

# **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**

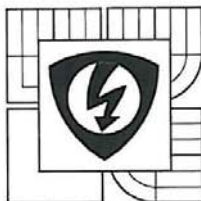
## **STUDIE PŘIPOJITELNOSTI VÝROBNY**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. MARTIN SÝKORA**

**BRNO 2011**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektroenergetika**

**Student:** Bc. Martin Sýkora  
**Ročník:** 2

**ID:** 77791  
**Akademický rok:** 2010/11

**NÁZEV TÉMATU:**

## Studie připojitelnosti výroby

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Literární rešerše softwarového vybavení PC pro statické a dynamické modely sítě.
2. Návrh vyvedení výkonu z výroby do sítě vn.
3. Ve studii posuďte všechny zpětné vlivy na síť vn, zpětné vlivy na nadřazenou síť vvn, jako zvýšení napětí, nárazový proud při spouštění, flickr, harmonické proudy, rušení signálu HDO, příspěvek ke zkratovému proudu, možnosti regulace jalových výkonů a nároky na kompenzaci.
4. Získané vypočítané hodnoty vyhodnoťte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 20.5.2011

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

**Konzultanti diplomové práce:**

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.

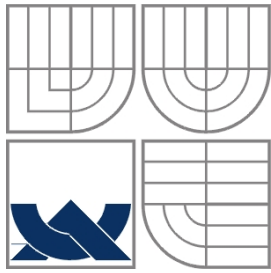
Bibliografická citace práce:

SÝKORA, M. Studie připojitelnosti výrobní. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011, 64 stran.

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

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat Ing. Martinu Paarovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Diplomová práce**

# **Studie připojitelnosti výrobní**

**Bc. Martin Sýkora**

**vedoucí: Ing. Martin Paar, 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**

**Masters's Thesis**

# **Study of Power Plant Connection to Power Network**

**by**

**Bc. Martin Sýkora**

**Supervisor: Ing. Martin Paar, Ph.D.**

**Brno University of Technology, 2011**

**Brno**

## ABSTRAKT

Při zřizování nových výroben elektrické energie, nebo při úpravách výroben stávajících je třeba posoudit vlivy těchto výroben na elektrizační soustavu. Taková posouzení se řeší v tzv. studiích připojitelnosti, kdy se výpočty posuzuje stav po připojení výrobní a náhradní provoz výrobní při poruchových stavech. Výsledkem zprávy je soubor doporučení pro zřízení a provoz takové výrobní a kroky vedoucí k zajištění stability a bezpečnosti provozu elektrizační soustavy.

Cílem této práce je pojednat o softwarovém vybavení PC pro řešení statických a dynamických modelů sítě, provést návrh vyvedení výkonu z výrobní do sítě vn, provést kompletní studii připojitelnosti s ohledem na všechny zpětné vlivy na síť, jako zvýšení napětí, nárazový proud při spouštění, flickr, harmonické proudy, rušení signálu HDO, příspěvek ke zkratovému proudu, možnosti regulace jalového výkonu a nároky na kompenzaci.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** elektrické zkraty; elektrizační soustava; flickr; fotovoltaická elektrárna; harmonická analýza; HDO; kompenzace jalového výkonu; software; statická stabilita; studie připojitelnosti; úbytky napětí; větrná elektrárna

**ABSTRACT**

It is necessary to judge the influences of producers on the electric compounds while creating electrical energy or during the regulation of those existing. These analyses are sorted out by so called studies of connectivity. These calculations analyze the degree of connection of the producer and the standby unit during a break-down. The results of this report are several recommendations for creating such unit and succeeding steps leading to secure the stability and safety of the electric compound operation.

The aim of this thesis is to discuss about software for PC solutions for static and dynamic network model, to draft power outlet into a network of generating high voltage, to complete a study of connectivity with respect to all the distortion factor, as increased voltage, inrush current at startup, flicker, harmonic currents, interference ripple, contribution to short-circuit current, reactive power control options, and demands for compensation.

**KEY WORDS:** drop of potential; electrical energetic system; flicker; harmonic analysis; photovoltaic power plant; reactive power compensation; ripple control; short-circuits; software; static stability; study of connectivity; windmill generating station;

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	13
1 ÚVOD .....	15
2 CÍLE PRÁCE .....	16
3 METODY A POSTUPY ŘEŠENÍ.....	17
3.1 PŘEDPISY A NORMY .....	17
3.2 SOFTWARE PRO ŘEŠENÍ STUDIÍ PŘIPOJITELNOSTI.....	18
3.2.1 PROGRAM E-VLIVY – VERZE 2.4.3 .....	19
3.2.2 PROGRAM ZKRATY – VERZE 2.0 .....	21
3.2.3 PROGRAM PAVOUK-SCHRACK – VERZE 2.7.....	22
3.2.4 PROGRAM MODES – VERZE 2.2/12.....	22
3.2.5 PROGRAMY POWER CALC LITE - VERZE 2.01, PAS DAISY OFF-LINE A BIZON PROJEKTANT .....	23
3.2.6 PROGRAM NETCALC - VERZE 7.0 .....	23
3.2.7 PROGRAM GLF - VERZE 23/2/2008.....	23
3.3 POŽADAVKY NA STUDIE PŘIPOJITELNOSTI .....	24
3.3.1 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ - LEGISLATIVA.....	24
3.3.2 ROZSAH STUDIE .....	25
3.3.3 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ .....	26
4 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI.....	29
4.1 SCHÉMA A PARAMETRY SÍTĚ.....	29
4.2 VYVEDENÍ VÝKONU Z VÝROBEN .....	31
4.2.1 VYVEDENÍ VÝKONU Z FVE.....	31
4.2.2 VYVEDENÍ VÝKONU Z VTE .....	33
4.3 PŘIPOJENÍ ZADANÉHO VÝKONU A PROVOZNÍ STAVY .....	34
4.3.1 REFERENČNÍ PROVOZNÍ STAV .....	34
4.3.2 NÁHRADNÍ PROVOZNÍ STAV Č. 1 .....	36
4.3.3 NÁHRADNÍ PROVOZNÍ STAV Č. 2.....	37
4.3.4 NÁHRADNÍ PROVOZNÍ STAV Č. 3 .....	38
4.4 KOMPENZACE JALOVÉ ENERGIE.....	40
4.5 PŘÍSPĚVEK KE ZKRATOVÉMU PROUDU.....	40
4.6 ÚTLUM SIGNÁLU HDO.....	40
4.7 VÝPOČET FLIKRU .....	41
4.8 HARMONICKÁ ANALÝZA.....	41
4.9 VÝKONOVÁ BILANCE .....	47
5 ZÁVĚR.....	48
POUŽITÁ LITERATURA .....	51

---

<b>6 PŘÍLOHA - A</b> .....	<b>53</b>
<b>7 PŘÍLOHA - B</b> .....	<b>64</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 4-1 Přenosová síť a distribuční síť vvn - oblast Horní Životice .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-2 Přehledové schéma posuzované sítě 22 kV.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4-3 Rozložení napětí po a před připojení výroben – referenční stav.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4-4 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinníku VTE v místě připojení.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4-5 Závislost změny napětí na účinníku VTE v místě připojení.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4-6 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní provozní stav č. 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 4-7 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní provozní stav č. 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 4-8 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinníku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 4-9 Závislost změny napětí na účinníku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 4-10 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní stav č. 3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 4-11 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinníku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 4-12 Závislost změny napětí na účinníku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 3.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 4-13 Poměrné emise harmonických proudů .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 4-14 Poměrné emise harmonických napětí.....</i>	<i>46</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Základní normy a předpisy</i> .....	17
<i>Tab. 3-2 Výpočetní software</i> .....	19
<i>Tab. 3-3 Pásmo účinnosti</i> .....	28
<i>Tab. 4-1 Parametry generátoru Vestas V90 2MW</i> .....	30
<i>Tab. 4-2 Parametry střídače Sunny Central 1000MV</i> .....	30
<i>Tab. 4-3 Parametry napájecí sítě</i> .....	31
<i>Tab. 4-4 Parametry transformátoru 110/22 kV</i> .....	31
<i>Tab. 4-5 Parametry vedení</i> .....	31
<i>Tab. 4-6 Parametry zátěží</i> .....	31
<i>Tab. 4-7 Vedení <math>V_{51}</math></i> .....	32
<i>Tab. 4-8 Zkratové proudy na kabelovém vedení <math>V_{51}</math></i> .....	32
<i>Tab. 4-9 Transformátory <math>T_{21}</math> a <math>T_{22}</math></i> .....	33
<i>Tab. 4-10 Vedení <math>V_{52}</math></i> .....	33
<i>Tab. 4-11 Zkratové proudy na kabelovém vedení <math>V_{52}</math></i> .....	34
<i>Tab. 4-12 Příspěvek ke zkratovému proudu</i> .....	40
<i>Tab. 4-13 Příspěvek ke zkratovému proudu</i> .....	41
<i>Tab. 4-14 Analýza proudů vyšších harmonických</i> .....	42
<i>Tab. 4-15 Analýza harmonických napětí</i> .....	45
<i>Tab. 4-16 Celkové činitele harmonického zkreslení THD</i> .....	46
<i>Tab. 4-17 Výkonová bilance</i> .....	47
<i>Tab. 6-1 Proudové a výkonové poměry v síti před připojením výroben</i> .....	54
<i>Tab. 6-2 Napěťové poměry v síti před připojením výroben</i> .....	55
<i>Tab. 6-3 Proudové a výkonové poměry v síti po připojení výroben</i> .....	55
<i>Tab. 6-4 Napěťové poměry v síti po připojení výroben</i> .....	56
<i>Tab. 6-5 Proudové a výkonové poměry v síti po připojení výroben- referenční stav</i> .....	57
<i>Tab. 6-6 Napětí před a po připojení výroben- referenční stav</i> .....	58
<i>Tab. 6-7 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav 1</i> .....	58
<i>Tab. 6-8 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav 2</i> .....	59
<i>Tab. 6-9 Proudové a výkonové poměry v síti- náhradní provozní stav 2</i> .....	59
<i>Tab. 6-10 Napěťové poměry v síti- náhradní provozní stav 2</i> .....	60
<i>Tab. 6-11 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav 3</i> .....	61
<i>Tab. 6-12 Proudové a výkonové poměry v síti- náhradní provozní stav 3</i> .....	61

