ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza poměrů v síti vn s vysokým zastoupením rozptýlené výroby

vedoucí práce: **doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**

autor: **Bc. Radim Dušek** **2017**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Radim DUŠEK**
Osobní číslo:	**E14N0041K**
Studijní program:	**N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor:	**Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu:	**Analýza poměrů v síti vn s vysokým zastoupením rozptýlené výroby**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

1. Namodelujte síť vn v programu E - Vlivy 3 a proveďte výpočet poměrů tj. napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích.
2. Zjednodušte model sítě a porovnejte výsledek s původním modelem. Zjistěte odchylky a přijatelné stupně zjednodušení.
3. Posuďte vliv výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti.
4. Navrhněte využití jednotlivých typů OZE ke stabilizaci úrovně napětí.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou poměrů v distribuční síti 22kV s vysokým zastoupením rozptýlené výroby z obnovitelných zdrojů (OZE). Výpočetní část práce vychází ze sítě, která odpovídá reálnému zapojení. Tato síť byla namodelována v softwaru DNCalc. Následně pro ni byly vypočteny napěťové poměry v uzlech a proudové a výkonové poměry ve větvích. V dalších krocích byl model sítě zjednodušován a porovnáván s původním stavem. Byly zjištěny odchylky od původního stavu a přijatelné stupně zjednodušení modelu. Následně byl porovnán vliv výroby OZE na úroveň napětí a ztrát. Posléze je pro jednotlivé typy OZE navrhnuto takové využití, které povede ke stabilizaci úrovně napětí v dotčeném modelu.

Klíčová slova

Model sítě, výpočet chodu v síti, rozptýlená výroba, obnovitelné zdroje, zjednodušení modelu, zpětné vlivy výroby, ztráty v síti, stabilizace napětí, regulace.

Abstract

This paper deals with power flow analyzation in middle voltage (22kV) distribution network with high density of distributed renewable energy resources (RES). The part dealing with calculation is based real power network. This network was modeled in DNCalc application. The voltage in nodes, power flow and current flow in branches were calculated for given network. Several levels of network model simplification were made and then compared with original complex one. The deviations and acceptable level of simplification were found. Next part of paper includes evaluation of RES impact on voltage and losses. Eventually the usage of each RES type is suggested to improve the voltage balance of network in question.

Key words

Network model, Power flow calculation, Distributed generation, Renewable energy resources, Model simplification, Impact of generation, Network losses, Voltage balancing, Regulation.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 14.5.2017 Radim Dušek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. za její profesionální rady, připomínky a akademické vedení práce. Dále bych rád poděkoval kolektivu pracovníků z firmy EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o., za podporu při studiu a za jejich cenné rady při vytváření mé diplomové práce.

Obsah

Obsah ... 8
Úvod ... 9
Seznam symbolů a zkratek ... 10
1 Výpočetní software DNCalc ... 11
2 Analyzovaná napájecí oblast R 110/22kV ... 12
2.1 Schéma zapojení ... 12
2.2 Parametry napájecí soustavy 110 kV ... 12
2.3 Modelované transformátory ... 12
2.3.1 Napájecí transformace 110/22 kV ... 12
2.4 Vedení ... 13
2.5 Zatížení modelované napájecí oblasti ... 14
2.6 Zdroje rozptýlené výroby ... 16
3 Napěťové, proudové a výkonové poměry ... 18
3.1 Rozptyl napětí ... 18
3.2 Zkratový výkon ... 19
3.3 Proudové a výkonové poměry – kritická místa ... 20
4 Zjednodušení modelu ... 22
4.1 Metody postupného zjednodušování schématu sítě ... 22
4.1.1 Překládání zátěží z větví do uzlů a zpět ... 22
4.1.2 Slučování paralelních větví ... 23
4.1.3 Slučování napájecích větví ... 23
4.1.4 Převedení zátěže z uzlu hvězdy do vrcholů ... 24
4.1.5 Transfigurace hvězda – trojúhelník ... 24
4.2 Redukce odboček podél kmene vývodu ... 24
4.2.1 Rozložení napětí podél vývodů ... 26
4.2.2 Zkratový výkon podél vývodů ... 27
4.2.3 Poměry za transformátorem T101 ... 27
4.2.4 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů a ostatní parametry ... 27
4.3 Redukce odboček podél vývodu + zjednodušení vývodu pomocí momentového pravidla ... 29
4.3.1 Rozložení napětí podél vývodů ... 30
4.3.2 Zkratový výkon podél vývodů ... 31
4.3.3 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů ... 32
4.4 Slabá místa v síti ... 33
4.5 Zjednodušení úpravou délky vedení ... 34
4.5.1 Rozložení napětí na koncích vývodů ... 36
4.5.2 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů ... 37
4.5.3 Zkratový výkon ... 38
4.6 Zjednodušení chodem naprázdno ... 39
4.6.1 Rozložení napětí podél vývodu ... 40
4.6.2 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů ... 41
5 Posouzení vlivu výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti ... 42
5.1 Porovnání velikosti napětí před a po připojení zdrojů ... 42
5.2 Vliv výroby na velikost ztrát ... 46
6 Navržení využití jednotlivých typů OZE na stabilizaci napětí ... 48
6.1 Stabilizace napětí regulací Q ... 48
6.2 Ostatní metody řešení regulace ... 51
6.2.1 Kompenzační a dekompenzační zařízení ... 51
6.2.2 Smart funkce střídačů-P/U a Q/U charakteristika ... 52
Závěr ... 54
Seznam literatury a informačních zdrojů ... 56
Přílohy ... i

Úvod

V nedávné historii, mezi lety 2008 až 2011 proběhl v České Republice velký nárůst v připojení obnovitelných zdrojů (OZE) do distribučních sítí. Zejména se jednalo o fotovoltaické zdroje, později následovaly zdroje na bioplyn (BPS). Tento velký nárůst byl zapříčiněn dotacemi od státu za výkup zelené energie vyrobené zdroji OZE. Česká Republika

Jednotliví provozovatelé distribučních sítí se proti tomuto připojování bránili studiemi připojitelnosti, které zaručovaly, že se do sítě nepřipojí větší výkon, než na který je daná síť dimenzována. Studie připojitelnosti se zpracovávaly na základě zjednodušených parametrů konkrétní sítě, jelikož distribuční společnosti využívají zpravidla odlišný software pro výpočty sítí, na rozdíl od externích zpracovatelů studií. I přes výše uvedená omezení se do sítí připojilo značné množství výkonu od zdrojů OZE, což s sebou nese nové poznatky.

Právě připojování velkého počtu OZE přineslo do energetiky polemiku o intermitentních zdrojích (zdroje s kolísavou výrobou) a nutnost diskuze problematiky stabilizace napětí. Vysoká penetrace rozptýlené výroby a pokles spotřeby v některých případech zapříčiní stavy v síti, kdy výkon teče ze sítě nižšího napětí do vyššího, což lze označit za nový provozní stav v distribuční síti.

Tato diplomová práce má za svůj cíl ověřit, zda stávající sítě vn historicky konstruované z pohledu zajištění dodávky příkonu odolávají novým provozním stavům. Kromě výše uvedeného se práce zaměřuje na zjištění napěťových poměrů v uzlech a proudových a výkonových poměrů ve větvích, které odpovídají výchozímu provoznímu stavu modelované sítě 22kV. Jako reakce na zjednodušená schémata studií připojitelnosti z dob masivního připojování OZE diplomová práce dokládá vliv postupného zjednodušování modelu na vypočtené napěťové a výkonové poměry v dané části DS. V neposlední řadě je provedeno porovnání vlivu výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti. Na základě této analýzy se na závěr této práce zabývám nastavením provozních parametrů jednotlivých OZE, které povedou ke stabilizaci napěťových poměrů v síti vn.

Seznam symbolů a zkratek

110 kV, 22 kV..... Označení napěťové hladiny

UO400/110 kV... Uzlová oblast

OZE..... Obnovitelné zdroje

FVE..... Fotovoltaické elektrárny

BPS ..... Bioplynové elektrárny

VTE ..... Větrné elektrárny

PPDS..... Pravidla provozování distribučních soustav

DNCalc ..... Výpočetní software

DŘS..... Dispečerský řídicí systém

VN ..... Vysoké napětí

DTS..... Distribuční trafostanice

DS..... Distribuční síť

TR..... Transformátor

PDS..... Provozovatelé distribučních soustav

HRT..... Hladinový regulační transformátor

uk..... Napětí nakrátko

U1..... Napětí na primární straně transformátoru

U2..... Napětí na sekundární straně transformátoru

St..... Zdánlivý výkon transformátoru

Pinst..... Instalovaný výkon zdroje

1 Výpočetní software DNCalc

V zadání diplomové práce je uveden SW Evlivy 3, u kterého však došlo v průběhu zpracování diplomové práce k přejmenování na DNCalc, proto jej tak uvádím i ve zbytku práce.

Podklady nutné ke zhotovení této diplomové práce jsem získal pomocí výpočetního softwaru (SW) DNCalc. Tento SW, zhotovený firmou EGC EnerGoConsult ČB, s.r.o., poskytuje uživateli řadu nástrojů a speciálních metod pro posuzování úrovně zpětných vlivů v distribučních sítích a posouzení připojitelnosti zařízení k DS, úrovně kvality elektřiny a dalších provozních parametrů nezbytných pro ověření provozu, ale i návrh rozvoje DS. Pro mou práci mi umožnil zkreslení sítě v plném rozsahu tak, aby odpovídal reálnému zapojení a následně mi umožnil provést všechny početní operace, nutné ke zpracování této práce, jakými jsou např. Chod sítě, Připojitelnost zátěže či zdroje nebo Ztráty v síti. Přehled všech výpočetních metod, kterými tento SW disponuje, uvádím v tabulce níže.

Chod sítě
Připojitelnost zátěže či zdrojů
Rozpočet zadaných hodnot činných výkonů modelovaným zátěžím podél vedení
Časový rozvoj
Kontrola překročení mezních proudů pojistek
Zkraty
Flikr
Harmonická analýza
Posouzení připojitelnosti - harmonické znečištění
Útlum signálu HDO
Nesymetrie
Frekvenční charakteristika
Ztráty v síti
Vnitřní impedance sítě
Analýzy programu DNCalc

Tab. 1 Přehled výpočetních metod sw DNCalc

Základním výstupem těchto výše uvedených početních operací jsou tabulky s hodnotami proudů, napětí, výkonů či dalších sledovaných veličin v jednotlivých místech sítě. Pro každé místo v síti je uvedena sledovaná hodnota v uzlu, či ve větvi. Mimo tyto číselné výstupy je možné i exportování výsledků ve formě grafů. Software DNCalc umožňuje také přenést vytvořené schéma sítě z kreslícího plátna do mapového podkladu. Tím jsou zohledněny i geografické informace sítě.

2 Analyzovaná napájecí oblast R 110/22kV

2.1 Schéma zapojení

Na základě podkladů v různých formátech (xml, jpeg, atd.) jsem sestavil model celé sítě. Schéma sítě je uvedeno na Obr. 1 a pro lepší názornost je přiloženo ve větším formátu v samostatné příloze této práce. Jako vhodný software používám DNCalc, protože mi umožňuje zkreslení dotčené sítě do největšího detailu. V síti jsem namodeloval 513 uzlů, 13 zdrojů, 198 zátěží a 499 úseků vedení. Model jsem sestavoval nejprve ze strany napájení až po konečné větvě a uzly.

Součástí modelu sítě jsou, kromě vedení, také DTS (distribuční trafostanice) a zdroje rozptýlené výroby. Model byl zpracován tak, aby umožnil požadovanou kontrolu napětí a dalších parametrů v celé síti.

2.2 Parametry napájecí soustavy 110 kV

Nadřazenou síť 110 kV reprezentuje impedance Z, kterou ve zpracovaném modelu udávám zkratovým výkonem na primární straně TR 110/22 kV a poměrem R/X. Parametry napájecího uzlu jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 2.

Název	Uvnt [kV]	Uprv [kV]	Izkr [kA]	Szkr [MVA]	R/X
R 110kV	110	117,99	4,2	800	0,3

Tab. 2 Parametry napájecí soustavy

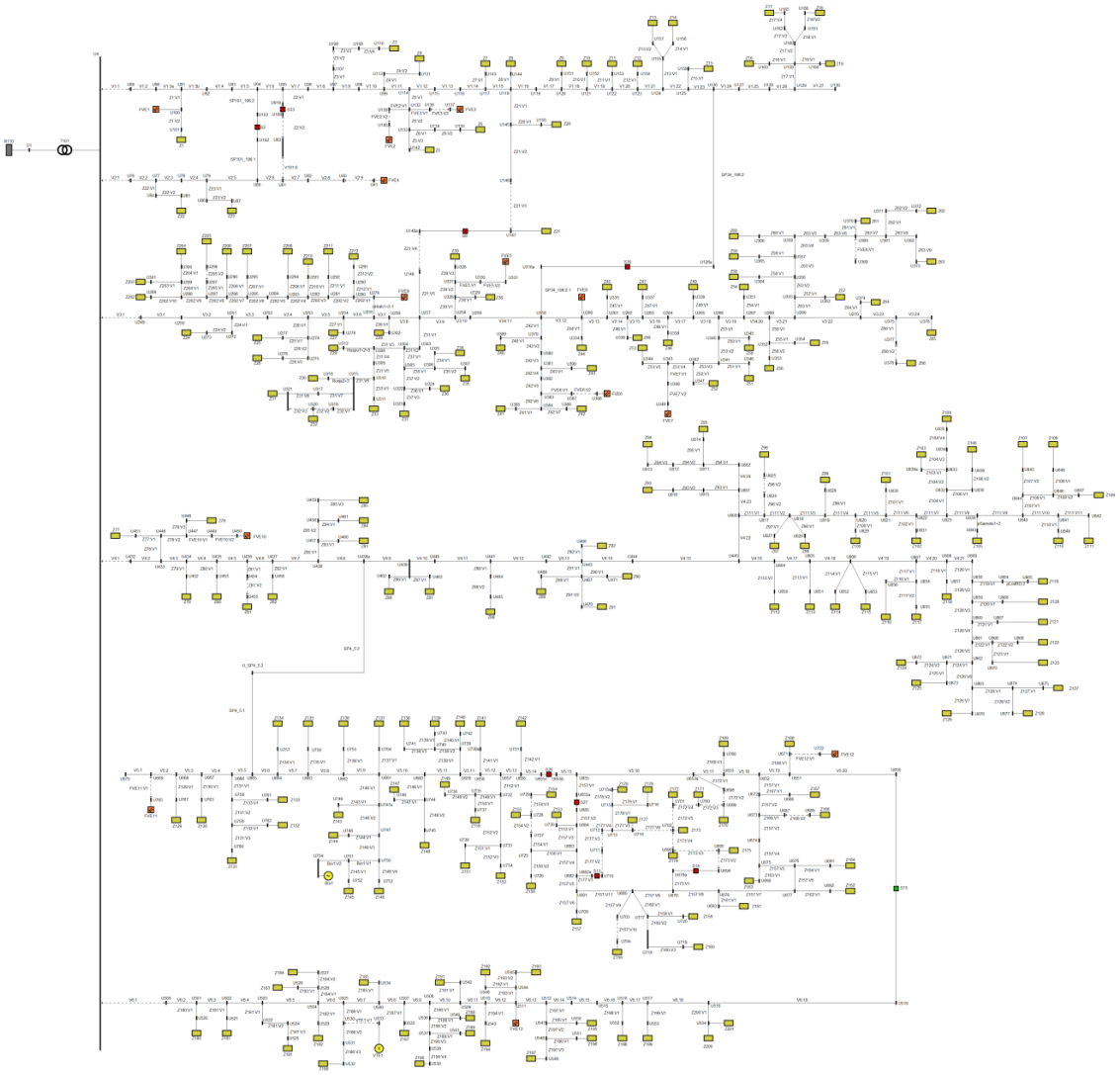
2.3 Modelované transformátory

2.3.1 Napájecí transformace 110/22 kV

Napájecí oblast R 22 kV je napájena přes regulační transformátor 110±8x2%/23 kV o výkonu 40 MVA. Podrobné parametry uvádím v následující tabulce Tab. 3.

Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	uk [%]	Zap. prim.	Zap. sekun.	H. úhel	Reg. odb.	Počet. odb.	Krok [%]
T101	110	23	40	211,2	10,86	YN	yn	0	ANO	8	2

Tab. 3 Parametry transformátoru 110/22kV

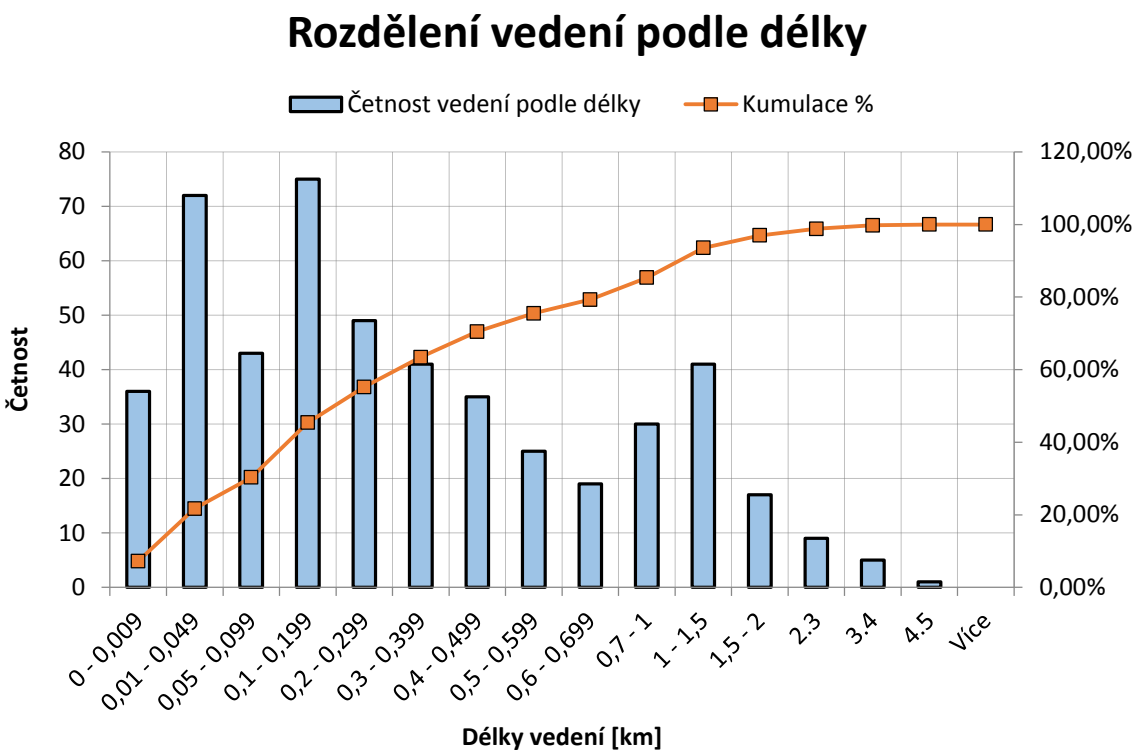


Obr. 1 Schéma sítě v plném rozsahu

2.4 Vedení

Parametry vedení jsem vzhledem k velikosti schématu uvedl pouze v příloze. Stručnou charakteristiku modelované části distribuční soustavy uvádím v následující tabulce Tab. 4 a Obr. 2, které uvádějí celkový počet a délku vedení. Vedení jsem rozdělil do jednotlivých kategorií podle délky. Toto dělení bude dále využito v kapitole, která se věnuje zjednodušení výpočetního modelu a jeho vlivu na přesnost výpočtu.

Z histogramu na Obr. 2 je zřejmé, že se ve schématu nejčastěji opakují úseky vedení o délce 10 až 49 metrů a 100 až 199 metrů. Jako nejběžnější typ vedení je na kmenech vývodů použito 110AlFe6 a na odbočkách 42/7AlFe6. Kabelové přípojky jsou nejběžněji realizovány kabelem 240AXEKCY.



Obr. 2 Rozdělení vedení podle délky

Kategorie délka [km]	Délka vedení [km]		Celková délka [km]
	Venkovní	Kabelové	
0 - 0,009	0,11	0,01	0,12
0,01 - 0,049	1,66	0,40	2,06
0,05 - 0,099	2,82	0,20	3,02
0,1 - 0,199	9,85	1,07	10,91
0,2 - 0,299	11,12	1,00	12,12
0,3 - 0,399	12,72	1,26	13,98
0,4 - 0,499	14,36	0,94	15,30
0,5 - 0,599	13,11	0,54	13,65
0,6 - Max	154,83	4,84	159,67
Celkem	220,56	10,26	230,82

Tab. 4 Rozdělení vedení podle délky

2.5 Zatížení modelované napájecí oblasti

Zátěže modelované v napájecí oblasti jsou reprezentovány instalovaným výkonem DTS provozovaných v rámci této části DS. Skutečná zatížení použitá v jednotlivých analýzách vychází z měření na vývodech v R 22 kV a rozpočítání tohoto zatížení vývodů v poměru instalovaných výkonů jednotlivých DTS, samozřejmě s respektováním skutečné výroby OZE v čase modelování zátěže. U zdrojů, které nejsou vybaveny přenosem

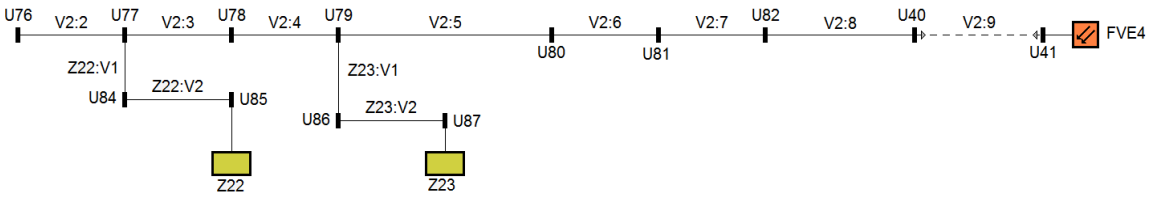
měřených hodnot do dispečerského řídicího systému (není známa hodnota skutečné výroby) byly vzaty poměrné hodnoty Pinst, které odpovídaly poměru Pdod/Pinst stejného typu zdroje v dané oblasti. Při modelování se vycházelo z poskytnutých dat z dispečerského řídicího systému (hodinové řezy) a to ve dnech 18.7.2014. Podrobné hodnoty zatížení použité pro scénář ze dne 18.7.2014 12:00 jsou uvedeny v samostatné příloze této zprávy, v členění po jednotlivých vývodech z Tr 110/22 kV. Hodnoty zatížení ze dne 18.7.2014 12:00, které jsou použity k nastavení modelu, byly zvoleny z důvodu největšího denního zatížení v modelu.

Tabulka níže uvádí měřené hodnoty v rozvodně 22 kV napájecí transformovny 110/22 kV, které byly následně rozpočteny dle výše popsaného pravidla. Tabulky zároveň uvádějí velikost měřeného výkonu vyráběného v OZE na daném vývodu ve zvoleném časovém řezu (započteny zdroje s realizovanými přenosy do dispečerského řídicího systému).

