

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**VLIV DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ NA
PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY
110KV E.ON**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. LUKÁŠ HAJDŮ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Lukáš Hajdů

ID: 78454

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Vliv decentralních zdrojů na provozování distribuční soustavy 110 kV E.ON

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Výpočet ustáleného chodu DS 110 kV E.ON pro napájecí oblast transformátorů 220/110 kV rozvodny Sokolnice, v základním zapojení DS 110 kV a bez provozu decentralních zdrojů.
2. Výpočet ustáleného chodu DS 110 kV v napájecí oblasti transformátorů 220/110 kV rozvodny Sokolnice, v základním zapojení a při uvažování provozu decentralních zdrojů pracujících do DS v této oblasti.
3. Kontrola vlivu provozu decentralních zdrojů na změny ztrát v DS 110 kV, na zatížení vedení 110 kV a na změny napěťových a spínacích poměrů v DS 110 kV.
4. Návrh opatření pro řízení DS s velkým počtem decentralních zdrojů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

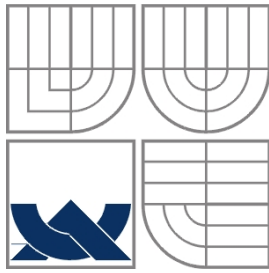
Bibliografická citace práce:

HAJDŮ, L. Vliv decentrálních zdrojů na provozování distribuční soustavy 110kV E.ON. Diplomová práce. Brno, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011, 92 stran.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Děkuji vedoucí práce doc. Ing. Jaroslavě Orságové, Ph.D. a kolektivu pracovníků společnosti E.ON Distribuce – Dispečink 110 kV a 22 kV za cenné rady, podněty a připomínky při vypracování této práce.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce

**Vliv decentrálních zdrojů na
provozování distribuční soustavy
110kV E.ON**

Bc. Lukáš Hajdú

vedoucí: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

The impact of distributed generation on 110kV distribution system E.ON

by

Bc. Lukáš Hajdú

Supervisor: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou plynoucí z připojování nových decentralních (rozptýlených) zdrojů elektrické energie do sítě. Díky výhodné legislativní podpoře zejména fotovoltaických zdrojů došlo v letech 2009-2010 k jejich masivní výstavbě a připojení do sítě.

Pro teoretické pochopení chodu sítě je v úvodní kapitole rozebrán postup, podle něž se provádí řešení ustálených stavů sítě. Uvedený postup je aplikován pomocí výpočetní techniky na síť řešené v práci.

Jestliže hovoříme o připojování nových decentralních zdrojů do sítě, je nutné zmínit i legislativu s tím spojenou. Provozovatelé sítě se spolu s orgánem státního dozoru usnesli na legislativním dokumentu Pravidla provozu distribučních soustav, jež klade požadavky a podmínky na žadatele o výstavbu nového zdroje. Text je zaměřen hlavně na změny provedené v jeho posledním znění.

Praktickou částí práce je ověření vlivu nových zdrojů na síť a splnění požadavků kladených legislativou na tyto zdroje. Nejdůležitější podmínky jsou zejména napěťová změna v síti vlivem provozu nového zdroje a její přenos do ostatních napěťových hladin, injekce proudů vyšších harmonických do sítě, kolísání výkonu a v neposlední řadě změny směru toku výkonů. Z výše uvedených důvodů je proveden rozbor těchto parametrů a nastíněna možnost jejich odstranění nebo alespoň zmírnění. K tomuto účelu je využíván software Siemens Sinaut Spectrum a NetCalc.

KLÍČOVÁ SLOVA: decentralní zdroje; distribuční síť; ustálený chod; provoz sítě; provozovatel distribuční sítě; tok výkonu; ztráty; připojení nových zdrojů; fotovoltaická elektrárna; řízení účinníku; Sokolnice; Hrušovany nad Jevišovkou, Siemens SINAUT Spectrum, NetCalc

ABSTRACT

This Master's thesis deals with problematics related to the connection of new decentralized power sources into electrical power grid. Due to advantageous legislative support of these new, especially photovoltaic power sources, a massive amount of these sources have been connected into the power grid between years 2009 and 2010.

For theoretical understanding of processes during a steady-state, the initial parts of this paper are focused on a procedure which solves steady-state on every power line mentioned.

When we speak of decentralized power sources connection, it is necessary to mention the connected legislative. National distribution grid operators in collaboration with national regulatory commission have decided on a legislative document Rules of distribution grid operation, which puts a set of demands and requirements on applicants wishing to connect a new power source to the grid. The text of this thesis is focused mainly on demands required after the latest change in 1/2010.

Practical part of this work deals with verification of new power source influence on a related power grid and meeting the legislatively required demands. The most important demands are voltage change due to new power source operation and its transfer to other voltage levels, higher harmonics injection, power output fluctuation and last, not least, changes in load flow directions. For reasons previously mentioned an analysis is made and possibilities of reducing or removing of these influences are introduced. To achieve these goals, two computer programs, Siemens Sinaut Spectrum and NetCalc are used.

KEY WORDS: decentralized power generation; distribution grid; steady state; load flow; power grid operation; distribution grid operator; power losses; new sources connection; photovoltaic power plant; power factor regulation; Sokolnice; Hrušovany nad Jevišovkou, Siemens SINAUT Spectrum, NetCalc

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	13
2 CÍLE PRÁCE	14
3 TEORIE USTÁLENÉHO CHODU ELEKTRIZAČNÍCH SÍTÍ.....	15
3.1 USTÁLENÝ CHOD ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY	16
3.2 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU USTÁLENÉHO CHODU ES.....	16
3.3 USTÁLENÝ CHOD ES JAKO NELINEÁRNÍ ÚLOHA	18
3.4 NEWTONOVA ITERAČNÍ METODA	22
4 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV	26
4.1 POŽADAVKY NA VÝROBCE ELEKTŘINY	26
4.2 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ.....	27
4.2.1 TECHNICKÉ KONZULTACE	27
4.2.2 ŽÁDOST O PŘIPOJENÍ	27
4.2.3 POSOUZENÍ ŽÁDOSTI O PŘIPOJENÍ VÝROBNY.....	28
4.2.4 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI VÝROBNY	28
4.2.5 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE.....	29
4.3 PŘIPOJENÍ K SÍTI	30
4.3.1 DÁLKOVÉ ŘÍZENÍ	30
4.4 ELEKTROMĚRY, MĚŘÍCÍ A ŘÍDÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	32
4.5 SPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ.....	32
4.6 OCHRANY	33
4.6.1 NESELEKTIVNĚ VYPÍNANÉ VÝROBNÍ JEDNOTKY	33
4.6.2 SELEKTIVNĚ VYPÍNANÉ VÝROBNÍ JEDNOTKY	33
4.7 CHOVÁNÍ VÝROBEN V SÍTI	34
4.7.1 ZÁSADY PODPORY SÍTĚ.....	34
4.7.2 PŘIZPŮSOBENÍ ČINNÉHO VÝKONU	34
4.7.3 ŘÍZENÍ JALOVÉHO VÝKONU ZDROJŮ V SÍTI VN A 110kV V ZÁVISLOSTI NA PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH.....	35
4.8 OVLIVNĚNÍ SÍTĚ PROVOZEM VÝROBNY A ZPĚTNÉ VLIVY NA SÍŤ.....	37
4.8.1 ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ	37
4.8.2 ZMĚNY NAPĚTÍ PŘI SPÍNÁNÍ	38
4.8.3 FLIKR	39
4.8.4 PROUDY VYŠŠÍCH HARMONICKÝCH.....	39
5 DISPEČERSKÝ ŘÍDÍCÍ SYSTÉM SINAUT SPECTRUM	42
5.1 MODUL SÍŤOVÁ ANALÝZA NA	43
5.1.1 VZHLED OVLÁDACÍCH PRVKŮ A OKEN V SINAUT SPECTRUM.....	44

6 VLIV DECENTRÁLNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA SÍŤ E.ON	47
6.1 OBECNÉ INFORMACE O SÍTI 110kV E.ON	47
6.2 POPIS ZÁKLADNÍHO ZAPOJENÍ OBLASTI 110 KV E.ON VÝCHOD V UZLOVÉ OBLASTI SOKOLNICE 220/110 kV	48
6.2.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH ROZVODEN V ŘEŠENÉ OBLASTI	48
6.3 VÝPOČET VLIVU DECENTRÁLNÍ VÝROBY NA USTÁLENÝ CHOD SÍŤE 110kV V UZLOVÉ OBLASTI SOKOLNICE 220/110 kV	53
6.3.1 NAPĚTÍ A JEHO ZMĚNY V ROZVODNÁCH PŘI USTÁLENÉM CHODU SÍŤE 110 kV VE STAVECH „A“ A „B“	53
6.3.2 TOKY VÝKONU A ZATÍŽENÍ VEDENÍ PŘI USTÁLENÉM CHODU SÍŤE 110 kV VE STAVECH „A“ A „B“	54
6.3.3 ZMĚNA ZKRATOVÝCH POMĚRŮ V SÍTI 110 kV VLIVEM PROVOZOVÁNÍ DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ	58
6.4 VÝPOČET VLIVU DECENTRÁLNÍ VÝROBY NA USTÁLENÝ CHOD SÍŤE 22 kV V UZLU HRUŠOVANY NAD JEVIŠOVKOU	58
6.4.1 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ VEDENÍ V840 A V196 V ŘEŠENÉ OBLASTI	59
6.4.2 USTÁLENÝ CHOD VEDENÍ V840 A V196 V ZÁKLADNÍM ZAPOJENÍ – VEDENÍ ODDĚLENA ÚSEČNÍKEM V161	60
6.4.3 USTÁLENÝ CHOD VEDENÍ V840 A V196 PŘI VÝPADKU ROZVODNY HI – OBĚ VEDENÍ PRACUJÍ DO HJ PŘES V161	62
6.4.4 VLIV REGULACE JEDNOHO ZDROJE NA NAPĚTÍ VEDENÍ V840 A V196 PŘI VÝPADKU HI A PRÁCI OBOU VEDENÍ DO HJ	65
7 NÁVRH OPATŘENÍ PRO ŘÍZENÍ DS S VELKÝM POČTEM DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ	66
8 ZÁVĚR	67
9 POUŽITÁ LITERATURA	70

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A: SCHÉMA SÍŤE 110 kV	71
PŘÍLOHA B: TOKY VÝKONU V SÍTI 110 kV BEZ UVAŽOVÁNÍ DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ „A“	72
PŘÍLOHA C: TOKY VÝKONU V SÍTI 110 kV PŘI PROVOZU DECENTRÁLNÍCH	73
PŘÍLOHA D: SÍŤ 22 kV ZÁKLADNÍM ZAPOJENÍ	74
PŘÍLOHA E: SÍŤ 22 kV PŘI VÝPADKU ROZVODNY HODONICE HI	75
PŘÍLOHA F: VYPOČTENÉ HODNOTY USTÁLENÉHO CHODU SÍŤE 110 kV BEZ UVAŽOVÁNÍ DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ – STAV „A“ Z PROGRAMU SINAUT SPECTRUM	76
PŘÍLOHA G: VYPOČTENÉ HODNOTY USTÁLENÉHO CHODU SÍŤE 110 kV PŘI PROVOZU DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ – STAV „B“ Z PROGRAMU SINAUT SPECTRUM	81
PŘÍLOHA H: VYPOČTENÉ HODNOTY USTÁLENÉHO CHODU V840 A V196 DO HJ PŘI CHODU DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ S P_i A $\text{COSFI}=1$ Z PROGRAMU NETCALC	86

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Příklad sítě	18
Obrázek 2: Fázorový diagram posunu proudu vůči napětí	20
Obrázek 3: Náhrada prvků sítě Π -článkem	20
Obrázek 4: Základní ovládací prvky rozhraní BASIDI programu Sinaut Spectrum	44
Obrázek 5: Vzhled sítě E.ON západ v Sinaut Spectrum	44
Obrázek 6: Schéma ovládání vývodu rozvodny 110/22 kV	45
Obrázek 7: Schéma ovládání rozvodny 110 kV	45
Obrázek 8: Ovládací prvky modulu NA	46
Obrázek 9: Prostředí zadávání odběrů a dodávek výkonů v uzlech sítě 110 kV (v MW / MVar)..	46
Obrázek 10: Schéma řešené sítě 110kV v uzlové oblasti Sokolnice 220/110kV	48
Graf 1: Příklad průběhu výroby FV elektrárny během dne vůči jejímu instalovanému výkonu....	52
Graf 2: Průběh zatížení přenosové soustavy ČR (data z www.ceps.cz).....	52
Graf 3: Grafická interpretace hodnot napětí v rozvodnách při UCH sítě 110kV ve stavech A a B	54
Graf 4: Procentuální nárůst napětí v rozvodnách při UCH sítě 110kV ve stavech A a B.....	54
Graf 5: Směr a velikost toků výkonu na vedeních 110kV při UCH sítě 110kV ve stavech A a B ..	56
Graf 6: Velikost ztrát výkonu na vedeních 110kV při UCH sítě 110kV ve stavech A a B.....	56
Obrázek 11: Tok výkonu sítí 110 kV při UCH ve stavu bez uvažování decentrálních zdrojů -,A“	57
Obrázek 12: Tok výkonu sítí 110 kV při UCH ve stavu s provozem decentrálních zdrojů -,B“ ..	57
Obrázek 13: Schéma řešené sítě 22 kV v oblasti Hrušovany nad Jevišovkou a Hodonice	59
Graf 7: Rozložení napětí na lince V840 při UCH do HJ – základní zapojení	61
Graf 8: Rozložení napětí na lince V196 při UCH do HI – základní zapojení.....	62
Obrázek 14: Zapojení při poruše v HI – V196 pracuje přes úsečník 161 do V840 HJ	62
Graf 9: Rozložení napětí při UCH a výpadku v HI – chod vedení V196 do V840 a HJ	63
Graf 10: Rozložení napětí na V840 a V196 při chodu do HJ a práci zdrojů s Pinst a cos ϕ 1	64
Graf 11: Rozložení napětí na V840 a V196 při chodu do HJ a práci zdrojů s Pi a cos ϕ 0,97 odb	64
Graf 12: Rozložení napětí na V840 a V196 při regulaci účinníku ve FVE Frosinia (zdroje cos ϕ =1)	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Orientace výkonů ve zdrojových a odběrových uzlech.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2: Nastavení ochran neselektivních výrobních jednotek</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 3: Nastavení ochran selektivních výrobních jednotek.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 4: Orientace znamének výkonů.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 5: Přípustné proudy harmonických v síti VN 22kV a 110 kV</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 6: Výrobní elektrické energie větších výkonů pracující do sítě E.ON</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 7: Seznam rozveden, odběrů a zdrojů v síti 110kV v uzlové oblasti Sokolnice 220/110kV</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 8: Vypočtené hodnoty napětí v rozvodnách při UCH sítě 110 kV ve stavech A a B.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 9: Směr a velikost toků výkonu na vedeních 110kV při UCH ve stavech A a B</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 10: Výkon zdrojů dodávaný a odebíraný ze sítě na vedeních V840 a V196.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 11: Rozložení napětí na lince V840 při UCH do HJ</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 12: Rozložení napětí na lince V196 při UCH do HI.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 13: Napájecí proudy vedení z rozveden HJ a HI při UCH sítě v základním zapojení</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 14: UCH při výpadku v HI – chod vedení V196 přes úsečník 161 do V840 a HJ.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 15: Napájecí proudy vedení z rozvodny HJ při UCH sítě 22 kV a poruše v HI (V840+V196 do HJ)</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 16: Vliv regulace cosϕ v FVE Usanza na rozložení napětí obou vedení při chodu do HJ</i>	<i>65</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZKRATKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
ES	elektrizační soustava	-
PS	přenosová soustava	-
DS	distribuční soustava	-
NN, nn	nízké napětí	-
VN	vysoké napětí	-
VVN	velmi vysoké napětí	-
FV, FVE	fotovoltaický zdroj, elektrárna	-
VTE	větrný zdroj, elektrárna	-
BPE	bioplynová stanice	-
UCH	ustálený chod sítě	-
U_i	uzlové napětí	kV
δ_i	fáze napětí	°
P_i	činný výkon	MW, kW
Q_i	jalový výkon	MVA _r , kVA _r
S_i	zdánlivý výkon	MVA, kVA
$\cos \varphi_i$, $\cos \varphi$	účinník	-
Y_{ij}	admitance	S
I_i	proud	-
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav	-
EZ	Energetický zákon 458/2000 Sb. a 314/2009Sb.	-
PDS	provozovatel distribuční sítě	-
HDO	system hromadného dálkového ovládání	-
S_A	zkratový výkon	MVA
S_{KS}	počáteční rázový zkratový výkon	MVA
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava	-
ERÚ	Energetický regulační úřad	-
HJ	rozvodna 110/22 kV Hrušovany nad Jevišovkou	-
HI	rozvodna 110/22 kV Hodonice	-
ZZ	základní zapojení	-

1 ÚVOD

V současné době dochází nejen v České republice ke značnému nárůstu počtu nových zdrojů elektrické energie připojených do elektrizačních soustav (ES), zejména do distribuční soustavy (DS) vysokého a nízkého napětí. Těmito zdroji jsou díky vysokým dotacím na výstavbu zejména fotovoltaické elektrárny FVE (v nízké míře i elektrárny větrné a malé vodní) s výkony od kilowattů po megawatty, připojovanými jak přímo do rozvodu DS, tak i hluboko do DS na vedení VN a NN. Proto tyto zdroje nazýváme decentrální (rozptýlené), přičemž připojení většího počtu těchto zdrojů představuje vyšší nároky na kontrolu a řízení DS.

V minulosti se elektrické sítě provozovaly jako samostatné, bez napojení na okolní síť. Tento druh provozu byl spojen s místně vyrovnanou výkonovou bilancí, nízkou stabilitou a odolností proti výpadkům. S rozvojem elektrizace se postupně tyto sítě spojovaly ve větší celky, jež odstraňovaly největší nedostatky sítí samostatných. S rostoucí hladinou napětí se mohly elektrárny stavět ve vzdálenějších místech bohatých na primární energetické zdroje (uhlí) a energie byla transportována do oblastí se spotřebou. Tok výkonu elektrické energie byl tedy od počátku vždy ve směru od elektrárny ke spotřebiteli – od nejvyšších napěťových hladin do nejnižších. Tento způsob výroby elektrické energie přetrval až současnosti. Jeho výhodou je pevně daný směr toku energie, jímž se řídí ochrany zařízení elektrizačních soustav. Připojením vysokého počtu disperzních zdrojů do elektrizační soustavy (zejména do DS) však může dojít k otočení směru toku výkonu od bývalého spotřebitele – nyní výrobce elektrické energie směrem do nadřazené napěťové hladiny. Tento stav je nežádoucí, protože vede ke zvýšeným požadavkům na dispečerské řízení DS - zejména v oblastech bilance výkonů, regulace napětí, spínacích operací a řešení poruch v síti. Stav se může projevit chybným působením směrových ochran, vyrovnávacími proudy mezi napájecími body sítě, přetížením a následnými výpadky zařízení DS.

Ve vhodně navržené síti naopak mohou decentrální zdroje vést ke zlepšení místních napěťových poměrů a stability sítě. V současné době se uvažuje o výstavbě tzv. chytrých sítí (smart-grid), jež umožňují chod ES v ostrovním režimu, a zejména tyto decentrální zdroje by mohly ostrovní provoz sítě umožnit. Je proto třeba důkladně vyšetřit poměry v místě připojení nového zdroje, stejně jako poměry na napájecích stanicích DS 110/22 kV.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je vyšetřit napěťové poměry v zadané napájecí oblasti Sokolnice 220/110kV s uvážením nových decentrálních zdrojů pracujících do distribuční sítě VN a VVN. Vyhodnotit tento nový stav oproti stavu bez provozu decentrálních zdrojů.

Dále vyšetřit napěťové poměry napájecího uzlu 110/22 kV Hrušovany nad Jevišovkou při provozování sítě bez decentrálních zdrojů elektrické energie a s nimi. Vyhodnocením rozdílů navrhnout opatření pro řízení distribuční soustavy s decentrálními zdroji.

V teoretické části se práce zabývá problematikou připojování nových zdrojů do distribuční soustavy a regulací činných a jalových výkonů nových zdrojů (zejména fotovoltaických elektráren FVE) připojovaných do distribučních sítí VN a VVN.

3 TEORIE USTÁLENÉHO CHODU ELEKTRIZAČNÍCH SÍTÍ

Všechny uvedené tabulky, rovnice i teorie této kapitoly čerpány z literatury [1].

Elektrizační soustavou (sítí) ES rozumíme soubor vzájemně propojených prvků, jež slouží k výrobě, transformaci, přenosu a spotřebě elektrické energie. Všechny tyto prvky na sebe za provozu vzájemně působí a ovlivňují se.

Naše elektrizační soustava je provozována se střídavým napětím na různých napěťových úrovních a je hraničními vedeními propojena s elektrizačními soustavami okolních států. Pro spolehlivý chod takto rozlehlé sítě (celá Evropská unie – stovky elektráren, tisíce transformoven, desetitisíce kilometrů vedení ZVN, VVN a VN) je nutné vyřešení problematiky řízení soustav s ohledem na rozvoj sítí, vazby na místa výroby a spotřeby, a na přenos energie na velké vzdálenosti.

Prvky ES můžeme rozdělit na:

- Výrobní – elektrárny (generace energie)
- Přenosové a rozvodné – přenos energie z místa výroby do místa spotřeby
- Spotřebiče – užití elektrické energie

Je důležité řešit zejména problematiku:

- Synchronizace generátorů
- Regulace kmitočtu a napětí
- Paralelní spolupráce generátorů
- Omezení zkratů
- Výstavby nových zdrojů a vedení
- Ekonomické rozdělení výroby energie na jednotlivé zdroje

Elektrizační soustavu je třeba řídit jako celek, jehož úkolem je zabezpečit dodávku elektrické energie spotřebiteli. Vzhledem k rozsahu soustavy může případný výpadek některého zařízení vést až k rozpadu sítě s velkými národohospodářskými škodami napříč celou soustavou. Tomuto stavu je třeba zabránit znalostí poměrů v jednotlivých částech soustavy a jejich modelováním matematickými modely. Jedině věrným matematickým popisem prvků sítě můžeme správně namodelovat jejich chování v ustáleném i jiném stavu. V současnosti se tato problematika řeší komplexními výpočetními programy na počítačích v reálném čase.

3.1 USTÁLENÝ CHOD ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Elektrizační soustava je při běžném provozu v ustáleném chodu (v ustáleném provozním stavu), jež je charakterizován rovnovahou všech provozních veličin soustavy, a to napětím, výkony (proudy) a rovnovahou točivých momentů generátorů a spotřebičů.

Pro řízení provozu soustavy je nutnou podmínkou znalost základních provozních veličin napětí a výkonů (činných i jalových), také však ztrát, ve všech větvích a uzlech elektrizační soustavy. Vstupními veličinami pro výpočet ustáleného chodu jsou tedy napětí a dodávané nebo odebírané výkony v uzlech, stejně jako znalost elektrických parametrů všech prvků soustavy, jež se na přenosu elektrické energie podílejí (generátory, transformátory, vedení a aktuální zapojení větví soustavy). Jelikož výkon je na napětí závislý nelineárně, nelze vzniklou soustavu matematických závislostí řešit lineárně jednoduchými metodami (uzlová napětí, smyčkové proudy), ale je nutné použít složitější přístup pomocí iteračních metod. V praxi se používá metoda Gauss-Seidlova a Newtonova, případně jejich kombinace. Výstupní data z výpočtu lze dále použít pro řešení přechodných dějů, kontroly přetížení prvků, pro optimalizaci a hodnocení spolehlivosti soustavy. Výpočet se provádí pro dvě varianty stavu sítě – minimální a maximální zatížení.

3.2 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU USTÁLENÉHO CHODU ES

Ustálený chod matematicky formulujeme jako řešení soustavy nelineárních rovnic. Řešíme závislost mezi n fázory napětí a n komplexními výkony v uzlech. Ustálený chod je jasně dán znalostí čtyř uzlových veličin:

- napětí U_i
- fáze napětí δ_i
- činný výkon P_i
- jalový výkon Q_i

Rozlišujeme několik druhů uzlů podle toho, jaké veličiny jsou v něm zadány, a které se dopočítávají iterační metodou:

- referenční uzel (vztažný)
- bilanční uzel
- odběrový nebo zdrojový uzel
- regulační nebo kompenzační uzel

Všechny výpočty se vztahují k uzlu referenčnímu, v praxi se jím myslí potenciál proti zemi.

Bilanční uzel je ten, v němž se zadává napětí U_i a jeho fáze δ_i . Tento uzel hradí možnou nerovnováhu mezi výrobou a spotřebou, funguje jako krytí ztrát elektrické energie (ztrát výkonů P a Q) v síti, a zároveň zahrnuje zdroj výkonu.

Odběrový a zdrojový uzel slouží jako model elektrárny nebo spotřebiče (zadávají se v něm výkony P a Q a směr jejich toku – kladné znaménko značí dodávku, záporné spotřebu energie). Je v něm počítána velikost napětí a jeho fáze.

Regulační nebo kompenzační uzel poskytuje síti možnost regulace napětí. Zadává se v něm hodnota napětí, v němž se má v ustáleném chodu velikost napětí pohybovat, a velikost činného výkonu. Neznámou je potom fáze napětí a velikost jalového výkonu nutného pro udržení napětí v zadaných mezích.

Pro řešení ustáleného chodu musí síť obsahovat nejméně jeden uzel každého typu. V praxi se nejčastěji setkáme s kombinací:

- jeden bilanční uzel se zadanými U_i a δ_i
- k uzlů odběrových a zdrojových zadaných P_i a Q_i
- $n-k-1$ uzlů regulačních zadaných U_i a P_i
- k dispozici potom máme $2(n-1)$ rovnic popisu ustáleného chodu sítě

Rychlost konvergence zvolené výpočetní metody chodu sítě závisí na konfiguraci sítě, umístění bilančního uzlu se zdrojem výkonu a na počtu uzlů odběrových a regulačních.

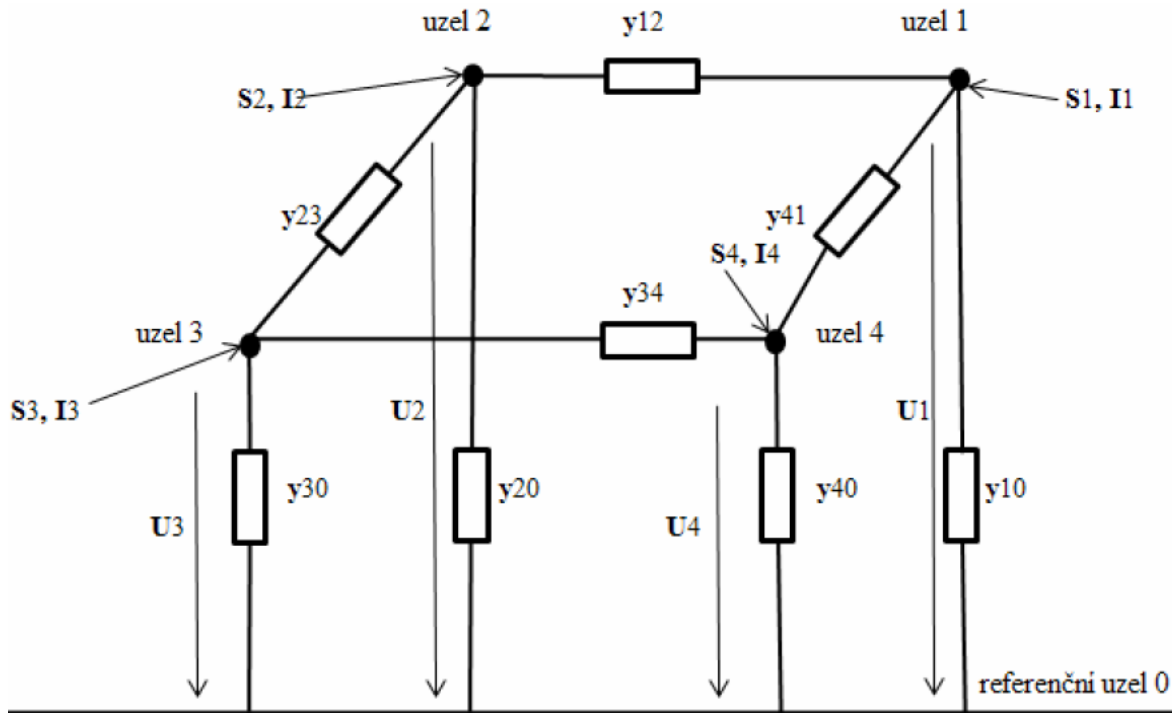
Praktickými výpočty bylo zjištěno, že nejvhodnější je umístění bilančního uzlu do elektrického středu sítě – obvykle je to uzel s největší admitancí (a tedy největší prvek diagonály admitanční matice). Není-li toto možné, umístí se bilanční uzel do uzlu s největší výrobou výkonu P a Q .

Při řešení ustáleného chodu sítě VN můžeme vyjít z následujících zjednodušení, která umožní síť řešit jako jednofázovou:

- trojfázová soustava je ve všech parametrech prvků souměrná
- napětí a proudy jsou harmonickými funkcemi času s konstantní frekvencí 50Hz
- parametry vedení, transformátorů i ostatních prvků sítě jsou nezávislé na proudu a napětí
- vedení nahrazujeme Π - články
- transformátory nahrazujeme Γ - články
- odběry jsou zadány pomocí výkonů s proudy nezávislými napětí
- parametry prvků jsou přepočteny na vztažné napětí

3.3 USTÁLENÝ CHOD ES JAKO NELINEÁRNÍ ÚLOHA

Na obrázku 1 je nakreslen příklad sítě, na němž odvodíme rovnice potřebné pro výpočet ustáleného chodu sítě jako nelineární úlohy.