---

<i>Tab. 6-13 Napěťové poměry v síti- náhradní provozní stav 3</i> .....	<i>62</i>
<i>Tab. 6-14 Útlum signálu HDO</i> .....	<i>63</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

CENTREL	Regionální organizace, sdružující partnery z České republiky, Maďarska, Polska a Slovenska.	
ČSN	Česká státní norma	
DS	Distribuční soustava	
ENTSO-E	Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny	
ES	Elektrizační soustava	
FVE	Fotovoltaická elektrárna	
HA	Harmonická analýza	
HDO	Hromadné dálkové ovládání	
nn	Nízké napětí (napět'ová hladina)	
PDS	Provozovatel distribuční soustavy	
PN	Podniková norma	
PNE	Podniková norma energetiky	
R	Rozvodna	
SP	Studie připojitelnosti	
UCPTE	Sdružení pro koordinaci výroby a přenosu elektrické energie	
UCTE	Sdružení pro koordinaci přenosu elektrické energie	
UCH	Ustálený chod sítě	
vn	Vysoké napětí (napět'ová hladina)	
VTE	Větrná elektrárna	
vvn	Velmi vysoké napětí (napět'ová hladina)	
ZP	Zkratový proud	
ZS	Zemní spojení	
zvn	Zvláště vysoké napětí (napět'ová hladina)	
$c_0$	Specifické teplo	[J/°C cm <sup>3</sup> ]
$c$	Ekvivalentní max. činitel flikru	[-]
$I_{ke}$	Ekvivalentní oteplovací proud	[A]
$I_k''$	Rázový zkratový proud	[A]
$I_h$	Harmonický proud	[A, %]

$I_{hc}$	Celkový harmonický proud	[%]
$k_{i\max}$	Činitel největšího spínacího rázu	[A/A]
$P$	Činný výkon	[W]
$P_{lt}$	Dlouhodobá míra flikru	[-]
$P_{lres}$	Celková dlouhodobá míra flikru	[-]
$Q$	Jalový výkon	[VAr]
$S_0$	Sjednaný výkon odběratele	[VA]
$S_k$	Zkratový výkon v daném uzlu	[VA]
$S_{kv}$	Zkratový výkon v místě připojení	[VA]
$S_n$	Jmen. výkon generátoru	[VA]
$S_{nE}$	Jmen. výkon výrobního bloku	[VA]
$s_{\min}$	Minimální průřez	[mm <sup>2</sup> ]
$THDi$	Celkové harm. zkreslení proudu	[%]
$THDu$	Celkové harm. zkreslení napětí	[%]
$U_h$	Harmonické napětí	[%]
$U_{hc}$	Celkové harmonické napětí	[V, %]
$\vartheta_f$	Fiktivní teplota	[°C]
$\vartheta_k$	Nejvyšší dovol. teplota při zkratu	[°C]
$\vartheta$	Nejvyšší dovolená provozní teplota	[°C]
$\rho_{20}$	Měrný odpor jádra při 20°C	[Ω mm <sup>2</sup> /m]
$\cos\varphi$	Účinník	[-]
$\mu$	Řád harmonické	[-]
$\varphi$	Fázový úhel	[°, rad]

# 1 ÚVOD

Připojením 18. 10. 1995 české ES (sít' čtyř členů CENTREL) do společné evropské soustavy UCPTÉ, od roku 2001 do UCTÉ a od 9. července 2010 do soustavy ENTSO-E se ČR zavázala plnit podmínky a pravidla pro paralelní chod s Evropskou ES. To klade vysoké nároky na kvalitu elektrické energie, zejména dodržením limitů odchylek síťové frekvence, a stabilitu celé ES. Při připojování nových výroben, konvenčních i nově z obnovitelných zdrojů, do ES je třeba vypracovat studii připojitelnosti výroby, která zhodnocuje zpětné vlivy nově připojených výroben na ES. Při zřizování vlastní výroby je nutné na to, aby byla schopná paralelního provozu se sítí, aby bylo vyloučeno zpětné rušivé působení na síť a aby síť zůstala po připojení výroby stabilní. Ve studiích jsou analyzovány uzly sítě, počítány proudy ve větvích, výkony, zkratové poměry, řešeny kompenzace, apod.

Při zřizování a provozu elektrických zařízení je zapotřebí dodržovat:

- současné platné zákonné a úřední předpisy
- platné normy ČSN, PNE, případně PN provozovatele distribuční soustavy (PDS)
- předpisy pro ochranu pracovníků a bezpečnost práce
- nařízení a směrnice PDS.

Práce je rozdělena do několika částí. První část pojednává o výpočetním software, ve které je možné provádět simulace různých provozních stavů ES. Další kapitola pojednává o legislativních a normativních ustanovení, jakým způsobem a s jakými náležitostmi je třeba SP vypracovat. Poslední částí je samotná SP, kdy byly vypočteny a zhodnoceny vlivy připojených výroben FVE a VTE na chod dané části sítě vn. *Příloha - A* této práce obsahuje tabulky vypočtených hodnot z programu E-vlivy [5] a *Příloha - B* obsahuje jednopólová schémata vyvedení výkonu FVE i VTE, dále technické informace o střídači SC 1000 MV od firmy SMA [20] a o generátoru V90 od firmy Vestas [15].

## 2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je pojednat o současných možnostech řešení studií připojitelnosti za pomoci moderních výpočetních programů. Vypracovat SP výrobní 2 MW FVE a 2x2 MW VTE do předávacího místa *Uklou* (Krnov - Krásné Loučky), do vn linky 262, napojené na rozvodny 22 kV Krnov a Třemešná, spadající do uzlové oblasti 110 kV Horní Životice. Na základě výsledků navrhnout vyvedení výkonu z výrobní do sítě vn a analyzovat jakým způsobem připojení výrobní ovlivní danou síť. Při nesplnění požadavků na připojení navrhnout patřičná opatření.

### 3 METODY A POSTUPY ŘEŠENÍ

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

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě při jejím maximálním a minimálním zatížení
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- dodržení parametrů zpětných vlivů na distribuční soustavu (DS), tj. zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobní, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických a dalších kritérií.

#### 3.1 Předpisy a normy

Studie se zpracovává dle platných technických předpisů, norem, katalogů výrobců a návodů pro montáž jednotlivých zařízení, platných v době zpracování projektové dokumentace. Dále studie respektuje všechny náležitosti dle oborových zvyklostí, zásady směrnic a požadavky zákazníka dle [2].

Montáž a provoz zařízení, jednotlivé detailní části musí splňovat požadavky norem a předpisů, které se na ně vztahují (Tab. 3-1). Všechny předpisy a normy jsou uvažovány v posledním platném znění v době vzniku této práce.

Tab. 3-1 Základní normy a předpisy

ČSN 33 0050 – 604	Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie – Provoz.
ČSN 33 0120	Normalizovaná napětí IEC
ČSN 61000 – 2 – 2	Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
ČSN 61000 – 2 – 4	Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech.
ČSN EN 50160 ed.2	Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.
ČSN EN 60909 – 0	Zkratové poměry v trojfázových soustavách – část 0: výpočet
PNE 33 3430 – 0	Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav. 4. vydání
PNE 33 3430 – 1	Parametry kvality elektrické energie – část 1: Harmonické a meziharmonické, druhé vydání
PNE 33 3430 – 2 ed. 3	Parametry kvality elektrické energie – část 2: Kolísání napětí, druhé vydání
PNE 33 3430 – 6	Parametry kvality elektrické energie – část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání
PNE 33 3430 – 7 ed.3	Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti

## 3.2 Software pro řešení studií připojitelnosti

Výpočty potřebné pro zpracování studie připojitelnosti zejména výpočty zkratů, úbytků napětí, harmonických analýz jsou početně značně náročné, a proto je možné použít výpočetní software. Lze volit z následujících programů:

