh, 141 km dojezdu) při různých výkonech nabíjení. Vychází se z předpokladu úplného vybití. Nabíjení na 80 % kapacity akumulátoru probíhá téměř lineárně, zbylých 20 % se nabíjí téměř stejně dlouhou dobu jako předchozích 80 % z kapacity akumulátoru. Současně jsou zde uvedeny vzdálenosti dojezdu (při průměrné spotřebě 17 kWh na 100 km), které se dobíjí za jednu minutu při daném výkonu. Nejnižší výkony odpovídají pomalému nabíjení v domácnostech (režim 1 a 2). Výkon 22 kW se používá nejčastěji při středně rychlém nabíjení ve veřejných AC nabíjecích stanicích (režim 3). Vyšší výkony (nejčastěji 50 kW) jsou využívány pro velmi rychlé dobíjení v DC nabíjecích stanicích (režim 4).



Obr. 3.1-2 Časy nabíjení 30 kWh akumulátoru na 80 % kapacity při různých výkonech nabíjení

## 3.2 Režimy dobíjení

Elektromobily můžeme dobíjet buď střídavým (AC) nebo stejnosměrným (DC) proudem. Vysoce výkonné dobíjecí stanice s výkonem vyšším než 22 kW produkují stejnosměrný proud a dobíjení je velmi rychlé. Na výstupu běžné dobíjecí stanice s výkonem do 22 kW je střídavý proud, který pokračuje dále do zabudované palubní nabíječky s usměrňovačem v elektromobilu. Proto je důležité znát výkon této nabíječky a počet fází, které je schopna využít, protože je často limitujícím prvkem při AC dobíjení a prodlužuje tak dobu dobíjení. Existují čtyři možné režimy dobíjení, které jsou definovány v normě ČSN EN 61851-1 ed. 2. [7]

### Režim 1:

EV je připojeno přímo ke střídavé elektrické napájecí síti prodlužovacím kabelem za použití normalizovaných zásuvek v domácnosti, buď jednofázových do 16 A a 250 V, nebo třífázových do 16 A a 480 V. Elektrická instalace musí být provedena podle předpisů a musí mít uzemňovací systém. Je nutné, aby byl obvod jističen proti zkratu a doplněn proudovým chráničem ve spojení s nadproudovou ochranou. Tento režim je nejjednodušší a dá se využít téměř kdekoli, nicméně je zde omezený výkon a riziko oteplení kabelu a vzniku požáru při dlouhodobém používání na maximální výkon. Pro doplnění přídatné ochrany může být použit proudový chránič vestavěný do kabelu. [7]

### Režim 2:

EV je připojeno ke střídavé elektrické napájecí síti prodlužovacím kabelem za použití normalizovaných zásuvek v domácnosti, buď jednofázových do 32 A a 250 V, nebo třífázových do 32 A a 480 V. Princip je podobný jako u režimu 1, ale jsou zde navíc řídicí a ochranné funkce zajištěné přídatným řídicím vodičem a systémem ochrany osob před úrazem elektrickým proudem pomocí proudového chrániče zapojeného mezi elektrické vozidlo a vidlici nebo jako součást řídicí kabelové skříňky. Řídicí kabelová skříňka musí být umístěna ve vzdálenosti do 0,3 m (v ČR do 2 m) od vidlice nebo napájecího zařízení, nebo musí být ve vidlici. [7]

### Režim 3:

EV je připojeno ke střídavé napájecí síti prodlužovacím kabelem pomocí speciální zásuvky a zástrčky a staticky umístěného jednoúčelového zařízení (dobíjecí stanice). Ovládací a ochranné funkce, které zajistí bezpečný průběh nabíjení pro obsluhu i vozidlo, jsou zabudovány v tomto zařízení. [7]

#### Režim 4:

EV je připojeno ke střídavé napájecí síti pomocí externího nabíječe (dobíjecí stanice). Ten obsahuje usměrňovač, ovládací a ochranné funkce a napevno zabudované prodlužovací kabely. Dobíjení probíhá již stejnosměrným proudem, dojde tedy k překlenutí zabudované nabíječky v elektromobilu, která již výkonově neomezuje a nabíjení probíhá podstatně rychleji. Je zde ale velmi důležitá komunikace mezi elektromobilem a externí dobíjecí stanicí, pro dodržení optimálního a bezpečného průběhu dobíjení podle stavu akumulátoru (kapacita, teplota atd.). [7]

### 3.3 Zajišťované funkce u režimů nabíjení

Napájecí zařízení samostatně nebo společný systém napájecího zařízení a vozidla má zajišťovat níže uvedené funkce. Pro řídicí funkce se používá řídicí vodič se signálem s pulzně šířkovou modulací (PWM) nebo jakýkoliv jiný způsob bez PWM, který zajistí dosažení stejných výsledků. U režimu 1 nejsou zajišťovány žádné řídicí funkce. [18]

Povinné funkce u režimů nabíjení 2, 3, 4:

- **Ověření správného připojení vozidla.**

Napájecí zařízení musí detekovat, jestli je vozidlová nástrčka správně (dostatečně) zasunuta do vozidlové přívodky a zda je správně připojena k napájecímu zařízení. Pokud je vozidlo připojeno k napájecímu zařízení, pohyb vozidla vlastním hnacím systémem musí být zablokován. Řazení kontaktů během připojování musí být takové, aby spojení se zemí bylo provedeno jako první a spojení řídicího vodiče jako poslední. Pořadí připojení ostatních kontaktů není stanoveno.

- **Trvalá kontrola spojitosti vodiče uzemnění.**

Spojitosť uzemnění mezi napájecím zařízením a vozidlem musí být trvale ověřována.

- **Připojení systému k napájení.**

K napájení systému může dojít, až po správném zajištění řídicí funkce mezi napájecím zařízením a vozidlem. Případně po splnění ještě dalších podmínek (autorizace, provedení platby atd.).

- **Odpojení systému od napájení.**

Je-li řídicí funkce přerušena, musí být okamžitě přerušeno napájení silového obvodu, ale řídicí obvod může zůstat pod napětím.

[18]

Volitelné funkce u režimů nabíjení 2, 3, 4:

- **Volba rychlosti nabíjení.**

Musí být použity ruční nebo automatické prostředky zajišťující, že při dané rychlosti nabíjení nedojde k překročení jmenovité proudové kapacity střídavé rozvodné sítě, ani proudové zatížitelnosti vozidla nebo baterie.

- **Určení požadavku na odvětrání prostoru pro nabíjení.**

Pokud je při nabíjení požadováno přídavné větrání, smí být nabíjení umožněno, až po zajištění takového větrání.



- **Detekce nebo nastavení zatěžovacího proudu napájecího zařízení, který je k dispozici v reálném čase.**

Musí být použity prostředky, které zajišťují, že při dané rychlosti nabíjení nedojde k překročení maximální hodnoty zatěžovacího proudu napájecího zařízení a jeho napájecího systému, která je k dispozici v daném okamžiku.

- **Zajištění nebo uvolnění zásuvkového spojení.**

Musí být použity mechanické prostředky pro zajištění a následné uvolnění zásuvkového spojení, aby nedošlo k náhodnému odpojení živých částí. V některých zemích je požadován prostředek zabráňující úmyslnému odpojení (cizí osobou).

- **Řízení obousměrného toku energie do vozidla a z vozidla.**

Obousměrný tok energie vyžaduje přídavné řídicí funkce spolu s napájecím zařízením umožňujícím tento režim.

- **Sériová datová komunikace.**

U režimů nabíjení 1, 2 a 3 je volitelná. U režimu 4 musí být zajištěna, aby mohlo vozidlo podle potřeb řídit externí nabíječku.

[18]

Mohou být zajištěny i jiné přídavné funkce. Některé z těchto funkcí mohou existovat i u režimu nabíjení 1. Některé volitelné funkce mohou být dle národních předpisů požadovány. [18]

## 3.4 Typy připojení při použití kabelů a vidlic

### Typ připojení A:

Napájecí kabel s vidlicí, který se připojuje na střídavou napájecí síť (rozvodnou soustavu) je trvale upevněn k EV. Typ připojení A1 odpovídá připojení do nástěnné zásuvky, typ připojení A2 odpovídá připojení k příslušné dobíjecí stanici. [7]

### Typ připojení B:

Připojení EV na střídavou napájecí síť s využitím odpojitelné kabelové sestavy s vozidlovou nástrčkou a vidlicí. Typ připojení B1 odpovídá připojení do nástěnné zásuvky, typ připojení B2 odpovídá příslušné dobíjecí stanici. [7]

### Typ připojení C:

Připojení EV na střídavou napájecí síť s využitím napájecího kabelu s vozidlovou nástrčkou, který je trvale upevněn k napájecímu zařízení. Pro režim dobíjení 4 je přípustný pouze typ připojení C. [7]

Pro jakýkoliv typ připojení elektrického vozidla k napájecímu zařízení se nesmí používat jako doplněk ke kabelové sestavě prodlužovací přívod nebo druhá kabelová sestava. [7]

### 3.5 Používané vozidlové nástrčky a přívodky

Postupný vývoj elektromobilů a dobíjecích stanic různých výrobců přinesl řadu používaných typů vozidlových nástrček (umístěné na propojovacím kabelu) a vozidlových přívodek (zabudované v EV). Standardizace v tomto směru zaostala a nebylo definováno jednotné rozhraní, které by se mělo používat. Takový případ je ale nevhodný pro rychlý rozvoj elektromobility, protože používaný standard výrobcem elektromobilů nemusí být kompatibilní s používanými standardy dobíjecích stanic na daném území. Jistě, je tu možnost využití redukci, nicméně to je nekomfortní pro uživatele, který je musí neustále přepojovat a také vozit s sebou.

V České republice, stejně jako ve většině evropských zemích, se používají konektory typu 2 definované dle ČSN EN 62196-2 ed. 2 (Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky - Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením - Část 2: Požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro přístroje s kolíky a dutinkami na střídavý proud) a ČSN EN 62196-3 (Vidlice, zásuvky, vozidlové nástrčky a vozidlové přívodky - Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením - Část 3: Požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro vozidlová zásuvková spojení s kolíky a dutinkami na stejnosměrný a střídavý/stejnosměrný proud), viz. Obr. 3.5-1. Na jejich výběru se dohodly některé automobilky spolu s výrobcem dobíjecích stanic. [14], [15]

	Typ 1 / USA	Typ 2 / Evropa	GB / Čína
Střídavý proud (AC)	 SAE J1772/IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
Stejnoseměrný proud (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3/IEC 62196-3
Kombinovaný nabíjecí systém AC/DC	 SAE J1772/IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Obr. 3.5-1 Standardy podle mezinárodních norem pro nabíjení elektromobilů [8]

S platností od 18. listopadu 2017 musí každá nově instalovaná veřejná dobíjecí stanice povinně obsahovat evropský standard IEC 62196-3 tzv. Combo II / CCS (Combined Charging System – kombinovaný systém dobíjení) pro stejnosměrné dobíjení a standard IEC 62196-2 tzv. Mennekes pro střídavé dobíjení. Mennekes se nejčastěji používá pro střídavé nabíjení v běžných dobíjecích stanicích do výkonu 22 kW, jeho hraniční hodnoty jsou 63 A, 480 V třífázově, nebo 70 A, 250 V jednofázově. Combo II se používá ve vysoce výkonných stejnosměrných dobíjecích stanicích s výkonem vyšším než 22 kW, jeho limitující hodnoty jsou 200 A, 1000 V. Dále se ještě v některých stejnosměrných stanicích používá standard CHAdeMO (CHARge de MOve – nabít pro pohyb nebo z japonské fráze: „O cha demo ikaga desuka“ - dejme si šálek čaje, což odkazuje na čas potřebný k nabití), který má omezující parametry 200 A, 600 V. Pro doplnění Obr. 3.5-1, existuje ještě vlastní standard firmy Tesla, který používá ve výkonných stejnosměrných dobíjecích stanicích, tzv. Superchargers, které jsou určeny pro jejich zákazníky. [12], [14], [15]



Obr. 3.5-2 Používané standardy v České republice (Evropě) [12]

### 3.6 Bezdrátové indukční dobíjení

Dalším způsobem dobíjení elektrických vozidel je použití bezdotykového indukčního přenosu energie z distribuční sítě do elektromobilu. K tomu je využita primární cívka (vysílač) zapuštěna v zemi a sekundární cívka (přijímač) umístěna v podvozku vozidla. V okamžiku spuštění nabíjení začne primární cívkou protékat proud o vysoké frekvenci, který vytvoří magnetické pole indukující v sekundární cívkce napětí a začne jí také procházet proud. Ten je pomocí palubní nabíječky usměrněn a přiveden do akumulátorů. Data potřebná pro řízení dobíjení jsou také přenášena bezdrátově. [21]

Vzdálenost mezi cívkami je přibližně 15 cm. Magnetické pole se nachází v přesně definovaném prostoru mezi cívkami a nedochází tak k překročení mezních hodnot magnetického pole uvnitř a v okolí vozidla. Výrobci udávají účinnost přenosu energie z veřejné distribuční soustavy až na svorky akumulátoru více než 90 %. Tato hodnota je dosažitelná pouze za ideálních podmínek a v reálném provozu je dosahována účinnost mnohem nižší. V porovnání s účinností dobíjecí stanice používající kabelové spojení s elektromobilem, která se pohybuje okolo 95 %, dochází při indukčním dobíjení k větším ztrátám. Tento způsob dobíjení umožňuje podobně jako klasické dobíjecí stanice výkonový rozsah až do několika desítek kilowatt. [21]

Výhodou je téměř neviditelné zabudování vysílače dobíjecí stanice do země v místě parkování vozidla. Tím se stávají odolné proti opotřebení i vandalismu. Navíc jsou esteticky přijatelné ve městech, kde by jinak bylo umístěno několik klasických dobíjecích stojanů a od nich nataženy kabely k eklektickým vozům. Pro účinné nabíjení je potřeba poměrně přesné zastavení, aby se přijímač umístěný v podvozku vozidla nacházel nad vysílačem. Tuto skutečnost podporuje autonomní systém vozidla, který sám zaparkuje do požadované polohy nebo uživatele naviguje do přesné polohy pomocí grafického zobrazení na palubním displeji. Tento způsob automatizovaného dobíjení je velmi výhodný pro častá a velmi krátká zastavení, například autobusů na zastávkách během výstupu a nástupu cestujících. V neposlední řadě je velkou výhodou komfort pro uživatele, který se nemusí namáhat a ztrácet čas se zapojováním kabelu. Při vytvoření pruhu zabudovaných cívek do vozovky lze dobíjet elektromobil i za jízdy a tím prodloužit dojezd bez nutnosti zastavení. [21]

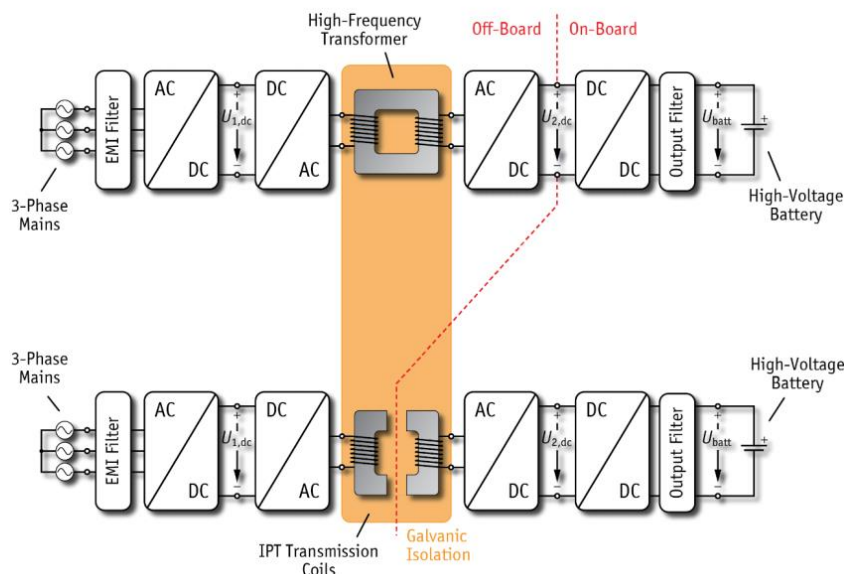
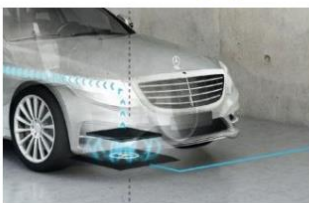
Tento způsob dobíjení je převážně ve fázi výzkumu a testování. V České republice se nenachází ani žádné veřejné dobíjecí místo s touto technologií. Nicméně, již některé automobilky začínají tento způsob nabíjení nabízet formou volitelné výbavy. Nebo různé firmy prodávají komplexní systém, umožňující dodatečnou instalaci přijímací části na elektrické vozidlo a vysílací část je vyrobena ve formě podložky, kterou stačí umístit v místě parkování, například v garáži. [21]