Obrázek 1: Příklad sítě

Jednotlivé veličiny v obrázku 1 znamenají:

- Y_{ij} podélná admittance na vedení mezi uzly i a j
- Y_{i0} součet příčných admittance všech vedení vycházejících z i -tého uzlu
- I_i proud odběru nebo zdroje i -tého uzlu
- S_i komplexní výkon odběru nebo zdroje i -tého uzlu

Obecně můžeme obvod z obrázku 1 popsat rovnicemi:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

nebo zkráceně:

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}] \cdot [\bar{U}] \quad (3.2)$$

potom vyjádření proudu \mathbf{I} :

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

eliminací bilančního uzlu získáme rovnici pro výpočet neznámého proudu:

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{i1} \cdot \bar{U}_1 + \sum_{j=2}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.4)$$

Pro řešení ustáleného chodu sítě jako nelineární úlohy je třeba znát činné a jalové výkony injektované a odebírané ze sítě. Pro i -tý potom můžeme vypočítat komplexní výkon \mathcal{S}_i , pro něž platí vztah 3.5:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* \quad (3.5)$$

Vyjádření proudu z rovnice 3.5:

$$\bar{I}_i = \frac{\bar{S}_i^*}{\bar{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{U_i^*} \quad (3.6)$$

Pro určení znaménka činného a jalového výkonu se bere v úvahu uzel se zdrojem, kde je dodávka činného výkonu. Případ dodávky jalového výkonu induktivní povahy ve zdrojovém uzlu je znázorněn ve fázorovém diagramu na obrázku 1.

Vztah pro komplexní výkon \mathcal{S} je:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* = (U \angle \delta) \cdot (I \angle -\alpha) = U \cdot I \angle \varphi = S \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (3.7)$$

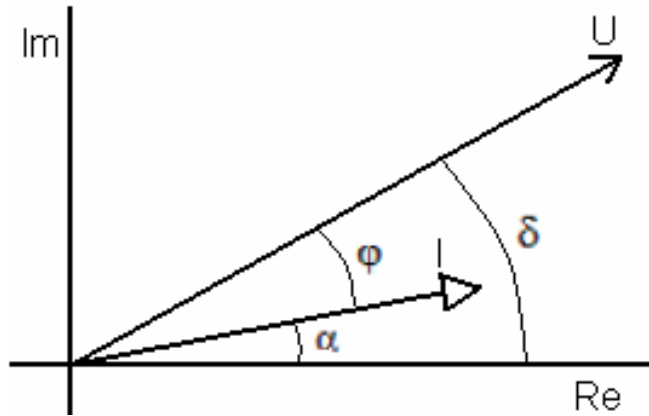
Fázový posun napětí a proudu vyjádřený úhlem φ je: $\varphi = \delta - \alpha$

Z toho plyne, že je-li induktivní posun proudu proti napětí, tedy proud se za napětím zpožďuje, potom je $\varphi > 0$ a činný i jalový výkon jsou větší než 0: $P > 0$, $Q > 0$.

Pro odběrový uzel se uvažuje proud se záporným znaménkem. V odběrovém uzlu se potom změni znaménka výkonu činného i jalového oproti uzlu s dodávkou. Tyto poměry jsou za předpokladu toku výkonu do uzlu uvedeny v Tabulce 1. Z ní lze zjistit shodu mezi znaménky dodávky induktivního jalového výkonu do zdrojového uzlu se znaménkem jalového výkonu v odběrovém uzlu.

	Typ uzlu	
	Zdroj	Odběr
Posun proudu	$P > 0$	$P < 0$
induktivní $\varphi > 0$	$Q > 0$	$Q < 0$
kapacitní $\varphi < 0$	$Q < 0$	$Q > 0$

Tabulka 1: Orientace výkonů ve zdrojových a odběrových uzlech



Obrázek 2: Fázorový diagram posunu proudu vůči napětí

Dosadíme-li nyní vztah (3.4) do vztahu (3.6) získáme rovnici:

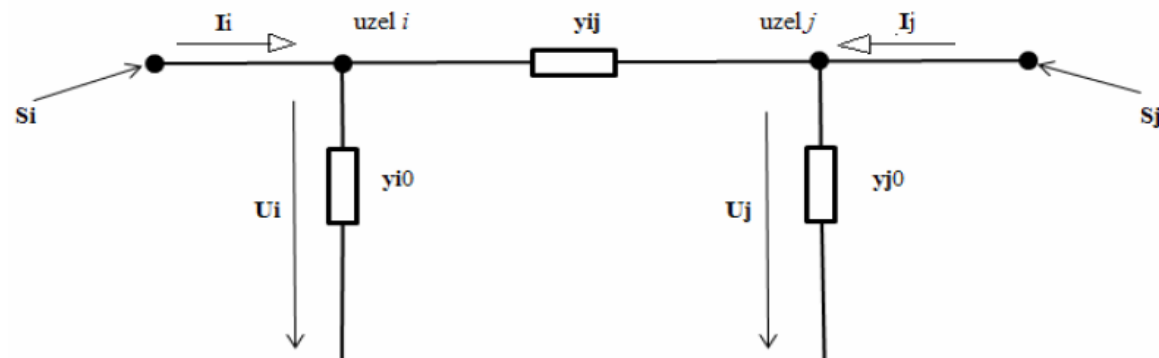
$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.8)$$

Ze srovnání vztahů (3.4) a (3.8) plyne, že byla provedena eliminace bilančního uzlu a také byla provedena volba výchozího napětí U_1 . Protože jsou zadány výkony v jednotlivých uzlech, bilanční uzel bude hradit rozdíly mezi dodávkou a odběrem výkonu v uzlech, stejně jako ztráty výkonu činného i jalového. Známé napětí bilančního uzlu a mimodiagonální admitance Y_{ij} vede výpočet neznámých napětí na řešení soustavy nelineárních kvadratických rovnic podle vztahu (3.8).

Jednotlivé prvky sítě nyní nahradíme Π články, viz obrázek 3. Potom proud tekoucí do uzlu i vyjádříme rovnicí:

$$\bar{I}_i = (\bar{U}_i - \bar{U}_j) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_i \cdot \bar{y}_{i0} \quad (3.9)$$

$$\bar{S}_i = \bar{P}_i + j\bar{Q}_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* \quad (3.10)$$



Obrázek 3: Náhrada prvků sítě Π -článkem

Pokud je $P > 0$, potom činný výkon vtéká do uzlu i a znaménko u jalového výkonu určí, jestli jde o výkon induktivního nebo kapacitního charakteru.

Dále musí pro uzel j platit:

$$\bar{I}_j = (\bar{U}_j - \bar{U}_i) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_j \cdot \bar{y}_{j0} \quad (3.11)$$

$$\bar{S}_j = \bar{P}_j + \bar{Q}_j = \bar{U}_j \cdot \bar{I}_j^* \quad (3.12)$$

Součtem výkonů P a Q tekoucích do uzlů i a j náhradního článku z Obrázku 3 získáme ztráty výkonu:

$$\Delta P_{ij} = P_i + P_j \quad (3.13)$$

$$\Delta Q_{ij} = Q_i + Q_j \quad (3.14)$$

Bilance činných a jalových výkonů v síti se potom rovná ztrátám ve všech jejích prvcích:

$$\sum_{i=1}^n P_i = \sum_{p=1}^v \Delta P_p \quad \text{pro } i, p = 1, 2, \dots, n \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{p=1}^v \Delta Q_p \quad \text{pro } i, p = 1, 2, \dots, n \quad (3.16)$$

kde znamenají:

- ΔP_p činné ztráty výkonu v p -tém prvku sítě
- ΔQ_p jalové ztráty výkonu v p -tém prvku sítě
- n počet uzlů sítě
- v počet prvků sítě

3.4 NEWTONOVA ITERAČNÍ METODA

Při řešení ustáleného chodu se nejčastěji setkáme s výpočtem Newtonovou metodou, a proto nyní rozebereme potřebnou teorii. Řešíme soustavu rovnic (3.8) jako nelineární úlohu, tedy dodávky a odběry jsou zadány činnými a jalovými výkony.

Zadaná soustava nelineárních rovnic ve tvaru:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_2 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_n \end{aligned} \quad (3.17)$$

Provedeme odhad kořenů pro nultou iteraci:

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)} \quad (3.18)$$

Tyto odhady se od přesné hodnoty řešení liší o hodnoty $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$, potom přesná hodnota je:

$$x_1 = x_1^{(0)} + \Delta x_1, \quad x_2 = x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, \quad x_n = x_n^{(0)} + \Delta x_n \quad (3.19)$$

Výchozí soustavu rovnic můžeme přepsat do tvaru:

$$\begin{aligned} f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_2 \\ &\vdots \\ f_n(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_n \end{aligned} \quad (3.20)$$

Každou rovnicí soustavy (3.20) je možné rozepsat Taylorovou řadou funkce více proměnných v bodě $x_i^{(0)}$. Pro první rovnici potom platí:

$$f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \Delta x_n + \phi_1 = y_1 \quad (3.21)$$

kde $\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0$ je hodnota parciální derivace v bodě $x_1^{(0)}$ atd. a ϕ_1 zahrnuje členy s vyššími mocninami

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ a druhé a vyšší derivace funkce f_1 .

Jsou-li odhady kořenů blízké přesné hodnotě, pak jsou diference Δx_i malé ($\phi_1 \rightarrow 0$) a všechny členy s vyššími mocninami Δx_j můžeme zanedbat.

Označíme-li výraz $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) = y_1^{(0)}$, pak rovnici (3.20) můžeme upravit do tvaru:

$$\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \Delta x_n = y_1 - y_1^{(0)} = \Delta y_1^{(0)} \quad (3.22)$$

kde $\Delta y_1^{(0)}$ je rozdíl zadané hodnoty pravé strany y_1 a hodnoty $y_1^{(0)}$ určené dosazením odhadu kořenů do rovnice (3.21).

Obdobně upravíme i zbývající rovnice soustavy (3.20), čímž získáme soustavu lineárních rovnic pro výpočet neznámých diferencí $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$. Soustavu je možné zapsat jako matici následovně:

$$\begin{bmatrix} \left. \frac{df_1}{dx_1} \right|_0 & \left. \frac{df_1}{dx_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{df_1}{dx_n} \right|_0 \\ \left. \frac{df_2}{dx_1} \right|_0 & \left. \frac{df_2}{dx_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{df_2}{dx_n} \right|_0 \\ \vdots & & & \\ \left. \frac{df_n}{dx_1} \right|_0 & \left. \frac{df_n}{dx_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{df_n}{dx_n} \right|_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta y_1^{(0)} \\ \Delta y_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta y_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Nebo ve zkráceném tvaru:

$$[J] \cdot [\Delta x] = [\Delta y] \quad (3.24)$$

kde matice $[J]$ je parciální derivací – Jacobián. Ze soustavy rovnic (3.23) se vypočítá vektor hledaných diferencí $[\Delta x]$ a určí se nové, opravené odhady kořenů.

$$x_i^{(1)} = x_i^{(0)} + \Delta x_i ; i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.25)$$

Ty se použijí pro výpočet v dalším kroku (iteraci). Vypočtené hodnoty diferencí Δx_i nejsou zcela přesné, jelikož v Taylorově rozvoji jsme zanedbali derivace 2. a vyššího řádu.

Iterační proces postupného zpřesňování kořenů soustavy rovnic se zapíše úpravou rovnic (3.25) do iteračního tvaru:

$$[\Delta x^{(k)}] = [J^{(k)}]^{-1} \cdot [\Delta y^{(k)}] \quad (3.26)$$

a poté

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)} \quad (3.27)$$

kde horní index označuje k -tou iteraci.

Pro praktický výpočet ustáleného chodu předpokládáme, že existují spojité derivace $\partial f_i / \partial x_i$ pro $i=1,2,\dots,n$ a jednoznačnost řešení soustavy rovnic a konvergence iteračního postupu.

Řešení rovnic chodu sítě (3.8) získáme užitím Newtonovy metody dle postupu patrného ze vzorců (3.17) – (3.27):

- vyjdeme z rovnic (3.8), které přepíšeme do tvaru podle (3.17):

$$P_i - jQ_i = \bar{U}_i^* \cdot \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i = 2,3,\dots,n \quad (3.28)$$

- pravá strana rovnice (3.28) se rozepíše na reálnou a imaginární část, dosadí se napětí a admittance v polárním tvaru a rovnice se upraví:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \bar{U}_i \cdot \bar{U}_j \cdot \bar{Y}_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad \text{pro } i = 2,3,\dots,n \quad (3.29)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \bar{U}_i \cdot \bar{U}_j \cdot \bar{Y}_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad \text{pro } i = 2,3,\dots,n \quad (3.30)$$

- získaná soustava má $2(n-1)$ rovnic pro $(n-1)$ neznámých napětí a jejich úhlů. Ve všech uzlech soustavy jsou zadány dodávky a odběry činných i jalových výkonů, přitom výjimku představuje bilanční uzel 1, v němž zadáváme napětí U_1 a jeho úhel δ_1 . Pro iterační výpočet diferencí ΔU_1 a $\Delta \delta_1$ s využitím rovnic (3.29) a (3.30) dostaneme soustavu, která se zkráceně zapíše následovně:

$$\begin{bmatrix} [\Delta P] \\ [\Delta Q] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\Delta U] \\ [\Delta \delta] \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

- vypočteme parciální derivace Jacobiánu derivováním rovnic (3.29) a (3.30) podle daných proměnných
- po vyřešení soustavy lineárních rovnic (3.31) známe difference $\Delta U_i^{(0)}$ a $\Delta \delta_i^{(0)}$ v nulté iteraci
- nyní vypočteme nové hodnoty napětí a úhlů na konci první iterace:

$$U_i^{(1)} = U_i^{(0)} + \Delta U_i^{(0)} \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.32)$$

$$\delta_i^{(1)} = \delta_i^{(0)} + \Delta \delta_i^{(0)} \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.33)$$

- zpřesněnými hodnotami napětí a úhlů nahradíme původní odhady a opakujeme iterační proces. Proces iterací končí ve chvíli, kdy je dosaženo zadané přesnosti ε rozdílů výkonů zadaných a vypočtených postupným dosazováním napětí a úhlů do rovnic (3.29), (3.30) a jsou splněny nerovnice (3.34) a (3.35):

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.34)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad \text{pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.35)$$

Pro zběžné výpočty ustáleného chodu můžeme přijmout zjednodušení, že u sítí s dominantní podélnou impedancí prvků se při malých změnách napětí činné výkony v uzlech mění jen nepatrně. Podobně zanedbatelně se pro malé změny úhlů uzlových napětí mění jalové výkony.

Pak se rovnice (3.31) zjednoduší na tvar:

$$[\Delta P] \doteq \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] \quad (3.36)$$

$$[\Delta Q] \doteq \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] \cdot [\Delta U] \quad (3.37)$$

Newtonova metoda velmi rychle konverguje a obvykle potřebný počet iterací závisí při dané přesnosti ε na velikosti řešené sítě jen málo. Její nevýhodou je náročný výpočet diferencí kořenů. V praxi se tato metoda používá nejčastěji, případně v kombinaci s metodami dalšími (Newtonova-Raphsonova, Gaussova-Seidlova). Pro potřeby této diplomové práce není nutné se jimi zabývat.

4 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV

Veškeré hodnoty, tabulky a teorie uvedené v této kapitole jsou čerpány z literatury [2].

Distribuční soustavou (DS) rozumíme soubor elektrických zařízení hladin VVN 110kV, VN 22kV(35kV) a NN 0,4/0,23kV, jež bezpečně a hospodárně zásobují odběratele do ní připojené elektrickou energií ve smluveném množství a kvalitě.

Provozovatelem distribuční soustavy (PDS) rozumíme fyzickou/právní osobu zajišťující bezpečný a spolehlivý provoz DS, její rozvoj s hledem na požadavky životního prostředí, a držící platnou licenci vydanou Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) ČR pro distribuci elektřiny. PDS je povinen na území své působnosti distribuovat elektřinu konečným zákazníkům, stejně jako musí připojit k DS každého zájemce o distribuci, který o ni požádá a splňuje požadavky dané Energetickým zákonem 458/2000Sb. ve znění novely zákona 314/2009Sb. (EZ), jeho prováděcími vyhláškami a dále Pravidly provozování distribučních soustav (PPDS).

PPDS je obecně závazná norma, vymezující zásady a postupy, jimiž se řídí vztahy mezi provozovatelem DS a všemi jejími uživateli:

- všeobecné podmínky pro užívání DS
- plánovací a připojovací předpisy pro DS (rozvoj, všeobecné a technické požadavky na připojení)
- provozní předpisy
- havarijní plány
- pravidla výměny dokumentů, dat, informací a předpisy pro registraci údajů o DS
- PPDS legislativně doplňují Energetický zákon a související vyhlášky.

Připojování nových zdrojů do DS se řídí zejména Přílohou č. 4 PPDS – Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí nízkého nebo vysokého napětí provozovatele distribuční soustavy (obsahuje také podmínky pro sítě 110kV).

4.1 POŽADAVKY NA VÝROBCE ELEKTŘINY

Všichni výrobci jsou povinni dodržovat požadavky stanovené v PPDS, jež platí pro plánování, zřizování provozu a úpravy výroben elektřiny připojených do sítí NN, VN nebo VVN 110kV. Výrobci jsou děleni do kategorií podle velikosti instalovaného výkonu výroby:

- 1. instalovaný výkon P_i nižší než 5 MW
- 2. instalovaný výkon P_i vyšší než 5 MW a nižší než 30 MW
- 3. instalovaný výkon $P_i = 30$ MW a vyšší

Do DS mohou být vyvedeny elektrárny vodní, větrné, fotovoltaické a elektrárny poháněné tepelnými stroji. Každý výrobce je povinen poskytnout PDS informace o výrobě v rozsahu podle kategorie velikosti výroby. Požadavky jsou stanoveny PDS na základě jednání o připojení výroby k DS.

4.2 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ

Pro přihlášení je potřeba předat PDS následující podklady:

- situační plán s vyznačením hranic pozemku a místa stavby
- přehledové schéma elektrického zařízení s jeho jmenovitými hodnotami včetně údajů o přípojných vedeních a rozvodném zařízení výrobce
- údaje o zkratové odolnosti předávací stanice
- elektrická data napájecího transformátoru (výkon, zapojení, převod, napětí nakrátko, ztráty nakrátko a naprázdno)
- popis ochran s údaji o druhu, výrobcí, zapojení a funkci
- příspěvek výrobní k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení
- popis druhu a způsobu provozu pohonu, generátoru nebo střídače a způsob jejich připojení k síti
- u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením z usměrňovačů dodat zkušební protokoly k proudům vyšších harmonických
- u větrných elektráren doložit osvědčení a protokol o zpětných vlivech na síť (činitel flikru, kolísání výkonu, vyšší harmonické, vliv na signál HDO)

4.2.1 TECHNICKÉ KONZULTACE

Na základě obecného požadavku poskytne PDS žadateli informace o možnostech a podmínkách připojení výrobní k DS a o podkladech, jež musí žádost obsahovat. Poskytnuté informace jsou pouze informativního charakteru, není tedy možné je využít pro účely stavebního řízení. V případě potřeby poskytne PDS žadateli závazné podklady pro zpracování studie připojitelnosti výrobní.

4.2.2 ŽÁDOST O PŘIPOJENÍ

Základem žádosti je vyplněný formulář PDS a následující podklady:

- souhlas vlastníků nemovitostí dotčených výstavbou výrobní
- souhlas obce a příslušného stavebního úřadu s realizací výrobní
- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu
- stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu
- studie připojitelnosti výrobní (je-li PDS vyžadována)

V případě nedodání výše uvedených náležitostí nebude žádost ze strany PDS přijata a žadatel bude vyzván k doplnění žádosti. V odůvodněných případech může do 10-ti dnů PDS vyžadovat doplnění dalších údajů nezbytných pro posouzení žádosti. Žadatel je povinen tyto údaje poskytnout. Termínem přijetí žádosti se rozumí datum doložení všech náležitostí o připojení výrobní.

4.2.3 POSOUZENÍ ŽÁDOSTI O PŘIPOJENÍ VÝROBNY

PDS po obdržení žádosti rozhodne do 30-ti dnů u výrobní s přípojením do NN, do 60-ti dnů u výroben ostatních:

- a) zda je připojení možné s ohledem na
 - volnou kapacitu ES, stanovenou PDS v rámci roční přípravy provozu pro příslušný rok a druh výrobní v příslušné napájecí oblasti
 - volnou distribuční kapacitu na úrovni transformace 110kV/VN
- b) zda je nutné, aby žadatel vypracoval studii připojitelnosti výrobní

V případě, kdy PDS tuto studii vyžaduje, dodá do 30-ti dnů žadateli stanovisko s předběžným místem (místa) připojení, které má žadatel ve studii uvažovat. Součástí stanoviska je upozornění PDS na související provozované, odsouhlasené a dříve požadované výrobní. Tyto informace jsou pouze obecné a budou upřesněny při předávání patných dokladů pro zpracování studie. Dále budou ve stanovisku uvedeny příslušné parametry DS a souvisejících výroben, potřebné pro zpracování požadované studie připojitelnosti. Žadatel a zpracovatel studie jsou povinni tyto údaje použít pouze k účelu vypracování studie a bez souhlasu PDS je nesmí poskytnout třetím osobám.

Termín pro předložení studie je 90 dní, po tuto dobu je požadavek žadatele evidován. Termín lze za předpokladu doložení zadání zpracování studie a uvedení konečného závazného termínu jejího předložení na žádost žadatele jedenkrát prodloužit. V případě neodůvodněného požadavku na prodloužení může PDS žádost zamítnout a nebo termín zkrátit. Po předložení studie s kladným výsledkem je žadateli do 30-ti dnů vystaveno vyjádření.

V případě, kdy PDS nevyžaduje předložení studie připojitelnosti, nebo ta již byla žadatelem předložena a ze strany PDS odsouhlasena, je žadateli do 30-ti dnů vystaveno závazné stanovisko, obsahující všechny náležitosti ve znění §5 Vyhlášky ERÚ 51/2006. Součástí stanoviska jsou požadavky na předložení platného územního rozhodnutí a prováděcí projektové dokumentace výrobní včetně jejího připojení k DS. Platnost tohoto vyjádření je 180 dnů.

4.2.4 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI VÝROBNY

Studie musí obsahovat technické posouzení možného připojení výrobní s ohledem na:

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě při maximu a minimu zatížení sítě
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- dodržení parametrů zpětných vlivů na DS, zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobní, změny napětí při spínání, útlum signálu HDO, flikru a harmonických

PDS doporučí žadateli vhodné zpracovatele studie. Náklady na její zpracování hradí žadatel.

Podklady pro tvorbu studie zpravidla obsahují:

- zkratový výkon VVN nebo VN v napájecí rozvodně nebo místě od kterého bude vliv počítán
- stávající a výhledové hodnoty zatížení v soustavě
- související zdroje připojené k DS

- platné požadavky na připojení zdrojů k DS
- parametry transformátorů VVN/VN
- stávající a výhledový stav HDO
- parametry vedení do místa připojení
- možné provozní stavy výroby
- zjednodušený mapový podklad

Posuzování připojitelnosti je nutné provádět s ohledem na dosažení co nejnižšího zpětného vlivu na DS. Ve studii je nutné vycházet z podmínky dodržení účinníku v předávacím místě v celém rozsahu výkonu výroby v rozmezí $\cos \varphi = 0,95$ ind. až 1. PDS může v opodstatněných případech požadovat kontrolu při jiném nastavení účinníku. U studií zdrojů vysokého výkonu (kategorie 3.) je zapotřebí ověřovat celý regulační rozsah účinníku, daný provozním PQ diagramem výroby.

V případě pochybností o správnosti a úplnosti předložené studie může požadovat její doplnění, rozšíření nebo případně studii zamítnout. Provozovatel DS má také právo si vyžádat podklady, podle kterých byla studie připojitelnosti počítána (zkušební protokoly, atesty, výpočetní metody). V případě nedoložení veškerých požadovaných dokumentů může PDS žádost považovat za nevěrohodnou, zamítnout a vyřadit ji z evidence.

4.2.4.1 Rozsah studie připojitelnosti

Rozsah studie připojitelnosti výroben připojovaných do sítí NN a VN je zpravidla dán stanicí s napájecím transformátorem sítě a přípojným vedením, s doporučeným přípojným bodem zdroje k síti. Je-li to důležité, může být rozsah zvětšen o další stanice a vedení se zahrnutím provozovaných a plánovaných zdrojů i zátěží těchto vedení. Posuzuje se základní provozní stav, v případě zvýšené zabezpečení dodávky i další provozní varianty. Dále se ve studii posuzují případné přetoky do vyšších napěťových hladin a jejich vliv na činnost regulace napětí transformátorů.

4.2.5 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

Požadovaná prováděcí projektová dokumentace dle vyhlášky 499/2006, předložená PDS k odsouhlasení musí obsahovat minimálně tyto základní podklady:

- realizaci požadavků PDS
- délky, typy a průřezy vedení mezi výrobnou a místem připojení k DS, parametry použitých transformátorů
- situační řešení připojení výroby k DS
- typy, parametry a navržené hodnoty nastavení el. ochran výroby souvisejících s DS
- parametry a provedení řízení činného a jalového výkonu (je-li požadováno)
- návrh provedení obchodního měření
- potřebné údaje k rozhraní pro dálkové přenosy a dálkové ovládání (bylo-li požadováno)

K projektové dokumentaci vystaví PDS do 30ti dnů vyjádření, jehož součástí bude požadavek na předložení výchozích revizních zpráv výroby, jejího připojení k DS, ochran souvisejících s DS a dále místních provozních předpisů.

4.3 PŘIPOJENÍ K SÍTI

Vlastní výroby, popř. zařízení odběratelů s vlastními výrobny, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě.

Způsob a místo připojení na síť stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu, způsobu provozu vlastní výroby, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce. Tím má být zajištěno, že vlastní výroba bude provozována bez rušivých účinků a neohrozí napájení dalších odběratelů nebo dodávky ostatních výrobců.

Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu), připojovaného výkonu, stejně jako druhu a způsobu provozu vlastní výroby.

Připojení k síti PDS se děje ve předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupném kdykoliv personálu PDS. Požadavek na kdykoliv přístupné spínací místo s oddělovací funkcí je u jednofázových zdrojů do 4,6 kVA a trojfázových do 30 kVA splněn, pokud jsou tyto zdroje vybaveny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem. Spínací prvek může být samostatný nebo být součástí střídače. Princip může být sledování impedance a vyhodnocování její změny, trojfázové sledování napětí či změna fázoru napětí. Napětí je sledováno v těch fázích, do kterých je výroba připojena do sítě. Toto zařízení musí být ověřeno akreditovanou zkušebnou.

U zdrojů s instalovaným výkonem nad 100 kVA musí být spínač s oddělovací funkcí být vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu.

4.3.1 DÁLKOVÉ ŘÍZENÍ

4.3.1.1 Výroby s instalovaným výkonem od 30 do 100 kVA

Pro bezpečný provoz je nutné výroby s instalovaným výkonem od 30 do 100 kVA vybavit odpínacím prvkem pro odpojení z paralelního provozu s DS. Tento prvek musí být instalován tak, aby zůstal funkční i po silovém odpojení výroby z paralelního provozu s DS a umožnil automatizaci tohoto procesu např. pomocí HDO nebo podobného systému.

4.3.1.2 Výroby s výkonem od 100 kVA

Výroby s výkonem od 100 kVA začlenit do systému dálkového řízení PDS. Jde především o:

- řízení spínače s oddělovací funkcí (především vypnutí při kritických stavech v síti – „dálkově VYP“)
- omezení dodávaného činného výkonu
- zajištění jalového výkonu
- rozhraní pro přenos dat

Potřebné informace pro řízení provozu PDS je zapotřebí předat ke zpracování buď řídicímu systému stanice (při připojení zdroje do přípojnice PDS) nebo je dát k dispozici komunikačním protokolem do příslušného technického dispečinku PDS.

Připojovaná zařízení s dálkovým řízením jsou vybavena přepínačem MÍSTNĚ/DÁLKOVĚ, který při místním řízení zablokuje dálkové povely.

U zdrojů do výkonu 400 kVA musí být připraveno komunikační rozhraní pro dálkové zadávání povelů, jejich provedení a měření U, P a Q.

4.3.1.3 Zdroje připojené do sítí VN s výkonem od 400 kVA a zdroje do sítí 110kV

Potřebná data a informace pro zpracování v řídicím systému PDS zpravidla jsou:

- řízení
 - o vypínač
 - o vývodový odpojovač
 - o zemní nože vývodového odpojovače
- stavy výše uvedených zařízení
- zadávané hodnoty
 - o zadané napětí, účinník, jalový výkon
 - o omezení činného výkonu
- přenosy měření
 - o činný výkon
 - o jalový výkon
 - o proud jedné fáze
 - o fázová a sdružená napětí (podle systému)
 - o data potřebná pro predikci výroby (teplota, rychlost větru a osvit)
- signály ochran a výstrahy

Připojované zařízení je vybaveno přepínačem MÍSTNĚ/DÁLKOVĚ, které při místním řízení zablokuje dálkové povely.

Dále se zavádí pojmy a povely:

Procesní rozhraní

Datová procesní rozhraní mezi připojovaným zařízením a sítí závisí v zásadě na již použité řídicí technice (standardním protokolu). Provedení rozhraní je zapotřebí dohodnout v každém jednotlivém případě.

Disponibilní výkon

Datové slovo „**disponibilní výkon**“ udává hodnotu výkonu, který by mohl být dodáván bez omezování. K tomu je zapotřebí zvažovat jak povětrnostní podmínky (VTE, FVE), tak i stav výroben (revize, poruchy). Datové slovo „**disponibilní výkon**“ je hlášení PDS z výroby.

Jalový výkon

Rozhraní může být provedeno tak, aby byly současně pokryty oba rozsahy jalového výkonu. Výrobna musí reagovat pouze ve smluvně dohodnutých rozsazích. Hodnota zadaná PDS bude potvrzena řídicím systémem výroby.

Maximální činný výkon

Ke snížení činného výkonu je předán řídicímu systému výroby regulační povel, který udává maximální činnou dodávku výrobních jednotek v procentech smluvně dohodnutého výkonu. Hodnota zadaná PDS bude řídicím systémem výroby potvrzena.

4.4 ELEKTROMĚRY, MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ ZAŘÍZENÍ

Druh a počet potřebných měřicích zařízení (elektroměrů PDS) a řídicích přístrojů (přepínačů tarifů) se řídí podle smluvních podmínek pro odběr a dodávku elektřiny příslušného PDS. Proto je nutné projednat jejich umístění s PDS již ve stadiu projektu.

Elektroměry pro účtování a jim přiřazené řídicí přístroje jsou uspořádány na vhodných místech udaných PDS.