- E-Vlivy – verze 2.4.3 [5]  
Software pro řešení SP dokáže počítat ustálený chod sítě, zkratů, flickr. Výhoda programu je, že se jednotlivé prvky sítě zadávají do projektu graficky. Nevýhoda je nekompatibilita s operačním systémem Microsoft Windows 7 64 bit. Program E-Vlivy bude použit v této diplomové práci pro vypracování SP.
- Program Zkratů – verze 2.0 [6]  
Program je zaměřen pouze na výpočty zkratů ve všech napěťových hladinách.
- Pavouk-Schrack – verze 2.7 [7]  
Program pro výpočet všech druhů zkratových poruch s omezením jen pro nn sítě.
- Modes – verze 2.2/12 [8]  
Program určený pro výpočet přechodných dějů (dynamickou simulaci) v ES.
- Power Calc Lite - verze 2.01 [9]  
Omezený program pouze pro výpočet chodu sítí nn a výpočet tří pólového zkratu.
- PAS DAISY Off-Line [10]
- Bizon Projektant [11]
- NetCalc - verze 7.0 [12]  
Moderní program, který v sobě zahrnuje všechny potřebné funkce pro zpracování SP. Program počítá šíření signálu HDO, harmonickou analýzu, chod sítě i s nesouměrnou zátěží, zkratové poměry a ZS.
- GLF - verze 23/2/2008 [13]  
Program psaný pro systém DOS nabízí výpočty chodu sítě, zkratů a stability sítě pro kritéria n-1 a n-2. Kvalitní výpočetní software, který díky zastaralé grafické koncepci trpí značnou uživatelskou nepřívětivostí. Na operačních systémech Microsoft Windows XP, Vista, 7 se software stává nestabilním a kolabuje (za použití emulátoru Dosbox).

Tab. 3-2 Výpočetní software

	Ustálený chod sítě <sup>1</sup>	HA	Šíření signálu HDO	Flikr	Zkratky a ZS
E-vlivy	ANO	ANO	ANO	ANO	(jen 3p ZP)
Zkratky					ANO
Pavouk-Schrack	(jen nn sítě)				ANO
Modes	ANO				
Power Calc Lite	(jen nn sítě)				(jen 3p ZP)
PAS DAISY Off-Line	ANO				ANO
Bizon Projektant	ANO				ANO
NetCalc	ANO	ANO	ANO		ANO
GLF	ANO				ANO

Metody využitě pro výpočty sítí ve výše uvedených programech mohou být zapsány a řešeny v následujících programech:

- Matlab&Simulink (MathWorks, 3 Apple Hill Drive, Natick, Massachusetts 01760 USA). Je výhodné využít nástroje SimPowerSystems™, který je součástí programu Simulink.
- Mathematica (Wolfram Research, Inc., 100 Trade Center Drive, Champaign, IL 61820-7237, USA)
- Maple (Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc.)
- Microsoft ® Office Excel

### 3.2.1 Program E-Vlivy – verze 2.4.3

Program E-Vlivy [5] je komplexním prostředkem pro modelování vlivu připojovaných zařízení na úroveň a změnu sledovaných parametrů kvality v sítích nn a vn. Program je schopen analýzou sítě vypočítat hodnoty potřebné pro vytvoření studie připojitelnosti. Výpočetní metody aplikované v programu E-Vlivy vycházejí z norem ČSN IEC 1000-2-2, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 50160 a souboru norem PNE 33 3430.

Výpočet chodu sítě je založen na metodě uzlových napětí a principu superpozice. Ze vstupních dat parametrů prvků sítě, pro základní harmonickou, program nejprve sestavuje jednopólový matematický model sítě. Síť je podle metody uzlových napětí popsána soustavou

<sup>1</sup> Ustáleným chodem sítě se rozumí výpočet napětí uzlů, úbytků napětí na jednotlivých prvcích sítě, proudů větví, toku výkonů a výkonových ztrát v ustáleném stavu sítě.

lineárních rovnic s komplexními koeficienty. K jejímu řešení je v programu použita Gaussova eliminační metoda [22].

Při výpočtu flikru je využíváno metodiky stanovené v [3]. K výpočtu příspěvku od VTE je využíváno metodiky uváděné v zahraničních materiálech, jež jsou postupně přebírány do doporučovaných postupů v ČR.

Při výpočtu zkratů je v programu aplikovaný přístup definovaný normou ČSN 33 30 20, jež stanovuje poměry v místě poruchy. Vzhledem k nutné znalosti poměrů v celé síti při těchto poruchových stavech je v programu zároveň aplikována metoda zkratové impedanční matice, která je vhodnou metodou pro zpětné rozpočítávání poměrů v síti. Program tedy nejprve vytvoří admitanční matici, která je poté invertována do podoby impedanční matice, jež je ve výpočtu využívána.

#### **Základní vlastnosti programu:**

- 1) Pro posouzení připojitelnosti z hlediska povoleného úbytku napětí způsobeného připojením dané zátěže jsou k dispozici dva druhy výpočtu: chod sítě a chod sítě s konstantním výkonem. Pokud rozdíl úbytků přesáhne mez stanovenou normou[3], zobrazí se v tabulce s výslednými hodnotami červeně.

V režimu Chod sítě program provede výpočet napěťových a proudových poměrů sítě v ustáleném stavu.

Při chodu s konstantním výkonem je opakovaně měněna zadaná impedance vybrané zátěže tak, aby vypočtený činný výkon byl shodný se zadaným činným výkonem. Vlivem úbytku napětí v uzlech, zátěže zpravidla nedosahují zadaného provozního činného výkonu. Program umožňuje počítat chod sítě s konstantním výkonem pro čtyři stroje.

Pokud je na panelu zadávání parametrů zátěže stisknuto tlačítko „Nesymetrie“, je při posuzování připojitelnosti zátěže postupováno ve dvou krocích:

- připojitelnost mezifázové zátěže
- připojitelnost vícefázové zátěže.

Připojitelnost nesymetrické zátěže je definována posouzením velikosti zkratového výkonu uzlu, do kterého je zátěž připojována, s násobkem jmenovitého výkonu připojované zátěže. Při výpočtu chodu sítě při nesymetrii je uvažována pouze jedna zátěž. Jsou uvažovány napájecí uzly, vedení a transformátory umístěné mezi zvolenou zátěží a napájecím uzlem. V síti může být obsaženo více nesymetrických zátěží, ale pro výpočet bude uvažována pouze jediná (vybraná) zátěž. Je-li míra nesymetrie daná [3] překročena zobrazí se ve výsledné tabulce červeně.

Program počítá ztráty ve větvích, ztráty v jednotlivých prvcích modelované sítě a celkové hodnoty ztrát v modelované síti.

- 2) Pro posouzení sítě z hlediska vlivu vyšších harmonických je třeba nadefinování alespoň jednoho zdroje proudu s alespoň jedním proudem n-té harmonické, program zobrazí vypočtené hodnoty napěťových a proudových změn pro zvolený řád harmonické.

Výsledkem  $HA$  napětí ( $n$ -té harmonické) je amplituda a úhel napětí v jednotlivých uzlech, poměrné napětí vzhledem k jmen. napětí uzlu – zobrazí se červeně, pokud je překročena hodnota daná normou [23], amplituda a úhel součtu proudů jednotlivých zátěží v uzlu – zobrazí se červeně, pokud je překročena hodnota daná normou [23], procentní poměr součtu proudů jednotlivých zátěží v uzlu dané a základní harmonické. Výsledkem  $HA$  proudu ( $n$ -té harmonické) je amplituda a úhel proudu větví, amplituda a úhel impedance, činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon. Program dokáže graficky zobrazit frekvenční charakteristiku daného uzlu v rozmezí od 1. do 60. harmonické.

- 3) Útlum signálu HDO, pro předem definovanou frekvenci signálu, se určuje jako poměr napětí signálu HDO s připojenou vybranou zátěží a bez této zátěže, vyjádřený v procentech.

Posouzení připojitelnosti zátěže ovlivňující signál HDO vychází ze zjednodušeného přístupu, který definuje [4], tedy posouzení s ohledem na velikost činitele alfa. Pro posouzení připojení je nutné definovat sjednaný výkon odběratele. Vlastní zátěž je rozdělena ve smyslu normy, tedy na část statickou, motorickou a kompenzační. Posouzení na základě velikosti činitele alfa je definováno pro napěťovou hladinu  $v_n$  a  $v_{vn}$ . V případě, že je zátěž připojena k transformátoru je k výsledné impedanci připočtena i impedance transformátoru. Pokud je zátěž připojena na nízké napětí, není do výpočtu připojitelnosti zahrnuta.

- 4) Po nadefinování alespoň jedné zátěže, která generuje flickr, nebo větrné elektrárny a provedení výpočtu program zobrazí ke zvolenému uzlu vypočtená celková hodnota flickru, tj. pravděpodobnost s příspěvkem všech prvků generujících flickr. Tato hodnota se porovnává s hodnotami uvedené v normě, [3]. Jsou-li v síti obsaženy zátěže generující flickr pouze v jediném uzlu, je tento případ interpretován jako flickr od jediného odběratele. V opačném případě, jako flickr s příspěvkem celé sítě. Pokud  $P_{st}$  překročí hodnotu danou normou, zobrazí se červeně.
- 5) Program počítá jednofázové, dvoufázové, dvoufázové zemní a třífázové zkraty a zemní spojení. Při výpočtu zemního spojení lze uvažovat i odpor oblouku. Výpočet zkratů je rozšířen o časový průběh zkratu, který je v programu E-Vlivy počítán pro místo poruchy a pro třífázový zkrat. Výsledkem výpočtu jsou napěťové a proudové poměry ve všech fázích ve složkách a časový rozvoj zkratu včetně stejnosměrné složky.