Na Obr. 3.6-1 jsou zobrazena bloková schémata pro možný systém kabelového nabíjení ze stejnosměrné dobíjecí stanice a pro systém bezdrátového nabíjení. Červená čárkovaná čára odděluje zařízení umístěná mimo vozidlo (vlevo) a ve vozidle (vpravo). Na vstupu z třífázové napájecí (distribuční) sítě je umístěn filtr elektromagnetické interference, následuje frekvenční měnič se stejnosměrným napětovým meziobvodem. V případě kabelového dobíjení je použit vysokofrekvenční transformátor, tvořící galvanické oddělení, a napětí je následně vně vozidla usměrněno. Ve vozidle je dále zařazen stejnosměrný napětový měnič, pro přizpůsobení hladiny napětí pro akumulátor, s výstupním filtrem. V případě bezdrátového dobíjení jsou použity odděleně umístěné cívky pro indukční přenos výkonu. Ve vozidle je poté navíc oproti předchozímu systému usměrňovač. [22]

### ■ Conductive EV Charging



### ■ Wireless EV Charging



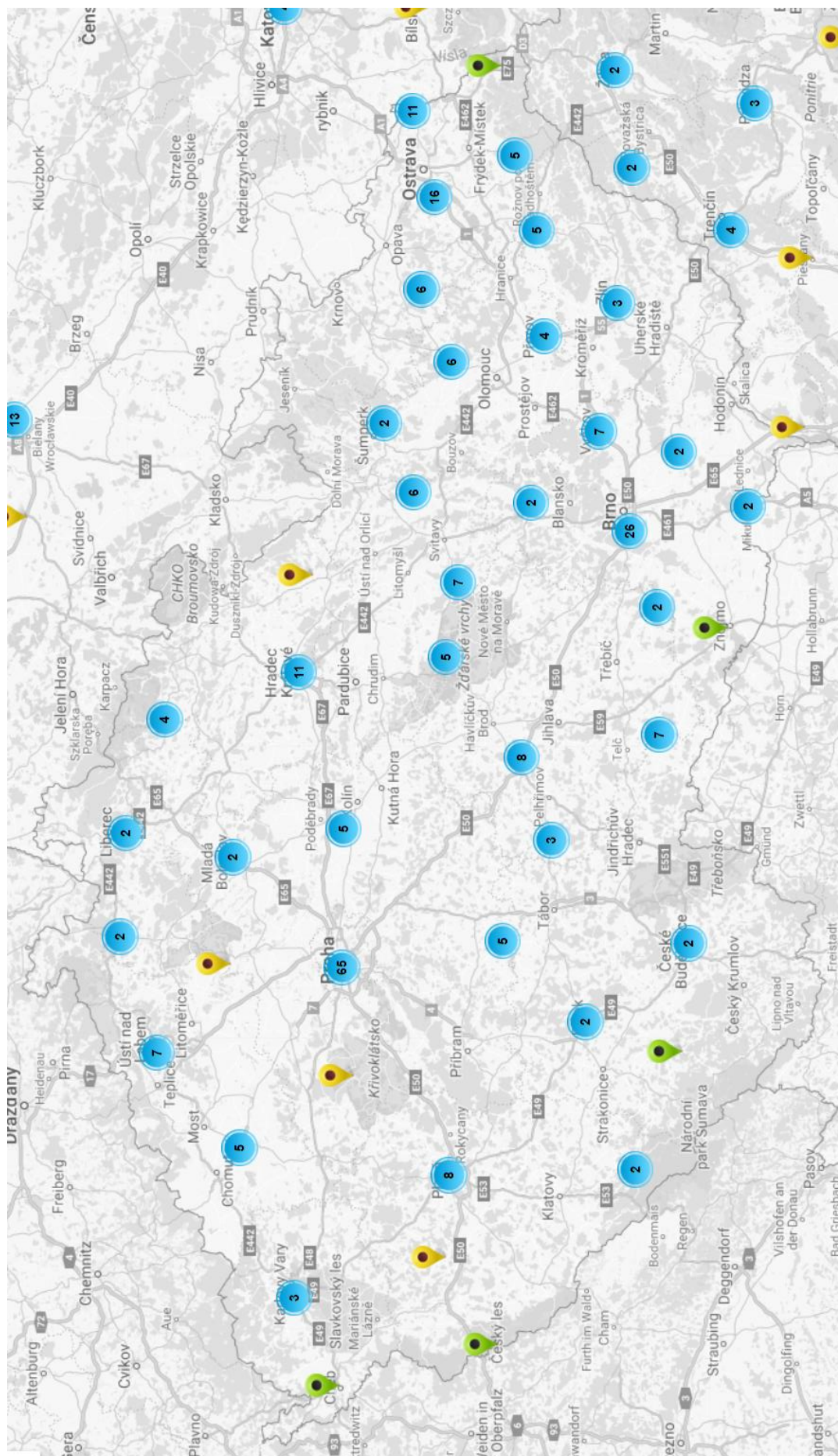
Obr. 3.6-1 Kabelový a bezdrátový systém dobíjení elektromobilu [22]

## 3.7 Přehled dobíjecích bodů v ČR

Protože má elektromobilita blízko k sektoru energetiky, budují v České republice dobíjecí stanice převážně distribuční společnosti ČEZ, PRE a E.ON. Ty se zaměřují hlavně na pokrytí páteřní sítě infrastruktury vysoce výkonnými stanicemi v kombinaci se stanicemi běžných výkonů. Dále provozovatelé veřejně přístupných míst (např. obchodní domy, restaurace, hotely, sportovní střediska atd.) umísťují na svá parkoviště dobíjecí stanice běžných výkonů nebo tzv. wallboxy. V neposlední řadě se snaží i některé právnické nebo fyzické osoby zpřístupnit pro dobíjení klasické zásuvky.

Ačkoli by mělo vést evidenci veřejných dobíjecích stanic MPO, žádný přehled s přesnými počty nelze dohledat. Dalším matoucím faktem je, že některé zdroje uvádějí počty dobíjecích stanic, jiné počty dobíjecích bodů a další mohou uvádět počty stojanů. Dobíjecí stanice může obsahovat více dobíjecích stojanů, kde každý stojan může obsahovat více dobíjecích bodů. Zde je ještě další problém, protože typicky vysoce výkonné dobíjecí stojany obsahují jak standard CCS (Combo II), tak standard ChAdeMO, ale v jeden okamžik je umožněna funkce pouze jednoho z nich. Současně tyto stojany mohou být vybaveny i standardem Mennekes pro střídavé dobíjení a tomu je umožněna funkce souběžně s jedním ze standardů pro stejnosměrné dobíjení. Proto není jasné, zda je při uvádění celkového počtu dobíjecích míst počítáno s oběma standardy, i když v jeden okamžik může být využit pouze jeden, nebo není. V jedné tiskové zprávě MPO jsem našel zmínku, kde bylo uvedeno, že ke konci roku 2017 zde bylo veřejných 270 nabíjecích stanic a 631 zásuvek [24]. Dle webu EVMAPA, je v současné době rozložení veřejných dobíjecích bodů zhruba 50 se standardem CCS, 70 ChAdeMO, 190 Mennekes, 22 Tesla Supercharger (3 stanice) a 200 klasických zásuvek (16 A, 230 V; 16 A, 400 V; 32 A, 400 V) [25]. Rozložení dobíjecích stanic je vyobrazeno na Obr. 3.7-1, pokud se jich na určité části území nachází více blízko sebe, jsou seskupeny do modrého kruhu, ve kterém je uveden jejich počet.





Obr. 3.7-1 Mapa dobíjecích stanic pro elektromobily v ČR [25]

## 4 Analýza vlivů elektromobility na elektrizační soustavu

Přesný vliv není doposud příliš jasný, existuje několik možných scénářů závislých na chování uživatelů elektromobilů.

Možností je, že bude docházet k velkým náhodným nárazovým odběrům během celého dne, což by způsobovalo značné komplikace se stabilitou sítě. Hlavně výkonnější dobíjecí stanice vytvářejí nárazové odběry výkonu v řádech desítek případně i stovek kilowatt. Vytížení těchto stanic bude zároveň částečné a časově proměnné z důvodu nutnosti většího počtu dobíjecích bodů, aby uživatelé nemuseli čekat na dokončení dobíjení elektromobilu předchozího zákazníka. Zároveň je pravděpodobné, že využívání veřejných dobíjecích stanic přes noc bude nižší než ve dne. Často je umístováno více stojanů v určité lokalitě, z tohoto důvodu je důležité zajištění odpovídajícího příkonu. Ten není dostupný všude a většinou je nutné vybudování nové dostatečně dimenzované přípojky. V případě pomalejších stanic, kde není požadavek na vysokou rychlost dobítí, je možné průběh dobíjení lépe řídit a optimalizovat tak odebíraný elektrický příkon. S tímto počítají různá „smart“ řešení a aplikace, které nejen že řídí dodávaný výkon na výstupu dobíjecí stanice podle aktuálního stavu v distribuční síti, ale zároveň jsou přímo propojeny s vozidlem a optimalizují tak průběh dobíjení i z pohledu potřeb vozidla a stavu akumulátoru, což může být aktuální teplota nebo procento nabití akumulátoru. [16]

Tuto obtížně predikovatelnou spotřebu by mohly kompenzovat stacionární uložení energie, tzv. „energy storage“, které by byly umístěny u velkých dobíjecích stanic. Ty by zároveň umožnily sekundární využití akumulátorů z vozidel, kde již nemají dostačující parametry, a tím by se prodloužil jejich provozní život před jejich recyklací. [16]

Předpokládá se, že z větší části (80–90 %) bude dobíjení probíhat pomalu v neveřejných dobíjecích stanicích, buď přes den v zaměstnání, nebo hlavně přes noc v domácnostech. Plynulé nabíjení přes noc by mohlo vyrovnat denní diagram zatížení, což by bylo naopak přínosné pro elektrizační síť. Elektrárny pokrývající základní zatížení by tak mohly dodávat stabilně vyšší výkon a snížil by se rozdíl mezi špičkovým a základním zatížením. Toto noční dobíjení je hlavně předpokládáno u obyvatel s vlastním parkovacím stáním a možností zde dobíjet. Mnoho obyvatel bydlí na sídlištích, kde pravděpodobně nebude takové pokrytí, aby si všichni mohli své vozy dobíjet současně. Zde stojí za zmínku zajímavá futuristická vize autonomního pohybu elektromobilů, které by se samy dojezily během noci dobít na veřejné stanice, a tak by se jich vystřídal několik, podle jejich nastaveného času připravenosti v ranních hodinách. [16]

Další možností je využití elektromobilů jako zdrojů energie. Tento režim by umožňoval i zpětné dodávání energie do sítě v případě potřeby. Elektromobily by se tak mohly nabíjet přes noc, kdy je nízké zatížení sítě a zároveň nízká cena elektřiny. Naopak, pokud by elektromobil nebyl využíván v případě špičkového zatížení elektrizační soustavy a vysoké ceny elektřiny přes den, mohla by být energie dodávána zpětně do sítě. Tímto by mohli uživatelé elektromobilů i vydělávat na poskytování podpůrné služby. [16]

### 4.1 Nárůst spotřeby způsobené elektromobilitou

V různých člancích se můžeme dočíst odlišných údajů o zvýšení spotřeby způsobené elektromobilitou. Na jedné straně autoři tvrdí, že nárůst spotřeby bude téměř zanedbatelný v porovnání s celkovou spotřebou České republiky. Jiní autoři zase uvádějí různá závratná čísla vztažená na počet Temelínů potřebných na pokrytí této spotřeby. Uvedu zde tedy zjednodušený příklad výpočtu.

Na úvod je potřeba stanovit počet elektromobilů pro výpočet. Určitě nedojde ke skokové výměně všech automobilů se spalovacími motory za elektromobily. Vždyť i průměrné stáří osobních automobilů v České republice je až 14,6 roků [13]. Pronikání elektromobilů do vozového parku bude tedy probíhat

velmi pomalu, což dokládá i statistika uvedená v podkapitole 1.4. Po dosažení dostatečně husté infrastruktury dobíjecích stanic, dále třeba i snížením ceny nových elektromobilů nebo zvýšeným prodejem ojetých elektromobilů, může dojít k jejich výraznějšímu používání. Zvolím např. počet **100 000 elektromobilů**.

Dále je nutné stanovit si průměrnou spotřebu, která se uvádí v kilowatthodinách na sto kilometrů. Běžně se pohybuje v rozmezí 10-30 kWh na 100 km. Hodně je ovlivněna dynamikou jízdy a použitím klimatizace. O spotřebě tedy rozhoduje značně i venkovní teplota, pokud mrzne a chcete si přitopit, může spotřeba vzrůst i o několik kWh na 100 km. Průměrná spotřeba dle udávaných reálných hodnot uživatelů vychází **17 kWh na 100 km** [16].

Tuto průměrnou spotřebu upravím o účinnost nabíjení včetně ztrát při samovybíjení akumulátoru, současně ještě musím připočíst ztráty způsobené přenosem a distribucí elektrické energie:

$$W_s = \frac{W_\emptyset}{\eta_n \cdot \eta_{ps} \cdot \eta_{ds}} = \frac{17 \cdot 10^1}{0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,92} = 229 \text{ Wh} \cdot \text{km}^{-1} \quad (4.1-1)$$

kde:  $W_\emptyset$  ... průměrná spotřeba elektromobilů [ $\text{Wh} \cdot \text{km}^{-1}$ ]  
 $\eta_n$  ... účinnost nabíjení včetně ztrát při samovybíjení akumulátoru rovna 85 %  
 $\eta_{ps}$  ... účinnost přenosové soustavy rovna 95 %  
 $\eta_{ds}$  ... účinnost distribuční soustavy rovna 92 %

Pro výpočet je ještě zapotřebí určit průměrný počet ujetých kilometrů za rok. Zvolím **15 000 km za rok**, což odpovídá vzdálenosti 41 km za den.

Nyní mohu spočítat potřebnou elektrickou energii, kterou je nutné vyrobit pro dobíjení jednoho vozidla na rok, dle následujícího vztahu:

$$W_{EV} = W_s \cdot l = 229 \cdot 15\,000 = 3\,432 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (4.1-2)$$

kde  $W_s$  ... spotřeba energie elektromobilu na kilometr včetně ztrát [ $\text{Wh} \cdot \text{km}^{-1}$ ]  
 $l$  ... průměrný počet ujetých kilometrů za rok [ $\text{km} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

Pro zvolených 100 000 elektromobilů se spočítá nárůst spotřeby pomocí vzorce:

$$\Delta W = W_{EV} \cdot n = 3432 \cdot 10^3 \cdot 10^5 = 343 \text{ GWh} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (4.1-3)$$

kde:  $W_{EV}$  ... spotřeba jednoho vozidla na rok [ $\text{Wh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]  
 $n$  ... počet elektromobilů [ks]

V roce 2017 byla dle statistik Energetického regulačního úřadu (ERÚ) brutto spotřeba ČR 73,8 TWh [23]. Pomocí tohoto údaje a předchozí spočítané hodnoty lze určit procentuální dopad na zvýšení spotřeby:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W_{\check{C}R}} \cdot 100 = \frac{343 \cdot 10^{-9}}{73,8 \cdot 10^{-12}} \cdot 100 = 0,47 \% \quad (4.1-4)$$

kde:  $\Delta W$  ... nárůst spotřeby způsobený 100 000 elektromobily [ $\text{Wh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]  
 $W_{\check{C}R}$  ... brutto spotřeba ČR za rok 2017 [ $\text{Wh} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]

Nárůst spotřeby způsobený 100 000 elektromobily se projeví zvýšením celkové spotřeby pouze o 0,5 %. Nicméně pokud uvažovaný počet elektromobilů navýším na jeden milion, procentuální nárůst bude dosahovat necelých 5 % celkové spotřeby ČR. Tato hodnota bude odpovídat zhruba čtvrtině salda elektřiny, které je v našem případě exportní [23]. Čili v současné chvíli by takovýto nárůst spotřeby nevytvořil žádný problém. Dle základního scénáře rozvoje elektromobility v ČR z Národního akčního plánu čisté mobility, by počet 100 000 vozidel na elektrický pohon mohl být dosažen okolo roku 2025 a například počet 500 000 elektromobilů, až někdy po roce 2040 [6].

Nakonec ještě uvedu případ náhrady všech osobních automobilů registrovaných v ČR, kterých je přibližně 5 600 000 [13]. V této situaci bude již potřeba 19,2 TWh elektrické energie navíc. To odpovídá 26% nárůstu aktuální spotřeby. Tyto hodnoty již nejsou zanedbatelné, a to je počítáno pouze s osobními automobily, nikoli s autobusy, užitkovými ani nákladními vozidly. Ale pokud si vypočítáme roční teoretickou možnou výrobu elektráren, pracujících průměrně na 75 % instalovaného výkonu, mohla by spotřeba aktuálně vzrůst až o 65 %. Musí být samozřejmě zajištěna dostatečná rezerva v případě výpadku některého zdroje, zároveň je nejistá výroba v nestálých zdrojích (fotovoltaické, větrné) a dále musí být umožněna regulace bilance mezi výrobou a spotřebou, výrobních zdrojů pracujících ve špičkovém pásmu zatížení. Tedy ani hodnota 26 % nárůstu spotřeby by v současné době nemusela hned znamenat potřebu nových zdrojů elektrické energie. Dále je potřeba podotknout, že v případě omezení spotřeby pohonných hmot vyráběných z ropy, dojde k značné úspoře elektrické energie. Celý proces zpracování surové ropy, od její těžby, přepravy na velké vzdálenosti, rafinaci, a nakonec výsledného transportu konečných produktů, není nijak energeticky zanedbatelný. Hlavně při rafinaci ropy je zapotřebí velmi značné množství elektrické a tepelné energie. To zde ani nemluvím o škodlivých emisích, které jsou při tomto celém procesu uvolňovány do ovzduší. Ačkoli elektromobily pronikají do vozového parku jen velmi pomalu a bude se tedy jednat o běh na dlouhou trať, může zde v budoucnu nastat nesnadná situace v případě tendence omezování uhelných elektráren nebo ukončování životnosti jaderných elektráren, což by v případě nestavění nového zdroje mohlo způsobit značné problémy. Stejně dlouhou dobu, jakou se zde budou elektromobily rozšiřovat, může v našem prostředí trvat i výstavba dostatečného nového zdroje elektrické energie, je tedy nutné s tou skutečností dopředu počítat.