Měření se volí podle napěťové hladiny, do které výroba pracuje a podle jejího výkonu typicky:

- nízké napětí: podle výkonu výroby buď přímé (do 80 A) nebo polopřímé
- vysoké napětí: do výkonu transformátoru 630 kVA včetně měření na straně NN (polopřímé), od výkonu 630 kVA měření nepřímé na straně VN
- 110 kV: měření nepřímé na straně 110 kV

Elektroměry pro polopřímé a nepřímé měření se volí elektronické, čtyřkvadrantové. Dodávku a montáž elektroměrů zajišťuje PDS, náklady na jejich instalaci hradí výrobce. Přístrojové měřicí transformátory napětí či proudu jsou součástí zařízení výroby. Přístrojové měřicí transformátory musí být schváleného typu, požadovaných technických parametrů a úředně .

V případě oprávněných zájmů PDS musí výrobce vytvořit podmínky pro to, aby přes definované rozhraní mohly být na příslušný dispečink PDS přenášeny další údaje důležité pro bezpečný a hospodárny provoz, např. hodnoty výkonu a stavy vybraných spínačů.

4.5 SPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ

Pro spojení vlastní výroby se sítí PDS musí být použito spínací zařízení (vazební spínač) minimálně se schopností vypínání zátěže (např. vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový odpínač), kterému je předřazena zkratová ochrana. Tento vazební spínač může být jak na straně NN, tak i na straně VN nebo 110 kV. Pokud se nepředpokládá ostrovní provoz, lze k tomuto účelu použít spínací zařízení generátoru. Spínací zařízení musí zajišťovat galvanické oddělení ve všech fázích.

U vlastních výroben se střídači je třeba spínací zařízení umístit na střídavé straně střídače. Při společném umístění ve skříní střídače nesmí být spínací zařízení vyřazeno z činnosti zkratem ve střídači. Při použití tavných pojistek jako zkratové ochrany u NN generátorů je zapotřebí dimenzovat spínací zařízení minimálně podle vypínacího rozsahu předřazených pojistek.

Výrobce musí prokázat zkratovou odolnost celého zařízení. K tomu mu PDS udá velikost příspěvku zkratového ekvivalentního oteplovacího proudu a velikost nárazového zkratového proudu ze sítě. Způsobí-li nová výroba zvýšení zkratového proudu v síti PDS nad hodnoty, na

keré je zařízení sítě dimenzováno, pak musí výrobce učinit opatření, která výši zkratového proudu z této výroby nebo jeho vliv patřičně omezí, pokud se s PDS nedohodne jinak.

4.6 OCHRANY

Opatření na ochranu vlastní výroby (např. zkratovou ochranu, ochranu proti přetížení, ochranu před nebezpečným dotykem) je zapotřebí provést u všech zdrojů. U zařízení schopných ostrovního provozu je třeba zajistit chránění i při ostrovním provozu. K ochraně vlastního zařízení a zařízení jiných odběratelů jsou potřebná další opatření využívající ochran, které při odchylkách napětí a frekvence vybaví příslušná spínací zařízení.

4.6.1 NESELEKTIVNĚ VYPÍNANÉ VÝROBNÍ JEDNOTKY

Je zapotřebí zajistit ochrany s následujícími funkcemi:

FUNKCE	ROZSAH NASTAVENÍ	PŘÍKLAD NASTAVENÍ	ČASOVÉ ZPOŽDĚNÍ	PŘÍKLAD NASTAVENÍ
Podpětí 1. stupeň $U<$	$0,7 - 1,0 U_n$	$80\% U_n$	$t_{U<}$	0,5 s
Podpětí 2. stupeň $U<<$	$0,7 - 1,0 U_n$	$70\% U_n$	$t_{U<<}$	0,1 s
Přepětí 1. stupeň $U>$	$1,0 - 1,1 U_n$	$110\% U_n$	$t_{U>}$	0,5 s
Přepětí 2. stupeň $U>>$	$1,0 - 1,2 U_n$	$120\% U_n$	$t_{U>>}$	0,1 s
Podfrekvence 1. stupeň $f<$	48 – 50 Hz	49,8 Hz	$t_{f<}$	0,5 s
Podfrekvence 2. stupeň $f<<$	48 – 50 Hz	49,5 Hz	$t_{f<<}$	0,1 s
Nadfrekvence $f>$	50 – 52 Hz	50,2 Hz	$t_{f>}$	0,5 s

Pozn.: Po dohodě s PDS lze upustit od 2. stupňů ochrany.

Tabulka 2: Nastavení ochrany neselektivních výrobních jednotek

4.6.2 SELEKTIVNĚ VYPÍNANÉ VÝROBNÍ JEDNOTKY

Jako základní nastavení ochrany rozpadového místa jsou doporučeny hodnoty z tabulky 3:

FUNKCE	ROZSAH NASTAVENÍ	DOPORUČENÉ NASTAVENÍ OCHRANY	
Podpětí 1. stupeň $U<$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,70 U_n$	0 - 2,7 s
Podpětí 2. stupeň $U<<$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,30 U_n$	$\geq 0,15$ s
Přepětí 1. stupeň $U>$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,02 - 1,05 U_n$	≤ 60 s
Přepětí 2. stupeň $U>>$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,05 - 1,15 U_n$	nezpožděně
Nadfrekvence $f>$	50 – 52 Hz	51,5 Hz	≤ 100 ms
Podfrekvence $f<$	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz	≤ 100 ms
Jalový výkon (Q & $U<$)	$0,70 - 1,00 U_n$	$0,85 U_n$	$t_1 = 0,5$ s

Pozn.: Nastavení platí pro sdružené napětí sítí VN a 110kV

Tabulka 3: Nastavení ochrany selektivních výrobních jednotek

4.7 CHOVÁNÍ VÝROBEN V SÍTI

4.7.1 Zásady podpory sítě

Výrobní zařízení připojená do sítí VN s výkonem od 100 kVA a všechna připojená do sítí 110 kV musí být schopna se při dodávce do sítě podílet na udržování napětí. Přitom se rozlišuje mezi statickou a dynamickou podporou sítě. Požadované hodnoty a charakteristiky pro podporu sítě udává PDS. Dodržování zadaných hodnot zajišťuje automatické řízení ve výrobě. Detailní provedení je specifikováno ve smlouvě o připojení.

4.7.1.1 Statické řízení napětí

Statické udržování napětí v síti VN je udržování napětí ve smluvně stanovených mezích za normálního provozu v síti při pomalých změnách napětí. Pokud to vyžadují podmínky v síti, a PDS tento požadavek uplatní, musí se výrobní zařízení v síti VN na statickém udržování napětí podílet.

4.7.1.2 Dynamická podpora sítě

Dynamickou podporou sítě se rozumí udržování napětí při poklesech napětí v síti VVN a ZVN, zamezující nežádoucímu odpojení výkonů napájecích sítí VN a rozpadu sítě. Proto se musí i výrobny v sítích VN podílet na dynamické podpoře sítě. To znamená, že musí být technicky schopné zůstat připojené i při poruchách v síti. To se týká všech druhů zkratů (jedno-, dvou-, i třípólových).

Při dynamické podpoře je zapotřebí dodržet následující meze:

- při poklesu napětí mezi 100 % a 70 % dohodnutého napájecího napětí U_n v přípojném bodě s trváním
- do 0,7 s (déle než druhý časový stupeň síťové ochrany) musí výrobní zůstat připojená v síti
- Při poklesu napětí pod 30 % s trváním do 150 ms musí výrobní zůstat připojená k síti; pokud to není technicky možné, může v dohodě s PDS dojít k nezpožděnému odpojení

Jde-li o připojení do sítě s OZ, pak k odpojení musí dojít v průběhu beznapěťové přestávky. PDS stanoví, které výrobny se podle jejich předpokládaných technických možností musí podílet na dynamické podpoře sítě. To se děje zadáním nastavení pro rozpadovou síťovou ochranu. Zařízení uživatelů s výrobny, které při poruchách v napájecí síti přejdou pro pokrytí vlastní spotřeby do ostrovního provozu, musí se až do odpojení od sítě VN PDS podílet na podpoře sítě. Zamýšlený ostrovní provoz je zapotřebí odsouhlasit s PDS v rámci požadavku na připojení.

4.7.2 Přizpůsobení činného výkonu

Všechny výrobny připojené do DS výkonem od 100 kVA musí být schopné snižovat činný výkon automaticky v závislosti na kmitočtu v síti a podle poměrů v síti i podle povelů z řídicího dispečinku PDS.

4.7.2.1 Snižování činného výkonu v závislosti na kmitočtu sítě

Všechny výrobny připojené do sítí VN s výkonem od 100 kVA a všechny výrobny připojené do sítí 110 kV musí být schopné při kmitočtu nad 50,2 Hz snižovat okamžitý činný výkon gradientem 40 % na Hz podle vzorce (4.1):

$$\Delta P = 20 \cdot P_m \cdot \frac{50,2 \text{ Hz} - f_s}{50 \text{ Hz}} \quad (4.1)$$

kde P_m – okamžitý dostupný výkon

ΔP - snížení výkonu

f_s – frekvence sítě

V rozsahu $47,5 < f_s < 50,2$ Hz neodpojovat výrobní od sítě.

Při $f_s \leq 45,7$ Hz a $f_s \geq 51,5$ Hz odpojit výrobní od sítě.

4.7.2.2 Řízení činného výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Výrobní musí být provozovatelná se sníženým činným výkonem. PDS je ve smyslu EZ oprávněn ke změně činného výkonu v následujících stavech sítě:

- potenciální ohrožení bezpečného provozu systému (např. při předcházení stavu nouze a při stavech nouze)
- nutné provozní práce popř. nebezpečí přetížení v síti PDS
- nebezpečí vzniku ostrovního provozu
- ohrožení statické nebo dynamické stability
- vzrůst frekvence ohrožující systém
- údržba nebo provádění stavebních prací

V těchto případech má PDS právo vyžadovat automaticky působící přechodné omezení dodávaného činného výkonu nebo odpojení zařízení. PDS nezasahuje do řízení výrobní, nýbrž zadává požadovanou hodnotu. Snížení dodávaného výkonu na hodnotu požadovanou PDS v přípojném bodě sítě (např. na 60, 30 a 0 % instalovaného výkonu) musí být neprodlené, maximálně v průběhu jedné minuty. Přitom musí být technicky možné snížení až na hodnotu 0 % bez automatického odpojení výrobní od sítě. Činný výkon může být opět zvyšován teprve po návratu kmitočtu na hodnotu $f \leq 50,05$ Hz, pokud aktuální kmitočet nepřekročí 50,2 Hz. Rozsah necitlivosti musí být do 10 mHz.

4.7.3 Řízení jalového výkonu zdrojů v síti VN a 110kV v závislosti na provozních podmínkách

Jalový výkon musí být od instalovaného výkonu 100 kVA říditelný. Dohodnutý rozsah jalového výkonu musí být využitelný v průběhu několika minut a libovolně často. Při dodávce činného výkonu je nastavení jalového výkonu zadáváno PDS buď pevnou hodnotou nebo pokud to provoz sítě vyžaduje dálkově nastavitelnou žádanou hodnotou.

Žádaná hodnota je buď:

- pevná hodnota zadaného účinníku $\cos \varphi$
- hodnota účinníku $\cos \varphi = f(P)$
- zadaná hodnota jalového výkonu
- zadaná hodnota napětí
- charakteristika $Q(U)$

Pokud je PDS zadána charakteristika, musí být automaticky nastavena odpovídající hodnota jalového výkonu.

- pro charakteristiku $\cos \varphi = f(P)$ v průběhu 10 s
- pro charakteristiku $Q(U)$ nastavitelně mezi 10 s a jednou minutou (udá PDS)

Stejně jako zvolený způsob řízení, tak i žádané hodnoty zadává PDS podle potřeb provozu sítě individuálně pro každou výrobní.

Zadání může být:

- dohodou na hodnotě nebo harmonogramu
- on-line zadáváním

Při variantě on-line zadávání musí vždy po novém zadání dosažen nový pracovní bod výměny jalového výkonu nejpozději po jedné minutě.

U kompenzačního zařízení zdrojů je zapotřebí přihlížet ke způsobu provozu vlastní výrobní a z toho vyplývajících zpětných vlivů na síťové napětí.

Při silně kolísajícím výkonu pohonu (např. u některých typů větrných elektráren) musí být kompenzace jalového výkonu automaticky a dostatečně rychle regulována. Kompenzační kondenzátory nesmějí být připínány před zapnutím generátoru. Při vypínání generátoru musí být odpojeny současně.

Provoz zdrojů může vyžadovat opatření k omezení napětí harmonických a pro zamezení nepřijatelného zpětného ovlivnění HDO. S PDS je proto zapotřebí odsouhlasit výkon, zapojení a způsob regulace kompenzačního zařízení, případně i hrazení harmonických nebo frekvence HDO vhodnými indukčnostmi.

Pro jednoznačné přiřazení pásem účinníku slouží následující tabulka. Pro předcházení rozporům při hodnocení účinníku se přitom doporučuje používat jednotně spotřebičovou orientaci.

PŘÍKLAD	ZDROJOVÁ ORIENTACE	SPOTŘEBIČOVÁ ORIENTACE
Synchronní generátor (přebuzený)	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$
Synchronní motor (přebuzený)	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Tabulka 4: Orientace znamének výkonů

4.8 OVLIVNĚNÍ SÍTĚ PROVOZEM VÝROBNY A ZPĚTNÉ VLIVY NA SÍŤ

K zabránění zavlečení zpětného napětí do sítí PDS je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výroby k síti PDS bylo možné pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím. K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor popř. více paralelních generátorů se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpěťové ochrany. K ochraně vlastní výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut. Časové odstupňování při připojování více generátorů v jednom společném předávacím místě je zapotřebí odsouhlasit s PDS.

4.8.1 Zvýšení napětí

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě v přípojném bodu překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti VN a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení.

$$\Delta u_{VN,110kV} \leq 2\% \quad (4.2)$$

Napěťová změna se dá v sítích VN a 110kV s jedním přípojným místem jednoduše vyjádřit zkratovými výkony, potom maximální přípojitelný výkon všech nových zdrojů je:

$$S_A \leq \frac{S_{kS}}{50} \quad (4.3)$$

kde S_A je jmenovitý zdánlivý výkon výroby (všech připojovaných výroben)

S_{kS} je zkratový výkon sítě v místě připojení

V případě, že síť je silně induktivní, vzorec (4.3) posuzuje vliv výroby příliš konzervativně, tedy připojení zdrojů nevyvolá zvýšení napětí nad povolenou mez. Tehdy je zapotřebí výpočet korigovat uvažováním komplexní hodnoty impedance sítě – použít její fázový úhel ψ_{kS} , jež poskytne přesnější výsledek.

Podmínka pro maximální výkon výroby v síti VN potom přejde do tvaru:

$$S_A \leq \frac{S_{kS}}{50 \cdot |\cos(\psi_{kS} - \varphi)|} \quad (4.4)$$

kde φ je fázový úhel mezi napětím a proudem výroby při maximálním výkonu S_A

V propojených sítích, v sítích 110 kV a/nebo při provozu více rozptýlených výroben v síti je zapotřebí určovat zvýšení napětí s pomocí komplexního chodu sítě. Přitom musí být dodržena podmínka pro Δu v nejnepříznivějším přípojném bodě. Při posuzování přípojitelnosti výroben se vychází z neutrálního účinníku v předávacím místě do DS, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám (bilance jalové energie, napětí v síti) nestanoví jinak. V tomto případě je pak zapotřebí doložit podrobnějšími výpočty bilanci ztrát v síti bez zdroje a při jeho provozu.

4.8.2 Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřijatelné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výrobní s předávacím místem v síti VN nepřekročí 2 %.

$$\Delta u_{\max VN, 110kV} \leq 2\% \quad (4.5)$$

Toto platí, není-li spínání častější než jednou za 90 sekund. Při malé četnosti spínání (např. jednou denně) může PDS, dovolí-li to provozní podmínky, povolit změnu napětí vyšší.

Pro výrobní pracující do sítě 110kV platí následující omezení:

a) Normální provoz

- spínání části zařízení (např. jednoho generátoru)

$$\Delta u_{\max} \leq 0,5\% \quad (4.6)$$

- spínání celého zařízení

$$\Delta u_{\max} \leq 2\% \quad (4.7)$$

b) Poruchový provoz

- platí pro změnu napětí při spínání celého zařízení

$$\Delta u_{\max} \leq 5\% \quad (4.8)$$

Může-li při připojení výrobní dojít k proudovému nárazu, určí se změna napětí ze vzorce:

$$\Delta u_{\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \cdot \frac{S_A}{S_{kS}} \quad (4.9)$$

kde I_a je zapínací proudový ráz

I_{nG} je jmenovitý proud generátoru

Asynchronní stroje připojované přibližně se synchronními otáčkami mohou vlivem svých vnitřních přechodných jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro síť vn 4 %, pro síť nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu. Pro větrné elektrárny platí speciální "činitel spínání závislý na síti", který musí výrobce prokazovat, jímž se hodnotí jejich spínání a který také respektuje zmíněné velmi krátké přechodné jevy. Tento činitel respektuje nejen výši, ale i časový průběh proudu v průběhu přechodného děje a udává se jako funkce úhlu impedance sítě ψ pro každé zařízení ve zkušebním protokolu.

S ohledem na minimalizaci zpětného vlivu na síť PDS je zapotřebí zamezit současnému spínání více generátorů v jednom předávacím místě. Technické řešení je časové odstupňování jednotlivých spínání, které je závislé na vyvolaných změnách napětí. Při maximálním přípustném výkonu generátoru musí být minimálně 1,5 minuty. Při zdánlivém výkonu generátoru do poloviny přípustné hodnoty postačí odstup 12 s.

Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. U vlastních výroben se střídači, schopných ostrovního provozu, které nejsou spínány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky zapnutí platné pro synchronní generátory.

4.8.3 Flickr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí flickr dodržet ve společném napájecím bodě VN pod mezní hodnotou

$$P_{ltVN} \leq 0,46 \quad (4.10)$$

$$P_{lt110kV} \leq 0,37 \quad (4.11)$$

Dlouhodobá míra flickru jednoho zdroje se určí jako:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nG}}{S_{kS}} \quad (4.12)$$

kde c je činitel flickru udaný výrobcem zařízení

S_{nG} je jmenovitý výkon výrobní jednotky

U zařízení s n stejnými jednotkami se výsledný činitel flickru vypočte:

$$P_{lm} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nG}}{S_{kS}} \quad (4.13)$$

4.8.4 Proudů vyšších harmonických

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

U výroben pracujících do sítí VN a 110kV se harmonické vyšetřují podle následujícího postupu.

4.8.4.1 Výrobní pracující do VN s jedním předávacím místem

Přípustné harmonické proudy v jediném předávacím místě určíme ze vztažných proudů uvedených v Tabulce 5 a zkratového výkonu v přípojním bodě:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kS} \quad (4.14)$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} ve společném napájecím bodu

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kS} \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (4.20)$$

U zařízení sestávajících z jednotek stejného typu lze za S_A dosadit ΣS_{nA} . To platí též pro větrné elektrárny. U zařízení z nesterajných typů jde pouze o odhad.

Celkově přípustné harmonické proudy pro síť VN, vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v Tabulce 5.

Pro harmonické s řády násobků tří platí hodnoty v Tabulce 5 pro nejbližší řád, a to pouze, pokud se nulová složka proudů z výrobní neuzavírá do sítě.

ŘÁD HARMONICKÉ	PŘÍPUSTNÝ VZTAŽNÝ PROUD VN $i_{v,př}$	PŘÍPUSTNÝ VZTAŽNÝ PROUD 110kV $i_{v,\mu zvl}$
5	0,058	2,6
7	0,041	3,75
11	0,026	2,4
13	0,019	1,6
17	0,011	0,92
19	0,009	0,70
23	0,006	0,46
>25	0,003	5,25/ ν
>40	0,09	16/ μ

Tabulka 5: Příпустné proudy harmonických v síti VN 22kV a 110 kV

Pro sčítání harmonických pocházejících od různých odběratelů i výroben platí následující pravidla:

- usměrňovače řízené sítí (6-ti nebo 12-ti pulzní)

Typické harmonické těchto střídačů (řády 5, 7, 11, 13, atd.) a netypické řádů nižších než 7 se sčítají aritmeticky dle vzorce

$$I_v = \sum_{i=1}^n I_{vi} \quad (4.21)$$

Pro netypické harmonické řádů vyšších než 7 je celkový harmonický proud roven odmocnině ze součtu kvadrátů harmonických proudů tohoto řádu

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2} \quad (4.22)$$

- pulzně modulované střídače

Pro řády jež nejsou celočíselné a pro celočíselné řády vyšší než 11 je celkový proud roven odmocnině ze součtu kvadrátů pro jednotlivá zařízení

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu i}^2}$$

Pokud se vyskytnou u těchto střídačů netypické harmonické proudy řádu $\mu < 11$, pak se tyto sčítají aritmeticky.

Jsou-li překročeny přípustné hodnoty harmonických proudů (nebo přípustné proudy meziharmonických), pak jsou zapotřebí podrobnější posouzení. Přitom je třeba mít na paměti, že hodnoty přípustných harmonických proudů jsou voleny tak, aby platily i při vyšších frekvencích pro indukční impedanci sítě, tj. např. pro čisté venkovní sítě. V sítích s významným podílem kabelů je ale síťová impedance v mnoha případech nižší, takže mohou být přípustné vyšší proudy

harmonických. Předpokladem je výpočet a posouzení napětí harmonických ve společném napájecím bodu při uvažování skutečné (frekvenčně závislé) impedance sítě ve společném napájecím bodu. Navíc k dosavadním požadavkům je zapotřebí dodržet podmínku, že v rozsahu frekvencí 2000 Hz až 9000 Hz nepřekročí ve společném napájecím bodu napětí 0,2 %.

4.8.4.2 Výrobní pracující do VN s více předávacími místy

Je-li v síti několik předávacích míst, musí být při posuzování poměrů v jednom předávacím místě brány v úvahu též ostatní předávací místa. Podle toho jsou poměry v síti VN přípustné, pokud v každém společném napájecím bodu nepřekročí harmonické proudy emitované do sítě hodnotu

$$I_{v,př} = i_{v,př} \cdot S_{kS} \frac{S_{AV}}{S_S} \quad (4.23)$$

kde S_{AV} je součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v napájecím bodě
 S_S je celkový výkon, na nějž je síť navržena

Pokud podle tohoto výpočtu dojde k překročení přípustných harmonických proudů, pak v zásadě připojení není možné, pokud podrobnější výpočet neprokáže, že přípustné hladiny harmonických napětí v síti nejsou překročeny.

4.8.4.3 Výrobní pracující do 110kV

Pro tyto sítě udává Tabulka 5 celkové dovolené proudy harmonických pro zařízení připojená do jedné transformovny nebo do jednoho vedení 110 kV. Tyto hodnoty převzaté se vztahují ke zkratovému výkonu v předávacím místě výroby.

Přípustné proudy harmonických jednoho výrobního zařízení se získají pak pro harmonické do řádu 13 takto:

$$I_{v,\mu zul} = i_{v,\mu zul} \cdot S_{kS} \frac{S_A}{S_0} \quad (4.24)$$

kde S_0 je referenční výkon

$i_{v,\mu zul}$ je přípustný vztahný proud dle Tabulky 5

Pro harmonické řádů vyšších než 13 a pro meziharmonické:

$$I_{v,\mu zul} = i_{v,\mu zul} \cdot S_{kS} \sqrt{\frac{S_A}{S_0}}$$

Proudy harmonických a meziharmonických řádů vyšších než 13 se nemusí respektovat, když je výkon největšího dodávajícího měniče menší než 1/100 zkratového výkonu sítě v přípojném bodě. Je-li výrobní zařízení připojeno k úseku vedení mezi dvěma transformovnami, dosazuje se za referenční výkon S_0 tepelný mezní výkon tohoto úseku vedení. Při připojení výrobního zařízení přímo nebo přes zákazníkovo vedení k transformovně se za S_0 dosazuje maximálně k transformovně připojitelný vyráběný výkon.

Dodržení přípustných proudů zpětných vlivů lze prokázat měřením celkového proudu v předávacím místě nebo výpočtem z proudů připojených jednotlivých zařízení.

5 DISPEČERSKÝ ŘÍDÍCÍ SYSTÉM SINAUT SPECTRUM

Program SIEMENS SINAUT Spectrum, jež využívají pracovníci společnosti E.ON Dispečink 110kV k řízení sítě 110kV v oblastech patřících E.ON, se skládá z několika různých subsystémů (modulů). Základní konfigurace zaručující provoz systému může být dle požadavků rozšířena o další funkce instalací subsystému. Přehled těchto subsystémů je uveden v tabulce. Popis částí systému je proveden dle literatury [5] poskytnuté společností E.ON.

Označ.	Funkce subsystému
BSS	Basis System Services – Základní funkce (Základní systémové služby)
SDM	Source Data Management – Správa zdrojových dat (Správa datového modelu)
UI	User Interface – Uživatelské rozhraní
FES	Telecontrol Interface – Rozhraní dálkového ovládání
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA funkce
HIS	Historický informační systém
MS	Multisite Operation of Control Centers – Propojený provoz dispečinků
NA	Network Applications – Síťová analýza
DMS	Distribution Management System – Systém řízení distribuce

Tabulka modulů programu Siemens Sinaut Spectrum

Základní funkce BSS – operační systém, výměna dat, koordinace počítačů atd.

Správa zdrojových dat SDM – pořízení a údržba dat (data sítí, grafika, import/export dat)

Uživatelské rozhraní UI – graficky orientované rozhraní mezi obsluhou a systémem

Dálkové ovládání FES – napojené řízeného procesu prostřednictvím zařízení dálkového ovládání

SCADA – realizace funkcí nutných pro běh systému (signalizace, měření, ovládání a doshled)

Historický inf.systém HIS – ukládání, archivace a pozdější rekonstrukce dat z procesu

Propojený provoz dispečinků MS – konfigurace a řízení dynamicky propojených řídicích systémů

Síťová analýza NA – rychlé a komplexní posouzení a optimalizace aktuálního stavu sítě

Řízení distribučních sítí DMS – slouží k účinnému a hospodárnému provozu distribučních sítí

Pro potřeby této diplomové práce se není třeba zabývat celým systémem, nejdůležitějším je modul Síťová analýza NA, v němž je práce zpracována.

Analýza pracuje podle postupu uvedeném v kapitole 3 a využívá Newtonovy iterační metody probrané v kapitole 3.4 této práce.

5.1 MODUL SÍŤOVÁ ANALÝZA NA

Uvnitř celého systému Sinaut Spectrum souží modul NA obsluze k rychlému a úplnému posouzení aktuálního stavu sítě. Tím podstatně zvyšuje bezpečnost a hospodárnost provozu.

Simulací některých provozních stavů sítě se mohou určit optimální způsoby řízení i stanovit různé cíle a tím vzít ohled na měnící se okrajové podmínky.

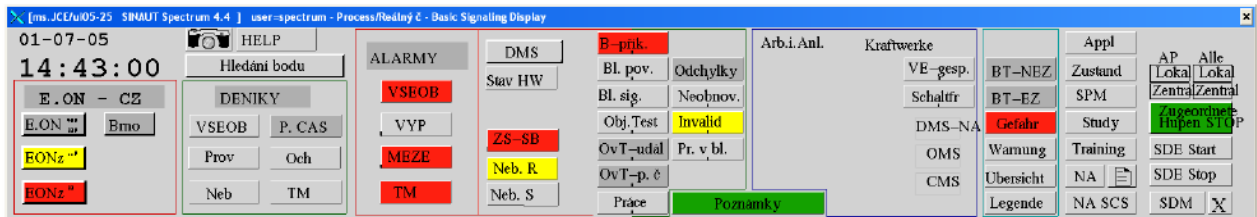
Funkce

- konfigurační síť
- redukce sítě
- přizpůsobení zátěže v uzlech
- stavový estimátor
- výpočet toku výkonů
- analýza variant výpadků
- výpočet trestních faktorů (ztráty energie v přenosové síti)
- zkratové výpočty
- optimalizace U a Q
- optimální nastavení profilu napětí
- rychlá korekce napětí
- rychlá korekce přetížení

Vlastnosti

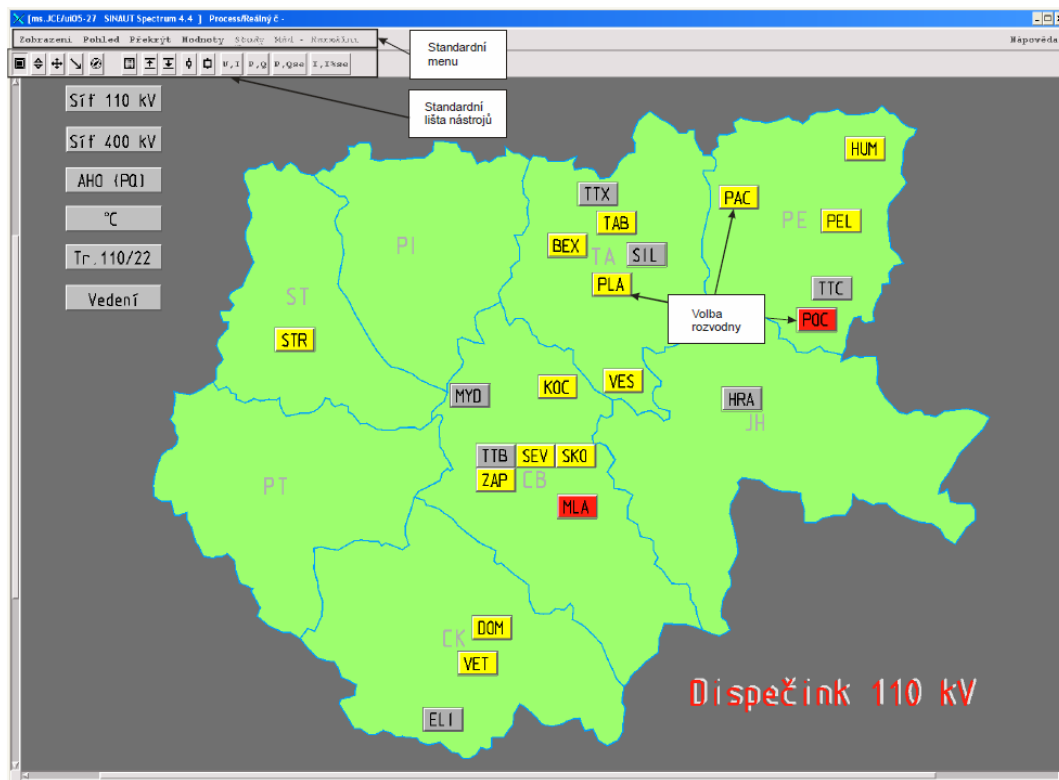
- práce v režimech PROCES A STUDIE
- vytvoření náhradních sítí pro připojení cizích sítí
- vyhodnocení topologie a určení modelu uzlů/větví
- určení výkonu v uzlech (napájení nebo spotřeba)
- zahrnutí ztrát v přenosové síti
- určení variant výpadků, jež vedou ke kritickým stavům sítě
- zadání stavů sítě, pro které se dopočtou toky výkonu, proudy a napětí

5.1.1 VZHLED OVLÁDACÍCH PRVKŮ A OKEN V SINAUT SPECTRUM



Obrázek 4: Základní ovládací prvky rozhraní BASIDI programu Sinaut Spectrum

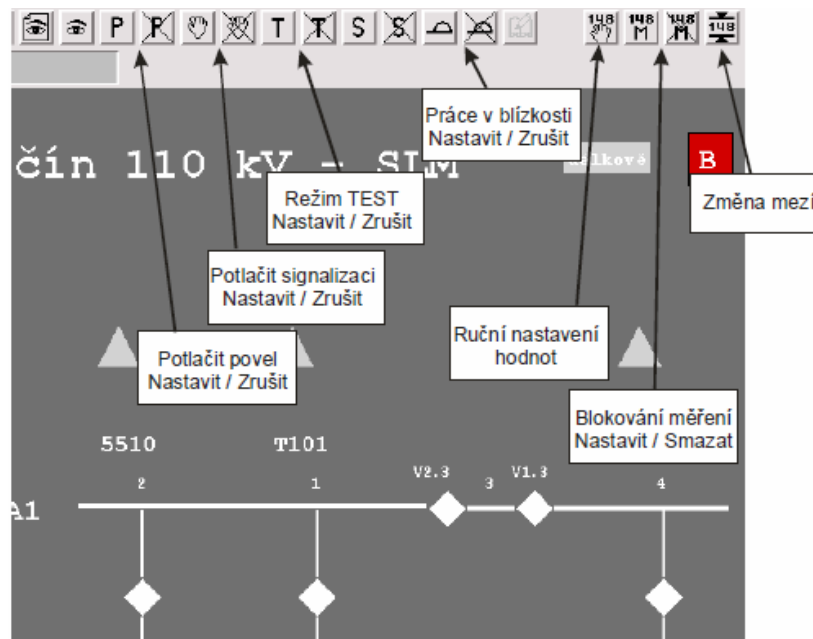
Červená políčka značí alarmy z některých provozních stavů sítě, žlutá výstrahy. Šedé ikony jsou ovládací prvky pro výběr částí sítě a práci s nimi.