### 3.2.2 Program Zkraty – verze 2.0

Program Zkraty [6] řeší výpočet zkratových proudů podle normy [29]: „Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů“, vydané v květnu 2002.

Program počítá zkratové proudy (ZP) v sítích s frekvencí 50 Hz a s napěťovými hladinami nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Výsledkem výpočtu jsou hodnoty počátečního souměrného ZP, nárazového ZP, ekvivalentního oteplovacího ZP, minimální a maximální hodnoty ZP. Program počítá napětí v uzlech a proudy ve větvích při zkratu. Metoda použitá pro výpočet je založena na zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Všechny zdroje zkratového proudu - síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazovány svou vnitřní impedancí, u transformátorů s přepínači odboček se uvažují impedance pro přepínače odboček v základní poloze a zavádí se korekční součinitel. Kapacity vedení a příčné admittance jsou zanedbány. Nárazový zkratový proud se počítá dvěma způsoby [29]:

- a) Metodou ekvivalentního kmitočtu 20 Hz
- b) Podle poměru  $R/X$  v místě zkratu

Doporučuje se používat nárazový ZP, vypočtený podle metody a), metoda b) dává většinou vyšší hodnoty nárazového zkratového proudu (s rezervou). Ekvivalentní oteplovací ZP se počítá pro zvolenou dobu trvání ZP, pomocí koeficientů  $m$  (součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky) a  $n$  (součinitel pro tepelné účinky střídavé složky), podle odstavce 4.8 normy [29] a vztahů, uvedených v normě ČSN EN 60909-1: Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách. Část 1 – Součinitele pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách podle IEC 909 (5/1997).

### 3.2.3 Program Pavouk-Schrack – verze 2.7

Programový systém Pavouk-Schrack [7] je návrhový systém pro dimenzování nn TN/TT/IT, paprskových i zauzlených sítí. Program provádí výpočet úbytků napětí, rozložení zátěže a zkratové proudy:

- Třífázový symetrický zkrat, výpočet dle ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022 - výpočet zkratového proudu ve vybraném bodě sítě, rozložení toku zkratových proudů v síti (kontrola správného dimenzování jisticích přístrojů a vodičů). Uvažován příspěvek od motorů.
- Dvoufázový nesymetrický zkrat, výpočet dle ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022 - výpočet zkratového proudu mezi fázemi a proudu do země v místě zkratu a toku zkratových proudů v síti.
- Jednofázový nesymetrický zkrat proti zemi, výpočet dle ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022 - výpočet zkratového proudu ve vybraném bodě sítě a toku zkratových proudů v síti, výpočet impedance v místě zkratu a dotykového napětí na neživých částech. Výpočet času odpojení místa zkratu a kontrola splnění požadavků normy ČSN 33 2000-4-41 edice 2.

Výpočet sousledné a netočité složky impedance v uzlu sítě (využitelné např. pro následné řešení připojené IT sítě). Obsažen též výpočet impedance poruchové smyčky dle ČSN 33 2000-4-41 edice 2.

### 3.2.4 Program Modes – verze 2.2/12

MODES [8] je program určený pro výpočet přechodných dějů (dynamickou simulaci) v *ES* a umožňuje modelovat:

- krátkodobou dynamiku generátorů při poruchách typu zkratů (hrozba ztráty synchronismu)
- střednědobou dynamiku související s činností primární regulace a regulace otáček po vzniku deficitu činného výkonu výpadky bloků, nebo přechodem části *ES* do ostrovního režimu (hrozba frekvenčního kolapsu)
- dlouhodobou dynamiku související jednak s činností sekundární regulace výkonu a frekvence po vzniku deficitu činného výkonu a jednak s činností automatické změny odboček transformátorů a omezovačů proudů regulátorů buzení generátorů po vzniku

deficitu jalového výkonu změnami zatížení, výpadky bloků nebo vedení (hrozba napěťového kolapsu)

- dynamiku asynchronních motorů při spouštění a samonajíždění (skupinový doběh a opětný rozběh po beznapěťové pauze)
- statickou stabilitu - jako odezvu soustavy na malé změny stavových veličin.

Při výpočtech chodu sítě je použita Newton-Raphsonova iterační metoda [17].

### 3.2.5 Programy Power Calc Lite - verze 2.01, PAS DAISY Off-Line a Bizon Projektant

Produkt DAISY Power Calc Lite [9] je program pro výpočet zauzlených nn sítí. Je určen především pro plánování rozvoje, projektování a přípravu provozu rozvodných sítí nn. Obsahuje podporu pro výpočty nastavení ochran a jištění pojistkami a jističi. Obsahuje systém kontrol na hrubé chyby v datech, automatické kontroly dodržení mezi počítaných veličin (přetížení/nevyužití transformátorů a vedení, nedodržení předepsaného pásma napětí, nedodržení dotykových napětí v sítích nn, ap.)

Dalšími dvěma programy od firmy DAISY s.r.o. využitelnými při zpracování SP jsou PAS DAISY Off-Line [10] a Bizon Projektant. Tyto programové systémy jsou propracovanějšími verzemi programu Power Calc Lite a jsou určeny pro výpočty režimů elektro-energetických sítí v napěťových hladinách nn, vn, vvn. Programy počítají proudy, napětí v uzlech, úbytky napětí, ztráty, zkraty, obsahují podporu pro výpočty nastavení ochran v sítích vvn a vn a pro návrh jištění v sítích vn a nn.

### 3.2.6 Program NetCalc - verze 7.0

Program NetCalc [12] je určen k výpočtům rozsáhlých a topologicky složitých 3 fázových sítí elektrizační soustavy průmyslového kmitočtu v ustáleném stavu případně v kvaziustáleném<sup>2</sup> stavu při přechodném ději. Program dokáže vypočítat rozložení harmonických složek napětí uzlů a proudů větví, frekvenční charakteristika uzlové impedance, šíření signálu vysílačů HDO, chod sítě při základní harmonické jako lineární úloha, chod sítě při základní harmonické jako nelineární úloha (přenosové poměry v síti), chod sítě s nesymetrickou zátěží, souměrné a nesouměrné zkraty, zemní spojení.

### 3.2.7 Program GLF - verze 23/2/2008

Program je určen k řešení elektrických sítí vn, vvn a zvn. Program slouží pro:

- Výpočet ustáleného chodu střídavé elektrické sítě
- Výpočet chodu elektrické sítě stejnosměrným modelem
- Analýzu napěťových poměrů v síti
- Analýzu zkratových poměrů v síti
- Kontrolu spolehlivosti provozu sítě podle kritéria ( $n-1$ )
- Prověření síťových závislostí vzájemného chování prvku a veličin
- Výpočet náhrad elektrických sítí (impedanční náhrady, náhrady pro chody sítí, pro zkraty)

---

<sup>2</sup> připomínající ustálený stav

- Grafické zobrazení počítané sítě nebo její části s vyhodnocením výsledku podle typu vypočtu a požadavku zadavatele
- Kontrolu dodržování dovolených napětí v síti, kontrolu zatěžování vedení a transformátorů, kontrolu bilance výkonů v síti nebo její části
- Rozbor ztrát činného a jalového výkonu v síti.

### 3.3 Požadavky na studie připojitelnosti

#### 3.3.1 Přihlašovací řízení - legislativa

Při zřizování nové výrobní, popř. při úpravách výrobní stávající je třeba vést konzultace s PDS, která může požadovat změny a doplnění na zřizovaném nebo provozovaném zařízení, pokud je to nutné z důvodů bezpečného a bezporuchového napájení, popř. z hlediska zpětného ovlivnění distribuční soustavy.

PDS si může od žadatele vyžádat zpracování SP:

- je-li s přihlédnutím ke všem okolnostem zřejmé, že zařízení, o jehož připojení žadatel žádá, bude mít vliv na spolehlivost provozu DS.
- žádá-li o připojení zařízení k napěťové hladině vn a vyšších.

Pro přihlášení je dle [2] zapotřebí předat PDS včas podklady (podle části 3.8.3 PPDS) a dále situační plán, přehledové schéma celého elektrického zařízení (jednopolové schéma), údaje o zkratové odolnosti předávací stanice, elektrická data napájecích transformátorů, popis ochrany, příspěvek vlastní výrobní k počátečnímu ZP v místě připojení k síti, popis druhu a způsobu provozu generátoru (popř. střídače), způsob připojení k síti, zkušební protokoly k očekávaným harmonickým a meziharmonickým proudům od střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením napájeným usměrňovači, u VTE osvědčení a zkušební protokol k očekávaným zpětným vlivům na síť, je třeba také přiložit dotazník s technickými údaji o zařízení.

Na základě obecného požadavku poskytne PDS žadateli informace o možnostech a podmínkách připojení výrobní k DS a o podkladech, které musí žádost o připojení výrobní k DS obsahovat. Poskytnuté informace o možnosti připojení výrobní jsou pouze orientační, nejsou závazné a písemné vyjádření není možné použít pro účely územního a stavebního řízení. Vyjádření nemá vymezenou časovou platnost. V případě potřeby poskytne PDS žadateli v rámci technické konzultace závazné podklady pro zpracování studie připojitelnosti výrobní.