V Tab. 4.1-1 jsou pro přehlednost zobrazeny vzrůsty spotřeby zapříčiněné různým počtem elektromobilů.

Tab. 4.1-1 Nárůst spotřeby způsobený různým počtem elektromobilů

Počet elektromobilů [ks]	Absolutní vzrůst spotřeby [GWh]	Procentuální vzrůst spotřeby [%]
10 000	34	0,05
100 000	343	0,47
500 000	1 716	2,33
1 000 000	3 432	4,65
2 000 000	6 865	9,30
2 500 000	8 581	11,63
5 600 000	19 222	26,05

## 4.2 Zvýšení zatížení

Jak bylo ukázáno v předchozí části, dopad elektromobility nebude mít do určitého počtu elektromobilů zásadní vliv na zvýšení spotřeby. Dalším důležitým hlediskem je nárůst okamžitého zatížení v případě současného nabíjení několika elektromobilů. Na Obr. 4.2-1 je pro ilustraci uveden typický průběh denního diagramu zatížení, tento konkrétně ze středy 7.2.2018.





pravidelný jev, dojde k uzpůsobené bilanci pro dané hodiny. Ve skutečnosti samozřejmě bude připojování k napájecí síti více časově rozprostřeno během dne. Možností, jak takový skokový vzestup zatížení omezit, je regulace pomocí speciálního tarifu, který by byl spínán pomocí hromadného dálkového ovládání (HDO). V případě, kdy se uživatelé vrátí domů z práce a připojí svůj elektromobil k napájecí síti, tak se nezačne okamžitě nabíjet, ale až v okamžiku řízeného aktivování tohoto tarifu. Uživatel samozřejmě musí mít možnost zvolit si, zda chce tento tarif využít, nebo potřebuje dobíjet okamžitě. Pro lepší motivaci využívání, by byl tento tarif finančně zvýhodněný. Tím by došlo k řízenému, časově rozloženému připojování hlavně během noci a snížení rozdílu mezi maximem a minimem denního diagramu zatížení.

Jistě by někoho mohlo napadnout, jaký vliv by ještě měly výkonné veřejné dobíjecí stanice. V roce 2020 by měla základní infrastruktura veřejného dobíjení obsahovat 500 vysoce výkonných (50 kW) a 800 běžných (22 kW) dobíjecích bodů [6]. Pokud bychom uvažovali plné využití těchto dobíjecích stanic, způsobily by nárůst zatížení 42,6 MW. Což je v porovnání s předchozím případem pouze nepatrný dopad na zatížení.

## 5 Případová studie

V této části se zaměřím na tři konkrétní části distribuční sítě a budu zkoumat úbytky napětí a další parametry sítě, ovlivňované různými případy dobíjení elektromobilů v jednotlivých odběrných místech. Dle normy „ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí“, musí být odchylky napájecího napětí v rozmezí maximálně  $\pm 10\%$  jmenovité hodnoty [20].

Sledované části distribuční sítě jsou kabelové, nacházející se v Praze. Topologie je převážně paprsková v kombinaci s okružní. Každá síť je napájena přes distribuční transformátor 22/0,4 kV s jmenovitým výkonem 630 kVA. Rozvody jsou tvořeny kabelem  $3 \times 240 + 120 \text{ mm}^2$  AYKY, jehož proudová zatížitelnost je 370 A. Tento kabel je jištěn proti přetížení nožovými pojistkami s jmenovitým proudem 350 A. Dále je tedy počítáno s maximálním dovoleným proudovým zatížením 350 A (100 %). Na výpočty mi byl poskytnut vedoucím práce, společně s topologiemi sítí, program napsaný v softwaru Matlab, který provádí výpočty iterační metodou. Vstupními daty jsou jmenovité vztažné napětí, volba typu uzlu a činný a jalový odběr v jednotlivých uzlech. Vždy byl volen uzel na sekundární straně transformátoru typu „slack“, který udržuje jmenovité napětí. Větve vedení se nadefinovaly pomocí počátečního a koncového uzlu, zadal se jejich odpor, reaktance a maximální proudová zatížitelnost. Tyto vstupní parametry pro každou síť jsou k dispozici v příloze této práce.

Program jsem dále doplnil o možnost zvolit si v jednotlivých odběrných bodech simulované dobíjení elektromobilů podle následující řady běžných výkonů „wallboxů“ nebo dobíjecích stanic:

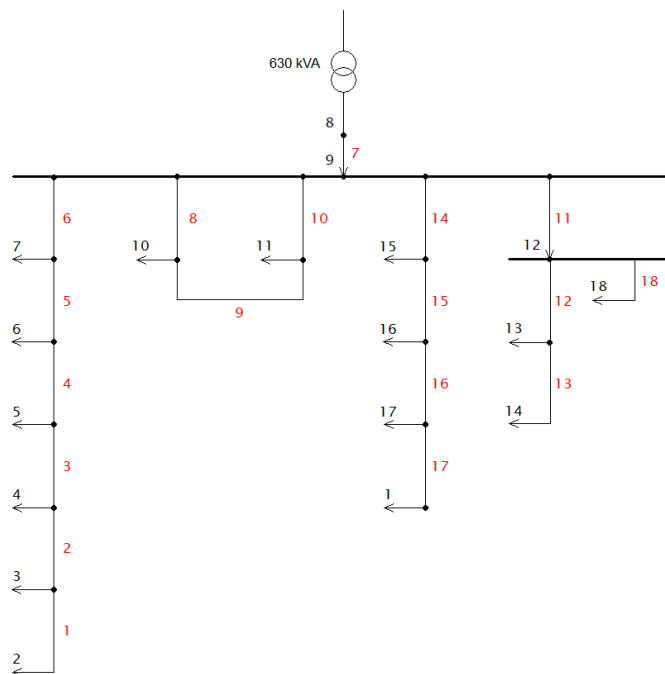
- bez nabíjení
- 3,7 kW
- 7,4 kW
- 11,1 kW
- 22,2 kW
- 50 kW
- 100 kW

Z těchto činných výkonů byl následně dopočítán i jalový odběr nabíječky podle účinníku  $\cos(\varphi) = 0,98$ . Takovouto hodnotu účinníku udávají ve své dokumentaci někteří výrobci. Tyto výkony se následně přičetly ke statickým činným a jalovým odběrům v jednotlivých bodech. Přesné umístění konkrétních nabíječek v sítích, pro všechny případy studie, je k nahlédnutí v příloze.

Topologie jednotlivých sítí jsou zakresleny na Obr. 5.1-1, Obr. 5.2-1 a Obr. 5.3-1. Jsou zde uvedeny čísla odběrných bodů (černě) a čísla větví (červeně).

### 5.1 Distribuční síť 1

V první soustavě se nachází 18 uzlů, z nichž uzel číslo 8 (sekundér transformátoru) je brán pouze jako napájecí bod. V prvním kroku jsem se rozhodl, že vyzkouším situace, kdy by současně probíhalo nabíjení přibližně v polovině a ve všech odběrných bodech. Vytvořil jsem několik případů, pro různé výkony nabíječek. Nabíječky jsem se snažil v síti rozmístit rovnoměrně a pro každý případ do jiné kombinace uzlů.



Obr. 5.1-1 Distribuční síť 1

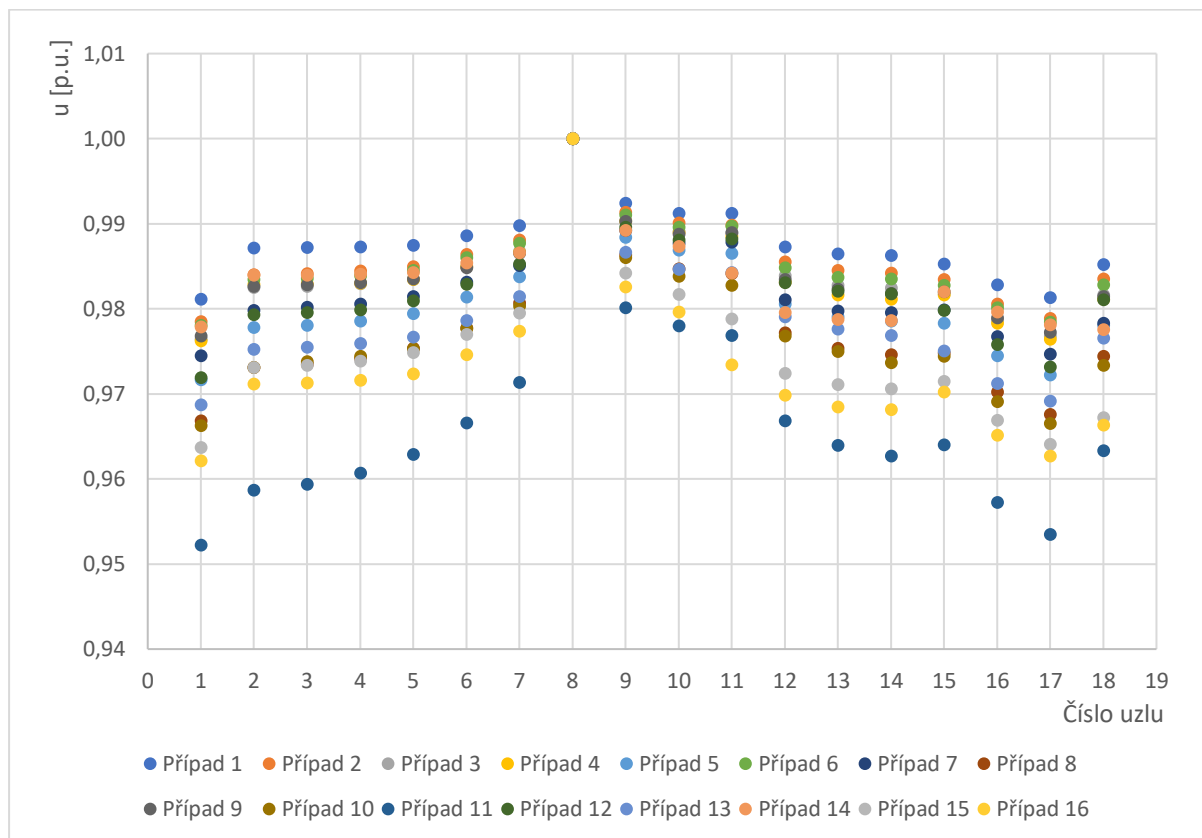
Případ 1 je počítán pouze se základními činnými a jalovými odběry, tedy bez uvažovaného dobíjení. V této situaci je maximální úbytek napětí pouze 1,9 %. Následující případ zahrnuje 9 nabíječek s výkonem 3,7 kW. Pro další stav je uvažováno s nabíjením daným výkonem ve všech odběrných bodech. Obdobně je to v dalších dvou případech pro výkony 7,4 kW. Případ 6 obsahuje kombinaci čtyř nabíječek s výkonem 3,7 kW a čtyř s výkonem 7,4 kW. Takovýmto způsobem jsem pokračoval dále v umístování vyšších výkonů, podle dříve uvedené řady. Úbytek napětí se udržoval stále v nižších jednotkách procent a nedocházelo k překročení žádných limitů. Problém nastal až v případě 11, kdy byla celá síť zatížena navíc výkonem 22,2 kW. V tomto okamžiku nedošlo k poklesu napětí o více než 10 %, nejvyšší úbytek napětí byl 4,8 %, ale došlo k překročení maximálního zatížení transformátoru o 23,7 kW. To je více, než odpovídá jedné nabíječce s výkonem 22,2 kW. Následující případy byly pro různé kombinace nabíječek, včetně největších výkonů 50 a 100 kW. Zde s ohledem na rozložení výkonů jednotlivých nabíječek nedošlo k překročení žádných limitujících parametrů.

Níže je zobrazena přehledová tabulka jednotlivých případů, včetně problému, který v síti vznikl. Zde nastalo pouze v případě 11 překročení maximálního možného odebíraného zdánlivého výkonu (S).

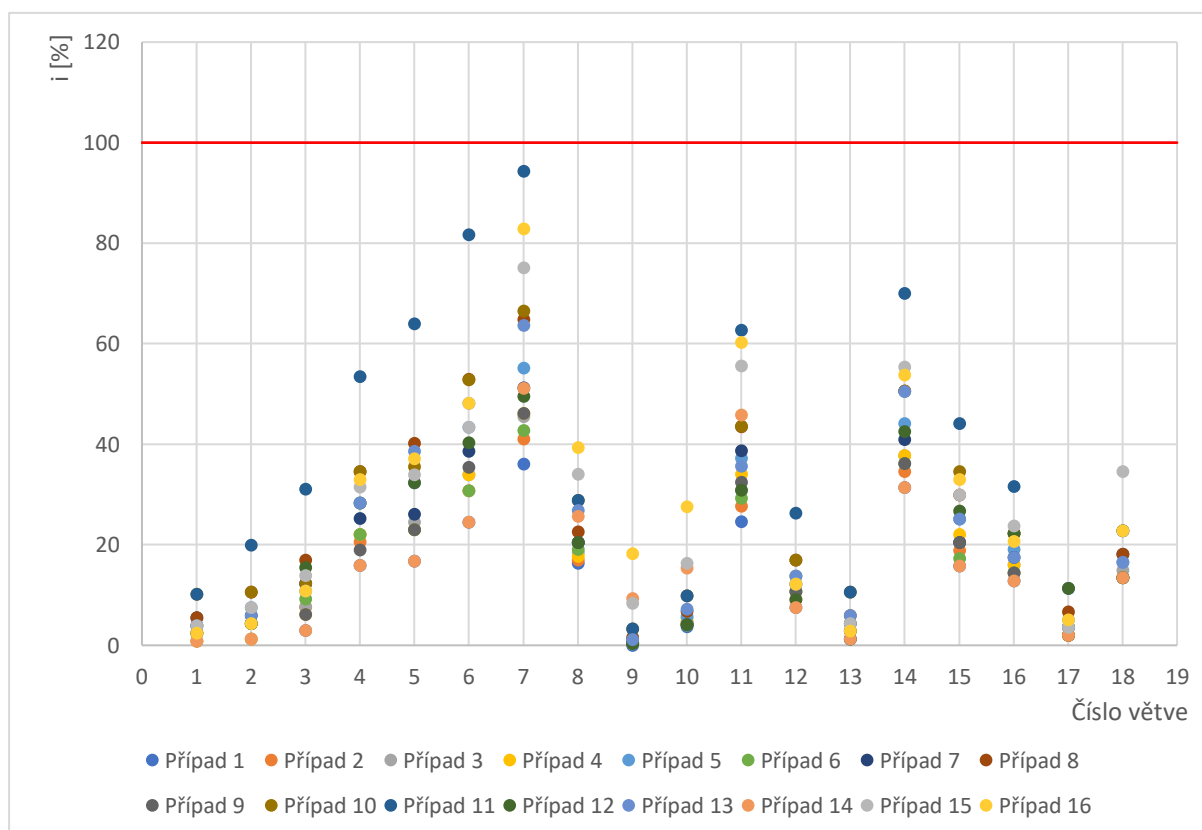
Tab. 5.1-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 1

Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
1	bez dobíjení	
2	9 · 3,7 kW	
3	17 · 3,7 kW	
4	9 · 7,4 kW	
5	17 · 7,4 kW	
6	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW	
7	9 · 11,1 kW	
8	17 · 11,1 kW	
9	3 · 3,7 kW; 3 · 7,4 kW; 3 · 11,1 kW	
10	9 · 22,2 kW	
11	17 · 22,2 kW	nevyhovuje S
12	2 · 3,7 kW; 2 · 7,4 kW; 2 · 11,1 kW; 2 · 22,2 kW	
13	5 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 4 · 22,2 kW	
14	2 · 50 kW	
15	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 3 · 22,2 kW; 2 · 50 kW	
16	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 3 · 22,2 kW; 1 · 50 kW; 1 · 100 kW	

Následující graf zobrazuje poměrné napětí v jednotlivých uzlech pro dané případy. Pod ním je vyneseno graf procentuálního proudového zatížení dílčích větví, ve kterém červená linie zobrazuje hranici maximální dovolené hodnoty proudu (100 %).



Obr. 5.1-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 1



Obr. 5.1-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 1

Následující druhá studie obsahuje sérii nejméně příznivých případů, kdy jsem se snažil umístit největší zátěž co nejdále od transformátoru, tedy na konce vybraných paprsků sítě. Případ A je opět bez dobíjení a je zde pouze z důvodu porovnání pro ostatní situace. Kombinaci výkonů jsem volil vždy takovou, aby nedošlo k překročení celkového možného odběru (630 kVA). V této distribuční soustavě jsem si vybral paprsek 1, skládající se z větví 6-1, a paprsek 2, obsahující větve 14-17.