Obrázek 5: Vzhled sítě E.ON západ v Sinaut Spectrum

V přehledném okně z obrázku 5 si může dispečer vybrat část sítě, jež chce zkontrolovat nebo v ní provést manipulaci. Rozvodny jsou v systému značeny jejich zkratkami. Pro rozlišení rozveden mezi oblastmi E.ON východ a západ je ke zkratkám rozveden v oblasti východu předřazeno písmeno M – příkladem jsou Sokolnice se zkratkou MSO. Rozvodna Kočín v oblasti západ potom KOC.

Na obrázcích 6 a 7 jsou uvedeny detaily schémat jednotlivých rozveden 110 a 22 kV. Manipulace s přístroji se provádí kliknutím na požadovaný přístroj (odpojovač, vypínač...) a potvrzením akce. Komentář na Obrázku 6 ukazuje umístění pracovních nástrojů rozvodny. Obrázek 8 ukazuje nástroje rozvodny. Pomocí nich se dostaneme k Obrázku 9, který zobrazuje výřez okna, v němž se zadávají uzlové výkony v síti 110 kV – okno pro řešení ustáleného chodu sítě.



Obrázek 8: Ovládací prvky modulu NA

Odběry NA - E.on východ

BO	SBA1	-3.3	-0.6	HI	SBA1	8.4	-2.4
	SBA2	-3.3	-0.6		SBA2	-7.5	-0.9
	SBB1	-3.5	-1.1	HJ	SBA1	8.3	-2.1
	SBB2	-3.5	-1.1		SBA2	8.3	-2.1
BOB	SBA1	-14.2	0.5	HO	SBA	-5.6	-3.1
	SBA2	-14.2	0.5		SBB	0.0	0.0
	SBB1	-4.5	0.1		SBC	0.0	0.0
	SBB2	-4.5	0.1	HU	SBA1	-0.7	-0.7
BR	SBA1	-0.7	-1.3		SBA2	-0.7	-0.7
	SBA2	-0.7	-1.3	HUM	SBA1	-4.5	-2.4
	SBA3	-0.7	-1.3		SBA2	-2.1	-2.6
	SBB1	-4.1	-0.9	HUV	SBA1	-13.1	-0.1
	SBB2	-4.1	-0.9		SBA2	-13.1	-0.1
	SBB3	-4.1	-0.9		SBB1	-5.4	-0.1
BRD	T1	-1.9	-0.6		SBB2	-5.4	-0.1
	T2	-1.9	-0.6				

Obrázek 9: Prostředí zadávání odběrů a dodávek výkonů v uzlech sítě 110 kV (v MW / MVar)

Pro lepší čitelnost Obrázek 9 zobrazuje pouze část okna sítě 110 kV v celé oblasti E.ON. Zobrazené hodnoty jsou uzlové výkony v MW respektive MVar na jednotlivých přípojnicích každé rozvodny.

6 VLIV DECENTRÁLNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA SÍŤ E.ON

6.1 OBECNÉ INFORMACE O SÍTI 110kV E.ON

Společnosti E.ON patří sítě v oblastech Jižní Čechy a Jižní Morava (kraje bývalých REAS JČE a JME). Společnost E.ON tyto části sítě nazývá E.ON ZÁPAD a E.ON VÝCHOD. Tyto sítě jsou distribučního charakteru o napětích 110kV, 22kV a 0,4/0,23kV s vazbami na přenosovou soustavu v uzlových předávacích stanicích Čebín, Dasný, Kočín, Mírovka, Otrokovice, Slavětice, Sokolnice 400kV a 220kV, Tábor a Prosenice. Tato práce se zabývá vlivy decentralní výroby na síť 110 kV v uzlovém bodě Sokolnice 220/110kV a dále v napájecí stanici VN Hrušovany nad Jevišovkou.

Celkově dosahuje zátěž v síti E.ON při **zimním maximu 2300 MW**, v **letním období 1850 MW** a **v noci 1000 MW**. Z celkové spotřeby **ČR 10500 MW** tak představuje zhruba **jednu pětinu** spotřeby elektrické energie. Informace v této kapitole jsou čerpány z materiálů poskytnutých společností E.ON v tištěné nebo elektronické podobě – literatura [3].

Do sítě 110kV E.ON pracují některé zdroje elektrické energie lokálního charakteru:

VÝROBNA	EL. VÝKON	VÝROBNA	EL. VÝKON
Elektrárna Hodonín	100 MW	Teplárny Brno – Špitálka	45 MW
Teplárny Brno – Červený Mlýn	90 MW	Spalovna Brno	25 MW
Teplárna Kyjov	25 MW	Teplárna České Budějovice	40 MW
Teplárna Tábor	30 MW	Teplárna Písek	20 MW
Elektrárna Vranov nad Dyjí	3x6 MW	Elektrárna Vírská přehrada	6+1 MW

Tabulka 6: Výrobní elektrické energie větších výkonů pracující do sítě E.ON

Celkově tedy přímo do **sítě E.ON pracují zdroje o výkonu 400 MW**, zbytek výkonu (600 - 1900 MW) síť odebírá z PS.

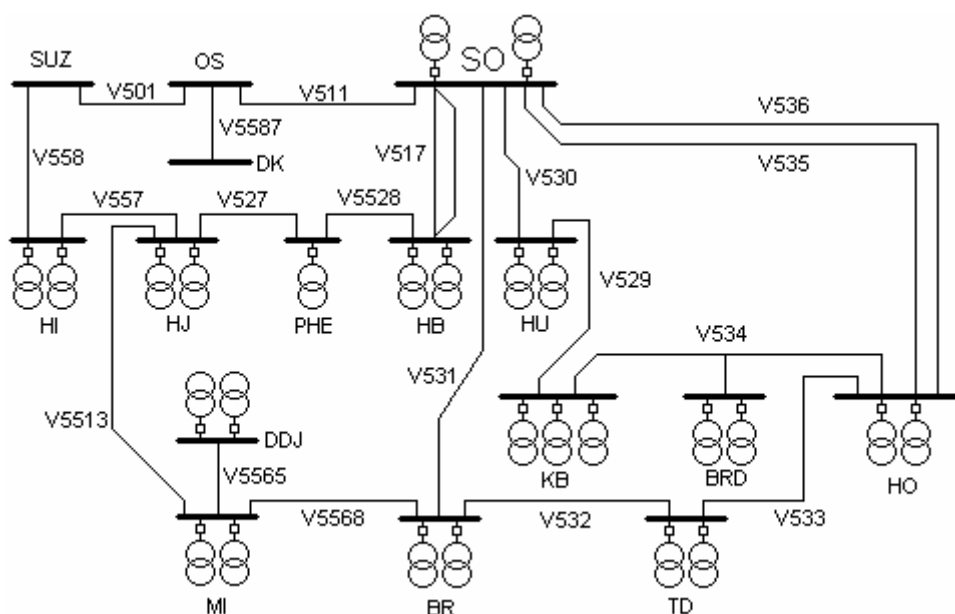
S nástupem obnovitelných zdrojů elektrické energie, zapříčiněným štedrým dotováním výkupních cen ze strany České republiky, dochází ke zvyšování výkonu připojeného do sítě ve zdrojích OZE. Jsou jimi zejména fotovoltaické elektrárny (FVE), v současné době (k 19.1.2011) **pracuje do sítě VN a 110kV E.ON cca 900 MW ve FVE**, z toho **do E.ON východ 581 MW** ve 374 výrobnách.

Celkově je v ČR k únoru 2011 instalováno **2113 MW** výkonu ve FV zdrojích [4].

6.2 POPIS ZÁKLADNÍHO ZAPOJENÍ OBLASTI 110 KV E.ON VÝCHOD V UZLOVÉ OBLASTI SOKOLNICE 220/110 kV

Řešenou oblastí je oblast jižní Moravy, napájená z uzlového bodu Sokolnice dvěma transformátory 220/110kV (T202, T203) z nadřazené přenosové soustavy. Schéma řešené oblasti se nachází na Obrázku 10 (totéž schéma je uvedeno v Příloze A). V oblasti se nachází 16 rozvoden propojených 20ti vedeními 110kV.

Základní zapojení sítě a uvedené údaje se vztahují ke dni 7.3.2011 ve 12.15 hodin.



Obrázek 10: Schéma řešené sítě 110kV v uzlové oblasti Sokolnice 220/110kV

6.2.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH ROZVODEN V ŘEŠENÉ OBLASTI

Sokolnice 220/110kV

Tato rozvodna slouží jako napájecí bod sítě, energii odebírá z přenosové soustavy dvěma transformátory 220/110kV - T202 a T203, každý o výkonu 200 MVA. Zkratka rozvodny v dispečerském systému je SO. Uzel SO je provozován jako bilanční, je v něm tedy pevně nastaveno napětí 119,3 kV. Typická dodávka energie z uzlu do sítě je 125,5 MW a nepracují do něj žádné zvláštní zdroje. Rozvod energie z uzlu SO je realizován vedeními V511, V517 (dvojitě), V530, V531, V535 a V536.

Hrušovany u Brna

Rozvodna 110/22 kV napájí podružnou oblast s typickým odběrem (konzumem) 17,3 MW dvěma transformátory, každý o výkonu 40 MVA. Zkratka v systému je HB. Pracuje do ní 7 FV elektráren o celkovém výkonu 15,7 MW. Připojená vedení jsou V517 a V5528.

Pohořelice

Tato rozvodna 110/22 kV napájí svoji oblast s typickým odběrem (konzumem) 6,4 MW jedním transformátorem o výkonu 16 MVA. Zkratka v systému je PHE. Pracují do ní 3 FV elektrárny o celkovém výkonu 5,5 MW. Připojená vedení jsou V527 a V5528.

Hrušovany nad Jevišovkou

Tato rozvodna 110/22 kV napájí svoji oblast s typickým odběrem (konzumem) 10,5 MW dvěma transformátory, o výkonech 16 a 40 MVA. Zkratka v systému je HJ. Pracuje do ní 28 FV elektráren o celkovém výkonu 43,1 MW. Připojená vedení jsou V527, V557 a V5513.

Hodonice

Tato rozvodna 110/22 kV napájí svoji oblast s typickým odběrem (konzumem) 10,2 MW dvěma transformátory, každý o výkonu 25 MVA. Zkratka v systému je HI. Pracuje do ní 11 FV elektráren o celkovém výkonu 11,8 MW. Připojená vedení jsou V557 a V558.

Suchohrdly u Znojma

Rozvodna 110/22 kV Suchohrdly u Znojma, napájející oblast města Znojma, je v základním zapojení napájena z uzlové oblasti Slavětice. S uzlovou oblastí Sokolnice 220/110kV je propojena přes volnou přípojnicí pro případ výpadku napájení ze strany Slavětic. Zkratka je SUZ. Připojená vedení jsou V501 a V558.

Oslavany

Rozvodna Oslavany je v základním zapojení napájena z uzlové oblasti Slavětice, přes volnou přípojnicí je pro případ výpadku napojena do uzlové oblasti Sokolnice 220/110kV. Zkratka je OS. Připojená vedení jsou V501, V511 a V5587.

Dukovany, vlastní spotřeba

Pro případ výpadku napájení v Jaderné elektrárně Dukovany je přes volnou přípojnicí držena záloha z uzlu Sokolnice 220/110kV. Zkratka je DK, vedení V5587.

Mikulov

Rozvodna 110/22 kV napájí oblast města Mikulov s typickým odběrem (konzumem) 13,1 MW dvěma transformátory o výkonech 16 a 40 MVA. Zkratka v systému je MI. Pracují do ní 4 FV elektrárny o celkovém výkonu 9,5 MW. Připojená vedení jsou V5513, V5565, V5566 a V5568.

Dolní Dunajovice, podzemní zásobník plynu

Tato rozvodna 110/6kV slouží k napájení kompresorů v provozu podzemního zásobníku plynu společnosti RWE Gas Storage. Umístěny jsou v ní 2 transformátory o výkonu 10 MVA každý, s typickým odběrem 1,8 MW. Rozvodna je připojena dvěma linkami 110kV (V5565 a V5566), z čehož druhá zmíněná je v základním zapojení vypnutá. Zkratka je DDJ.

Hustopeče

Tato rozvodna 110/22 kV napájí svoji oblast s typickým odběrem 13,8 MW dvěma transformátory, každý o výkonu 25 MVA. Zkratka v systému je HU. Pracuje do ní 8 FV elektráren o celkovém výkonu 12,0 MW. Připojená vedení jsou V529 a V530.

Klobouky u Brna

Tato rozvodna 110/22 kV napájí svoji oblast s typickým odběrem 11,6 MW jedním transformátorem o výkonu 16 MVA. Zkratka v systému je KB. Pracuje do ní 7 FV elektráren o celkovém výkonu 13,1 MW. Připojená vedení jsou V529 a V548. V uzlu se dále nachází odběr 2,4 MW dvěma transformátory 10 MVA pro napájení benziny společnosti ČEPRO.

Břeclav

Rozvodna 110/22 kV napájí podružnou oblast s typickým odběrem 22,5 MW dvěma transformátory, každý o výkonu 40 MVA. Zkratka v systému je BR. Pracuje do ní 12 FV elektráren o celkovém výkonu 19,0 MW. Připojená vedení jsou V531, V532 a V5568.

Břeclav, ČD

Rozvodna 110/25kV (1f) slouží k napájení železniční trakce Českých drah. Typický odběr je 3,7MW, zajištěný dvěma transformátory 13,3 MVA. Zkratka je BRD. Zvláštností rozvodny je její umístění, je napájena odbočkou z vedení V534 mezi uzly Klobouky a Hodonín.

Hodonín

V této rozvodně se nachází velký zdroj, elektrárna Hodonín o výkonu 100MW. Změnou základního zapojení v lednu 2011 došlo k převedení tohoto zdroje a jeho vlastní spotřeby do uzlové oblasti Otrokovice. Pro napájení potřeb města Hodonín (typicky 13,6 MW) jsou použity 2 transformátory o výkonu 40 MVA. Připojená vedení jsou V533, V534, V535 a V536. Zkratkou této rozvodny je HO.

Tvrdonice, podzemní zásobník plynu

Tato rozvodna 110/6kV slouží k napájení kompresorů v provozu podzemního zásobníku plynu společnosti RWE Gas Storage. Umístěny jsou v ní 2 transformátory o výkonu 16 a 25 MVA, s typickým odběrem 0,1 MW. Rozvodna je připojena dvěma linkami 110kV V532 a V533. Zkratka je TD.

Všechny výše uvedené parametry rozvodn jsou pro přehlednost uvedeny do Tabulky 7.

ROZVODNA 110kV	ZKRATKA ROZVODNY V DŘS	KONZUM (ODBĚR) P (MW)	DODÁVKA DO SÍTĚ	VÝROBA PŘI UVAŽOVÁNÍ DEC. ZDROJŮ		
			bez zdrojů P (MW)	Ve FV zdrojích P (MW)	V jiných zdrojích (MW)	P
Sokolnice 220/110kV	SO	0,0	125,5	0,0	0,0	0,0
Hrušovany u Brna	HB	17,3	0,0	15,7	0,0	15,7
Pohofelice	PHE	6,4	0,0	5,5	0,0	5,5
Hrušovany nad Jevišovkou	HJ	10,5	0,0	43,1	6,7	49,8
Hodonice	HI	10,2	0,0	11,8	2,0	13,8
Suchohrdly u Znojma	SUZ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Oslavany	OS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mikulov	MI	13,1	0,0	9,5	0,0	9,5
Dolní Dunajovice, PZP	DDJ	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Hustopeče	HU	13,8	0,0	12,0	2,4	14,4
Klobouky u Brna	KB	11,6	0,0	13,1	0,0	13,1
Břeclav	BR	22,5	0,0	19,0	0,0	19,0
Břeclav, ČD	BRD	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Hodonín	HO	13,6	0,0	7,8	16,8	24,6
Tvrdonice, PZP	TD	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dukovany, VS	DK	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
CELKEM :		124,7	125,5	137,5	27,9	165,4

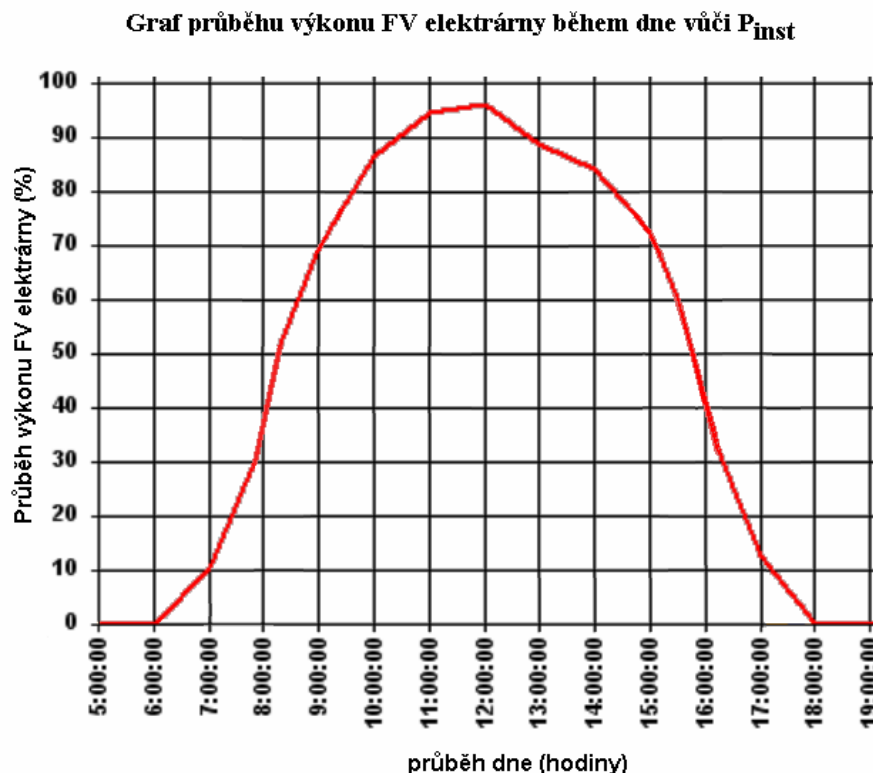
Tabulka 7: Seznam rozvodů, odběrů a zdrojů v síti 110kV v uzlové oblasti Sokolnice 220/110kV

Dodávkou do sítě bez zdrojů se rozumí pracující zdroje elektrické energie (případně síťové napáječe) před zapojením rozptýlených zdrojů el.energie do sítě.

Výrobou při uvažování decentralních zdrojů se rozumí pracující nové zdroje většího výkonu lokálního charakteru připojené do DS 22kV nebo 110kV se známými přenosy dat do DŘS.

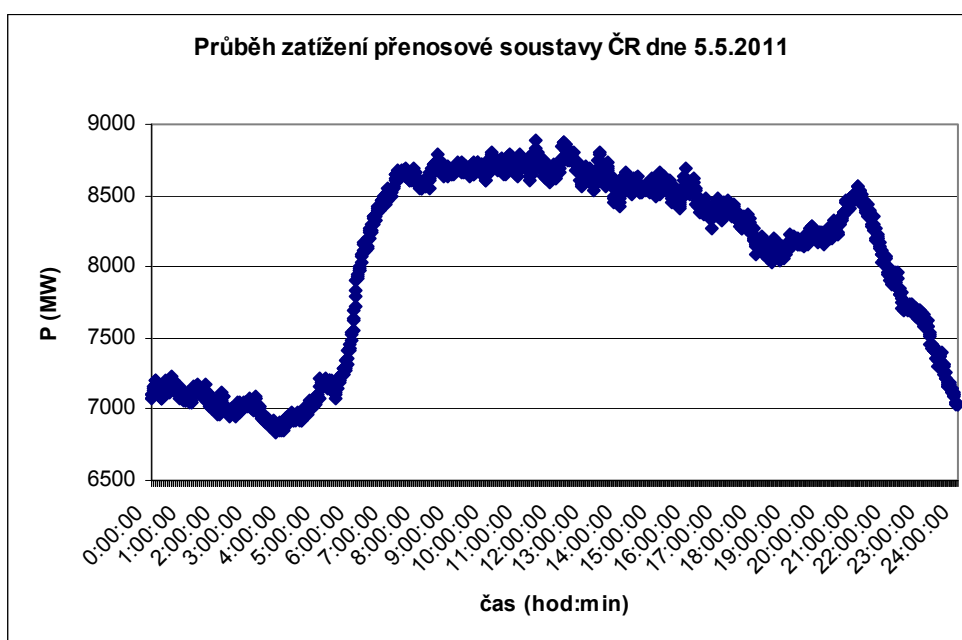
V Tabulce 7 si můžeme všimnout, že **ztráty elektrické energie** dosahují hodnoty asi **0,8 MW**, což je velmi dobrá hodnota, k níž přispívá poměrně malé zatížení vedení v oblasti. Dalším důležitým faktem je celková **velikost výkonu instalovaného** v decentralních, zejména **fotovoltaických (FV)**, zdrojích. **Svým instalovaným výkonem 165,4 MW převyšují tyto zdroje o 40,7 MW celkovou spotřebu oblasti (124,7 MW)**. Je tedy zřejmé, že dojde k obrácení směru toku na některých vedeních a k přetoku nadbytečného výkonu do vyšší napěťové hladiny přes transformátory v Sokolnicích.

Dobu trvání těchto dějů není snadné přesně definovat, jelikož závisí na mnoha faktorech (zejména oblačnost a teplota, také však okamžité zatížení v soustavě). U statických FV systémů (s pevně nastavenou polohou vůči Slunci) tuto dobu můžeme přibližně určit ze změřených hodnot provozu sítě. Příklad průběhu výroby FV zdroje je uveden v Grafu 1. Od ranních hodin výkon zhruba lineárně roste až do 12.00 hodin a poté opět klesá až do západu slunce. S výkonem v rozmezí 90-100% P_{inst} zdroje obvykle pracují v rozmezí 11.00-13.00 hodin. Podobný průběh můžeme za předpokladu shodného stavu počasí pozorovat během celého roku.



Graf 1: Příklad průběhu výroby FV elektrárny během dne vůči jejímu instalovanému výkonu

Na následujícím Grafu 2 je uvedeno skutečné zatížení přenosové soustavy České republiky podle údajů provozovatele PS, společnosti ČEPS a.s. ze dne 5.5.2011. Vidíme, že graf výroby fotovoltaických zdrojů (Graf 1) se kryje s grafem zatížení přenosové soustavy (Graf 2), tedy s dobou, kdy je poptávka po elektrické energii. Přebytný výkon z výroby zdrojů v řešené oblasti tedy zcela jistě poteče přes vazbu v Sokolnicích do jiných míst sítě.



Graf 2: Průběh zatížení přenosové soustavy ČR (data z www.ceps.cz)

6.3 VÝPOČET VLIVU DECENTRÁLNÍ VÝROBY NA USTÁLENÝ CHOD SÍTĚ 110kV V UZLOVÉ OBLASTI SOKOLNICE 220/110 kV

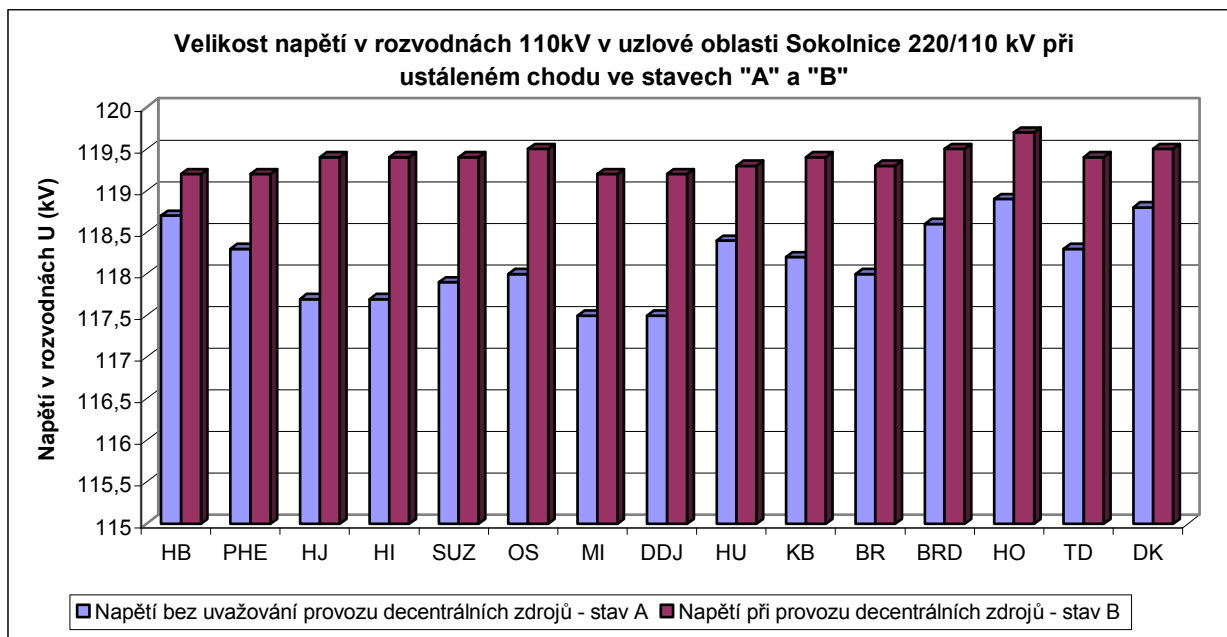
Síť je v základním zapojení viz Obrázek 10 (Příloha 1), pracují do ní zdroje uvedené v Tab.7 a řeší se stavy **bez provozu decentralních zdrojů – STAV „A“** a **s decentralními zdroji – STAV „B“**, s hodnotami zatížení z provozu sítě dne 7.3.2011 ve 12.15 hodin (toto datum je vybráno zejména z důvodu nulové oblačnosti a celodenní teplotě cca -10°C, aby byl prokázán nejvyšší možný vliv fotovoltaických zdrojů na DS). **Chod decentralních zdrojů uvažujeme při jejich jmenovitém instalovaném výkonu.** V dalším textu označíme ustálený chod zkratkou UCH.

6.3.1 NAPĚTÍ A JEHO ZMĚNY V ROZVODNÁCH PŘI USTÁLENÉM CHODU SÍTĚ 110 kV VE STAVECH „A“ A „B“

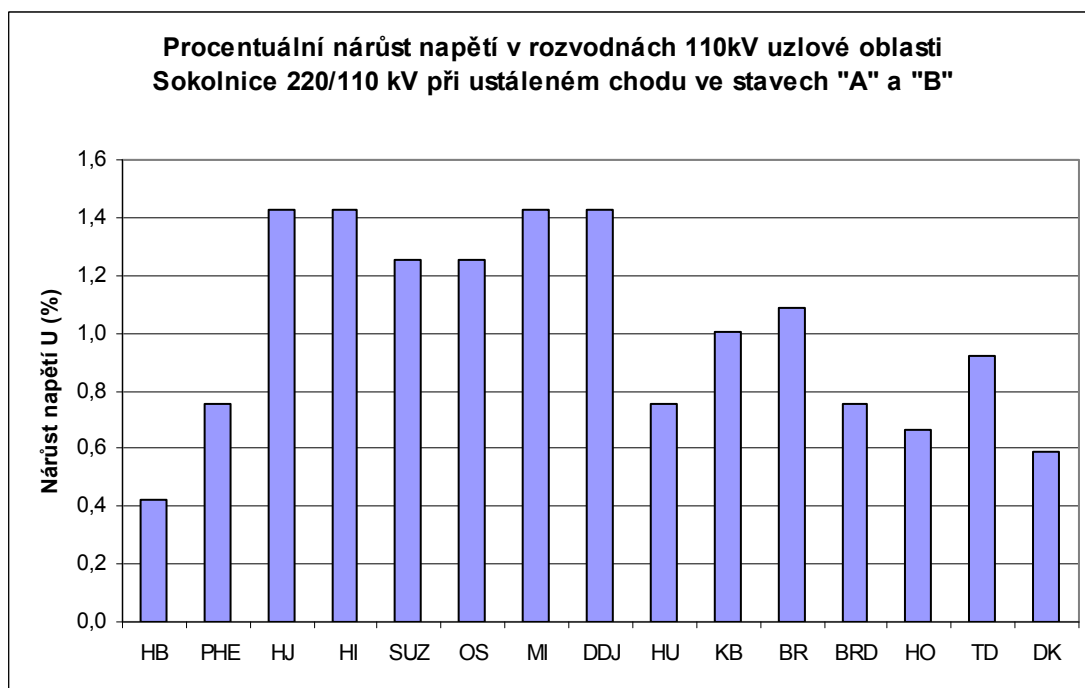
Tabulka 8 uvádí vypočtené hodnoty napětí a jeho změnu ve všech rozvodnách 110 kV v řešené oblasti. Tytéž hodnoty jsou pro přehlednost uvedeny do grafů 3 a 4. Z těchto hodnot je patrné, že **napětí v soustavě 110 kV se s připojením velkého počtu nových decentralních zdrojů příliš nemění – maximální přírůstek napětí je 1,4 %.** PPDS povoluje pro napěťové úrovně VN a VVN maximální změnu (nárůst) napětí **2,0 %**. **Této podmínce tedy s rezervou vyhoví všechny uzly v řešené oblasti a kvůli této změně není třeba provádět žádná speciální opatření,** týkající se provozu sítě.