Základní náležitosti žádosti výrobce o připojení zařízení k DS jsou uvedeny v Příloze č.1 vyhlášky [2] a v PPDS č. 3.8.3. Součástí podkladů dále jsou:

- souhlas vlastníků nemovitostí dotčených výstavbou výrobní
- souhlas obce a příslušného stavebního úřadu s realizací výrobní (v případě výroben, které nebudou součástí stávajících objektů)
- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu
- stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu
- studie připojitelnosti výrobní k DS - v těch případech, kdy to PDS vyžaduje

PDS může vyžádat zpracování SP nejdéle do 30 dnů od podání žádosti o připojení. Zároveň musí vymezit požadovaný rozsah SP.

Požádá-li žadatel provozovatele DS o podklady pro zpracování SP nejpozději do 30 dnů po obdržení žádosti o její zpracování, PDS poskytne žadateli podklady nezbytné pro zpracování SP do 15 dnů od jejího vyžádání. Nepožádá-li žadatel provozovatele DS o podklady pro zpracování SP do 30 dnů po obdržení žádosti o její zpracování, PDS žádost o připojení neposuzuje.

Nevyžádá-li PDS zpracování SP v uvedené lhůtě 30 dnů od podání žádosti o připojení, nebo neposkytne-li žadatel podklady nezbytné pro zpracování SP, má se za to, že zpracování SP provozovatel DS nevyžaduje.

Žadatel o připojení zařízení k DS předá provozovateli DS studii připojitelnosti do **90 dnů** ode dne, kdy provozovatel DS předal žadateli podklady nezbytné pro zpracování SP. Není-li SP zpracována v rozsahu vymezeném PDS, může si PDS vyžádat její doplnění, nebo rozšíření. Provozovatel DS si může vyžádat doplnění, nebo rozšíření SP nejpozději do 30 dnů od předání SP.

Vyžádá-li si PDS doplnění, nebo rozšíření SP žadatel předá doplněnou, nebo rozšířenou SP do 30 dnů ode dne, kdy obdržel vyžádání PDS.

V případě, že není předložena studie připojitelnosti výrobní nutná nebo již byla žadatelem studie se souhlasnými výsledky předložena a ze strany PDS odsouhlasena, je žadateli do 30 dnů od doručení žádosti vystaveno závazné stanovisko, které obsahuje všechny náležitosti. Součástí stanoviska jsou požadavky na předložení platného územního rozhodnutí a prováděcí projektové dokumentace výrobní včetně jejího připojení k DS. Platnost tohoto vyjádření je omezena na 180 dnů. Lze ji prodloužit pouze na základě splnění některé z podmínek, nebo v případě doložení průběhu řízení pro posouzení vlivu stavby na životní prostředí (EIA<sup>3</sup>).

### 3.3.2 Rozsah studie

Podklady pro tvorbu studie připojitelnosti 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 v předmětné části DS
- platné požadavky na připojení zdrojů k DS v předmětné části DS
- parametry transformátoru vvn/vn
- stávající a výhledový stav HDO
- parametry vedení k místu připojení – délka, typ, průřez
- možné provozní stavy (základní zapojení + zapojení při náhradních dodávkách), zjednodušený mapový podklad.

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

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě při jejím maximálním a minimálním zatížení
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- dodržení parametrů zpětných vlivů na DS, tj. zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobní, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických

---

<sup>3</sup> EIA - Environmental Impact Assessment

a dalších kritérií daných PPDS (dle charakteru výroby).

Posuzování připojitelnosti ve zpracovávané studii je nutné provádět s ohledem na dosažení co nejnižšího zpětného ovlivnění DS provozem výroby a využívat při tom všech provozních možností připojovaného zařízení (např. určení provozního účinníku s ohledem na co nejnižší změnu napětí vyvolanou provozem výroby). Ve studii je nutné vycházet z podmínky dodržení účinníku v předávacím místě v celém rozsahu výkonu výroby v rozmezí  $\cos\varphi=0,95 \text{ ind.}$  až 1. PDS může v opodstatněných případech a vzhledem k místním podmínkám požadovat kontrolu pro jiné nastavení účinníku. U studií pro zdroje je zapotřebí ověřovat celý využitelný rozsah jalového výkonu podle provozního diagramu PQ.

V případě pochybností o správnosti a úplnosti předložené studie může PDS požadovat její doplnění, rozšíření a případně ji zamítnout jako neodpovídající. V tomto případě je žadateli prodloužena platnost evidence jeho požadavku o maximálně dalších 90 dnů (dle rozsahu studie) a umožněno v tomto termínu provést doplnění nebo přepracování studie.

Provozovatel DS má právo si vyžádat kopie dokladů, z kterých zpracovatel studie čerpal při výpočtu: jedná se především o zkušební protokoly, atesty zkušeben, použité výpočetní metody apod. V případě, že zpracovatel studie není schopen doložit dokumenty, z kterých čerpal technické údaje a postupy při výpočtech, má PDS právo považovat studii za nehodnověrnou a nemusí ji akceptovat.

### 3.3.3 Podmínky pro připojení

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 spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí popř. více paralelních generátorů se zbylým zařízením odběratele.

#### 1) Zvýšené napětí

Zvýšené napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení. Pro výroby s přípojným místem v síti nn nesmí překročit 3 %.

#### 2) Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřípustné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výroby s předávacím místem v síti nn nepřekročí 3 %. Pro výroby s předávacím místem v síti vn nepřekročí 3 %. Pro výroby v síti 110 kV platí pro omezení změny napětí vyvolané spínáním

- a) Normální provoz: Spínání jedné výrobní jednotky (např. jednoho generátoru větrné turbíny) nepřekročí 0,5 %. Spínání celého zařízení (např. větrného parku) nepřekročí 2 %.
- b) Poruchový provoz: Pro změnu napětí při spínání celého zařízení platí, že nepřekročí 5 %.

### 3) Flickr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí [2] se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flickr dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu dlouhodobého flickru  $P_{lt} \leq 0,46$ . Ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu  $P_{lt} \leq 0,37$ .

### 4) Proudové a napěťové harmonické

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce. Limitní hodnoty přípustných vztažných harmonických proudů jsou uvedeny v TAB.4, TAB.5, TAB.6 na straně 23, 24, 25 [2].

Pro harmonická napětí platí [28], že za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v TAB 1 na straně 13 v [28]. Mimoto celkový činitel harmonického zkreslení THDu napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší, nebo roven 8 %.

### 5) Ovlivnění zařízení HDO

Zpětné vlivy na HDO řeší [4]. Výrobní připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ho ovlivňují přidavným zatížením vysílače HDO, které plyne z:

- vlastního zařízení výrobní
- zvýšeného zatížením sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno.

V těchto případech se posuzuje vliv výrobní na zatížení vysílače HDO. Vychází se z informace PDS o jeho zatížení a jmenovitém proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5 % jmenovitého proudu.

Výrobní připojované k síti mimo přípojnic, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená měřením. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí. Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

- nn 150 %  $U_f$ , vn 190 %  $U_f$ , 110 kV 200 %  $U_f$ . Kde  $U_f$  je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9  $U_n$ .

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí. Obecně platí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0,1 %  $U_n$
- napětí produkovaná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0,3 %  $U_n$ .

Výše uvedené hodnoty 0,1 %  $U_n$  resp. 0,3 %  $U_n$  vycházejí z předpokladu, že v síti nn nejsou připojeny více než dvě vlastní výrobní.

### 6) Kompenzace jalové energie

Ve studii je nutné vycházet z podmínky dodržení účinníku v předávacím místě v celém rozsahu výkonu výroby v rozmezí  $\cos \varphi = 0,95 \text{ ind. až } 1$ .

Pro jednoznačné přiřazení pásem účinníku slouží následující tabulka *Tab. 3-3*. Pro předcházení rozporům při hodnocení účinníku se přitom doporučuje používat jednotně spotřebičovou orientaci. Systém spotřebičové orientace se většinou používá při síťových výpočtech. Šipky pro počítání napětí a proudů u téhož prvku sítě ukazují též směr. Z toho plynou tyto vztahy:

- ohmický odpor odebírá kladný činný výkon
- induktivní odpor odebírá induktivní jalový výkon
- kapacitní odpor dodává induktivní jalový výkon (odebírá kapacitní jalový výkon)
- přebuzený synchronní generátor odebírá záporný činný a záporný induktivní jalový výkon.

Program E-vlivy pracuje s účinníkem generátorů ve zdrojové orientaci na rozdíl od účinníků zátěží, které jsou ve spotřebičové.