Díky dostatečnému výkonu transformátoru jsem mohl v paprsku 1 umístit postupně od konce nabíječky s výkony  $3 \cdot 100$  kW,  $1 \cdot 22,2$  kW,  $1 \cdot 11,1$  kW a  $1 \cdot 7,4$  kW. Ani v této situaci napětí nepokleslo pod 90 % jmenovité hodnoty. Nastal zde ale jiný problém, a to proudové přetížení vodiče. Kabel ve větví číslo 6 byl přetížen až o 76,7 %. Další případ jsem vyzkoušel s použitím maximálně 50 kW nárůstu odběru v uzlech a zároveň jsem zvolil takový počet nabíječek, abych snížil celkový odebíraný výkon. Tím došlo k odlehčení kabelového vedení, ale stále byla překročena maximální hodnota proudu. Proto byl případ D namodelován tak, aby ve všech parametrech vyhovoval. Proudové zatížení větve 6 zde je ale těsně pod 100 %. Počet nabíječek v prvním paprsku musel být snížen na  $1 \cdot 100$  kW,  $1 \cdot 50$  kW a  $1 \cdot 22,2$  kW.

Podobnou simulaci umístování výkonů jsem zkoušel i ve druhém paprsku. V případě E se mi již podařilo těsně překročit úbytek napětí 10 %, ale opět došlo i k překročení proudového zatížení vodiče téměř o 80 %. V další situaci při náhradě 100 kW nabíječek za 50 kW, se proudové zatížení snížilo na 119 %. V následující situaci jsem snížil odběr tak, aby byly dodrženy všechny parametry. V této topologii jsem se tedy při dodržení ostatních parametrů dostal nejnižší na poměrnou hodnotu napětí 93,8 %.

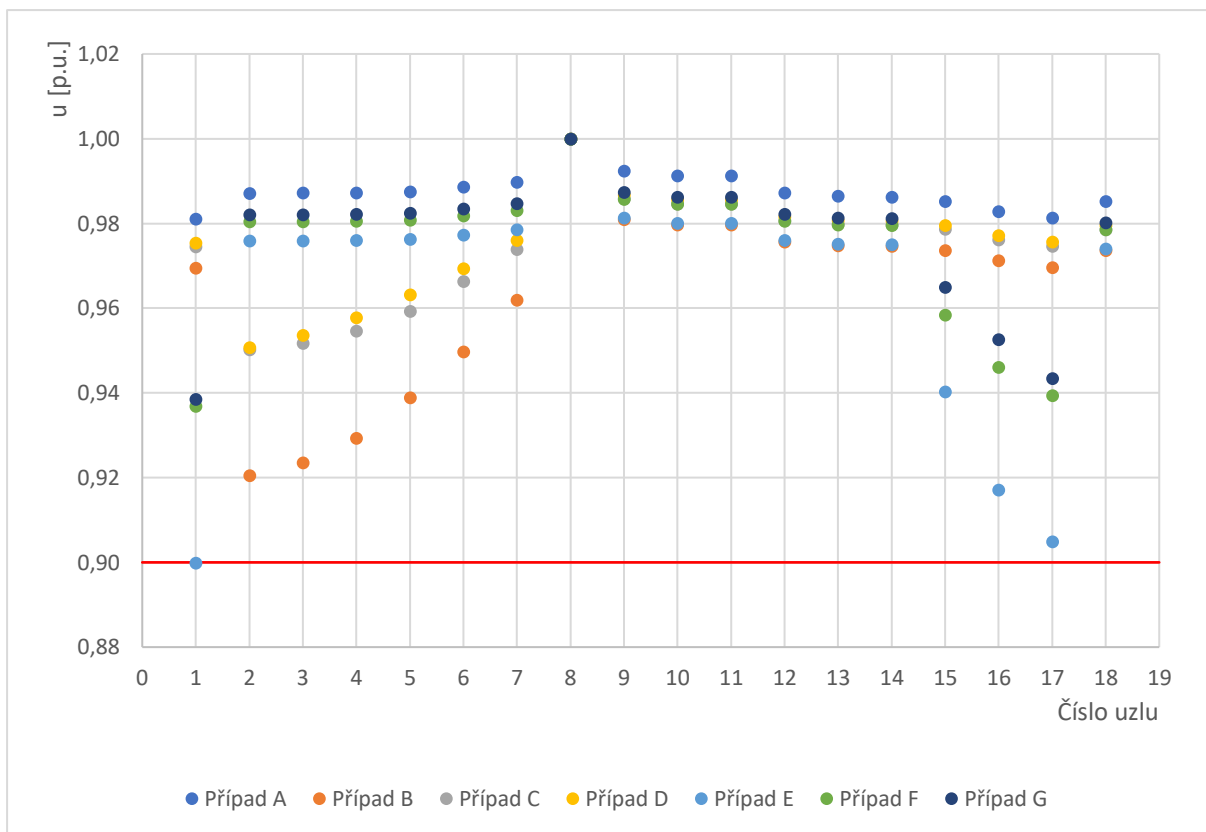
Přehled velikosti odběrů při jednotlivých případech je uveden v následující tabulce. V poznámce jsou zde také shrnuty dané parametry. Případy byly simulovány pro maximální možný odebíraný zdánlivý výkon (S) nebo při maximálním proudovém zatížení vodiče (i). Pokud došlo k překročení některého ze sledovaných parametrů, hodnoty poměrného napětí (u) nebo proudového zatížení (i), je to tu také zaznamenáno.

Tab. 5.1-2 Přehled výkonů umístovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 1

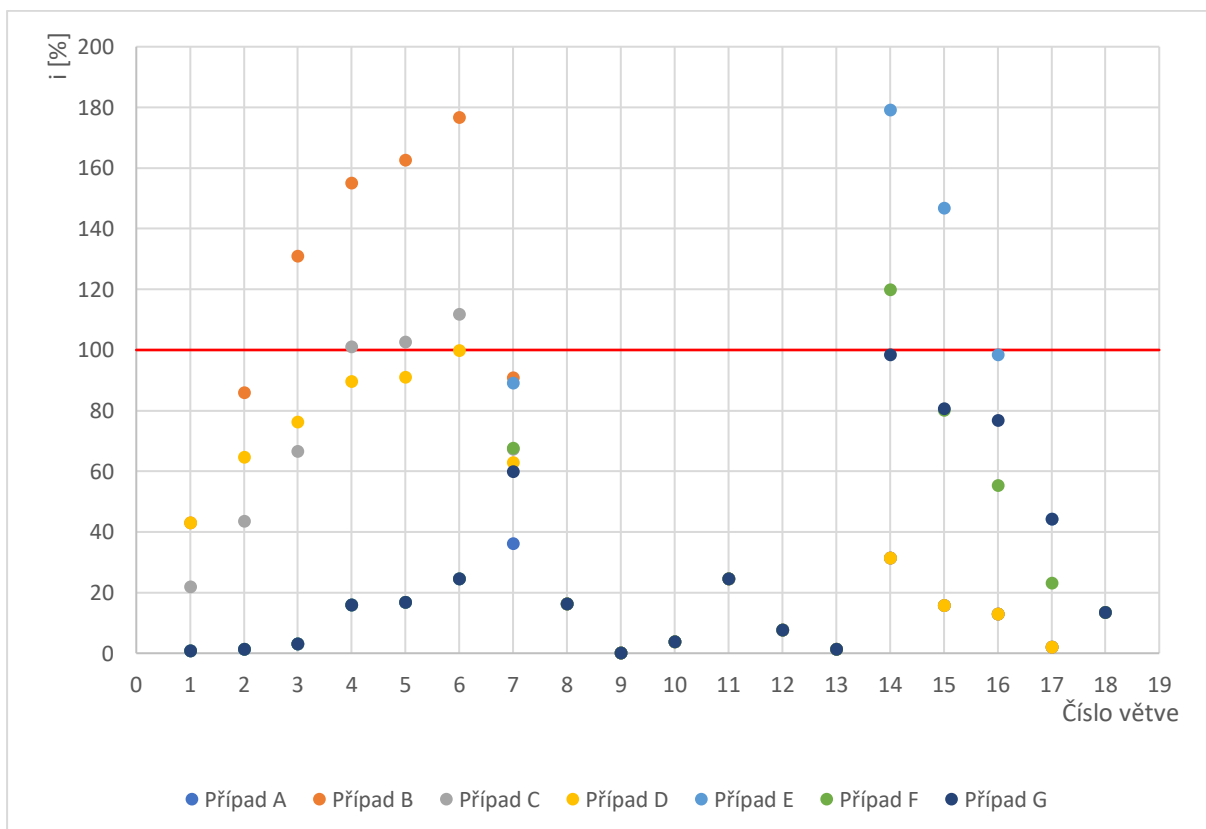
Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
A	bez dobíjení	
B	$3 \cdot 100$ kW; $1 \cdot 22,2$ kW; $1 \cdot 11,1$ kW; $1 \cdot 7,4$ kW	max. S; nevyhovuje i
C	$4 \cdot 50$ kW	nevyhovuje i
D	$1 \cdot 100$ kW; $1 \cdot 50$ kW; $1 \cdot 22,2$ kW	max. i
E	$3 \cdot 100$ kW; $1 \cdot 22,2$ kW	max. S; nevyhovuje u, i
F	$4 \cdot 50$ kW	nevyhovuje i
G	$1 \cdot 100$ kW; $1 \cdot 50$ kW	max. i

Výsledné hodnoty poměrného napětí pro všechny uzly a procentuálního proudového zatížení všech větví jsou graficky vyobrazeny na Obr. 5.1-4 a Obr. 5.1-5, včetně červené hranice zobrazující maximální povolené hodnoty.

Díky dostatečně dimenzovanému transformátoru je možné v této soustavě poměrně dosti navýšit odběry. Je zřejmé, že úbytky napětí v této síti nejsou největším problémem. Daleko horší je omezení proudovou zatížitelností vodiče.



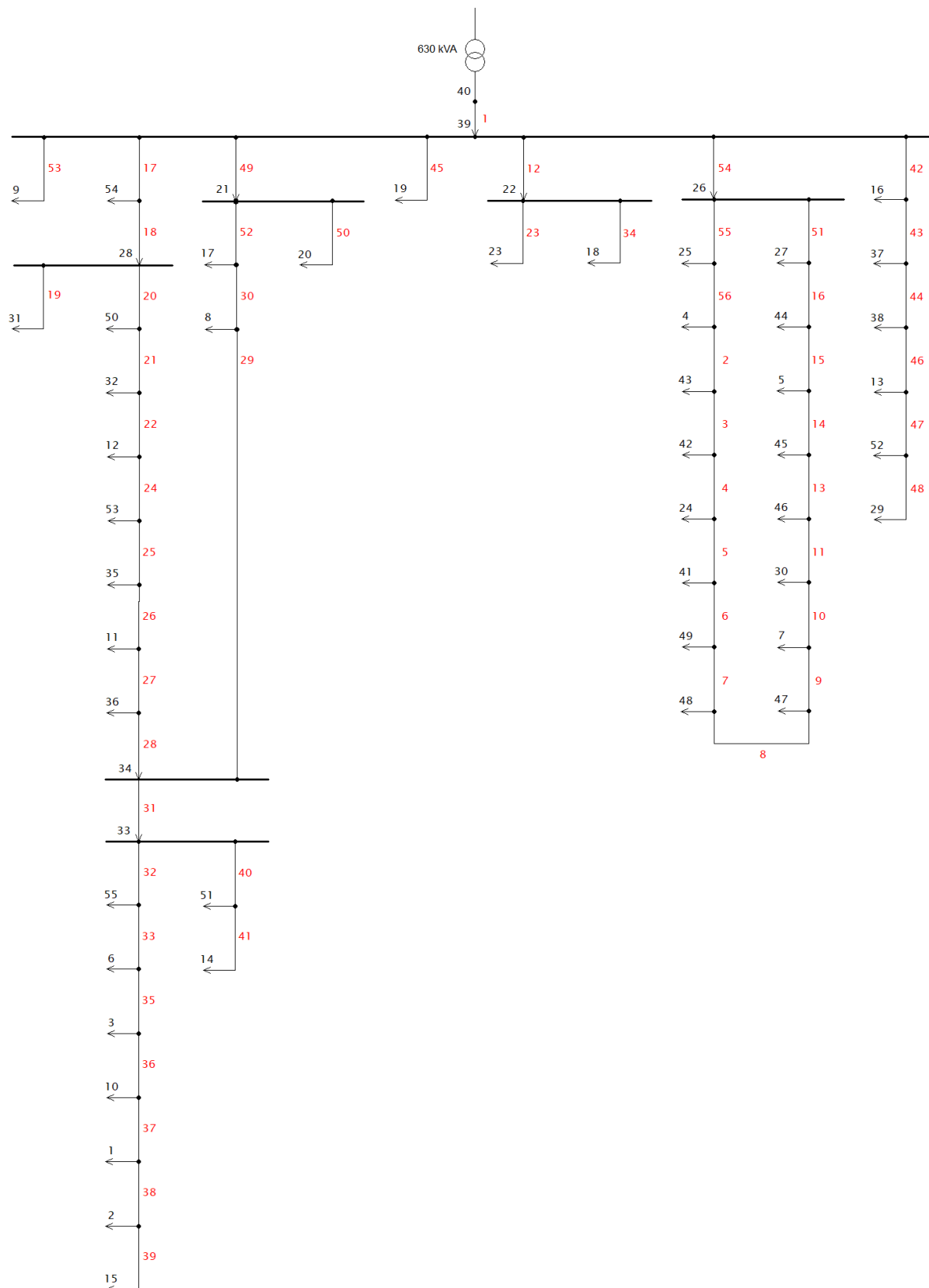
Obr. 5.1-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 1



Obr. 5.1-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 1

## 5.2 Distribuční síť 2

Tato síť je mnohem rozsáhlejší v porovnání se sítí číslo 1, obsahuje až 54 odběrných míst. Uzel číslo 40 je napájecí a je v něm udržováno jmenovité napětí. Zvolil jsem stejnou strategii přidávání nabíječek různých výkonů v polovině a ve všech uzlech sítě.



Obr. 5.2-1 Distribuční síť 2

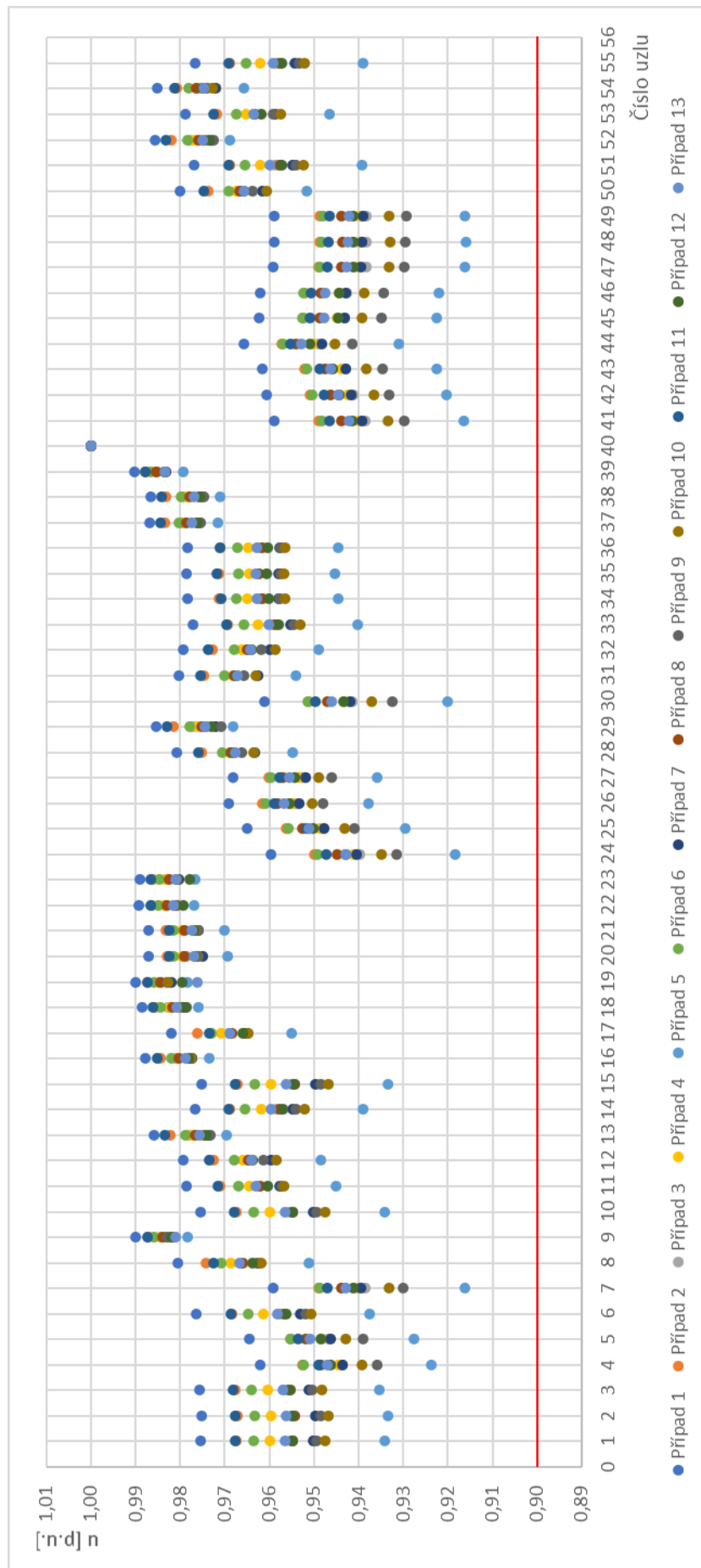


První případ je opět s čistým odběrem bez vlivu elektromobility. V této topologii činil největší základní úbytek napětí 4,1 %. V následujících případech jsem začal s přidáním 27 nabíječek o výkonu 3,7 kW a poté jsem pokračoval s 54 nabíječkami stejného výkonu. V této chvíli jsem se dostal na hodnotu 93,8 % jmenovitého napětí. Následující případ s 27 nabíječkami o výkonu 7,4 kW v celkovém součtu nárůstu odběru odpovídá předchozímu případu se stoprocentním zatížením sítě nabíječkami o výkonu 3,7 kW. Nicméně v síti dojde k odlišnému rozložení parametrů. Případ 5, kde bylo uvažováno 54 nabíječek s výkonem 7,4 kW, už ale nevyhověl z hlediska maximálního zatížení transformátoru a také došlo k proudovému přetížení vedení. Nabíječek tohoto výkonu by mohlo být v této síti maximálně 37. Další situace je vytvořena kombinací nabíječek předchozích výkonů. Z případu 5 bylo předem jasné, že umístění 27 a více nabíječek s výkonem 11,1 kW nebude možné z důvodu celkového odběru. Proto jsem další případ číslo 7 vytvořil pro maximální počet daných nabíječek. Nakonec jich bylo možné přidat 25. Ze stejného důvodu nemohly být uvažovány některé případy, které jsem testoval v první síti, proto je zde nižší počet případů. Případ 8 je opět tvořen kombinací předchozích výkonů. Všechny následující situace s výjimkou případu 11 jsou v počtu nabíječek omezeny tak, aby v celkovém součtu výkonu spadaly pod maximální možný dodávaný výkon. V případě číslo 9, došlo současně k dosažení maximálního proudového zatížení vodiče ve větvi 54. Například v případě 12 vidíme, že pokud do sítě umístíme dvě nabíjecí stanice s výkonem 50 kW, může se poté v distribuční síti nacházet pouze po čtyřech nabíječkách z každého nižšího výkonu. Maximální úbytek napětí v těchto simulacích dosáhl hodnoty 7,1 % v bodě číslo 49 pro případ 9.

