



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH ALOKAČNÍHO KLÍČE PRO ROVNOMĚRNOU PRODUKCI ELEKTRICKÉ ENERGIE VE VÝVODU DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

ALLOCATION KEY DESIGN TO EQUIVALENT PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY AT RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Lejsek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Martin Lejsek

ID: 230396

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Návrh alokačního klíče pro rovnoměrnou produkci elektrické energie ve vývodu distribuční sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Legislativní pravidla připojení zdrojů do sítí nízkého napětí
2. Přehled přístupů k volbě alokačního klíče
3. Výběr modelu sítě a jeho parametrů
4. Návrh alokačních klíčů pro produkci elektrické energie pro vybraný model části distribuční sítě

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá řešením problému nerovné možnosti dodávek elektrické energie do distribuční sítě z fotovoltaických elektráren dané fyzikálními vlastnosti distribuční sítě i současnými legislativními pravidly. V teoretické části práce popsána legislativa související s připojováním fotovoltaických výroben do distribuční sítě, různé přístupy z odborné literatury a také vybrané typy modelů přenosových a distribučních sítí. V praktické části jsou uvedeny simulace pro vlastní síť o 11 odběrných místech s využitím alokačních klíčů, dle kterých je snahou dosáhnout rovnoměrné produkce elektrické energie ze všech fotovoltaických zdrojů ve vybraném modelu distribuční sítě.

Klíčová slova

Alokační klíč; PPDS; FVE; Matlab; Simulink; IEEE.

Abstract

The bachelor thesis deals with the problem of unequal supply options of electric energy to the distribution network from photovoltaic power plants due to the physical characteristics of the distribution network and current legislative rules. The theoretical part of the thesis describes legislation related to the connection of PV sources to the distribution network, various approaches from the literature as well as selected types of transmission and distribution network models. In the practical part, simulations for own network of 11 load points using allocation keys, according to which the aim is to achieve a uniform production electricity from all PV sources in the selected model of distribution network.

Keywords

Allocation key; rules for the operation of distribution systems; PVE; Matlab; Simulink; IEEE.

Bibliografická citace

LEJSEK, Martin. Návrh alokačního klíče pro rovnoměrnou produkci elektrické energie ve vývodu distribuční sítě [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/160387>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Martin Lejsek</i>
VUT ID studenta:	<i>230396</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2023/24</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Návrh alokačního klíče pro rovnoměrnou produkci elektrické energie ve vývodu distribuční sítě</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 29. května 2024

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mojí práce Ing. Martinovi Paarovi, Ph.D. za směrování mé práce a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janovi Klusáčkovi za konzultace s programem Simulink.

V Brně dne: 29. května 2024

podpis autora

Obsah

SEZNAM TABULEK	10
1. ÚVOD.....	11
2. LEGISLATIVNÍ PRAVIDLA PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ DO SÍTÍ NÍZKÉHO NAPĚTÍ..	12
2.1 KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE	12
2.1.1 ČSN EN 50 160 ed. 4	12
2.2 PPDS PŘÍLOHA 4.....	13
2.2.1 Přihlašovací řízení	13
2.2.2 Žádost o připojení výrobního zařízení	13
2.2.3 Studie připojitelnosti výrobní.....	14
2.2.4 Projektová dokumentace	15
2.2.5 Připojení k síti	15
2.2.6 Podmínky pro připojení.....	16
2.2.7 Zpětné vlivy na napájecí síť.....	16
2.2.8 Uvedení výrobní do provozu a provozování	17
3. PŘÍSTUPY K VOLBĚ ALOKAČNÍHO KLÍČE	20
4. VYBRANÉ TYPY SIMULAČNÍCH MODELŮ SÍTÍ.....	30
4.1 MODEL Y SÍTÍ NN	30
4.1.1 IEEE 906	30
4.1.2 IEEE 342	30
4.2 MODEL Y SÍTÍ VN	31
4.2.1 IEEE 13	32
4.2.2 IEEE 34	32
4.2.3 IEEE 37	33
4.2.4 IEEE 39	33
4.2.5 IEEE 123	34
5. MODEL SÍTĚ	36
5.1 SIMULAČNÍ PROGRAM	36
5.1.1 Struktura simulačního programu.....	36
5.1.2 Postup spuštění simulačního programu.....	38
5.1.3 Princip získání veličin.....	39
5.1.4 Použitý kabel	39
5.2 UPRAVENÝ MODEL	40
5.3 ÚPRAVA VSTUPNÍCH PARAMETRŮ A KÓDŮ	42
5.3.1 Úpravy vstupních parametrů a definování odběrných míst	42
5.3.2 Úpravy souborů	43
6. HLEDÁNÍ ALOKAČNÍCH KLÍČŮ.....	44
6.1 REGULACE VÝKONU POMOCÍ ITERACÍ	44
6.1.1 Topologie sítě pouze se zdroji bez regulace.....	44
6.1.2 Topologie sítě pouze se zdroji s regulací.....	46
6.1.3 Topologie sítě se šesti FVE a pěti odběry bez regulace.....	52
6.1.4 Topologie sítě se šesti FVE a pěti odběry s regulací.....	54

6.2	REGULACE VÝKONU POMOCÍ ÚBYTKŮ NAPĚTÍ NA VEDENÍ	60
6.2.1	<i>Vytvoření soustavy rovnic pro výpočet</i>	60
6.2.2	<i>Výsledky z metody regulace výkonu pomocí výpočtů z úbytků napětí</i>	61
6.3	SHRNUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	62
7.	ZÁVĚR.....	64
	LITERATURA.....	65
	VYUŽITÍ AI.....	67
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	69

Seznam obrázků

3.1	Závislost ztrát výkonu na využití kapacity vedení [5]	22
3.2	Čísla uzlů a jejich zátěže [5]	23
3.3	Čísla uzlů a jejich zátěže [5]	23
3.4	Podíl odběratelů energie, kteří by měli problém s kvalitou elektřiny v závislosti na penetraci fotovoltaiky [6].....	24
3.5	Využití kapacity napaječe při různě vysoké penetraci fotovoltaiky [6]	25
3.6	Procento přetížených vodičů v závislosti na velikosti penetrace fotovoltaiky [7]	27
3.7	Počet transformátorů se zpětným tokem výkonu v závislosti na velikosti penetrace fotovoltaiky [7]	28
4.1	Rozložení modelu IEEE 906 [15].....	30
4.2	Rozložení modelu IEEE 342 [16].....	31
4.3	Rozložení modelu IEEE 13 [9].....	32
4.4	Rozložení modelu IEEE 34 [11].....	33
4.5	Rozložení modelu IEEE 37 [12].....	33
4.6	Rozložení modelu IEEE 39 [13].....	34
4.7	Rozložení modelu IEEE 123 [14].....	35
5.1	Základní soubory programu pro Matlab a Simulink.....	37
5.2	Schéma sítě IEEE 906 pro Four_Segment	38
5.3	Schéma proudového zdroje/odběru	39
5.4	Upravené schéma sítě	40
5.5	Schéma sítě s objekty v Simulinku.....	41
6.1	Výřez z výsledků napětí při jedné připojené FVE.....	45
6.2	Výřez z výsledků napětí při páté připojené FVE.....	46
6.3	Výřez z matice s odhadovanými koeficienty koef.xlsx	47
6.4	Výřez z výsledků z první simulace s odhadovanými koeficienty	48
6.5	Vývojový diagram iterace	48
6.6	Výřez z výsledné simulace.....	50
6.7	Poměr využití fotovoltaické elektrárny a instalovaného výkonu 9. hodina 1. leden.....	51
6.8	Rozdělení odběrných míst podle barvy.....	53
6.9	Výřez z výsledků simulace napětí u 1 FVE a 5 odběrů	53
6.10	Výřez z výsledků simulace napětí u 6 FVE a 5 odběrů	54
6.11	Tabulka koeficientů pro první iteraci.....	56
6.12	Výřez z výsledků napětí při iteraci s koeficienty rovnými 1	56
6.13	Výřez z výsledné iterace u druhého scénáře	59
6.14	Poměr využití fotovoltaické elektrárny a instalovaného výkonu 9. hodina 1. leden.....	59

SEZNAM TABULEK

2.1	Přípustné vztažné proudy různých harmonických [2]	17
5.1	Činný výkon FV elektráren v zadané časy ($P_i=10$ kW) [20]	42
6.1	Tabulka s výkony a koeficienty pro první model sítě pro prvních 24 hodin	49
6.2	Alokační klíč pro první scénář	52
6.3	Korekční faktory TDD pro jižní Moravu [21].....	55
6.4	Alokační klíč pro druhý scénář.....	58
6.5	Výsledky koeficientů vypočtených metodou regulace pomocí úbytků napětí pro prvních 24 hodin	62
6.6	Srovnání výsledků rozložení sítě s regulací a bez ní a výstupní výkon	63

1. ÚVOD

V dnešní době se distribuční síť nejen v České republice potýká s problémem, že čím dál častěji nelze připojit fotovoltaickou elektrárnu z důvodu nedostatečné hostingové kapacity. Pokud je hostingová kapacita překročena, mohou nastat nežádoucí jevy jako přepětí, vysoká odchylka frekvence nebo přetížení vodičů. Tato práce se zabývá způsobem, jak tento problém vyřešit, a to regulací výkonu jednotlivých elektráren na stejnou mez, aby všichni výrobci dodávali ekvivalentní množství elektrické energie.

V úvodní části práce jsou popsány legislativní požadavky, které jsou kladeny na provozovatele distribuční sítě nebo majitele fotovoltaické elektrárny a také je zde řešena kvalita elektrické energie. Stěžejním dokumentem je v tomto případě norma ČSN EN 50 160 ed.4 a PPDS, konkrétně jeho čtvrtá příloha. Je zde rozebrán celý proces od přihlašovacího řízení přes studii proveditelnosti, připojení k síti až po samotné provozování elektrárny.

V další části jsou rozebrány některé vědecké práce, které souvisí s hledáním alokačního klíče. Jsou tu uvedeny studie, které zkoumaly vlivy fotovoltaických elektráren na distribuční síť teoreticky nebo byly uvedeny i příklady, jaké by nastaly následky různě velkých penetrací fotovoltaických elektráren ve skutečnosti – na Novém Zélandu a na Maltě a částečně jsou zde uvedeny i ekonomické faktory, které mají na alokaci vliv.

Další kapitola se zabývá několika již zavedenými simulačními modely, které budou blíže popsány. Tyto sítě mají označení IEEE a za nimi je číslo reprezentující většinou počet odběrných míst.

K simulacím, které jsou v této práci uvedeny, byl použit program v aplikaci Matlab a Simulink od Grahama Dudgeona „Distribution System Model in Simscape: European Test Feeder“ volně stáhnutelný z webu MathWorks. Tento program je v základu určen jako výpočet pro síť IEEE 906, ale pro účely této práce byl upraven na síť pro 11 odběrných míst. Tento počet míst byl určen tak, aby odpovídal maximálnímu počtu čísel EAN (11 míst) v jedné skupině sdílení podle Lex OZE II. Vybrané časy pro simulaci byly vždy hodinovým krokem pro 4 dny v roce – 1. leden, 2. březen, 30. červen a 5. listopad, dohromady to činí 96 časových vzorků (24 hodin krát 4 dny).

Výstupem simulací v tomto programu byly násobky k , kterými se násobil výkon u zdrojů v různé časy, aby výroba elektrické energie byla rovnoměrná. Byla zde jedna topologie sítě, a to radiální s 11 místy. Největším rozdílem mezi jednotlivými simulacemi byly rozložení zátěží a zdrojů a způsob, jakým byly přidávány. První síť měla pouze zdroje, zatímco druhá síť v sobě měla zdroje i odběry. První způsob, jak dojít k alokačnímu klíči, byla iterace koeficientů, kde správná iterace byla taková, u které bylo nejvyšší možné napětí, které toleruje ČSN EN 50 160 ed. 4., tj. 253 V. Tak byl zajištěn maximální možný výkon, který lze dodávat do distribuční sítě. Druhým způsobem bylo získání koeficientů pomocí úbytků napětí.

2. LEGISLATIVNÍ PRAVIDLA PRO PŘIPOJENÍ ZDROJŮ DO SÍTÍ NÍZKÉHO NAPĚTÍ

Jelikož fotovoltaické elektrárny ovlivňují distribuční síť, tak je nelze do distribuční sítě libovolně připojit, protože hrozí zhoršení parametrů kvality elektrické energie. Zde jsou vypsány požadavky na zachování této kvality energie a legislativní požadavky.

2.1 Kvalita elektrické energie

Kvalita elektrické energie je soubor charakteristik elektrické energie v daném bodu elektrizační soustavy. Tyto charakteristiky musí ale splňovat některá kritéria popsaná v kapitole 2.1.1.

Kvalitu elektrické energie popisuje norma ČSN EN 50 160 ed. 4.

2.1.1 ČSN EN 50 160 ed. 4

Touto normou se musí distributor řídit, aby byly splněny zákonné požadavky pro provoz elektrické distribuční sítě. Pro tuto práci je nejvíce relevantní část, kde jsou popisovány požadavky pro síť nízkého napětí ($50 V < U_n < 1 kV$). Požadavky se dělí na následující kategorie:

- 1) Spojité jevy – patří sem např. požadavek na síťový kmitočet. U systémů se synchronním připojením k propojenému systému jsou limity $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ během 99,5 % roku a $50 \text{ Hz} + 4 \%$ / $- 6 \%$ po 100 % času. U systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (např. ostrovní systémy) jsou limity $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ během 95 % týdne a $50 \text{ Hz} \pm 10 \%$ po 100 % času.

Patří sem také požadavek na odchylky napětí. Za normálních provozních podmínek je dovolená odchylka $\pm 10 \%$. V případě napájecího napětí v sítích, které nejsou propojeny přenosovými soustavami nebo v případě velmi odlehlých objektů by neměla být odchylka větší než $+ 10 \%$ / $- 15 \%$. Obě hodnoty platí pro 95 % času. Tento parametr se ověřuje pomocí měření po každých 10 minutách po dobu jednoho týdne (tj. 1008 10minutových úseků). U sítí, které nejsou propojeny přenosovými soustavami nebo v případě velmi odlehlých objektů se měření neprovádí, stejně jako během odstávek.

Je nutné sledovat i míru intenzity flikru způsobenou kolísáním napětí, která musí mít hodnotu 1 po 95 % času.

Nesymetrie napájecího napětí je také důležitý parametr, který se vyskytuje u vícefázových sítí. V tomto případě se jedná o limit zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % až 2 % sousledné složky po dobu 95 % týdne.

Harmonická napětí mají svůj limit takový, aby THD napájecího napětí (včetně všech harmonických až do 40. řádu) bylo menší nebo rovno 8 % po dobu 95 % času.

- 2) Napěťové jevy – patří sem např. přerušení napájecího napětí. Z velké části je tento jev těžko předvídatelný. Může být způsoben např. počasím, pádem stromu, poškozením kabelu nebo vedení atd.

Do této kategorie spadají i přechodná přepětí, která bývají způsobena úderem blesku přímo do vedení nebo do jeho blízkosti. Napětí se tak do vedení naindukují. Přechodné napětí se může objevit i během spínání spínacích prvků v síti [1].

2.2 PPDS Příloha 4

Čtvrtá příloha PPDS zvaná „Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy“ pojednává o pravidlech, na která je zapotřebí brát zřetel při připojování výrobní elektřiny do distribuční sítě nn, vn nebo 110 kV provozovatele distribuční soustavy.

2.2.1 Přihlašovací řízení

Pro zahájení posouzení o souhlas s připojením výroben do sítě je zapotřebí předat provozovateli žádost o připojení s následujícími náležitostmi:

- Katastrální mapu s vyznačením pozemku nebo výrobní a výpis z katastru nemovitostí,
- údaje o zkratové odolnosti předávací stanice,
- popis ochrany s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci,
- příspěvek vlastní výrobní ke zkratovému proudu v místě připojení k síti, jeho trvání a průběh,
- zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a mezipharmonických, impedance pro frekvence HDO (183 až 283 Hz),
- u větrných elektráren jmenovitý výkon, činitel flikru, kolísání činného a jalového výkonu, vnitřní úhel výrobní, meze pro řízení účinnosti – kapacitní nebo induktivní, emitované harmonické a mezipharmonické proudy a náhradní schéma pro určení příspěvku do zkratu a vlivu na úroveň signálu HDO, vybavení ochranami a jejich vypínací časy,
- dotazník s technickými údaji o zařízení.

2.2.2 Žádost o připojení výrobního zařízení

Náležitosti pro připojení výrobního zařízení do distribuční sítě jsou uvedeny v přílohách vyhlášky ERÚ č. 16/2016 Sb. a v PPDS v části 3.8.3. Především je nutné vyplnit formulář, jehož vzor je přiložen v části 16 přílohy 4 PPDS. Další požadované podklady jsou následující:

- Souhlas vlastníků nemovitostí, které jsou ovlivněny výstavbou výrobní,

- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu a rezervovaného příkonu při všech uvažovaných provozních stavech,
- aktuální hodnota rezervovaného příkonu a výkonu.

V případě, že je žádost neúplná, provozovatel distribuční sítě vyzve žadatele, aby ji doplnil o potřebné údaje.

Provozovatel distribuční sítě rozhodne, zda je připojení výroby možné s ohledem na následující náležitosti:

- rezervovaný příkon předávacího místa mezi přenosovou a distribuční soustavou a hodnotu limitu připojitelného výkonu odběrného místa provozovatele stanovených provozovatelem přenosové sítě ve smlouvě o připojení mezi provozovatelem přenosové a příslušné distribuční sítě. Pro stanovení bilanční hodnoty připojitelného rezervovaného výkonu fotovoltaických a větrných výroben se vychází ze soudobosti 0,8, pokud tedy není ve smlouvě o připojení mezi oběma stranami dohodnutá jiná hodnota soudobosti,
- na volnou distribuční kapacitu na úrovni transformátoru 110 kV/vn.

Dále provozovatel distribuční sítě rozhodne, zda je nutné, aby žadatel nechal možnost připojení výroby k distribuční síti ověřit studií připojitelnosti.

2.2.3 Studie připojitelnosti výroby

Studie připojitelnosti výroby musí obsahovat technické posouzení možného připojení výroby s ohledem na parametry:

- zkratovou odolnost zařízení,
- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě,
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě,
- dodržení parametrů dle ČSN EN 50 160 ed. 4 (kapitola 2.1.1),
- dodržení požadavků dynamické podpory sítě.

Studie bude obsahovat simulace chování výroby v ustáleném stavu i během přechodných jevů, příp. simulace elektromagnetických přechodových dějů.

Poklady musí obsahovat zpravidla následující informace:

- Zkratový výkon vvn nebo vn v napájecí rozvodně nebo místě, od kterého bude vliv počítán,
- stávající a výhledové hodnoty zatížení v soustavě,
- související výroby elektřiny připojené k distribuční síti v její pozorované části,
- aktuální požadavky na připojení výroben elektřiny k distribuční síti v její pozorované části,
- parametry transformátoru vvn/vn, resp. vn/nn,
- stávající a očekávaný stav HDO,
- parametry vedení k místu připojení – délka, typ, průřez,
- provozní stavy, které mohou nastat,

- zjednodušený mapový podklad.

Provozovatel distribuční sítě má právo si vyžádat kopie dokladů, které zpracovatel studie používal při jeho výpočtech. Jedná se především o zkušební protokoly, atesty zkušeben, použité výpočetní metody apod.

2.2.4 Projektová dokumentace

Provozovatel distribuční sítě vyžaduje mimo jiné i zpracování projektové dokumentace založenou na Vyhlášce č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb, která musí obsahovat následující podklady:

- realizaci požadavků provozovatele distribuční soustavy,
- délky, typy a průřezy vedení mezi výrobnou a místem připojení, parametry použitých transformátorů,
- situační řešení připojení výrobní,
- typy, parametry a navržené hodnoty nastavení elektrických ochranných výrobní elektriny souvisejících s distribuční sítí,
- parametry a provedení řízení činného a jalového výkonu,
- parametry a provedení zařízení pro snížení útlumu signálu HDO,
- návrh provedení fakturačního měření a jeho umístění,
- požadované údaje k rozhraní pro dálkové ovládání, měření a signalizaci pro připojení na řídicí systém distribuční sítě,
- zařazení vyhrazeného elektrického technického zařízení do tříd a skupin podle Vyhlášky č. 73/2010 Sb.,
- popis funkcí ochranných a automatizačních systémů výrobní, které ovlivňují provoz a dynamickou podporu provozu distribuční sítě.

2.2.5 Připojení k síti

Nově připojované výrobní do distribuční sítě musí být připraveny pro provozování dálkového ovládání, tzn. instalování ovládacího obvodu komunikační cesty mezi elektroměrovým rozváděčem a novou výrobnou. U výroben s instalovaným výkonem nad 100 kVA musí být spínač s oddělovací funkcí vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu.

Připojení k síti distribuční soustavy se děje v místě připojení s oddělovací funkcí, přístupným kdykoliv zaměstnancům provozovatele distribuční soustavy. Požadavek na kdykoliv přístupné spínací místo s oddělovací funkcí je u jednofázových výroben do 3,7 kVA a trojfázových do 30 kVA splněn, pokud jsou tyto výrobní vybaveny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem.

Pro výrobní s nízkou dobou využití, kde výrobce nevyžaduje obvyklou zabezpečení připojení k soustavě (např. větrné elektrárny), je možné připojení k distribuční síti zjednodušit.