*Tab. 3-3* Pásma účinníku

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 $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Zdroje připojované do sítě vn musí být při dodávce činného výkonu  $P$  vybaveny pro některý z následujících režimů řízení jalového výkonu v předávacím místě (u výkonu do 400 kW postačí vybavení pro řízení podle bodu a):

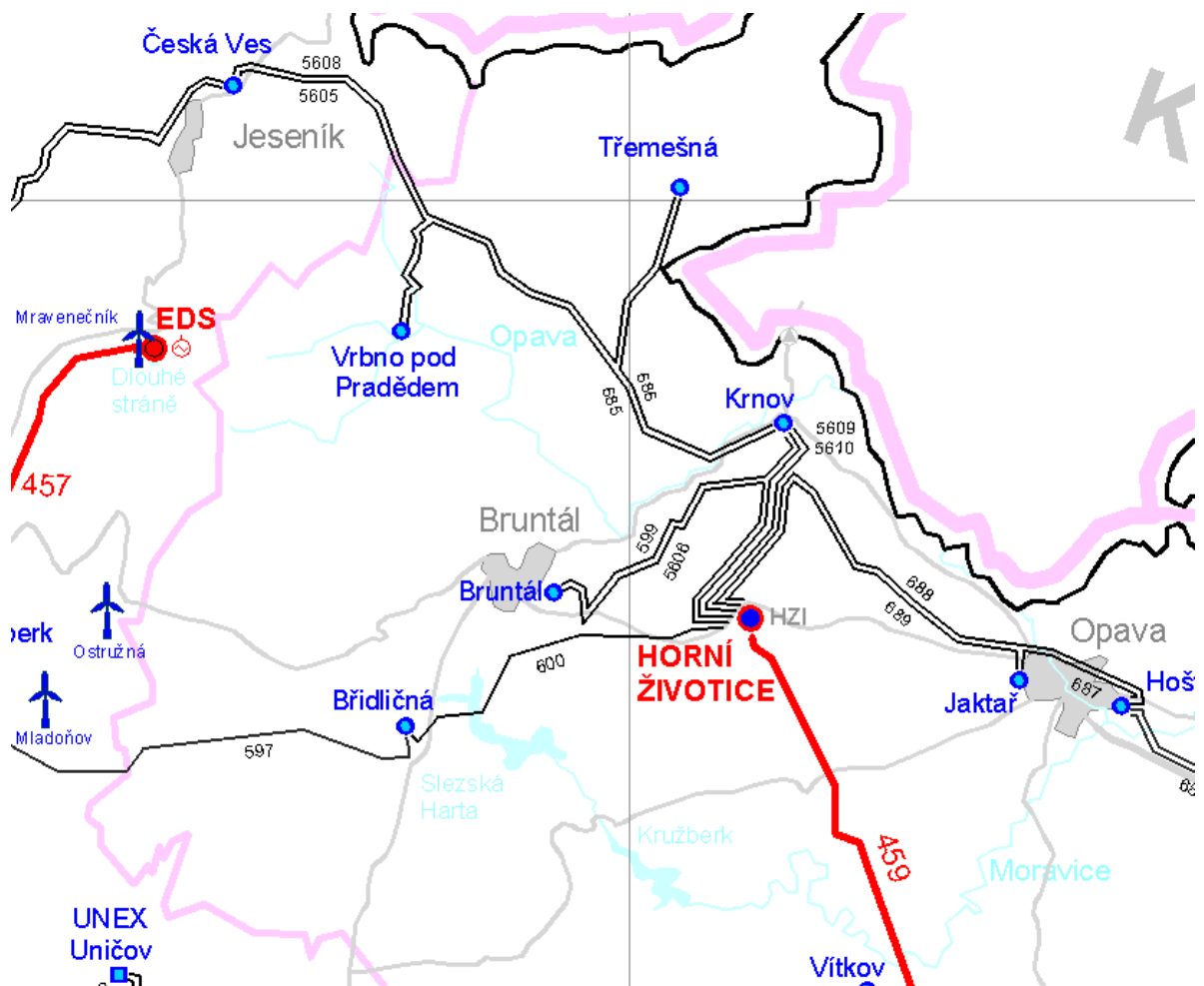
- udržování pevné hodnoty zadaného účinníku  $\cos \varphi$
- udržování hodnoty účinníku  $\cos \varphi = f(P)$
- udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/dodávka) v rámci provozního diagramu stroje (PQ diagramu)
- udržování napětí v předávacím místě (na výstupu generátoru, za blokovým transformátorem nebo v pilotním uzlu DS) v rámci omezení daných P-Q diagramem stroje.

Zdroj musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku  $\cos \varphi = 0,85$  až 1 (dodávka jalového výkonu = induktivní) a účinníku až  $\cos \varphi = 1$  až 0,95 (odběr jalového výkonu = kapacitní) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru  $\pm 5 \% U_n$  a při kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz.

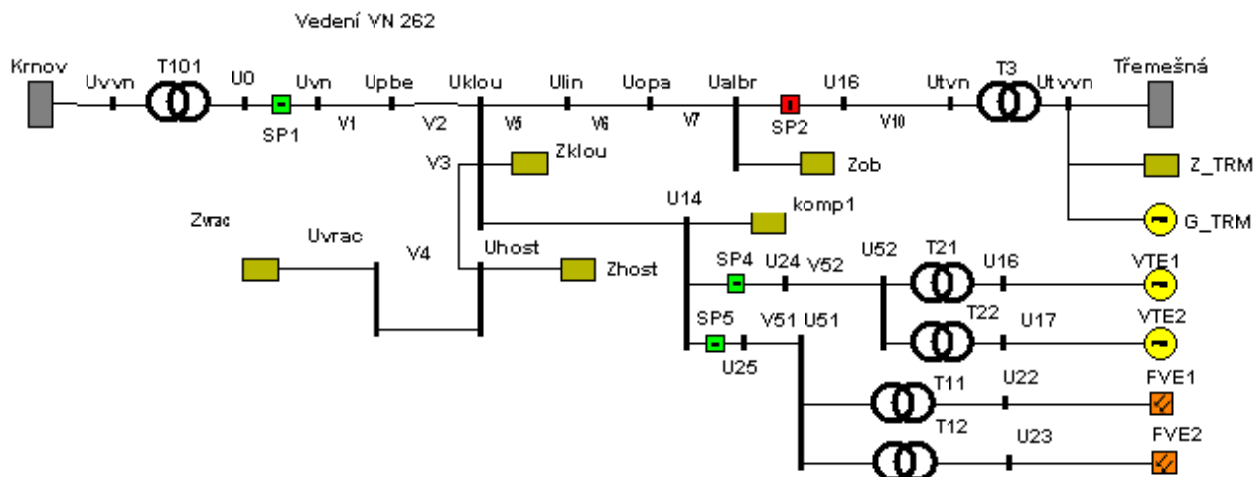
## 4 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI

### 4.1 Schéma a parametry sítě

Cílem připojit 2 MW FVE a 2x2 MW VTE do předávacího místa (přípojný bod) *Uklou* (Krnov - Krásné Loučky), do vn linky 262, napojené na rozvodny 22 kV Krnov a Třemešná, spadající do uzlové oblasti 110 kV Horní Životice. Při základním provozním stavu je linka 262 napájena z R 110/22 kV Krnov. Při náhradním provozním stavu je linka 262 napájena z R 110/22 kV Třemešná. PDS nepožadoval posouzení připojení výroben pro nadřazenou síť 110 kV. Přehledová mapa [32] přenosové a distribuční sítě vvn oblasti Horní Životice je na *Obr. 4-1*.



Obr. 4-1 Přenosová síť a distribuční síť vvn - oblast Horní Životice



Obr. 4-2 Přehledové schéma posuzované sítě 22 kV

Legenda k Obr. 4-2: U.. - uzel; V.. - vedení; T.. - transformátor; G.. - související zdroj; SP.. - spínací prvek<sup>4</sup>; VTE.. - generátor VTE; FVE.. - výroba FVE; Krnov, Třemešná - napájecí síť; komp. – kompenzační jednotka (řešena v části 4.4)

Při sepnutém spínacím prvku  $SP_1$  a vypnutém  $SP_2$  se jedná o referenční stav sítě, při vypnutém  $SP_1$  a zapnutém  $SP_2$  se jedná o náhradní stav. Vyvedení výkonu z FVE bylo rozděleno na dvě části, každá s jedním střídačem SMA. Parametry centrály SMA Sunny Central 1000MV pro FVE jsou uvedeny v Tab. 4-2 a Příloha - B. Transformátory  $T_{21}$  a  $T_{22}$  jsou součástí každé VTE. Parametry VTE jsou uvedeny v Tab. 4-2 a Příloha - B.

Tab. 4-1 Parametry generátoru Vestas V90 2MW

Výrobce	Vestas
Typ	V 90 2MW
Jmenovitý činný výkon ( $P_n$ )	2000 kW
Typ generátoru	Asynchronní, dvojitě napájený
Napětí ( $U_n$ ) / rozsah napětí	690 V / 0,9 – 1,06 $U_n$
Frekvence (f)	50 Hz
Jmenovitý účinek generátoru ( $\cos\phi$ )	1
Zkratový poměr (k)	8,07
Maximální činitel flikru (c)	2,1
Úhel flikru ( $\psi$ )	85°
Rozsah účinníku ( $\cos \quad$ )	0,95 kap ÷ 0,95 ind
Největší spínací ráz ( $k_{imax}$ )	1,1

Tab. 4-2 Parametry střídače Sunny Central 1000MV

Výrobce	SMA
Typ	Sunny Central 1000MV
Jmenovitý činný výkon ( $S_n$ )	1000 kVA
Typ generátoru	střídač
Napětí ( $U_n$ )	22000 V
Frekvence (f)	50 (60) Hz
Jmenovitý účinek generátoru ( $\cos\phi$ )	0,9 kap ÷ 0,9 ind

<sup>4</sup> Spínací prvek není reálnou součástí sítě. Je využit pouze k manipulaci v síti při simulaci UCH v programu E-vlivy.