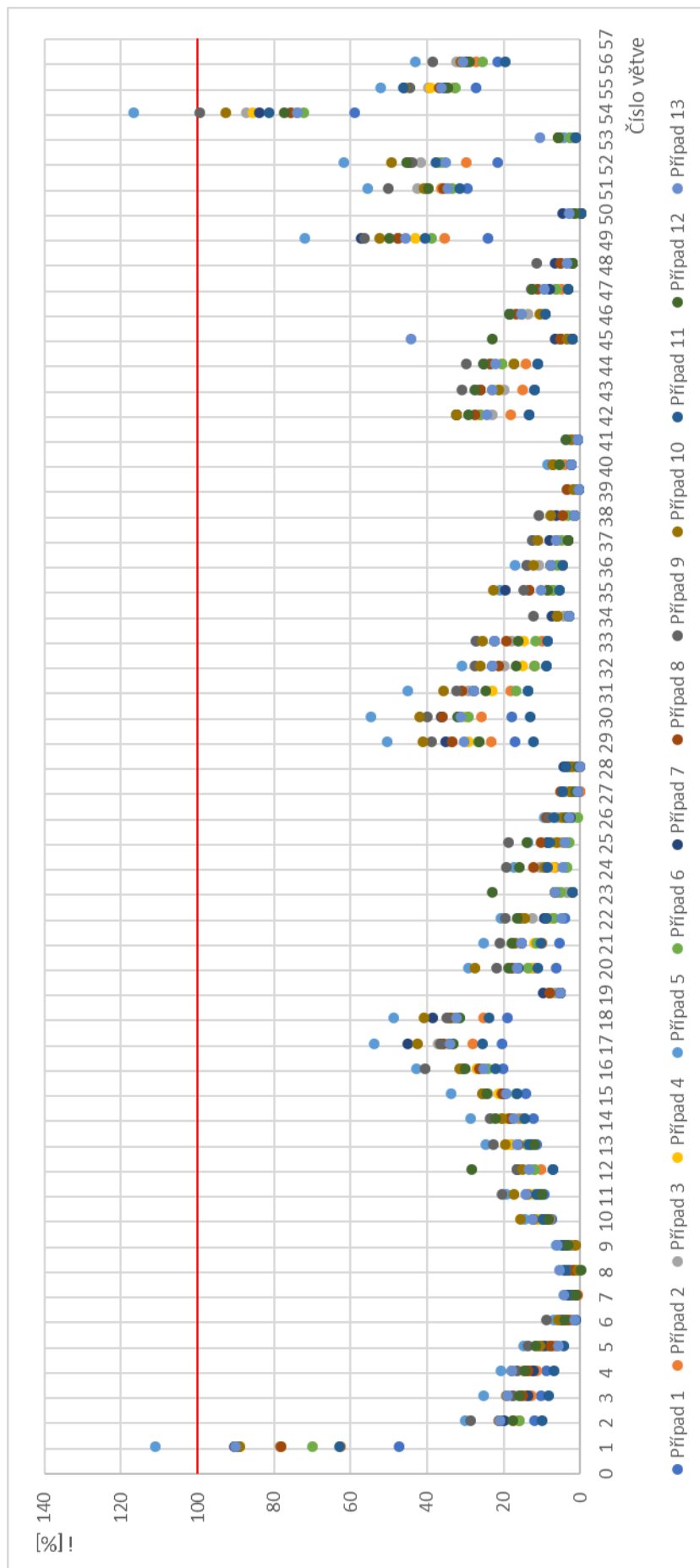
Tab. 5.2-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 2

Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
1	bez dobíjení	
2	27 · 3,7 kW	
3	54 · 3,7 kW	
4	27 · 7,4 kW	
5	54 · 7,4 kW	nevyhovuje S, i
6	14 · 3,7 kW; 13 · 7,4 kW	
7	25 · 11,1 kW	max. S
8	9 · 3,7 kW; 9 · 7,4 kW; 9 · 11,1 kW	
9	12 · 22,2 kW	max. S, i
10	7 · 3,7 kW; 7 · 7,4 kW; 7 · 11,1 kW; 5 · 22,2 kW	max. S
11	2 · 50 kW	
12	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 4 · 22,2 kW; 2 · 50 kW	max. S
13	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 4 · 22,2 kW; 1 · 100 kW	max. S

Výsledné hodnoty poměrného napětí v uzlech a procentuálního zatížení větví jsou zaznamenány na následujících grafech.



Obr. 5.2-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 2



Obr. 5.2-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 2

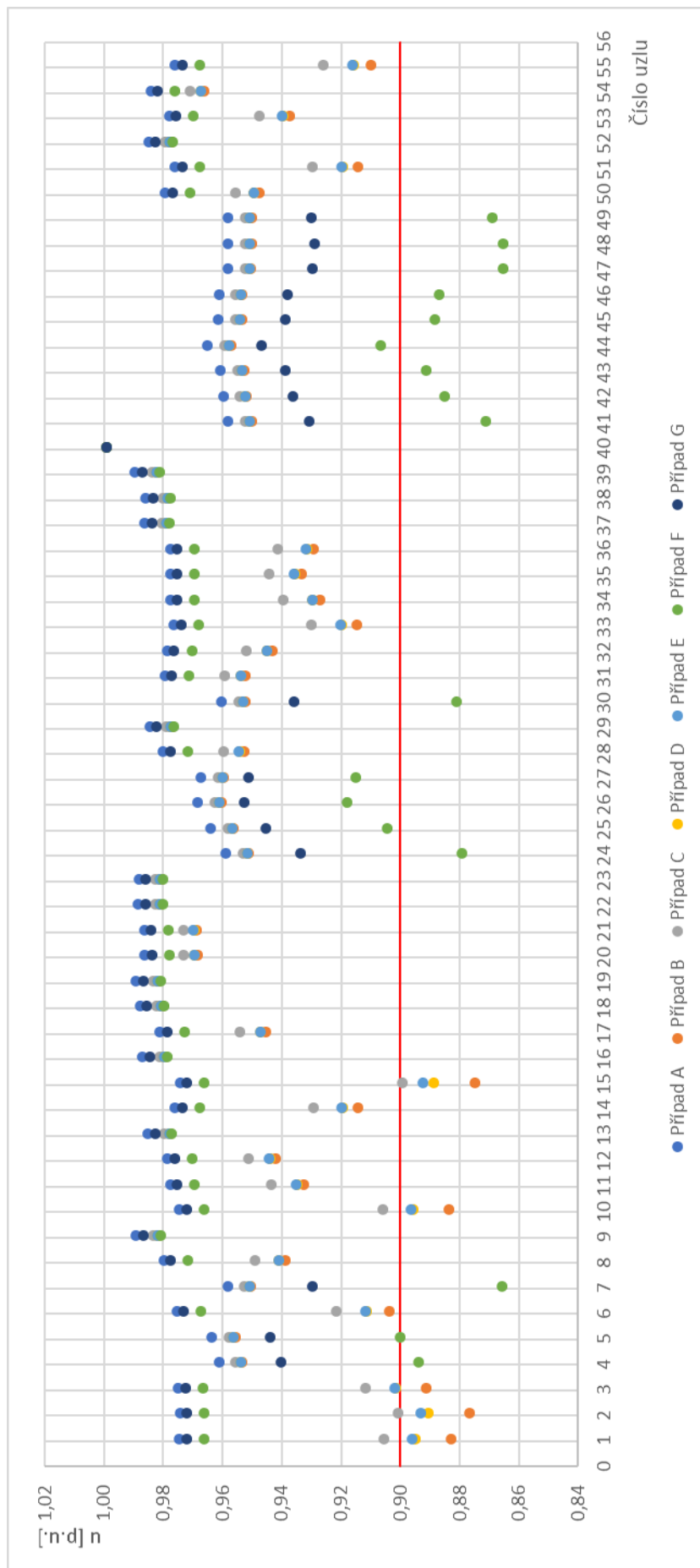
I v této soustavě jsem vytvořil několik méně příznivých situací s umístěním nabíječek o vysokém výkonu, co nejdále od transformátoru. Zde jsem si vybral paprsek 1, který je napájen ze společného uzlu 39 přes větve 17 a 49, a jako druhý paprsek, jenž je napájen přes větev 54. Pro následující případy jsem také vybíral počet nabíječek s danými výkony tak, aby celkový zdánlivý dodávaný výkon do sítě byl nižší než 630 kVA. V případě B jsem tedy mohl umístit dvě 100 kW nabíjecí stanice a jednu 50 kW. Byly umístěny na konec paprsku 1, do uzlů 15, 2 a 1. V tomto případě kleslo napětí v uzlu 15 na hodnotu 87,6 % jmenovitého napětí. Současně ale došlo k proudovému přetížení několika větví, nejvíce byla přetížena větev číslo 31, a to o 25,5 %. V případě C, při přesunu 50 kW nabíječky na místo 100 kW a přidání dvou 22 kW, jsem docílil poklesu proudového zatížení ve všech větvích pod dovolenou mez. V této situaci dosáhl úbytek napětí v uzlu 15 téměř 10 %. Sice těsně, ale můžeme říci, že tento případ vyhovuje z hlediska požadavku na kvalitu dodávky elektrické energie. Jelikož v případě B byla nejvíce přetížena větev 31, která připojuje konec zkoumaného paprsku k okružní části sítě, zkusil jsem přidat 50 kW nabíjecí stanici těsně před tuto větev, tedy do uzlu číslo 34, a zbylé uspořádání jsem zanechal dle případu C. Tím jsem docílil navýšení na největší možný odběr a při tom dodržení proudové zatížitelnosti vodiče. V této konfiguraci byl poprvé přesáhnut úbytek napětí 10 %, konkrétně největší byl 11 % v bodě číslo 15. Současně nebyla dodržena hladina napětí v dalších třech uzlech. Případ E je obdobou předchozího případu, přičemž největší pokles napětí je zde nižší, konkrétně 10,7 %.

V následujících případech F a G je zkoumán paprsek 2. Největší odběry jsou zde umístěny do bodů 47 a 48. Největší pokles napětí je v uzlu 48 na hodnotu 86,6 % jmenovitého napětí. Současně je i přetížena větev číslo 54 a to až o 80 %. Další případ je namodelován pro těsné splnění proudového zatížení. Z toho plyne, že v paprsku 2 může být zvýšen odběr pouze zhruba o 83 kW.

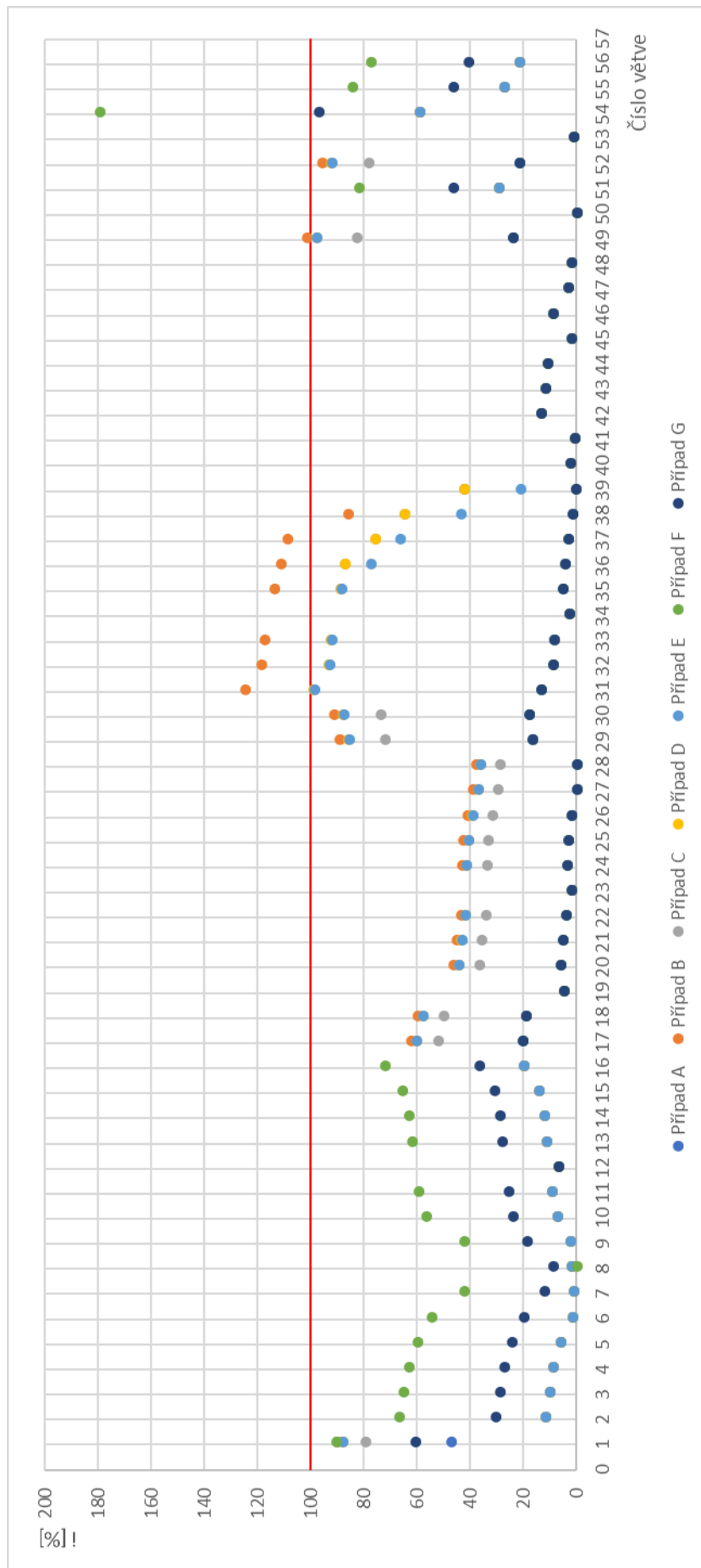
Tab. 5.2-2 Přehled výkonů umístěovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 2

Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
A	bez dobíjení	
B	2 · 100 kW; 1 · 50 kW	max. S; nevyhovuje u, i
C	1 · 100 kW; 1 · 50 kW; 2 · 22,2 kW	max. i, u
D	1 · 100 kW; 2 · 50 kW; 2 · 22,2 kW	max. S, i; nevyhovuje u
E	4 · 50 kW; 2 · 22,2 kW	max. S, i; nevyhovuje u
F	2 · 100 kW; 2 · 22,2 kW	max. S; nevyhovuje u, i
G	1 · 50 kW; 1 · 22,2 kW; 1 · 11,1 kW	max. i

Celkově jsem v této síti mohl zvýšit odběr přibližně o 100 kW méně, v porovnání s předchozí sítí. Již nešlo uvažovat dobíjení elektromobilů ve všech odběrných místech výkonem 7,4 kW. To je dáno hlavně větší rozlohou sítě. Ve dvou nejméně příznivých případech v nejdelším paprsku, vznikl úbytek napětí větší než dovolených 10 % a třetí případ byl těsně na hraně. I v této soustavě jsem byl zprvu omezen proudovou zatížitelností vodiče při umístěování největších odběrů.