ROZVODNA	PŘÍPOJNICE	NAPĚTÍ Stav A	NAPĚTÍ Stav B	ZMĚNA NAPĚTÍ
-	-	U (kV)	U (kV)	- (%)
SO	SBA1+SBC1	119,3	119,3	0,0
HB	SBA1	118,7	119,2	0,4
PHE	SBA1	118,3	119,2	0,8
HJ	SBA1	117,7	119,4	1,4
HI	SBA1	117,7	119,4	1,4
SUZ	SBB	117,9	119,4	1,3
OS	SBB	118,0	119,5	1,3
MI	SBA1	117,5	119,2	1,4
DDJ	SBA1+SBA2	117,5	119,2	1,4
HU	SBA1	118,4	119,3	0,8
KB	SBA	118,2	119,4	1,0
BR	SBA1	118,0	119,3	1,1
BRD	SBA1	118,6	119,5	0,8
HO	SBA1+SBB1	118,9	119,7	0,7
TD	SB.A	118,3	119,4	0,9
DK	SBA2	118,8	119,5	0,6
Poznámka: Uzel Sokolnice je bilanční uzel, napětí v něm se nemění				

Tabulka 8: Vypočtené hodnoty napětí v rozvodnách při UCH sítě 110 kV ve stavech A a B



Graf 3: Grafická interpretace hodnot napětí v rozvodnách při UCH síť 110kV ve stavech A a B



Graf 4: Procentuální nárůst napětí v rozvodnách při UCH síť 110kV ve stavech A a B

6.3.2 TOKY VÝKONU A ZATÍŽENÍ VEDENÍ PŘI USTÁLENÉM CHODU SÍŤE 110 kV VE STAVECH „A“ A „B“

Tabulka 9 uvádí seznam vedení 110 kV a rozvodny jež tato vedení propojují. Dále také vypočtené hodnoty toků výkonu a ztráty výkonu na vedeních při ustáleném chodu řešené oblasti. Pro dobrou interpretaci směru toku výkonu je v případě jeho obrácení proti původnímu směru toku příslušná hodnota uvedena se záporným znaménkem. Můžeme si tedy všimnout, že

na většině vedení skutečně **dochází k otočení směru toku výkonu**. Tato skutečnost představuje pro dispečery i DŘS nutnost zvýšené pozornosti při provozování sítě.

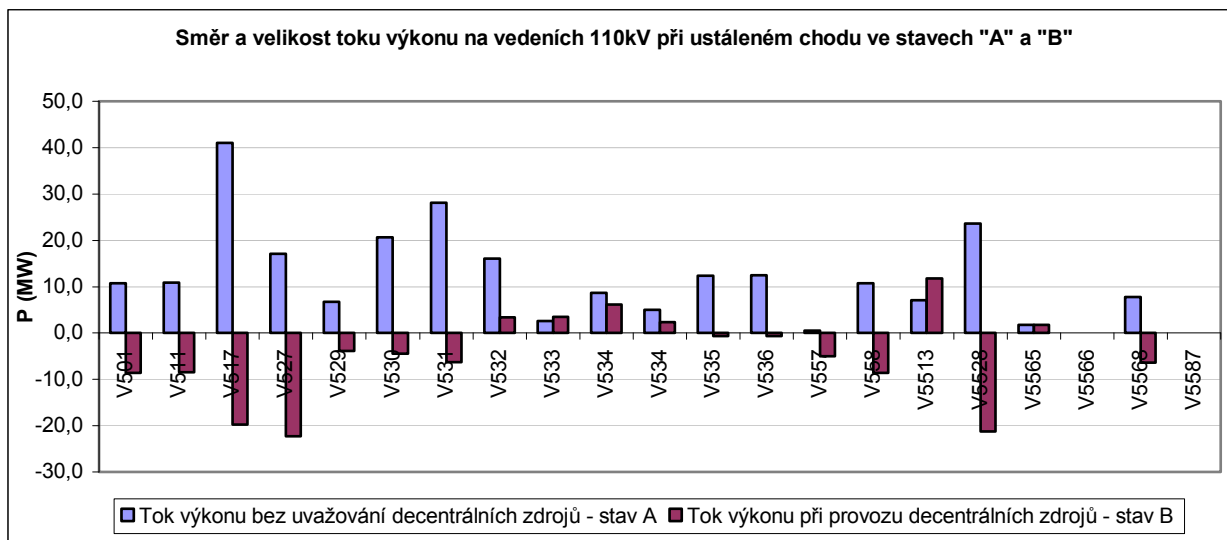
Na straně techniky musí být zajištěna **schopnost ochran** na vedeních **zachovat selektivitu a bezpečnost** i při opačném směru toku výkonu – musí se tedy nasadit dražší směrové ochrany. Jelikož se síť 110 kV provozuje jako zokruhovaná, jsou již všechna vedení osazena směrovými ochranami. **Hlavní problém tedy představuje nastavení ochranných charakteristik v digitálních ochranách, neboli nutnost řešení všech možných variant zkratových poruch v síti.**

Na straně obsluhy musí být dispečeri **připraveni na možnost otočení směru toku výkonu** za **normálního provozu sítě**, k němuž **před instalací decentralních zdrojů docházelo výjimečně**, zejména při poruchách nebo výpadcích v síti. Ze směru toku výkonu není možné jednoznačně určit, zda se jedná o poruchu či nikoli.

Dalším aspektem jež se změní provozem nových decentralních zdrojů je **rozložení a velikost ztrát výkonu** na vedeních. Před **uvažováním provozu** nových zdrojů vidíme že ztráty dosahují hodnoty cca **843 kW**. To je velmi dobrá hodnota daná dobře navrženým základním zapojením sítě a také nízkými přenášenými výkony po vedeních. **S uvažováním provozu decentralních zdrojů** klesají ztráty výkonu na hodnotu **364 kW**, což je dáno nižšími výkony přenášenými po vedeních.

VEDENÍ	ZAČÁTEK VEDENÍ	KONEC VEDENÍ	TOK VÝKONU VEDENÍM		ZTRÁTY NA VEDENÍ	
	Rozvodna	Rozvodna	Stav A	Stav B	Stav A	Stav B
			P (MW)	P (MW)	dP (MW)	dP (MW)
V501	OS	SUZ	10,8	-8,6	0,054	0,038
V511	SO	OS	10,9	-8,5	0,035	0,022
V517	SO	HB	41,0	-19,7	0,110	0,033
V527	PHE	HJ	17,1	-22,3	0,061	0,102
V529	HU	KB	6,7	-3,9	0,012	0,004
V530	SO	HU	20,6	-4,5	0,115	0,007
V531	SO	BR	28,1	-6,3	0,187	0,025
V532	TD	BR	16,0	3,4	0,013	0,002
V533	HO	TD	2,6	3,5	0,013	0,006
V534	HO	BRD	8,7	6,2	0,040	0,007
V534	BRD	KB	5,0	2,4	0,010	0,002
V535	SO	HO	12,4	-0,6	0,048	0,005
V536	SO	HO	12,5	-0,7	0,044	0,006
V557	HI	HJ	0,5	-5,0	0,003	0,005
V558	SUZ	HI	10,7	-8,6	0,011	0,008
V5513	HJ	MI	7,1	11,8	0,011	0,029
V5528	HB	PHE	23,6	-21,3	0,055	0,047
V5565	MI	DDJ	1,8	1,8	0,001	0,001
V5566	MI	DDJ	0,0	0,0	0,000	0,000
V5568	BR	MI	7,8	-6,4	0,019	0,014
V5587	OS	DK	0,1	0,1	0,001	0,001
CELKEM :			244,0	145,6	0,843	0,364
POZNÁMKA: znaménko mínus značí opačný směr toku výkonu						

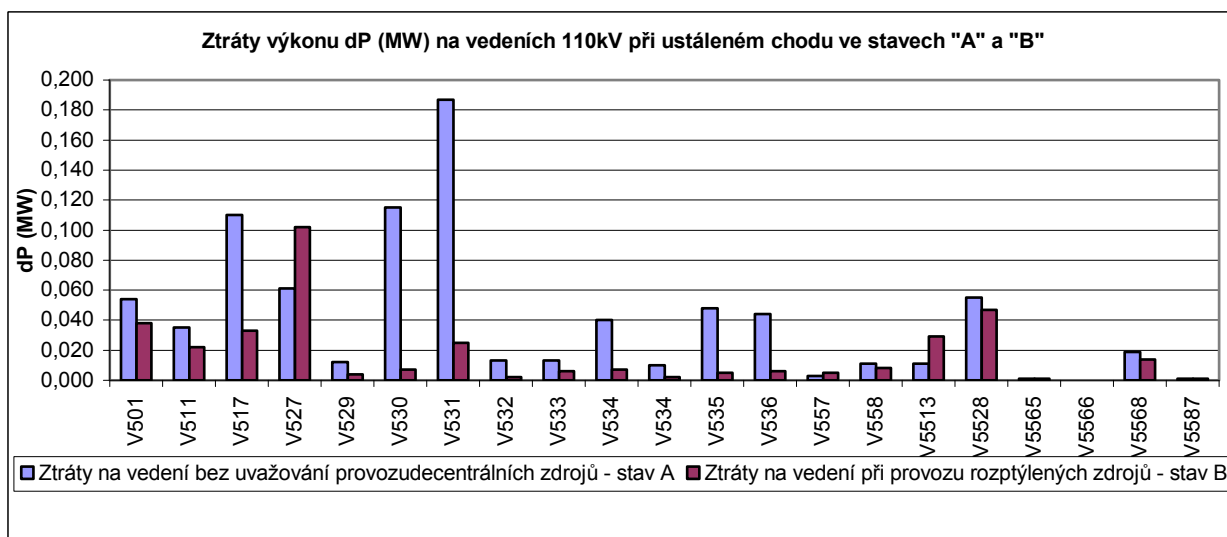
Tabulka 9: Směr a velikost toků výkonu na vedeních 110kV při UCH ve stavech A a B



Poznámka: záporné hodnoty značí opačný směr toku výkonu.

Graf 5: Směr a velikost toků výkonu na vedeních 110kV při UCH sítě 110kV ve stavech A a B

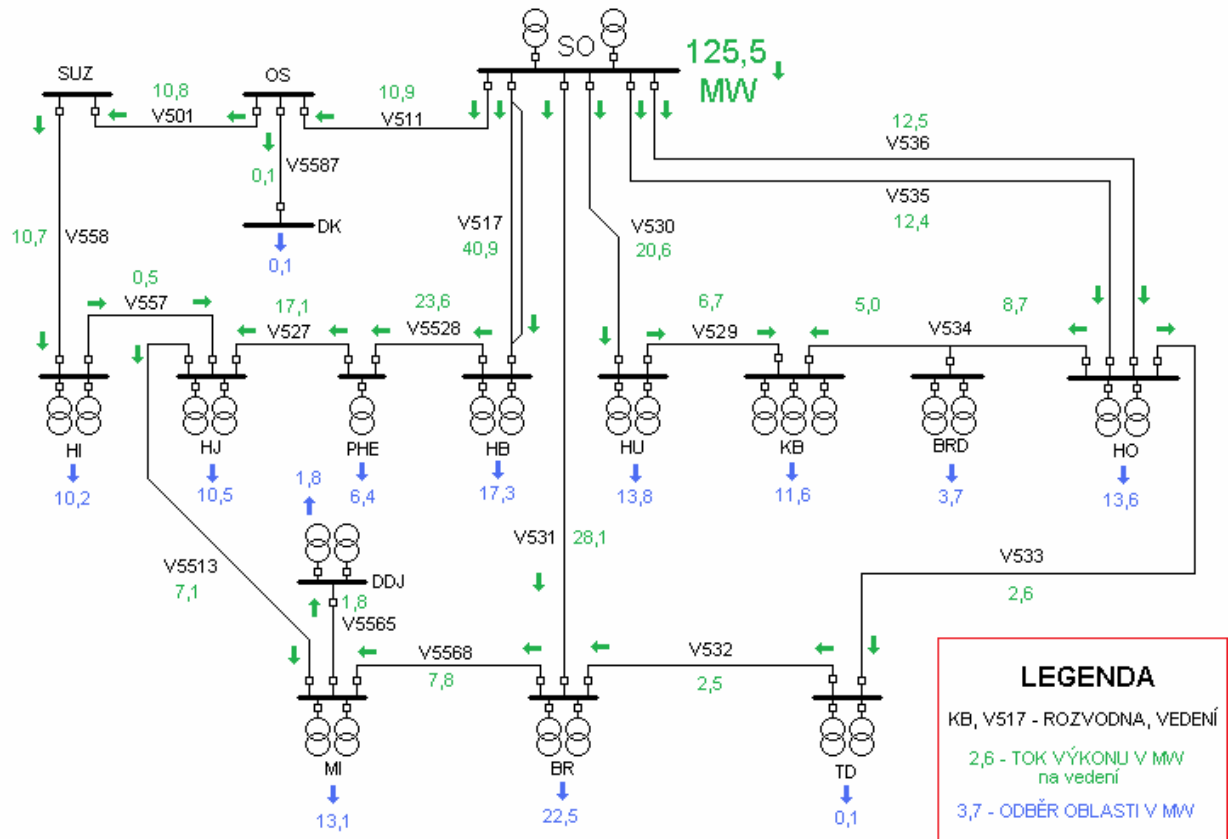
Jak dokazuje Graf 5, na většině vedení se tok výkonu obrací. Do napájecího bodu Sokolnice nyní teče 40,7 MW výkonu. Tento stav je nežádoucí, nicméně mu nejde nikterak zabránit. Na straně provozovatele PS společnosti ČEPS a.s. tento stav zapříčiňuje nutnost nasazení 4-kvadrantového obchodního měření výkonu v předávacím místě SO a vynucuje vyšší administrativu spojenou s omezením obchodování elektrické energie na přenosových vedeních [6].



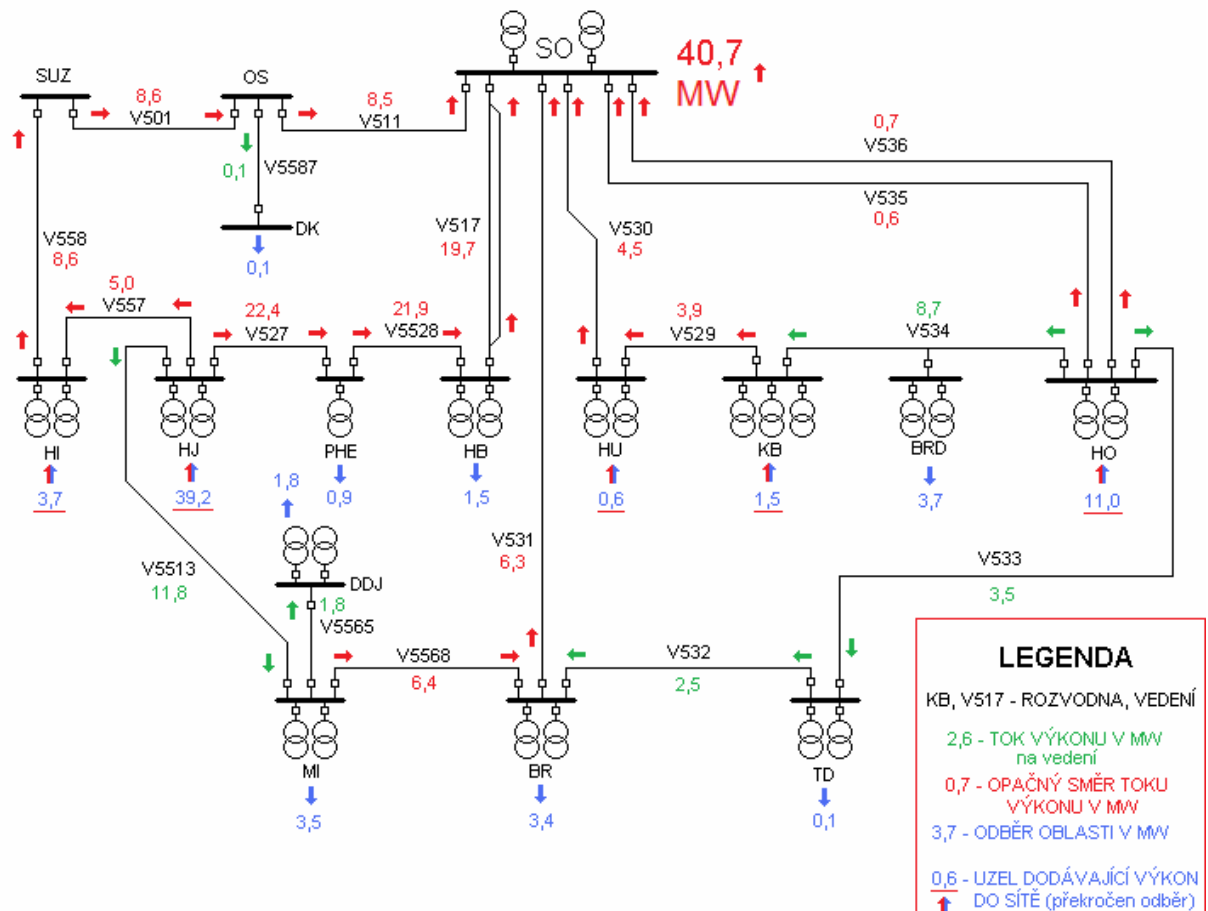
Graf 6: Velikost ztrát výkonu na vedeních 110kV při UCH sítě 110kV ve stavech A a B

Hodnota ztrát na vedení je velice příznivá a svědčí o dobrém provozování sítě ze strany provozovatele E.ON. Velikost ztrát na vedeních odpovídá jejich zatížení a délce, dále je ověřena skutečnou hodnotou ztrát odečtenou přímo v DRŠ Sinaut Spectrum.

Následující dva Obrázky 11 a 12 graficky znázorňují toky výkonů sítí při UCH. (viz Přílohy B a C).



Obrázek 11: Tok výkonu sítě 110 kV při UCH ve stavu bez uvažování decentralních zdrojů - „A“



Obrázek 12: Tok výkonu sítě 110 kV při UCH ve stavu s provozem decentralních zdrojů - „B“

6.3.3 ZMĚNA ZKRATOVÝCH POMĚRŮ V SÍTI 110 kV VLIVEM PROVOZOVÁNÍ DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ

V distribučních sítích ČR jsou instalovány zejména fotovoltaické zdroje. Tyto zdroje nejsou ze své konstrukce schopny dodávat zkratové výkony a přispívat tak k velikosti zkratu počátečním rázovým proudem. Velikost jejich maximálního výkonu je tedy daná pouze jejich instalovaným výkonem. Jelikož jsou tyto výkony vzhledem ke zkratovým výkonům napáječů 110/22 kV zanedbatelné, není nutné postupovat podle normy ČSN EN 60909 o zkratových proudech [7].

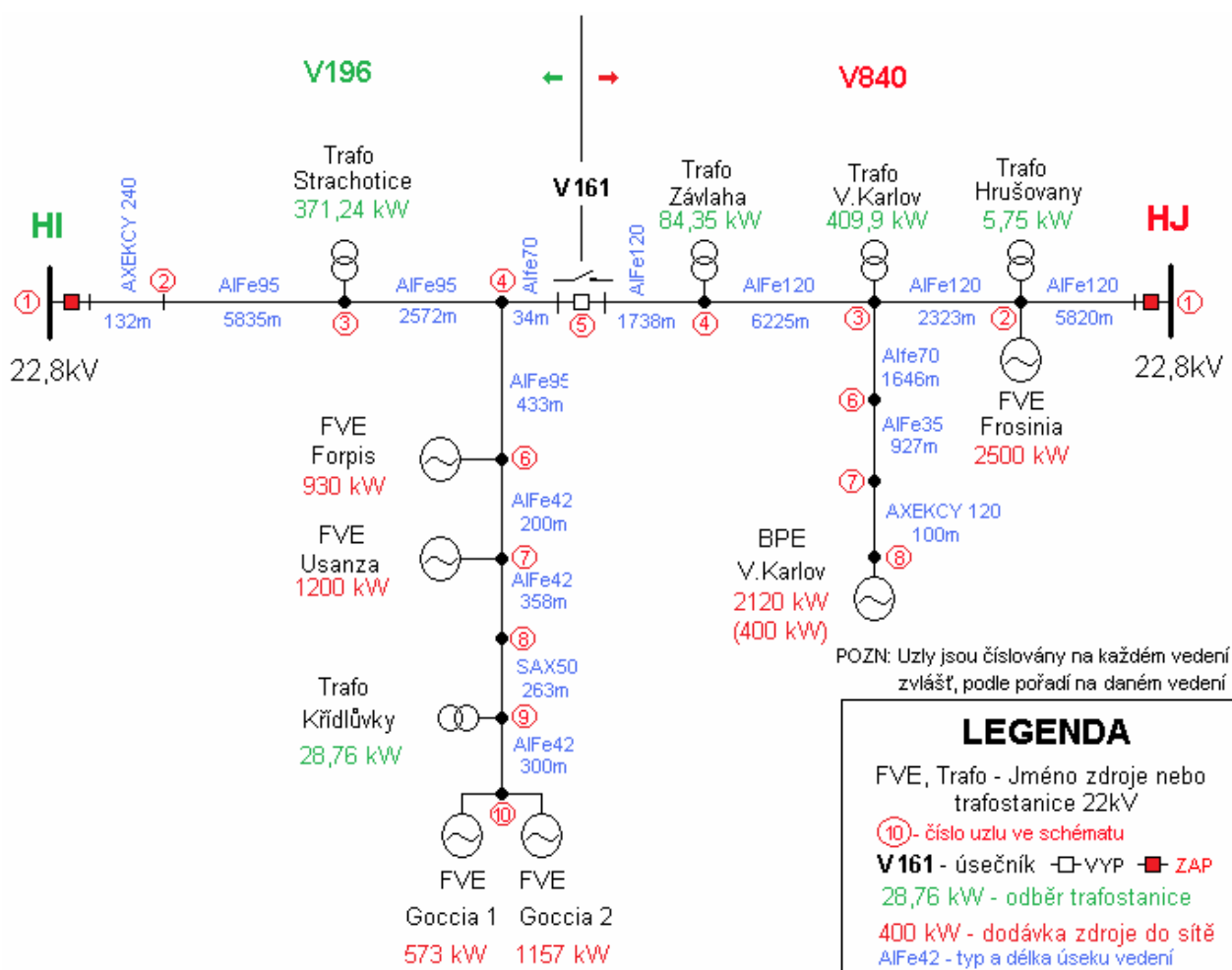
Provozovatel distribuční sítě PDS již při schvalování připojení nového zdroje vyžaduje (na základě PPDS – Studie připojitelnosti) od majitele připojovaného zdroje doložení nových zkratových poměrů výpočtem. Pokud by nový zdroj zapříčinil nárůst zkratových poměrů nad zkratovou odolnost vypínacích prvků příslušné rozvodny, nepovolí PDS jeho připojení k síti.

6.4 VÝPOČET VLIVU DECENTRÁLNÍ VÝROBY NA USTÁLENÝ CHOD SÍTĚ 22 kV V UZLU HRUŠOVANY NAD JEVIŠOVKOU

Oblast Hrušovany nad Jevišovkou a Hodonice byla vybrána z důvodu vysokého instalovaného výkonu FV zdrojů v poměrně malé oblasti. V celé oblasti působnosti E.ON není oblast s vyšší hustotou instalovaného výkonu než tato. Na nízký počet vedení 22 kV připadá vysoký výkon instalovaný v nových zdrojích a může tak docházet k velkým změnám napětí na vedení. Na obrázku 13 vidíme schéma sítě 22kV v napájecím bodě Hrušovany nad Jevišovkou 110/22 kV. Do uzlu pracuje celkem 28 FV zdrojů o instalovaném výkonu 43,1 MW a 2 další zdroje (bioplynová stanice Velký Karlov a větrný park Břežany) o výkonu 6,7 MW.

Nejmarkantnější je objem výroby na vedení V840, v základním zapojení napájeném z uzlu Hrušovany nad Jevišovkou (HJ), a vedení V196 v základním zapojení napájeném z uzlu Hodonice (HI). V případě poruchy v rozvodně HI dochází k přepojení V196 na vedení V840 dálkově řízeným vypínačem V161 a tím pádem k jeho chodu do rozvodny HJ. Situace je uvedena na Obrázku 13. V práci budeme vyšetřovat chod obou linek v základním zapojení a v případě poruchy v rozvodně Hodonice, kdy může nastat nárůst napětí na vedení nad bezpečnou mez. Tato mez je provozovatelem sítě E.ON stanovena na 22,5 kV. Cílem kapitoly je v případě jejího překročení stanovit dopady pro řízení sítě a pro zdroje (manipulace, odpojení zdroje, regulace).

6.4.1 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ VEDENÍ V840 A V196 V ŘEŠENÉ OBLASTI



Obrázek 13: Schéma řešené sítě 22 kV v oblasti Hrušovany nad Jevišovkou a Hodonice

Na Obrázku 13 vidíme obě vedení v základním zapojení, parametry odběrů a dodávek a průřezy a délky jednotlivých úseků vedení. Hodnoty rezistencí a reaktancí vedení a kabelů jsou zadány PDS. Číslování uzlů je vždy od každé rozvodny po příslušném vedení směrem k odběrům a zdrojům. Každé vedení je číslováno zvlášť a relevantní body

Vedení V840 (v základním zapojení napájeno z rozvodny HJ) má celkový **odběr** na 3 odběrných místech (transformátory 22/0,4 kV) ve výši **500 kW (cosφ = 0,9)**. Vzhledem k nemožnosti určení velikosti jednotlivých odběrů bylo nutné tento odběr rozložit lineárně dle velikosti instalovaného výkonu transformátorů. Na vedení se nachází **2 velké decentralní zdroje**, FV elektrárna **Frosinia** o instalovaném výkonu **2500 kW** a **bioplynová stanice Velký Karlov** o instalovaném výkonu **2120 kW**. Z dlouhodobých měření provozovatele DS společnosti E.ON však vyšlo najevo, že **BPE V.Karlov** tohoto výkonu nedosahuje a obvyklý dosahovaný výkon je **400 kW**. S touto hodnotou budeme při kontrole provozních podmínek sítě počítat. Dopouštíme se tím značného zjednodušení a možné chyby (při najetí zdroje na plný výkon by se napětí změnilo výrazněji), ale z výše uvedeného trvale dosahovaného výkonu do 400 kW si to můžeme dovolit.

Vedení V840 a V196 jsou od sebe v ZZ odpojena pomocí dálkově řízeného úsečníku V161, kterým se v případě výpadku napájení z některé strany vedení spojují.

Vedení V196 (v základním zapojení napájeno z rozvodny HI) má celkový **odběr** na 2 odběrných místech (transformátory 22/0,4 kV) ve výši **400 kW (cos ϕ = 0,95)**. Rozložení výkonu na jednotlivé transformátory je provedeno stejně jako na vedení V840. Pracují do něj **4 velké decentralní zdroje**, FV elektrárny **Forpis 930 kW, Usanza 1200 kW, Goccia 1 – 973 kW a Goccia 2 – 1157 kW**.

V obou napájecích bodech HJ i HI je hladinovou regulací transformátorů 110/22 kV pevně nastaveno napětí **22,8 kV s necitlivostí regulátoru +/- 300 V** (rozsah napětí 22,5-23,1 kV). Povolená **bezpečnostní mez**, daná PDS E.ON je **23,5 kV a maximální napětí linek je 24,2 kV**.

V práci vyšetřujeme rozložení napětí podél vedení při stavech základní zapojení – „A“ a poruchový stav – vedení V196 pracuje do HJ – „B“. Simulujeme vliv regulace účinníku na velikost napětí v rozmezí **cos ϕ = 0,95 dodávka – 0,97 dodávka – 1 – 0,97 odběr – 0,95 odběr**. Hodnoty výkonů zdrojů jsou uvedeny v Tabulce 10.

Výpočet je proveden v programu **NetCalc** autora Ing. A.Bodora na počítačích UEEN FEKT.

Tabulka zdrojů						
Výkon P a Q	V 840		V 196			
	Frosinia	BPE	Usanza	Forpis	Goccia 1	Goccia 2
P (kW)	2500	400	1200	930	573	1157
Q cos ϕ 0,97 (kVAr)	626,559	100,249	300,748	233,080	143,607	289,972
Q cos ϕ 0,95 (kVAr)	821,710	131,474	394,421	305,676	188,336	380,288

Tabulka 10: Výkon zdrojů dodávaný a odebíraný ze sítě na vedeních V840 a V196

6.4.2 USTÁLENÝ CHOD VEDENÍ V840 A V196 V ZÁKLADNÍM ZAPOJENÍ – VEDENÍ ODDĚLENA ÚSEČNÍKEM V161

V následujícím textu jsou uvedeny tabulky 11, 12 a 13 s vypočtenými hodnotami UCH linek V840 a V196. **Bez provozu zdrojů** vidíme, že **napětí s rostoucí vzdáleností od rozvodny klesá**. Jakmile však začnou zdroje dodávat energii do sítě, změní se rozložení napětí na vedení. Toto **napětí roste směrem od rozvodny ke zdrojům** (jednak proto, že hladinová regulace udržuje v rozvodně konstantní napětí a druhým důvodem je, že k protlačení výkonu ze zdroje do rozvodny je třeba zvýšit napětí zdroje – kvůli překonání úbytku napětí na vedení). **Rostoucí napětí na lince 22 kV ovlivňuje přes pevně nastavené odbočky transformátorů 22/0,4 kV i napětí sítě nízkého napětí (nn), čímž může docházet k nedodržení kvality napětí na této napěťové úrovni**. Při chodu zdrojů výroba převyšuje odběr a tok výkonu se obrací směrem do rozvodny. Pro možnost regulace napětí regulujeme jalový výkon zdrojů v rozmezí 0,95 dodávka - 0,95 odběr.