Všechny vývody, kromě vývodu V4, mají charakter dodávky, což znamená, že výkon, který je vyroben zdroji ve vývodech, se v těchto vývodech zátěžemi nespotřebuje a teče do nadřazené soustavy. Znaménková konvence zavádí značení znaménkem (+) pro odběr z nadřazené soustavy a znaménkem (–) pro dodávku z nadřazené soustavy. Výsledná bilance vývodů je uvedena v tabulce níže pro všechny vývody a je označena jako „Bilance vývodu“ a značí velikost výkonů a proudů ve větvi mezi přípojnicí a prvním uzlem vývodu. Dále tabulka uvádí velikost instalovaného výkonu ve zdrojích a zátěžích (odběrů).

Vývod	Bilance činného výkonu P [MW]	Bilance jalového výkonu Q [MVAr]	Bilance proudu I [A]	Úhel proudu α [°]	Instalovaný výkon zátěží ve vývodu P [MW]	Provozní výkon zdrojů ve vývodu P [MW]	Počet uzlů ve vývodu	Počet zátěží ve vývodu
V1	-2,22	-0,05	56,15	-179,86	0,81	3,15	58	19
V2	-2,98	-0,22	75,67	177,23	0,06	3,08	15	2
V3	-1,31	-0,18	33,53	173,69	1,22	2,54	135	53
V4	0,46	-0,18	12,47	22,73	1,76	1,31	173	76
V6	-0,86	-0,22	22,55	166,94	1,14	2,02	119	47

Tab. 5 Hodnoty výkonů a proudů v jednotlivých vývodech



Obr. 3 Detail vývodu V2

2.6 Zdroje rozptýlené výroby

Zdroje decentrální výroby připojené v rámci TR 110/22 kV jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 6. Z této tabulky vyplývá, že je v dotčené lokalitě připojeno 15 výroben o celkovém instalovaném výkonu 14,54 MW (z toho FVE=13,2 MW, VTE=1 MW a BPS= 0,32 MW). V tabulce je kromě typu zdroje a jeho instalovaného výkonu uvedeno také, zda je možné v současné době využívat regulační možnosti daného zdroje (regulace jalového výkonu) a zda je v současné době realizován přenos informací od zdroje do dispečerského systému. Z uvedené tabulky je patrné, že v současné době je v rámci R 22kV regulováno 10 zdrojů, o celkovém výkonu 13,13 MW, což představuje 90,4% regulovaného výkonu. Naopak regulováno není 5 zdrojů, což představuje 9,6% neregulovaného výkonu.

Název zdroje	Pinst [kW]	Pprov [kW]	Vývod	Č. uzlu ve schématu	Regulace
FVE1	200,64	150,64	V1	U100	NE
FVE2	1600	1500	V1	U140	ANO
FVE3	1800	1500	V1	U137	ANO
FVE4	3780	3076	V2	U41	ANO
FVE5	300	276	V3	U331	NE
FVE6	340	260	V3	U386	NE
FVE7	900	734	V3	U349	ANO
FVE8	800	623	V3	U260	ANO
FVE9	800	651	V3	U279	ANO
FVE10	249	150	V4	U450	NE
FVE11	1000	957	V4	U765	ANO
FVE12	620	465	V6	U722	ANO
FVE13	830	723	V6	U511	ANO
Bio1	320	207	V4	U754	NE
VTE1	1000	835	V6	U533	ANO

Tab. 6 Seznam všech zdrojů

Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS), kterými se jednotliví provozovatelé musejí řídit, definují v Příloze 4 regulační požadavky pro zdroje nad 100 kVA. Jelikož všechny zdroje, které jsou uvedeny v namodelované síti, jsou větší jak uváděných 100 kVA, vztahuje se i na ně tento regulační požadavek. Níže uvádím krátkou citaci z Pravidel provozování distribučních sítí – Příloha 4, kde se tomuto tématu podrobně

věnují. V mé práci se tomuto tématu věnuji v kapitole 6 „Navržení využití jednotlivých typů OZE na stabilizaci napětí“.

„Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách - Obecně způsob řízení jalového výkonu závisí vždy na konkrétním místě distribuční soustavy a určuje ho PDS po konzultaci s výrobcem. [1]

Zdroje v sítích vn a 110 kV - Účiník zdroje za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí musí být mezi 0,90 kapacitní a 0,90 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 10 % jmenovitého výkonu zdroje. [1]

U výrobců druhé kategorie musí být při dodávce činného výkonu do DS a při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí účiník v předávacím místě mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 10 % jmenovitého proudu (transformátoru proudu) předávacího místa.“ [1]

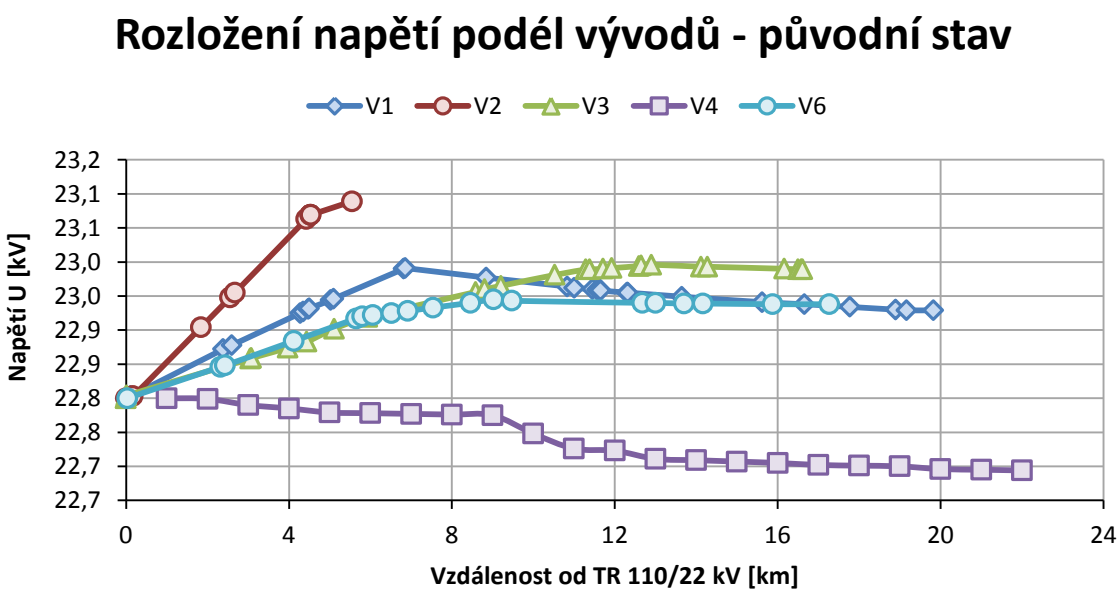
3 Napěťové, proudové a výkonové poměry

V této kapitole jsem pro zvolený model sítě, který byl popsán v předchozích kapitolách, vypočetl napěťové poměry v uzlech a proudové a výkonové poměry ve větvích. Jelikož je v modelu sítě více jak 500 uzlů, není detailní výpis z důvodu své obsáhlosti uveden ani v příloze této práce. V tabulce níže uvádím napěťové, proudové a výkonové poměry ve vybraných místech sítě, především na začátku a koncích vývodů, či v uzlech kde jsou připojeny jednotlivé zdroje. Tato kritická místa jsem zvolil, protože v nich očekávám ΔUmax. Poměry u zdrojů budou důležité pro další analýzu v této práci. Pro předávací místa jednotlivých zdrojů OZE je uvedena i velikost napěťové změny vyvolané připojením těchto zdrojů, pro kterou je limitní hodnota na hladině vn 2% (jedním z kritérií pro připojování nových zdrojů do sítě je dle PPDS Přílohy 4 ΔUmax, která připouští na hladině vn 2% se zahrnutím všech zdrojů). Dále jsem zjišťoval, zda nedochází k přetěžování vedení. Uvedené hodnoty v další části práce srovnávám s výsledky, které jsem získal po zjednodušení modelu.

3.1 Rozptyl napětí

Pro přehlednou analýzu současného pohybu napětí v posuzované napájecí oblasti R 22kV jsem vypočetl napětí podél jednotlivých kmenů vývodů V1, V2, V3, V4 a V6. V grafu níže je prezentován pohyb napětí v závislosti na vzdálenosti jednotlivých uzlů od TR 110/22 kV. Je patrné, že velikost napětí je v každém vývodu rozdílná, což je dáno rozdílnou velikostí zatížení daného vývodu, délkou vedení či velikostí dodávané energie od zdrojů rozptýlené výroby.

K maximálnímu rozdílu napětí mezi začátkem a koncem jednotlivých vývodů dochází ve vývodu V2 a dosahuje hodnoty 0,29 kV. Výchozí napětí na přípojnici R 22 kV je dáno nastavením HRT (hladinový regulační transformátor) na úroveň 22,8 kV. K maximálnímu rozdílu mezi všemi vývody dochází na koncích vývodů V2 a V4 a tento rozdíl dosahuje hodnoty 0,4 kV, tj. mezi místem v síti s nejvyšším a nejnižším napětím. Z obrázku je také zřejmé, že provozovaná úroveň napětí se na všech modelovaných vývodech vybrané napájecí oblasti 22 kV pohybuje v mezích (10% požadovaných). [1]



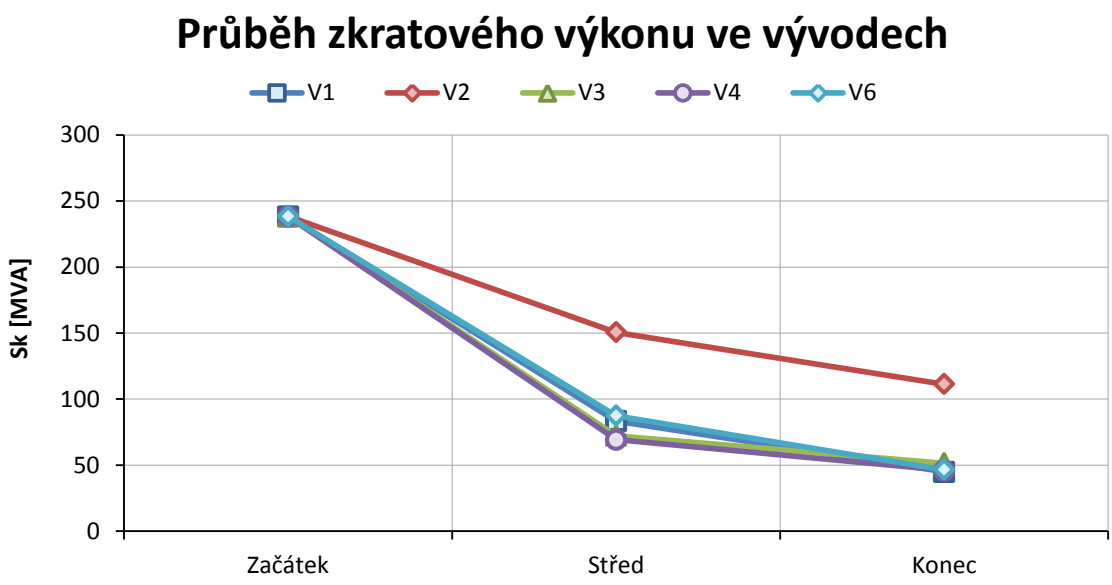
Obr. 4 Rozložení napětí podél vývodů – původní stav

	V1	V2	V3	V4	V6
Přípojnice - U [kV]	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
Konec vývodu - U [kV]	22,93	23,09	22,99	22,69	22,94
ΔU [kV]	0,13	0,29	0,19	-0,11	0,14

Tab. 7 Hodnoty napětí na začátku a koncích vývodů

3.2 Zkratový výkon

V grafu a tabulce níže uvádím zkratový výkon v síti. Hodnoty jsou uvedeny pro začátek, střed a konec jednotlivých vývodů (myšleny jsou konce vývodů podle délky). Je zřejmé, že se projevuje impedance vedení, která způsobuje snížení zkratového výkonu v závislosti na zvyšující se vzdálenosti od přípojnice. Největší zkratový výkon na konci vývodu je ve vývodu V2, což je dáno jeho elektrickou vzdáleností (jedná se o délkově nejkratší vývod v modelu). Naopak nejmenší zkratový výkon na koncích vývodu je ve vývodech V4 a V6, což ukazuje na kritická místa v síti.



Obr. 5 Průběh zkratového výkonu ve vývodech

	V1	V2	V3	V4	V6
Začátek	238,42	238,42	238,42	238,42	238,42
Střed	83,34	150,54	72,21	69,25	87,36
Konec	44,93	111,30	51,36	46,16	46,48

Tab. 8 Hodnoty zkratového výkonu ve vývodech

3.3 Proudové a výkonové poměry – kritická místa

Vypočtené hodnoty činných a jalových výkonů, proudů (a jejich úhlů) a změna napětí, vyvolaná připojením zdrojů, jsou uvedeny po jednotlivých vývodech v tabulkách níže. Uvedena jsou pouze kritická místa v síti, tak jak jsme si je nadefinovali již v kapitole výše, tedy konce vývodů, či uzly kde jsou připojeny jednotlivé zdroje.

Vývod V1

Ve vývodu V1 je největší napěťová změna po výpočtu připojitelnosti zdrojů v uzlu U137 a U140, které jsou předávajícími místy mezi distribuční sítí a zdrojem.

Uzel	Popis místa	Vedení	Připojitelnost ΔU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	α [°]
U100	FVE1	Z1:V1	-0,83	-149,64	-0,01	3,78	-178,27
U137	FVE2	FVE3:V2	-1,70	-1499,97	-0,90	37,62	-177,91
U140	FVE3	FVE2:V2	-1,70	-1499,93	-1,99	37,62	-177,95
U129	Konec kmene	V1:26	-1,56	262,22	-6,98	6,61	3,40

Tab. 9 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V1

Vývod V2

Ve vývodu V2 je největší změna na konci vývodu, kde je jak připojena FVE4 v uzlu U41. U41je také konec vývodu.

Uzel	Popis místa	Vedení	Připojitelnost ΔU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	α [°]
U41	FVE4	V2:9	-1,63	-3073,32	-42,28	76,92	-178,78

Tab. 10 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V2

Vývod V3

Ve vývodu V3 dochází k největší napěťové změně v předávacím místě u FVE7 a dále pak na konci vývodu. Je tedy patrné, že zvýšené napětí od OZE se projeví i v dalších místech v síti, kde je nižší Sk.

Uzel	Popis místa	Vedení	Připojitelnost ΔU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	α [°]
U279	FVE9	Z202:V1	-1,18	270,47	-18,15	6,83	5,62
U330	FVE5	FVE5:V2	-1,65	-275,99	-11,02	6,94	179,65
U260	FVE8	V3:13	-1,75	-272,85	-36,86	6,92	174,31
U338	FVE6	Z48:V1	-1,80	4,00	-0,01	0,10	2,15
U349	FVE7	FVE7:V2	-1,97	-733,99	-2,33	18,40	-178,12
U360	Konec kmene	V3:24	-1,81	-20,00	0,00	0,50	-178,01

Tab. 11 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V3

Vývod V4

Ve vývodu V4 nedochází k tak velké změně napětí jako v ostatních vývodech. K maximální změně dochází v předávacím místě u FVE11.

Uzel	Popis místa	Vedení	Připojitelnost ΔU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	α [°]
U450	FVE10	FVE10:V2	-0,67	-150,00	-1,29	3,80	-179,06
U765	FVE11	FVE11:V1	-1,29	-956,86	-4,63	24,19	-178,83
U754	Bio1	Bio1:V2	-1,07	207,00	0,00	5,25	1,31
U809	Konec kmene	V4:21	-0,95	179,69	-20,01	4,60	7,36

Tab. 12 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V4

Vývod V6

K maximální napěťové změně ve vývodu V6 dochází na konci vývodu a v předávacím místě v uzlu U722 u FVE12.

Uzel	Popis místa	Vedení	Připojitelnost ΔU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	α [°]
U533	VTE1	VTE1:V1	-1,48	835,00	0,00	21,02	1,72
U511	FVE13	V6:13	-1,73	382,98	-182,48	10,68	27,16
U722	FVE12	FVE12:V1	-1,96	-465,00	-1,86	11,70	-178,68
U518	Konec kmene	V6:19	-1,91	172,11	-163,24	5,97	45,05

Tab. 13 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V6

4 Zjednodušení modelu

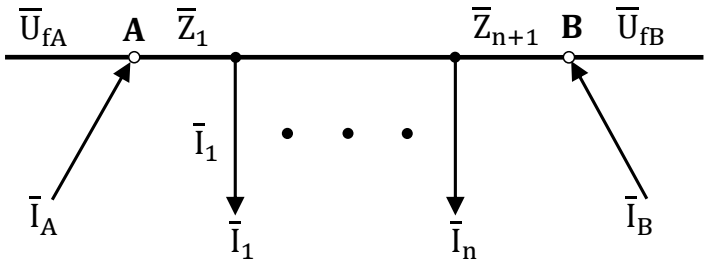
Cílem analýzy popisované v této kapitole je nalezení přijatelného stupně zjednodušení, který nebude mít citelný vliv na přesnost výpočtu. Jelikož je možné se na zjednodušení dívat z několika úhlů (při zachování základní premisy – přesnost výpočtu), je i zde na zjednodušení pohlíženo z několika pohledů.

4.1 Metody postupného zjednodušování schématu sítě

Jak jsem již poznamenal, model sítě lze zjednodušovat několika způsoby. V následujících kapitolách uvádím teoretický popis základních metod pomocí schématu a rovnic. [4]

4.1.1 Překládání zátěží z větví do uzlů a zpět

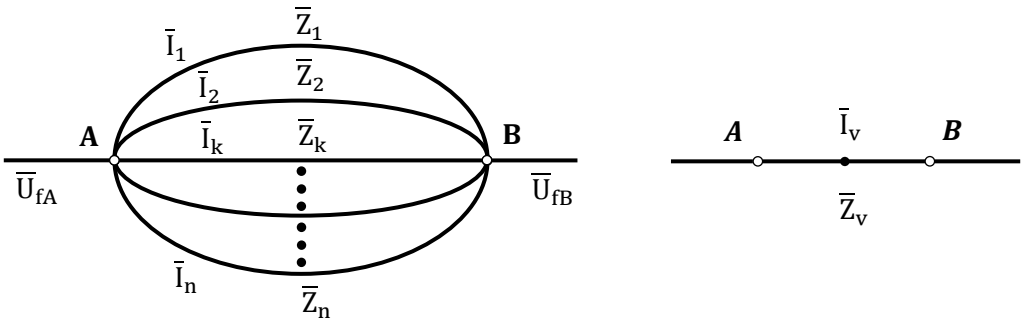
Tento způsob zjednodušení je uvažován v mé diplomové práci.



$$\bar{I}_A = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\bar{I}_k \sum_{l=k+1}^{n} \overline{Z}_1)}{\sum_{k=1}^{n+1} \overline{Z}_k} + \bar{I}_o \quad (4.1.1a) \qquad \bar{I}_B = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\bar{I}_k \sum_{l=l}^{n} \overline{Z}_1)}{\sum_{k=1}^{n+1} \overline{Z}_k} - \bar{I}_o \quad (4.1.1b)$$

$$\bar{I}_o = \frac{\overline{U}_{fA} - \overline{U}_{fB}}{\sum_{k=1}^{n+1} \overline{Z}_k} + \bar{I}_o \quad (4.1.1c) \qquad \sum_{k=1}^{n} \bar{I}_k = \bar{I}_A + \bar{I}_B \quad (4.1.1d)$$

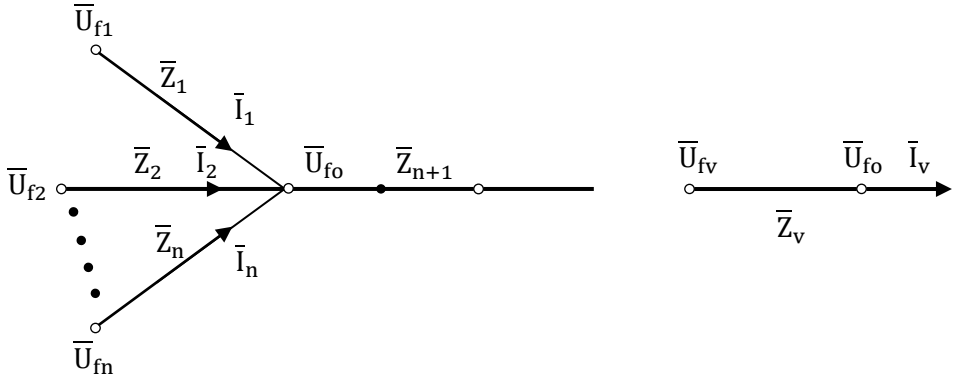
4.1.2 Slučování paralelních větví



$$\bar{I}_k = \frac{\bar{U}_{fA} - \bar{U}_{fB}}{\bar{Z}_k} \quad (4.1.2a) \qquad \bar{I}_v = \frac{\bar{U}_{fA} - \bar{U}_{fB}}{\bar{Z}_v} \quad (4.1.2b) \qquad \sum_{k=1}^{n} \bar{I}_k = \bar{I}_v \quad (4.1.2c)$$

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{\bar{Z}_k} = \frac{1}{\bar{Z}_v} \quad (4.1.2d) \qquad \bar{I}_k = \bar{I}_v \frac{\bar{Z}_v}{\bar{Z}_k} \quad (4.1.2e)$$

4.1.3 Slučování napájecích větví



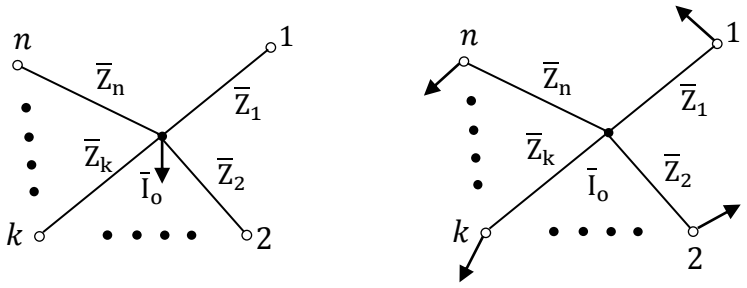
$$\bar{I}_k = \frac{\bar{U}_{fk} - \bar{U}_{fo}}{\bar{Z}_k} \quad (4.1.3a) \qquad \bar{I}_v = \frac{\bar{U}_{fv} - \bar{U}_{fo}}{\bar{Z}_v} \quad (4.1.3b) \qquad \sum_{k=1}^{n} \bar{I}_k = \bar{I}_A \quad (4.1.3c)$$

$$\bar{U}_{fv} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \frac{\bar{U}_{fk}}{\bar{Z}_k}}{\sum_{k=1}^{n+1} \frac{1}{\bar{Z}_k}} + \bar{I}_o \quad (4.1.3d)$$

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{\bar{U}_{fk}}{\bar{Z}_k} - \sum_{k=1}^{n} \frac{\bar{U}_{fo}}{\bar{Z}_k} = \frac{\bar{U}_{fv}}{\bar{Z}_v} - \frac{\bar{U}_{fo}}{\bar{Z}_v} \quad (4.1.3e)$$