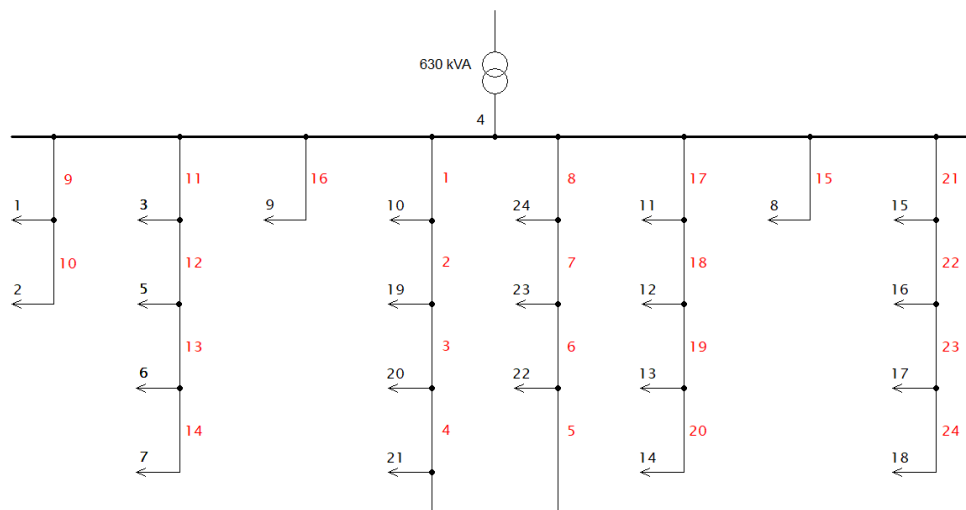
Obr. 5.2-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 2



Obr. 5.2-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 2

### 5.3 Distribuční síť 3

V této soustavě je 24 odběrných bodů. Sekundární strana distribučního transformátoru je připojena do uzlu číslo 4. Jelikož je síť poměrně málo rozsáhlá, při základním zatížení nedochází ani k celému 1% poklesu napětí.

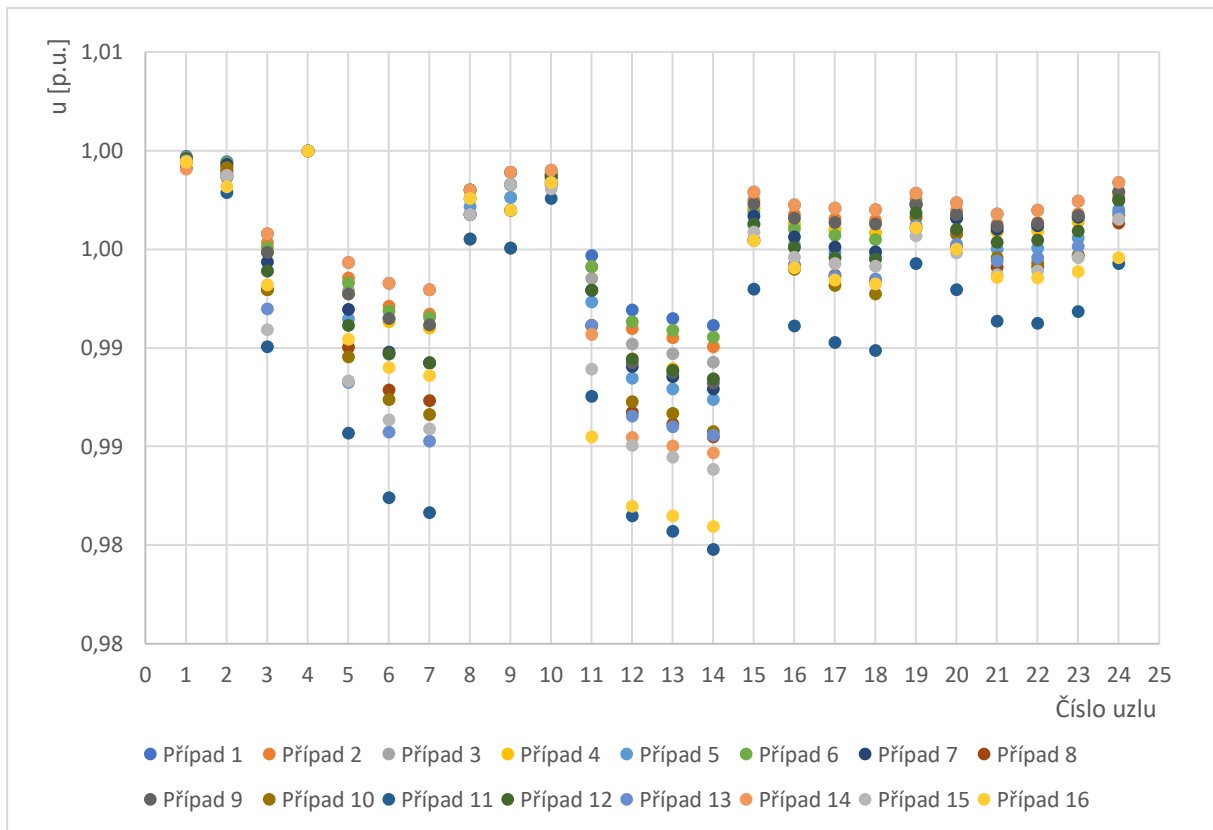


Obr. 5.3-1 Distribuční síť 3

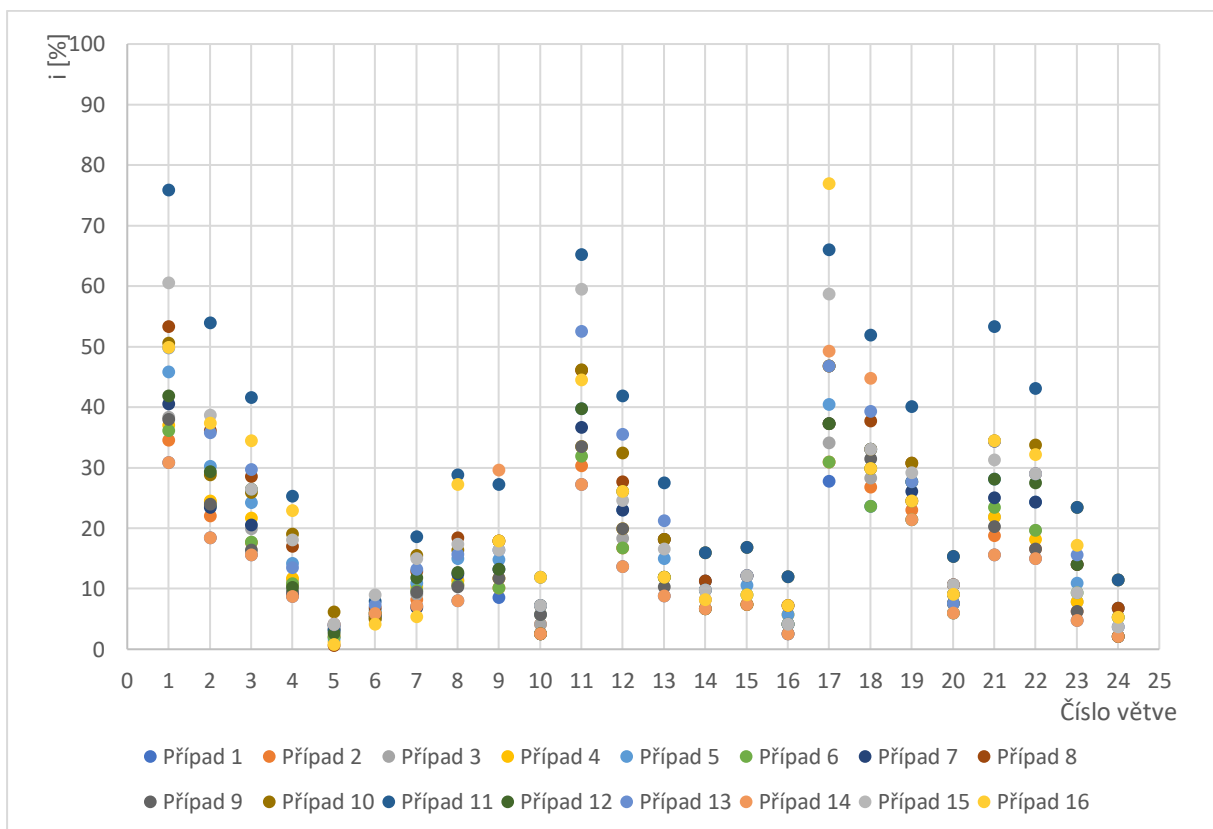
Držel jsem se dříve popsané strategie umíst'ování nabíječek různých výkonů. Až do případu číslo 11 nedošlo k žádnému překročení sledovaných parametrů. Zde byl značně převýšen maximální výkon, který lze sítí odebrat. Jednalo se o situaci, kdy bylo v každém bodě uvažováno zvýšení odběru o 22,2 kW. Přitom nabíječek tohoto výkonu by v síti mohlo být pouze 15. V případech 15 a 16 je uvažována kombinace všech výkonových typů nabíječek. Jejich počet je stanoven tak, aby nedošlo k překročení maximálního dodávaného výkonu transformátorem. Maximální úbytek napětí ve všech případech byl v těchto situacích maximálně 2 %.

Tab. 5.3-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 3

Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
1	bez dobíjení	
2	12 · 3,7 kW	
3	24 · 3,7 kW	
4	12 · 7,4 kW	
5	24 · 7,4 kW	
6	6 · 3,7 kW; 6 · 7,4 kW	
7	12 · 11,1 kW	
8	24 · 11,1 kW	
9	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW	
10	12 · 22,2 kW	
11	24 · 22,2 kW	nevyhovuje S
12	3 · 3,7 kW; 3 · 7,4 kW; 3 · 11,1 kW; 3 · 22,2 kW	
13	6 · 3,7 kW; 6 · 7,4 kW; 6 · 11,1 kW; 6 · 22,2 kW	
14	2 · 50 kW	
15	6 · 3,7 kW; 6 · 7,4 kW; 5 · 11,1 kW; 5 · 22,2 kW; 2 · 50 kW	max. S
16	4 · 3,7 kW; 4 · 7,4 kW; 4 · 11,1 kW; 4 · 22,2 kW; 1 · 50 kW; 1 · 100 kW	max. S



Obr. 5.3-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 3



Obr. 5.3-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 3



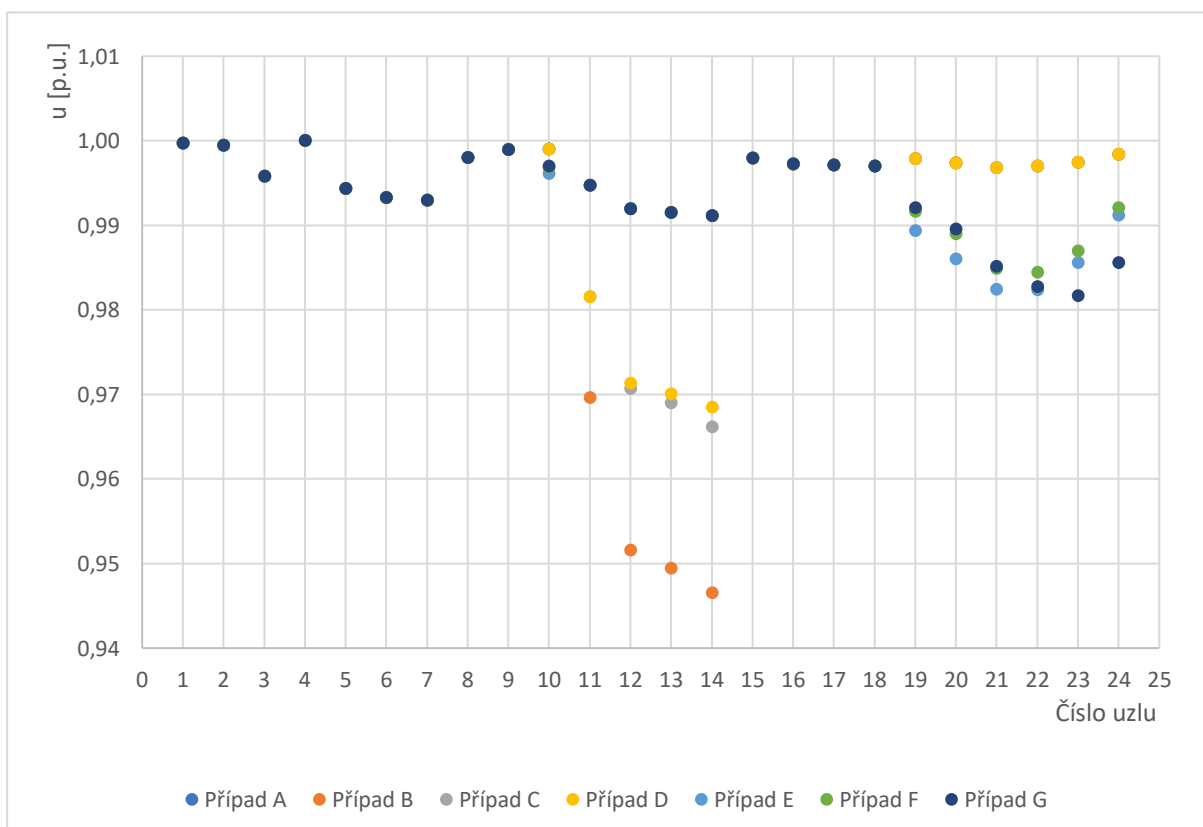
Následující řada případů zkoumá vliv vložení největších odběrů na konce paprsků třetí distribuční sítě. Zvolil jsem paprsek 1, který je tvořen větvemi 17-20, a paprsek 2, složený z větví 1-8. Případy B-D jsou pro paprsek 1 a případy E-G pro druhý paprsek. V případě B, kdy jsem zadal maximální dovolený výkonový odběr, došlo k proudovému přetížení kabelu až o 61,6 % v tomto paprsku. Následující dva případy jsou upraveny tak, aby bylo odstraněno proudové přetížení. Úbytek napětí při těchto simulacích byl nejvýše 3,4 %.

V případě druhého paprsku došlo při přidání největšího odběru také k proudovému přetížení, maximálně o 22,7 %. V dalších dvou případech byl odebíraný výkon snížen, aby síť splňovala všechny parametry. Porovnáním případů F a G vidíme zajímavou skutečnost, kdy umístěním nabíječek do různých odběrných bodů okružní části sítě, může nastat situace, kdy lépe situovaný větší odběr způsobí jiné rozložení toků a tím menší proudové zatížení než nižší odběr umístěný v jiných uzlech. To dokládá důležitost výběru správného umístění vysoce výkonných dobíjecích stanic při jejich instalaci. Při těchto případech vznikl úbytek napětí pouze 1,8 %. To je dáno převážně malou rozlohou distribuční sítě, kde v jednotlivých paprscích je pouze několik odběrů a kabelové vedení není příliš dlouhé.

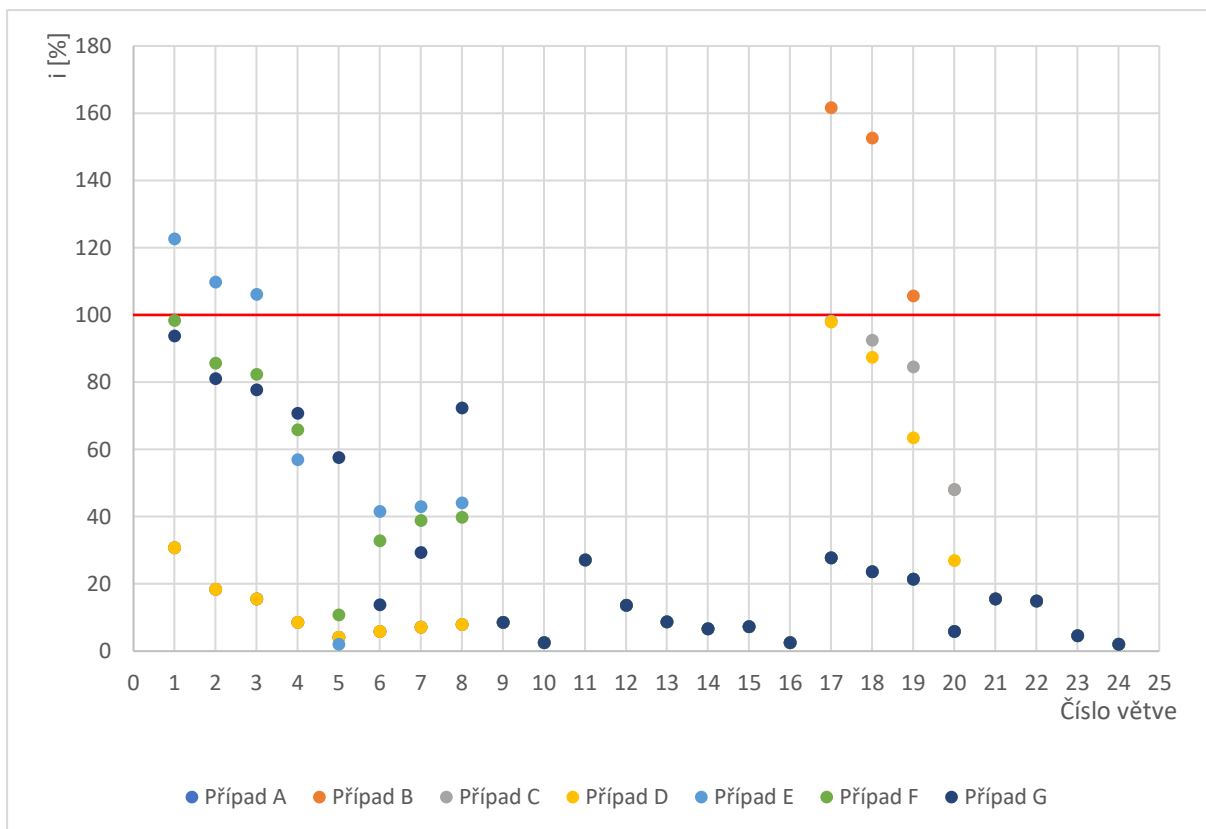
Tab. 5.3-2 Přehled výkonů umístovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 3

Případ	Počet a výkon nabíječek	Poznámka
A	bez dobíjení	
B	3 · 100 kW	max. S; nevyhovuje i
C	1 · 100 kW; 1 · 50 kW; 1 · 11,1 kW	max. i
D	3 · 50 kW; 1 · 11,1 kW	max. i
E	3 · 100 kW	max. S; nevyhovuje i
F	2 · 100 kW; 1 · 22,2 kW; 1 · 11,1 kW	max. i
G	3 · 100 kW	max. S

Tato soustava měla krátké paprsky, což dokládá úbytek napětí, který zde dosahoval nejnižších hodnot ze všech testovaných sítí. Při daných parametrech vodiče, vždy dojde dříve k jeho proudovému přetížení, než by vznikl mezní úbytek napětí.