Někdy je součástí výroby i akumulční zařízení, do kterého se ukládá elektrická energie, která je přebytkem z výroby. Tato zařízení mohou způsobovat nežádoucí přetoky výkonu nebo dokonce jeho zpětný tok, proto pro ně zařízení platí následující pravidla:

- v případě, že je akumulční zařízení určeno výhradně pro potřebu zákazníka a výroba má instalovaný výkon do 10 kW, pak se zařízení žádným způsobem neposuzuje,
- v ostatních případech se provádí posouzení, zda ji lze do distribuční soustavy připojit. Pro posouzení připojitelnosti se instalovaný výkon výroby a akumulčního zařízení sečtou.

2.2.6 Podmínky pro připojení

Pro to, aby elektrická energie proudila směrem z výroby do distribuční sítě, je nutné, aby napětí na přípojném bodu bylo větší, než je napětí distribuční sítě. Aby nedošlo ke zpětnému toku výkonu, musí být dodrženy limity pro zvýšení napětí.

Limit pro zvýšení napětí oproti napětí sítě je u výroben vn a vvn maximálně 2 %, u sítí nn je limit maximálně 3 %. Při mimořádném zapojení sítě (při náhradních dodávkách) se u vn limit zvyšuje na 5 %.

V případě jednoho přípojného místa je možné použít zjednodušení, které spočívá ve výpočtu zkratového poměru výkonů k_{k1} . Zkratový výkon jednoho přípojného místa se vydělí součtem zdánlivých výkonů všech připojených nebo plánovaných výroben, které mohou být současně součástí distribuční sítě. V případě vn je dodrženo napětí při $\Delta k_{k1vn} \geq 50$ a v případě nn je dodrženo při $\Delta k_{k1nn} \geq 33$.

Jednofázové výroby způsobují nesymetrii napětí, proto pro ně platí limit dovolené mezní hodnoty napětí zpětné složky maximálně 0,7 % napětí sítě.

2.2.7 Zpětné vlivy na napájecí síť

Zpětné vlivy na napájecí síť jsou nežádoucím jevem, protože mohou rušit zařízení dalších odběratelů a zařízení provozovatele sítě.

V případě, že je poměr zkratového výkonu sítě jmenovitému výkonu celého zařízení větší než 500, kontrola na zpětné vlivy se nijak nekontroluje.

Pro kontrolu zpětného vlivu se vychází z několika podmínek. Tou první je změna napětí. Přípustný přírůstek napětí je rozebrán v kapitole 2.2.6. Tyto hodnoty platí, pokud je při těchto hodnotách flickr maximálně 0,46 v jednom napájecím bodě nn a vn, resp. 0,37 v napájecím bodě vvn.

Další podmínkou je dosažení požadavků na potlačení harmonických proudů. Tabulka 2.1 obsahuje limity pro síť nn.

Tabulka 2.1 Přípustné vztažné proudy různých harmonických [2]

Řád harmonických μ, ν	Přípustný vztažný proud $i_{\nu,\mu}$ [A/MVA]
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < \nu < 40$	$0,15 \cdot 25/\nu$
$\mu < 40^a$	$0,15 \cdot 25/\nu$
sudé	$1,5/\nu$
$\mu < 40$	$1,5/\nu$
$42 < \mu, \nu < 178^b$	$4,5/\nu$
a – liché	
b – celočíselné a neceločíselné v pásmu šířky 200 Hz od střední frekvence ν	

2.2.8 Uvedení výroby do provozu a provozování

Pro provozování výroby je potřeba dodržovat požadavky PPDS, včetně této přílohy. Na začátku je nutné zpracovat tzv. Konečné provozní oznámení a odevzdat ho provozovateli distribuční soustavy. Před zpracováním tohoto dokumentu musí výrobce prokázat, že splnil požadavky provozovatele. Proto musí podat žádost o umožnění provozu pro ověření technologie a souladu (UPOS). Součástí této žádosti jsou následující informace a dokumenty:

- Projektová dokumentace,
- jednopólové schéma zapojení výroby,
- potvrzení odborné firmy realizující výstavbu výroby, že vlastní výroba elektřiny je provedena v souladu s podmínkami stanovenými uzavřenou SoP, předpisy, normami a zásadami PPDS,
- zpráva o výchozí revizi el. zařízení sloužícího k připojení k DS a výroby,
- protokol o nastavení ochran,
- protokoly o úředním ověření,
- místní provozní předpisy,

- harmonogram a rozsah zkoušek a simulací,
- seznam certifikátů, které vydal certifikátor a které výrobce hodlá využít v rámci procesu prokázání shody.

V případě souhlasného stanoviska je povoleno provozování výroby na dobu určitou, tzv. Souhlas s dočasným provozem nebo Dočasné provozní oznámení. Provozovatel také má právo požadovat více informací a v nezbytně nutném rozsahu provádět různé úkony, kontroly nebo zkoušky.

Možnými požadovanými zkouškami a úkony se rozumí následující záležitosti:

- Uskutečnění funkční zkoušky ochran,
- odzkoušení náběhu ochran a dodržení udaných vypínacích časů pro třífázový výpadek sítě a odchylek frekvence,
- u elektroměru pro dodávku i odběr, pokud je již instalován, provedení kontroly, jestli elektroměr pracuje správně,
- pokud je výrobní elektřiny vybavena dálkovým ovládním, signalizací, regulací a měřením, provádí se ověření jejich funkce z příslušného rozhraní,
- uskutečnění zkoušky nebo předložení protokolu o splnění požadavků ohledně jalového výkonu,
- uskutečnění zkoušky nebo předložení protokolu o splnění podmínek opětovného automatického připojení výroby,
- ověření souladu skutečného chování výroby oproti modelovému chování výroby, na jehož základě bylo odsouhlaseno její připojení,
- kontrolu podmínek pro připojení uvedených v kapitole 2.2.6,
- kontrolu, zda kompenzační zařízení je připojováno a odpojováno s generátorem a zda u regulačních zařízení odpovídá regulace výkonovému rozsahu.

Při zkouškách souladu a simulacích souladu se postupuje podle RfG (kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě, který je požadovaný nařízením Evropské komise), přesněji jeho články 40 až 56.

V případě, že chce vlastník výroby provozovat svoji výrobní trvale, může zažádat on nebo výrobce o Umožnění trvalého provozu výroby (UTP). Tato žádost musí mít následující náležitosti:

- Provozovatelem odsouhlasená projektová dokumentace,
- jednopólové schéma zapojení výroby, odběrného místa a výrobního modulu,
- potvrzení odborné firmy realizující výstavbu výroby, že výrobní elektřiny je provedena v souladu s podmínkami stanovenými uzavřenou smlouvou o připojení, v souladu s podmínkami definovanými v příslušném povolovacím právním aktu a podle předpisů, norem a zásad PPDS,
- zpráva o výchozí revizi přípojky a výroby,
- zpráva o výchozí revizi elektrického zařízení výroby,
- protokol o nastavení ochran,

- protokoly o úředním ověření měřicích transformátorů proudu a napětí,
- místní provozní předpisy,
- dokument výrobního modulu,
- instalační dokument.

Pokud byly všechny předchozí položky mimo posledních dvou předloženy v žádosti o UPOS a zároveň se na výrobně nic nezměnilo, není nutné je dokládat.

Provozovatel distribuční sítě nebo jeho zástupce má právo provést v nezbytně nutném rozsahu kontroly a testy za účelem zjištění, že výrobná odpovídá všem zákonným požadavkům. Provozovatel distribuční sítě rozhodne do 30 dnů od podání žádosti. V případě souhlasu vystaví provozovatel výrobcí Konečné provozní oznámení. V opačném případě je proces UTP ukončen a výrobce musí tento proces zahájit znovu.

Výrobce je povinen udržovat výrobnu v bezvadném technickém stavu a je vyžadována zkouška funkčnosti veškerých komponentů každé 4 roky. Rovněž je výrobce povinen odpojit výrobnu od distribuční sítě v případě výzvy jejího provozovatele [2].

3. PŘÍSTUPY K VOLBĚ ALOKAČNÍHO KLÍČE

Tato kapitola se bude zabývat vybranými pracemi a studii, jejichž předmětem bylo získat alokační klíč. Každý z nich měl jiný přístup k nalezení dobrého a efektivního způsobu, jak by alokační klíč mohl vypadat, případně dodal jiné související postřehy.

Alokace úložišť energie a fotovoltaických systémů

Tato práce původním názvem „Optimal allocation of energy storage and solar photovoltaic systems with residential demand scheduling“ od Kai Zhuo Lim a kol. na Národní univerzitě v Singapuru.

Velká část práce se zabývá optimalizací alokace fotovoltaiky, která spočívá v iteracích vstupních hodnot za účelem např. snížení nákladů za energie. Tato optimalizace vychází z postupných změn chování domácností a distribuční sítě.

Mimo optimalizace se zabývá i jinou ekonomickou stránkou věci – amortizací bateriových úložišť a fotovoltaického systému. U bateriového úložiště se určí amortizace následovně:

$$A_{bat} = \frac{C_{bat} + C_{inst} - C_{odp}}{N}, \quad (3.1)$$

kde A_{bat} – amortizace bat. úložiště,
 C_{bat} – cena bat. úložiště,
 C_{inst} – cena instalace bat. úložiště,
 C_{odp} – cena bat. úložiště na konci životnosti,
 N – celkový počet zaručených cyklů.

Co se týče amortizace fotovoltaických systémů, tam se určí amortizace tímto způsobem:

$$A_{bat} = \frac{C_{bat} + C_{inst} - C_{odp}}{N}, \quad (3.2)$$

kde A_{FV} – amortizace FV. systému,
 C_{FV} – cena FV. systému,
 C_{odp} – cena FV. systému na konci životnosti,
 N – celkový počet zaručených cyklů.

Na konci práce je zhodnocení, jak velkých úspor bylo dosaženo uvedenými iteracemi na modelovém příkladě při různých konfiguracích fotovoltaického systému a bateriového úložiště. Tyto úspory se pohybovaly až do výše přes 40 % [3].

Změny parametrů elektřiny v distribučních sítích s vysokou penetrací fotovoltaiky a elektromobilů

Práce s názvem „Identification of critical uncertain factors of distribution networks with high penetration of photovoltaics and electric vehicles“, byla vypracována 6 výzkumníky (Rui Wang, Peng Li, Hao Yu, Haoran Ji, Wei Xi a Chengshan Wang) na Tianjinské univerzitě a na Výzkumném institutu digitálních sítí v Guangzhou v Číně.

Výše zmíněná práce se zabývá hlavně změnami parametrů, které ovlivňují chování distribučních sítí, pokud jsou do nich připojeny fotovoltaické elektrárny a pokud je v daném místě velký počet elektromobilů.

Tato práce rozlišuje několik typů nejistot:

1. Konvenční zatížení – na tento typ nejistoty nemá ani fotovoltaika, ale ani elektromobily vliv. Jedná se o zatížení odběrnými místy,
2. nabíjecí zatížení elektrických vozidel – v tomto případě jde o zatížení poptávkou po elektrické energii, která je určena na dobíjení elektrických vozidel,
3. sluneční záření – kvůli tomu, že je sluneční záření během dne i roku velmi proměnlivé, jedná se o velký problém pro sítě, ve kterých je velký podíl fotovoltaiky. Fotovoltaické články tak vyrábí různě velké množství energie. Existuje výpočet, který dokáže odhadnout množství vyráběné energie:

$$p(\tau) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\cdot\Gamma(b)} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_{max}}\right)^{a-1} \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{max}}\right)^{b-1}, \quad (3.3)$$

kde τ – aktuální energie dopadajícího záření na plochu (kW/m²),

τ_{max} – maximální energie dopadajícího záření na plochu (kW/m²),

Γ – gama funkce,

a, b – parametry, které jsou zvoleny na základě historie nebo předpovědi počasí,

4. korelace – tento parametr je odrazem i jiných fotovoltaických zdrojů v okolí dané distribuční sítě.

Na konci práce je uvedena případová studie, která se zabývá simulací, ve které je použit model sítě IEEE 33 a IEEE 123. Při aplikaci fotovoltaiky a elektromobilů vědci zjistili, že jejich metoda ušetří 30 % nákladů do optimalizace střídačů a že IEEE 33 a IEEE 123 mají lepší výsledky než algoritmy MCS (simulace Monte Carlo) a PCE (polynomiální expanze chaosu) [4].

Srovnání využití skladování energie a omezení spotřeby energie

Na této práci pracoval Mateusz Andrychowicz na Ústavu mechatroniky a informačních systémů na Technické univerzitě v Lodži. Práce s původním názvem „Comparison of the Use of Energy Storages and Energy Curtailment as an Addition to the Allocation of Renewable Energy in the Distribution System in Order to Minimize Development Costs“ se zabývá hlavně ekonomikou alokace obnovitelných zdrojů a ztrátami výkonu

na vedeních.

Podle této práce se aktuální vývoj alokace OZE opírá o následující body:

- Minimalizace ztrát výkonu,
- úroveň napětí,
- zkreslení napětí,
- harmonická zkreslení,
- ekonomické faktory,
- spolehlivost dodávek.

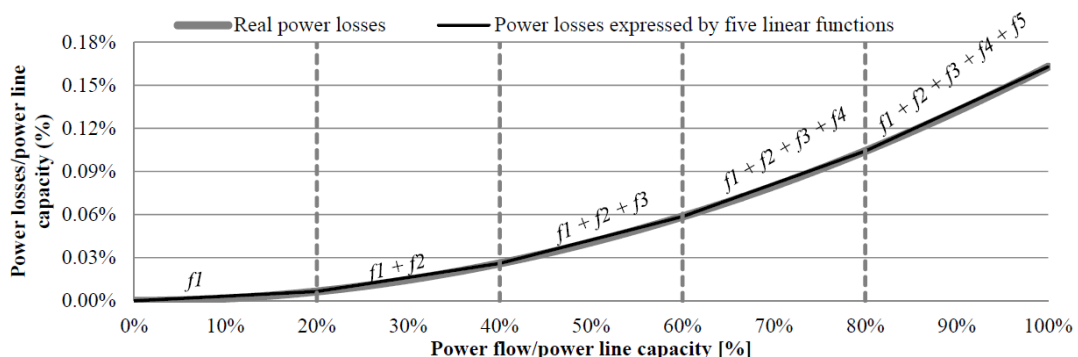
Práce také popisuje optimalizační model s cílem snížení nákladů, ekonomická a technická omezení a jeho simulaci. Simulace má tři hlavní scénáře:

- 30% podíl elektrické energie z OZE,
- 40% podíl elektrické energie z OZE,
- 50% podíl elektrické energie z OZE.

A simulace má i vedlejší (dílčí) scénáře:

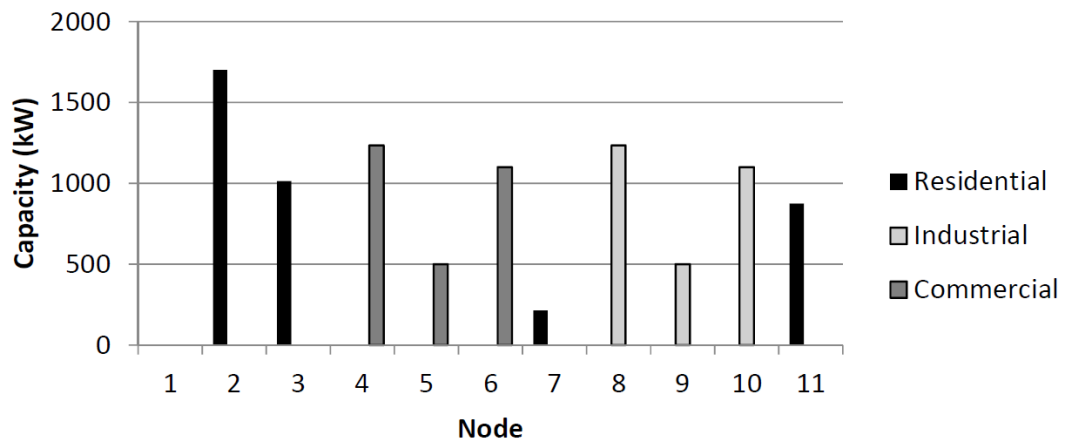
- Dimenzování a alokace OZE,
- dimenzování a alokace OZE a úložiště elektrické sítě,
- dimenzování a alokace OZE a omezování výkonu.

Je zde vytvořen optimalizační model distribuční soustavy. Je založen na uzlech, které mohou být trojího typu – větrné a fotovoltaické elektrárny a bioplynové stanice. Tento model zahrnuje i nelineární veličiny (ztráty výkonu a úbytek napětí). Jelikož je optimalizační model založený na celočíselném lineárním programování (MILP), je funkce linearizována. Konečné ztráty výkonu byly vytvořeny jako součet všech uvedených lineárních funkcí.

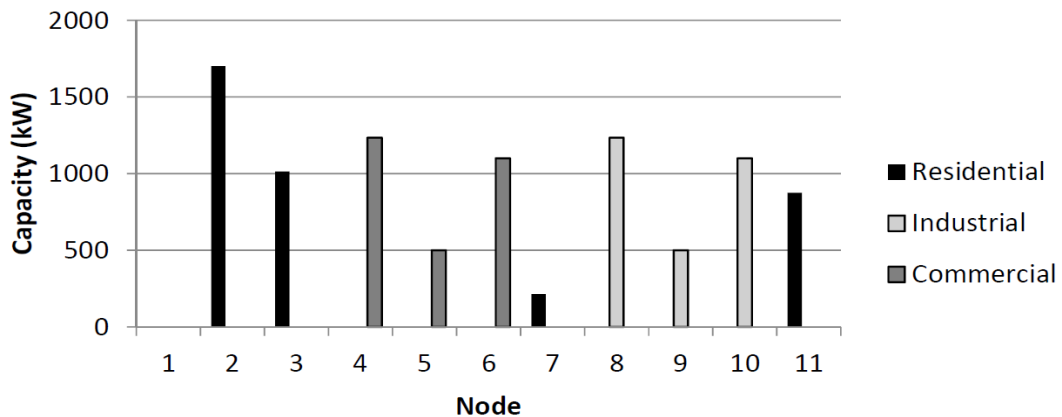


Obrázek 3.1 Závislost ztrát výkonu na využití kapacity vedení [5]

Předpokládá se typ úložiště energie o kapacitě 10 kWh, výkonem 5 kW a účinností přeměny energie se sítí 90%. Dále byl předpoklad tří typů zátěží – rezidenční, průmyslové a komerční. Bylo zvoleno 11 uzlů s různými velikostmi zátěží a různou spotřebou. Simulace byly provedeny pro 24 dnů v měsíci.



Obrázek 3.2 Čísla uzlů a jejich zátěže [5]



Obrázek 3.3 Čísla uzlů a jejich zátěže [5]

Vedení jsou předpokládána mezi uzly s nenulovou hodnotou odporu a kapacity mimo vedení mezi uzly 1 a 2, kde je uvažován transformátor (z vvn na vn) s nulovou hodnotou odporu, protože tato část soustavy nebude zkoumána.

Výsledek výzkumu je ten, že kombinace OZE, úložiště elektrické energie a omezování výkonu je ekonomicky i funkčně nejvíce vyhovující kritériím, která požadují limity posuzující kvalitu elektrické energie.

Dále se výzkumníci dostali ke zjištění, že s rostoucím podílem OZE je omezování výkonu účinnější než její skladování. Je to spojeno s vysokými cenami skladovacích zařízení a jejich omezením spojených s účinností a nabíjením. To ukazuje, že omezování energie je dobrý nástroj k řízení provozu obnovitelných zdrojů energie [5].

Dopady fotovoltaiky v nízkonapětových distribučních sítích na Maltě

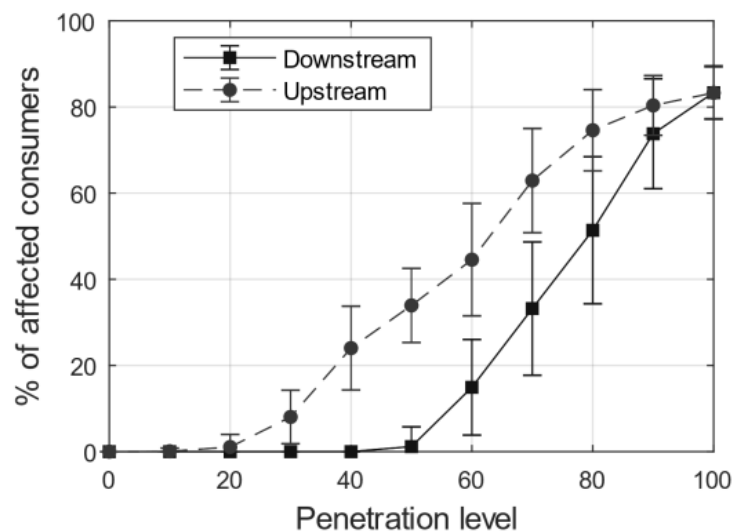
Tuto studii vytvořila skupina Energy Research Group na Institutu techniky a dopravy na univerzitě MCAST na Maltě a její původní název je „Impacts of Photovoltaics in Low-Voltage Distribution Networks: A Case Study in Malta“. Práce pojednává o tom, jaké důsledky by měly různé hodnoty penetrace fotovoltaiky do tamní maltské distribuční sítě. Tato studie uvádí poznatky z jiných studií, které se zabývaly podobnou problematikou a porovnává je s vlastními poznatky.