V840 do HJ						
ZDROJE:	vypnuté	cos ϕ 0,95 dod	cos ϕ 0,97 dod	cos ϕ 1	cos ϕ 0,97 odb	cos ϕ 0,95 odb
BOD	U	U	U	U	U	U
-	kV	kV	kV	kV	kV	kV
2	22,754	23,019	22,998	22,932	22,866	22,845
3	22,736	23,015	22,994	22,924	22,854	22,832
4	22,729	23,009	22,988	22,918	22,848	22,826
5	22,729	23,009	22,988	22,918	22,848	22,826
8	22,735	23,046	23,023	22,949	22,875	22,851

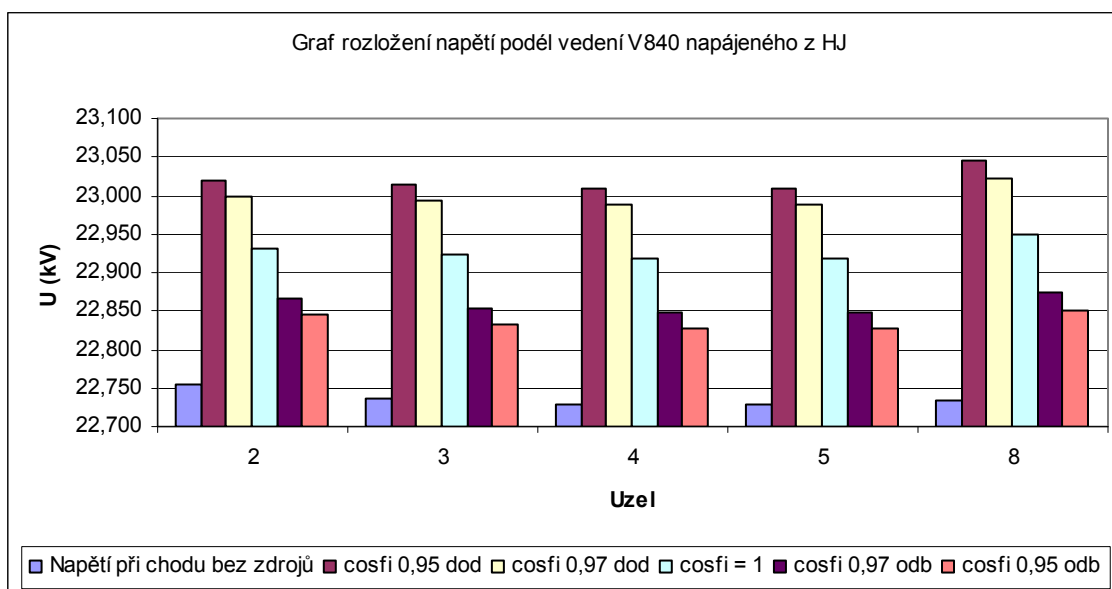
Tabulka 11: Rozložení napětí na lince V840 při UCH do HJ

V196 do HI						
ZDROJE:	vypnuté	cosfi 0,95 dod	cosfi 0,97 dod	cosfi 1	cosfi 0,97 odb	cosfi 0,95 odb
BOD	U	U	U	U	U	U
-	kV	kV	kV	kV	kV	kV
3	22,756	23,164	23,136	23,045	22,951	22,922
4	22,755	23,290	23,249	23,117	22,983	22,941
5	22,755	23,290	23,249	23,117	22,983	22,941
6	22,755	23,319	23,277	23,138	22,997	22,953
7	22,755	23,338	23,294	23,154	23,010	22,965
9	22,754	23,373	23,329	23,183	23,036	22,989
10	22,754	23,391	23,346	23,199	23,049	23,001

Tabulka 12: Rozložení napětí na lince V196 při UCH do HI

Napájecí proudy vedení z rozvodny 22 kV (záporně proudy tekoucí do rozvodny)						
ZDROJE:	vypnuté	cosfi 0,95 dod	cosfi 0,97 dod	cosfi 1	cosfi 0,97 odb	cosfi 0,95 odb
I (A) na V840 z rozv. HJ	13,35	-63,36	-61,88	-60,55	-64,61	-66,88
I (A) na V196 z rozv. HI	10,66	-89,97	-88,07	-86,25	-91,03	-93,79

Tabulka 13: Napájecí proudy vedení z rozvodn HJ a HI při UCH sítě v základním zapojení



Graf 7: Rozložení napětí na lince V840 při UCH do HJ – základní zapojení

V **Tabulce 11** a **Grafu 7** vidíme rozložení napětí na lince V840. V grafu jsou uvedeny pouze důležité body 2 – FVE Frosinia a Trafo Hrušovany, 3 – Trafo Velký Karlov, 4 – Trafo Závlaha, 5 – úsečník V161, 8 – BPE Velký Karlov. Při chodu zdrojů s jakýmkoli účínkem nedochází k nežádoucímu nárůstu napětí (nad bezpečnostní mez 23,5 kV), takže není třeba provádět žádná zvláštní opatření. Graf 7 také dokazuje možnosti řízení napětí jalovým výkonem (účínkem), je vidět rozmezí asi 200 V, ovlivnitelných regulací účínku.

Tabulka 12 a **Graf 8** uvádí situaci na vedení V196. Důležitými body jsou 3 – Trafo Strachotice, 4 – spojka vedení V196, 5 – úsečník V161, 6 – FVE Usanza, 7 – FVE Forpis, 9 – Trafo Křídľůvky, 10 – FVE Goccia 1+2. Na této lince je nárůst napětí markantnější (větší instalovaný výkon), ale přesto se napětí nad bezpečnostní hranici 23,5 kV nezvýší. V základním zapojení ani zde není třeba provádět žádná opatření. Možnost regulace napětí řízením účínku zde je až 400 V.

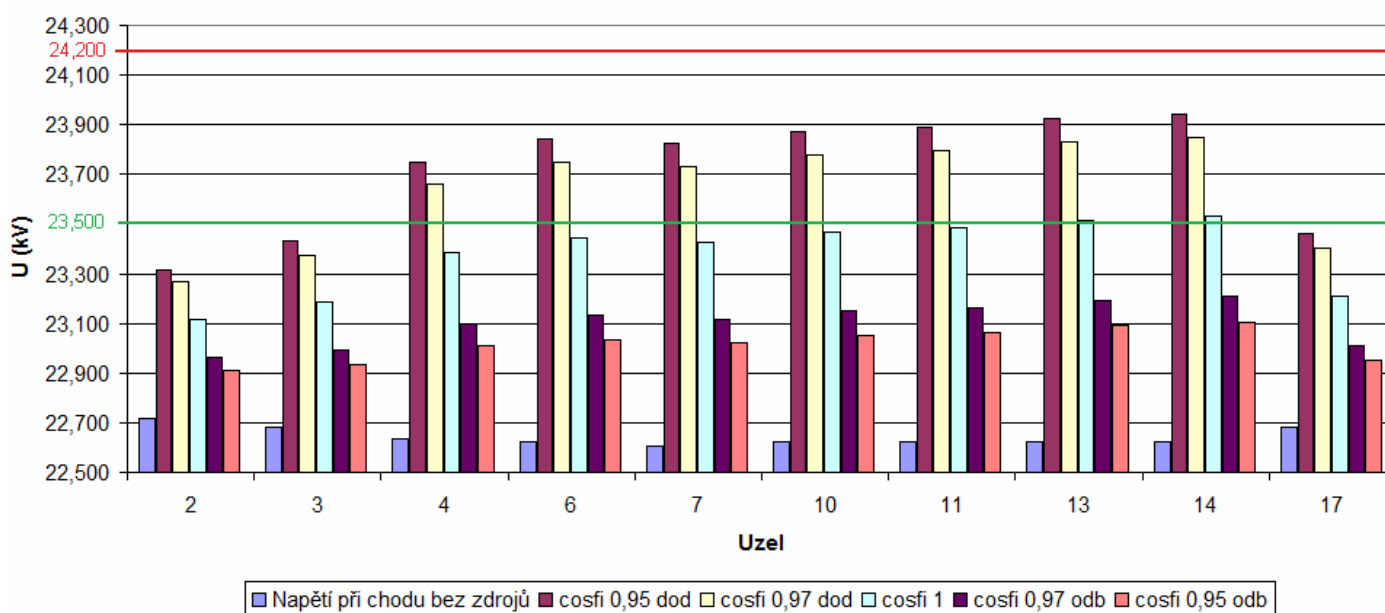
Na Obrázku 14 vidíme zapojení sítě při výpadku v rozvodně HI – vedení V196 se pomocí úsečníku V161 přepojí do vedení V840 a pracuje tak do rozvodny HJ. Objem výroby pracující do HJ se nyní zvýší tak, že způsobí nárůst napětí v několika bodech nad bezpečnostní mez 23,5 kV. Tato mez je stanovena z důvodu udržení konstantního napětí soustavy nn - jejím překročením nemusí být na úrovni nn dodržena povolená odchylka napětí $U_n \pm 10\%$. Tuto skutečnost dokazuje Tabulka 14. Změna napětí ovlivnitelná regulací účinníku je nyní 850 V.

Zdroje při chodu s účinníkem 1 již na některých místech napětí zvyšují nad 23,5 kV. Z tohoto důvodu je žádoucí regulovat jalový výkon zdrojů na hodnotu 0,97 odběr. Tato hodnota postačí k zajištění dostatečného snížení napětí pod bezpečnostní mez na celé délce spojených vedení V196 a V840. Grafická interpretace situace je v Grafu 9.

V840 + V196 do HJ						
ZDROJE:	vypnuté	cosfi 0,95 dod	cosfi 0,97 dod	cosfi 1	cosfi 0,97 odb	cosfi 0,95 odb
BOD	U	U	U	U	U	U
-	kV	kV	kV	kV	kV	kV
2	22,716	23,314	23,268	23,117	22,962	22,913
3	22,683	23,431	23,374	23,186	22,992	22,931
4	22,634	23,747	23,662	23,385	23,100	23,009
6	22,623	23,841	23,748	23,446	23,135	23,036
7	22,605	23,824	23,731	23,429	23,118	23,019
10	22,622	23,870	23,776	23,467	23,150	23,049
11	22,623	23,888	23,793	23,483	23,163	23,062
13	22,622	23,927	23,831	23,517	23,194	23,091
14	22,622	23,945	23,849	23,532	23,207	23,104
17	22,683	23,462	23,401	23,211	23,013	22,950

Tabulka 14: UCH při výpadku v HI – chod vedení V196 přes úsečník 161 do V840 a HJ

Graf rozložení napětí podél vedení V840+V196 napájeného z HJ

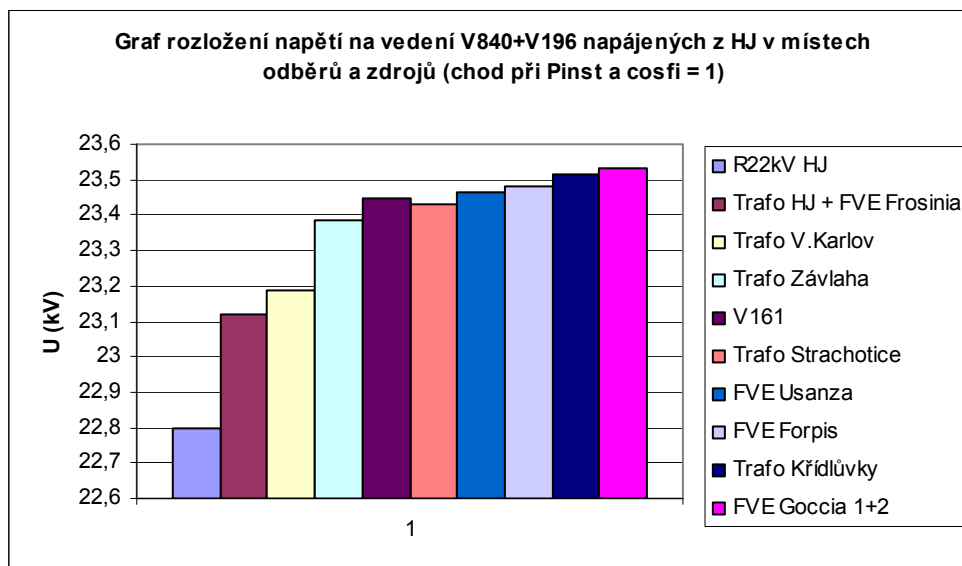


Graf 9: Rozložení napětí při UCH a výpadku v HI – chod vedení V196 do V840 a HJ

Důležité body: 2–FVE Frosinia a Trafo Hrušovany, 3–trafo V.Karlov, 4-trafo Závlaha, 6-spojka V196, 7-trafo Strachotice, 10-FVE Usanza, 11-FVE Forpis, 13-trafo Křídľůvky, 14-FVE Goccia.

Napájecí proudy vedení z rozvodny HJ 22 kV (záporně proudy tekoucí do rozvodny)						
ZDROJE:	vypnuté	cos ϕ 0,95 dod	cos ϕ 0,97 dod	cos ϕ 1	cos ϕ 0,97 odb	cos ϕ 0,95 odb
I (A) na V840 + V196 z rozv. HJ	24,13	-150,53	-147,47	-145,10	-154,69	-159,97

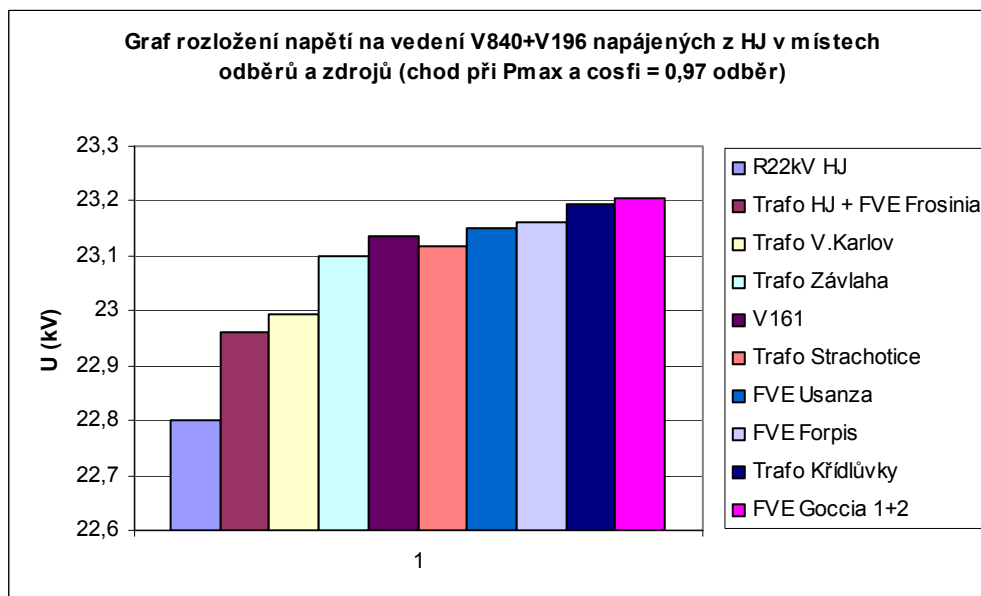
Tabulka 15: Napájecí proudy vedení z rozvodny HJ při UCH sítě 22 kV a poruše v HI (V840+V196 do HJ)



Graf 10: Rozložení napětí na V840 a V196 při chodu do HJ a práci zdrojů s Pinst a cos ϕ 1

Pro přehlednost bylo do **Grafu 10** vyneseno **rozložení napětí na V196 a V840 při výpadku HI** a práci obou vedení do HJ. Chod zdrojů je při jejich instalovaném výkonu a účinnosti 1. Vyneseny byly důležité body (odběry a zdroje). **V odběrném místě – trafo Křídlovky je při tomto chodu překročena bezpečnostní mez 23,5 kV.**

Pro srovnání Grafu 10 s chodem zdrojů při účinnosti 0,97 odběr je uvedena identická situace v Grafu 11. Při tomto stavu je již napětí v požadovaných mezích.



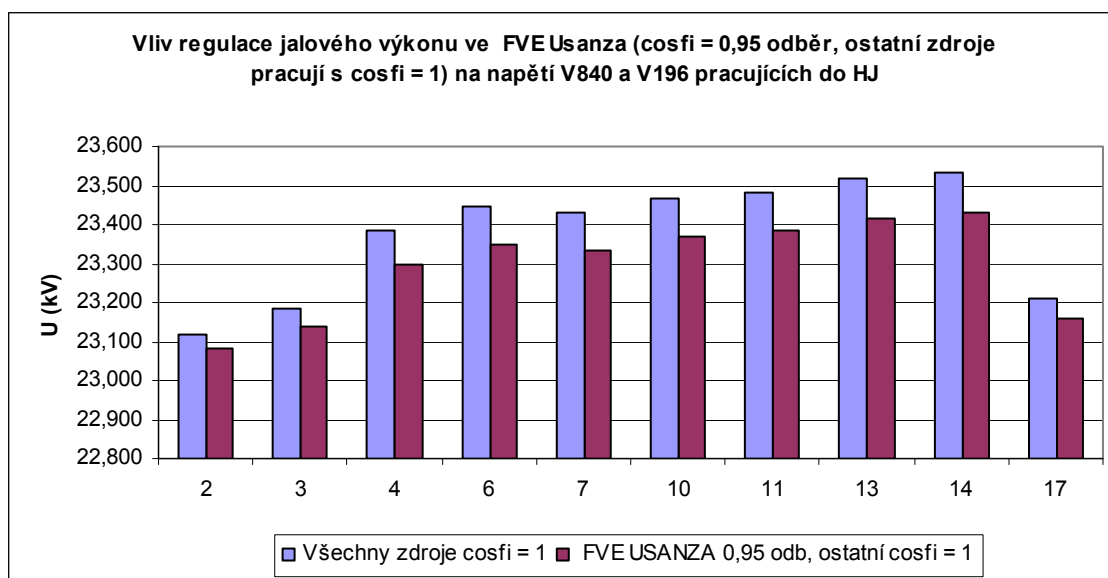
Graf 11: Rozložení napětí na V840 a V196 při chodu do HJ a práci zdrojů s Pi a cos ϕ 0,97 odb

6.4.4 VLIV REGULACE JEDNOHO ZDROJE NA NAPĚTÍ VEDENÍ V840 A V196 PŘI VÝPADKU HI A PRÁCI OBOU VEDENÍ DO HJ

V případě, že by nebylo možné regulovat jalový výkon všech zdrojů v oblasti (zdroje instalované před změnou PPDS 1/2010 - tyto zdroje pracují s pevně daným účinníkem $\cos\phi = 1$), simulujeme nyní regulaci účinníku pouze na jednom zdroji na obou vedeních. Simulaci provádíme při poruchovém stavu HI (práce vedení přes V161 do V840 a HJ). Tímto zdrojem je FVE Usanza (bod 10) o výkonu 1200 kW. Pro snížení napětí na lince pod bezpečnostní mez 23,5 kV tento zdroj necháme pracovat v režimu $\cos\phi = 0,95$ odběr a sledujeme dopad na napětí. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 16 a zpracovány do Grafu 12.

BOD :	2	3	4	6	7	10	11	13	14	17
U při $\cos\phi = 1$	23,117	23,186	23,385	23,446	23,429	23,467	23,483	23,517	23,532	23,211
U při regulaci ve FVE Usanza	23,082	23,136	23,298	23,349	23,331	23,367	23,383	23,417	23,433	23,161

Tabulka 16: Vliv regulace $\cos\phi$ v FVE Usanza na rozložení napětí obou vedení při chodu do HJ



Graf 12: Rozložení napětí na V840 a V196 při regulaci účinníku ve FVE Frosinia (zdroje $\cos\phi=1$)

Vidíme, že regulace ve FVE Usanza (bod 10) příznivě působí na napětí celé linky V840 a V196, napětí v nejexponovanějších místech kleslo pod bezpečnostní mez 23,5 kV. Zaznamenán byl pokles napětí asi o 100 V. Simulace tedy dokazuje, že je možné ovlivnit napětí i jedním zdrojem, jež v dané oblasti ani nemá nejvyšší výkon (tím je FVE Frosinia s 2500 kW), ale možnost regulace je omezená.

7 NÁVRH OPATŘENÍ PRO ŘÍZENÍ DS S VELKÝM POČTEM DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ

Vyřešení poměrů na vedeních a rozvodnách 110 a 22 kV v kapitole 6 umožňuje zhodnotit nový stav ustáleného chodu ověřované oblasti E.ON Východ – Sokolnice 220/110 kV a Hrušovany nad Jevišovkou.

Na úrovni VVN se instalace velkého počtu decentrálních zdrojů projevuje zejména změnami směru toku výkonu na vedeních. Na tento stav musí být systém i obsluha připravena, aby změna směru toku nebyla chybně vyhodnocena jako poruchový stav. Jelikož se síť 110 kV provozuje jako okružní, je standardně vybavena směrovými ochrannými prvky umožňujícími rozpoznat poruchový stav. Z hlediska napěťových změn je instalace decentrálních zdrojů nevýrazná, nejvyšší změna (nárůst) napětí se pohybuje kolem 1,4 %. Doba trvání největších změn je spojena s úrovní výkonu decentrálních zdrojů, při slunném počasí trvá špička výkonu FV zdroje nejvýše 2 hodiny. Spínací poměry se vlivem nových zdrojů mění nepatrně, jejich kontrola je zaručena ještě před připojením nového zdroje do sítě pomocí výpočtu. **Z výše uvedených důvodů není v síti VVN 110 kV třeba přijímat žádná zvláštní opatření pro řízení provozu sítě, vyjma poučení operátorů o nových možnostech ustáleného chodu sítě.**

Na úrovni VN je dopad instalace decentrálních zdrojů markantnější, zásadní je změna napětí při chodu zdrojů a možnost jeho regulace pomocí řízení účinníku zdrojů. Provozovatel sítě stanovil bezpečnou hodnotu napětí pro provoz sítě na 23,5 kV. Při chodu zdrojů s účinníkem 1 (zejména starší zdroje bez možnosti regulace Q) dochází v několika místech k překročení této meze. Zvýšené napětí se přenáší přes pevně nastavené odbočky transformace 22/0,4 kV do sítě nn. Toto přepětí způsobí přinejmenším nedodržení kvality elektrické energie, v horším případě se projeví poškozením zařízení připojených do sítě nn. Jak dokazuje kapitola 6.4.4, má-li alespoň některý ze zdrojů možnost regulace účinníku, dá se s jeho pomocí částečně ovlivnit velikost napětí. **V případě zdrojů připojených dle PPDS přílohy 4 ve znění 1/2010 (tzn. s možností regulace účinníku v rozmezí 0,95 induktivní - 0,95 kapacitní) je pro udržení napětí sítě ve stanovených mezích výhodnější regulovat celou skupinu zdrojů, ne jen jednotlivé zdroje. Stejně tak je-li výkon nových zdrojů velký, je nutné regulovat celou skupinu. Na vedeních, kde nejsou instalovány zdroje s možností řízení účinníku a napětí přesahuje bezpečnostní mez, doporučuje autor dodatečnou instalaci kompenzačních zařízení alespoň na největší zdroje, jež do sítě pracují.**

Další důležitou změnou je podobně jako u napěťové soustavy 110 kV otočení směru toku výkonu a s tím spojená nutnost instalace směrových ochranných zařízení na vedení 22 kV. Jelikož síť VN se provozují jako radiální a tedy napájené z jedné strany, nebyly v nich dříve nutné směrové ochrany a postačily ochrany nadproudové. Potřeba směrových ochranných zařízení zcela jistě představuje pro provozovatele sítě značné investice do rozvoje sítě.

Námětem k zamyšlení může být možnost predikce výkonu FV zdrojů s ohledem na meteorologickou předpověď a následné plánování provozu sítě. Jelikož příprava provozu sítě se děje vždy den dopředu na základě dlouholetých zkušeností, mohlo by zahrnutí meteorologických údajů zpřesnit predikci výroby výkonu ve FV i větrných zdrojích, a dispečeri by mohli lépe reagovat na nestálost vyráběného výkonu (jinými slovy na změny provozních poměrů v síti).

8 ZÁVĚR

Zadáním práce bylo zhodnotit vliv nově instalovaných decentrálních zdrojů na stávající provoz distribučních soustav VN a VVN. Pro studium řešení ustáleného chodu (provozu) těchto sítí se práce ve své teoretické části zabývá metodami a postupy, umožňujícími důkladnou analýzu chodu sítí. Kapitola 3 pojednává o Newtonově iterační metodě, obecných postupech řešení ustáleného chodu sítí a jejich aplikace na řešenou síť. V kapitole 4 práce rozebírá legislativní podmínky připojení nových zdrojů elektrické energie k síti v posledním znění, uvádí seznam požadavků a zkoušek, jež musí být provedeny před povolením provozu nového zdroje a ukládá provozovateli zdroje pravidla chování výroby připojené k síti. Kapitola 5 stručně seznamuje s výpočetním programem, s jehož pomocí je provedena analýza vlivů decentrálních zdrojů na elektrizační soustavu úrovně 110 kV. Kapitola 6 se prakticky věnuje analýze vlivu decentrální výroby v konkrétní oblasti provozovatele distribuční sítě E.ON Distribuce na síť obou řešených napěťových soustav 22 i 110 kV, a to před připojením decentrálních zdrojů, i s jejich provozem. Sedmá kapitola shrnuje poznatky zjištěné z analýzy nových poměrů v distribuční síti a nastiňuje opatření nutná k zvládnutí nových provozních stavů sítě.

V České republice došlo vlivem výhodné legislativní podpory zejména fotovoltaických zdrojů k jejich masivní výstavbě na celém území státu. Na mnoha místech distribuční sítě tak objem výroby instalované v těchto nových zdrojích překročil zátěž odebíranou ve sledované oblasti, čímž došlo k zásadním změnám ustáleného chodu sítě. Jelikož k únoru 2011 bylo v distribučních sítích ČR instalováno celkem 2113 MW ve fotovoltaických zdrojích, nejedná se pouze o lokální problém, ale o komplexní problematiku celé sítě na všech napěťových hladinách. Do sítě pracují také další decentrální zdroje, zejména větrné (k datu 5/2011 s instalovaným výkonem 218 MW) a bioplynové točivé zdroje (k 11/2010 výkon 94,55 MW). U fotovoltaických a větrných zdrojů je nutné zmínit obtížnou predikovatelnost výkonu - závislost na aktuálních meteorologických podmínkách. Oproti tomu bioplynové stanice jsou vybaveny točivými stroji, u kterých se dá výroba dobře plánovat. Výše uvedené hodnoty instalovaných výkonů tedy dokazují, že problematikou decentrální výroby je nutné se zabývat a znát poměry při ustáleném chodu sítí.

Zkoumáním poměrů v zadané oblasti jižní Moravy, napájené z transformace 220/110 kV v uzlu Sokolnice můžeme nyní vyslovit tyto závěry. Instalace a provoz decentrálních zdrojů do sítě 22 kV o celkovém objemu výroby 165,4 MW má na napěťové poměry sítě 110 kV nepatrný účinek, zaznamenaná změna je 1,4 %. Podmínka maximální změny napětí daná Pravidly provozování distribučních soustav (< 2,0%) je tedy splněna. Zcela zásadní je však vliv decentrální výroby na tok výkonu na vedení, lépe řečeno na jeho směr. Téměř v celé řešené síti se směr toku výkonu obrací proti původnímu a výkon teče směrem do rozvodny Sokolnice. Objem výkonu tekoucí přes vazbu 220/110 kV do nadřazené přenosové soustavy je nezanedbatelných 40,7 MW. Nejen že přetoky výkonu do vyšších napěťových hladin jsou nežádoucí, jejich existence narušuje plánované výměny na vedeních přenosové soustavy a tím omezuje obchodování elektrickou energií na těchto vedeních. Tyto přetoky s sebou přinášejí nutnost vyšších investic na straně provozovatele přenosové soustavy ČEPS, protože na předávacích místech je nutné zajistit čtyřkvadrantové měření prošlé energie. Jelikož tyto zdroje vyrábí především v době, kdy je v síti poptávka po elektrické energii, bude se jejich nadbytečný výkon šířit do celé sítě na místa, která jsou výkonově deficitní.

Přestože Kodex přenosové soustavy tyto přetoky výkonu označuje jako nežádoucí, jedinou možností jejich vliv omezit je snížit výrobu v decentrálních nebo jiných zdrojích. Toto řešení však naráží na ekonomický problém, a sice legislativně zajištěné dotace na výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů. Majitelé těchto zdrojů mají ekonomický zájem na jejich provozu a pokud by byli často odpojováni, mohlo by to vést k žalobám na provozovatele sítě o náhradu ušlých zisků. Proto si provozovatelé sítě vyhradili právo tyto zdroje odpojit od sítě, pokud by jejich vliv nebyl zvládnutelný a hrozilo poškození zařízení sítě nebo její rozpad na ostrovní systémy. Problematika změn toků výkonů přináší dále nutnost řešit nové poruchové stavy sítě a počítat s nutností směrových ochran na vedení. Z hlediska zkratových příspěvků jsou decentrální zdroje málo významné, na úrovni 110 kV je jejich vliv na velikost počátečního zkratového proudu zanedbatelný. Pozitivním přínosem provozu decentrálních zdrojů je snížení toků výkonu na vedeních 110 kV a s tím spojený pokles ztrát elektrické energie v síti. Jestliže původní hodnota 843 kW svědčí o vhodném způsobu provozování sítě, nová hodnota 364 kW toto tvrzení může jen potvrdit. Dispečerů musí počítat se zvýšenou frekvencí změn směru i velikosti toků výkonu během normálního provozu, zapříčiněné nestálostí výroby decentrálních zdrojů, závislé především na aktuálním stavu počasí. Příprava provozu sítě musí počítat s výrobou v těchto zdrojích a tyto musí být zahrnuty do denního diagramu zatížení sítě - zdroje se nepříznivě projeví i na obchod s elektrickou energií.