Obr. 5.3-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 3



Obr. 5.3-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 3

## 6 Závěr

První prototyp elektrického vozu vznikl již v roce 1835 a v letech 1900-1910, kdy jejich podíl na americkém trhu byl 38 %, dosáhly největšího úspěchu. Nicméně v následujících letech byly postupně vytlačeny vozidly se spalovacími motory a došlo k jejich zapomnění. Až v posledních několika letech dochází k jejich znovuzrození díky snaze přechodu k alternativním a bezemisním typům pohonů. Za loňský rok bylo zaregistrováno v České republice pouze 307 elektromobilů, což odpovídá 0,11 % z celkového počtu nově registrovaných osobních automobilů. V současné době jich zde je přibližně 1 500 a zhruba 6 600 hybridů. Pro rychlejší rozvoj elektromobility je mimo jiné zapotřebí zajistit dostatečnou infrastrukturu dobíjecích stanic. Díky vytvoření definovaného právního prostředí je nyní výstavba nových dobíjecích stanic snadnější.

Vliv elektromobility na distribuční síť není doposud příliš jasný, existuje několik možných scénářů závislých na chování elektromobilistů. Možností je, že bude docházet k náhodným nárazovým odběrům během dne, což by způsobovalo značné komplikace v síti. Předpokládá se ale, že až okolo 80 % dobíjení bude probíhat pomalu, buď přes den v zaměstnání nebo hlavně přes noc v domácnostech. Pomalé nabíjení přes noc by mohlo stabilizovat denní diagram zatížení, což by bylo naopak přínosné. Velké nárazové špičky a vysoké nároky na síť vyvolané rychlonabíjecími stanicemi by se mohly omezit pomocí uložišť elektrické energie (akumulátorů), které by byly jejich součástí. K tomu by se mohly využívat například akumulátory z elektromobilů, které již pro potřebné dojezdy vozidel nemají nedostatečnou kapacitu. Zajímavé je také zapojení elektromobilů do „smart grid“, kde by bylo možné podle požadavků sítě řídit nabíjení elektromobilů, popřípadě by mohly elektromobily v situaci zvýšeného zatížení v síti dodávat energii i zpětně do soustavy. Tento systém by mohl přispět k budoucí ještě větší decentralizaci celé energetiky. Nicméně tyto vize podle mě sahají ještě do značné budoucnosti. Elektromobilita se stále rozrůstá, ale značně pomalu, což je patrné na počtu registrovaných elektromobilů. Bude ještě trvat hodně dlouho, než u nás budou elektromobily co do počtu srovnatelné s vozy se spalovacími motory.

Pro zhodnocení dopadu elektromobility na elektrizační soustavu jsem provedl základní výpočet odhadu nárůstu spotřeby elektrické energie. V nejbližších letech se nedá očekávat rapidní vzrůst spotřeby. Pro 100 000 elektromobilů by bylo nutné zajistit 343 GWh elektrické energie navíc. To odpovídá procentuálnímu vzrůstu spotřeby o 0,47 % v porovnání s celkovou spotřebou v roce 2017. V okamžiku, kdy by zde bylo 500 000 elektromobilů, spotřeba by povyroستla o 2,33 %. Podle základního scénáře rozvoje elektromobility v ČR, by tohoto množství vozidel mohlo být dosaženo nejdříve po roce 2040. Uvážím-li pro zajímavost náhradu všech osobních automobilů se spalovacím motorem, kterých je v současné době přibližně 5 600 000, již by bylo nutné zvýšit výrobu elektrické energie o 19 222 GWh, což odpovídá 26,05 %. Tato hodnota je již poměrně nezanedbatelná. Nepředpokládám, že by k takovému stavu došlo. Vždy zůstane určitý mix různých typů pohonů, kde budou nadále zastoupeny konvenční spalovací motory spolu s různými novými alternativními pohony. Také si myslím, že v budoucnosti bude více rozšířena služba sdílení vozidel a tím dojde ke snížení celkového vozového parku.

Daleko problematictější by se mohl zdát nárůst aktuálního zatížení elektrizační soustavy. Zde závisí na výkonu nabíječek a také na počtu současně dobíjených elektromobilů. Například pro modelovou situaci dobíjení 100 000 elektromobilů výkonem 11 kW, se zvýší zatížení o 1 100 MW. Tento nárůst by mohl být bez problému pokryt. Ale v případě takovéto skokové změny, by ale mohlo docházet v soustavě k nežádoucím přechodným stavům. Proto by bylo daleko lepší těmto případům předcházet, což by se dalo zajistit například řízeným dálkovým spínáním jednotlivých nabíječek např. pomocí využívaného systému HDO. Tím by šlo řídit odběry podle aktuálního stavu soustavy. Jak již bylo uvedeno, v okamžiku umožnění i zpětné dodávky elektrické energie z elektromobilů do elektrizační soustavy, by tímto v energetice vznikl nový regulační nástroj, který nejen že by kompenzoval nežádoucí vlivy způsobené vlastním dobíjením elektromobilů, ale zároveň by mohl alespoň z části vyrovnávat denní diagram zatížení a regulovat odchylku.

V případové studii jsem se zaměřil na tři konkrétní části distribuční soustavy, kde jsem simuloval nárůst spotřeby, zapříčiněný dobíjením elektromobilů v jednotlivých odběrných bodech. Hlavními

zkoumanými parametry byly úbytky napětí a proudové zatížení vodičů. Z hlediska úbytků napětí, síť většinou vyhověla. Pouze ve dvou nepříznivých případech došlo k překročení dovolené meze úbytku napětí, když byla uvažována největší zátěž na konci nejdelšího paprsku distribuční sítě číslo 2. Daleko problematičtější se projevilo omezení proudové zatížitelnosti kabelu. To bylo překročeno dříve, nežli by vznikl mezní úbytek napětí. To je dáno vlastnostmi zkoumaného kabelového vedení, které má malé ztráty. Je téměř jisté, že při nevhodně situovaných dobíjecích stanicích vysokého výkonu v rozlehlých venkovských sítích by mohlo docházet daleko častěji k větším úbytkům napětí. Obecně se nedá říci, zda bude dobíjení elektromobilů způsobovat nějaké problémy v jednotlivých částech distribuční soustavy. Hodně závisí na jejich rozloze, na dostatečném dimenzování (průřez vodiče, výkon transformátoru) a také na počtu a výkonu aktivních nabíječek pro elektromobily. Distribuční síť s umístováním výkonných dobíječek při svém rozvoji v minulých letech nepočítala a v řadě míst bude nutné vedení i transformaci posílit. Každé instalaci větších dobíjecích stanic by měla předcházet důkladná síťová studie, která zanalyzuje dopady na síť.

## Seznam symbolů a zkratek

A	Ampér (jednotka elektrického proudu)
AC	Střídavý proud (Alternating Current)
CCS	Kombinovaný systém dobíjení (Combined Charging System)
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
EV	Elektrické vozidlo (Electric Vehicle)
HDO	Hromadné dálkové ovládání
CHAdemo	Nabít pro pohyb (CHArge de MOve)
i	Procentuální proudová zatížitelnost [%]
km/h	Kilometr za hodinu
LDS	Lokální distribuční soustava
LPG	Zkapalněný ropný plyn (Liquified Petroleum Gas)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
n	Počet [ks]
P	Činný výkon [W]
p.u.	Poměrná jednotka (per-unit)
S	Zdánlivý výkon [VA]
u	Poměrné napětí [p.u.]
V	Volt (jednotka elektrického napětí)
VA	Voltampér (jednotka zdánlivého elektrického výkonu)
W	Elektrická energie
W	Watt (jednotka činného elektrického výkonu)
Wh	Wattodina (jednotka elektrické energie)
$\eta$	Účinnost [p.u.]

## Seznam použité literatury

- [1] GUARNIERI, Massimo. Looking back to electric cars. In: *2012 Third IEEE HISToRY of ELECTro-technology CONference (HISTELCON)* [online]. IEEE, 2012 [cit. 2017-11-04]. ISBN 978-1-4673-3078-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6487583/>
- [2] VEGR, Jaromír. Elektromobily – historie a současnost. *PRO-ENERGY* [online]. 2008, 2008(3), s. 44-50 [cit. 2017-11-04]. ISSN 1802-4599. Dostupné z: <http://pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>
- [3] Stratingh's electric car. In: *RUG* [online]. University of Groningen, 2015. [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://www.rug.nl/society-business/university-museum/prominent-professors/stratingh?lang=en>
- [4] One of Thomas Parker's early cars outside the family home; The Manor House, Upper Green, Tettenhall. Thomas is sat in the middle and on the back seat is possibly his son Alfred. In: *HistoryWebsite* [online]. Bev Parker, 2017 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://www.historywebsite.co.uk/genealogy/Parker/ElwellParker.htm>
- [5] Zákon č. 152/2017 Sb., zákon, kterým se mění zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In: *Sbírka zákonů*. 22.5.2017. ISSN 1211-1244.
- [6] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Národní akční plán čisté mobility (NAP CM). In: *MPO* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015. [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/>
- [7] REDAKCE ČASOPISU. Nabíjecí systémy elektromobilů vodivým propojením dle ČSN EN 61851-1 ed. 2. In: *ElektroPrůmysl* [online]. ElektroPrůmysl, 2012 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/alternativni-energie/nabijeci-systemy-elektromobilu-vodivym-propojenim-dle-csn-en-61851-1-ed-2>
- [8] REDAKCE ČASOPISU. Konektory podle mezinárodních norem pro nabíjení elektromobilů. In: *ElektroPrůmysl* [online]. ElektroPrůmysl, 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/alternativni-energie/napajeni-elektricky-vozidel>
- [9] Jaký je rozdíl mezi Plug-in hybridem a elektromobilem? In: *EON* [online]. E.ON [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/o-nas/energie-plus/emobilita/-a76395>
- [10] Elektromobil. In: *Elektromobil.vseznamu* [online]. Elektromobil.vseznamu, 2010 [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/alternativy-ekologicke-silnici-dopravy/elektromobil>
- [11] SCHNEIDER ELECTRIC. *Připojení systému k nabíjecí stanici – klíčový prvek pro elektromobily* [online]. 2011 [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: [http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider\\_teorie.pdf](http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf)
- [12] CHMELÍK, Tomáš. Projekt elektromobilita ČEZ. In: *SmartCityVPraxi* [online]. Konference „Efektivní elektromobilita v organizacích“, 4.10.2016 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: [http://www.smartcityvpraxi.cz/prezentace/KonferenceEmobilita/Chmelik\\_CEZ.pdf](http://www.smartcityvpraxi.cz/prezentace/KonferenceEmobilita/Chmelik_CEZ.pdf)
- [13] *Svaz dovozců automobilů* [online]. Svaz dovozců automobilů - SDA, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/>
- [14] ČSN EN 62196-2: *Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky - Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením - Část 2: Požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro přístroje s kolíky a dutinkami na střídavý proud*. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [15] ČSN EN 62196-3: *Vidlice, zásuvky, vozidlové nástrčky a vozidlové přívodky - Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením - Část 3: Požadavky na rozměrovou kompatibilitu a zaměnitelnost pro vozidlová zásuvková spojení s kolíky a dutinkami na stejnosměrný a střídavý/stejnosměrný proud*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [16] CHMELÍK, Tomáš. Výstavba veřejné dobíjecí infrastruktury v České republice. *Energetika*. 2017, 67(4), 208-211. ISSN 0375-8842.
- [17] *SpritMonitor* [online]. Fisch und Fischl, DE, 2018 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://www.spritmonitor.de>
- [18] *ČEPS* [online]. ČEPS, 2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz>
- [19] ČSN EN 61851-1: *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Všeobecné požadavky*. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2011.

- [20] ČSN EN 50160: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [21] KABEŠ, Karel. Bez kabelové dobíjení elektromobilů. *ELEKTRO* [online]. 2011, (7) [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bezkabelove-dobijeni-elektromobilu--9613>
- [22] Conductive and Wireless EV Charging Systems. In: *Trinh Quoc Nam* [online]. Trinh Quoc Nam, 2016 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://trinhquocnam.wordpress.com/design-and-development-of-3-kw-wireless-charging-system-for-ev/>
- [23] *ERU* [online]. Energetický regulační úřad, 2018 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality>
- [24] *MPO* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2018 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/v-ceske-republice-je-historicky-nejvic-verejnych-cerpacich-panic---235450/>
- [25] *EVMAPA* [online]. EVSELECT, 2018 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.evmapa.cz>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1-1 Stratinghův elektrický vůz, 1835 [3].....	8
Obr. 1.1-2 Elektrický vůz Thomase Parkera (sedící uprostřed) [4] .....	8
Obr. 1.4-1 Registrace nových osobních automobilů v ČR dle paliva za období 1-12/2017 [13] .....	11
Obr. 1.4-2 Registrace nových elektromobilů a hybridů v kategorii osobních a lehkých užitkových vozů 2010-2017 [13].....	11
Obr. 3.1-1 Typy dobíjecích stanic a modely dobíjení [12] .....	14
Obr. 3.1-2 Časy nabíjení 30 kWh akumulátoru na 80 % kapacity při různých výkonech nabíjení .....	15
Obr. 3.5-1 Standardy podle mezinárodních norem pro nabíjení elektromobilů [8].....	18
Obr. 3.5-2 Používané standardy v České republice (Evropě) [12].....	19
Obr. 3.6-1 Kabelový a bezdrátový systém dobíjení elektromobilu [22] .....	20
Obr. 3.7-1 Mapa dobíjecích stanic pro elektromobily v ČR [25].....	21
Obr. 4.2-1 Denní digram zatížení ze dne 7.2.2018 [17].....	25
Obr. 5.1-1 Distribuční síť 1 .....	28
Obr. 5.1-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 1 .....	29
Obr. 5.1-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 1 .....	29
Obr. 5.1-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 1 .....	31
Obr. 5.1-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 1 .....	31
Obr. 5.2-1 Distribuční síť 2 .....	32
Obr. 5.2-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 .....	34
Obr. 5.2-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 2 .....	35
Obr. 5.2-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 .....	37
Obr. 5.2-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 2 .....	38
Obr. 5.3-1 Distribuční síť 3 .....	39
Obr. 5.3-2 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 3 .....	40
Obr. 5.3-3 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 3 .....	40
Obr. 5.3-4 Hodnoty poměrného napětí v jednotlivých uzlech sítě 3 .....	41
Obr. 5.3-5 Hodnoty procentuálního proudového zatížení jednotlivých větví sítě 3 .....	42

## Seznam tabulek

Tab. 4.1-1 Nárůst spotřeby způsobený různým počtem elektromobilů.....	24
Tab. 5.1-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 1 .....	28
Tab. 5.1-2 Přehled výkonů umístěovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 1 .....	30
Tab. 5.2-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 2 .....	33
Tab. 5.2-2 Přehled výkonů umístěovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 2.....	36
Tab. 5.3-1 Přehled uvažovaného dobíjení v jednotlivých případech pro síť 3 .....	39
Tab. 5.3-2 Přehled výkonů umístěovaných na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 3 .....	41



## Seznam příloh

Tabulka 1 Parametry distribuční sítě 1 .....	50
Tabulka 2 Přehled umístění nabíječek daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 1 .....	50
Tabulka 3 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 1 .....	51
Tabulka 4 Parametry distribuční sítě 2 .....	52
Tabulka 5 Přehled umístění nabíječek daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 2 .....	53
Tabulka 6 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 2 .....	54
Tabulka 7 Parametry distribuční sítě 3 .....	55
Tabulka 8 Přehled umístění nabíječek daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 3 .....	55
Tabulka 9 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 3 .....	56