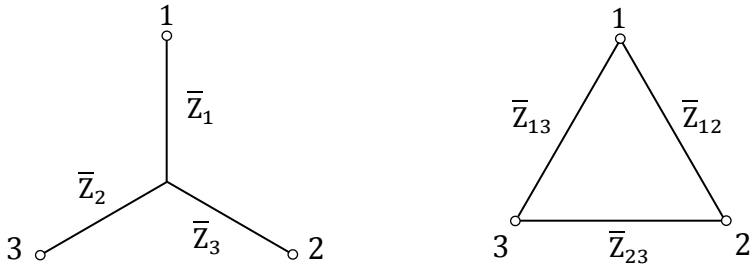
$$\bar{U}_{fo} = \bar{U}_{fv} - \bar{Z}_v \bar{I}_o \quad (4.1.3f) \qquad \bar{I}_k = \frac{\bar{U}_{fk}}{\bar{Z}_k} - \frac{\bar{U}_{fv} - \bar{Z}_v \bar{I}_v}{\bar{Z}_k} \quad (4.1.3g)$$

4.1.4 Převedení zátěže z uzlu hvězdy do vrcholů



$$\overline{I}_k = \overline{I}_o \frac{1}{\overline{Z}_k \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\overline{Z}_i}} \qquad (4.1.4a)$$

4.1.5 Transfigurace hvězda – trojúhelník



$$\overline{Z}_1 = \frac{\overline{Z}_{12}\overline{Z}_{13}}{\overline{Z}_{12} + \overline{Z}_{13} + \overline{Z}_{23}} \qquad (4.1.5a) \qquad \overline{Z}_2 = \frac{\overline{Z}_{12}\overline{Z}_{23}}{\overline{Z}_{12} + \overline{Z}_{13} + \overline{Z}_{23}} \qquad (4.1.5b)$$

$$\overline{Z}_3 = \frac{\overline{Z}_{23}\overline{Z}_{13}}{\overline{Z}_{12} + \overline{Z}_{13} + \overline{Z}_{23}} \qquad (4.1.5c)$$

$$\overline{Z}_{12} = \frac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_1\overline{Z}_3 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3}{\overline{Z}_3} \qquad (4.1.5d) \qquad \overline{Z}_{13} = \frac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_1\overline{Z}_3 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3}{\overline{Z}_2} \qquad (4.1.5e)$$

$$\overline{Z}_{23} = \frac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_1\overline{Z}_3 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3}{\overline{Z}_1} \qquad (4.1.5f)$$

4.2 Redukce odboček podél kmene vývodu

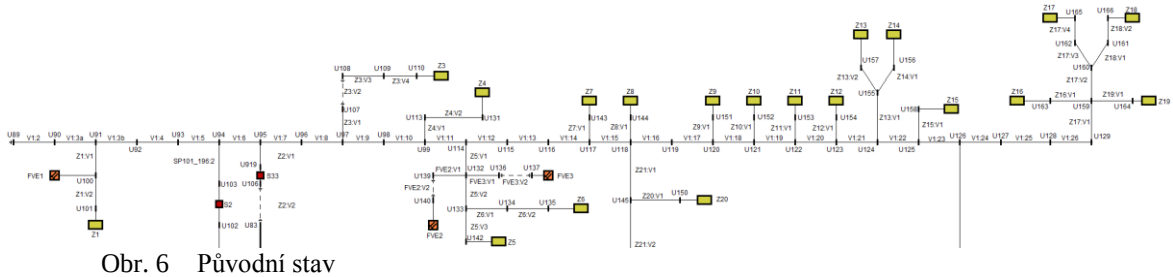
Jako základní metodou zjednodušení modelu uplatňuji překládání zátěží z větví do uzlů. V tomto bodě jsem model postupoval tak, že jsem všechny odbočky podél hlavního kmene vývodu postupně redukoval. Redukce odboček spočívá v zanedbání délek vedení odboček a přesunutí jejich zatížení na hlavní kmen vývodu. Také došlo k úpravě modelování zatížení takto zredukovaných odboček a to tak, že pokud bylo v odbočce více zátěží, došlo k jejich spojení, které je prezentováno jednou zátěží o instalovaném výkonu

všech dotčených zátěží. Při tomto zjednodušení byl kladen důraz na sledování úrovně napětí podél vývodu a tato změna byla srovnána s původním stavem. Dále je důležité upozornit na napěťovou změnu při výpočtu připojitelnosti zdrojů, která může oproti původnímu stavu klesat. Tato menší hodnota napěťové změny by mohla při špatné interpretaci vést k navýšení instalovaného výkonu zdrojů rozptýlené výroby, což by při normálním stavu sítě bylo nevyhovující. Pokud modelované zdroje rozptýlené výroby mají přípojný bod na odbočce, není možná její redukce dle výše popsaného postupu, neboť by došlo k zásadní změně parametrů sítě určujících velikost připojitelného výkonu.

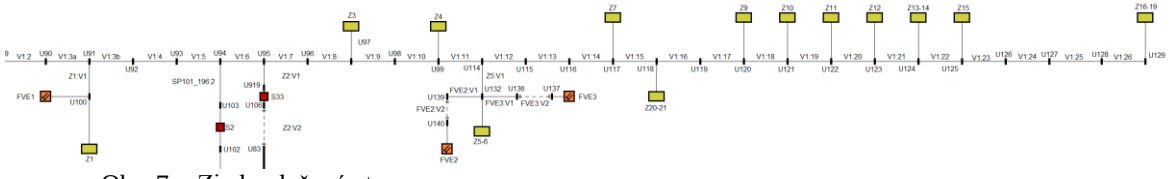
Níže na Obr. 6 a Obr. 7 je uveden dopad zjednodušení na celkové počty modelovaných uzlů a zátěží v porovnání s výchozím stavem. Z hlediska rozsáhlosti modelu je grafické znázornění dopadu zjednodušení do složitosti modelu ukázáno pouze pro vývod V1. Celkově byl model zjednodušen odstraněním 148,7km vedení ve všech 5ti vývodech. Dále bylo odstraněno 398 uzlů a 127 zátěží. Rozpis zjednodušení je detailněji uveden v tabulce níže.

	Původní stav			**Zjednodušený stav**		
	Počet uzlů	**Počet zátěží**	**Délka vedení [km]**	**Počet uzlů**	**Počet zátěží**	**Délka vedení [km]**
V1	58	19	31,60	28	14	19,82
V2	15	2	6,26	9	2	5,38
V3	135	53	53,50	27	21	17,22
V4	173	76	90,84	22	17	20,46
V6	119	47	46,62	16	16	17,24
	500	**197**	**228,81**	**102**	**70**	**80,11**

Tab. 14 Rozdíl mezi původním a zjednodušeným stavem



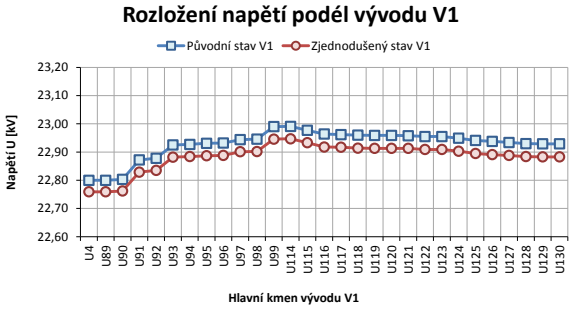
Obr. 6 Původní stav



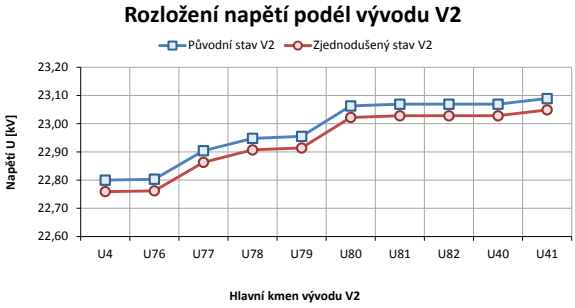
Obr. 7 Zjednodušený stav

4.2.1 Rozložení napětí podél vývodů

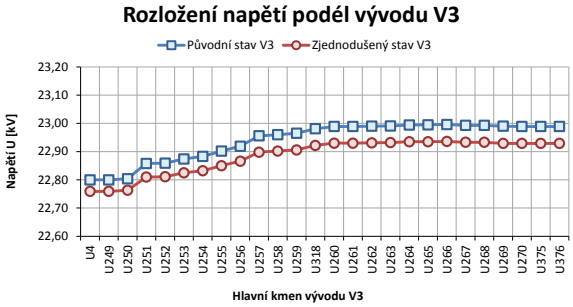
V níže uvedených grafech prezentuji rozložení napětí v uzlech podél kmene vývodů. Zjednodušený stav je porovnáván se stavem původním. Z tohoto porovnání vyplývá, že změna napětí mezi původním a zjednodušeným modelem je u všech vývodů téměř stejná a dosahuje hodnot v rozmezí 50-100 V. Ve všech vývodech se po zjednodušení hodnota napětí oproti původnímu stavu snížila. Tato změna oproti původnímu stavu je způsobena překládáním zátěží, které mají vliv na úbytek napětí, který se při tomto způsobu zjednodušení snižuje. Všechny vývody mají trend zvyšujícího se napětí na koncích vývodů. Tento trend není pouze u vývodu V4, který je specifický svým zapojením.



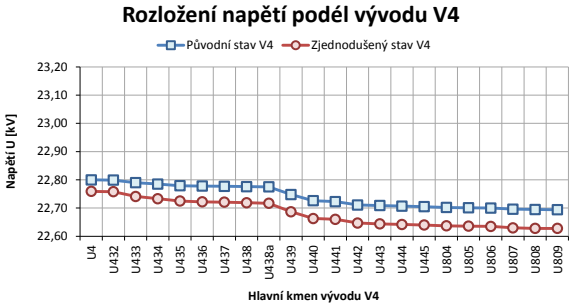
Obr. 8 Rozložení napětí podél vývodu V1



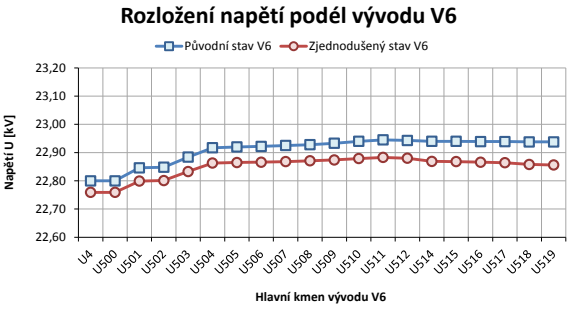
Obr. 9 Rozložení napětí podél vývodu V2



Obr. 10 Rozložení napětí podél vývodu V3



Obr. 11 Rozložení napětí podél vývodu V4



Obr. 12 Rozložení napětí podél vývodu V6

4.2.2 Zkratový výkon podél vývodů

Zkratový výkon sítě je jednou ze základních charakteristik modelované sítě, která má přímý vliv na možné velikosti připojovaných výkonů odběrů a zdrojů, ale i odolnost dané části DS vůči zpětným vlivům. V této kapitole jsem porovnával průběh zkratového výkonu podél modelovaných vývodů, mezi výchozím modelem sítě a zjednodušeným stavem. Vliv redukce odboček na velikost zkratového výkonu kmene modelovaných vývodů nemá žádný vliv, neboť nedochází ke změně parametrů kmene modelovaného vývodu.

4.2.3 Poměry za transformátorem T101

Při sledování parametrů na transformátoru T101 je patrné, že dochází ke změně u všech těchto parametrů. Toto srovnání je zřejmé z tabulek uvedených níže, kdy Tab. 15 uvádí původní stav a Tab. 16 stav zjednodušený. Změna u P a I není nijak výrazná, ale výrazná změna je u jalového výkonu, který je ovlivněn zjednodušením modelu (jmenovitě odstraněním vedení o celkové délce 148,7km). Tato změna u jalového výkonu má následně za důsledek změnu napětí (viz předchozí bod, Rozložení napětí podél vývodu).

		I [A]	α [°]	P [kW]	Q [kVAr]
T101	U1	34,79	-65,57	-6904,38	-726,73
	U4	176,35	114,43	6910,89	860,58

Tab. 15 Hodnoty výkonů a proudů za transformátorem T101 – původní stav

		I [A]	α [°]	P [kW]	Q [kVAr]
T101	U1	35,38	-61,04	-7054,45	-183,89
	U4	179,36	118,96	7061,19	322,34

Tab. 16 Hodnoty výkonů a proudů za transformátorem T101 – zjednodušený stav

4.2.4 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů a ostatní parametry

V tabulce níže srovnávám parametry před a po zjednodušení ve sledovaných uzlech sítě, které jsem definoval již v předchozích kapitolách. Porovnávaná místa jsou v místě připojení zdrojů a konec kmene vývodu. V níže uvedených tabulkách je v každé barevné variantě v horním řádku uveden stav původní a pod ním stav zjednodušený. Při sledování ΔU[%], vyvolanou připojením zdrojů z uvedeného plyne, že nedochází k výraznému ovlivnění a tudíž lze považovat tento stav zjednodušení za přijatelný.

Vývod 1

Uzel	Popis místa	Vedení	Připoj. Δ dUa	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	Sk [MVA]	U [kV]
U100	FVE1	Z1:V1	-0,827	-149,64	-0,01	3,78	72,96	22,87
U100	FVE1	Z1:V1	-0,820	-149,64	0,00	3,78	72,95	22,83
U137	FVE2	FVE3:V2	-1,695	-1499,97	-0,90	37,62	62,76	23,02
U137	FVE2	FVE3:V2	-1,690	-1499,97	-0,90	37,69	62,75	22,98
U140	FVE3	FVE2:V2	-1,697	-1499,93	-1,99	37,62	62,69	23,02
U140	FVE3	FVE2:V2	-1,692	-1499,93	-1,98	37,69	62,69	22,98
U129	Konec kmene	V1:26	-1,564	262,22	-6,98	6,61	57,44	22,93
U129	Konec kmene	V1:26	-1,559	262,01	-1,67	6,61	57,44	22,88

Tab. 17 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V1 – zjednodušený stav

Vývod 2

Uzel	Popis místa	Vedení	Připoj. Δ dU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	Sk [MVA]	U [kV]
U41	Konec kmene	V2:9	-1,627	-3073,32	-42,28	76,92	59,08	23,09
U41	Konec kmene	V2:9	-1,623	-3073,31	-42,1	77,08	59,05	23,04

Tab. 18 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V2 – zjednodušený stav

Vývod 3

Uzel	Popis místa	Vedení	Připoj. Δ dU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	Sk [MVA]	U [kV]
U279	FVE9	Z202:V1	-1,18	270,47	-18,15	6,83	64,369	22,907
U279	FVE9	Z202:V1	-1,17	270,466	-18,152	6,832	64,369	22,907
U330	FVE5	FVE5:V2	-1,65	-275,99	-11,02	6,94	53,791	22,979
U330	FVE5	FVE5:V2	-1,65	-275,99	-10,96	6,96	53,801	22,921
U260	FVE8	V3:13	-1,75	-272,85	-36,86	6,92	60,989	22,989
U260	FVE8	V3:13	-1,74	-272,88	-14,18	6,88	61,013	22,93
U338	FVE6	Z48:V1	-1,80	4,00	-0,01	0,10	60,467	22,994
U338	FVE6	Z48:V1	-1,80	4,00	-0,01	0,10	60,467	22,994
U349	FVE7	FVE7:V2	-1,97	-733,99	-2,33	18,40	56,125	23,029
U349	FVE7	FVE7:V2	-1,97	-733,99	-2,32	18,45	56,14	22,969
U270	Konec kmene	V3:24	-1,81	-20,00	0,00	0,50	59,34	22,989
U270	Konec kmene	V3:24	-1,80	-20,00	0,00	0,50	59,36	22,929

Tab. 19 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V3 – zjednodušený stav

Vývod 4

Uzel	Popis místa	Vedení	Připoj. Δ dU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	Sk [MVA]	U [kV]
U450	FVE10	FVE10:V2	-0,673	-150,00	-1,29	3,80	69,82	22,79
U450	FVE10	FVE10:V2	-0,665	-150,00	-1,29	3,81	69,83	22,74
U765	FVE11	FVE11:V1	-1,285	-956,86	-4,63	24,19	58,96	22,84
U765	FVE11	FVE11:V1	-1,278	-956,86	-4,60	24,25	58,97	22,79
U754	Bio1	Bio1:V2	-1,074	207,00	0,00	5,25	54,57	22,79
U754	Bio1	Bio1:V2	-1,067	207,00	0,00	5,26	54,57	22,73
U809	Konec kmene	V4:21	-0,954	179,69	-20,01	4,60	59,70	22,69
U809	Konec kmene	V4:21	-0,946	180,01	-0,59	4,59	59,73	22,63

Tab. 20 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V4 – zjednodušený stav

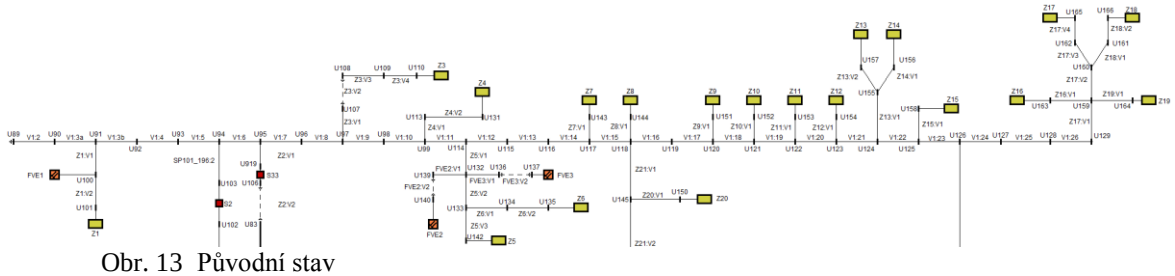
Vývod 6

Uzel	Popis místa	Vedení	Připoj. Δ dU	P [kW]	Q [kVAr]	I [A]	Sk [MVA]	U [kV]
U533	VTE1	VTE1:V1	-1,479	835,00	0,00	21,02	55,21	22,94
U533	VTE1	VTE1:V1	-1,472	835,00	0,00	21,07	55,25	22,88
U511	FVE13	V6:13	-1,728	382,98	-182,48	10,68	52,36	22,95
U511	FVE13	V6:13	-1,720	381,52	-17,63	9,64	52,43	22,88
U722	FVE12	FVE12:V1	-1,986	-465,00	-1,86	11,70	51,58	22,95
U722	FVE12	FVE12:V1	-1,977	-465,00	-1,85	11,74	51,68	22,86
U518	Konec kmene	V6:19	-1,906	172,11	-163,24	5,97	52,56	22,94
U518	Konec kmene	V6:19	-1,897	171,16	-5,72	4,33	52,66	22,86

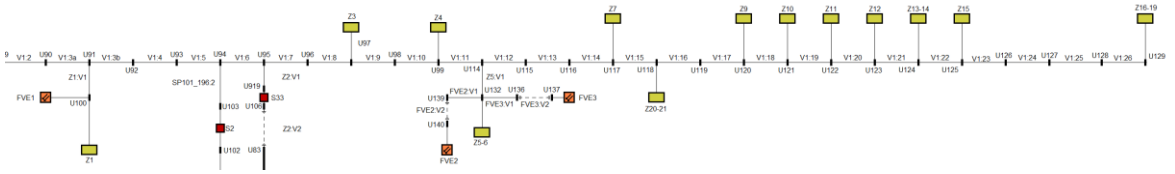
Tab. 21 Hodnoty proudů a výkonů v kritických místech vývodu V6 – zjednodušený stav

4.3 Redukce odboček podél vývodu + zjednodušení vývodu pomocí momentového pravidla

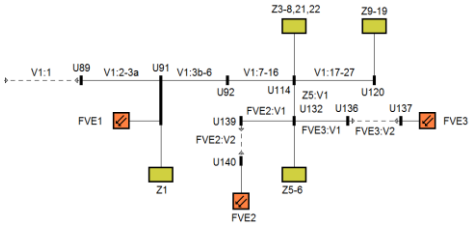
V tomto bodě vycházím ze zjednodušeného stavu z předcházející kapitoly 4.2., protože výsledky prokázaly přijatelný stupeň a metodu zjednodušení výpočetního schématu. Již zjednodušené vývody z předcházející kapitoly dále upravuji a to podél hlavního kmene vývodů pomocí momentového pravidla. Takto zjednodušený model porovnávám s výsledky z přechozí kapitoly a se stavem původním. Sledovanými parametry budou opět úbytek napětí podél vývodu, změna zkratového výkonu podél vývodu a změna napětí způsobená připojením zdrojů v místě připojení zdrojů. V obrázcích níže je prezentováno postupné zjednodušení vývodu V1, kdy je uveden nejdříve původní stav pak stav zjednodušený s redukcí odboček a následně poslední stav, při kterém bylo využito redukce odboček a kmene.



Obr. 13 Původní stav



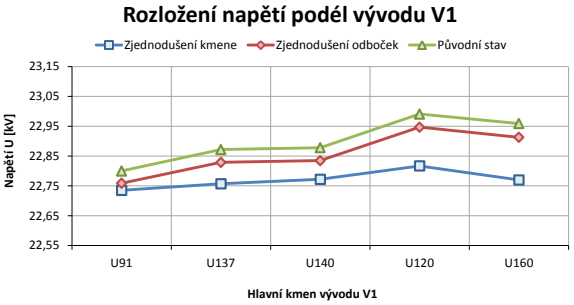
Obr. 14 Zjednodušený stav – redukce odboček



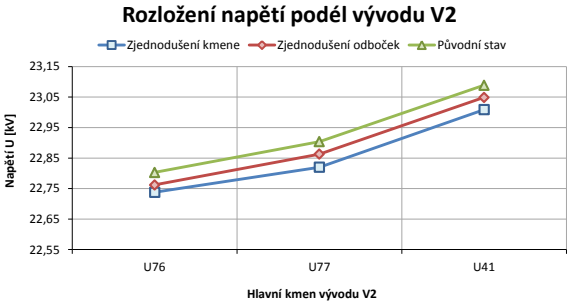
Obr. 15 Zjednodušený stav – redukce kmene

4.3.1 Rozložení napětí podél vývodů

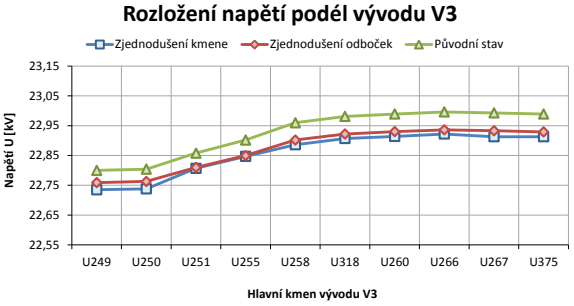
Z porovnání rozložení napětí podél kmene vývodu je zřejmé, že se úroveň napětí v tomto způsobu zjednodušení snížila. Velké snížení nastalo ve všech vývodech, zejména však ve vývodu V1, kde je největší rozdíl mezi původním a plně zjednodušeným stavem. Maximální rozdíl je v uzlu U160 a dosahuje hodnoty 0,2kV (0,9% Un).