Vyšetřením změn na napěťové úrovni 22 kV v řešené oblasti Hrušovany nad Jevišovkou byl zjištěn daleko větší dopad decentrální výroby na síť než v případě sítě 110 kV. V této oblasti je instalováno celkem 43,1 MW decentrálních zdrojů, na zadaných vedeních V840 a V196 je takovýchto zdrojů 6 o instalovaném výkonu 8480 kW (z tohoto čísla náleží 2120 kW Bioplynové stanici Velký Karlov, která však z dlouhodobých měření pracuje s výkonem nejvýše 400 kW). Obvyklý odběr obou vedení je 900 kW. V základním zapojení obou vedení je maximální vypočtená napěťová změna na vedení V840 pracujícím do rozvodny Hrušovany n.Jev. 1,079 %, a na vedení V196 pracujícím do rozvodny Hodonice potom 2,592%. Poslední hodnota již překračuje PPDS stanovený limit 2%, je proto nutné napětí regulovat jalovým výkonem (řízením účinníku) zdrojů. V základním zapojení však napětí žádné z linek nepřekračuje provozovatelem sítě E.ON stanovenou bezpečnostní hranici 23,5 kV. V případě výpadku v rozvodně Hodonice dochází k přepojení vedení V196 pomocí dálkově řízeného úsečníku 161 na vedení V840 a tím k práci obou vedení do rozvodny Hrušovany n.J. V tomto případě je napěťová změna na obou linkách zásadní, maximální vypočtená změna napětí je 5,022%. Jelikož dochází k překročení bezpečnostní hranice 23,5 kV na několika místech vedení, zejména u transformátorů 22/0,4 kV, nemusí být na úrovni nn zajištěna kvalita elektrické energie (přepětí) a je nutné zahájit regulaci napětí řízením účinníku zdrojů. V práci je uvedena možnost řízení účinníku všech zdrojů v rozsahu zadaném PPDS příloha 4 ve znění 1/2010: $\cos \varphi = 0,95$ dodávka – 1 – 0,95 odběr. Výpočet dokazuje, že napětí na lince se jím dá měnit až o 850 V. Tato hodnota postačí pro dostatečné snížení napětí pod bezpečnostní mez na celé délce obou vedení. Jsou-li však v síti provozovány starší zdroje, nemusí mít vždy provozovatel sítě možnost jejich jalový výkon řídit. Typicky se jedná o zdroje připojené k síti před úpravou PPDS 1/2010 s prací při trvale nastaveném účinníku $\cos \varphi = 1$. V tomto případě je v práci proveden výpočet chodu sítě se všemi zdroji v tomto režimu, přičemž jeden z nich je vybaven regulací účinníku dle PPDS 1/2010. Tímto zdrojem je FV elektrárna Usanza s výkonem 1200 kW. Při jeho chodu s účinníkem 0,95 odběr došlo ke snížení napětí asi o 1%, nejdůležitější je však jeho pokles pod bezpečnostní hranici 23,5 kV.

Pro široké možnosti regulace napětí je však žádoucí, aby všechny, nebo alespoň ty největší zdroje byly vybaveny možností řízení účinníku v zadaném rozsahu. S ohledem na individuální poměry v sítích, kde napětí překračuje bezpečnou mez a nejsou zde zdroje s regulací účinníku, doporučuje autor na nejexponovanějších místech sítě dodatečně instalovat zařízení pro řízení účinníku v rozsahu daném PPDS.

Přirozeně vyplývajícím problémem je překročení velikosti odběru oblasti výrobou v decentrálních zdrojích. Výkon se pak tlačí směrem do rozvodny 22 kV a jiných míst sítě, případně do vyšší napěťové hladiny. Tato skutečnost je potvrzena výpočtem poměrů v síti 110 kV. Pokud tento jev u sítě 110 kV nepředstavoval problém, v sítích 22 kV je tomu naopak. Tyto sítě jsou provozovány jako radiální, napájené z jedné strany, a tak k jejich ochraně dříve stačily nesměrové nadproudové ochrany. S možností otočení směru toku výkonu přichází nutnost instalovat ochrany směrové a řešit nové poruchové stavy. Tato skutečnost znamená pro provozovatele distribuční sítě jistě značné náklady na investice do rozvoje této sítě. Dispečerů se svými řídicími programy musí být připraveni na nové provozní stavy sítě tak, aby byli schopni správně vyhodnotit případné poruchy v ní.

Námětem k zamyšlení může být možnost predikce výkonu decentrálních zdrojů s ohledem na meteorologickou předpověď a následné plánování provozu sítě. Příprava provozu sítě se odehrává vždy s předstihem (krátkodobá nejčastěji den předem) na základě statistických dat z dlouholetého provozu sítě, mohlo by zahrnutí meteorologických údajů zpřesnit predikci výroby výkonu ve FV i větrných zdrojích. Dispečerů by tak mohli lépe určit potřebu nasazování zdrojů do sítě, připravit točivé zálohy a reagovat na změny bilancí v síti. Zpracování těchto dat by jistě přineslo mnoho problémů při jejich zavádění do systému, ale do budoucna asi nebude vzhledem ke stále se rozšiřujícím decentrálním zdrojům jiná možnost.

S příchodem tzv. chytrých sítí (smart-grid) na úrovni nn, jež na existenci decentrálních zdrojů přímo stojí, se bude potřeba řízení sítí všech napěťových úrovní stále prohlubovat. Se stálým pronikáním decentrálních zdrojů do sítě poroste i jejich vliv na tyto sítě, a tam, kde dnes problémy nejsou, se mohou velmi rychle objevit.

Posledním bodem je zamyšlení se nad problematikou podpory obnovitelných zdrojů obecně. Je na uvážení čtenáře, zda by neměla být legislativní podpora přesunuta spíše na výkup energie z točivých zdrojů (bioplynové stanice), u kterých nevznikají problémy s nestálostí výroby. Předmětem k dalšímu výzkumu může být překlenutí této nestálosti nějakou formou akumulace elektrické energie.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Haluzík, E., Řízení elektrizačních soustav, skriptum VUT Brno, 1983
- [2] Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4 ve znění 1/2010, ERÚ a E.ON ČR
- [3] Vaculík, P., Decentrální zdroje v DS, materiály pro potřeby E.ON
- [4] Tisková zpráva ČSRES ze dne 24.2.2011, dostupné z
http://www.csres.cz/Aktualne/TK20110324/Tiskova_zprava_CSRES.pdf
- [5] Dokumentace k programu SINAUT Spectrum, materiál pro potřeby E.ON
- [6] Kodex přenosové soustavy, ČEPS, a.s. revize 11 – leden 2011

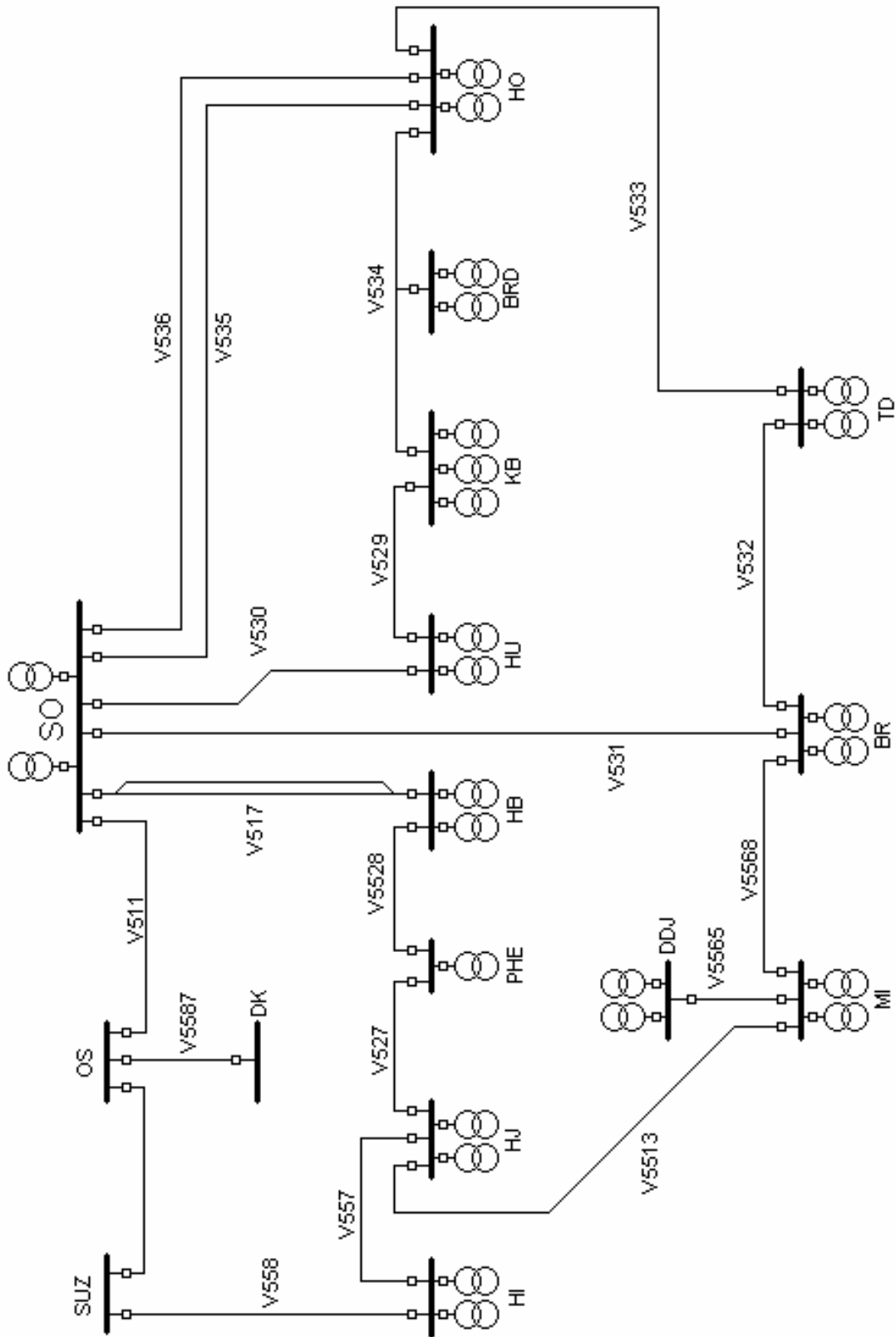
DALŠÍ ZDROJE, KTERÉ NEJSOU V PRÁCI EXPLICITNĚ CITOVANÉ:

- [7] Materiály z konference Český komitét CIRED 2011 www.ckcired.cz
- [8] Pospíšil J., Tureček P, Vybrané problémy při připojování FV zdrojů do sítě. Konference ČK CIRED, Tábor 2008
- [9] Pospíšil J., Tureček P, Provozní zkušenosti FV výroben v síti VN a NN – FVE Křižanov. Konference ČK CIRED, Tábor 2009
- [10] ČEPS, Česká energetická přenosová soustava, materiály týkající se provozu sítě s novými decentrálními zdroji. www.ceps.cz
- [11] Malý, J., Vliv OZE na provoz elektrizační soustavy, Dizertační práce, VUT v Brně 2009
- [12] EGÚ Brno, Roční zpráva o provozu ES ČR 2009, ERÚ a. s www.eru.cz
- [13] EGÚ Brno, materiály z přednášek pro studenty UEEN FEKT VUT, 2011
www.egubrno.cz
- [14] ERÚ Energetický regulační úřad – aktuality a cenová rozhodnutí www.eru.cz
- [15] Vaculík, P., Řízení a provoz DS s velkým počtem rozptýlených zdrojů, časopis Energetika 2/2010

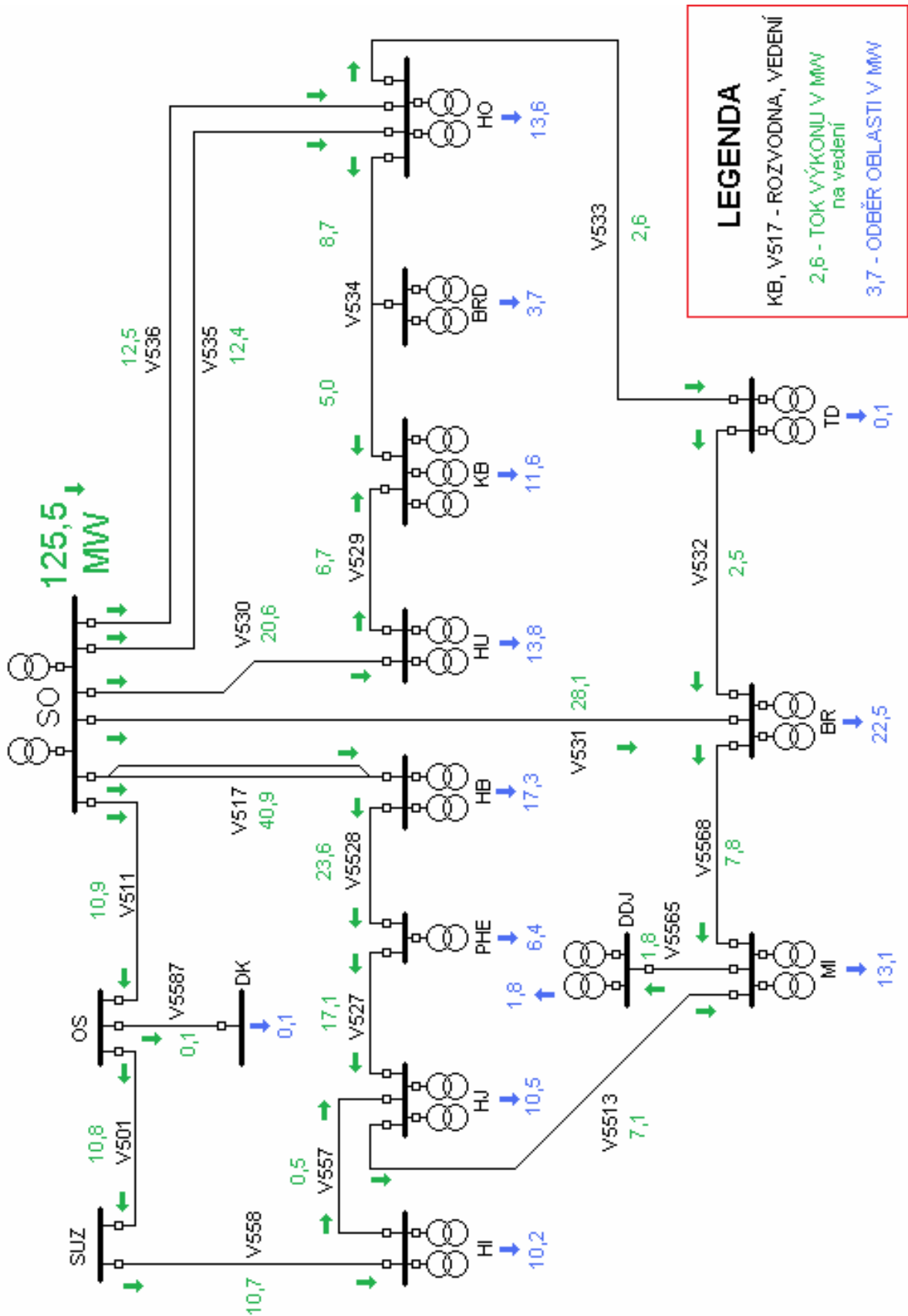
VÝPOČETNÍ PROGRAMY

Siemens SINAUT Spectrum verze 4.04 na počítačích E.ON Distribuce - Dispečink 110 kV
NetCalc verze 5.0 na počítačích UEEN FEKT VUT v Brně

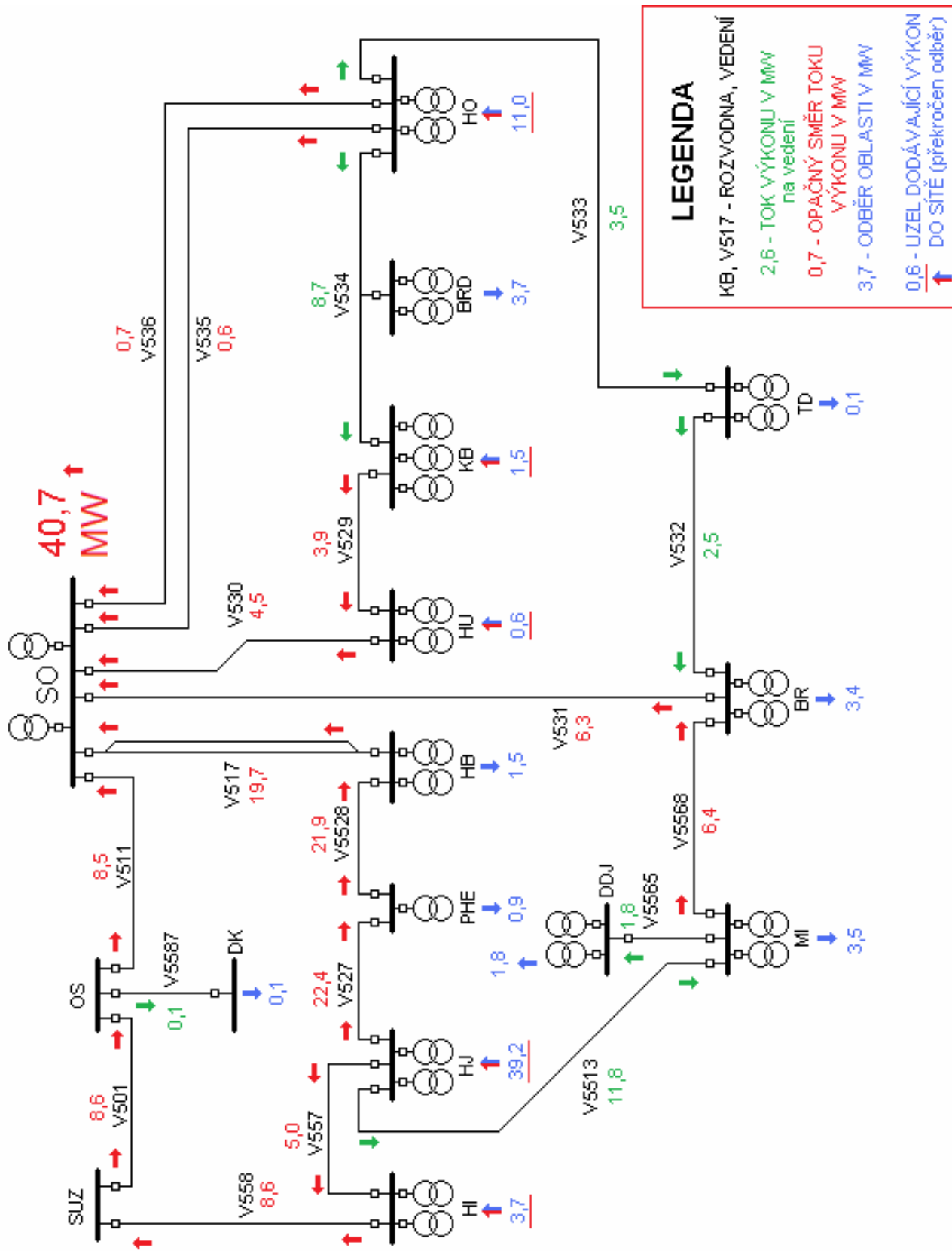
PŘÍLOHA A: Schéma sítě 110 kV



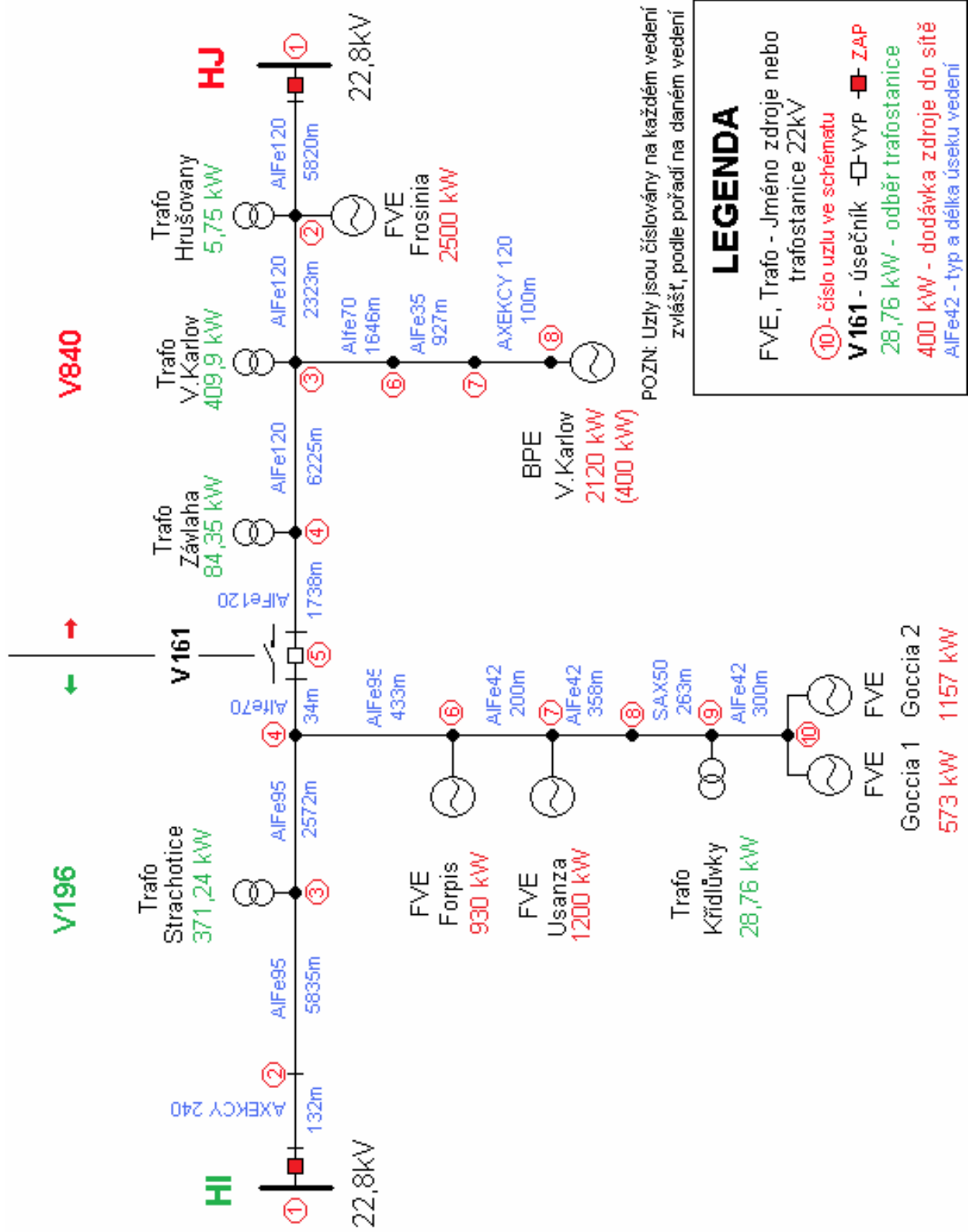
PŘÍLOHA B: Toky výkonu v síti 110 kV bez uvažování decentrálních zdrojů „A“



PŘÍLOHA C: Toky výkonu v síti 110 kV při provozu decentrálních zdrojů „B“



PŘÍLOHA D: Síť 22 kV základním zapojení

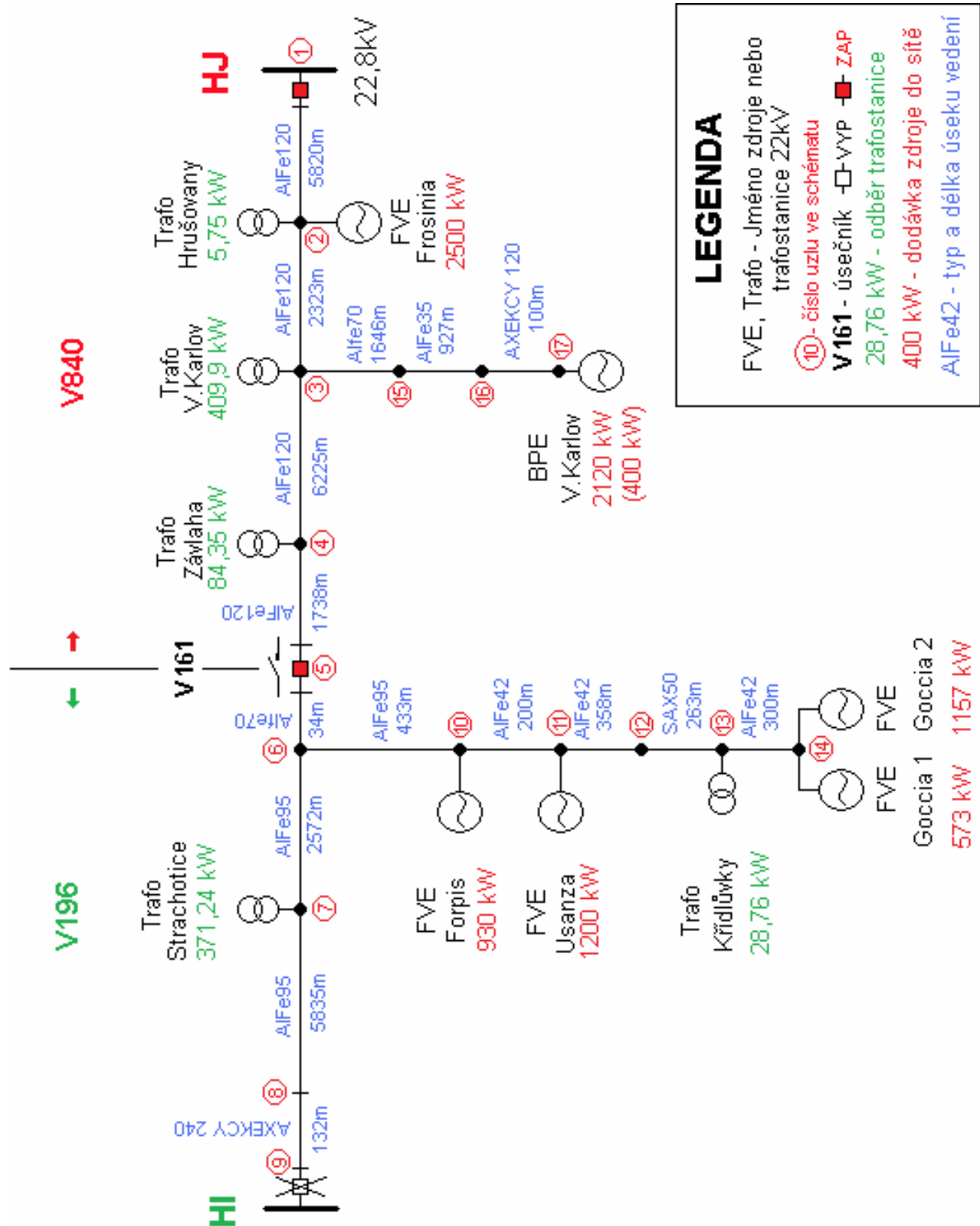


POZN: Uzly jsou číslovány na každém vedení zvlášť, podle pořadí na daném vedení

LEGENDA

- FVE, Trafo - Jméno zdroje nebo trafostanice 22kV
- ⑩ - číslo uzlu ve schématu
- V161 - úsečník □-VYP ■-ZAP
- 28,76 kW - odběr trafostanice
- 400 kW - dodávka zdroje do sítě
- AIFe42 - typ a délka úseku vedení

PŘÍLOHA E: Síť 22 kV při výpadku rozvodny Hodonice HI



PŘÍLOHA F: Vypočtené hodnoty ustáleného chodu sítě 110 kV bez uvažování decentrálních zdrojů – stav „A“ z programu Sinaut Spectrum

SOKOLNICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_517_HB_	-41.0	-12.2	207.0	680		-0.110
		MHB	110kV	SBA1				450 APD		-0.004
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_530_HU_	-20.6	-2.7	100.7	450		-0.115
		MHU	110kV	SBA1				450 APD		0.681
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_536_HO_	-5.7	1.5	28.7	450		-0.022
		MHO	110kV	SBB1				450 APD		2.422
BBC	O	MSO	110kV	KP1cmp	16.9	4.0	84.0	9999		0.000
		MSO	110kV	SBC1				9999 APD		0.000
Trafo	F	MSO	110kV	T203_cmp	50.5	9.5	248.6	1050		-0.016
		MSO	110kV	SBV.T203				1050 APD		1.723
PQnod	O	MSO	110kV	SBA1	0.0	0.0	119.3	-0.25 110.0	e1Sn 1	NetGr

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_511_OS_	-10.9	-0.6	52.7	450		-0.035
		MOS	110kV	SBB				450 APD		0.998
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_531_BR_	-14.5	-1.7	70.5	450		-0.113
		MBR	110kV	SBA1				450 APD		1.639
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_535_HO_	-5.6	1.7	28.3	450		-0.024
		MHO	110kV	SBA1				450 APD		2.410
BBC	O	MSO	110kV	KP1cmp	-16.9	-4.0	84.0	9999		0.000
		MSO	110kV	SBA1				9999 APD		0.000
Trafo	F	MSO	110kV	T202_cmp	47.8	4.6	232.6	1050		-0.010
		MSO	110kV	SBV.T202				1050 APD		0.169
E PQnod	O	MSO	110kV	SBC1	0.0	0.0	119.3	-0.25 110.0	e1Sn 1	NetGr

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
Trafo	F	MSO	110kV	T202_cmp	-47.8	-4.5	232.6	1050		-0.010
		MSO	110kV	SBC1				1050 APD		0.169
Trafo	F	MSO	10kV	T202_cmp	0.0	-0.0	0.0	525		0.000
		MSO	10kV	T202_cmp				525 APD		0.000
Trafo	F	MSO	220KV	T202_cmp	47.8	4.5	232.6	1050	8 u	-0.050
		MSO	220KV	SBB				1010 APD		-1.366
PQnod	F	MSO	110kV	SBV.T202	-0.0	0.0	119.3	-0.45	e1Sn	NetGr

110.0

1

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
Trafo	F	MSO	110kV	T203_cmp	-50.5	-7.8	248.6	1050		-0.016
		MSO	110kV	SBA1				1050 APD		1.723
Trafo	F	MSO	10kV	T203_cmp	-0.2	-4.7	22.7	525		-0.000
		MSO	10kV	SBT203				525 APD		-0.051
Trafo	F	MSO	220KV	T203_cmp	50.7	12.5	253.9	1050	14 u	-0.114
		MSO	220KV	SBA				1010 APD		-5.335
PQnod	F	MSO	110kV	SBV.T203	0.0	0.0	118.7	-2.15	e1Sn	NetGr