Napájecí síť odpovídá parametrům rozvodny R 110/22 kV Krnov. PDS poskytl údaje o transformátoru 110/22 kV a vedeních linky VN 262. Parametry napájecí sítě jsou v *Tab. 4-3*, transformátoru v *Tab. 4-4* a vedení v *Tab. 4-5*.

*Tab. 4-3* Parametry napájecí sítě

Název	$U_{vnt}$ [kV]	$U_{prv}$ [kV]	$I_{zkr}$ [kA]	$S_{zkr}$ [MVA]
Krnov	110	110	2,86	544,903

*Tab. 4-4* Parametry transformátoru 110/22 kV

Název	$U_1$ [kV]	$U_2$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$P_k$ [kW]	$U_k$ [%]
T101	110	23	40	110	11

*Tab. 4-5* Parametry vedení

Název	Druh	Typ	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	Délka [km]	$I_{max}$ [A]
V1	venko-22	120AlFe6	0,225	0,363	1,469	2	357
V2	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	4,843	318
V3	venko-22	42/7AlFe6	0,667	0,421	1,837	2,4	163
V4	venko-22	42/7AlFe6	0,667	0,421	1,837	3,104	163
V5	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	1,5	318
V6	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	2	318
V7	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	2	318

PDS nemá měřené odbočky na vedení, poskytl údaj o proudu, který je měřený na lince VN 262 v rozvodně Krnov. Zátěže na vedení byly rozděleny rovnoměrně po celém vedení, jejich velikost odpovídá skutečné měřené hodnotě proudu na vedení. Hodnoty zátěží jsou v *Tab. 4-6*.

*Tab. 4-6* Parametry zátěží

Název	U [kV]	I [A]	$\cos \varphi$	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Zhost	22	8,12	0,97	300	75,19	309,28
Zvrac	22	8,12	0,97	300	75,19	309,28
Zob	22	13,53	0,97	500	125,31	515,46
Zklou	22	13,53	0,97	500	125,31	515,46

## 4.2 Vyvedení výkonu z výroben

Pro další výpočty byl proveden výpočet UCH sítě z *Obr. 4-2*. Hodnoty výpočtu sítě před připojením a po připojení výroben jsou v *Tab. 6-1*, *Tab. 6-2* a *Tab. 6-3*, *Tab. 6-4*. Výpočty byly provedeny pro nekompensovanou síť při maximálním generovaném výkonu a účinníku výroben roven 1.

### 4.2.1 Vyvedení výkonu z FVE

Na pozemku zadavatele budou instalovány fotovoltaické panely o celkovém výkonu 2 MWp, střídače Sunny Central 1000MV. Daný výkon bude vyveden vedením  $V_{51}$  kabelem 3x 22-AXEKVCEY 1x50 do venkovního vedení vn linky 262. Parametry kabelového vedení jsou v *Tab. 4-7* [14]. Kabel byl zvolen z výpočtu pomocí programu E-vlivy, kdy mezi uzly  $U_{51}$  a  $U_{25}$

protéká proud 56,397 A (Tab. 6-3). Použitý kabel bude uložen v trojúhelníkovém uspořádání v zemi. Maximální dovolený provozní proud pro tyto podmínky je 172A.

Střídače pro FVE Sunny Central HE od společnosti SMA jsou součástí stanice vysokého napětí SC 1000 MV *Příloha - B*, která pracuje přímo do společného transformátoru vysokého napětí. Tyto stanice se připojují přímo do sítě vn, bez použití dalších transformátorů.

Tab. 4-7 Vedení  $V_{51}$

Název	Výrobce	Typ	R [ $\Omega$ /km]	$X_L$ [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	$I_{max}$ [A]	délka [km]
$V_{51}$	KABLO	3x 22-AXEKVCEY 1x50	0,641	0,1445	56,548	172	5

Ochrana před úrazem elektrickým proudem bude řešena v závislosti na druhu instalace nebo sítě v souladu s ČSN 33 2000-4-41ed.2 (pro instalace NN), ČSN 33 3201 (pro instalace nad 1kV), a PNE 33 0000-1. Strana vn bude jištěna pojistkami se jmenovitým proudem 63 A.

Obchodní měření bude zajištěno pomocí úředně ověřeného měřicího transformátoru proudu s převodem 75/5A, 0,5S, 10VA. Měření bude vyvedeno přímo z přípojníc ve střídači. Elektroměr, bude dodán provozovatelem distribuční sítě do připraveného rozváděče obchodního měření. Jednopolové schéma vyvedení výkonu je součástí příloh této práce (*Příloha - B*).

Byla provedena kontrola vybraného kabelu na účinky ZP. Funkcí "Zkratové poměry" v programu E-vlivy byly vypočítány ZP v uzlu  $U_{51}$ . Z výsledků byl získán (Tab. 4-8) zkratový proud tekoucí kabelem  $V_{51}$ .

Tab. 4-8 Zkratové proudy na kabelovém vedení  $V_{51}$

Prvek	Uzel	$I_a$ [kA]	Úhel [ $^\circ$ ]	$I_b$ [kA]	Úhel [ $^\circ$ ]	$I_c$ [kA]	Úhel [ $^\circ$ ]
$V_{51}$	$U_{25}$	2,171	-46,651	2,171	-166,65	2,171	73,349
	$U_{51}$	2,169	-46,605	2,169	-166,60	2,169	73,395

Ekvivalentní oteplovací proud tedy bude:

$$I_{ke,FVE} = k_e \cdot I_{k,FVE}'' \quad (4.1)$$

$$I_{ke,FVE} = 1,01 \cdot 2171 = 2388,1 A$$

kde  $k_e$  – byl určen z tab. 5.5 [19] pro síť vn a dobu trvání zkratu  $t_k = 1,2$  s.

Minimální průřez kabelu bude:

$$s_{\min, FVE} = \frac{I_{ke, FVE} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}}} \quad (4.2)$$

z tab. 5.5 [19] byly odečteny následující hodnoty pro zvolený kabel:

měrný odpor Al jádro při 20°C	$\rho_{20} = 0,02941 \Omega \cdot mm^2/m$
fiktivní teplota	$\vartheta_f = 228 \text{ °C}$
specifické teplo	$c_0 = 2,417 J/\text{°C} \cdot cm^3$

a z tab. 0.9 [19] byly získány tyto další hodnoty:

nejvyšší dovolená provozní teplota	$\vartheta_1 = 90 \text{ °C}$
nejvyšší dovolená teplota při zkratu	$\vartheta_k = 250 \text{ °C}$

Dosažením do rovnice 4.2 dostaneme hodnotu minimálního průřezu  $s_{\min, FVE}$

$$s_{\min, FVE} = \frac{2388,1 \cdot \sqrt{1,2}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} = 28,7 mm^2 < 50 mm^2$$

Vypočtená hodnota minimálního průřezu 28,7 mm<sup>2</sup> je menší než zvolený průřez vn kabelu 50 mm<sup>2</sup>. Zvolený průřez tedy vyhoví.

#### 4.2.2 Vyvedení výkonu z VTE

Větrná elektrárna se je složena z 2 generátorů V90 od firmy Vestas [15], každý o výkonu 2 MVA. Generátory budou napojeny na transformátory s převody 22/0,4 kV každý o výkonu 2,5 MVA. Parametry transformátorů jsou Tab. 4-9 [16]. Kabelové vedení  $V_{52}$  mezi uzly  $U_{52}$  a  $U_{24}$  bude provedeno 3x 22-AXEKVCEY 1x50. Parametry kabelového vedení jsou v Tab. 4-10 [14]. Hodnota proudu tekoucího mezi uzly je 112,292 A (Tab. 6-3) a je menší než 172 A, což je dovolený proud při uložení kabelu v zemi a uložení v trojúhelníku dle [14]. Strana vn bude jištěna pojistkami 125 A. Každý z transformátorů bude v přívodovém poli rozváděče jištěn pojistkami 63A. Obchodní měření bude zřízeno ve  $VTE_1$  v poli rozváděčů 22 kV z transformátoru proudu 125/5 A, 0,5S/10 VA. Jednopolové schéma vyvedení výkonu je součástí příloh této práce (Příloha - B).

Tab. 4-9 Transformátory  $T_{21}$  a  $T_{22}$

Název	Výrobce	Typ	$U_1$ [kV]	$U_2$ [kV]	$S_n$ [MVA]	$P_k$ [kW]	$u_k$ [%]	$i_0$ [%]	$P_0$ [kW]
$T_{21-22}$	BEZ	-	22	0,69	2,5	20	6	0,25	5

Tab. 4-10 Vedení  $V_{52}$

Název	Výrobce	Typ	R [ $\Omega$ /km]	$X_L$ [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	$I_{\max}$ [A]	délka [km]
$V_{51}$	KABLO	3x 22-AXEKVCEY 1x50	0,641	0,1445	56,548	172	5

Je nutné provést kontrolu vybraného kabelu na účinky ZP. Funkcí "Zkratové poměry" v programu E-vlivy byly vypočítány ZP v uzlu  $U_{52}$ . Z výsledků odečteme proud tekoucí kabelem  $V_{52}$ .