Je zde takový postup, že se v simulátoru OpenDSS vytvoří napaječ, který má různou penetraci fotovoltaiky – 0-100 %. Provádí se to s krokem 10 %, tj. celkem 11 hodnot. Použita je simulace Monte Carlo s tím, že se vyskytují dva případy alokace sítě:

1. Downstream – výkon fotovoltaiky je přidělován od transformátoru k nejbližšímu spotřebiteli,
2. Upstream – výkon fotovoltaiky je přidělován od nejbližšího spotřebitele k transformátoru.

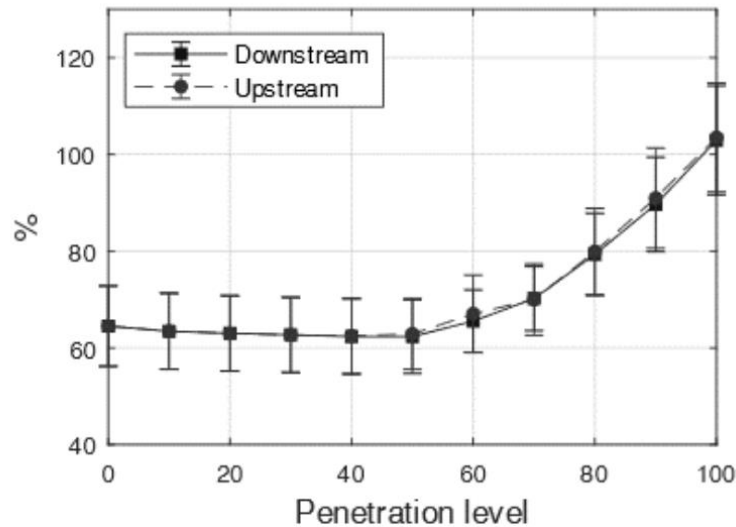
Výše uvedené případy alokace sítě jsou krajní případy a veškeré další scénáře se pohybují mezi křivkami těchto dvou případů.

Bylo využito 7 napaječů, kde každý z nich napájel jednu simulovanou síť. Tyto sítě měly délku od 461,9 do 1706,3 metrů a byly třífázové. Do grafu závislosti procenta zákazníků, kteří měli problémy s kvalitou elektřiny (zejména napětím sítě), v závislosti na penetraci fotovoltaiky do sítě, byl zpracován napaječ č.4.



Obrázek 3.4 Podíl odběratelů energie, kteří by měli problém s kvalitou elektřiny v závislosti na penetraci fotovoltaiky [6]

Z grafu je patrné, že při např. 60% penetraci fotovoltaiky má problémy s kvalitou elektřiny zhruba 15-45 % zákazníků. Prakticky žádní zákazníci ale neměli problém s kvalitou elektřiny s penetrací fotovoltaiky do 10 %.



Obrázek 3.5 Využití kapacity napaječe při různě vysoké penetraci fotovoltaiky [6]

Byl zde také výzkum kapacity využití napaječ při různém procentu penetrace fotovoltaiky. Zde lze pozorovat, že nejnižší využitá kapacita napaječe je při zhruba 40% penetraci. Při snižujícím se poměru lze vidět postupně se zvyšující využitou kapacitu, naopak při zvyšujícím se poměru se kapacita rychle zvyšuje. Když se penetrace přibližuje ke 100 %, napaječ je přetížen.

Podle autora nejsou zřejmě jakékoliv překážky a uvedené simulace jsou odhady a mají spíše přibližný charakter, protože žádný nn napaječ v maltské síti nemá podíl elektrické energie z fotovoltaiky vyšší než 20 % [6].

Vliv fotovoltaiky na distribuční síť nízkého napětí na Novém Zélandu

Studie s původním názvem „Impact of solar photovoltaics on the low-voltage distribution network in New Zealand“, kterou vytvořili výzkumníci Jeremy D. Watson, Neville R. Watson, David Santos-Martin, Alan R. Wood, Scott Lemon a Allan J. V. Miller na Ústavu elektrického a informačního inženýrství na Canterburyjské univerzitě na Novém Zélandu, je koncipována podobným způsobem, jak je studie uvedena v kapitole 0 – zkoumá vliv fotovoltaiky na území celého ostrovního státu.

Na začátku jsou (stejně jako v předchozí práci) shrnuty dosavadní poznatky z jiných prací, které se zabývaly podobnými tématy.

Fotovoltaické instalace zde byly modelovány na 3,7 kW. Dále bylo uvažováno třífázové vedení s nesymetrií maximálně v jednotkách voltů, špičková zátěž byla

vyčíslena na 3 kW/dům a nejnižší zátěž 0,6 kW/dům. Zátěže byly pro zjednodušení reprezentovány jako zátěže s konstantním výkonem a s konstantní impedancí.

Autoři upozorňují na fakt, že dodavatel neposkytuje informace o výkyvech napětí, které překračují povolenou hranici a jedná se čistě o simulaci. Také upozorňuje, že ne všechny sítě jsou stejné a každá se vyrovnává s penetrací fotovoltaiky jinak dobře, proto mohou být výsledky v realitě mírně odlišné.

Simulace obsahovaly tři různé způsoby zmírnění případných problémů s přepětím:

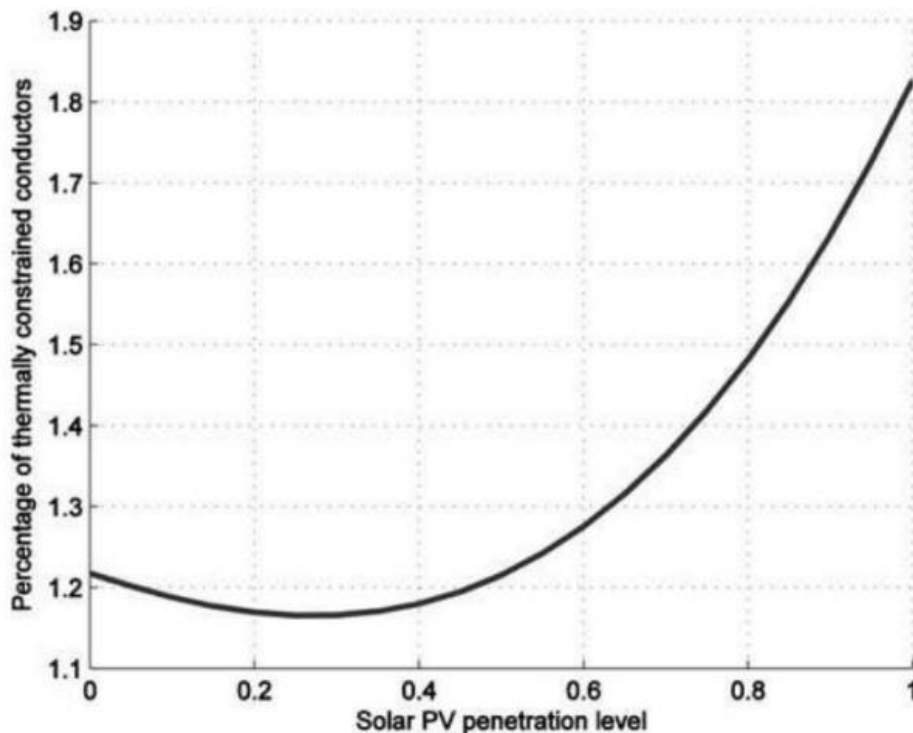
- Řízení jalového výkonu (snížení velikosti účinníku),
- změna počtu odboček sekundární strany transformátoru,
- zvýšení zákonného horního limitu napětí z 1,06 p.u. na 1,10 p.u.

Bylo provedeno několik základních scénářů distribuční sítě:

- a) Špičkové zatížení s 0% podílem fotovoltaiky,
- b) snížené zatížení s různou velikostí penetrace fotovoltaiky,
- c) zmírnění přepětí.

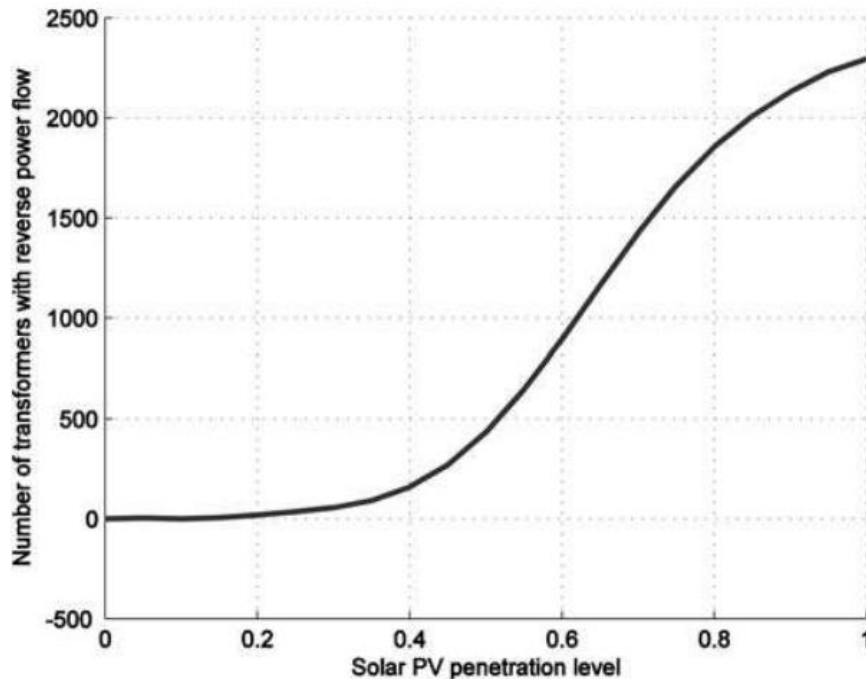
Během realizace prvního scénáře by byl problém s podpětím u 11,06 % sítí nn. Jelikož ale nenastává u odběrných míst ke špičkovému zatížení, tyto problémy se v podstatě nevyskytují.

Realizace druhého scénáře je komplexnější. Simuluje se zde přetížení vodičů, problémy s přepětím a zpětný tok výkonu. Zatížení bylo sníženo na 1 kW a měnila se hodnota penetrace fotovoltaiky. Na obrázku níže je znázorněno procento tepelně přetížených vodičů. Do zhruba 25-30 % penetrace fotovoltaiky lze pozorovat, že má příznivý efekt, kdy procento tepelně přetížených vodičů klesá. Poté ale tato hodnota strmě roste a při 100% penetraci dosáhne hodnoty přes 1,8 %.



Obrázek 3.6 Procento přetížených vodičů v závislosti na velikosti penetrace fotovoltaiky [7]

Druhým sledovaným parametrem byl počet transformátorů, u kterých by byl pozorován zpětný tok výkonu. Na dalším obrázku je graf, který ukazuje počet takových transformátorů. Do hodnoty penetrace 25 % nepředstavuje zpětný tok výkonu problém, poté se tento počet strmě zvyšuje a u 100% penetrace se počet takových transformátorů vyšplhá zhruba na číslo 2300 z celkového počtu nn transformátorů 10558, což odpovídá více než pětině transformátorů, které jsou aktuálně na Novém Zélandu v provozu.



Obrázek 3.7 Počet transformátorů se zpětným tokem výkonu v závislosti na velikosti penetrace fotovoltaiky [7]

Posledním sledovaným parametrem u druhého scénáře je přepětí. Přepětí je na Novém Zélandu definováno jako 1,06 p.u. napětí. Z obrázku níže je patrné, že problémy s přepětím začínají obecně na penetraci o hodnotě zhruba 10 %. Nejlépe z hlediska přepětí jsou na tom venkovské oblasti, kde je při 100% penetraci problém jen u zhruba 10 % sítí díky vysoké impedanci odběrných míst. Hůře na tom jsou velkoměsta, kde má při 100% penetraci s přepětím problém zhruba 40 % sítí a nejhůře na tom jsou menší města, která mají hodnotu přibližně 95 % postižených sítí díky nízké impedanci odběrných míst. U průmyslových sítí není s přepětím problém.

Třetím scénářem je omezování přepětí. Tento způsob bude prezentován na síť v menších městech, které měly dle předchozí simulace s přepětím největší problém. Uvedená rozpětí procent jsou zvýšení oproti dosavadně přípustné hodnotě penetrace pro hodnoty, kdy je maximálně 1 % (nejpřísnější případ) a poté 10 % sítí (nejvolnější případ) pod přepětím. Prvním způsobem je řízení jalového výkonu. Účinnost se snižuje z hodnoty blízké se 1,0 až na hodnotu 0,8. Podle simulace je ale pro účinnost 0,95 tento způsob málo efektivní (možnost zvýšení penetrace fotovoltaiky pouze o 1 až 2 %) a pro účinnost 0,8 je zvýšení penetrace zřetelnější (o 3 až 5 %), přesto je stále nízký.

Druhým způsobem je snížení sekundárního napětí transformátoru změnou počtu odboček. V tomto případě se změní limit z 1,06 p.u. na 1,03 p.u. Podle simulace lze tímto způsobem zvýšit úroveň penetrace o 7 až 12 %.

Třetím způsobem je zvýšení zákonného limitu napětí z 1,06 p.u. na 1,10 p.u. Nový Zéland má na toleranci napětí sítě přísnější o 0,04 p.u. než mnoho jiných zemí (včetně České republiky), je zde tedy prostor pro zvýšení maximální přípustné hodnoty napětí.

V tomto případě je tento postup nejefektivnější, protože se úroveň penetrace může zvýšit o 20 až 36 % [7].

4. VYBRANÉ TYPY SIMULAČNÍCH MODELŮ SÍTÍ

Existuje několik typů simulačních modelů sítí, které sice svojí strukturou neodpovídají skutečnosti (např. počtem odběrných míst, počtem transformátorů nebo napětím), ale jsou využívány za účelem simulací chování distribučních sítí, v této práci například chování při penetraci sítě fotovoltaikou. Uvedeno zde bude několik dalších simulačních modelů a u každého modelu sítě budou popsány jeho vlastnosti a bude uveden obrázek, který ukazuje uspořádání zmíněného modelu.

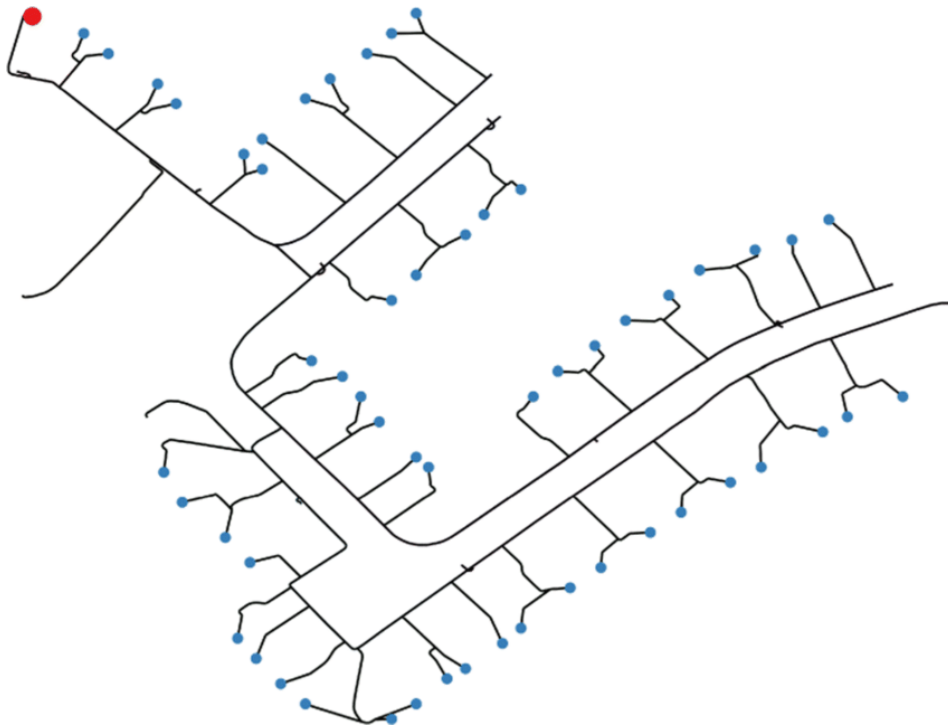
V kapitole 5 je uveden zvolený model.

4.1 Modely sítí nn

V této kapitole budou podrobněji probrány modely sítě na nn, z nichž jeden bude využit v následných simulacích.

4.1.1 IEEE 906

Tento nízkonapěťový model sítě se skládá z 906 bodů, které jsou propojeny 55 zátěžovými sběrnicemi [8].



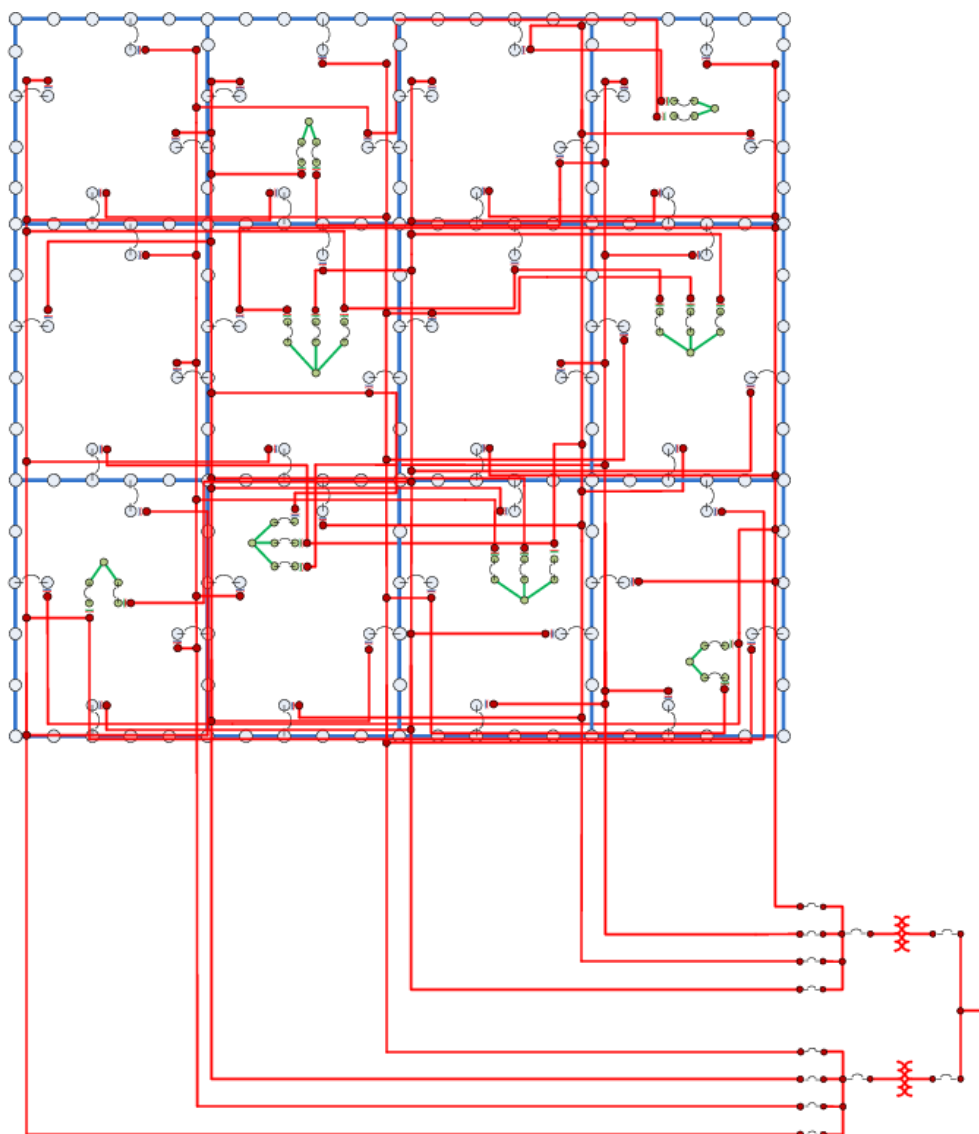
Obrázek 4.1 Rozložení modelu IEEE 906 [15]

4.1.2 IEEE 342

Model s označením IEEE 342 se skládá z 342 odběrných míst. Z tohoto počtu uzlů je

150 zapojených do trojúhelníku (primární uzly) a 192 uzlů je zapojeno jako uzemněná hvězda (sekundární uzly).

Jako napájení je použita rozvodna s charakteristikami o 230 kV, která má dva 50MVA snižovací transformátory s převodem 230/13,2 kV a napájejí napůl osm 13,2 kV primárních napaječů, které napájejí jeden 120/208V systém a osm 277/480V bodových sítí přes 68 transformátorů konstruovaných jako trojúhelník/uzemněná hvězda. Dále je tu 48 síťových transformátorů o výkonu 1 MVA a 20 bodových transformátorů o výkonu od 1,5 do 2,5 MVA [8].



Obrázek 4.2 Rozložení modelu IEEE 342 [16]

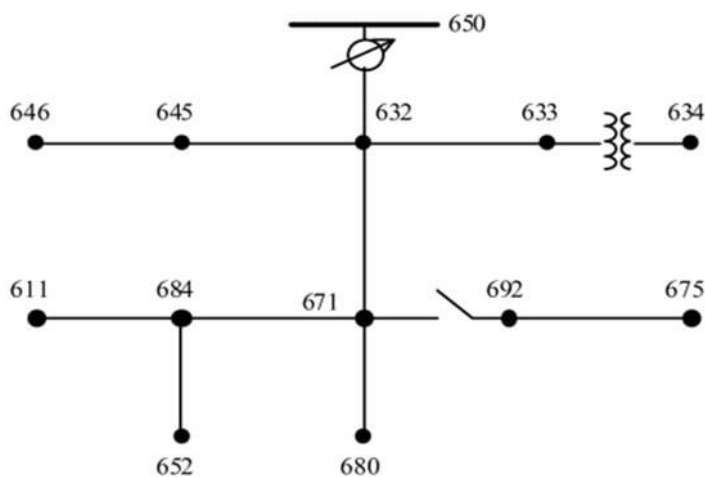
4.2 Modely sítí vn

Ačkoliv simulace uvedené následně v pokračování této práce budou koncipovány pro nn,

přesto je užitečné uvést i modely sítě pro vn. Jsou zde uvedeny, protože velká část studií, včetně těch uvedených v kapitole 3, jsou simulovány na modelech vn (např. na modelu IEEE 123).