HRUŠOVANY U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_517_HB_	40.9	12.2	207.5	680		-0.110
		MSO	110kV	SBA1				450 APD		-0.004
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5528_HB_	-23.6	-5.4	117.8	455		-0.055
		MPHE	110kV	SBA1				450 APD		0.267
Trafo	O	MHB	110kV	T102_cmp	-17.3	-6.8	90.3	210	12	-0.080
		MHB	22kV	SBA2				210 APD		-1.295
PQnod	O	MHB	110kV	SBA1	-0.0	-0.0	118.7	-0.65 110.0	eISn 1	NetGr

POHOŘELICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_527_HJ_	-17.1	-3.2	85.1	455		-0.061
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.563
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5528_HB_	23.6	5.7	118.3	455		-0.055
		MHB	110kV	SBA1				450 APD		0.267
Trafo	O	MPHE	110kV	T101_cmp	-6.4	-2.4	33.5	131	13	-0.021
		MPHE	22kV	SBA				226 APD		-0.227
PQnod	O	MPHE	110kV	SBA1	0.0	0.0	118.3	-1.00 110.0	eISn 1	NetGr

HRUŠOVANY NAD JEVIŠOVKOU

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_527_HJ_	17.1	3.8	85.8	455		-0.061
		MPHE	110kV	SBA1				450 APD		0.563
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_557_HI_	0.5	0.4	3.3	450		-0.000
		MHI	110kV	SBA1				450 APD		0.735
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5513_HJ_	-7.1	0.6	35.2	450		-0.011
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		0.723
Trafo	O	MHJ	110kV	T102_cmp	-10.5	-4.8	56.5	210	13	-0.053
		MHJ	22kV	SBA1				210 APD		-0.609
PQnod	O	MHJ	110kV	SBA1	0.0	0.0	117.7	-1.47 110.0	eISn 1	NetGr

HODONICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_557_HI_	-0.5	0.3	3.0	450		-0.000
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.735
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_558_HI_	10.7	3.7	55.7	450		-0.011
		MSUZ	110kV	SBB				450 APD		0.290
Trafo	O	MHI	110kV	T101_cmp	-0.0	-0.1	0.7	131	13	-0.031
		MHI	22kV	SBA1				131 APD		-0.144
Trafo	O	MHI	110kV	T102_cmp	-10.2	-3.9	53.4	131	13	-0.055
		MHI	22kV	SBA2				131 APD		-0.621
PQnod	O	MHI	110kV	SBA1	-0.0	0.0	117.7	-1.45 110.0	eISn 1	NetGr

SUCHOHRDLY U ZNOJMA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_501_OS_	10.7	3.5	55.2	450		-0.054
		MOS	110kV	SBB				450 APD		1.462
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_558_HI_	-10.7	-3.5	55.2	450		-0.011
		MHI	110kV	SBA1				450 APD		0.290
PQnod	O	MSUZ	110kV	SBB	0.0	0.0	117.9	-1.33 110.0	eISn 1	NetGr

OSLAVANY

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5587_DK_	-0.1	0.4	1.8	450		-0.000
		MDK	110kV	SBA2				450 APD		0.787
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_501_OS_	-10.8	-2.0	53.3	450		-0.054
		MSUZ	110kV	SBB				450 APD		1.462
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_511_OS_	10.8	1.6	53.3	450		-0.035
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		0.998
PQnod	O	MOS	110kV	SBB	-0.0	-0.0	118.8	-0.69 110.0	eISn 1	NetGr

MIKULOV

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5565_DDJ	-1.8	-0.2	9.0	450		-0.001
		MDDJ	110kV	SBA2				450 APD		0.203
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5566_DDJ	-0.0	0.2	1.0	450		-0.000
		MDDJ	110kV	SBA1				450 APD		0.204
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5568_BR_	7.8	2.4	40.0	450		-0.019
		MBR	110kV	SBA1				450 APD		1.247
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5513_HJ_	7.1	0.1	35.1	450		-0.011
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.723
Trafo	O	MMI	110kV	T101_cmp	-13.1	-2.6	65.5	131	13	-0.080
		MMI	22kV	SBA1				131 APD		-0.972
PQnod	O	MMI	110kV	SBA1	0.0	0.0	117.5	-1.69 110.0	eISn 1	NetGr

DOLNÍ DUNAJOVICE, PZP

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5565_DDJ	1.8	0.4	9.2	450		-0.001
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		0.203
PQnod	O	MDDJ	110kV	SBA2	-1.8	-0.4	117.5	-1.71 110.0	eISn 1	NetGr
Load	F	MDDJ	110kV	T102LOAD	-1.8	-0.4	9.2	52		

HUSTOPEČE U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_529_HU_	-6.7	0.4	32.8	450		-0.012
		MKB	110kV	SBA				450 APD		0.899
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_530_HU_	20.5	3.4	101.4	450		-0.115
		MSO	110kV	SBA1				450 APD		0.681
Trafo	O	MHU	110kV	T102_cmp	-13.8	-3.9	69.9	131	13	-0.044
		MHU	22kV	SBA1				210 APD		-0.985
PQnod	O	MHU	110kV	SBA1	-0.0	0.0	118.4	-1.00 110.0	eISn 1	NetGr

KLOBOUKY U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_529_HU_	6.7	0.5	32.8	450		-0.012
		MHU	110kV	SBA1				450 APD		0.899
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_KB_	5.0	2.7	27.7	450		-0.010
		MWVEDSBV	110kV	_534_A_				450 APD		1.697
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_548_KB_	0.0	0.9	4.4	450		-0.000
		MWVEDENI	110kV	_548_KB_				450 APD		0.894
Trafo	O	MKB	110kV	T103_cmp	-9.2	-3.0	47.5	131	13	-0.048
		MKB	22kV	SBA1				131 APD		-0.600
PQnod	O	MKB	110kV	SBA	-2.4	-1.1	118.2	-1.25 110.0	eISn 1	NetGr
Load	O	MKB	110kV	T102LOAD	-2.4	-1.1	13.0	52		

BŘECLAV

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5568_BR_	-7.8	-1.2	38.5	450		-0.019
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		1.247
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_531_BR_	14.4	3.4	72.1	450		-0.113
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		1.639
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_532_BR_	16.0	6.4	84.2	450		-0.007
		MWVEDSBV	110kV	_532_A_				450 APD		0.072
Trafo	O	MBR	110kV	T101_cmp	-22.5	-8.4	117.6	210	13	-0.117
		MBR	22kV	SBA1				210 APD		-1.829
Trafo	O	MBR	110kV	T102_cmp	-0.0	-0.1	0.6	210	12	-0.032
		MBR	22kV	SBB1				210 APD		-0.119
PQnod	O	MBR	110kV	SBA1	0.0	-0.0	118.0	-1.29 110.0	eISn 1	NetGr

BŘECLAV, ČD

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_BRD	3.7	1.2	19.1	450		0.000
		MWVEDSBV	110kV	_534_A_				450 APD		0.068
PQnod	O	MBR_D	110kV	SBA1	-3.7	-1.2	118.6	-1.04 110.0	eISn 1	NetGr
Load	F	MBR_D	110kV	T1LOAD	-1.9	-0.6	9.5	70		
Load	F	MBR_D	110kV	T2LOAD	-1.9	-0.6	9.5	70		

HODONÍN

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_533_HO_	-2.6	-1.3	84.2	450		-0.050
		MTD	110kV	SB.A				450 APD		0.474
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_HO_	-8.7	-1.5	43.0	450		-0.014
		MWVEDSBV	110kV	_534_A_				450 APD		0.630
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_535_HO_	12.4	4.7	27.3	450		-0.024
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		2.410
BBC	O	MHO	110kV	SP1cmp	5.7	1.0	28.2	9999		0.000
		MHO	110kV	SBB1				9999 APD		0.000
Trafo	O	MHO	110kV	T13_cmp	-11.7	-3.7	59.3	210	13	-0.059
		MHO	22kV	SBA				210 APD		-0.558
Trafo	O	MHO	110kV	T8_cmp	3.4	1.2	152.2	331		-0.092
		MHO	10kV	SBA3				331 APD		-1.781
PQnod	O	MHO	110kV	SBA1	13.6	3.4	118.9	-0.82 110.0	eISn 1	NetGr
Load	O	MHO	110kV	T12LOAD	-13.6	-3.4	22.7	84		

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_536_HO_	12.5	1.0	28.2	450		-0.022
		MSO	110kV	SBA1				450 APD		2.422
BBC	O	MHO	110kV	SP1cmp	-12.5	-1.0	28.2	9999		0.000
		MHO	110kV	SBA1				9999 APD		0.000
E PQnod	O	MHO	110kV	SBB1	-0.0	-0.0	118.9	-0.82 110.0	e1Sn 1	NetGr

TVRDONICE, PZP

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_532_TD_	-16.0	-6.1	83.6	450		-0.013
		MWVEDSBV	110kV	_532_A_				450 APD		0.127
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_533_HO_	16.1	6.8	85.3	450		-0.050
		MHO	110kV	SBA1				450 APD		0.474
PQnod	O	MTD	110kV	SB.A	-0.1	-0.7	118.3	-1.15 110.0	e1Sn 1	NetGr
Load	F	MTD	110kV	T102LOAD	-0.1	-0.7	3.2	84		

DUKOVANY, VS

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5587_DK_	0.1	0.4	2.1	450		-0.000
		MOS	110kV	SBB				450 APD		0.787
PQnod	O	MDK	110kV	SBA2	-0.1	-0.4	118.8	-0.70 110.0	e1Sn 1	NetGr
Load	F	MDK	110kV	T02LOAD	-0.1	-0.4	2.1	210		

PŘÍLOHA G: Vypočtené hodnoty ustáleného chodu sítě 110 kV při provozu decentrálních zdrojů – stav „B“ z programu Sinaut Spectrum

SOKOLNICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_517_HB_	19.7	-12.4	112.8	680		-0.033
		MHB	110kV	SBA1				450 APD		0.240
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_530_HU_	4.5	-2.0	23.8	450		-0.007
		MHU	110kV	SBA1				450 APD		0.965
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_536_HO_	6.2	0.7	30.0	450		-0.025
		MHO	110kV	SBB1				450 APD		2.432
BBC	O	MSO	110kV	KP1cmp	-4.0	2.4	22.4	9999		0.000
		MSO	110kV	SBC1				9999 APD		0.000
Trafo	F	MSO	110kV	T203_cmp	-26.4	11.4	139.0	1050		-0.005
		MSO	110kV	SBV.T203				1050 APD		0.539

PQnod O MSO 110kV SBA1 0.0 0.0 119.3 3.09 110.0 eISn 1 NetGr

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_511_OS_	8.5	-1.4	41.7	450		-0.022
		MOS	110kV	SBB				450 APD		1.036
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_531_BR_	6.3	-1.9	31.8	450		-0.025
		MBR	110kV	SBA1				450 APD		1.887
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_535_HO_	6.0	0.5	29.1	450		-0.028
		MHO	110kV	SBA1				450 APD		2.420
BBC	O	MSO	110kV	KP1cmp	4.0	-2.4	22.4	9999		0.000
		MSO	110kV	SBA1				9999 APD		0.000
Trafo	F	MSO	110kV	T202_cmp	-24.8	5.3	122.5	1050		-0.003
		MSO	110kV	SBV.T202				1050 APD		0.047

E PQnod O MSO 110kV SBC1 -0.0 0.0 119.3 3.09 110.0 eISn 1 NetGr

HRUŠOVANY U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_517_HB_	-19.7	12.7	113.7	680		-0.033
		MSO	110kV	SBA1				450 APD		0.240
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5528_HB_	21.3	-6.8	108.2	455		-0.047
		MPHE	110kV	SBA1				450 APD		0.297
Trafo	O	MHB	110kV	T102_cmp	-1.5	-5.9	29.7	210	12	-0.041
		MHB	22kV	SBA2				210 APD		-0.427

PQnod O MHB 110kV SBA1 -0.0 0.0 119.2 3.34 110.0 eISn 1 NetGr

POHOŘELICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_527_HJ_	22.3	-4.8	110.2	455		-0.102
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.472
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5528_HB_	-21.3	7.0	108.8	455		-0.047
		MHB	110kV	SBA1				450 APD		0.297
Trafo	O	MPHE	110kV	T101_cmp	-0.9	-2.2	11.7	131	13	-0.015
		MPHE	22kV	SBA				226 APD		-0.028

PQnod O MPHE 110kV SBA1 0.0 0.0 119.2 3.72 110.0 eISn 1 NetGr

HRUŠOVANY NAD JEVIŠOVKOU

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_527_HJ_	-22.4	5.3	111.0	455		-0.102
		MPHE	110kV	SBA1				450 APD		0.472
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_557_HI_	-5.0	1.8	25.7	450		-0.005
		MHI	110kV	SBA1				450 APD		0.743
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5513_HJ_	-11.8	1.9	57.8	450		-0.029
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		0.698
Trafo	O	MHJ	110kV	T102_cmp	39.2	-9.0	194.2	210	13	-0.249
		MHJ	22kV	SBA1				210 APD		-4.780
PQnod	O	MHJ	110kV	SBA1	0.0	0.0	119.4	4.43 110.0	eISn 1	NetGr

HODONICE

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_557_HI_	5.0	-1.0	24.7	450		-0.005
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.743
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_558_HI_	-8.6	4.7	47.5	450		-0.008
		MSUZ	110kV	SBB				450 APD		0.307
Trafo	O	MHI	110kV	T101_cmp	-0.0	-0.1	0.7	131	13	-0.032
		MHI	22kV	SBA1				131 APD		-0.148
Trafo	O	MHI	110kV	T102_cmp	3.7	-3.5	24.5	131	13	-0.032
		MHI	22kV	SBA2				131 APD		-0.207
PQnod	O	MHI	110kV	SBA1	-0.0	-0.0	119.4	4.26 110.0	eISn 1	NetGr

SUCHOHRDLY U ZNOJMA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_501_OS_	-8.6	4.4	46.8	450		-0.038
		MOS	110kV	SBB				450 APD		1.535
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_558_HI_	8.6	-4.4	46.8	450		-0.008
		MHI	110kV	SBA1				450 APD		0.307
PQnod	O	MSUZ	110kV	SBB	-0.0	0.0	119.4	4.13 110.0	eISn 1	NetGr

OSLAVANY

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5587_DK_	-0.1	0.4	1.8	450		0.000
		MDK	110kV	SBA2				450 APD		0.796
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_501_OS_	8.6	-2.8	43.7	450		-0.038
		MSUZ	110kV	SBB				450 APD		1.535
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_511_OS_	-8.5	2.5	42.9	450		-0.022
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		1.036
PQnod	O	MOS	110kV	SBB	0.0	0.0	119.5	3.49 110.0	eISn 1	NetGr

MIKULOV

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5565_DDJ	-1.8	-0.2	8.9	450		-0.000
		MDDJ	110kV	SBA2				450 APD		0.209
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5566_DDJ	-0.0	0.2	1.0	450		0.000
		MDDJ	110kV	SBA1				450 APD		0.212
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5568_BR_	-6.4	3.0	34.3	450		-0.014
		MBR	110kV	SBA1				450 APD		1.299
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5513_HJ_	11.8	-1.2	57.3	450		-0.029
		MHJ	110kV	SBA1				450 APD		0.698
Trafo	O	MMI	110kV	T101_cmp	-3.5	-1.8	19.2	131	13	-0.036
		MMI	22kV	SBA1				131 APD		-0.217
PQnod	O	MMI	110kV	SBA1	0.0	-0.0	119.2	4.05 110.0	eISn 1	NetGr

DOLNÍ DUNAJOVICE, PZP

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5565_DDJ	1.8	0.4	9.0	450		-0.000
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		0.209
PQnod	O	MDDJ	110kV	SBA2	-1.8	-0.4	119.2	4.03 110.0	eISn 1	NetGr
Load	F	MDDJ	110kV	T102LOAD	-1.8	-0.4	9.0	52		

HUSTOPEČE U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_529_HU_	3.9	-0.1	18.7	450		-0.004
		MKB	110kV	SBA				450 APD		0.935
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_530_HU_	-4.5	3.0	26.1	450		-0.007
		MMSO	110kV	SBA1				450 APD		0.965
Trafo	O	MHU	110kV	T102_cmp	0.6	-2.9	14.5	131	13	-0.015
		MHU	22kV	SBA1				210 APD		-0.043
PQnod	O	MHU	110kV	SBA1	-0.0	0.0	119.3	3.30 110.0	eISn 1	NetGr

KLOBOUKY U BRNA

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_529_HU_	-3.9	1.0	19.3	450		-0.004
		MHU	110kV	SBA1				450 APD		0.935
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_KB_	2.4	1.8	14.6	450		-0.002
		MWVEDSBV	110kV	_534_A_				450 APD		1.747
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_548_KB_	-0.0	0.9	4.4	450		-0.000
		MWVEDENI	110kV	_548_KB_				450 APD		0.911
Trafo	O	MKB	110kV	T103_cmp	3.9	-2.7	22.7	131	13	-0.032
		MKB	22kV	SBA1				131 APD		-0.271
PQnod	O	MKB	110kV	SBA	-2.4	-1.1	119.4	3.45 110.0	eISn 1	NetGr
Load	O	MKB	110kV	T102LOAD	-2.4	-1.1	12.9	52		

BŘECLAV

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5568_BR_	6.4	-1.7	32.0	450		-0.014
		MMI	110kV	SBA1				450 APD		1.299
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_531_BR_	-6.3	3.8	35.7	450		-0.025
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		1.887
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_532_BR_	3.4	5.0	29.4	450		-0.000
		MWVEDSBV	110kV	_532_A				450 APD		0.089
Trafo	O	MBR	110kV	T101_cmp	-3.4	-7.0	37.6	210	13	-0.047
		MBR	22kV	SBA1				210 APD		-0.358
Trafo	O	MBR	110kV	T102_cmp	-0.0	-0.1	0.6	210	12	-0.032
		MBR	22kV	SBB1				210 APD		-0.121
PQnod	O	MBR	110kV	SBA1	-0.0	-0.0	119.3	3.66 110.0	eISn 1	NetGr

BŘECLAV, ČD

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_BRD	3.7	1.2	18.9	450		0.000
		MWVEDSBV	110kV	_534_A				450 APD		0.070
PQnod	O	MBR_D	110kV	SBA1	-3.7	-1.2	119.5	3.55 110.0	eISn 1	NetGr
Load	F	MBR_D	110kV	T1LOAD	-1.9	-0.6	9.5	70		
Load	F	MBR_D	110kV	T2LOAD	-1.9	-0.6	9.5	70		

HODONÍN

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_533_HO_	-3.5	-4.8	28.6	450		-0.006
		MTD	110kV	SB.A				450 APD		0.596
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_534_HO_	-6.2	-0.5	29.8	450		-0.007
		MWVEDSBV	110kV	_534_A				450 APD		0.660
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_535_HO_	-6.0	2.0	30.5	450		-0.028
		MSO	110kV	SBC1				450 APD		2.420
BBC	O	MHO	110kV	SP1cmp	-6.2	1.7	31.0	9999		0.000
		MHO	110kV	SBB1				9999 APD		0.000
Trafo	O	MHO	110kV	T13_cmp	-3.3	-3.3	22.7	210	13	-0.042
		MHO	22kV	SBA				210 APD		-0.207
PQnod	O	MHO	110kV	SBA1	-3.2	-3.4	119.7	3.71 110.0	eISn 1	NetGr
Load	O	MHO	110kV	T12LOAD	-3.2	-3.4	22.5	84		

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_536_HO_	-6.2	1.7	31.0	450		-0.025
		MSO	110kV	SBA1				450 APD		2.432
BBC	O	MHO	110kV	SP1cmp	6.2	-1.7	31.0	9999		0.000
		MHO	110kV	SBA1				9999 APD		0.000
E PQnod	O	MHO	110kV	SBB1	-0.0	-0.0	119.7	3.71 110.0	eISn 1	NetGr

TVRDONICE, PZP

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_532_TD_	-3.4	-4.7	28.1	450		-0.002
		MWVEDSBV	110kV	_532_A				450 APD		0.158
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	_533_HO_	3.5	5.4	31.0	450		-0.006
		MHO	110kV	SBA1				450 APD		0.596
PQnod	O	MTD	110kV	SB.A	-0.1	-0.7	119.4	3.67 110.0	e1Sn 1	NetGr
Load	F	MTD	110kV	T102LOAD	-0.1	-0.7	3.2	84		

DUKOVANY, VS

Type (nodes:	Nm	Station	VL	Circuit Busbar)	Pcalc	Qcalc	I/Vcalc	In/Phi Ilim/Vn	St1 Flg St2 Flg	Ploss Qloss
OhlCb	O	MWVEDENI	110kV	5587_DK_	0.1	0.4	2.1	450		0.000
		MOS	110kV	SBB				450 APD		0.796
PQnod	O	MDK	110kV	SBA2	-0.1	-0.4	119.5	3.48 110.0	e1Sn 1	NetGr
Load	F	MDK	110kV	T02LOAD	-0.1	-0.4	2.1	210		

PŘÍLOHA H: Vypočtené hodnoty ustáleného chodu V840 a V196 do HJ při chodu decentrálních zdrojů s P_i a $\cos\phi_i=1$ z programu NetCalc

Unom= 22.80 kV		Text HJ_Bilancni		uzel: 1		
kz =100.000 %		kz(kor) =100.000 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	22800.00;	0.00;	22800.00;	100.000;	100.000; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U2		uzel: 2		
kz =100.002 %		kz(kor) =100.002 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23110.81;	550.35;	23117.37;	101.392;	101.392; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U3		uzel: 3		
kz =100.002 %		kz(kor) =100.002 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23175.66;	679.33;	23185.61;	101.691;	101.691; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U4		uzel: 4		
kz =100.003 %		kz(kor) =100.003 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23363.16;	1017.52;	23385.31;	102.567;	102.567; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U5		uzel: 5		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23417.69;	1113.77;	23444.16;	102.825;	102.825; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U6		uzel: 6		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23419.68;	1115.85;	23446.24;	102.834;	102.834; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U7		uzel: 7		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]		(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23403.02;	1103.97;	23429.05;	102.759;	102.759; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U8		uzel: 8		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23403.07;	1103.94;	23429.10;	102.759;	102.759; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U9		uzel: 9		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23403.07;	1103.94;	23429.10;	102.759;	102.759; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U10		uzel: 10		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23439.54;	1143.04;	23467.39;	102.927;	102.927; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U11		uzel: 11		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23454.43;	1152.62;	23482.73;	102.994;	102.994; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U12		uzel: 12		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23471.61;	1163.74;	23500.45;	103.072;	103.072; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U13		uzel: 13		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23488.14;	1171.29;	23517.33;	103.146;	103.146; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U14		uzel: 14		
kz =100.004 %		kz(kor) =100.004 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23502.84;	1180.69;	23532.48;	103.213;	103.213; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U15		uzel: 15		
kz =100.002 %		kz(kor) =100.002 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196
har	f	sdr. napětí [V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)		
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.
1;	50;	23187.56;	690.40;	23197.84;	101.745;	101.745; 0.00

Unom= 22.80 kV		Text U16		uzel: 16		
kz =100.002 %		kz(kor) =100.002 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196

har	f	sdr. napětí	[V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23199.80;	697.13;	23210.27;	101.799;101.799; 0.00	

Unom= 22.80 kV		Text U17		uzel: 17		
kz =100.002 %		kz(kor) =100.002 %		kz() = 4.00 %		var: V840V196

har	f	sdr. napětí	[V]	(..Uvzt)	u% (procent.hodnoty)	
-	Hz	re(Un)	im(Un)	Un	vyp.	kor.

1;	50;	23200.22;	697.46;	23210.70;	101.801;101.801; 0.00	

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 1-2		
Iekv=145.101 A		(...z uzlu 1)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-144.531;	-12.846;	145.101;	1.43 ;	2.07 ;	2.51

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 1-2		
Iekv=145.103 A		(...do uzlu 2)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	144.531;	12.871;	145.103;	1.43 ;	2.07 ;	2.51

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 2-3		
Iekv= 83.034 A		(...z uzlu 2)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-82.256;	-11.337;	83.034;	0.57 ;	0.83 ;	1.00

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 2-3		
Iekv= 83.035 A		(...do uzlu 3)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	82.256;	11.347;	83.035;	0.57 ;	0.83 ;	1.00

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 3-4		
Iekv= 82.997 A		(...z uzlu 3)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-82.612;	-7.991;	82.997;	1.53 ;	2.22 ;	2.69

Unom= 22.80 kV		typ větve: VK		větev: 3-4		
Iekv= 82.999 A		(...do uzlu 4)		var: V840V196		

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	82.611;	8.017;	82.999;	1.53 ;	2.22 ;	2.69

Unom= 22.80 kV						větev: 4-5
Iekv= 85.045 A	typ větve: VK	(...z uzlu 4)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-84.721;	-7.422;	85.045;	0.43 ;	0.62 ;	0.75

Unom= 22.80 kV						větev: 4-5
Iekv= 85.046 A	typ větve: VK	(...do uzlu 5)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	84.721;	7.429;	85.046;	0.43 ;	0.62 ;	0.75

Unom= 22.80 kV						větev: 5-6
Iekv= 85.062 A	typ větve: VK	(...z uzlu 5)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-84.738;	-7.414;	85.062;	0.01 ;	0.01 ;	0.02

Unom= 22.80 kV						větev: 5-6
Iekv= 85.062 A	typ větve: VK	(...do uzlu 6)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	84.738;	7.414;	85.062;	0.01 ;	0.01 ;	0.02

Unom= 22.80 kV						větev: 6-7
Iekv= 9.622 A	typ větve: VK	(...z uzlu 6)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	9.279;	-2.548;	9.622;	0.77 ;	0.95 ;	1.23

Unom= 22.80 kV						větev: 6-7
Iekv= 9.626 A	typ větve: VK	(...do uzlu 7)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-9.279;	2.559;	9.626;	0.77 ;	0.95 ;	1.23

Unom= 22.80 kV						větev: 7-8
Iekv= 0.025 A	typ větve: VK	(...z uzlu 7)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	-0.001;	0.025;	0.025;	1.76 ;	2.16 ;	2.78

Unom= 22.80 kV						větev: 7-8
Iekv= 0.001 A	typ větve: VK	(...do uzlu 8)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z

1.0;	0.000;	-0.001;	0.001;	1.76 ;	2.16 ;	2.78

Unom= 22.80 kV						větev: 8-9
Iekv= 0.000 A	typ větve: VK	(...z uzlu 8)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-0.000;	0.000;	0.000;	0.02 ;	0.01 ;	0.02

Unom= 22.80 kV						větev: 8-9
Iekv= 0.000 A	typ větve: VK	(...do uzlu 9)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-0.000;	0.000;	0.000;	0.02 ;	0.01 ;	0.02

Unom= 22.80 kV						větev: 6-10
Iekv= 94.126 A	typ větve: VK	(...z uzlu 6)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-93.999;	-4.882;	94.126;	0.13 ;	0.16 ;	0.21

Unom= 22.80 kV						větev: 6-10
Iekv= 94.126 A	typ větve: VK	(...do uzlu 10)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	93.999;	4.883;	94.126;	0.13 ;	0.16 ;	0.21

Unom= 22.80 kV						větev: 10-11
Iekv= 64.603 A	typ větve: VK	(...z uzlu 10)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-64.511;	-3.444;	64.603;	0.14 ;	0.08 ;	0.16

Unom= 22.80 kV						větev: 10-11
Iekv= 64.603 A	typ větve: VK	(...do uzlu 11)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	64.511;	3.445;	64.603;	0.14 ;	0.08 ;	0.16

Unom= 22.80 kV						větev: 11-12
Iekv= 41.740 A	typ větve: VK	(...z uzlu 11)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-41.676;	-2.322;	41.740;	0.25 ;	0.14 ;	0.28

Unom= 22.80 kV						větev: 11-12
Iekv= 41.740 A	typ větve: VK	(...do uzlu 12)			var: V840V196	
har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	41.675;	2.324;	41.740;	0.25 ;	0.14 ;	0.28

 Unom= 22.80 kV větev: 12-13
 Iekv= 41.740 A typ větve: VK (...z uzlu 12) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-41.675;	-2.324;	41.740;	0.23 ;	0.09 ;	0.25

 Unom= 22.80 kV větev: 12-13
 Iekv= 41.740 A typ větve: VK (...do uzlu 13) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	41.675;	2.325;	41.740;	0.23 ;	0.09 ;	0.25

 Unom= 22.80 kV větev: 13-14
 Iekv= 42.444 A typ větve: VK (...z uzlu 13) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-42.391;	-2.128;	42.444;	0.21 ;	0.12 ;	0.24

 Unom= 22.80 kV větev: 13-14
 Iekv= 42.444 A typ větve: VK (...do uzlu 14) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	42.391;	2.129;	42.444;	0.21 ;	0.12 ;	0.24

 Unom= 22.80 kV větev: 3-15
 Iekv= 9.949 A typ větve: VK (...z uzlu 3) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-9.945;	-0.288;	9.949;	0.71 ;	0.62 ;	0.94

 Unom= 22.80 kV větev: 3-15
 Iekv= 9.949 A typ větve: VK (...do uzlu 15) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	9.945;	0.295;	9.949;	0.71 ;	0.62 ;	0.94

 Unom= 22.80 kV větev: 15-16
 Iekv= 9.950 A typ větve: VK (...z uzlu 15) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	-9.946;	-0.294;	9.950;	0.72 ;	0.37 ;	0.81

 Unom= 22.80 kV větev: 15-16
 Iekv= 9.950 A typ větve: VK (...do uzlu 16) var: V840V196

har	proud	[A]	(..Uvzt)	impedance větve [ohm]		
-	re(In)	im(In)	In	re(Z)	im(Z)	Z
1.0;	9.946;	0.298;	9.950;	0.72 ;	0.37 ;	0.81

```

-----
Unom= 22.80 kV                                větev: 16-17
Iekv=  9.948 A   typ větve: VK   (...z uzlu 16)   var: V840V196
-----
har      proud [A]   (...Uvzt)      impedance větve [ohm]
-      re(In)   im(In)      In      re(Z)      im(Z)      Z
-----
1.0;    -9.943;   -0.300;   9.948;   0.03 ;    0.02 ;    0.03
-----

```

```

-----
Unom= 22.80 kV                                větev: 16-17
Iekv=  9.948 A   typ větve: VK   (...do uzlu 17)   var: V840V196
-----
har      proud [A]   (...Uvzt)      impedance větve [ohm]
-      re(In)   im(In)      In      re(Z)      im(Z)      Z
-----
1.0;     9.943;    0.301;    9.948;    0.03 ;    0.02 ;    0.03
-----

```