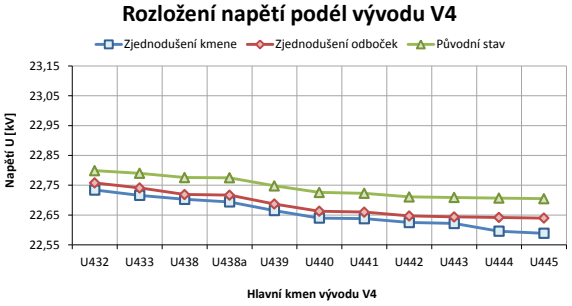
Obr. 16 Rozložení napětí podél vývodu V1



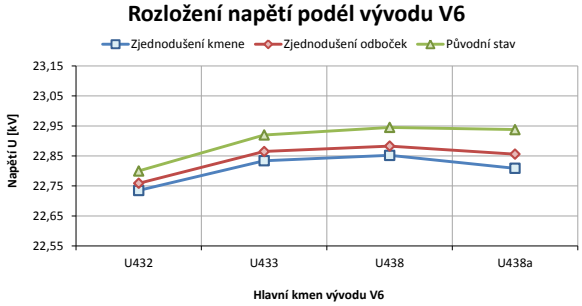
Obr. 17 Rozložení napětí podél vývodu V2



Obr. 18 Rozložení napětí podél vývodu V3



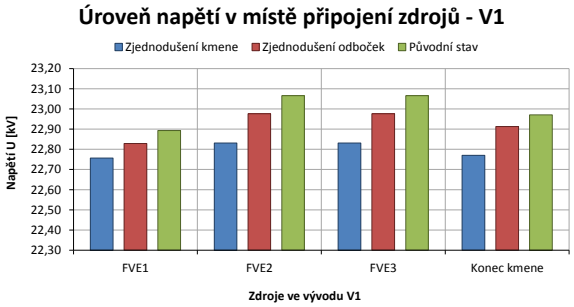
Obr. 19 Rozložení napětí podél vývodu V4



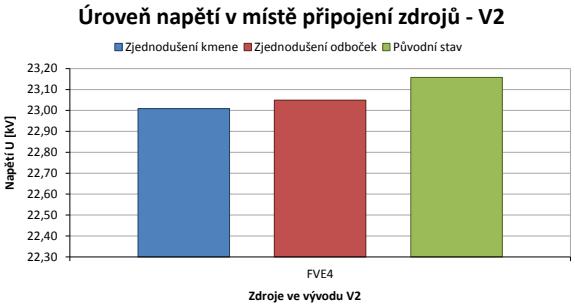
Obr. 20 Rozložení napětí podél vývodu V6

4.3.1.1 Rozložení podél vývodu

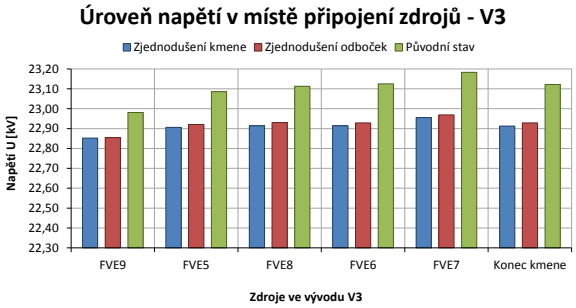
Na grafech níže uvádím velikosti napětí v jednotlivých uzlech, ve kterých jsou připojeny zdroje. Grafy jsou rozděleny po vývodech a členěny po jednotlivých krocích zjednodušení. I zde dochází ke snížení úrovně napětí ve všech vývodech. K maximálnímu rozdílu úrovně napětí dochází ve vývodech V1 a V3, jmenovitě v uzlech U137 a U349.



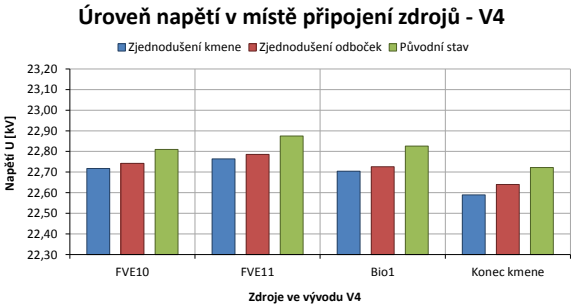
Obr. 21 Velikost napětí v místě připojení zdrojů-V1



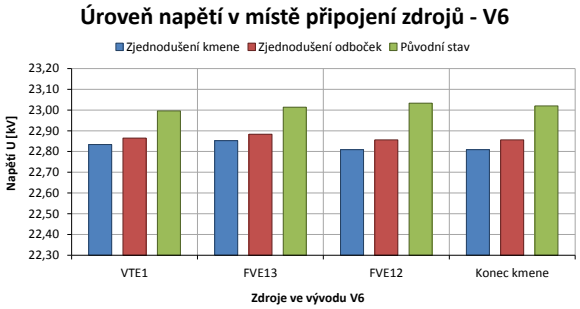
Obr. 22 Velikost napětí v místě připojení zdrojů-V2



Obr. 23 Velikost napětí v místě připojení zdrojů-V3



Obr. 24 Velikost napětí v místě připojení zdrojů-V4

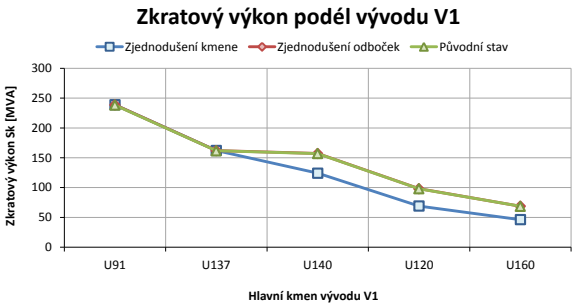


Obr. 25 Velikost napětí v místě připojení zdrojů-V6

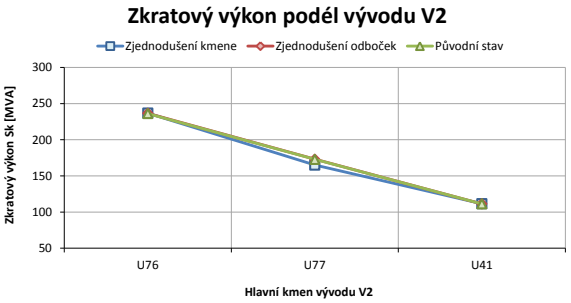
4.3.2 Zkratový výkon podél vývodů

Na následujících obrázcích je prezentován pokles zkratového výkonu podél modelovaných vývodů. Původní stav je opět porovnáván se stavem po zjednodušení odboček a zjednodušení kmene. Výsledek dokládá zanedbatelný vliv na velikost

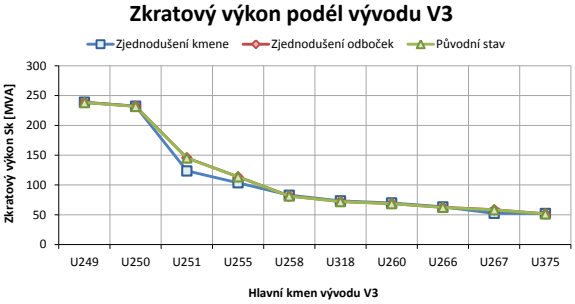
zkratového výkonu ve vývodech V2, V3 a V4. Naopak ve vývodech V1 a V6 je patrná změna ve velikosti zkratového výkonu, která ve vývodu V6 dosahuje rozdílu 5,4 MVA.



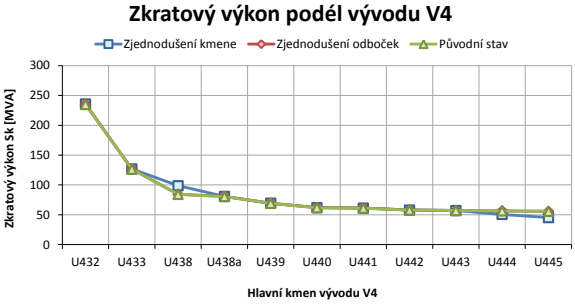
Obr. 26 Zkratový výkon podél vývodu V1



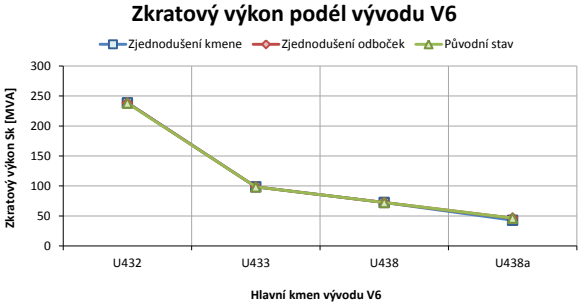
Obr. 27 Zkratový výkon podél vývodu V2



Obr. 28 Zkratový výkon podél vývodu V3



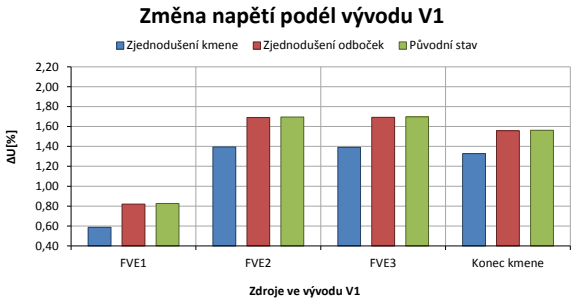
Obr. 29 Zkratový výkon podél vývodu V4



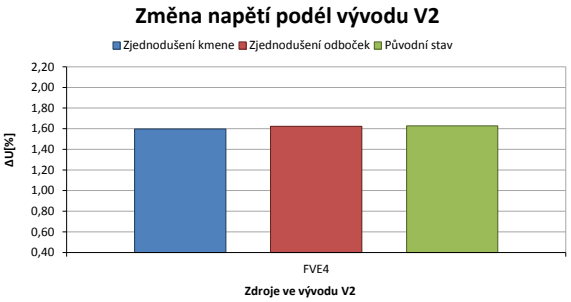
Obr. 30 Zkratový výkon podél vývodu V6

4.3.3 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů

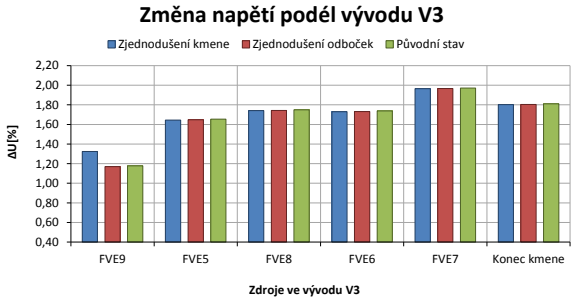
Níže uvedené grafy srovnávají změnu napětí vyvolanou připojením zdrojů. Srovnání jsem provedl pro uzly, ve kterých jsou tyto zdroje připojeny do DS. Srovnáván je opět stav původní, stav s redukcí odboček a s redukcí kmene. Z uvedených průběhů vyplývá, že ΔU[%] se markantně nezvyšuje. Jediné viditelné zvýšení je u vývodu V6, kde je červenou čarou vyznačena limitní hranice 2%, která je v tomto bodu zjednodušení překročena. Překročení je však zanedbatelné vzhledem k přijatému stupni zjednodušení původního modelu. Výsledky tohoto porovnání lze tedy považovat za přijatelné.



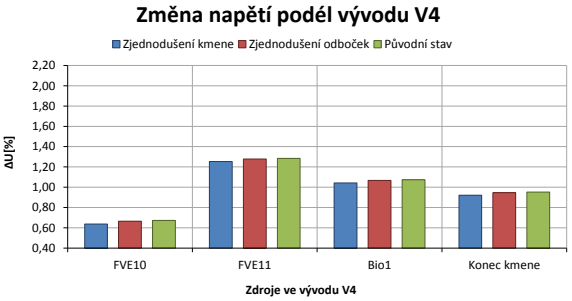
Obr. 31 Změna napětí podél vývodu V1



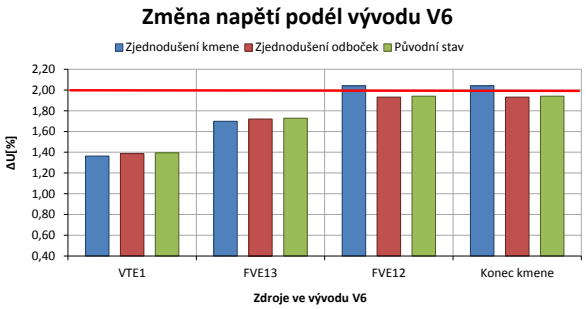
Obr. 32 Změna napětí podél vývodu V2



Obr. 33 Změna napětí podél vývodu V3



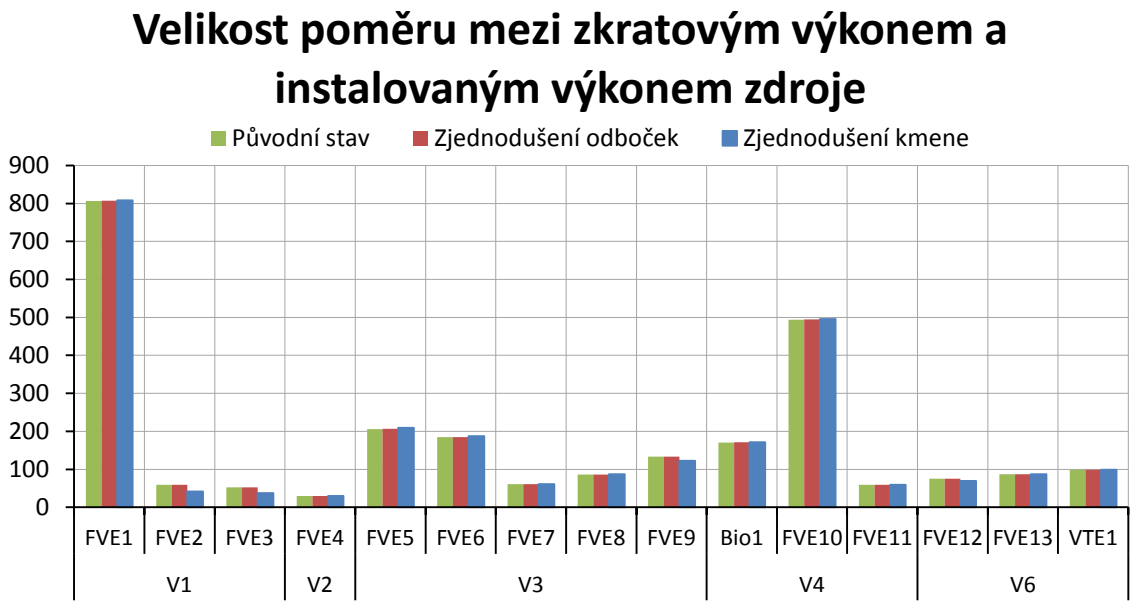
Obr. 34 Změna napětí podél vývodu V4



Obr. 35 Změna napětí podél vývodu V6

4.4 Slabá místa v síti

Poměrem zkratového výkonu k instalovanému výkonu elektráren v uzlech, kde jsou tyto elektrárny připojeny, můžeme zjistit tzv. slabá místa v síti. Tento poměr jsem vypočetl pro původní stav a oba zjednodušené stavy. V tabulce pak vyčítám slabá místa pro každý vývod samostatně s poměrem menším než 75. Jako nejslabší místo, do kterého je připojena elektrárna, se ukázal uzel U47 ve vývodu V2, do kterého je připojena FVE4. Další slabé místo je ve vývodu V1 v uzlu U140 - FVE3.



Obr. 36 Poměr mezi zkratovým výkonem a instalovaným výkonem zdroje

Vývod	Označení zdroje	Původní stav	Zjednodušení odboček	Zjednodušení kmene
V1	FVE3	37,21	52,26	52,21
V2	**FVE4**	29,51	29,47	29,44
V3	FVE7	61,27	60,58	60,50
V4	FVE11	59,47	59,46	59,38
V6	FVE12	69,25	75,17	74,96

Tab. 22 Poměr mezi zkratovým výkonem a Pinst zdroje – Maximum ve vývodech

4.5 Zjednodušení úpravou délky vedení

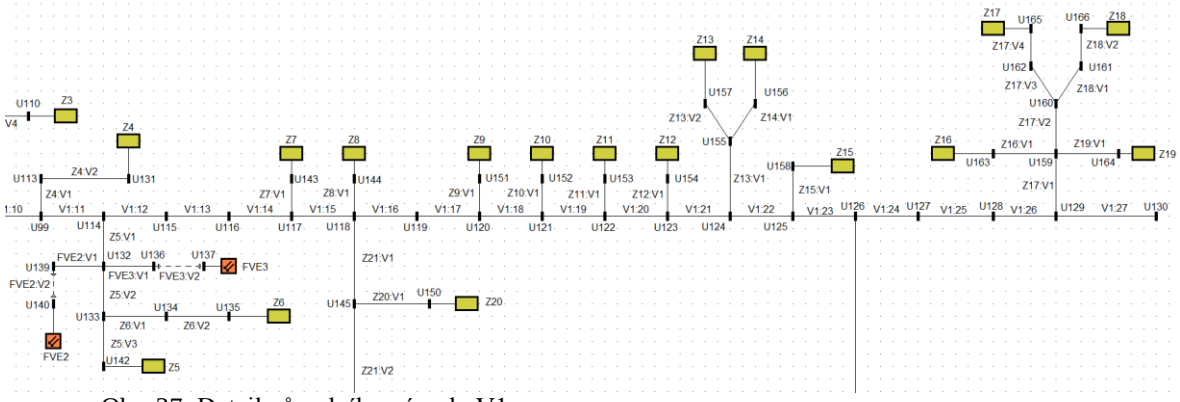
V této kapitole jsem model sítě postupně zjednodušoval odstraňováním vedení, kdy jsem po každém kroku zjednodušení tento model porovnal s modelem původním z hlediska velikosti úbytků napětí, velikosti změny napětí způsobenou připojením zdrojů či jiných parametrů. Z Tab. 23 vyplývá, že bylo zvoleno 8 kroků postupného zjednodušení. Nejdříve byla odstraněna vedení o délce 0 až 9 metrů, dále 10 až 49 metrů atd., viz tabulka - sloupec Kategorie / Délka. Ve sloupci celková délka je uvedena délka vždy samotné kategorie. Ve sloupci „Přičtení předchozí kategorie“ je délka samotné kategorie plus předcházející kategorie. Pro samotný osmý stupeň zjednodušení (0,5 až 0,599 metrů) je to tedy 13,649 km vedení, ale pro osmý stupeň zjednodušení plus předchozí stupně zjednodušení je to již 71,14km vedení, což je skoro 31% z celkové rozvinuté délky. Osmý stupeň zjednodušení jsem zvolil jako maximální. Pokud bych ještě více model zjednodušil, byla by již velká

nepřesnost oproti původnímu modelu. Pro každý stupeň zjednodušení jsem provedl výpočet poměrů v síti a pro vybrané uzly provedl porovnání. Viz Tab. 23.

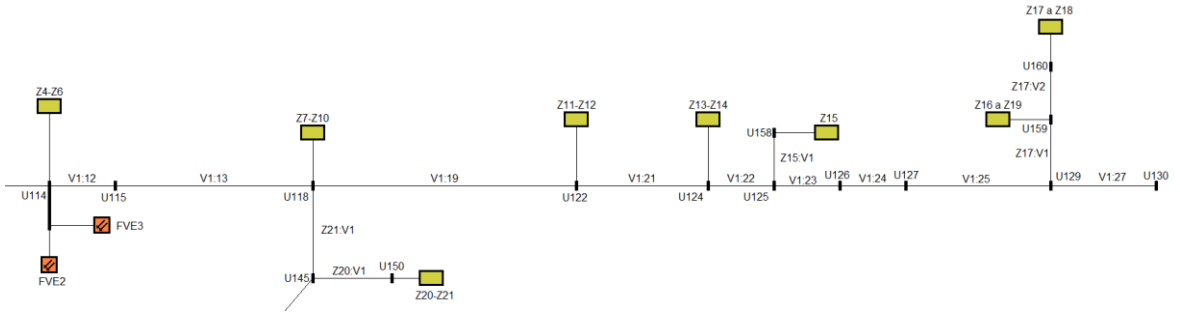
Kategorie Délka [km]	Celková délka [km]	Přičtení předchozí kategorie [km]	Procentní část z celku [%]
0 - 0,009	0,119	0,12	0,05
0,01 - 0,049	2,058	2,18	0,94
0,05 - 0,099	3,015	5,19	2,25
0,1 - 0,199	10,905	16,10	6,97
0,2 - 0,299	12,117	28,21	12,22
0,3 - 0,399	13,975	42,19	18,28
0,4 - 0,499	15,304	57,49	24,91
0,5 - 0,599	13,649	71,14	30,82
0,6 - Max	159,674	230,82	
Celkem	230,816		

Tab. 23 Rozdělení vedení do kategorií podle délky – kroky zjednodušení

Na Obr. 37 a Obr. 38 je prezentován detail jednoho vývodu řešené sítě. Oba dva obrázky jsou ze stejného vývodu, pouze Obr. 38 je již po 8 kroku zjednodušení, což je patrné z chybějících kusů vedení a z připojení jednotlivých zátěží do jednoho uzlu.



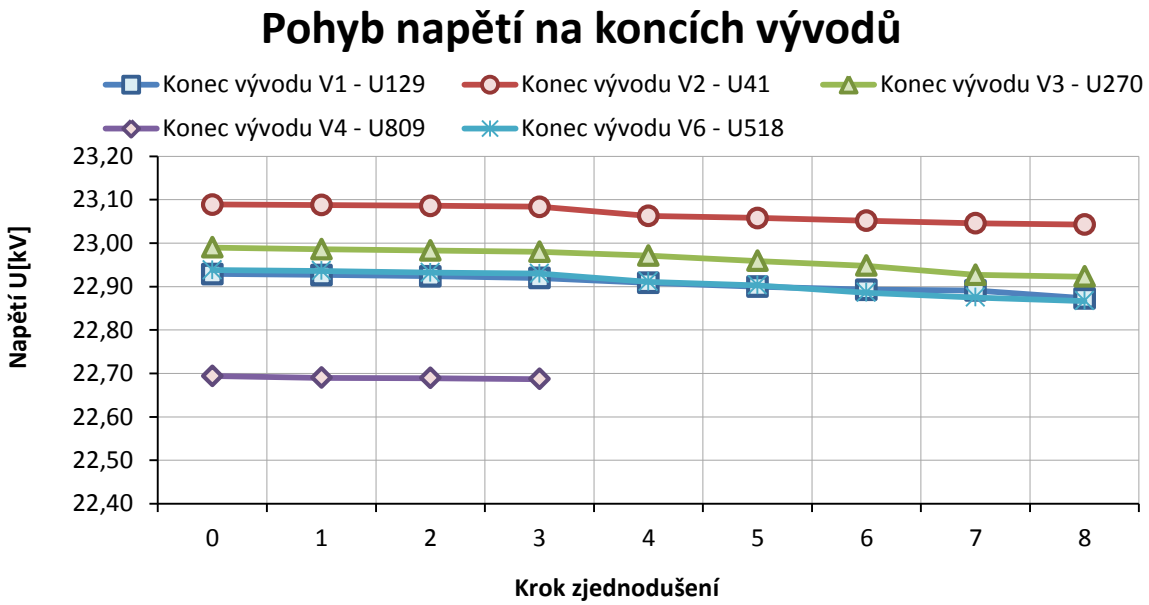
Obr. 37 Detail původního vývodu V1



Obr. 38 Detail zjednodušeného vývodu V1

4.5.1 Rozložení napětí na koncích vývodů

Na grafu níže je uvedena úroveň napětí na koncích vývodů po jednotlivých krocích zjednodušení. Patrný je pokles napětí u všech vývodů, což je vzhledem ke zjednodušení předpokládaný charakter.