4.2.1 IEEE 13

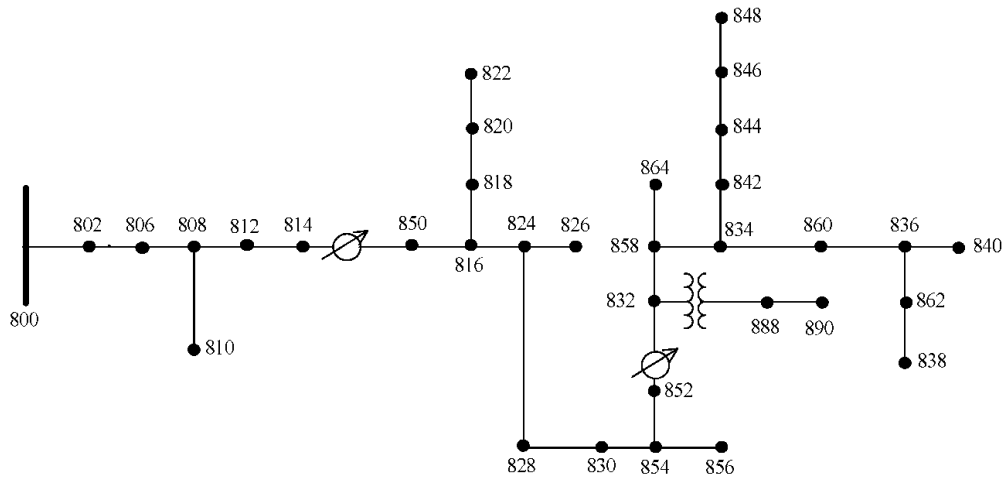
Tento vysokonapěťový model sítě je velmi malý a jednoduchý a slouží k otestování jednoduchých modelů sítě. Obsahuje 13 odběrných míst, které jsou zatíženy nerovnoměrně relativně velkými zátěžemi, a to nárazově. Napětí pro účely simulace dosahuje 4,16 kV. Jedno odběrné místo sítě je od ostatních odděleno jedním transformátorem [8].



Obrázek 4.3 Rozložení modelu IEEE 13 [9]

4.2.2 IEEE 34

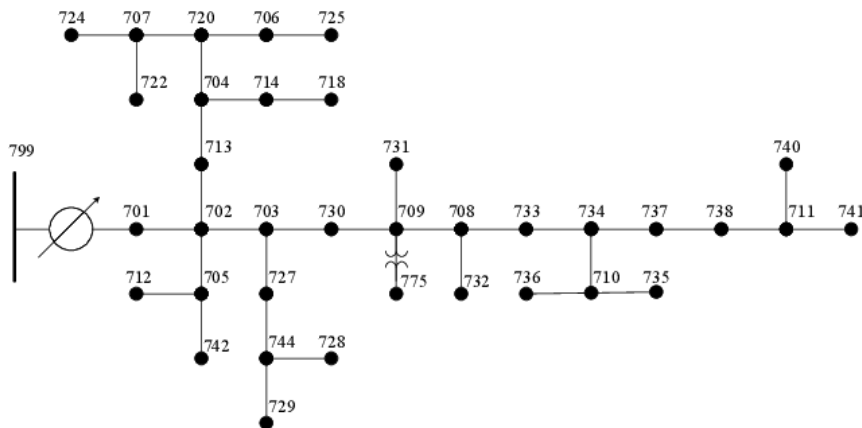
Tento složitější vysokonapěťový model distribuční sítě má nominální napětí 24,9 kV. Počet odběrných míst je 34. Na rozdíl od předchozího napaječe je zatížen proměnlivými malými zátěžemi, ale po dlouhou dobu. Jsou tu dva transformátory. Jeden má napěťový poměr 69/24,9 kV (trojúhelník-hvězda) a druhý napěťový poměr 24,9/4,16 kV (typ hvězda-hvězda) [8] [10].



Obrázek 4.4 Rozložení modelu IEEE 34 [11]

4.2.3 IEEE 37

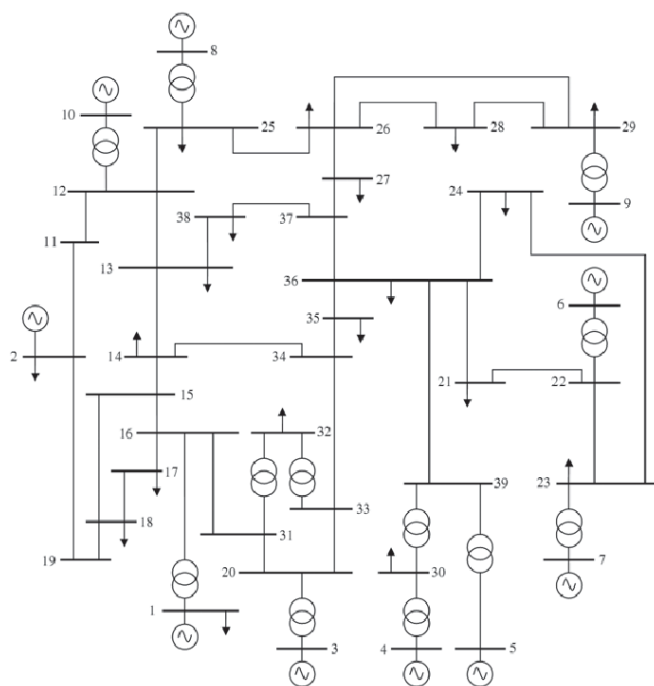
Tento simulační model se vyznačuje 37 odběrnými místy a jeho nominální napětí je 4,8 kV. Je zde jeden transformátor, který odděluje bod 799 od ostatních. Zátěže odběrných míst jsou tu velmi nevyvážené [8].



Obrázek 4.5 Rozložení modelu IEEE 37 [12]

4.2.4 IEEE 39

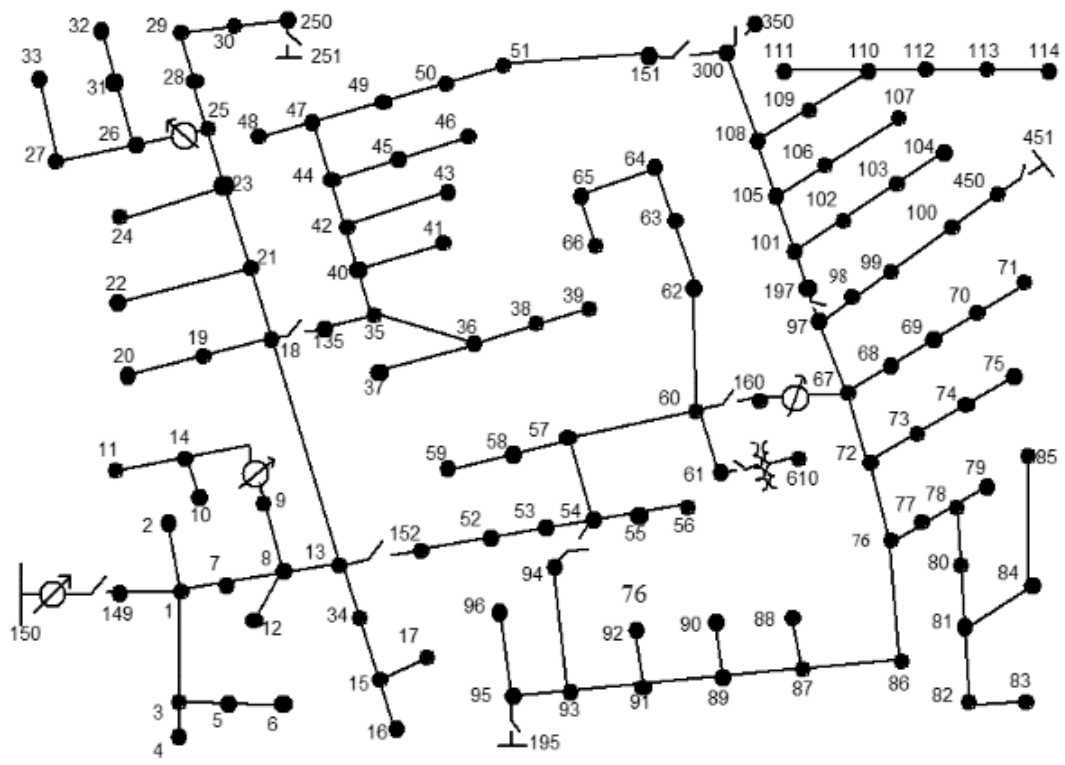
Tento systém má 10 generátorů, 39 odběrných míst a 12 transformátorů. Odběrné místo č. 39 je nevyužité. Napaječ IEEE 39 se od ostatních vysokonapěťových napaječů liší parametrem napětí na části odběrných míst. Všechna odběrná místa (mimo těch označených čísly 30-38) mají nominální napětí 20 kV. Odběrná místa označená čísly 30 až 38 mají napětí 500 kV. Část odběrných míst je tak na úrovni vvn [9].



Obrázek 4.6 Rozložení modelu IEEE 39 [13]

4.2.5 IEEE 123

Tento model sítě je široce využíván při simulacích sítí. Jeho nominální napětí je 4,16 kV a počet odběrných míst je 123. Dále má 4 regulátory napětí a několik přepínačů. Odběrná místa jsou nerovnoměrně zatížena a každé z nich se vyznačuje konstantním proudem, impedancí a příkonem [8].



Obrázek 4.7 Rozložení modelu IEEE 123 [14]

5. MODEL SÍTĚ

Model sítě byl vybrán na základě dvou myšlenek spojených do jednoho modelu. První myšlenkou bylo vybrat si některý z modelů uvedených v předchozí kapitole a druhou jeho praktickém využití. Byl tedy vybrán model sítě IEEE 906 uvedený v kapitole 4.1.1 a zároveň byla aplikovaná myšlenka LEX OZE II, ve které je uvedeno, že v jedné skupině sdílení může být maximálně 11 čísel EAN [17]. Model sítě IEEE 906 byl tedy upraven na 11 odběrných míst a transformátor simulující venkovní síť a byly provedeny zásadní úpravy uvedené v této práci, aby výsledný model splňoval veškeré požadavky a náležitosti uvedené v aktuální legislativě. Tato síť bude modelována pomocí simulačního programu v aplikaci Matlab a Simulink.

5.1 Simulační program

5.1.1 Struktura simulačního programu

Simulace modelu uvedeného v této práci vychází z programu v aplikaci Matlab a Simulink, který naprogramoval Graham Dudgeon přímo pro síť IEEE 906 [18]. Program, který vytvořil, se skládá z mnoha menších celků, které na sebe navzájem odkazují. V rootu programu jsou následující složky:

- Build_Files – obsahuje soubory a funkce, na které odkazují hlavní části programu,
- Four_Segment – jsou zde soubory, které rozdělí celou síť na čtyři menší vzájemně propojené části a které se počítají zvlášť,
- Load_profiles – složka pro 100 profilů zatížení odběrných míst v čase (Load_profile_X.csv, kde X je číslo od 1 do 100),
- One_Segment – výpočetně podobné soubory jako Four_Segment s tím rozdílem, že se síť počítá celá najednou a nikoli po částech.

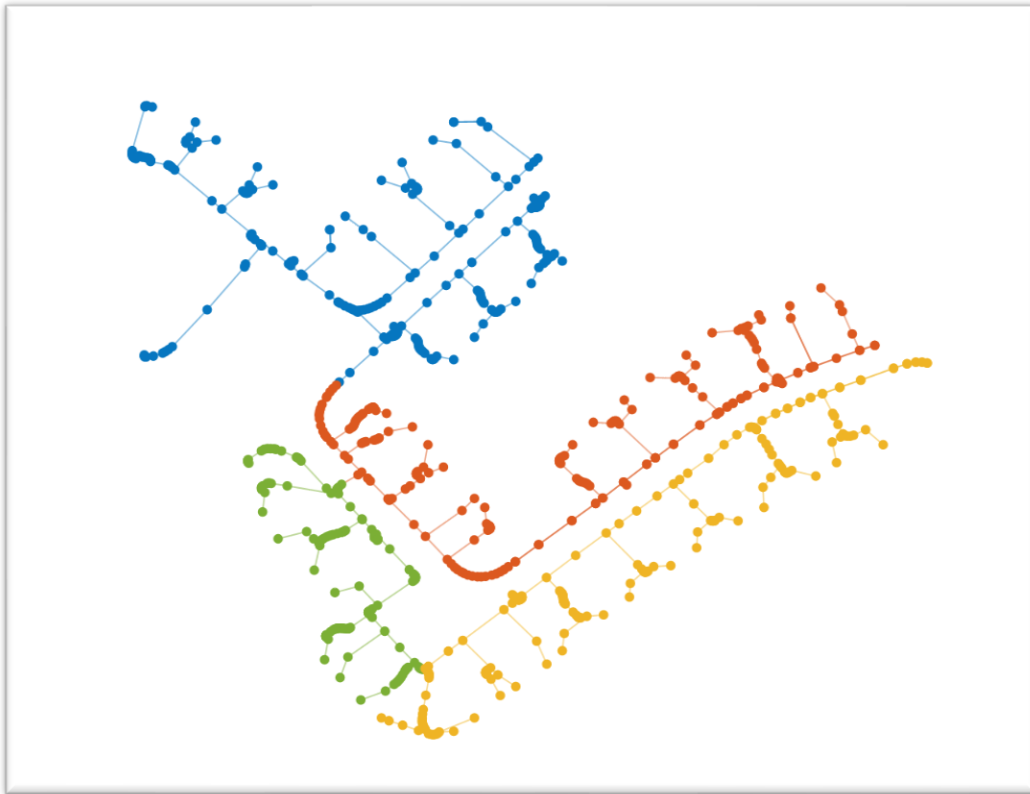
V rootu jsou také samostatné soubory, které mají většinou funkci vstupních hodnot do programu:

- Buscoords.csv – soubor, ve kterém jsou vypsány souřadnice jednotlivých odběrných míst,
- Linecodes.csv – jsou zde uvedena různá označení kabelů a jejich parametry (počet fází a sousledné a netočivé hodnoty odporu, reaktance a kapacity vedení),
- Lines.csv – definuje vedení (od jakého k jakému místu vede, počet fází, délka a označení použitého kabelu),
- Loads.csv – definuje odběrná místa (číslo, fáze, fázové napětí, způsob připojení, účinník a odkaz na Load Shape),
- LoadShapes.csv – definuje Load Shapes, na které odkazují odběry v Loads.csv (minimální interval a odkaz na příslušný Load Profile),

- Source.csv – definuje vlastnosti napájecího zdroje (napětí na primárním vinutí, násobek U_n a zkratový proud),
- Transformer.csv – popisuje transformátor (napětí na primárním vinutí, napětí na sekundárním vinutí, maximální výkon, zapojení, reaktance a odpor) a další.

Název	Datum změny	Typ	Velikost
Build_Files	24.05.2024 19:15	Složka souborů	
Four_Segment	24.05.2024 19:15	Složka souborů	
Load Profiles	18.02.2016 23:10	Složka souborů	
One_Segment	24.05.2024 19:15	Složka souborů	
Solutions	18.02.2016 22:55	Složka souborů	
Buscoords.csv	14.04.2015 18:12	Textový soubor s ...	24 kB
IEEE European LV Test Feeder - Draft.docx	20.05.2015 0:28	Dokument Micros...	378 kB
LineCodes.csv	20.05.2015 0:06	Textový soubor s ...	1 kB
Lines.csv	20.05.2015 0:14	Textový soubor s ...	33 kB
Loads.csv	14.04.2015 23:00	Textový soubor s ...	3 kB
LoadShapes.csv	14.04.2015 23:21	Textový soubor s ...	3 kB
README.txt	06.07.2022 10:37	Textový dokument	3 kB
Source.csv	14.04.2015 18:14	Textový soubor s ...	1 kB
startup.m	06.07.2022 10:37	MATLAB Code	1 kB
Transformer.csv	19.05.2015 21:02	Textový soubor s ...	1 kB

Obrázek 5.1 Základní soubory programu pro Matlab a Simulink



Obrázek 5.2 Schéma sítě IEEE 906 pro Four_Segment

5.1.2 Postup spuštění simulačního programu

Provedení simulace původního programu se skládá z několika kroků, které jsou velmi podobné pro One_Segment i Four_Segment, rozdíly ve spuštěných programech jsou odděleny lomítkem:

1. V rootu spustit program startup.m (přiřadí cestu),
2. Ve složce One_Segment nebo Four_Segment spustit create_European_LV_1segment.csv/create_European_LV_4segments.m (načte vstupní data, vytvoří schéma sítě),
3. Spustit IEEE_MR.slx / four_segment_IEEE_European_LV.slx (spočítá a uloží hodnoty napětí a proudů a vloží je do matice input_data),
4. Spustit init_European_LV_1SEG.m / init_European_LV_4SEGS.m (načte input_data),
5. Spustit getVoltagesAndCurrentsOneSegment.m / getVoltagesAndCurrentsFourSegment.m (zpracuje input_data a vytvoří struct dataVI, kam zapíše napětí (p.u.) a proudy (A) do jednotlivých matic.

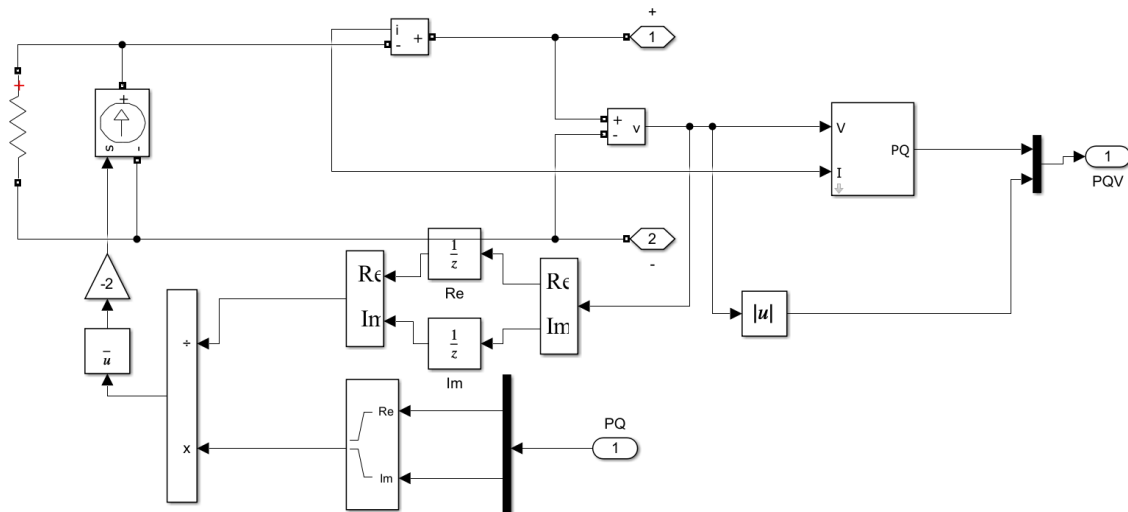
Základní simulace simuluje 55 jednofázových zátěží a 905 kusů vedení. Ostatní odběrná místa nejsou měřena a znamenají nulový odběr. Krok simulace je 1 sekunda po jeden den, tj. 86 400 vzorků.

5.1.3 Princip získání veličin

Ve schématu na obrázku jsou bloky označené LX (X je číslo od 1 do 12). Tyto bloky v sobě skrývají způsob získání veličin napětí, proudu a fázového posunu pomocí simulace.

Simulace je prováděna způsobem, jaký je naznačen ve schématu na obrázku 5.3. Jeho kroky jsou následující:

- Vstupem je výkon ze vstupu PQ, který je dále dělen napětím nad ním,
- dělením vznikne signál proudu, který je zesílen, invertován a vede na vstup proudového zdroje, druhým vstupem je napětí ze vstupů „+“ a „-“,
- po cestě ze zdroje do fázoru je měřen proud,
- z napájecích vstupů je měřeno napětí,
- měřené hodnoty napětí a proudu vedou do fázoru,
- výstupem PQV je absolutní hodnota napětí a fázový posun vypočtený ve fázoru.
-



Obrázek 5.3 Schéma proudového zdroje/odběru

5.1.4 Použitý kabel

V souboru Lines.csv uvedeného v kapitole 5.1.1 je parametr, který ukazuje, jaký kabel byl použit v simulaci. Je to z toho důvodu, protože program potřebuje mít mezi vstupními parametry i parametry vedení.

Pro účely simulace byl použit kabel 4x95 VMvK/Alk od výrobce TKF.