## Přílohy

### Distribuční síť 1

Tabulka 1 Parametry distribuční sítě 1

Číslo uzlu	Un [V]	Podb [kW]	Qodb [kVAr]	Číslo větve	Počáteční uzel	Koncový uzel	R [Ω]	X [Ω]	I <sub>max</sub> [A]
1	400	4,7	1,3	1	3	2	0,00390	0,00193	350
2	400	2,0	0,6	2	4	3	0,00382	0,00189	350
3	400	1,0	0,3	3	5	4	0,00418	0,00207	350
4	400	4,0	1,1	4	6	5	0,00408	0,00202	350
5	400	30,0	8,4	5	7	6	0,00438	0,00216	350
6	400	2,0	0,6	6	9	7	0,00643	0,00318	350
7	400	18,0	5,0	7	8	9	0,00483	0,00070	1000
8	400	0,0	0,0	8	9	10	0,00443	0,00219	350
9	400	4,0	1,0	9	10	11	0,02037	0,01006	350
10	400	38,0	10,6	10	11	9	0,01970	0,00973	350
11	400	8,7	2,4	11	9	12	0,01263	0,00624	350
12	400	8,0	2,2	12	12	13	0,00641	0,00317	350
13	400	14,7	4,1	13	13	14	0,00710	0,00351	350
14	400	3,0	0,8	14	9	15	0,01368	0,00676	350
15	400	36,0	10,1	15	15	16	0,00902	0,00446	350
16	400	6,7	1,9	16	16	17	0,00695	0,00343	350
17	400	25,3	7,1	17	17	1	0,00640	0,00316	350
18	400	31,3	8,8	18	12	18	0,00892	0,00441	350

Tabulka 2 Přehled umístění nabíječek daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 1

Číslo uzlu	Případ															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	0	11,1	3,7	0	22,2	22,2	3,7	0	3,7	7,4
2	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	11,1	11,1	3,7	22,2	22,2	7,4	7,4	0	7,4	3,7
3	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	0	11,1	3,7	0	22,2	0	3,7	0	7,4	3,7
4	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	0	0	22,2	22,2	7,4	0	11,1	11,1
5	0	0	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	0	22,2	22,2	0	11,1	0	11,1	22,2
6	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	11,1	7,4	0	22,2	7,4	22,2	0	3,7	7,4
7	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	11,1	11,1	22,2	22,2	0	3,7	0	3,7	7,4
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	3,7	0	7,4	0	0	11,1	0	0	22,2	0	22,2	0	11,1	3,7
10	0	0	3,7	0	7,4	7,4	11,1	11,1	11,1	22,2	22,2	11,1	22,2	0	22,2	11,1
11	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	0	22,2	22,2	0	11,1	50	50	100
12	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	11,1	11,1	0	22,2	11,1	3,7	50	11,1	50
13	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	0	0	22,2	0	3,7	0	3,7	7,4
14	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	7,4	22,2	22,2	3,7	11,1	0	7,4	3,7
15	0	0	3,7	0	7,4	7,4	11,1	11,1	0	0	22,2	0	22,2	0	22,2	11,1
16	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	7,4	22,2	22,2	3,7	11,1	0	7,4	22,2
17	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	11,1	0	22,2	22,2	0	7,4	0	22,2	11,1
18	0	0	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	0	22,2	22,2	0	7,4	0	50	22,2

Tabulka 3 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 1

Číslo uzlu	Případ						
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	0	0	0	100	50	100
2	0	100	50	100	0	0	0
3	0	100	50	50	0	0	0
4	0	100	50	22,2	0	0	0
5	0	22,2	50	0	0	0	0
6	0	11,1	0	0	0	0	0
7	0	7,4	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	22,2	50	0
16	0	0	0	0	100	50	0
17	0	0	0	0	100	50	50
18	0	0	0	0	0	0	0

Distribuční síť 2

Tabulka 4 Parametry distribuční sítě 2

Číslo uzlu	Un [V]	Podb [kW]	Qodb [kVAr]
1	400	4,0	1,1
2	400	3,0	0,8
3	400	2,0	0,6
4	400	22,7	6,3
5	400	4,7	1,3
6	400	7,0	2,0
7	400	12,0	3,4
8	400	2,0	0,6
9	400	4,0	1,1
10	400	3,0	0,8
11	400	5,0	1,4
12	400	1,0	0,3
13	400	13,3	3,7
14	400	3,0	0,8
15	400	2,0	0,6
16	400	3,3	0,9
17	400	9,0	2,5
18	400	8,0	2,2
19	400	6,0	1,7
20	400	1,0	0,3
21	400	4,0	1,1
22	400	4,0	1,1
23	400	6,0	1,7
24	400	6,7	1,9
25	400	12,7	3,5
26	400	1,0	0,3
27	400	22,0	6,2
28	400	16,7	4,7
29	400	6,0	1,7
30	400	4,0	1,1
31	400	13,0	3,6
32	400	3,0	0,8
33	400	4,0	1,1
34	400	6,7	1,9
35	400	3,0	0,8
36	400	2,0	0,6
37	400	2,0	0,6
38	400	5,0	1,4
39	400	9,0	5,2
40	400	0,0	0,0
41	400	11,0	3,1
42	400	3,0	0,8
43	400	4,0	1,1
44	400	13,3	3,7
45	400	2,0	0,6
46	400	5,0	1,4
47	400	1,0	0,8
48	400	2,0	4,7
49	400	7,0	2,0
50	400	2,0	0,6
51	400	4,0	1,1
52	400	3,0	0,8
53	400	1,0	0,3
54	400	3,0	0,8
55	400	1,0	0,3

Číslo větve	Počáteční uzel	Koncový uzel	R [Ω]	X [Ω]	I <sub>max</sub> [A]
1	40	39	0,00000	0,01511	1000
2	4	43	0,00213	0,00105	350
3	43	42	0,00508	0,00251	350
4	42	24	0,00492	0,00243	350
5	24	41	0,00705	0,00348	350
6	41	49	0,00213	0,00105	350
7	49	48	0,00426	0,00211	350
8	48	47	0,00344	0,00170	350
9	47	7	0,00049	0,00024	350
10	7	30	0,01410	0,00697	350
11	30	46	0,00525	0,00259	350
12	39	22	0,00813	0,00520	350
13	46	45	0,00115	0,00057	350
14	45	5	0,00984	0,00486	350
15	5	44	0,00541	0,00267	350
16	44	27	0,00640	0,00316	350
17	39	54	0,01425	0,00912	350
18	54	28	0,01250	0,00800	350
19	28	31	0,00476	0,00235	350
20	28	50	0,00640	0,00316	350
21	50	32	0,00558	0,00275	350
22	32	12	0,00131	0,00065	350
23	22	23	0,00375	0,00240	350
24	12	53	0,00607	0,00300	350
25	53	35	0,00558	0,00275	350
26	35	11	0,00098	0,00049	350
27	11	36	0,00476	0,00235	350
28	36	34	0,00312	0,00154	350
29	34	8	0,00738	0,00365	350
30	8	17	0,00410	0,00203	350
31	34	33	0,00558	0,00275	350
32	33	55	0,00230	0,00113	350
33	55	6	0,00279	0,00138	350
34	22	18	0,01025	0,00656	350
35	6	3	0,00607	0,00300	350
36	3	10	0,00377	0,00186	350
37	10	1	0,00033	0,00016	350
38	1	2	0,00394	0,00194	350
39	2	15	0,00197	0,00097	350
40	33	51	0,00607	0,00300	350
41	51	14	0,00410	0,00203	350
42	39	16	0,01038	0,00664	350
43	16	37	0,00394	0,00194	350
44	37	38	0,00131	0,00065	350
45	39	19	0,00938	0,00600	350
46	38	13	0,00443	0,00219	350
47	13	52	0,00361	0,00178	350
48	52	29	0,00820	0,00405	350
49	39	21	0,00750	0,00480	350
50	21	20	0,00925	0,00592	350
51	27	26	0,00197	0,00097	350
52	17	21	0,01394	0,00689	350
53	39	9	0,01312	0,00648	350
54	39	26	0,02025	0,01296	350
55	26	25	0,00850	0,00544	350
56	25	4	0,00738	0,00365	350

# České vysoké učení technické v Praze – Fakulta elektrotechnická

*Tabulka 5 Přehled umístění nabíječek daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 2*

Číslo uzlu	Případ												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	3,7	0	7,4	0	0	0	0	3,7	0	0	7,4
2	0	0	3,7	0	7,4	3,7	11,1	0	22,2	11,1	0	0	0
3	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	0	22,2	0	0	3,7
4	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	0	0	0	0	3,7	0
5	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	0	0	7,4	0	0	0
6	0	0	3,7	7,4	7,4	3,7	0	7,4	22,2	0	0	11,1	22,2
7	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	7,4	0	22,2	0	0	3,7
8	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	0	3,7	0	0	0	11,1	0
9	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	11,1	0	11,1	0	11,1	22,2
10	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	0	0	0	0	7,4	0
11	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	0	3,7	22,2	0	0	0	0
12	0	3,7	3,7	0	7,4	7,4	0	7,4	0	11,1	0	0	0
13	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	0	0	3,7	0	0	0
14	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	0	0	3,7	0	7,4	0
15	0	0	3,7	0	7,4	0	0	7,4	0	3,7	0	0	0
16	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	0	0	22,2	0	0	0
17	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	0	7,4	50	22,2	0
18	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	7,4	22,2	7,4	0	0	0
19	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	7,4	0	3,7	0	50	100
20	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	0	0	0	0	3,7	7,4
21	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	11,1	0	22,2	0	0	0	11,1
22	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	0	3,7	0	0	0	0	3,7
23	0	3,7	3,7	0	7,4	7,4	11,1	11,1	0	11,1	0	50	11,1
24	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	0	7,4	0	11,1	0	0	22,2
25	0	0	3,7	7,4	7,4	3,7	0	0	0	22,2	50	0	0
26	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	0	0	3,7	0	0	0
27	0	0	3,7	7,4	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	0	0	0	0	0	7,4
29	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	7,4	22,2	0	0	0	3,7
30	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	0	22,2	0	0	0	0
31	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	7,4	0	0	0	0	0
32	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	0	0	3,7	0	0	22,2
33	0	0	3,7	0	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	3,7	0	7,4	7,4	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	0	22,2	0	0	22,2	0
36	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	0	11,1	0	0	0
37	0	0	3,7	0	7,4	3,7	0	3,7	0	7,4	0	3,7	0
38	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	22,2	11,1	0	11,1	11,1
39	0	0	3,7	0	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	3,7	0	7,4	7,4	0	0	0	0	0	7,4	0
42	0	0	3,7	0	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	22,2	0	0	0	0
44	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	11,1	0	22,2	0	0	0	0
45	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	3,7	0	0	0	22,2	0
46	0	0	3,7	7,4	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	3,7	0	7,4	0	0	3,7	0	0	0	7,4	0
48	0	0	3,7	0	7,4	0	0	3,7	0	7,4	0	0	0
49	0	0	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	0	22,2	0	0	0	7,4
50	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	0	0	0	22,2	0	0	0
51	0	0	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	0	7,4	0	0	0
52	0	3,7	3,7	0	7,4	7,4	0	11,1	0	0	0	22,2	11,1
53	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	3,7	0	7,4	0	3,7	0
54	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	11,1	0	0	0	0	0	0
55	0	3,7	3,7	0	7,4	0	0	3,7	0	0	0	0	0

Tabulka 6 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 2

Číslo uzlu	Případ						
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	50	22,2	22,2	50	0	0
2	0	100	50	50	50	0	0
3	0	0	0	0	22,2	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	22,2	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	22,2	22,2	22,2	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	100	100	100	50	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	50	50	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	100	22,2
48	0	0	0	0	0	100	50
49	0	0	0	0	0	22,2	11,1
50	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0

Distribuční síť 3

Tabulka 7 Parametry distribuční sítě 3

Číslo uzlu	Un [V]	Podb [kW]	Qodb [kVAr]	Číslo větve	Počáteční uzel	Koncový uzel	R [Ω]	X [Ω]	I <sub>max</sub> [A]
1	400	14,0	3,9	1	4	10	0,00190	0,00111	350
2	400	6,0	1,7	2	10	19	0,00366	0,00213	350
3	400	31,3	8,8	3	19	20	0,00189	0,00110	350
4	400	0,0	0,0	4	20	21	0,00370	0,00215	350
5	400	11,3	3,2	5	21	22	0,00251	0,00146	350
6	400	5,0	1,4	6	22	23	0,00458	0,00266	350
7	400	15,0	6,0	7	23	24	0,00774	0,00450	350
8	400	17,3	4,9	8	24	4	0,01181	0,00687	350
9	400	6,0	1,7	9	4	1	0,00190	0,00111	350
10	400	29,0	8,1	10	1	2	0,00630	0,00366	350
11	400	9,3	2,6	11	4	3	0,00904	0,00526	350
12	400	5,0	1,4	12	3	5	0,00618	0,00359	350
13	400	36,0	10,1	13	5	6	0,00695	0,00404	350
14	400	14,0	3,9	14	6	7	0,00279	0,00162	350
15	400	1,3	0,4	15	4	8	0,01581	0,00920	350
16	400	24,0	6,7	16	4	9	0,02475	0,01439	350
17	400	6,0	1,7	17	4	11	0,01124	0,00654	350
18	400	5,0	1,4	18	11	12	0,00686	0,00399	350
19	400	6,7	1,9	19	12	13	0,00116	0,00068	350
20	400	16,0	4,5	20	13	14	0,00346	0,00201	350
21	400	30,0	8,4	21	4	15	0,00786	0,00457	350
22	400	4,0	1,1	22	15	16	0,00258	0,00150	350
23	400	3,0	0,8	23	16	17	0,00211	0,00123	350
24	400	2,0	0,6	24	17	18	0,00218	0,00126	350

Tabulka 8 Přehled umístění nabíječků daných výkonů v jednotlivých případech pro síť 3

Číslo uzlu	Případ															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	3,7	0	7,4	3,7	11,1	11,1	0	22,2	22,2	0	7,4	50	7,4	0
2	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	7,4	0	22,2	11,1	11,1	0	11,1	22,2
3	0	0	3,7	0	7,4	3,7	0	11,1	0	0	22,2	0	7,4	0	50	11,1
4	0	0	3,7	0	7,4	0	0	11,1	0	0	22,2	0	22,2	0	22,2	0
5	0	0	3,7	7,4	7,4	0	0	11,1	11,1	22,2	22,2	22,2	22,2	0	7,4	22,2
6	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	3,7	0	22,2	0	22,2	0	11,1	3,7
7	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	0	22,2	22,2	7,4	7,4	0	7,4	3,7
8	0	0	3,7	0	7,4	3,7	11,1	11,1	11,1	22,2	22,2	0	11,1	0	11,1	3,7
9	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	11,1	11,1	0	22,2	22,2	3,7	3,7	0	3,7	11,1
10	0	0	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	3,7	22,2	22,2	0	3,7	0	22,2	0
11	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	0	11,1	3,7	22,2	22,2	7,4	7,4	0	50	100
12	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	11,1	11,1	11,1	0	22,2	0	22,2	50	3,7	7,4
13	0	0	3,7	0	7,4	0	0	11,1	0	0	22,2	11,1	11,1	0	7,4	0
14	0	3,7	3,7	7,4	7,4	0	11,1	11,1	7,4	22,2	22,2	3,7	3,7	0	11,1	7,4
15	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	0	11,1	7,4	0	22,2	0	11,1	0	3,7	3,7
16	0	0	3,7	0	7,4	0	0	11,1	0	0	22,2	7,4	7,4	0	22,2	11,1
17	0	3,7	3,7	0	7,4	3,7	11,1	11,1	3,7	22,2	22,2	22,2	22,2	0	7,4	22,2
18	0	0	3,7	7,4	7,4	7,4	11,1	11,1	0	22,2	22,2	0	3,7	0	3,7	7,4
19	0	3,7	3,7	0	7,4	7,4	0	11,1	11,1	0	22,2	0	7,4	0	22,2	0
20	0	0	3,7	7,4	7,4	0	11,1	11,1	0	0	22,2	22,2	22,2	0	3,7	11,1
21	0	0	3,7	0	7,4	0	0	11,1	0	0	22,2	0	11,1	0	22,2	22,2
22	0	3,7	3,7	7,4	7,4	3,7	0	11,1	0	22,2	22,2	3,7	3,7	0	7,4	7,4
23	0	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	0	11,1	7,4	22,2	22,2	11,1	11,1	0	11,1	0
24	0	3,7	3,7	0	7,4	0	11,1	11,1	0	0	22,2	0	3,7	0	3,7	50

Tabulka 9 Přehled umístění výkonů na konce paprsků v jednotlivých případech pro síť 3

Číslo uzlu	Případ						
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	11,1	0	0	0
12	0	100	11,1	50	0	0	0
13	0	100	50	50	0	0	0
14	0	100	100	50	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	100	22,2	0
21	0	0	0	0	100	100	0
22	0	0	0	0	100	100	100
23	0	0	0	0	0	11,1	100
24	0	0	0	0	0	0	100