Obr. 39 Úroveň napětí na koncích vývodů po jednotlivých krocích zjednodušení

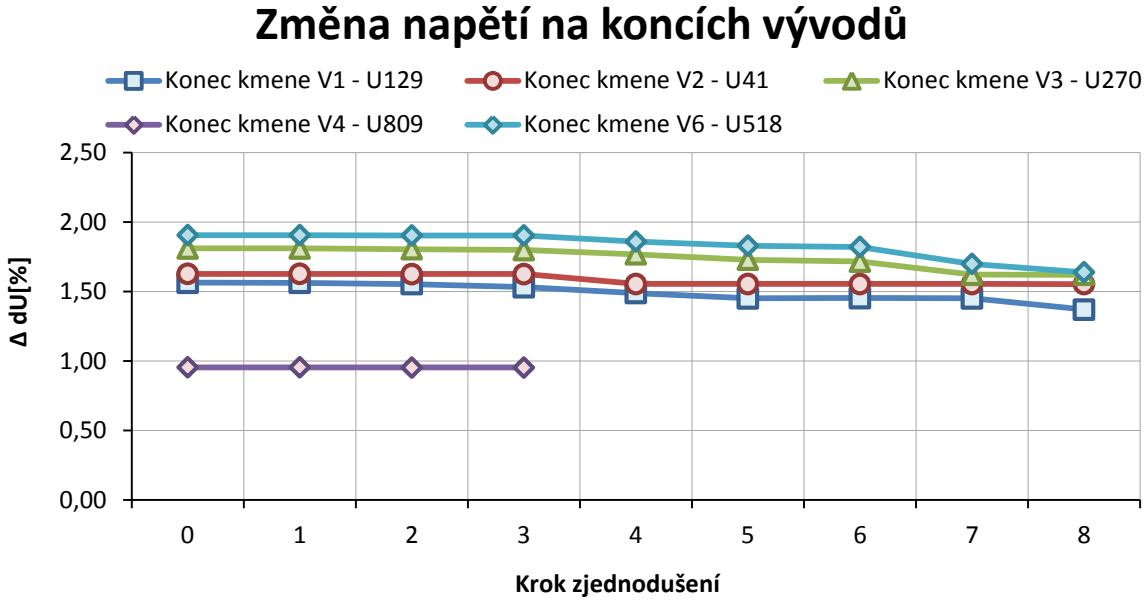
			Krok zjednodušení								
Vývod	**Uzel**	**Popis místa**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
V1	U100	FVE1	22,87	X	X	X	X	X	X	X	X
	U137	FVE2	23,02	23,00	X	X	X	X	X	X	X
	U140	FVE3	23,02	22,99	23,02	X	X	X	X	X	X
	U129	Konec kmene	22,93	22,93	22,92	22,92	22,91	22,90	22,89	22,89	22,87
	U160	Konec nej. odbocky	22,91	22,91	22,90	22,90	22,89	22,88	22,87	22,87	22,85
V2	U41	FVE4	23,09	23,09	23,09	23,08	23,06	23,06	23,05	23,05	23,04
V3	U279	FVE9	22,91	22,91	22,90	22,90	22,89	22,89	22,88	X	X
	U330	FVE5	22,98	22,98	22,97	22,97	X	X	X	X	X
	U260	FVE8	22,99	22,99	22,98	22,98	22,97	22,96	22,95	22,93	22,93
	U338	FVE6	22,99	X	X	X	X	X	X	X	X
	U349	FVE7	23,03	23,03	23,02	X	X	X	X	X	X
	U269	Konec kmene	22,99	22,99	22,98	22,98	22,97	22,96	22,95	22,93	22,92
	U372	Konec nej odbocky	22,99	22,98	X	X	X	X	X	X	X
V4	U450	FVE10	22,79	22,79	X	X	X	X	X	X	X
	U765	FVE11	22,84	22,84	22,84	22,84	X	X	X	X	X
	U754	Bio1	22,79	22,78	22,78	22,78	22,77	X	X	X	X
	U809	Konec kmene	22,69	22,69	22,69	22,69	X	X	X	X	X
	U875	Konec nej odbocky	22,68	22,68	22,68	22,68	22,67	22,67	22,67	22,66	22,66

V6	U533	VTE1	22,94	22,94	22,93	22,93	22,92	X	X	X	X
	U511	FVE13	22,95	22,94	22,94	22,94	22,92	22,92	22,90	22,89	22,88
	U722	FVE12	22,95	22,94	X	X	X	X	X	X	X
	U518	Konec kmene	22,94	22,94	22,93	22,93	22,91	22,90	22,89	22,88	22,87
	U709	Konec nej odbocky	22,91	22,91	22,90	22,90	X	X	X	X	X

Tab. 24 Úroveň napětí v kritických místech sítě po jednotlivých krocích zjednodušení

4.5.2 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů

Na Obr. 40 uvádím ΔU[%], vyvolané připojením zdrojů. U všech vývodů je patrný klesající charakter, od 4 kroku zjednodušení. Z toho vyplývá, že zjednodušením se zlepšují poměry pro další připojení zdrojů a to je nežádoucí efekt. Proto se tento přístup dá použít maximálně do 3 kroku, dále se zjednodušení jeví jako nevhodné.



Obr. 40 Změna napětí na koncích vývodů po jednotlivých krocích zjednodušení

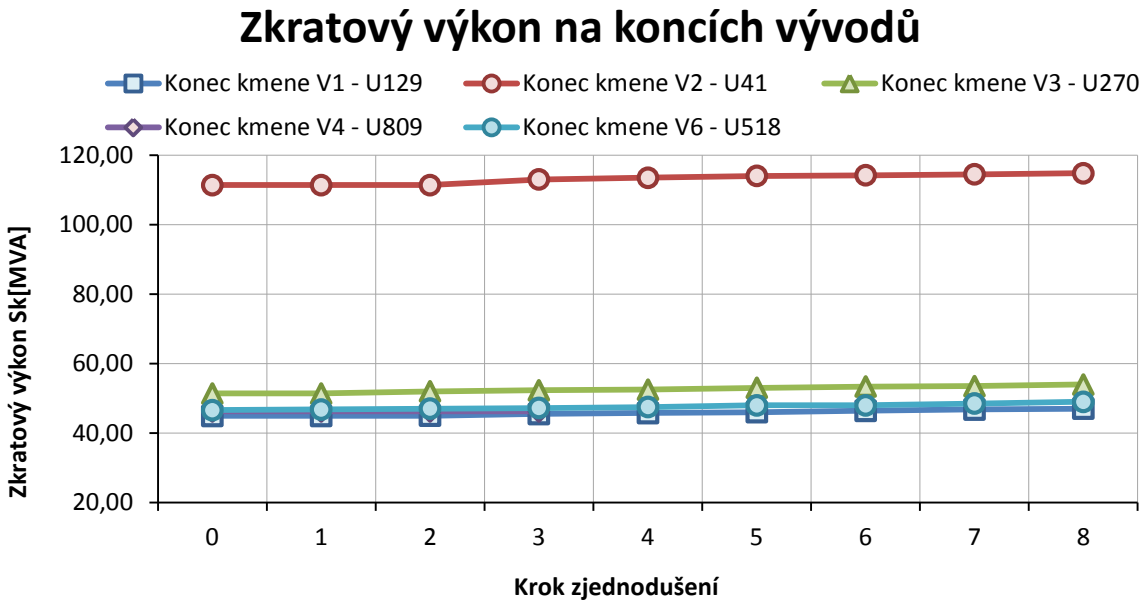
			Krok zjednodušení								
Vývod	**Uzel**	**Popis místa**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
V1	U100	FVE1	0,83	X	X	X	X	X	X	X	X
	U137	FVE2	1,70	1,63	X	X	X	X	X	X	X
	U140	FVE3	1,70	1,56	1,69	X	X	X	X	X	X
	U129	Konec kmene	1,56	1,56	1,55	1,53	1,49	1,45	1,45	1,45	1,37
	U160	Konec nej. odbocky	1,57	1,56	1,55	1,53	1,49	1,45	1,45	1,45	1,37
V2	U41	FVE4	1,63	1,63	1,63	1,63	1,56	1,56	1,56	1,55	1,55
V3	U279	FVE9	1,18	1,18	1,17	1,17	1,14	1,14	1,14	X	X
	U330	FVE5	1,65	1,65	1,65	1,65	X	X	X	X	X
	U260	FVE8	1,75	1,75	1,74	1,74	1,71	1,69	1,69	1,60	1,59
	U338	FVE6	1,80	X	X	X	X	X	X	X	X

	U349	FVE7	1,97	1,97	1,97	X	X	X	X	X	X
	U269	Konec kmene	1,81	1,81	1,80	1,80	1,77	1,73	1,72	1,62	1,62
	U372	Konec nej odbocky	1,81	1,81	X	X	X	X	X	X	X
V4	U450	FVE10	0,67	0,67	X	X	X	X	X	X	X
	U765	FVE11	1,29	1,29	1,28	1,27	X	X	X	X	X
	U754	Bio1	1,07	1,08	1,07	1,06	1,05	X	X	X	X
	U809	Konec kmene	0,95	0,95	0,95	0,95	X	X	X	X	X
	U875	Konec nej odbocky	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,92	0,86
V6	U533	VTE1	1,48	1,48	1,48	1,48	1,43	X	X	X	X
	U511	FVE13	1,73	1,73	1,73	1,73	1,68	1,65	1,65	1,56	1,50
	U722	FVE12	1,99	1,99	X	X	X	X	X	X	X
	U518	Konec kmene	**1,91**	**1,91**	**1,90**	**1,90**	**1,86**	**1,83**	**1,82**	**1,70**	**1,64**
	U709	Konec nej odbocky	1,96	1,96	1,96	1,96	X	X	X	X	X

Tab. 25 Změna napětí v kritických místech sítě po jednotlivých krocích zjednodušení

4.5.3 Zkratový výkon

Z průběhu zkratového výkonu, který jsem uvedl na Obr. 41, vyplývají stejné závěry, jako v kapitole výše. Tedy, že v prvních 3 krocích zjednodušení, se zkratový výkon nemění, ale změna ve velikosti začíná až od 4 kroku zjednodušení. Uvedené průběhy mají od 4 kroku rostoucí trend, což je nežádoucí efekt, který vede ke snížení ΔU[%] (vyvolanou připojením zdrojů). Z toho vyplývá, že zjednodušením se zlepšují poměry pro další připojení zdrojů, což je nežádoucí efekt. Proto se tento přístup dá použít maximálně do 3 kroku, dále se zjednodušení jeví jako nevhodné.



Obr. 41 Zkratový výkon na koncích vývodů po jednotlivých krocích zjednodušení

			Krok zjednodušení								
Vývod	**Uzel**	**Popis místa**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
V1	U100	FVE1	59,96	X	X	X	X	X	X	X	X
	U137	FVE2	49,76	49,78	X	X	X	X	X	X	X
	U140	FVE3	49,69	49,69	49,76	X	X	X	X	X	X
	U129	Konec kmene	44,95	44,95	45,00	45,50	45,80	46,00	46,40	46,80	47,00
	U160	Konec nej. odbocky	42,85	42,85	42,90	43,40	43,70	43,90	44,30	44,70	44,90
V2	U41	FVE4	111,38	111,38	111,38	113,00	113,50	114,00	114,20	114,50	114,80
V3	U279	FVE9	56,42	56,42	57,00	57,30	57,50	58,00	58,40	X	X
	U330	FVE5	53,79	53,79	53,80	53,80	X	X	X	X	X
	U260	FVE8	60,99	60,99	61,02	61,02	61,26	61,36	61,36	61,79	61,78
	U338	FVE6	60,47	X	X	X	X	X	X	X	X
	U349	FVE7	56,13	56,13	56,14	X	X	X	X	X	X
	U269	Konec kmene	51,42	51,42	52,00	52,30	52,50	53,00	53,40	53,50	54,00
	U372	Konec nej odbocky	49,42	49,42	X	X	X	X	X	X	X
V4	U450	FVE10	56,23	56,23	X	X	X	X	X	X	X
	U765	FVE11	51,23	51,23	51,23	51,23	X	X	X	X	X
	U754	Bio1	54,57	54,57	54,62	54,88	55,28	X	X	X	X
	U809	Konec kmene	46,23	46,23	46,23	46,23	X	X	X	X	X
	U875	Konec nej odbocky	51,06	51,06	51,06	51,06	51,09	51,07	51,00	50,94	50,77
V6	U533	VTE1	55,21	55,21	55,23	55,23	55,62	X	X	X	X
	U511	FVE13	52,36	52,36	52,38	52,38	52,66	52,98	53,00	54,08	54,89
	U722	FVE12	51,58	51,58	X	X	X	X	X	X	X
	U518	Konec kmene	46,61	46,81	47,00	47,20	47,50	48,00	48,00	48,50	49,00
	U709	Konec nej odbocky	50,64	50,63	50,64	50,69	X	X	X	X	X

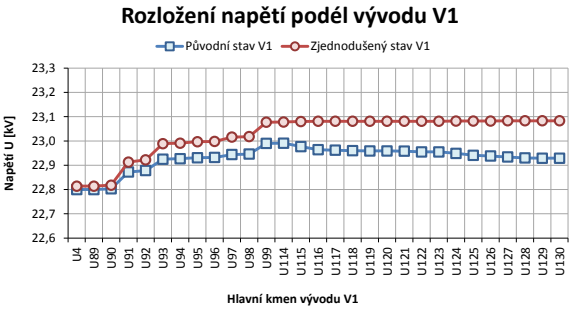
Tab. 26 Zkratový výkon v kritických místech sítě po jednotlivých krocích zjednodušení

4.6 Zjednodušení chodem naprázdno

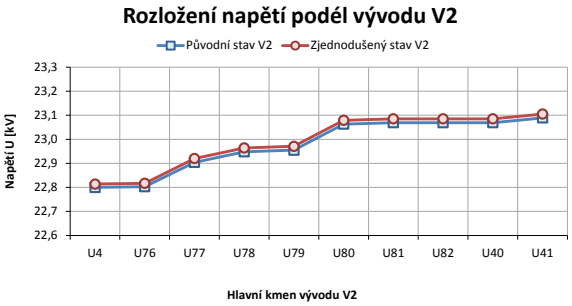
V této kapitole jsem zjednodušení provedl pomocí chodu naprázdno. Postup tohoto zjednodušení spočívá v pasivování všech zátěží v modelu. Následně porovnávám průběhy napětí podél vývodu ze stavů před a po pasivování všech zátěží. Obdobné porovnání uvádím také pro ΔU[%] vyvolanou připojením zdrojů.

4.6.1 Rozložení napětí podél vývodu

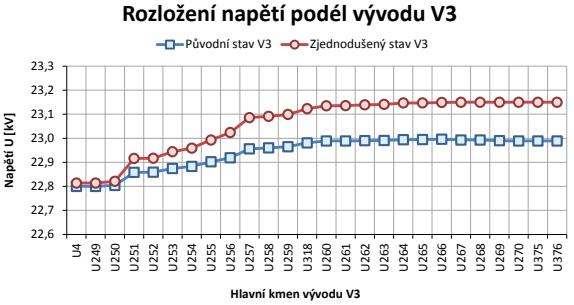
Z uvedených grafů je zřejmé, že zjednodušení chodem naprázdno ovlivňuje všechny vývody. Různé průběhy ve vývodech jsou způsobeny rozdílnou topologií vývodů. Některé mají rovnoměrné rozmístění odboček a zátěží podél kmene, na jiných jsou naopak rozsáhlejší odbočky s větším instalovaným výkonem zátěží. K největšímu rozdílu úrovně napětí dochází ve vývodech V4 a V6, kdy je rozdíl napětí více jak 1% Un.



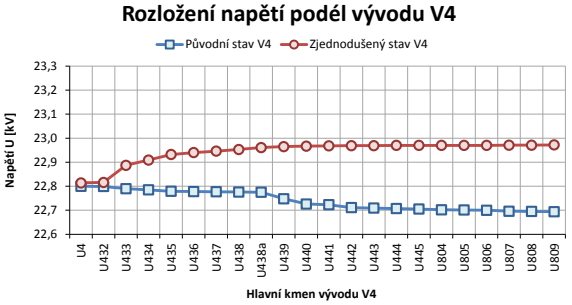
Obr. 42 Rozložení napětí podél vývodu V1



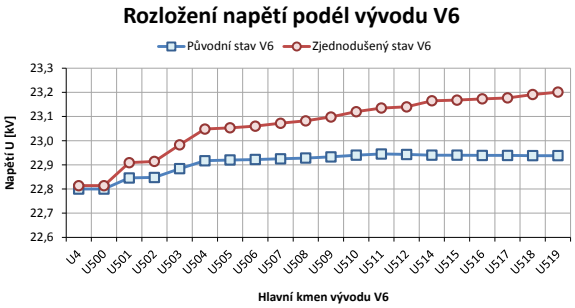
Obr. 43 Rozložení napětí podél vývodu V2



Obr. 44 Rozložení napětí podél vývodu V3



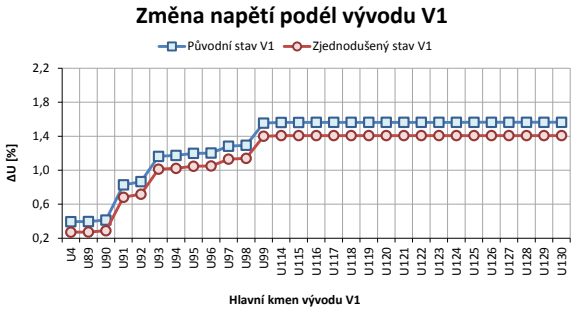
Obr. 45 Rozložení napětí podél vývodu V4



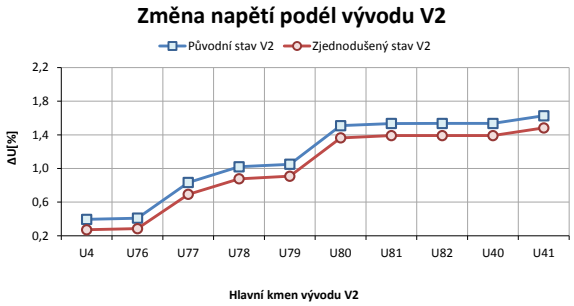
Obr. 46 Rozložení napětí podél vývodu V6

4.6.2 Změna napětí vyvolaná připojením zdrojů

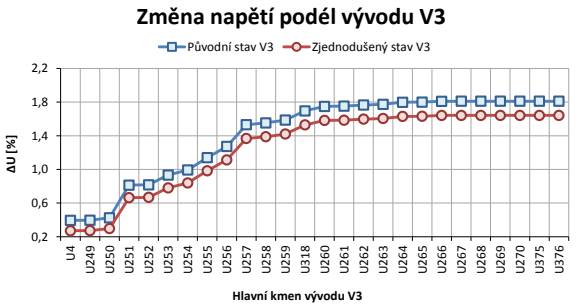
Jako v předchozí kapitole, i zde dochází chodem naprázdno ke změně sledovaných hodnot. Ve všech vývodech dochází ke snížení hodnoty ΔU[%] vyvolanou připojením zdrojů. Největší rozdíl je opět ve vývodech V4 a V6, jmenovitě na koncích těchto vývodů. Ve vývodu V6, kde byla hodnota ΔU[%] po připojení zdrojů téměř limitní 2%, se hodnota připojitelnosti snížila z hodnoty 1,94% na hodnotu 1,76%, což činní rozdíl téměř 0,2%. Z tohoto porovnání vyplývá, že tímto způsobem zjednodušení se zlepšují poměry pro další připojení zdrojů, což je nežádoucí efekt. Proto se zjednodušení jeví jako nevhodné.



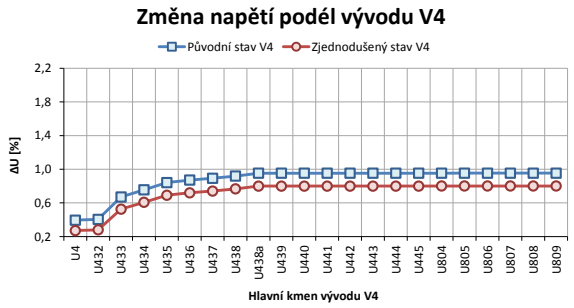
Obr. 47 Změna napětí podél vývodu V1



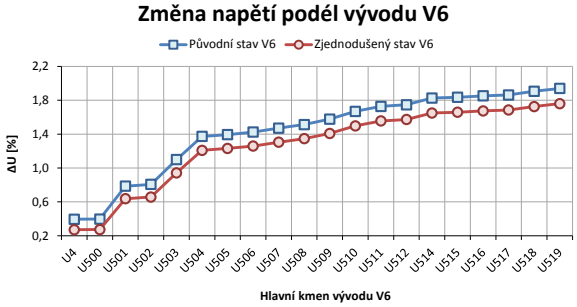
Obr. 48 Změna napětí podél vývodu V2



Obr. 49 Změna napětí podél vývodu V3



Obr. 50 Změna napětí podél vývodu V4



Obr. 51 Změna napětí podél vývodu V6

5 Posouzení vlivu výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti

Na základě přechozích výsledků této diplomové práce byl prokázán vliv připojených OZE na úroveň napětí v síti. Ta ovšem také souvisí s úrovní Jouleových ztrát, neboť:

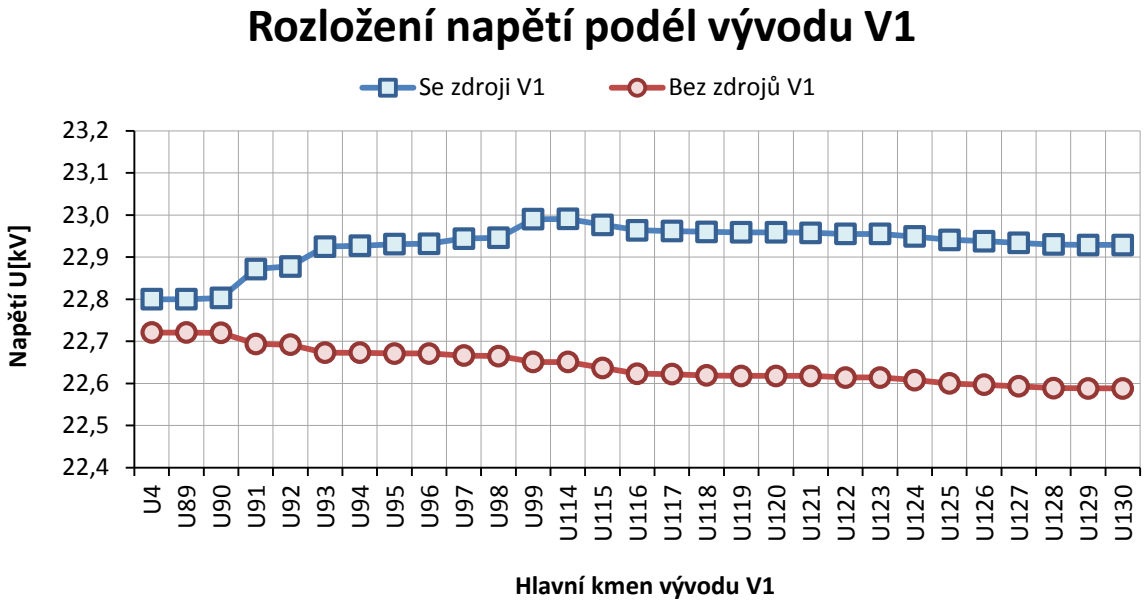
$$P_{3f} = 3U_f I_f = \sqrt{3} U_s I_f = \frac{U_s^2}{R_f} \qquad (5a)$$

V této kapitole porovnávám vliv výroby všech obnovitelných zdrojů, které jsou v modelu obsaženy na velikost ztrát v síti. Srovnání je provedeno po jednotlivých vývodech a vždy jsou sledovány uzly na hlavním kmenu vývodu. Z porovnání stavu před připojením a po připojení všech OZE jsou níže uvedeny tabulky, kde jsou souhrnně uvedeny jednotlivé sledované hodnoty. Dále jsou pro lepší názornost z těchto hodnot vytvořeny grafy.