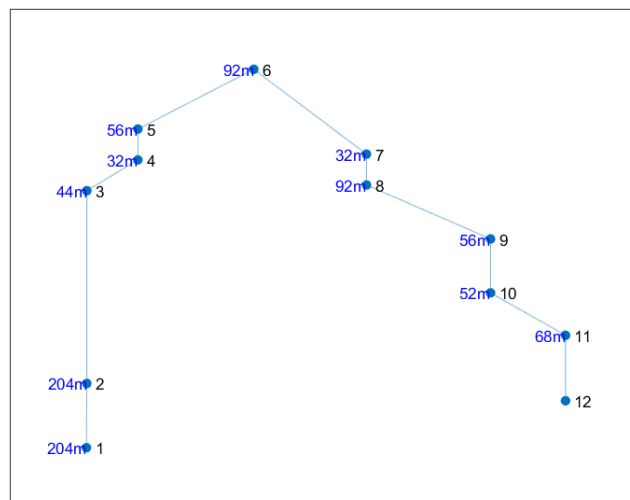
Tento kabel má následující parametry:

Průřez	4x95 mm ²
Materiál	Al
Nominální napětí	0,75 kV
Odpor	0,32 Ω/km (sosl. složka), 1,28 Ω/km (netočivá složka)
Reaktance	0,082 Ω/km (sosl. složka), 0,29 Ω/km (netočivá složka)

Kapacita	0,32 nF/km (sosl. složka), 0,4 nF/km (netočivá složka)
Nominální proud	165 A [19].

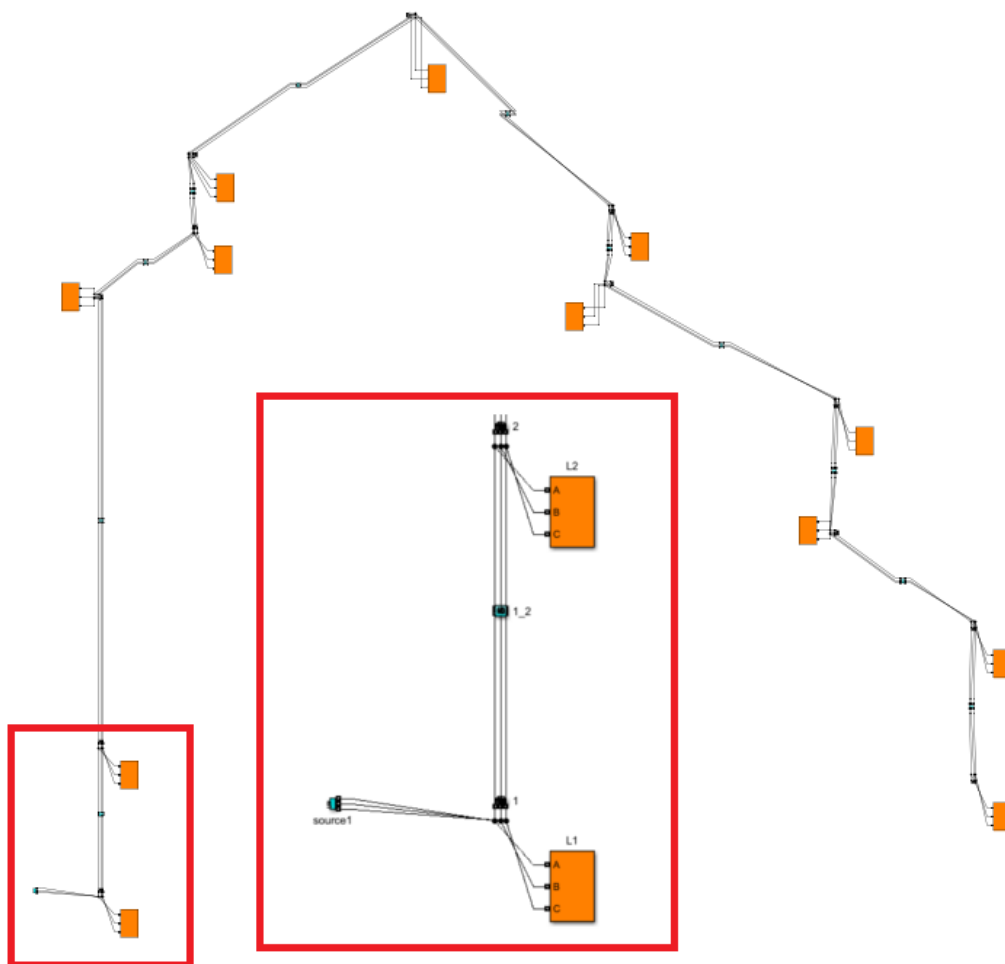
5.2 Upravený model

Model pro tuto práci byl ve velké míře upraven tak, aby byl aplikovatelný na již zmíněné LEX OZE II, kde je uplatňován limit 11 EAN předávacích míst. Byl snížen počet odběrných míst na 12, počet kusů vedení na 11. 12. Odběrných míst je zvýšení o 1 odběrné místo z toho důvodu, že při zadání 11 bodů nebylo provedeno měření od prvního místa k síťovému napaječi. Tento bod bude v práci nazýván jako „nulový bod“, který má přiřazenou nulovou spotřebu a s vedením mezi síťovým napaječem a prvním odběrem se nepočítá, tzn. vedení bude bezztrátové. Z důvodu přidání nulového bodu odběru začíná ve schématu tedy indexování skutečných odběrů od čísla 2, viz. obrázek 5.4 a byly vypsány i délky vedení.



Obrázek 5.4 Upravené schéma sítě

Matlab v aplikaci Simulink vytvořil i schéma (obrázek 5.5), ve kterém se nacházejí objekty. Source je síťový napaječ, oranžové bloky s označením LX obsahují schéma logiky výpočtů. Body s číslem jsou odběrná místa a body, kterými vedení prochází, a jsou označeny jako X_Y, jsou objekty simulující chování vedení. Objekty nacházející se v červeném obdélníku je detailní pohled na začátek vedení.



Obrázek 5.5 Schéma sítě s objekty v Simulinku

Model byl upraven také v časové oblasti. Byly vybrány následující dny v roce 1. leden, 2. březen, 30. červen a 5. listopad s tím, že vzorky budou hodinové, tj. celkem 96 vzorků. Data byla čerpána z webu PVGIS pro obec Nový Přerov pro rok 2020, což je rok, pro který nabízí daný web poslední informace. Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny činí 10 kW, systémové ztráty 15 % a fotovoltaické panely zaujímají 35° sklon a orientaci na jih.

Tabulka 5.1 Činný výkon FV elektráren v zadané časy ($P_i=10$ kW) [20]

Den	1. leden	2. březen	30. červen	5. listopad
Hodina	Výroba (kW)	Výroba (kW)	Výroba (kW)	Výroba (kW)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0,3517	0
6	0	0	0,9261	0
7	0	0,4238	2,7009	0,1961
8	0	0,1464	4,4922	2,8073
9	3,2836	4,2721	5,8221	4,8948
10	5,0707	7,1681	6,0166	6,1066
11	5,9055	8,0134	7,3432	5,5496
12	6,1334	8,2352	7,6734	5,3205
13	5,8482	7,8021	6,8253	5,5053
14	1,7366	6,3499	1,8775	4,0905
15	0,4307	4,1538	2,808	1,9542
16	0	2,8312	1,7061	0
17	0	0,1828	1,3555	0
18	0	0	0,5656	0
19	0	0	0,1518	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

5.3 Úprava vstupních parametrů a kódů

Spolu s modelem bylo nutné upravit a přidat některé kódy nebo objekty v aplikaci Matlab a Simulink a příslušné soubory.

5.3.1 Úpravy vstupních parametrů a definování odběrných míst

Jako první věc byla provedena změna vstupních parametrů. Pro přehlednost byly přepsány souřadnice odběrných míst. Typy vedení byly nazvány a určeny jako 4x95Alk (viz. 5.1.4).

Odběrná místa dostala písmeno označující počet a označení fází (A, B, C jednofázové pro příslušnou fázi A-C, D pro všechny 3 fáze). Všechna odběrná místa jsou zadávána jako třífázová. Napětí bylo sníženo z původních 240/416 V na 230/400 V.

Soubory Load_profile_X.csv, kde X je číslo 1-12, byly nahrazeny jinými hodnotami kvůli nové topologii sítě (další profily byly tak ignorovány).

Prvním modelem je radiální síť, ve které jsou zapojeny pouze fotovoltaické elektrárny. Základními hodnotami pro dosazení byly získány z webu PVGIS, viz. tabulka 5.1 Jelikož kladné hodnoty značí odběr, bylo nutné otočit znaménko odběru, aby se tak z odběru stal zdroj.

Druhým modelem je také radiální síť s tím rozdílem, že za nulovým bodem bylo nasazeno 5 odběrů a 6 fotovoltaických elektráren se stejnými výkony, které byly použité v předchozí síti. Hodnoty čtyř zátěží byly určeny následujícím způsobem. Na webu OTE – ČR byl stažen soubor obsahující koeficienty zatížení pro příslušné dny a rok a těmi byl vynásoben maximální výkon hlavního jističe domu 3x25A, tj. pro nominální napětí (230 V) 17,25 kW.

Další změnou byl počet časových vzorků, který činí 96 (4 dny krát 24 hodin).

5.3.2 Úpravy souborů

Pro účely výpočtů, zřehlednění a zjednodušení exportu dat bylo upraveno několik souborů. Prvním z nich byl program, který vykreslí schéma sítě, které je na obrázku 5.4. Byly přidány popisky znázorňující délky vedení. Délka vedení je uvedena vždy u bodu, od kterého dotyčné vedení začíná (směrem ke konci sítě).

Významné změny byly provedeny v programu, který načítá vstupní data. Byl vytvořen xlsx soubor, který obsahoval koeficienty násobící činné i jalové výkony, uspořádání násobení a zápis do příslušných proměnných LX_PA, LX_PB, LX_PC, LX_QA, LX_QB a LX_QC (X je číslo od 1 do 12). Dále byla přidána možnost třífázového odběru, protože původní program podporoval jen jednofázová odběrná místa. Byla přidána možnost D, která zahrnuje třífázové odběrné místo.

Byl upraven program init_European_LV_1SEG.m, který načítá a zapisuje do matice napětí (v p.u.) s fázovými posuny a proudy tak, že do něj byl vložen kód z programu getVoltagesAndCurrentsOneSegment.m, který z předchozí velké matice vytvoří struct s maticemi, každá z nich odpovídá napětí na jednom prvku a proud vedením. Napětí byla vynásobena 230, aby se převedla na z poměrných jednotek na skutečné hodnoty.

Byl vytvořen program, který z vytvořených matic udělá jednu velkou matici pro napětí, proudy a fázové posuny pro snadnější kopírování tak, že výsledky všech proudů, napětí a fázových posunů umístí vedle sebe. Kód tohoto programu byl nakonec vložen do předchozího programu.

6. HLEDÁNÍ ALOKAČNÍCH KLÍČŮ

Nalezení alokačního klíče (pro rovnoměrnou produkci elektrické energie) je reakcí na skutečnost, že distribuční síť má určitou hostingovou kapacitu a připojení nových fotovoltaických elektráren k síti nemusí být vyhověno nebo může být výrazně omezeno z důvodu vyčerpané či nedostatečné kapacity distribuční sítě. Rovnoměrné produkce lze dosáhnout regulací výkonu výroben na určitou mez.

6.1 Regulace výkonu pomocí iterací

V programu jsou provedena odběrná místa tak, že pokud je zvýšeno napětí, sníží se proud a naopak, aby hodnota výkonu zůstala konstantní.

Regulace výkonu byla nejprve provedena tím způsobem, že byly přidány bloky reprezentující $P(U)$ a $Q(U)$ regulaci. Problém nastal v tom, že cílem této práce je rovnoměrná produkce elektrické energie, což se vylučuje s omezováním výkonu jen na některých zdrojích (např. jen dva poslední by měly napětí překračující povinnou mez $230 \pm 10 \% V$, a tak by se omezil jejich výkon, zatímco ostatní zdroje by výkon omezit nemusely).

Byl tak zvolen způsob, kde limitujícím faktorem je napětí, které nepřekročí hodnotu 253 V. Byla vytvořena tabulka v aplikaci MS Excel nazvaná koef.xlsx (příklad viz.), která byla načítána v aplikaci Matlab jako matice s názvem „dataMatrix“ pomocí funkce readmatrix:

```
filename = 'koef.xlsx';  
dataMatrix = readmatrix(filename);
```

Matice dataMatrix má 12 sloupců, kde každý reprezentuje jedno odběrné místo (nulový a 11 zdrojů nebo odběrů) a 96 řádků, kde každý z nich reprezentuje jednu hodinu. Světle zelené oblasti jsou ty, ve kterých fotovoltaické elektrárny nedodávají elektrickou energii (mají v tu dobu nulový výkon), tmavě zelené jsou ty, ve kterých fotovoltaické elektrárny elektrickou energii naopak dodávají. Do tabulky jsou zapisovány koeficienty, kterými se násobí vstupní výkony.

Výsledné hodnoty koeficientů tedy znamenají výkonové omezení, které budou nastaveny na měničích s krokem 1 procentní bod a budou pro všechny měniče v síti stejné. Tyto koeficienty jsou také alokačními klíči.

6.1.1 Topologie sítě pouze se zdroji bez regulace

Ještě před samotným omezováním výkonu bude provedena simulace, ve které budou koeficienty neměnné, a to 1. Znamená to, že se připojí fotovoltaická elektrárna s výkonem bez jakékoliv regulace. Budou se připojovat postupně z druhé strany sítě, tzn. od konce

vývodu. Ostatní odběry budou nulové a bude sledováno napětí. Přidávání fotovoltaických elektráren bude zastaveno, jakmile napětí překročí 253 V. Pro tento případ budou využity 2 kW z instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny, zbytek (do 10 kW) může být využit např. pro dobíjení baterie, elektromobilu nebo na jiný způsob vlastní spotřeby. Takto nízký výkon je použit z toho důvodu, že není očekáván větší odběr energie (zátěž tvoří jen vedení, transformátor a vyrovnávací proudy).

Při připojení první fotovoltaické elektrárny je napětí v pořádku, jak je vidět na výřezu na obrázku 6.1 – jsou na něm vypsána napětí pro 7. až 11. odběrné místo. Tato napětí jsou řazena vždy do bloků po třech sloupcích, kde každý blok znamená jedno odběrné místo a každý sloupec fázi A, B nebo C. Červená barva znamená, že je na daném místě přepětí, zelená znamená, že je napětí v mezích. Šedou barvou jsou označeny hodiny prvního dne, bílá barva značí hodiny druhého dne. Řádky jsou posunuté o 1, protože v prvním řádku je napsáno číslo odběrného místa. Je tam tedy zobrazeno napětí na 11 odběrných místech. Fáze jsou symetrické, takže je vyhodnocována pouze fáze A.

Protože připojení první fotovoltaické elektrárny nezpůsobilo přepětí, budou postupně připojovány další fotovoltaické elektrárny.

AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
	7					8					9					10						11
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.2752	251.2752	251.2752			251.3028	251.3028	251.3028			251.3196	251.3196	251.3196			251.3352	251.3352	251.3352			251.3556	251.3556	251.3556
251.3528	251.3528	251.3528			251.3954	251.3954	251.3954			251.4213	251.4213	251.4213			251.4453	251.4453	251.4453			251.4768	251.4768	251.4768
251.389	251.389	251.389			251.4385	251.4385	251.4385			251.4687	251.4687	251.4687			251.4967	251.4967	251.4967			251.5333	251.5333	251.5333
251.3988	251.3988	251.3988			251.4803	251.4803	251.4803			251.4816	251.4816	251.4816			251.5107	251.5107	251.5107			251.5487	251.5487	251.5487
251.3864	251.3864	251.3864			251.4355	251.4355	251.4355			251.4653	251.4653	251.4653			251.493	251.493	251.493			251.5293	251.5293	251.5293
251.2078	251.2078	251.2078			251.2223	251.2223	251.2223			251.2312	251.2312	251.2312			251.2394	251.2394	251.2394			251.2502	251.2502	251.2502
251.151	251.151	251.151			251.1546	251.1546	251.1546			251.1568	251.1568	251.1568			251.1588	251.1588	251.1588			251.1615	251.1615	251.1615
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322
251.1323	251.1323	251.1323			251.1323	251.1323	251.1323			251.1322	251.1322	251.1322			251.1322	251.1322	251.1322			251.13		

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
10	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
11	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
12	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
13	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
14	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
15	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
32	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
33	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
34	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
35	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
36	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
37	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Obrázek 6.3 Výřez z matice s odhadovanými koeficienty koef.xlsx

Postup byl takový, že byla provedena simulace. Výsledek první simulace je na obrázku 6.4. Byl iterován desátý řádek, tj. 9. hodina 1. ledna.

hodnota výkonu pro tuto hodinu činí 3283,6 W, takže reference je 853,7 W. Ekvivalent bylo nutné nastavit i u ostatních hodin, takže byla vytvořena následující tabulka:

Tabulka 6.1 Tabulka s výkony a koeficienty pro první model sítě pro prvních 24 hodin

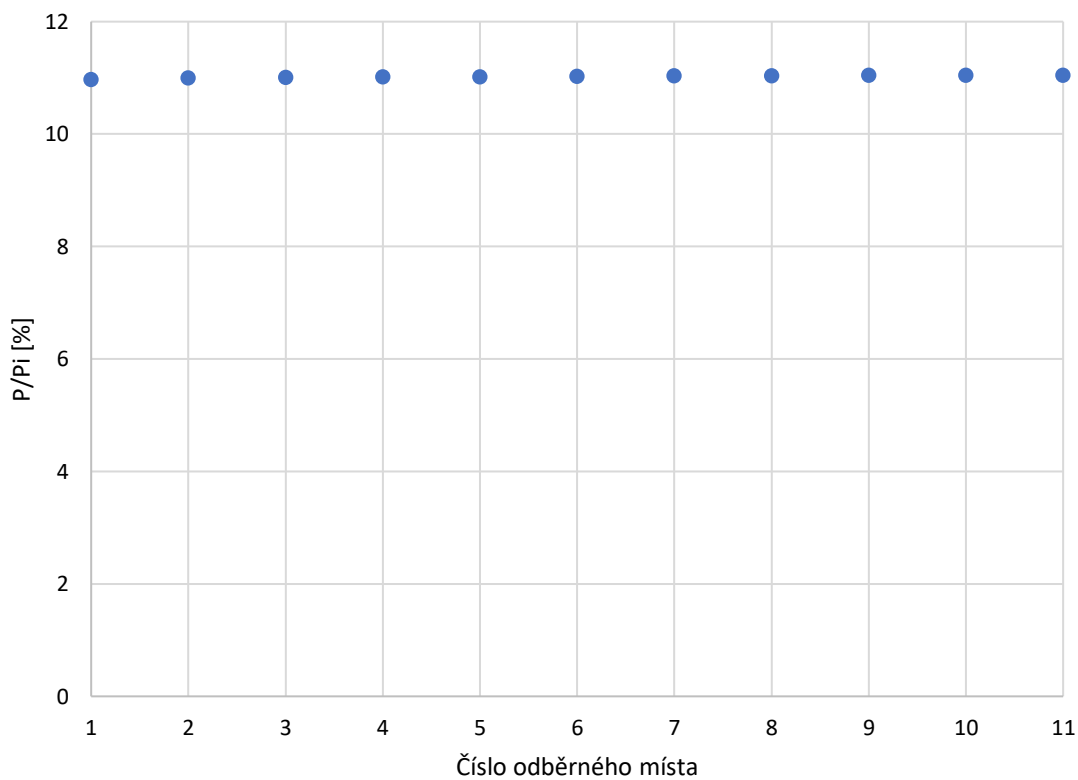
Hodina	Výkon [kW]	Koef [-]	Zaokr. koef [-]
1	0	1	1
2	0	1	1
3	0	1	1
4	0	1	1
5	0	1	1
6	0	1	1
7	0	1	1
8	0	1	1
9	3.2836	0.26	0.26
10	5.0707	0.168366	0.16
11	5.9055	0.144566	0.14
12	6.1334	0.139195	0.13
13	5.8482	0.145983	0.14
14	1.7366	0.491613	0.49
15	0.4307	1.982206	1
16	0	1	1
17	0	1	1
18	0	1	1
19	0	1	1
20	0	1	1
21	0	1	1
22	0	1	1
23	0	1	1
24	0	1	1

Protože jsou zadané výkony v kW, bylo třeba 853,7 W převést na 0,8537 kW. V tabulce 6.1 je uvedeno 24 řádků a 5 sloupců. Každý řádek reprezentuje hodinu (je to vzorek pro 24 hodin) a každý sloupec obsahuje tyto hodnoty (jsou brány sloupce postupně zleva doprava):

1. Číslo hodiny – zde je vzorek pro prvních 24 hodin,
2. maximální výkon, který může dodat elektrárna v daný čas,
3. zde je uvedena podmínka $=\text{KDYŽ}(F1 \leq 0; 1; \$J\$1/F1)$, kde se ošetří dělení nulou a zároveň je číslo 0,8537, vyděleno hodnotou výkonu ve druhém sloupci,
4. obsahuje hotové koeficienty, které jsou zaokrouhleny na setiny dolů. Pokud vyšel některý z koeficientů větší než 1, tzn. že výroba je nižší než odběr, je zapsáno číslo 1.

Byla provedena simulace, kde veškerá napětí jsou pod požadovanými 253 V, takže jsou koeficienty správně vypočtené (viz. obrázek 6.6 Výřez z výsledné simulace).

je zatížení pro devátou hodinu a 1. leden $P/P_i=10,96-11,04$ %. Tento výsledek je možné považovat za rovnoměrnou výrobu.