5.1 Porovnání velikosti napětí před a po připojení zdrojů

Vývod V1

Z grafu níže je patrné, že připojené zdroje mají vliv na úroveň napětí v síti. K největšímu rozdílu napětí ve stavech před připojením a po připojení zdrojů dochází na konci vývodu a dosahuje hodnoty 340V. V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty napětí před a po připojení vždy pro první a poslední dva uzly na hlavním kmenu vývodu.



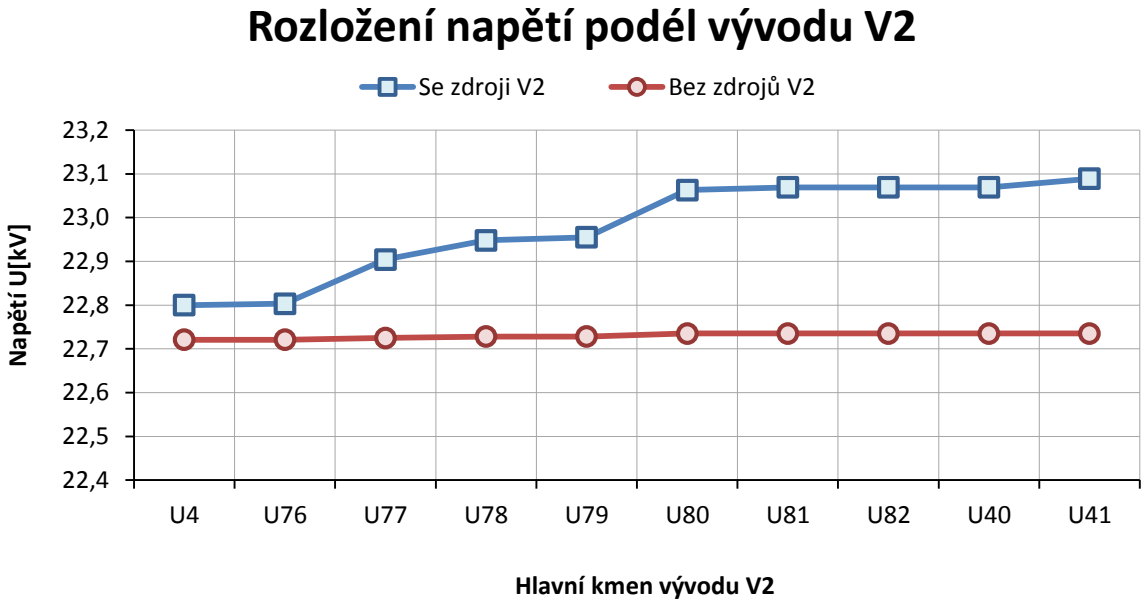
Obr. 52 Rozložení napětí podél vývodu V1 – před a po připojení zdrojů

Uzel	U4	U89	U129	U130
Větev		V1:1	V1:26	V1:27
U se zdroji	22,80	22,80	22,93	22,93
U bez zdrojů	22,72	22,72	22,59	22,59
Δ U	**0,08**	**0,08**	**0,34**	**0,34**

Tab. 27 Velikost napětí na přípojnici a v místě připojení zdrojů V1 – před a po připojení zdrojů

Vývod V2

Vývod V2 je elektricky krátký a jsou na něj připojeny pouze dvě zátěže o instalovaném výkonu 60 kW. Na konci tohoto vývodu je připojen zdroj, který má největší hodnotu instalovaného výkonu (3,7 MW) ze všech zdrojů, které jsou ve schématu obsaženy. Průběh napětí před a po připojení má jiný charakter než ostatní vývody a to proto, že na zátěžích, které jsou v tomto vývodu připojeny, nemůže vzniknout tak velký úbytek napětí. Zde je patrná vyšší úroveň napětí na konci vývodu se zdroji a naopak téměř lineární průběh po odpojení zdrojů. Maximální rozdíl napětí je na konci vývodu a dosahuje hodnoty 350V.



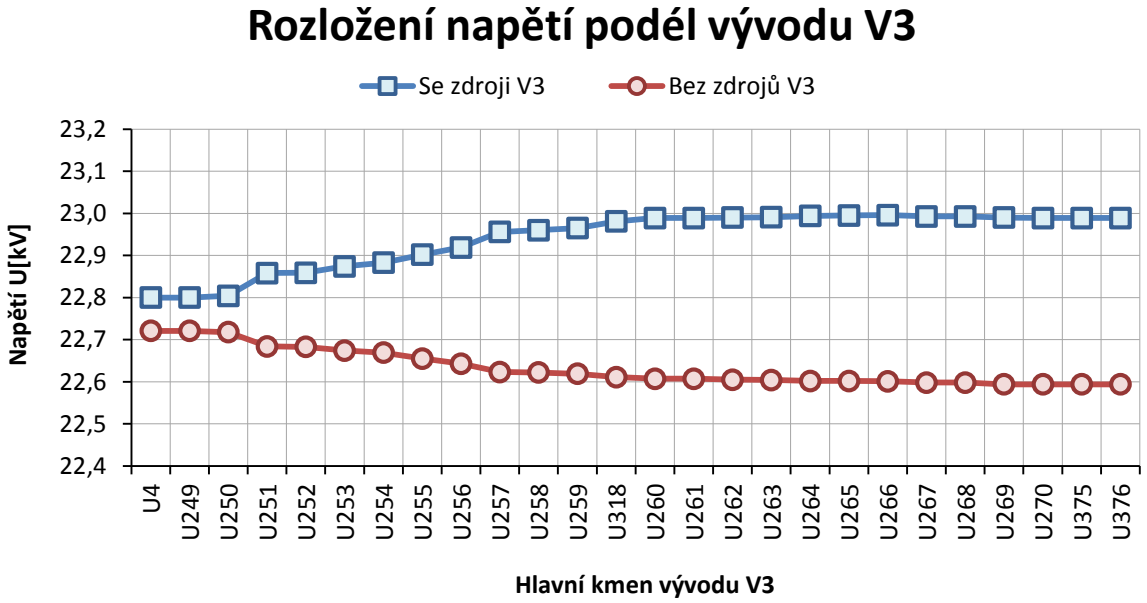
Obr. 53 Rozložení napětí podél vývodu V2 – před a po připojení zdrojů

Uzel	U4	U76	U40	U41
Větev		V2:1	V2:8	V2:9
U se zdroji	22,80	22,80	23,07	23,09
U bez zdrojů	22,72	22,72	22,74	22,74
Δ U	**0,08**	**0,08**	**0,33**	**0,35**

Tab. 28 Velikost napětí na přípojnici a v místě připojení zdrojů V2 – před a po připojení zdrojů

Vývod V3

Z grafu vyplývá, že tento vývod má téměř shodný průběh jako vývody V1 a V6. Tedy ve stavu, kdy jsou zdroje připojeny, dochází ke zvýšení napětí na konci vývodu a naopak při odpojení zdrojů je tento trend opačný a na konci vývodu dochází k poklesu. Maximální hodnota rozdílu napětí je na konci vývodu a dosahuje hodnoty 400V.



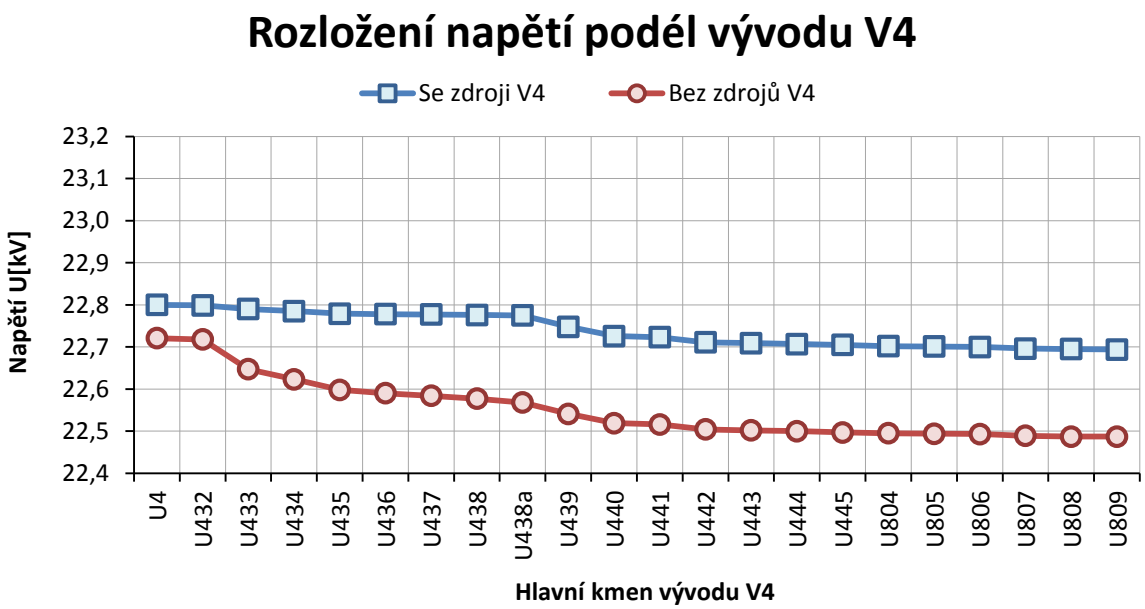
Obr. 54 Rozložení napětí podél vývodu V3 – před a po připojení zdrojů

Uzel	U4	U249	U375	U376
Větev		V3:0	V3:23	V3:24
U se zdroji	22,80	22,80	22,99	22,99
U bez zdrojů	22,72	22,72	22,59	22,59
Δ U	**0,08**	**0,08**	**0,40**	**0,40**

Tab. 29 Velikost napětí na přípojnici a v místě připojení zdrojů V3 – před a po připojení zdrojů

Vývod V4

Vývod V4 má oproti ostatním vývodům jiný charakter, který je patrný z průběhu napětí v grafu níže (stav kdy byly připojeny zdroje). Jiným charakterem je myšleno zapojení, kdy je zhruba v půlce hlavního kmene vývodu připojena odbočka, kde je velký instalovaný výkon v zátěžích, které následně ovlivňují tvar průběhu napětí. Po odpojení zdrojů je charakter téměř shodný jako v ostatních vývodech. Maximální hodnota rozdílu napětí mezi stavy je na konci vývodu a dosahuje hodnoty 210V, což je nejmenší rozdíl hodnot ze všech sledovaných vývodů.



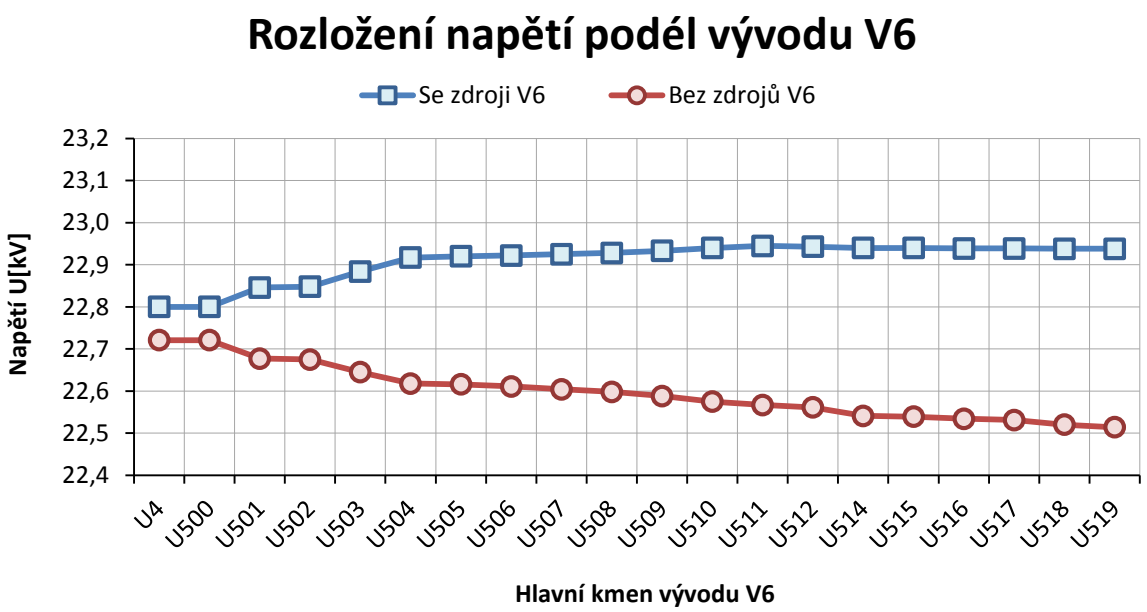
Obr. 55 Rozložení napětí podél vývodu V4 – před a po připojení zdrojů

Uzel	U4	U432	U808	U809
Větev		V4:1	V4:20	V4:21
U se zdroji	22,80	22,80	22,70	22,69
U bez zdrojů	22,72	22,72	22,49	22,49
Δ U	**0,08**	**0,08**	**0,21**	**0,21**

Tab. 30 Velikost napětí na přípojnici a v místě připojení zdrojů V4 – před a po připojení zdrojů

Vývod V6

Tento vývod má podobný charakter průběhu jako vývod V1 a V3, tedy zvyšující se napětí na konci vývodu ve stavu se zdroji a naopak trend klesajícího napětí podél vývodu. K největšímu rozdílu hodnot napětí mezi stavy dochází na konci vývodu a dosahuje hodnoty 420V, je to zároveň největší rozdíl napětí napříč všemi vývody. Jedním z hlavních důvodů ΔUmax je ten, že na konci tohoto vývodu přispívá zdroj o instalovaném výkonu téměř 0,5 MW.



Obr. 56 Rozložení napětí podél vývodu V6 – před a po připojení zdrojů

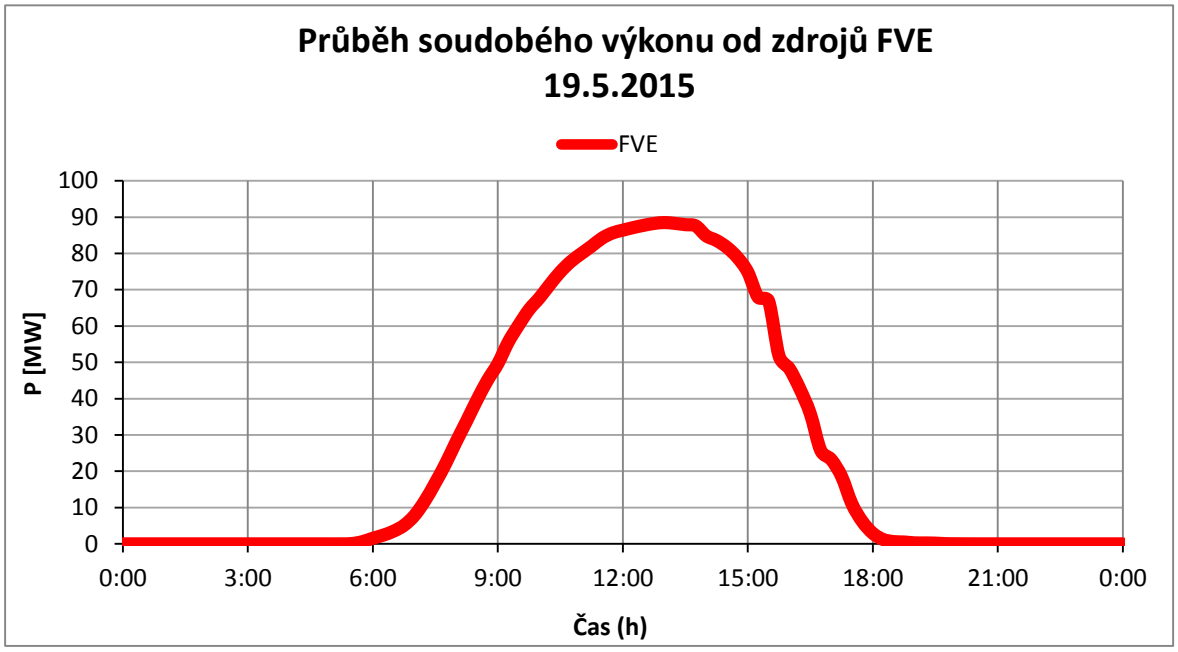
Uzel	U4	U500	U518	U519
Větev		V6:1	V6:18	V6:19
U se zdroji	22,80	22,80	22,94	22,94
U bez zdrojů	22,72	22,72	22,52	22,51
Δ U	**0,08**	**0,08**	**0,42**	**0,42**

Tab. 31 Velikost napětí na přípojnici a v místě připojení zdrojů V6 – před a po připojení zdrojů

5.2 Vliv výroby na velikost ztrát

V tabulkách níže je uvedeno porovnání ztrát v síti před připojením a po připojení zdrojů. Dle výpočtu, který vychází ze zvýšené úrovně napětí v celé síti, viz přechozí kapitola, se ztráty v síti sníží o 44,8 kW a 108,7 kVAr.

K výpočtu snížení ztrát je ovšem důležité poznamenat, že typický průběh dodávky OZE během slunečného dne, viz Obr. 57, má své maximum jen několik hodin kolem poledne. Tedy k nárůstu napětí dochází pouze po určitou dobu. Rozptyl napětí v síti vn sice částečně koriguje HRT v TR 110/22 kV, ale stejně v síti vn díky rozptýlené výrobě úroveň napětí mění a ve výsledku komplikuje optimální nastavení odbočky traf vn/nn. Aby při dodávce ve slunečných dnech nevznikala přepětí u konečných odběratelů na hladině nn, musí být odbočka distribučních transformátorů vn/nn nastavena k zajištění nižší úrovně napětí na nn, což po většinu času paradoxně způsobí pravděpodobně vyšší ztráty v síti nn. Sítě nn jsou samozřejmě mnohem rozsáhlejší, a tedy je třeba brát vypočtené snížení ztrát s jistou rezervou.



Obr. 57 Průběh soudobého výkonu od zdrojů FVE ve dne 19..5.2015

Bilance výkonů	
	∑
dP [kW]	91,564
dQ [kVAr]	1041,33

Tab. 32 Ztráty v síti po připojení zdrojů

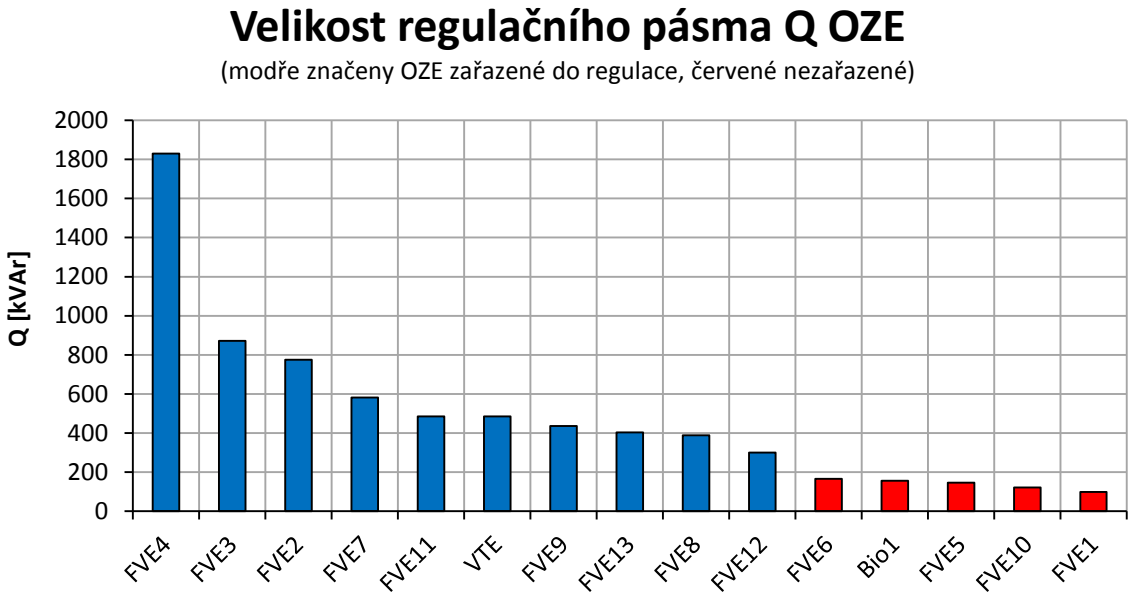
Bilance výkonů	
	∑
dP [kW]	46,785
dQ [kVAr]	932,641

Tab. 33 Ztráty v síti před připojením zdrojů

6 Navržení využití jednotlivých typů OZE na stabilizaci napětí

6.1 Stabilizace napětí regulací Q

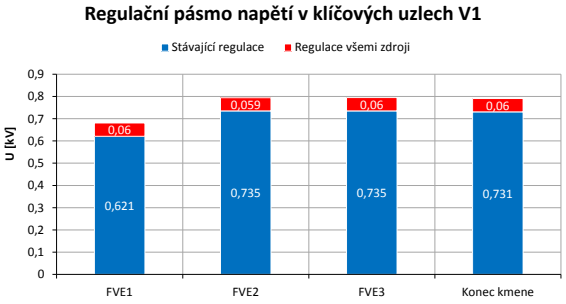
Zdroje rozptýlené výroby jsou schopny svými regulačními vlastnostmi (regulace Q) ovlivňovat místně úroveň napětí a to v obou směrech (dodávka Q – nárůst napětí resp. odběr Q – snížení napětí). Regulační rozsah je definován v Pravidlech provozování distribučních soustav [1] a to v rozsahu účiníku 0,90 ind. (dodávka Q) – 0,90kap. (odběr Q), tato regulační schopnost je podmínkou připojení a požadována v Příloze 4 PPDS [1] pravidly pro připojování od roku 2013. Potenciál dodávky resp. odběru Q jednotlivými zdroji rozptýlené výroby připojenými v napájecí oblasti R 110/22 kV je zřejmý z grafu uvedeného na Obr. 58 (zdroje v současné době realizovanými přenosy do DŘS a regulací Q na strojích jsou vyznačeny modře, zdroje do DŘS nezařazené jsou vyznačeny červeně). Největší schopnost dodávky, resp. odběru, má FVE4 (1,8 MVAr) ze zařazených zdrojů do DŘS, ze zdrojů nezařazených do DŘS pak FVE6 (0,16 MVAr).



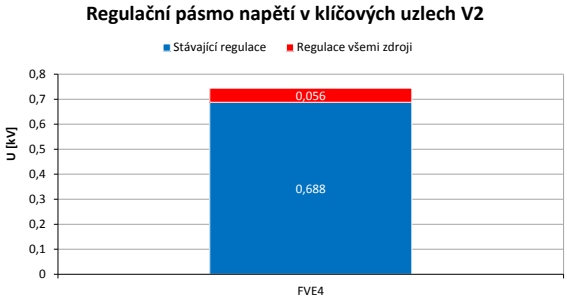
Obr. 58 Velikost regulačního pásma Q u zdrojů OZE

Abych mohl zjistit, jak významně mohou stávající zdroje rozptýlené výroby změnou svých provozních parametrů ovlivňovat napěťové poměry v analyzované napájecí oblasti R 110/22 kV, zpracoval jsem teoretický dopad možné regulace účiníku na zdrojích, které v současné době touto regulací disponují (+0,90 pro všechny stroje a -0,90 pro všechny

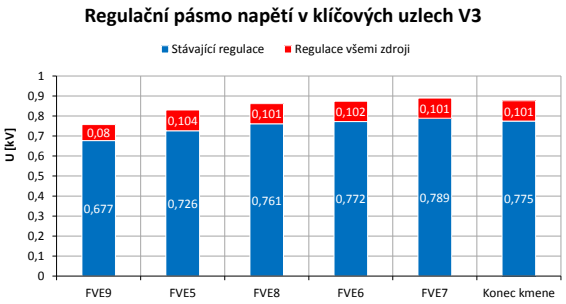
stroje). Podobným způsobem byla zjištěna teoretická schopnost ovlivnění napětí v R 110/22 kV všemi zdroji rozptýlené výroby (bez respektování, zda je či není v současné době implementována regulace, přenosy do DŘS apod.). Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujících grafech. Grafy uvádí rozptyly napětí ve vybraných uzlech jednotlivých vývodů a na přípojnicích v R 110/22 kV. Z obrázku tak vyplývá, že např. v uzlu U4 je možná ovlivnitelnost při použití všech zdrojů (značné toky jalového výkonu v síti) cca 1,29 kV. Uvnitř modelované sítě je ovlivnitelnost řiditelností nižší např. na vývodu V3 až 0,9 kV. Výše ovlivnění úrovně napětí je dána elektrickou vzdáleností některého z výkonově významnějších zdrojů. Největší dopad regulace Q na úroveň napětí v porovnání mezi stávajícími a teoretickými (nasazení regulace Q na všech zdrojích) možnostmi je na vývodu V3 a to cca 0,1 kV.



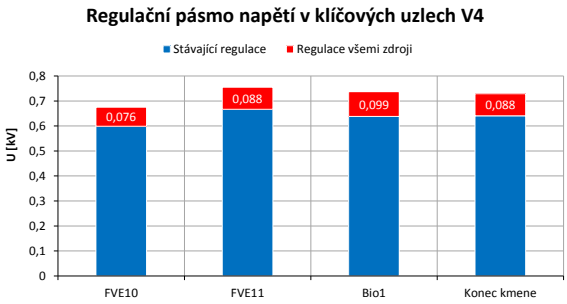
Obr. 59 Regulační pásmo napětí ve vývodu V1



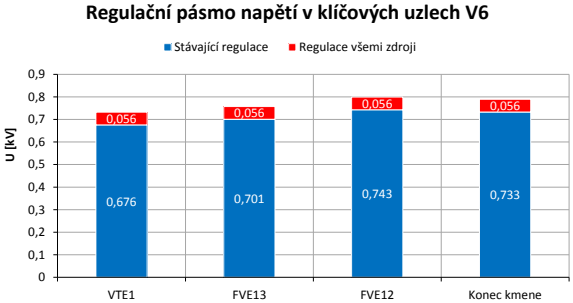
Obr. 60 Regulační pásmo napětí ve vývodu V2



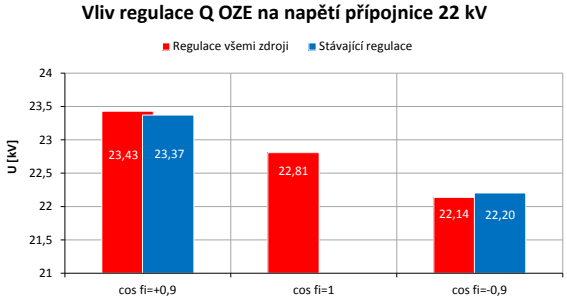
Obr. 61 Regulační pásmo napětí ve vývodu V3



Obr. 62 Regulační pásmo napětí ve vývodu V4



Obr. 63 Regulační pásmo napětí ve vývodu V6



Obr. 64 Vliv regulace Q na přípojnici 22 kV

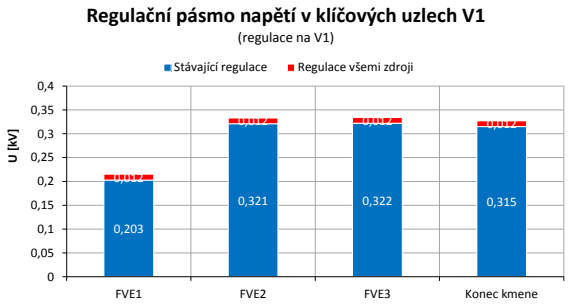
Výše uvedený případ uvádí dopad regulace všech zdrojů na napěťové poměry a nerespektuje tak přetoky jalového výkonu v rámci napájecí oblasti R110/22 kV. Abych mohl stanovit dopad regulace zdrojů na daných vývodech (předpoklad řešení problémů napětí jednotlivých vývodů zdroji na těchto vývodech připojených), zpracoval jsem přehled ovlivnitelnosti napětí jednotlivých vývodů zdroji připojenými na těchto vývodech vždy v členění:

- Stávají rozsah regulace
- Teoretický rozsah regulace (po implementaci regulace ve všech zdrojích na daném vývodu)

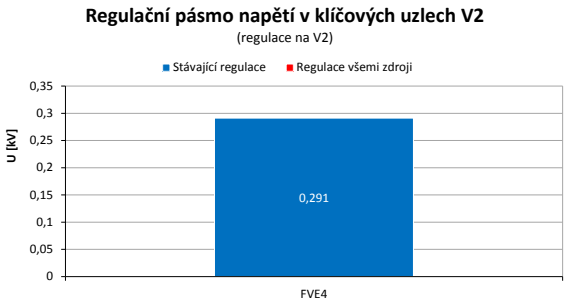
Při posuzování poměrů konkrétního vývodu / regulace zdrojů připojených na tomto vývodu byly zdroje připojené na ostatních vývodech nastaveny na neutrální účiník resp. účiník, s kterým jsou v současné době trvale provozovány. Z grafů je tak zřejmé, že ovlivnitelnost napětí jednotlivých vývodů zdrojů rozptýlené výroby je nižší, než ve výše uvedeném teoretickém předpokladu regulace všech zdrojů. Avšak i přesto schopnost zdrojů rozptýlené výroby řešit lokální napěťové problémy v posuzované napájecí oblasti R 110/22 kV není zanedbatelná, což vyplývá z grafů uvedených níže.

Při posuzování dopadu regulace zdrojů je nutné respektovat současný a možný budoucí stav, mohou tak nastat následující dva případy:

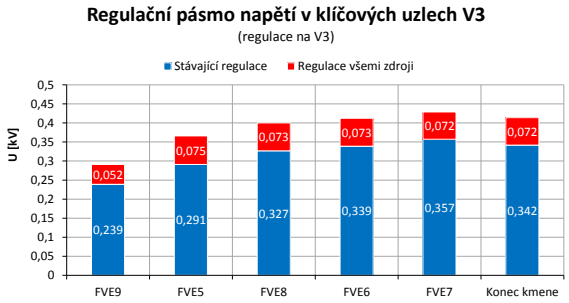
- Připojené zdroje mají implementovanou regulaci Q a není připojen další zdroj, u kterého by eventuální implementaci regulace Q bylo možné uvažovat – ovlivnitelnost napětí je možná pouze v rozsahu současného stavu – V6, V2.
- Připojené zdroje na daném vývodu mají implementovanou regulaci Q, avšak na daném vývodu jsou připojeny i další zdroje, u kterých je možné implementaci uvažovat – možné ovlivnění napětí jak v současném stavu, tak i ve stavu budoucím – V1, V3, V4.



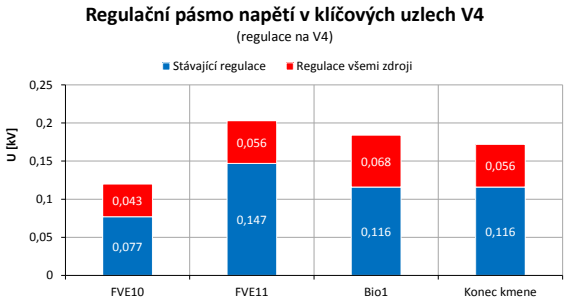
Obr. 65 Regulační pásmo napětí ve vývodu V1



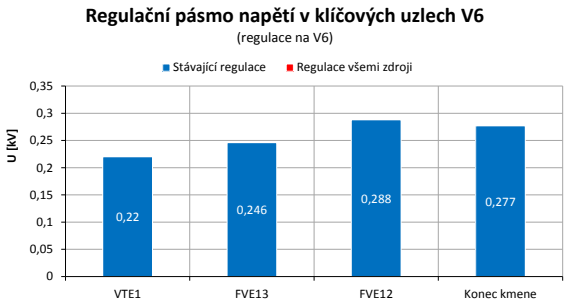
Obr. 66 Regulační pásmo napětí ve vývodu V2



Obr. 67 Regulační pásmo napětí ve vývodu V3



Obr. 68 Regulační pásmo napětí ve vývodu V4



Obr. 69 Regulační pásmo napětí ve vývodu V6

6.2 Ostatní metody řešení regulace

V současné době je do DS 22kV připojeno celkem 15 zdrojů rozptýlené výroby o celkovém výkonu 14,54 MW. Z toho výkonu je regulováno 10 zdrojů o celkovém výkonu 13,13 MW. Zbývající zdroje nejsou vybaveny regulací Q, jde o pět zdrojů o výkonu 1,41 MW.

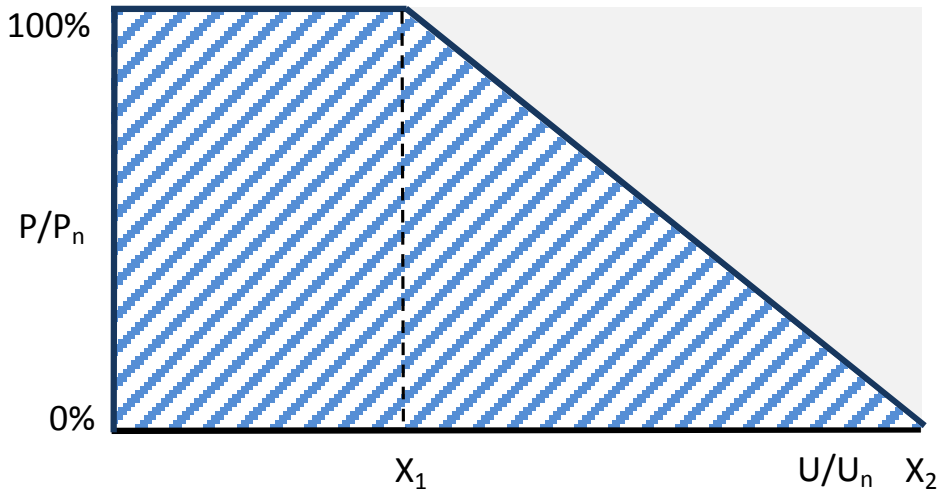
6.2.1 Kompenzační a dekompenzační zařízení

Alternativou pro regulaci napěťových poměrů v místě vzniku větší napěťové změny či vybočení napětí z požadovaných mezí v případech, kdy jsou připojen zdroje rozptýlené výroby, které nemají dostupnou regulaci účiníku, je možné tento regulační výkon získat

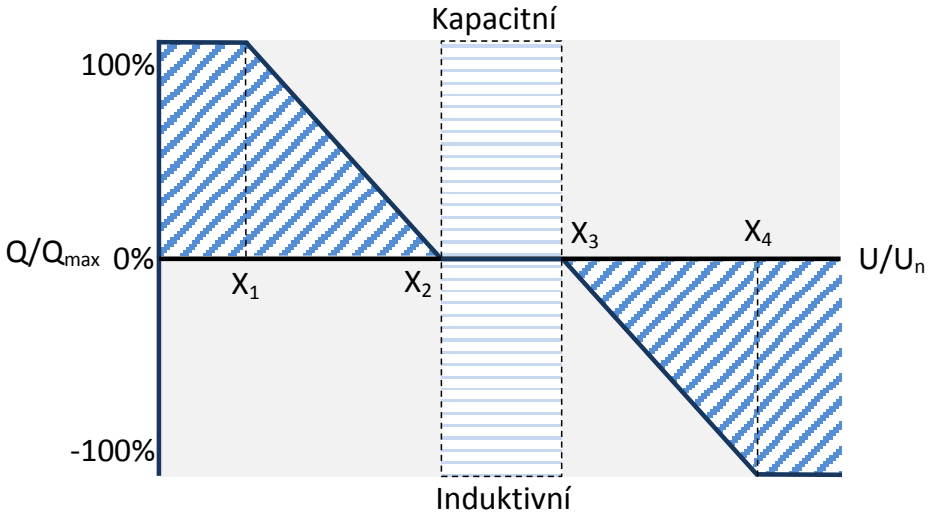
instalací kompenzačně/dekompenzačního zařízení. Aby toto zařízení dostatečným způsobem korigovalo dostatečně dopad připojené rozptýlené výroby, je nutné připojení takovéhoto zařízení na vývodu, kde je připojena rozptýlená výroba bez regulace a to, pokud je to možné, co nejblíže předávacímu místu. Pokud je zdroj připojen v místě s velkým zkratovým výkonem, respektive blízko napájecímu uzlu 110/22 kV, nebývá ovlivnění napětí výrazné a případné napěťové odchylky vyřeší regulace na napájecím transformátoru. Instalace kompenzačně/dekompenzační jednotky tak přichází v úvahu v případech zdrojů vnořených hlouběji do DS. Při instalaci takovéhoto zařízení je nutné respektovat provozní stavy, kdy regulace účiníku probíhá v předem definovaných skocích. Zařízení tohoto typu s plynulou regulací účiníku jsou pro sítě vn příliš nákladná. Optimálním řešením je instalace takovéto jednotky u daného zdroje a tím i splnění požadavků uvedených v [1]. Na konkrétním případě by se jednalo o řešení, které se v investiční rovině pohybuje cca v následujících řádech 1,2 MW – 1,5 mil. Kč, 2 MW – 2,4 mil Kč, 3 MW – 4 mil Kč. Pokud by se jednalo o samostatně řešenou instalaci kompenzačně/dekompenzačního zařízení v DS, pak je nutné počítat také s výstavbou trafostanice vn/nn.

6.2.2 Smart funkce střídačů-P/U a Q/U charakteristika

Moderní střídače umožňují regulovat činný a jalový výkon v závislosti na velikosti napětí v místě připojení. Tato regulace probíhá autonomně. Princip regulace je patrný z níže uvedených obrázků.



Obr. 70 Regulace pomocí P(U) charakteristiky



Obr. 71 Regulace pomocí Q(U) charakteristiky

Parametrizací klíčových bodů lze modifikovat tvar regulační charakteristiky a přizpůsobit tak regulaci FVE lokálním podmínkám distribuční sítě. Parametrizaci charakteristik střídačů lze provést lokálně, nebo dálkově nadřazeným systémem distribuční sítě dle okamžitých potřeb [6].

Závěr

V první části práce jsem namodeloval a popsal řešenou síť. Model jsem sestavoval nejprve ze strany napájení, tj. transformovny 110/22 kV, až po konečné větvě a uzly v síti vn. Výsledný výpočetní model sítě obsahuje 513 uzlů, 13 zdrojů, 198 zátěží a 499 úseků vedení.

Dále jsem v dotčené síti spočetl napěťové poměry v uzlech a proudové a výkonové poměry ve větvích. Zjištění poměrů v síti je důležité pro následné porovnání výsledků se stavy, kdy jsem síť zjednodušil, či jsem posuzoval vliv výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti.

V dalším bodu jsem jako reakci na zjednodušená schémata studií připojitelnosti z dob masivního připojování OZE doložil vliv postupného zjednodušování modelu na vypočtené napěťové a výkonové poměry v dané části DS. Provedl jsem čtyři varianty zjednodušení a porovnával jsem úroveň napětí a změny napětí podél vývodu s výchozím stavem.

První variantou je zjednodušení redukcí odboček podél kmene vývodu, při kterém jsem postupoval tak, že jsem všechny odbočky podél hlavního kmene vývodu postupně redukoval, tedy jsem zanedbával délky vedení odboček a přesouval jejich zatížení na hlavní kmen vývodu. Ze sledování uvedených parametrů vyplývá, že nedochází k výraznému ovlivnění a tudíž lze považovat tento stav zjednodušení za přijatelný.

Další zjednodušení modelu spočívalo ve využití tzv. momentového pravidla. Zde jsem navazoval na již úspěšně zjednodušený model a vývody dále upravoval podél hlavního kmene všech vývodů. I tuto variantu zjednodušení lze považovat za přijatelnou, jelikož se sledované parametry markantně nemění.

Při analýze metody zjednodušení úpravou délky vedení jsem model sítě postupně redukoval odstraňováním úseků vedení. V osmi krocích zjednodušení jsem vždy model porovnal s modelem původním z hlediska velikosti úbytků napětí, velikosti změny napětí způsobenou připojením zdrojů či jiných parametrů. Z vyhodnocení je patrné, že se zjednodušením zlepšují poměry pro další připojení zdrojů a to je nežádoucí efekt. Proto se tento přístup dá použít maximálně do 3 kroku (zanedbání délek 0 – 99 metrů), dále se zjednodušení jeví jako nevhodné.

Poslední zjednodušení jsem provedl chodem naprázdno. Postup tohoto zjednodušení spočívá v pasivování všech zátěží v modelu. Následně porovnávám průběhy napětí podél vývodu ze stavů před a po pasivování všech zátěží. Obdobné porovnání uvádím také pro

ΔU[%] vyvolanou připojením zdrojů (z původní hodnoty 1,94% došlo ke snížení na 1,76%, což činní rozdíl téměř 0,2%). Z tohoto porovnání vyplývá, že tímto způsobem zjednodušení se zlepšují poměry pro další připojení zdrojů, což je nežádoucí efekt. Proto se zjednodušení jeví jako nevhodné.

Dalším bodem v mé práci bylo porovnání vlivu výroby OZE na úroveň napětí a ztrát v síti. Z provedených výpočtů vychází, že připojené zdroje mají vliv na úroveň napětí a ztrát v síti. Nejvíce se vliv na úroveň napětí projevila na konci vývodu V6, kdy rozdíl hodnot napětí mezi stavy před a po připojení zdrojů dosahuje hodnoty 2% Un. Z provedeného porovnání ztrát v síti před a po připojení zdrojů vyplývá, že se ztráty v síti sníží o 44,8 kW a 108,7 kVAr.

Na základě předchozích analýz jsem se na závěr této práce zabýval nastavením Q a cosφ u jednotlivých OZE, které vedlo ke stabilizaci napěťových poměrů v síti vn. Stabilizaci napětí jsem řešil pomocí regulace jalového výkonu, kdy jsou zdroje OZE schopny svými regulačními vlastnostmi ovlivňovat místně úroveň napětí a to v obou směrech (dodávka Q – nárůst napětí resp. odběr Q – snížení napětí). Z provedených analýz například vyplývá, že např. v uzlu U4 (přípojnice) je možná ovlivnitelnost při použití všech zdrojů cca 1,29 kV. Pokud se posuneme dále do sítě, zjistíme, že je ovlivnitelnost řiditelností například ve vývodu V3 až 0,9 kV. Pokud bychom regulovali pouze zdroji v jednom vývodu, ovlivnitelnost řiditelností se sníží. Jako příklad uvádím opět vývod V3, kdy se ovlivnitelnost řiditelností snížila na 0,45 kV. V obou případech je tedy dokázáno, že regulací jalového výkonu, můžeme výrazně přispět ke stabilizaci napětí v různých místech sítě.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] Příloha 4 PPDS: *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů ze sítí nízkého nebo vysokého napětí provozovatele distribuční soustavy*, 2014

[2] PNE 33 3430-0 (5.vydání) - *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*

[3] PNE 33 3430-8-2 - *Požadavky pro připojení do distribučních sítí* - Část 8-2: Sítě vn

[4] MERTLOVÁ, HEJTMÁNKOVÁ, TAJTL, *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*, 1. vyd. – dotisk, Plzeň, 2008. 190s.