Obrázek 6.7 Poměr využití fotovoltaické elektrárny a instalovaného výkonu
9. hodina 1. leden

Vypočtené koeficienty dohromady tvoří alokační klíč, který je zapsán v tabulce 6.2.

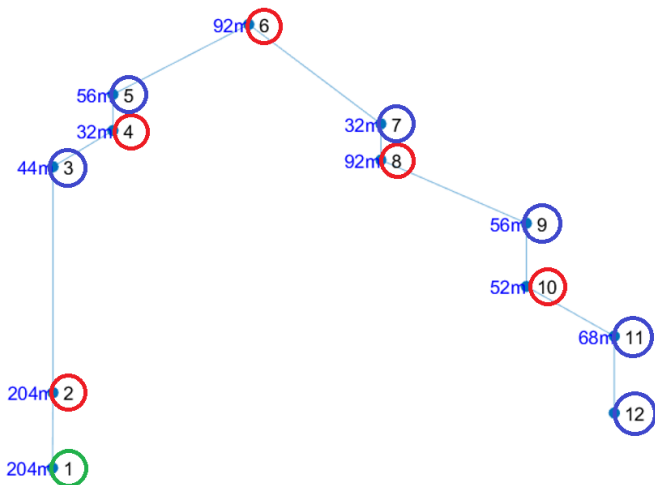
Tabulka 6.2 Alokační klíč pro první scénář

Den	1. leden	2. březen	30. červen	5. listopad
Hodina	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	0.7	1
7	1	1	0.24	1
8	1	1	0.14	0.3
9	0.26	0.19	0.11	0.17
10	0.16	0.11	0.1	0.13
11	0.14	0.1	0.08	0.15
12	0.13	0.1	0.08	0.16
13	0.14	0.1	0.09	0.15
14	0.49	0.13	0.34	0.2
15	1	0.2	0.23	0.43
16	1	0.3	0.38	1
17	1	1	0.48	1
18	1	1	1	1
19	1	1	1	1
20	1	1	1	1
21	1	1	1	1
22	1	1	1	1
23	1	1	1	1
24	1	1	1	1

Jestliže bude použito procentuálního využití pro devátou hodinu prvního ledna (tj. cca 11 %), který bude vynásoben instalovaným výkonem 10 kW, bude možné na každé fotovoltaické elektrárně vyrábět výkon 1,1 kW, tj. dohromady 12,1 kW.

6.1.3 Topologie sítě se šesti FVE a pěti odběry bez regulace

Tento případ bude velmi podobný případu v kapitole 6.1.1 jen s tím rozdílem, že počet zátěží se nebude měnit, vždy jich bude 5. Na fotovoltaické elektrárny tak připadá 6 míst. V této části bude řešena síť, která bude mít rozložení, které je zobrazeno na obrázku 6.8. Zelený kruh značí nulový bod, červený odběr a modrý zdroj.



Obrázek 6.8 Rozdělení odběrných míst podle barvy

Výkon byl zvolen opět 2 kW, zbytek výkonu (do 10 kW), může připadat opět na vnitřní spotřebu. Fotovoltaické elektrárny budou znovu přibývat směrem ze zadní části sítě.

Jak je možné vidět na obrázku 6.9, žádná přepětí zde nejsou, je tedy možné jít k dalšímu kroku, což je přidání dalších fotovoltaických elektráren.

AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
251.5668	251.1987	250.4878			251.5925	251.1954	250.4554			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356
247.3816	247.3761	247.3702			247.1642	247.1603	247.1519			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019
247.1273	247.1271	247.1285			248.8945	248.8942	248.8936			248.7527	248.7525	248.7518			248.7527	248.7525	248.7518			248.7527	248.7525	248.7518
248.649	248.649	248.649			248.5046	248.5046	248.5046			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167
247.7332	247.7332	247.7332			247.5357	247.5357	247.5357			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155
249.8741	249.8741	249.8741			249.8009	249.8009	249.8009			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564
248.2087	248.2087	248.2087			248.039	248.039	248.039			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357
248.6467	248.6467	248.6467			248.5023	248.5023	248.5023			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143
250.4741	250.4741	250.4741			250.4554	250.4554	250.4554			250.444	250.444	250.444			250.4597	250.4597	250.4597			250.4803	250.4803	250.4803
247.1834	247.1834	247.1834			246.9841	246.9841	246.9841			246.8628	246.8628	246.8628			246.887	246.887	246.887			246.9186	246.9186	246.9186
247.6892	247.6892	247.6892			247.5243	247.5243	247.5243			247.4239	247.4239	247.4239			247.4524	247.4524	247.4524			247.4897	247.4897	247.4897
249.8723	249.8723	249.8723			249.8356	249.8356	249.8356			249.8133	249.8133	249.8133			249.8428	249.8428	249.8428			249.8815	249.8815	249.8815
247.7199	247.7199	247.7199			247.5564	247.5564	247.5564			247.4569	247.4569	247.4569			247.4848	247.4848	247.4848			247.5213	247.5213	247.5213
246.666	246.666	246.666			246.4168	246.4168	246.4168			246.2651	246.2651	246.2651			246.2735	246.2735	246.2735			246.2844	246.2844	246.2844
247.6723	247.6723	247.6723			247.4736	247.4736	247.4736			247.3526	247.3526	247.3526			247.3547	247.3547	247.3547			247.3574	247.3574	247.3574
243.3516	243.3516	243.3516			242.8992	242.8992	242.8992			242.6239	242.6239	242.6239			242.6239	242.6239	242.6239			242.6239	242.6239	242.6239
245.4375	245.4375	245.4375			245.1055	245.1055	245.1055			244.9034	244.9034	244.9034			244.9034	244.9034	244.9034			244.9034	244.9034	244.9034
245.7647	245.7647	245.7647			245.4522	245.4522	245.4522			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262
249.8077	249.8077	249.8077			249.7305	249.7305	249.7305			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836
245.5381	245.5381	245.5381			245.2133	245.2133	245.2133			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157			245.0156	245.0156	245.0156
249.6171	249.6171	249.6171			249.5289	249.5289	249.5289			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752
248.0624	248.0624	248.0624			248.9422	248.9422	248.9422			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869
247.2918	247.2918	247.2918			247.0688	247.0688	247.0688			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933
250.0723	250.0723	250.0723			250.0106	250.0106	250.0106			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731
247.2192	247.2192	247.2192			246.992	246.992	246.992			246.8538	246.8538	246.8538			246.8537	246.8537	246.8537			246.8537	246.8537	246.8537
246.3939	246.3939	246.3939			246.1184	246.1184	246.1184			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506
247.1146	247.1146	247.1146			246.8809	246.8809	246.8809			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386
249.8902	249.8902	249.8902			249.818	249.818	249.818			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774
249.6802	249.6802	249.6802			249.5958	249.5958	249.5958			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445
251.0563	251.0563	251.0563			251.0518	251.0518	251.0518			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491
251.1085	251.1085	251.1085			251.1096	251.1096	251.1096			251.1103	251.1103	251.1103			251.1123	251.1123	251.1123			251.1149	251.1149	251.1149
250.0396	250.0396	250.0396			249.977	249.977	249.977			249.939	249.939	249.939			249.9397	249.9397	249.9397			249.9406	249.9406	249.9406
248.9711	248.9711	248.9711			248.8709	248.8709	248.8709			248.8099	248.8099	248.8099			248.8303	248.8303	248.8303			248.857	248.857	248.857
249.6018	249.6018	249.6018			248.5555	248.5555	248.5555			248.5272	248.5272	248.5272			248.5616	248.5616	248.5616			248.6065	248.6065	248.6065
245.9992	245.9992	245.9992			245.7486	245.7486	245.7486			245.5961	245.5961	245.5961			245.6344	245.6344	245.6344			245.6845	245.6845	245.6845
249.8369	249.8369	249.8369			249.811	249.811	249.811			249.7952	249.7952	249.7952			249.8352	249.8352	249.8352			249.8875	249.8875	249.8875
248.5455	248.5455	248.5455			248.4415	248.4415	248.4415			248.3781	248.3781	248.3781			248.4154	248.4154	248.4154			248.4641	248.4641	248.4641
249.5767	249.5767	249.5767			248.5241	248.5241	248.5241			248.492	248.492	248.492			248.5225	248.5225	248.5225			248.5624	248.5624	248.5624
246.2958	246.2958	246.2958			246.0396	246.0396	246.0396			245.8837	245.8837	245.8837			245.9036	245.9036	245.9036			245.9295	245.9295	245.9295
246.0331	246.0331	246.0331			245.7534	245.7534	245.7534			245.5832	245.5832	245.5832			245.5969	245.5969	245.5969			245.6149	245.6149	245.6149
247.7207	247.7207	247.7207			247.5233	247.5233	247.5233			247.4032	247.4032	247.4032			247.494	247.494	247.494			247.4052	247.4052	247.4052
246.6231	246.6231	246.6231			246.3609	246.3609	246.3609			246.2014	246.2014	246.2014			246.2014	246.2014	246.2014			246.2014	246.2014	246.2014
248.5335	248.5335	248.5335			248.3623	248.3623	248.3623			248.2902	248.2902	248.2902			248.2902	248.2902	248.2902			248.2902	248.2902	248.2902

Obrázek 6.9 Výřez z výsledků simulace napětí u 1 FVE a 5 odběrů

I při přidání dalších 5 fotovoltaických elektráren (tzn. všechny obsaditelné pozice jsou plné) není zaznamenáno přepětí v rámci hodnotení. Na obrázku 6.10 je ukázán opět výřez

z výsledků. Ovšem v 60. hodině napětí vyšlo až na 252,89 V, takže 2 kW je možné uvažovat jako maximální možný neregulovaný výkon pro tento scénář. Je možné tedy získat výkon až 12 kW.

AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
7					8					9					10					11		
251.5868	251.1897	250.4878			251.5926	251.1954	250.4554			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356
247.3816	247.3781	247.3702			247.1642	247.1603	247.1519			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019
247.1273	247.1271	247.1265			246.8946	246.8942	246.8936			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518
248.649	248.649	248.649			248.5046	248.5046	248.5046			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167
247.7332	247.7332	247.7332			247.5357	247.5357	247.5357			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155
249.8741	249.8741	249.8741			249.8009	249.8009	249.8009			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564
248.2087	248.2087	248.2087			248.039	248.039	248.039			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357
248.6467	248.6467	248.6467			248.5023	248.5023	248.5023			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143
251.0538	251.0538	251.0538			251.0908	251.0908	251.0908			251.0964	251.0964	251.0964			251.1279	251.1279	251.1279			251.1485	251.1485	251.1485
248.0787	248.0787	248.0787			247.9652	247.9652	247.9652			247.8702	247.8702	247.8702			247.9184	247.9184	247.9184			247.9499	247.9499	247.9499
248.7451	248.7451	248.7451			248.6814	248.6814	248.6814			248.6121	248.6121	248.6121			248.6689	248.6689	248.6689			248.706	248.706	248.706
250.9591	250.9591	250.9591			251.0267	251.0267	251.0267			251.0362	251.0362	251.0362			251.095	251.095	251.095			251.1335	251.1335	251.1335
248.7567	248.7567	248.7567			247.562	247.562	247.562			248.6232	248.6232	248.6232			248.6788	248.6788	248.6788			248.7151	248.7151	248.7151
246.9897	246.9897	246.9897			246.7712	246.7712	246.7712			246.6292	246.6292	246.6292			246.6458	246.6458	246.6458			246.6567	246.6567	246.6567
247.753	247.753	247.753			247.562	247.562	247.562			247.4435	247.4435	247.4435			247.4476	247.4476	247.4476			247.4503	247.4503	247.4503
243.3539	243.3539	243.3539			242.9018	242.9018	242.9018			242.6266	242.6266	242.6266			242.6265	242.6265	242.6265			242.6265	242.6265	242.6265
245.4376	245.4376	245.4376			245.1056	245.1056	245.1056			244.9035	244.9035	244.9035			244.9035	244.9035	244.9035			244.9035	244.9035	244.9035
245.7647	245.7647	245.7647			245.4522	245.4522	245.4522			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262
249.8077	249.8077	249.8077			249.7305	249.7305	249.7305			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836
245.5381	245.5381	245.5381			245.2133	245.2133	245.2133			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157			245.0156	245.0156	245.0156
249.6171	249.6171	249.6171			249.5289	249.5289	249.5289			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752
249.0624	249.0624	249.0624			248.9422	248.9422	248.9422			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869
247.2918	247.2918	247.2918			247.0688	247.0688	247.0688			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933
250.0723	250.0723	250.0723			250.0106	250.0106	250.0106			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731
247.2192	247.2192	247.2192			246.992	246.992	246.992			246.8538	246.8538	246.8538			246.8537	246.8537	246.8537			246.8537	246.8537	246.8537
246.3939	246.3939	246.3939			246.1184	246.1184	246.1184			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506
247.1146	247.1146	247.1146			246.8809	246.8809	246.8809			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386
249.8902	249.8902	249.8902			249.818	249.818	249.818			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774
249.6802	249.6802	249.6802			249.5958	249.5958	249.5958			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445
251.0653	251.0653	251.0653			251.0518	251.0518	251.0518			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491
251.1827	251.1827	251.1827			251.1909	251.1909	251.1909			251.1937	251.1937	251.1937			251.1977	251.1977	251.1977			251.2004	251.2004	251.2004
250.0655	250.0655	250.0655			250.0054	250.0054	250.0054			249.9681	249.9681	249.9681			249.9685	249.9685	249.9685			249.9704	249.9704	249.9704
249.7214	249.7214	249.7214			249.6934	249.6934	249.6934			249.6543	249.6543	249.6543			249.6951	249.6951	249.6951			249.7218	249.7218	249.7218
250.866	250.866	250.866			250.9409	250.9409	250.9409			250.9497	250.9497	250.9497			251.0182	251.0182	251.0182			251.0629	251.0629	251.0629
247.4254	247.4254	247.4254			247.3111	247.3111	247.3111			247.2004	247.2004	247.2004			247.2766	247.2766	247.2766			247.3264	247.3264	247.3264
251.3035	251.3035	251.3035			251.4183	251.4183	251.4183			251.4454	251.4454	251.4454			251.5249	251.5249	251.5249			251.5768	251.5768	251.5768
249.9224	249.9224	249.9224			249.95	249.95	249.95			249.9269	249.9269	249.9269			250.0009	250.0009	250.0009			250.0493	250.0493	250.0493
250.6997	250.6997	250.6997			250.7545	250.7545	250.7545			250.7553	250.7553	250.7553			250.8159	250.8159	250.8159			250.8555	250.8555	250.8555
247.0434	247.0434	247.0434			246.8584	246.8584	246.8584			246.7245	246.7245	246.7245			246.764	246.764	246.764			246.7898	246.7898	246.7898
246.5502	246.5502	246.5502			246.3199	246.3199	246.3199			246.165	246.165	246.165			246.1923	246.1923	246.1923			246.2102	246.2102	246.2102
247.76	247.76	247.76			247.5661	247.5661	247.5661			247.4472	247.4472	247.4472			247.448	247.448	247.448			247.4501	247.4501	247.4501
246.6237	246.6237	246.6237			246.3617	246.3617	246.3617			246.2021	246.2021	246.2021			246.2021	246.2021	246.2021			246.2021	246.2021	246.2021
248.5335	248.5335	248.5335			248.3823	248.3823	248.3823			248.2902	248.2902	248.2902			248.2902	248.2902	248.2902			248.2902	248.2902	248.2902

Obrázek 6.10 Výřez z výsledků simulace napětí u 6 FVE a 5 odběrů

6.1.4 Topologie sítě se šesti FVE a pěti odběry s regulací

Výkon fotovoltaických elektráren bude $P_{i=10}$ kW. Koeficienty budou jiné, protože se snížil počet zdrojů, a naopak byly přidány odběry. Blokové schéma zůstane stejné.

Všechny čtyři odběry budou mít jako špičkovou hodnotu 17,25 kW, což odpovídá hlavnímu jističi 3x25A. Tato špičková hodnota je vynásobena konstantami (korekčními faktory), které určují aktuální zatížení a jsou uvedeny v TDD OTE pro jižní Moravu. Jsou zapsány v tabulce 6.3.

Tabulka 6.3 Korekční faktory TDD pro jižní Moravu [21]

Den	1. leden	2. březen	30. červen	5. listopad
Hodina	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)
1	0.43861	0.38464	0.23543	0.32841
2	0.56571	0.50652	0.27495	0.39933
3	0.64340	0.57186	0.36253	0.34663
4	0.47759	0.49806	0.34857	0.26344
5	0.40053	0.39669	0.23956	0.27639
6	0.35403	0.40611	0.23693	0.33107
7	0.32376	0.29429	0.20078	0.25696
8	0.26051	0.29876	0.21129	0.24605
9	0.27729	0.33585	0.23629	0.28257
10	0.33985	0.33600	0.29177	0.34165
11	0.45060	0.44334	0.30438	0.47595
12	0.47851	0.46990	0.35229	0.38921
13	0.48843	0.39762	0.33176	0.34154
14	0.65165	0.56124	0.44853	0.49338
15	0.85704	0.66008	0.45932	0.57209
16	0.71090	0.45527	0.43106	0.41097
17	0.49972	0.39960	0.47909	0.45172
18	0.47213	0.42216	0.43393	0.44948
19	0.50211	0.46242	0.35749	0.46879
20	0.47998	0.46422	0.40900	0.41117
21	0.49198	0.58298	0.33423	0.57984
22	0.48664	0.78540	0.33087	0.77269
23	0.56223	0.50809	0.29286	0.28892
24	0.61583	0.36410	0.27067	0.29170

Např. pro první hodinu platí: $0,43861 \cdot 17,25 = 7,566 \text{ kW}$.

Protože jsou zátěže proměnné v čase, je třeba iterovat hodiny, ve kterých fotovoltaické elektrárny vyrábí elektrickou energii. Koeficienty nelze v tomto případě blíže odhadnout, proto koeficienty zůstanou na začátku všechny na čísle 1 tak, jak je ukázáno na obrázku 6.11. Je zde další změna oproti předchozímu modelu. Fotovoltaické elektrárny jsou na místech 3, 5, 7, 9, 11 a 12, což je zobrazeno na tom samém obrázku tmavě zelenou barvou, světle zelená značí ve sloupcích nulový bod a zátěže, které nebudou dále regulovány.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Obrázek 6.11 Tabulka koeficientů pro první iteraci

Byla provedena první iterace s koeficienty 1, viz. obrázek 6.12. U některých hodin je možné sledovat přepětí.

AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
251.5658	251.1897	250.4878			251.5925	251.1954	250.4554			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356
247.3816	247.3781	247.3702			247.1642	247.1603	247.1519			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019
247.1273	247.1271	247.1265			246.8945	246.8942	246.8936			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518
248.649	248.649	248.649			248.5046	248.5046	248.5046			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167
247.7332	247.7332	247.7332			247.5357	247.5357	247.5357			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155
249.8741	249.8741	249.8741			249.8009	249.8009	249.8009			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564
248.2087	248.2087	248.2087			248.039	248.039	248.039			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357
248.6467	248.6467	248.6467			248.5023	248.5023	248.5023			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143
253.9503	253.9503	253.9503			254.322	254.322	254.322			254.4639	254.4635	254.4635			254.4639	254.4635	254.4635			254.4639	254.4635	254.4635
252.489	252.489	252.489			252.8815	252.8815	252.8815			252.9924	252.9924	252.9924			252.9924	252.9924	252.9924			252.9924	252.9924	252.9924
253.9084	253.9084	253.9084			254.4367	254.4367	254.4367			254.6083	254.6083	254.6083			254.6083	254.6083	254.6083			254.6083	254.6083	254.6083
256.2541	256.2541	256.2541			256.9297	256.9297	256.9297			257.1861	257.1861	257.1861			257.1861	257.1861	257.1861			257.1861	257.1861	257.1861
253.8034	253.8034	253.8034			254.316	254.316	254.316			254.4819	254.4819	254.4819			254.4819	254.4819	254.4819			254.4819	254.4819	254.4819
248.566	248.566	248.566			248.5252	248.5252	248.5252			248.4565	248.4565	248.4565			248.4565	248.4565	248.4565			248.4565	248.4565	248.4565
248.1529	248.1529	248.1529			248.0072	248.0072	248.0072			247.9074	247.9074	247.9074			247.9074	247.9074	247.9074			247.9074	247.9074	247.9074
243.3657	243.3657	243.3657			242.9144	242.9144	242.9144			242.6397	242.6397	242.6397			242.6397	242.6397	242.6397			242.6397	242.6397	242.6397
245.4378	245.4378	245.4378			245.1058	245.1058	245.1058			244.9038	244.9038	244.9038			244.9038	244.9038	244.9038			244.9038	244.9038	244.9038
245.7647	245.7647	245.7647			245.4522	245.4522	245.4522			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262
249.8077	249.8077	249.8077			249.7305	249.7305	249.7305			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836
245.5381	245.5381	245.5381			245.2133	245.2133	245.2133			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157
249.6171	249.6171	249.6171			249.5289	249.5289	249.5289			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752
249.0624	249.0624	249.0624			248.9422	248.9422	248.9422			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869
247.2918	247.2918	247.2918			247.0688	247.0688	247.0688			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933
250.0723	250.0723	250.0723			250.0106	250.0106	250.0106			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731
247.2192	247.2192	247.2192			246.992	246.992	246.992			246.8538	246.8538	246.8538			246.8537	246.8537	246.8537			246.8537	246.8537	246.8537
246.3939	246.3939	246.3939			246.1184	246.1184	246.1184			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506
247.1146	247.1146	247.1146			246.8809	246.8809	246.8809			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386
249.8902	249.8902	249.8902			249.818	249.818	249.818			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774
249.6802	249.6802	249.6802			249.5958	249.5958	249.5958			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445
251.0563	251.0563	251.0563			251.0518	251.0518	251.0518			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491
251.553	251.553	251.553			251.904	251.904	251.904			251.8242	251.8242	251.8242			251.8242	251.8242	251.8242			251.8242	251.8242	251.8242
250.1946	250.1946	250.1946			250.1494	250.1494	250.1494			250.1182	250.1182	250.1182			250.1182	250.1182	250.1182			250.1182	250.1182	250.1182
253.4678	253.4678	253.4678			253.8723	253.8723	253.8723			254.0088	254.0088	254.0088			254.0088	254.0088	254.0088			254.0088	254.0088	254.0088
257.0675	257.0675	257.0675			257.8555	257.8555	257.8555			258.1538	258.1538	258.1538			258.1538	258.1538	258.1538			258.1538	258.1538	258.1538
254.3382	254.3382	254.3382			255.0125	255.0125	255.0125			255.2234	255.2234	255.2234			255.2234	255.2234	255.2234			255.2234	255.2234	255.2234
258.3882	258.3882	258.3882			259.3156	259.3156	259.3156			259.6727	259.6727	259.6727			259.6727	259.6727	259.6727			259.6727	259.6727	259.6727
256.5674	256.5674	256.5674			257.3543	257.3543	257.3543			257.6401	257.6401	257.6401			257.6401	257.6401	257.6401			257.6401	257.6401	257.6401
256.1308	256.1308	256.1308			256.8077	256.8077	256.8077			257.0612	257.0612	257.0612			257.0612	257.0612	257.0612			257.0612	257.0612	257.0612
250.6781	250.6781	250.6781			250																	

Pro určitou automatizaci byl vytvořen výpočet v MS Excel, který hlídá napětí na posledním odběrném místě. Má v sobě tento vzorec: =KDYŽ(A_{Y2}>253;0.01;0). Znamená to, že pokud je napětí v buňce AY větší než 253 V (je na odběrném místě přepětí), napíše se do dané buňky hodnota 0,01, v opačném případě to napíše 0. Buňka AY2 reprezentuje první hodinu na posledním odběru. Těchto řádků je dáno pod sebe 96, aby mohla být iterována každá hodina. Bylo vytvořeno celkem 29 iteračních listů (označeny it2-it30), do kterých se dávají postupně výsledky napětí z nových simulací. Poprvé se do it2 se zadají výsledky napětí, po iteraci se zadají nové výsledky napětí do it3 atd.

V tabulce koef.xlsx je zpočátku koeficient roven 1. Pro výpočet je to základ. Matematicky by bylo možné tento vzorec napsat tímto způsobem:

$$k_{AY} = \text{základ} - AY(it2) - AY(it3) - \dots - AY(it30), \quad (6.1)$$

kde k – koeficient,

AY – buňka s označením AY,

itn – označení listu v příslušném xlsx souboru.

V xlsx souboru je v buňce AY vepsán tento vzorec:

=základ - '[názevsouboru.xlsx]it2!\$buňka-[názevsouboru.xlsx]it3!\$buňka-...-[názevsouboru.xlsx]it30!\$buňka

Jinak řečeno to znamená, že od základu (v tomto případě 1) to odečítají postupně hodnoty (buď 0 nebo 0,01) ze všech listů, v najednou se tak může odečíst až 0,29. Například pokud probíhá první simulace a je ve výsledku v nějakém čase přepětí, výpočet ukáže hodnotu 0,01. To se automaticky odečte od základu v koef.xlsx, takže do další iterace se počítá již s koeficientem 0,99. Pokud je i tehdy přepětí, odečte se dalších 0,01, tzn. do další iterace se počítá s koeficientem 0,98 do té doby, dokud tam nebude povolené napětí.

Tyto koeficienty poté dohromady vytvoří alokační klíč, který je vypsán v tabulce 6.4.

Tabulka 6.4 Alokační klíč pro druhý scénář

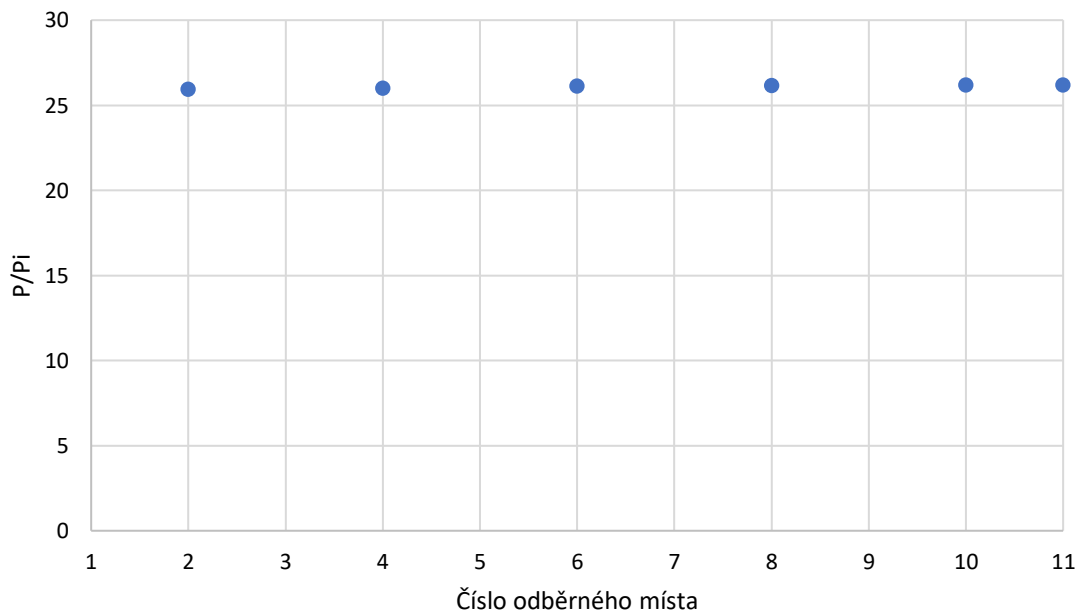
Den	1. leden	2. březen	30. červen	5. listopad
Hodina	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)	Koeficient (-)
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	1	0.76	1
9	0.61	0.76	0.43	0.75
10	0.94	0.4	0.56	0.47
11	0.73	0.72	0.54	0.88
12	0.42	0.3	0.18	0.3
13	0.74	0.48	0.22	0.87
14	1	0.45	1	0.78
15	1	1	0.93	1
16	1	1	1	1
17	1	1	1	1
18	1	1	1	1
19	1	1	1	1
20	1	1	1	1
21	1	1	1	1
22	1	1	1	1
23	1	1	1	1
24	1	1	1	1

Na obrázku 6.13 je zobrazen výřez z poslední iterace. Lze na něm vidět, že u hodin, ve kterých je vyráběna elektrická energie, se napětí drží těsně pod 253 V. Napěťové profily jsou v Příloha C -. Legenda je stejná jako u předchozího scénáře.

AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
7					8					9					10					11		
251.5688	251.1897	250.4678			251.5925	251.1954	250.4554			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356			251.6088	251.1989	250.4356
247.3816	247.3781	247.3702			247.1642	247.1603	247.1519			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019			247.0318	247.0277	247.019
247.1273	247.1271	247.1265			246.8945	246.8942	246.8936			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518			246.7527	246.7525	246.7518
248.649	248.649	248.649			248.5046	248.5046	248.5046			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167			248.4167	248.4167	248.4167
247.7332	247.7332	247.7332			247.5357	247.5357	247.5357			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155			247.4155	247.4155	247.4155
249.8741	249.8741	249.8741			249.8009	249.8009	249.8009			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564			249.7564	249.7564	249.7564
248.2087	248.2087	248.2087			248.039	248.039	248.039			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357			247.9357	247.9357	247.9357
248.6467	248.6467	248.6467			248.5023	248.5023	248.5023			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143			248.4143	248.4143	248.4143
252.5382	252.5382	252.5382			252.7468	252.7468	252.7468			252.822	252.822	252.822			252.822	252.822	252.822			252.822	252.822	252.822
252.1685	252.1685	252.1685			252.5256	252.5256	252.5256			252.6218	252.6218	252.6218			252.6218	252.6218	252.6218			252.6218	252.6218	252.6218
252.1801	252.1801	252.1801			252.5095	252.5095	252.5095			252.6004	252.6004	252.6004			252.6004	252.6004	252.6004			252.6004	252.6004	252.6004
252.4258	252.4258	252.4258			252.6613	252.6613	252.6613			252.7391	252.7391	252.7391			252.7391	252.7391	252.7391			252.7391	252.7391	252.7391
252.1984	252.1984	252.1984			252.5299	252.5299	252.5299			252.6217	252.6217	252.6217			252.6217	252.6217	252.6217			252.6217	252.6217	252.6217
248.5517	248.5517	248.5517			248.5106	248.5106	248.5106			248.4414	248.4414	248.4414			248.4414	248.4414	248.4414			248.4414	248.4414	248.4414
248.1528	248.1528	248.1528			248.007	248.007	248.007			247.9072	247.9072	247.9072			247.9072	247.9072	247.9072			247.9072	247.9072	247.9072
243.3657	243.3657	243.3657			242.9144	242.9144	242.9144			242.6397	242.6397	242.6397			242.6397	242.6397	242.6397			242.6397	242.6397	242.6397
245.4378	245.4378	245.4378			245.1058	245.1058	245.1058			244.9038	244.9038	244.9038			244.9038	244.9038	244.9038			244.9038	244.9038	244.9038
245.7647	245.7647	245.7647			245.4522	245.4522	245.4522			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262			245.262	245.262	245.262
249.8077	249.8077	249.8077			249.7305	249.7305	249.7305			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836			249.6836	249.6836	249.6836
245.5381	245.5381	245.5381			245.2133	245.2133	245.2133			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157			245.0157	245.0157	245.0157
249.6171	249.6171	249.6171			249.5289	249.5289	249.5289			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752			249.4752	249.4752	249.4752
249.0624	249.0624	249.0624			248.9422	248.9422	248.9422			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869			248.869	248.869	248.869
247.2918	247.2918	247.2918			247.0688	247.0688	247.0688			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933			246.933	246.933	246.933
250.0723	250.0723	250.0723			250.0106	250.0106	250.0106			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731			249.9731	249.9731	249.9731
247.2192	247.2192	247.2192			246.992	246.992	246.992			246.8538	246.8538	246.8538			246.8537	246.8537	246.8537			246.8537	246.8537	246.8537
246.3939	246.3939	246.3939			246.1194	246.1194	246.1194			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506			245.9506	245.9506	245.9506
247.1146	247.1146	247.1146			246.8809	246.8809	246.8809			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386			246.7386	246.7386	246.7386
249.8902	249.8902	249.8902			249.818	249.818	249.818			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774			249.774	249.774	249.774
249.6802	249.6802	249.6802			249.5958	249.5958	249.5958			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445			249.5445	249.5445	249.5445
251.0563	251.0563	251.0563			251.0518	251.0518	251.0518			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491			251.0491	251.0491	251.0491
251.553	251.553	251.553			251.604	251.604	251.604			251.6242	251.6242	251.6242			251.6443	251.6443	251.6443			251.6443	251.6443	251.6443
250.1946	250.1946	250.1946			250.1494	250.1494	250.1494			250.1182	250.1182	250.1182			250.1251	250.1251	250.1251			250.1251	250.1251	250.1251
252.3441	252.3441	252.3441			252.6188	252.6188	252.6188			252.7027	252.7027	252.7027			252.8575	252.8575	252.8575			252.8575	252.8575	252.8575
252.4242	252.4242	252.4242			252.6777	252.6777	252.6777			252.7592	252.7592	252.7592			252.8944	252.8944	252.8944			252.8944	252.8944	252.8944
251.9707	251.9707	251.9707			252.3789	252.3789	252.3789			252.4807	252.4807	252.4807			252.7528	252.7528	252.7528			252.7528	252.7528	252.7528
252.193	252.193	252.193			252.4084	252.4084	252.4084			252.4767	252.4767	252.4767			252.5933	252.5933	252.5933			252.5933	252.5933	252.5933
252.3004	252.3004	252.3004			252.6017	252.6017	252.6017			252.6898	252.6898	252.6898			252.8667	252.8667	252.8667			252.8667	252.8667	252.8667
252.4266	252.4266	252.4266			252.6796	252.6796	252.6796			252.761	252.761	252.761			252.8958	252.8958	252.8958			252.8958	252.8958	252.8958
250.6774	250.6774	250.6774			250.91	250.91	250.91			250.9459	250.9459	250.9459			251.1418	251.1418	251.1418			251.1418	251.1418	251.1418
249.087	249.087	249.087			249.1461	249.1461	249.1461			249.1096	249.1096	249.1096			249.2441	249.2441	249.2441			249.2441	249.2441	249.2441
247.953	247.953	247.953			247.7801	247.7801	247.7801			247.6701	247.6701	247.6701			247.6788	247.6788	247.6788			247.6788	247.6788	247.6788
246.627	246.627	246.627			246.3652	246.3652	246.3652			246.2058	246.2058	246.2058			246.2058	246.2058	246.2058			246.2058	246.2058	246.2058
248.5335	248.5335	248.5335			248.3823	248.3823	248.3823			248.2903	248.2903	248.2903			248.2903	248.2903	248.2903			248.2903	248.2903	248.2903

Obrázek 6.13 Výřez z výsledné iterace u druhého scénáře

Jako u předchozího scénáře je zde ukázáno využití fotovoltaické elektrárny ve vztahu k instalovanému výkonu, viz. graf na obrázku 6.14. Chybějící body náleží odběrům. Využití 25,94 % až 26,19 % je také možné považovat za rovnoměrnou výrobu. Byl zobrazen i výkonový profil, který je zobrazen v grafu na obrázku v Příloha D -. Legenda je opět totožná jako u předchozího scénáře.



Obrázek 6.14 Poměr využití fotovoltaické elektrárny a instalovaného výkonu 9. hodina 1. leden

Jestliže bude považována hodnota 26 % instalovaného výkonu (devátá hodina 1. ledna) jako strop pro všechny fotovoltaické elektrárny (v tomto případě 6 výroben), bude možné dodávat až 15,6 kW.

6.2 Regulace výkonu pomocí úbytků napětí na vedení

Byla snaha pro tuto práci najít koeficienty i přes úbytky napětí na vedeních pro stejnou topologii sítě, která je uvedena v kapitole 6.1.2 a vzájemně porovnat koeficienty mezi těmito dvěma metodami.

Byly aplikovány dva zjednodušující předpoklady. Prvním je ten, že se zanedbává změna napětí u odběrných míst a druhým je takový, že proud je nezávislý na změně napětí.

6.2.1 Vytvoření soustavy rovnic pro výpočet

Soustava rovnic je založená na tom, že se se zvětšující vzdáleností od transformátoru úbytek napětí s každým kusem vedení zvyšuje. Platí proto následující soustava rovnic:

$$u_{11} = \Delta u_{10} + \Delta u_9 + \Delta u_8 + \Delta u_7 \dots + \Delta u_1, \quad (6.2)$$

$$\Delta u_{10} = \Delta u_9 + \Delta u_8 + \Delta u_7 \dots + \Delta u_1, \quad (6.3)$$

...

$$\Delta u_1 = \Delta u_1, \quad (6.4)$$

Kvůli rovnoměrnosti výroby elektrické energie bude proud, který zdroje dodávají, uvažován stejný, takže bude možné ho v některých výpočtech vykrátit.

Celkový úbytek napětí byl určen jako 22 V. Platí následující rovnice, která vyjadřuje poměr mezi Δu_{11} a Δu_n :

$$\frac{\overline{\Delta u_{11}}}{\overline{\Delta u_n}} = \frac{22}{\Delta u_n} = \frac{\overline{Z_{11}}}{\overline{Z_n}} \cdot \frac{11 \cdot i}{n \cdot i}, \quad (6.5)$$

Kde $\overline{\Delta u_{11}}$ – úbytek napětí k bodu 11 (konec vedení),

$\overline{\Delta u_n}$ – úbytek napětí k n-tému bodu,

$\overline{Z_{11}}$ – impedance k bodu 11,

$\overline{Z_n}$ – impedance k n-tému bodu,

i – příspěvek proudu ze zdroje.

Obecně je možné pro úbytek napětí napsat obecný vzorec:

$$\Delta u_n = \frac{22}{11} \cdot \frac{\overline{Z_n}}{\overline{Z_{11}}} \cdot n = 2 \cdot \frac{\overline{z_n} l_1}{\overline{z_n} \Sigma l} \cdot n, \quad (6.6)$$

kde $\overline{Z_n}$ – impedance vedení mezi nulovým bodem a n-tým bodem,

l_n – délka vedení mezi nulovým bodem a n-tým bodem,

Σl – celková délka vedení.

První úbytek je možné rozepsat následujícím způsobem:

$$\Delta u_1 = \frac{22}{11} \cdot \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_{11}} \cdot 1 = 2 \cdot \frac{\bar{z}_k \cdot l_1}{\bar{z}_k \Sigma l} \cdot 1 = 2 \cdot \frac{l_1}{\Sigma l}, \quad (6.7)$$

kde \bar{Z}_1 – impedance vedení mezi nulovým bodem a 1,

l_1 – délka vedení mezi nulovým bodem a 1,

Druhý úbytek je možné zapsat tímto způsobem:

$$\Delta u_2 = \Delta u_1 + \frac{22}{11} \cdot \frac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_{11}} \cdot 2, \quad (6.8)$$

Tímto způsobem je možné dojít až do posledního úbytku:

$$\begin{aligned} \Delta u_{11} &= \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 + \Delta u_4 + \Delta u_5 + \Delta u_6 + \Delta u_7 + \Delta u_8 + \\ &\Delta u_9 + \Delta u_{10} + \frac{22}{11} \cdot \frac{\bar{Z}_{11}}{\bar{Z}_{11}} \cdot 11 \end{aligned} \quad (6.9)$$

Proud \bar{i} je možné vypočítat tímto způsobem:

$$\bar{i} = \frac{P}{\bar{U}}, \quad (6.10)$$

kde P – činný výkon,

\bar{U} – napětí.

Rozepsaná rovnice pro $\Delta \bar{u}_1$ vypadá následujícím způsobem:

$$\Delta u_1 = \bar{Z}_1 \cdot \bar{I}_1 \cdot k_1 = \bar{Z}_1 \cdot 11 \cdot \bar{i} \cdot k_1, \quad (6.11)$$

kde k_1 – koeficient pro první odběr.

Rozepsaná rovnice pro $\Delta \bar{u}_2$ vypadá takto:

$$\Delta \bar{u}_2 = \Delta \bar{u}_1 + \bar{Z}_2 \cdot \bar{I}_2 \cdot k_2 = \Delta \bar{u}_1 + \bar{Z}_2 \cdot 10 \cdot \bar{i} \cdot k_2, \quad (6.12)$$

kde k_2 – koeficient pro první odběr.

Tímto způsobem se pokračuje až k poslednímu koeficientu k_{11} .

6.2.2 Výsledky z metody regulace výkonu pomocí výpočtů z úbytků napětí

V tabulce 6.5 jsou vypsány vypočtené koeficienty pro prvních 24 hodin. Z výsledků lze zjistit, že koeficienty se od sebe ve velké míře liší. Může to být způsobeno nesprávnou úvahou nebo zjednodušujícími předpoklady. Tento způsob nalezení alokačního klíče tedy nedosáhl požadovaného efektu, ale z časových důvodů již nebyl prostor na vylepšení toho návrhu či jeho opravu.

Tabulka 6.5 Výsledky koeficientů vypočtených metodou regulace pomocí úbytků napětí pro prvních 24 hodin

Hodina	P [kW]	i [A]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	3.28	12.98	0.06	0.12	0.09	0.10	0.14	0.21	0.17	0.32	0.35	0.52	1.17
10	5.07	20.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	0.05	0.14
11	5.91	23.34	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.04	0.12
12	6.13	24.24	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.04	0.11
13	5.85	23.12	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.04	0.12
14	1.74	6.86	0.11	0.12	0.02	0.02	0.04	0.09	0.03	0.15	0.10	0.13	0.40
15	0.43	1.70	0.43	0.47	0.08	0.06	0.16	0.38	0.11	0.60	0.39	0.54	1.60
16	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

6.3 Shrnutí dosažených výsledků

Podle dat z kapitoly 6.1 je zřejmé, že pro celou komunitu je výhodnější použití alokačního klíče a instalace fotovoltaických elektráren na všechna odběrná místa oproti jejich postupnému připojování, dokud to hostingová kapacita dovolí.

V tabulce 6.6 je ukázán přínos mezi připojováním výroben dodávajícími maximální výkon pro oba scénáře (první sloupec) a oba jeho případy – neregulované postupné připojování fotovoltaických elektráren a regulace pomocí alokačních klíčů. Přínos byl vypočítán následujícím způsobem:

$$\text{Přínos} = \frac{P_{reg}}{P_{nereg}} \cdot 100, \quad (6.13)$$

kde P_{reg} – výkon s regulací pomocí alokačního klíče,

P_{nereg} – výkon bez regulace.