[5] ČSN EN 50160: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*

[6] HROUDA, PROCHÁZKA, KYSNAR – *Vliv charakteristik Q(U) a P(U) FVE na velikost připojitelného výkonu v sítích nn*, ČK CIRED 2016

[7] FEJT, ČERMÁK, *Elektroenergetika*, Praha: ČVUT, 1989. ISBN 80-01-00060-5

Přílohy

Příloha A – Parametry vedení

Vývod1

Název	Typ	Průřez [mm²]	Un [kV]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [µS/km]	Délka [km]	Imax [A]	R0/R1	X0/X1	Zapojení
FVE2:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,001	245	1	1	A B C
FVE2:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,055	270	1	1	A B C
FVE3:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,002	245	1	1	A B C
FVE3:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,025	270	1	1	A B C
SP101_196:2	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,005	310	1	1	A B C
V1:1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,01	395	1	1	A B C
V1:10	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,71	409	1	1	A B C
V1:11	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,043	409	1	1	A B C
V1:12	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,989	409	1	1	A B C
V1:13	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,989	409	1	1	A B C
V1:14	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,176	409	1	1	A B C
V1:15	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,444	409	1	1	A B C
V1:16	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,122	409	1	1	A B C
V1:17	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,066	310	1	1	A B C
V1:18	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,01	310	1	1	A B C
V1:19	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,652	310	1	1	A B C
V1:2	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,1	310	1	1	A B C
V1:20	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,013	310	1	1	A B C
V1:21	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,333	310	1	1	A B C
V1:22	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,968	310	1	1	A B C
V1:23	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,04	310	1	1	A B C
V1:24	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,119	310	1	1	A B C
V1:25	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,119	310	1	1	A B C
V1:26	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,272	310	1	1	A B C
V1:27	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,659	310	1	1	A B C
V1:3a	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	2,278	310	1	1	A B C
V1:3b	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,214	310	1	1	A B C
V1:4	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,691	310	1	1	A B C
V1:5	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,057	310	1	1	A B C
V1:6	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,139	310	1	1	A B C
V1:7	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,025	409	1	1	A B C
V1:8	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,526	409	1	1	A B C
V1:9	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,068	409	1	1	A B C
Z10:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,02	191	1	1	A B C
Z11:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,016	191	1	1	A B C
Z12:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,017	191	1	1	A B C
Z13:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,035	161	1	1	A B C
Z13:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,035	161	1	1	A B C
Z14:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,035	161	1	1	A B C
Z15:V1	25AlFe6	25	22	1,206	0,411	3,4567	1,157	136	1	1	A B C
Z16:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,027	191	1	1	A B C
Z17:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	2,161	191	1	1	A B C
Z17:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,758	191	1	1	A B C
Z17:V3	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,001	205	1	1	A B C
Z17:V4	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,003	205	1	1	A B C
Z18:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,01	205	1	1	A B C
Z18:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,003	205	1	1	A B C
Z19:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,024	191	1	1	A B C
Z1:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,001	245	1	1	A B C
Z1:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,003	245	1	1	A B C
Z20:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,03	191	1	1	A B C
Z21:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,424	305	1	1	A B C
Z21:V2	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,065	305	1	1	A B C

Z2:V1	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,079	310	1	1	A B C
Z2:V2	K87a185s	185	22	0,194	0,107	78,54	0,705	330	1	1	A B C
Z3:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,001	205	1	1	A B C
Z3:V2	150AXEKCY	150	22	0,239	0,111	72,26	0,539	305	1	1	A B C
Z3:V3	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,343	205	1	1	A B C
Z3:V4	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,42	205	1	1	A B C
Z4:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,006	191	1	1	A B C
Z4:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,457	0,012	205	1	1	A B C
Z5:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,307	245	1	1	A B C
Z5:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,36	245	1	1	A B C
Z5:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,116	191	1	1	A B C
Z6:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,067	245	1	1	A B C
Z6:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,041	245	1	1	A B C
Z7:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,442	205	1	1	A B C
Z8:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	1,4	161	1	1	A B C
Z9:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,02	191	1	1	A B C

Vývod2

Název	Typ	Průřez [mm²]	Un [kV]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [µS/km]	Délka [km]	Imax [A]	R0/R1	X0/X1	Zapojení
V2:1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,167	395	1	1	A B C
V2:2	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,67	254	1	1	A B C
V2:3	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,718	254	1	1	A B C
V2:4	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,118	254	1	1	A B C
V2:5	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,754	254	1	1	A B C
V2:6	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,101	254	1	1	A B C
V2:7	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,001	254	1	1	A B C
V2:8	SAX70	70	22	0,493	0,363	3,4557	0,002	310	1	1	A B C
V2:9	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	1,014	395	1	1	A B C
Z22:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,039	161	1	1	A B C
Z22:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,039	161	1	1	A B C
Z23:V1	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,597	254	1	1	A B C
Z23:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,039	161	1	1	A B C

Vývod3

Název	Typ	Průřez [mm²]	Un [kV]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [µS/km]	Délka [km]	Imax [A]	R0/R1	X0/X1	Zapojení
FVE5:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,159	191	1	1	A B C
FVE5:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,302	270	1	1	A B C
FVE6:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,001	191	1	1	A B C
FVE6:V2	150AXEKCY	150	22	0,239	0,111	72,26	0,02	305	1	1	A B C
FVE7:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,001	161	1	1	A B C
FVE7:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,054	395	1	1	A B C
V34:11	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,317	409	1	1	A B C
V34:20	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,159	409	1	1	A B C
V3:1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,016	395	1	1	A B C
V3:10	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,402	409	1	1	A B C
V3:12	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,765	409	1	1	A B C
V3:13	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,093	409	1	1	A B C
V3:14	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,328	409	1	1	A B C
V3:15	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,214	409	1	1	A B C
V3:16	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,667	409	1	1	A B C
V3:17	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,058	409	1	1	A B C
V3:18	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,25	409	1	1	A B C
V3:19	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,217	409	1	1	A B C
V3:2	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	3,037	409	1	1	A B C
V3:21	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,886	409	1	1	A B C
V3:22	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,339	409	1	1	A B C
V3:23	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,08	191	1	1	A B C
V3:24	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,034	191	1	1	A B C

V3:3	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,03	409	1	1	A B C
V3:4	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,894	409	1	1	A B C
V3:5	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,463	409	1	1	A B C
V3:6	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,673	254	1	1	A B C
V3:7	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,82	254	1	1	A B C
V3:8	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	2,655	409	1	1	A B C
V3:9	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,224	409	1	1	A B C
Z202:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,202	245	1	1	A B C
Z202:V10	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,251	191	1	1	A B C
Z202:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,202	245	1	1	A B C
Z202:V3	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,256	245	1	1	A B C
Z202:V4	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,196	245	1	1	A B C
Z202:V5	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,241	245	1	1	A B C
Z202:V6	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,059	191	1	1	A B C
Z202:V7	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,24	191	1	1	A B C
Z202:V8	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,352	191	1	1	A B C
Z202:V9	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,084	191	1	1	A B C
Z203:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,009	191	1	1	A B C
Z204:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,33	191	1	1	A B C
Z205:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,001	191	1	1	A B C
Z205:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,202	395	1	1	A B C
Z206:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,064	191	1	1	A B C
Z207:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,309	191	1	1	A B C
Z208:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,002	245	1	1	A B C
Z210:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,029	191	1	1	A B C
Z211:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,327	245	1	1	A B C
Z212:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,002	161	1	1	A B C
Z212:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,022	395	1	1	A B C
Z24:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,504	161	1	1	A B C
Z24:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,01	191	1	1	A B C
Z25:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,52	191	1	1	A B C
Z26:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,386	191	1	1	A B C
Z26:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,026	191	1	1	A B C
Z26:V3	35AlFe6	35	22	5,91	0,388	3,4557	0,013	46	1	1	A B C
Z27:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,408	161	1	1	A B C
Z28:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	1,024	205	1	1	A B C
Z29:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,155	191	1	1	A B C
Z30:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,443	191	1	1	A B C
Z31:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	3,8	205	1	1	A B C
Z31:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,129	205	1	1	A B C
Z31:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	1,249	161	1	1	A B C
Z31:V4	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	1,443	161	1	1	A B C
Z31:V5	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,971	161	1	1	A B C
Z31:V6	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,443	191	1	1	A B C
Z31:V7	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,026	191	1	1	A B C
Z31:V8	K83a70s	70	22	0,513	0,126	56,55	0,473	195	1	1	A B C
Z32:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,031	191	1	1	A B C
Z32:V2	K83a70s	70	22	0,513	0,126	56,55	0,817	195	1	1	A B C
Z32:V3	K83a70s	70	22	0,513	0,126	56,55	0,817	195	1	1	A B C
Z33:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,129	161	1	1	A B C
Z34:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,04	161	1	1	A B C
Z35:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,129	205	1	1	A B C
Z35:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,303	161	1	1	A B C
Z36:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,015	191	1	1	A B C
Z37:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,331	205	1	1	A B C
Z37:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,106	191	1	1	A B C
Z37:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,179	191	1	1	A B C
Z38:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,234	191	1	1	A B C
Z39:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	2,414	191	1	1	A B C
Z39:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,127	191	1	1	A B C

Z39:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,682	191	1	1	A B C
Z40:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,412	205	1	1	A B C
Z41:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,057	191	1	1	A B C
Z42:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,424	305	1	1	A B C
Z42:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,118	205	1	1	A B C
Z42:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,146	191	1	1	A B C
Z42:V4	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,085	191	1	1	A B C
Z42:V5	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,04	161	1	1	A B C
Z42:V6	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,057	191	1	1	A B C
Z42:V7	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,013	245	1	1	A B C
Z43:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,024	191	1	1	A B C
Z44:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,034	191	1	1	A B C
Z45:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,208	161	1	1	A B C
Z46:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,252	191	1	1	A B C
Z47:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,303	205	1	1	A B C
Z48:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,005	191	1	1	A B C
Z49:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,43	205	1	1	A B C
Z50:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,369	191	1	1	A B C
Z51:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,388	191	1	1	A B C
Z52:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,034	205	1	1	A B C
Z53:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,181	191	1	1	A B C
Z53:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,059	191	1	1	A B C
Z53:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,066	191	1	1	A B C
Z53:V4	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,314	191	1	1	A B C
Z53:V5	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,344	191	1	1	A B C
Z54:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,907	161	1	1	A B C
Z55:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,247	191	1	1	A B C
Z56:V1	35AlFe6	35	22	5,91	0,388	3,4557	0,47	46	1	1	A B C
Z56:V2	35AlFe6	35	22	5,91	0,388	3,4557	0,306	46	1	1	A B C
Z57:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,038	191	1	1	A B C
Z58:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,084	191	1	1	A B C
Z59:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,134	191	1	1	A B C
Z60:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,145	191	1	1	A B C
Z61:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,006	161	1	1	A B C
Z62:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,002	191	1	1	A B C
Z62:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,01	245	1	1	A B C
Z63:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,382	205	1	1	A B C
Z63:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,382	205	1	1	A B C
Z63:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,045	191	1	1	A B C
Z63:V4	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,123	191	1	1	A B C
Z63:V5	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,123	191	1	1	A B C
Z63:V6	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,123	191	1	1	A B C
Z63:V7	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,428	245	1	1	A B C
Z63:V8	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,066	245	1	1	A B C
Z63:V9	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,707	191	1	1	A B C
Z64:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,037	161	1	1	A B C
Z66:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,003	161	1	1	A B C
Z66:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,017	270	1	1	A B C
Z66:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,435	191	1	1	A B C

Vývod4

Název	Typ	Průřez [mm²]	Un [kV]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [µS/km]	Délka [km]	Imax [A]	R0/R1	X0/X1	Zapojení
Bio1:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,147	161	1	1	A B C
Bio1:V2	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,277	245	1	1	A B C
FVE10:V1	SAX50	50	22	0,612	0,374	3,4557	0,001	245	1	1	A B C
FVE10:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,036	270	1	1	A B C
FVE11:V1	K83a70s	70	22	0,513	0,126	56,55	0,158	195	1	1	A B C
SP4_5:1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,057	205	1	1	A B C

SP4_5:2	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,06	254	1	1	A B C
V4:1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,257	395	1	1	A B C
V4:10	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	1,84	310	1	1	A B C
V4:11	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,234	409	1	1	A B C
V4:12	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	0,988	310	1	1	A B C
V4:13	SAX120	120	22	0,288	0,341	3,4557	0,242	430	1	1	A B C
V4:14	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,234	409	1	1	A B C
V4:15	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,234	409	1	1	A B C
V4:16	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,704	409	1	1	A B C
V4:17	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,21	409	1	1	A B C
V4:18	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,389	409	1	1	A B C
V4:19	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,581	409	1	1	A B C
V4:2	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	4,593	363	1	1	A B C
V4:20	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,852	409	1	1	A B C
V4:21	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,337	409	1	1	A B C
V4:22	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	2,839	310	1	1	A B C
V4:23	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	0,325	310	1	1	A B C
V4:24	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	0,606	310	1	1	A B C
V4:3	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	1,643	363	1	1	A B C
V4:4	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	1,667	363	1	1	A B C
V4:5	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	0,566	363	1	1	A B C
V4:6	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	0,413	363	1	1	A B C
V4:7	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	0,5	363	1	1	A B C
V4:8	120AlFe6	120	22	0,225	0,341	3,4557	0,654	363	1	1	A B C
V4:9	95Alfe6	95	22	0,301	0,351	3,4557	2,197	310	1	1	A B C
V5:1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,331	305	1	1	A B C
V5:10	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,286	305	1	1	A B C
V5:11	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,42	305	1	1	A B C
V5:12	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,402	305	1	1	A B C
V5:13	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,459	305	1	1	A B C
V5:14	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,673	305	1	1	A B C
V5:2	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,405	305	1	1	A B C
V5:3	70/11AlFe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,143	254	1	1	A B C
V5:4	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,074	305	1	1	A B C
V5:5	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,266	305	1	1	A B C
V5:6	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,531	305	1	1	A B C
V5:7	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,506	305	1	1	A B C
V5:8	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,614	305	1	1	A B C
V5:9	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,364	305	1	1	A B C
Z100:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,243	191	1	1	A B C
Z101:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,323	161	1	1	A B C
Z102:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,1	191	1	1	A B C
Z103:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,324	191	1	1	A B C
Z104:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,808	191	1	1	A B C
Z104:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,808	191	1	1	A B C
Z104:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,808	191	1	1	A B C
Z104:V4	SAX50	42	22	0,72	0,374	3,4557	0,72	245	1	1	A B C
Z106:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,457	191	1	1	A B C
Z106:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,752	161	1	1	A B C
Z107:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	3,585	191	1	1	A B C
Z107:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,203	191	1	1	A B C
Z108:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,278	191	1	1	A B C
Z109:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,827	191	1	1	A B C
Z109:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,125	191	1	1	A B C
Z110:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,729	161	1	1	A B C
Z111:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,106	205	1	1	A B C
Z111:V10	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,463	191	1	1	A B C
Z111:V11	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,057	191	1	1	A B C
Z111:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,175	205	1	1	A B C
Z111:V3	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,404	205	1	1	A B C

Z111:V4	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,145	205	1	1	A B C
Z111:V5	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,29	205	1	1	A B C
Z111:V6	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,071	191	1	1	A B C
Z111:V7	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,906	191	1	1	A B C
Z111:V8	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,354	191	1	1	A B C
Z111:V9	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,513	191	1	1	A B C
Z112:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,335	191	1	1	A B C
Z113:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,591	191	1	1	A B C
Z114:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,522	191	1	1	A B C
Z115:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,004	191	1	1	A B C
Z116:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,62	205	1	1	A B C
Z117:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,468	191	1	1	A B C
Z117:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,213	191	1	1	A B C
Z118:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,377	191	1	1	A B C
Z119:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,002	191	1	1	A B C
Z120:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,292	191	1	1	A B C
Z121:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,022	191	1	1	A B C
Z122:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,286	191	1	1	A B C
Z122:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,155	191	1	1	A B C
Z123:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,126	191	1	1	A B C
Z124:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,429	191	1	1	A B C
Z124:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,16	191	1	1	A B C
Z125:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,27	191	1	1	A B C
Z126:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,118	305	1	1	A B C
Z126:V2	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,001	305	1	1	A B C
Z126:V3	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	2,115	305	1	1	A B C
Z126:V4	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,007	305	1	1	A B C
Z126:V5	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,081	305	1	1	A B C
Z126:V6	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,717	305	1	1	A B C
Z126:V7	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,407	191	1	1	A B C
Z127:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	3,087	245	1	1	A B C
Z128:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,639	191	1	1	A B C
Z128:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,008	191	1	1	A B C
Z129:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,005	161	1	1	A B C
Z130:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,692	161	1	1	A B C
Z131:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,051	191	1	1	A B C
Z131:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,528	191	1	1	A B C
Z131:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,034	191	1	1	A B C
Z132:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,361	191	1	1	A B C
Z133:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,071	191	1	1	A B C
Z134:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,237	161	1	1	A B C
Z135:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,508	161	1	1	A B C
Z136:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	1,034	245	1	1	A B C
Z137:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,277	245	1	1	A B C
Z138:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,495	191	1	1	A B C
Z138:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,495	191	1	1	A B C
Z138:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,107	191	1	1	A B C
Z139:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,5	161	1	1	A B C
Z140:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,993	191	1	1	A B C
Z141:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,139	191	1	1	A B C
Z142:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,199	191	1	1	A B C
Z143:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,588	191	1	1	A B C
Z144:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,461	161	1	1	A B C
Z145:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,578	161	1	1	A B C
Z146:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	1,396	161	1	1	A B C
Z146:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,055	161	1	1	A B C
Z146:V3	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,586	205	1	1	A B C
Z146:V4	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,143	161	1	1	A B C
Z147:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,324	191	1	1	A B C
Z148:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,548	161	1	1	A B C

Z148:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,1	161	1	1	A B C
Z149:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,585	191	1	1	A B C
Z149:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,212	191	1	1	A B C
Z150:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,234	191	1	1	A B C
Z151:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,546	205	1	1	A B C
Z152:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,743	161	1	1	A B C
Z152:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,171	161	1	1	A B C
Z152:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,171	161	1	1	A B C
Z77:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,064	205	1	1	A B C
Z78:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,067	205	1	1	A B C
Z78:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,116	205	1	1	A B C
Z78:V3	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,067	205	1	1	A B C
Z79:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,419	191	1	1	A B C
Z80:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,245	191	1	1	A B C
Z81:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,286	161	1	1	A B C
Z81:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,007	270	1	1	A B C
Z82:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,051	191	1	1	A B C
Z83:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,461	191	1	1	A B C
Z84:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,084	191	1	1	A B C
Z85:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,083	161	1	1	A B C
Z85:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,422	161	1	1	A B C
Z85:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,125	161	1	1	A B C
Z86:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,05	205	1	1	A B C
Z87:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,296	205	1	1	A B C
Z88:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,138	191	1	1	A B C
Z88:V2	SAX50	50	22	0,612	0,374	3,4557	0,028	245	1	1	A B C
Z89:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,116	191	1	1	A B C
Z90:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,569	191	1	1	A B C
Z91:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,365	191	1	1	A B C
Z91:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,045	191	1	1	A B C
Z92:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,106	191	1	1	A B C
Z93:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,629	191	1	1	A B C
Z93:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,082	161	1	1	A B C
Z94:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,466	205	1	1	A B C
Z94:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,023	205	1	1	A B C
Z94:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,94	161	1	1	A B C
Z95:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,568	191	1	1	A B C
Z96:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,001	161	1	1	A B C
Z97:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,16	191	1	1	A B C
Z98:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,225	191	1	1	A B C
Z99:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,243	191	1	1	A B C
Z99:V3	SAX70	50	22	0,493	0,363	3,4557	0,035	310	1	1	A B C
Z99:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,149	191	1	1	A B C

Vývod6

Název	Typ	Průřez [mm²]	Un [kV]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [μS/km]	Délka [km]	Imax [A]	R0/R1	X0/X1	Zapojení
FVE12:V1	120AXEKVCEYnz	120	22	0,253	0,132	72,3	0,049	274	1	1	A B C
V5:15	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,035	305	1	1	A B C
V5:16	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,098	305	1	1	A B C
V5:17	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,182	305	1	1	A B C
V5:18	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,33	305	1	1	A B C
V5:19	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	2,346	305	1	1	A B C
V5:20	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,372	305	1	1	A B C
V6:1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,027	395	1	1	A B C

V6:10	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,622	254	1	1	A B C
V6:11	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,889	254	1	1	A B C
V6:12	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,569	254	1	1	A B C
V6:13	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,447	254	1	1	A B C
V6:14	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	3,209	409	1	1	A B C
V6:15	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,322	409	1	1	A B C
V6:16	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,698	409	1	1	A B C
V6:17	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,463	409	1	1	A B C
V6:18	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,715	409	1	1	A B C
V6:19	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	1,394	409	1	1	A B C
V6:2	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	2,287	254	1	1	A B C
V6:3	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,117	254	1	1	A B C
V6:4	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,683	254	1	1	A B C
V6:5	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,563	254	1	1	A B C
V6:6	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,125	254	1	1	A B C
V6:7	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,283	254	1	1	A B C
V6:8	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,454	254	1	1	A B C
V6:9	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	0,404	254	1	1	A B C
VTE1:V1	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,298	395	1	1	A B C
Z153:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,104	191	1	1	A B C
Z154:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,049	161	1	1	A B C
Z154:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,092	395	1	1	A B C
Z154:V3	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,017	395	1	1	A B C
Z156:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,158	161	1	1	A B C
Z156:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,158	161	1	1	A B C
Z157:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,661	305	1	1	A B C
Z157:V10	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,036	270	1	1	A B C
Z157:V11	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	0,277	310	1	1	A B C
Z157:V2	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,076	305	1	1	A B C
Z157:V3	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,364	305	1	1	A B C
Z157:V4	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,076	305	1	1	A B C
Z157:V5	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,668	305	1	1	A B C
Z157:V6	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,03	409	1	1	A B C
Z157:V7	110/22Alfe6	110	22	0,259	0,361	3,4557	0,26	409	1	1	A B C
Z157:V8	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	0,659	310	1	1	A B C
Z157:V9	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	1,353	205	1	1	A B C
Z159:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,364	191	1	1	A B C
Z160:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,278	161	1	1	A B C
Z160:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,561	161	1	1	A B C
Z160:V3	42/7AlFe6	42	22	0,667	0,421	1,837	0,02	163	1	1	A B C
Z161:V1	95Alfe6	95	22	0,301	0,363	3,4557	0,153	310	1	1	A B C
Z162:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,004	191	1	1	A B C
Z163:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,136	191	1	1	A B C
Z164:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,027	161	1	1	A B C
Z166:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,17	191	1	1	A B C
Z166:V2	120AXEKCY	120	22	0,299	0,114	69,12	0,19	270	1	1	A B C
Z167:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,112	191	1	1	A B C
Z168:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,431	161	1	1	A B C
Z169:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	1,4	205	1	1	A B C
Z172:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,002	205	1	1	A B C
Z172:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,047	395	1	1	A B C
Z172:V3	150AXEKCY	150	22	0,239	0,111	72,26	0,174	305	1	1	A B C
Z172:V4	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,182	395	1	1	A B C
Z172:V5	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,47	395	1	1	A B C
Z173:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,148	205	1	1	A B C
Z173:V2	K87a185s	185	22	0,149	0,107	78,54	0,194	330	1	1	A B C
Z173:V3	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,675	395	1	1	A B C
Z173:V4	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,047	395	1	1	A B C
Z177:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,087	205	1	1	A B C
Z177:V2	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,319	395	1	1	A B C

Z177:V3	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,319	395	1	1	A B C
Z177:V4	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,087	205	1	1	A B C
Z177:V5	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,087	205	1	1	A B C
Z177:V6	240AXEKCY	240	22	0,149	0,102	81,68	0,319	395	1	1	A B C
Z178:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,033	205	1	1	A B C
Z178:V2	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,033	205	1	1	A B C
Z179:V1	50AlFe6	50	22	0,615	0,374	3,4557	0,017	205	1	1	A B C
Z180:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,288	191	1	1	A B C
Z181:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,16	161	1	1	A B C
Z181:V2	70Alfe6	70	22	0,434	0,363	3,4557	1,615	254	1	1	A B C
Z181:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,002	191	1	1	A B C
Z182:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,099	161	1	1	A B C
Z183:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,031	191	1	1	A B C
Z184:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,132	161	1	1	A B C
Z184:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,431	161	1	1	A B C
Z185:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,364	191	1	1	A B C
Z186:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	1,167	305	1	1	A B C
Z186:V2	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,068	305	1	1	A B C
Z186:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,16	161	1	1	A B C
Z187:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,142	245	1	1	A B C
Z188:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,043	161	1	1	A B C
Z189:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,189	161	1	1	A B C
Z190:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,16	161	1	1	A B C
Z190:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,34	161	1	1	A B C
Z190:V3	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,23	161	1	1	A B C
Z190:V4	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,002	191	1	1	A B C
Z191:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,169	191	1	1	A B C
Z192:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,183	191	1	1	A B C
Z193:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,193	161	1	1	A B C
Z193:V2	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,05	161	1	1	A B C
Z194:V1	SAX50	50	22	0,72	0,374	3,4557	0,229	245	1	1	A B C
Z195:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,16	161	1	1	A B C
Z196:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,046	191	1	1	A B C
Z197:V1	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	1,652	191	1	1	A B C
Z197:V2	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,094	191	1	1	A B C
Z197:V3	42/7AlFe6	42	22	0,687	0,392	3,4567	0,805	191	1	1	A B C
Z198:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	1,098	161	1	1	A B C
Z199:V1	35AlFe6	35	22	0,778	0,388	3,4557	0,16	161	1	1	A B C
Z200:V1	70/11AlFe6	70	22	0,401	0,374	3,4557	0,048	305	1	1	A B C