Tabulka 6.6 Srovnání výsledků rozložení sítí s regulací a bez ní a výstupní výkon

Počet míst pro FVE/odběry	Regulace	Počet připojených FVE	Počet nepřipojených FVE	Celkový dosažitelný výkon [kW]	Přínos alokačního klíče [%]
11/0	Ano	11	0	12.1	51
	Ne	4	7	8	
6/5	Ano	6	0	15.6	30
	Ne	6	0	12	

7. ZÁVĚR

V této práci byly rozebírány důležité aktuální legislativní požadavky, které je nutné dodržovat pro bezpečný a ekonomický provoz distribuční sítě. Také zde byly zmíněny některé vybrané vědecké práce, které se zabývají podobnými tématy, případně tématy, která jsou této práci blízké, a to jak technicky, tak ekonomicky.

Hlavním cílem bylo získat alokační klíče, které by byly aplikovatelné na autorem vybraný model distribuční sítě. Tato vytvořená distribuční síť měla 11 odběrných míst, do kterých byly různými způsoby vkládány buď zdroje (reprezentující fotovoltaické elektrárny) nebo zátěže. Zdroje i zátěže měly proměnné charakteristiky dodávky i spotřeby elektrické energie. U fotovoltaických elektráren byla data převzata z webu PVGIS a u zátěží byl základem výpočtu maximální nominální výkon pro jistič 3x25A, tj. 17,25 kW, který byl násoben korekčním koeficientem, které jsou pro příslušné dny uvedeny pro jižní Moravu na webu OTE.

Simulace chodu sítě byly rozděleny na dva scénáře – v prvním bylo 11 zdrojů a v druhém 6 zdrojů a 5 zátěží. Dále byly simulace rozděleny na neregulované iterace, ve kterých se postupně připojovaly zdroje ze zadní části sítě směrem k síťovému napaječi a hledal se počet zdrojů, které bylo možné ještě do sítě připojit, aby hranice napětí nepřesáhla 253 V tak, že zdroje byly nastaveny na maximální výkon 2 kWp. V prvním scénáři se podařilo připojit celkem 4 zdroje, u pátého nastalo v síti přepětí. V druhém scénáři nebylo v žádném místě sítě přepětí, ale nejvyšší napětí bylo těsně pod dovolenou hranici (252,89 V), takže je možné říci, že alokační klíč je nastavení výkonu 2 kWp.

Naopak regulované iterace byly prováděny tím způsobem, že byly určeny koeficienty, které omezovaly výkony elektráren na všech stejně. V prvním scénáři byl koeficient např. pro 9:00 1. ledna 0,26, ve druhém scénáři potom 0,71 kvůli přidáním zátěžím.

Byl zkoušen i neiterační způsob, který vycházel z úbytků napětí na vedení. Tato úvaha ale nevedla k žádoucímu výsledku, protože velikost koeficientů se zvětšovala ke konci vývodu, což neumožňuje rovnoměrnou produkci za všech zdrojů.

Z výsledků je patrné, že v případě zapojování fotovoltaických elektráren bez zátěží je přínos alokačního klíče ve formě zvýšení dodávaného výkonu o 51 % oproti jejich postupnému přidávání s konstantním instalovaným výkonem. V druhém případě, kdy bylo zapojeno 5 zátěží a 6 fotovoltaických elektráren, je přínos alokace 30% navýšení dodávaného výkonu.

Z výsledků práce vyplývá, že z pohledu komunity se vyplatí mít omezit v některých časech produkci na některých fotovoltaických elektrárnách podle uvedených alokačních klíčů. Celková produkce elektrické energie do sítě za celou komunitu tak bude navýšena.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 50160 ed. 4 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných elektrických sítí. Online. Agentura ČAS. 2024. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/stahni.aspx?c=6662511&h=6AAF574C19DDFCCFAEB5FDDA2ECE3886&k=518118>. [cit. 2024-01-04].
- [2] PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY. Online. EG.D. 2024. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-09/priloha_4_pravidla_pro_paralelni_provoz_vyrobena_a_akumulacnich_zarizeni_09_2022.pdf. [cit. 2024-01-04].
- [3] LIM, Kai Zhuo; LIM, Kang Hui; WEE, Xian Bin; LI, Yinan a WANG, Xiaonan. Optimal allocation of energy storage and solar photovoltaic systems with residential demand scheduling. Online. ScienceDirect. 2024. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920306280>. [cit. 2024-01-04].
- [4] WANG, Rui; LI, Peng; YU, Hao; JI, Haoran; XI, Wei et al. Identification of critical uncertain factors of distribution networks with high penetration of photovoltaics and electric vehicles☆. Online. ScienceDirect. 2024. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922015173>. [cit. 2024-01-04].
- [5] ANDRYCHOWICZ, Mateusz. Comparison of the Use of Energy Storages and Energy Curtailment as an Addition to the Allocation of Renewable Energy in the Distribution System in Order to Minimize Development Costs. Online. MDPI. 2024. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3746>. [cit. 2024-01-04].
- [6] GABDULLIN, Yesbol a AZZOPARDI, Brian. Impacts of Photovoltaics in Low-Voltage Distribution Networks: A Case Study in Malta. Online. MDPI. 2024. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/18/6731>. [cit. 2024-01-04].
- [7] WATSON, Jeremy; WATSON, Neville; SANTOS-MARTIN, David; WOOD, Alan R; LEMON, Scott et al. Impact of solar photovoltaics on the low-voltage distribution network in New Zealand. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282822653_Impact_of_solar_photovoltaics_on_the_low-voltage_distribution_network_in_New_Zealand. [cit. 2024-01-04].
- [8] SCHNEIDER, K. P.; MATHER, B. A.; PAL, B. C.; TEN, C. W.; SHIREK, G. J. et al. Journal article published summarizing working group efforts and intended uses of Test Feeders. Online. IEEE PES Test Feeder. 2024. Dostupné z: <https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>. [cit. 2024-01-04].
- [9] SATISH, Raavi; VAISAKH, Kanchapogu; ABDELAZIZ, Almoataz Y. a EL-SHAHAT, Adel. A Novel Three-Phase Power Flow Algorithm for the Evaluation

- of the Impact of Renewable Energy Sources and D-STATCOM Devices on Unbalanced Radial Distribution Networks. Online. MDPI. 2024. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6152>. [cit. 2024-01-04].
- [10] Radial Distribution Test Feeders. Online. 2024. Dostupné z: <http://www.egr.unlv.edu/~eebag/Radial%20Distribution%20Test%20Feeders%20-%2013%20node.pdf>. [cit. 2024-01-04].
- [11] IEEE 34 node test feeder. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/IEEE-34-node-test-feeder_fig3_279246245. [cit. 2024-01-04].
- [12] IEEE 37-bus radial distribution system. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/IEEE-37-bus-radial-distribution-system-24_fig1_297775419. [cit. 2024-01-04].
- [13] The IEEE 39-bus system used in the example. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-IEEE-39-bus-system-used-in-the-example_fig3_237049517. [cit. 2024-01-04].
- [14] Feeder topology of the IEEE 123-bus system. Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Feeder-topology-of-the-IEEE-123-bus-system_fig1_324585548. [cit. 2024-01-04].
- [15] IEEE 906 low voltage test feeder, with the transformer located in the top left side (red bigger circle) and 55 connected households (blue smaller circles). Online. ResearchGate. 2024. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/IEEE-906-low-voltage-test-feeder-with-the-transformer-located-in-the-top-left-side-red_fig5_353260148. [cit. 2024-01-04].
- [16] SCHNEIDER, K.; PHANIVONG, Phillipe a LACROIX, J. IEEE 342-node low voltage networked test system. Online. SEMANTIC SCHOLAR. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/IEEE-342-node-low-voltage-networked-test-system-Schneider-Phanivong/50e0675fdc28bd23b82af48fad6800a1bdcfcc65>. [cit. 2024-01-04].
- [17] Sdílení energií v Česku je tu. Jak bude po schválení Lex OZE 2 v praxi fungovat? Online. Frank Bold Advokáti. 2023. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/9399-sdileni-energie-v-cesku-je-tu-jak-bude-po-schvaleni-lex-oze-2-v-praxi-fungovat>. [cit. 2024-05-29].
- [18] Distribution System Model in Simscape : European Test Feeder. Online. MathWorks. 2022. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66991-distribution-system-model-in-simscape-european-test-feeder>. [cit. 2024-05-29].
- [19] Types.xlsx. Online. Phase To Phase. Dostupné z: <https://www.phasetophase.nl/downloads/Types.xlsx>. [cit. 2024-05-29].
- [20] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. Online. European Commission. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. [cit. 2024-05-29].

[21] Normalizovane_TDD_2020_CZ.zip. Online. OTE. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/pubweb/attachments/20/2020/Normalizovane_TDD_2020_CZ.zip. [cit. 2024-05-29].

VYUŽITÍ AI

ChatGPT-3.5. Využit k: hledání a oprava chyb v kódech programu Matlab. Květen 2024.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FVE	fotovoltaická elektrárna
OTE	operátor trhu s elektřinou
OZE	obnovitelné zdroje energie
TDD	typový diagram dodávek

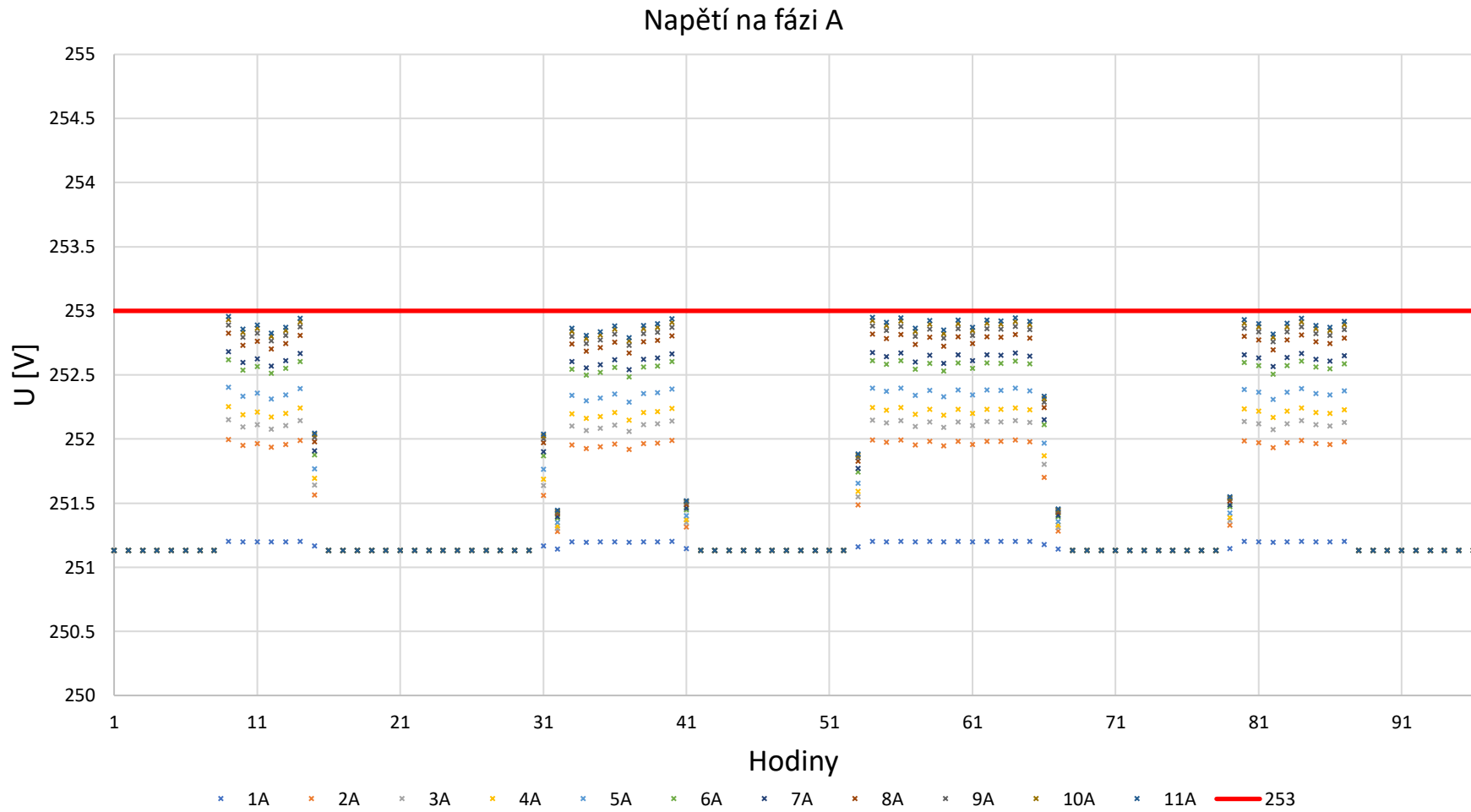
Symboly:

Ω	ohm
----------	-----

SEZNAM PŘÍLOH

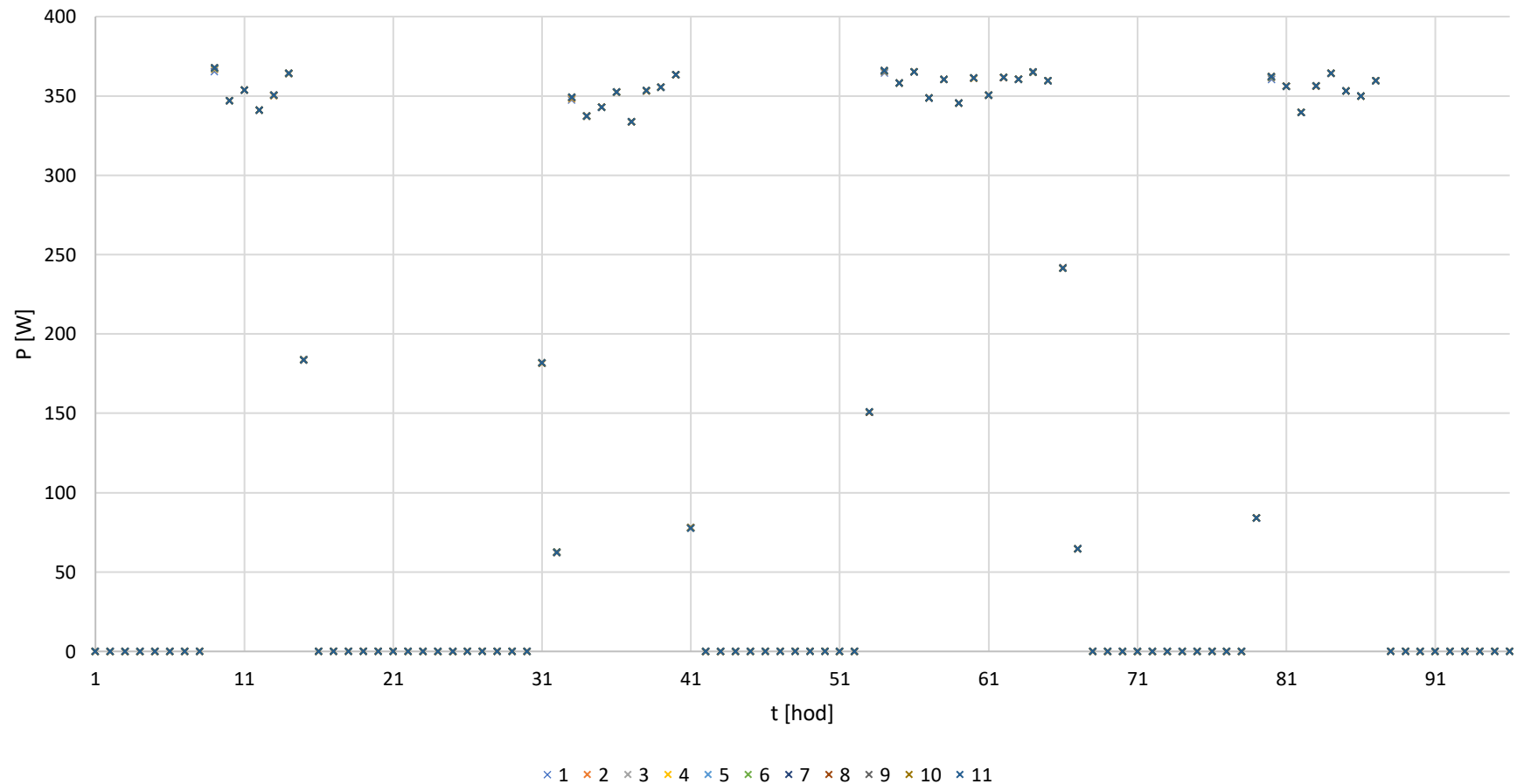
PŘÍLOHA A - NAPĚŤOVÝ PROFIL PRO PRVNÍ FÁZI PRO PRVNÍ SCÉNÁŘ PO POSLEDNÍ ITERACI.....	70
PŘÍLOHA B - VÝKONOVÝ PROFIL PRO PRVNÍ FÁZI PRO PRVNÍ SCÉNÁŘ PO POSLEDNÍ ITERACI.....	71
PŘÍLOHA C - NAPĚŤOVÝ PROFIL PRO PRVNÍ FÁZI PRO DRUHÝ SCÉNÁŘ PO POSLEDNÍ ITERACI.....	72
PŘÍLOHA D - VÝKONOVÝ PROFIL PRO PRVNÍ FÁZI PRO DRUHÝ SCÉNÁŘ PO POSLEDNÍ ITERACI.....	73

Příloha A - Napět'ový profil pro první fázi pro první scénář po poslední iteraci

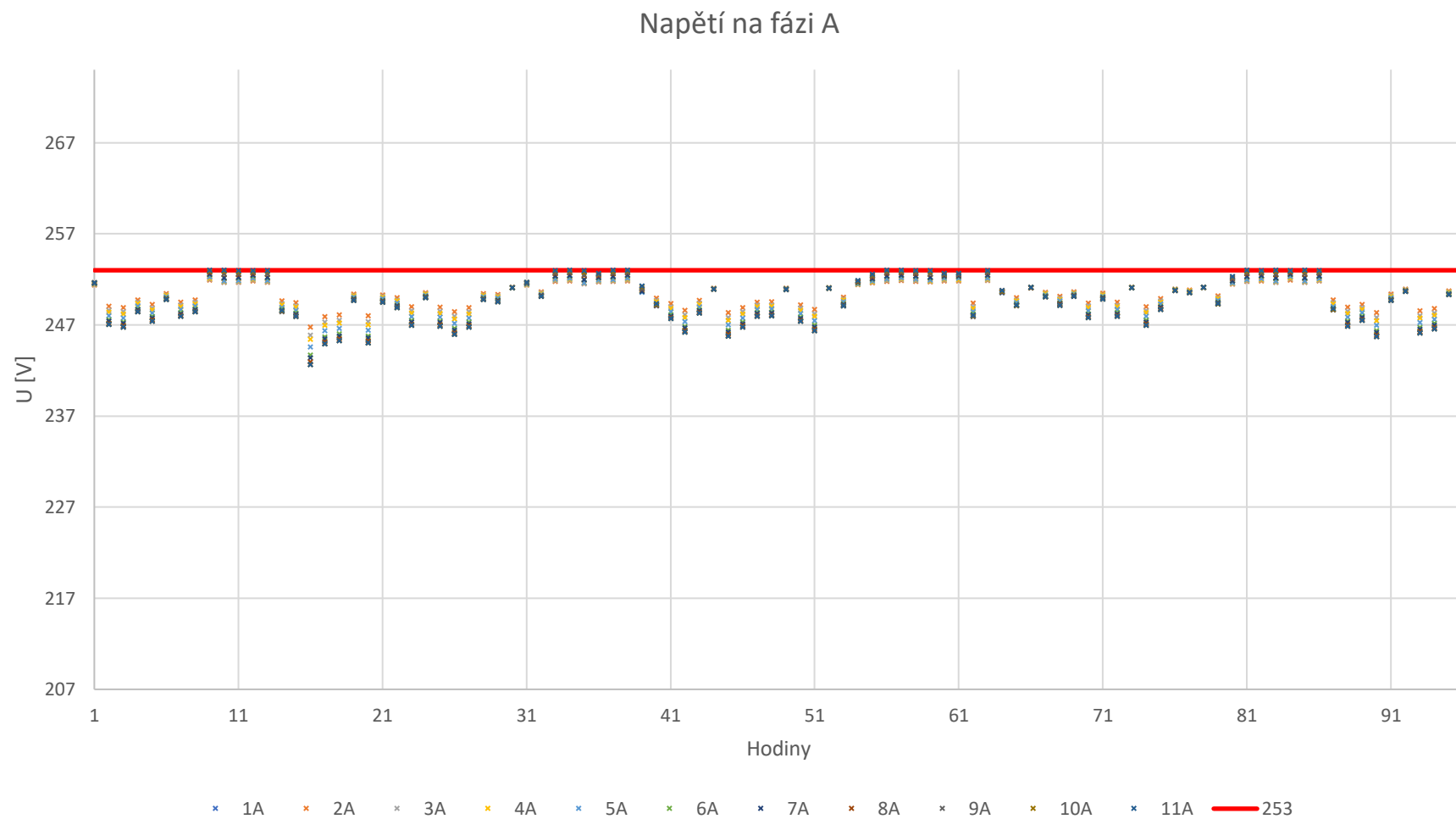


Příloha B - Výkonový profil pro první fázi pro první scénář po poslední iteraci

Výkon fotovoltaických elektráren během 96 hodin



Příloha C - Napět'ový profil pro první fázi pro druhý scénář po poslední iteraci



Příloha D - Výkonový profil pro první fázi pro druhý scénář po poslední iteraci

Výkony odběrných míst a zdrojů během 96 hodin