Tab. 4-11 Zkratové proudy na kabelovém vedení  $V_{52}$

Prvek	Uzel	$I_a$ [kA]	Úhel [°]	$I_b$ [kA]	Úhel [°]	$I_c$ [kA]	Úhel [°]
$V_{52}$	$U_{24}$	2,304	-62,792	2,304	-62,792	2,304	-62,792
	$U_{52}$	2,299	-62,739	2,299	-62,739	2,299	-62,739

Ekvivalentní oteplovací proud tedy bude:

$$I_{ke,VTE} = 1,01 \cdot 2304 = 2534,4 \text{ A}$$

kde  $k_e$  – byl určen z tab. 5.5 [19] pro síť vn a dobu trvání zkratu  $t_k = 1,2 \text{ s}$ .

Minimální průřez kabelu bude dle (4.2) roven:

$$S_{\min,VTE} = \frac{2534,4 \cdot \sqrt{1,2}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} = 30,46 \text{ mm}^2 < 50 \text{ mm}^2$$

Parametry kabelu jsou stejné jako pro vedení  $V_{51}$ . Vypočtená hodnota minimálního průřezu  $30,46 \text{ mm}^2$  je menší než zvolený průřez vn kabelu  $50 \text{ mm}^2$ . Zvolený průřez tedy vyhoví.

## 4.3 Připojení zadaného výkonu a provozní stav

### 4.3.1 Referenční provozní stav

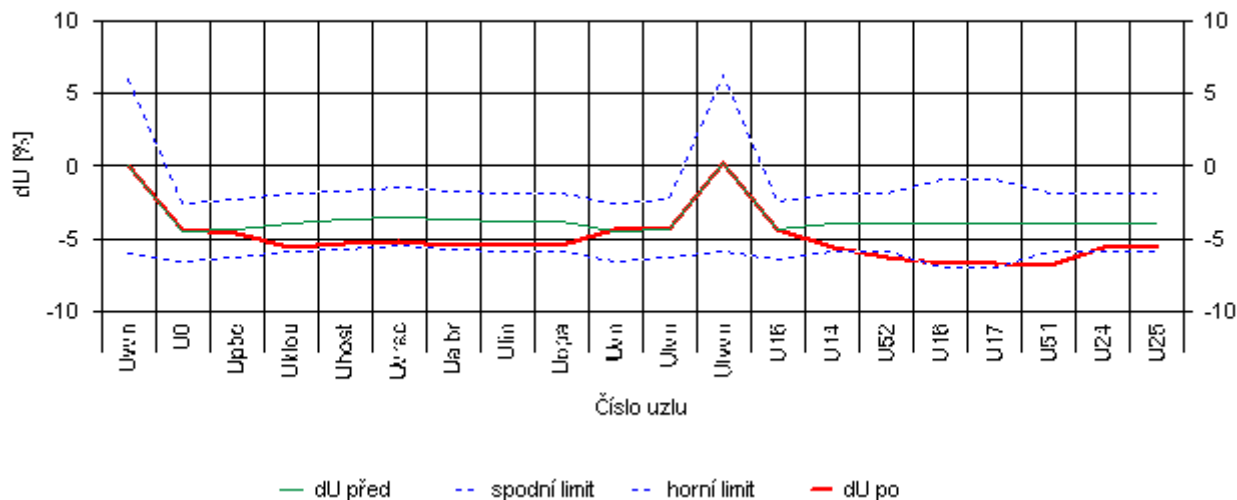
Provozovatel distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s. požaduje v předávacím místě neutrální účinník  $\cos \varphi = 1$ . Byl simulován provoz VTE generátorů pro různé hodnoty účinníku. Tyto provozní stavy umožnily stanovit přesnou hodnotu účinníku generátorů tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinník. Účinník generátoru byl nastaven na hodnotu  $\cos \varphi = -0,99965$  (*ind*). Účinník na FVE byl ponechán na  $\cos \varphi = 1$ .

Byl spočítán UCH síť 22 kV (linka 262) pro referenční stav při nastavené nulové odbočce distribučního transf. na rozvodně Krnov, při zanedbání vlastní spotřeby výroben. Proudové a výkonové poměry v síti jsou v

Tab. 6-5. Pomocí funkce programu E-vlivy "Rozložení napětí" a „Připojitelnost zátěže –  $dU$  – při konst.  $P$ “ byla vyhodnocena absolutní změna napětí před a po připojení výroben, která má být dle [2] maximálně  $U_n \pm 2\%$ . Při nulové odbočce distribučního transf. a s nastaveným účinníkem na generátorech VTE  $\cos \varphi = -0,99965$  (*ind*) je s ohledem na změny napětí možno připojit celkový uvažovaný výkon. Pro další výpočty bude uvažováno s výše uvedeným výkonem výroben a nastaveným účinníkem VTE. Z grafu Obr. 4-3 a z

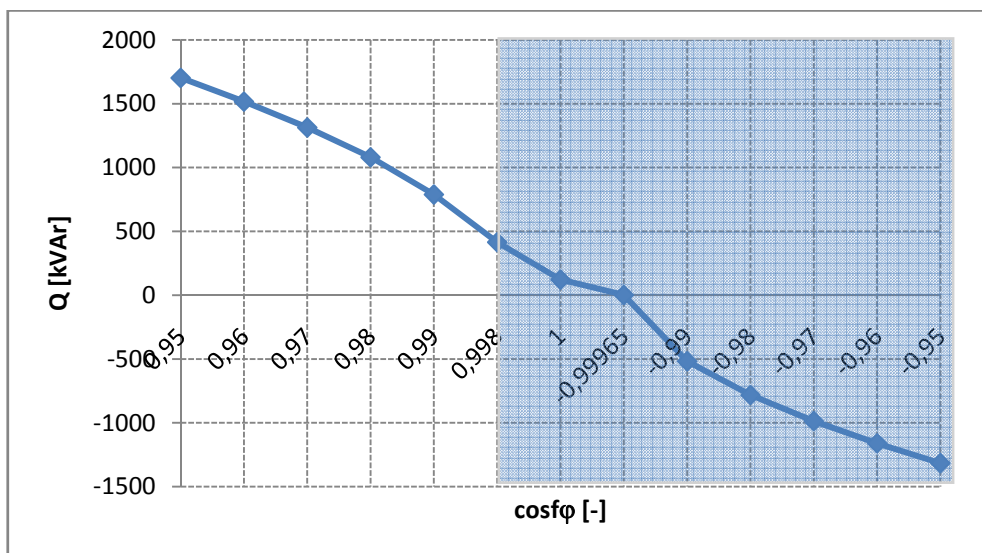
Tab. 6-6 vyplývá, že změny napětí ve všech uzlech sítě jsou v požadovaných mezích, vyjma uzlu  $U_{16}$ ,  $U_{17}$ ,  $U_{51}$ ,  $U_{52}$ , ležícího mimo posuzovanou síť (jež je součástí samotných výroben – studie neposuzuje).

Rozložení napěťových úbytků před a po připojení VTE1 VTE2 FVE1 FVE2

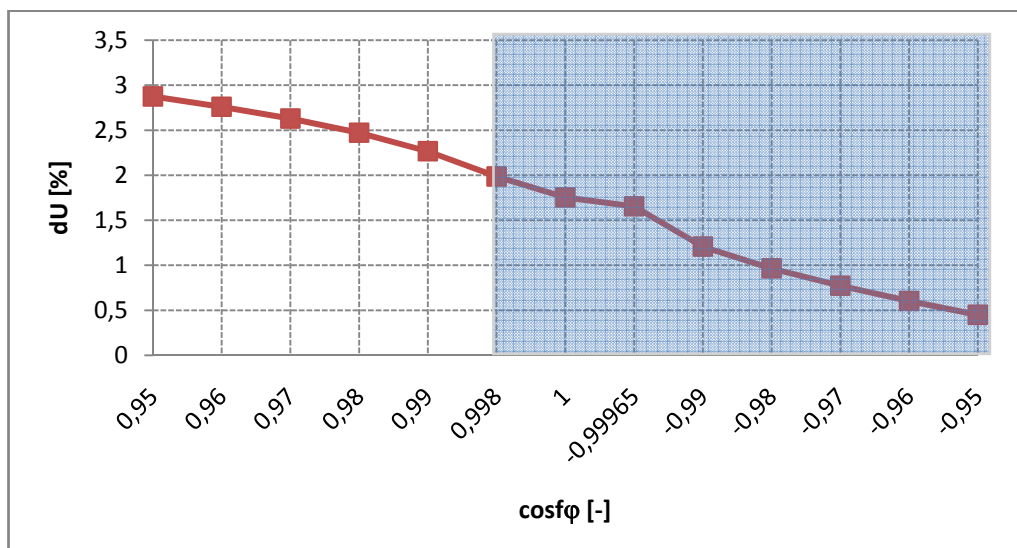


Obr. 4-3 Rozložení napětí po a před připojení výroben – referenční stav

Při zapnutých posuzovaných výrobnách byly sledovány dovolené úbytky napětí. Celá síť je v UCH v limitních mezích [27] napětí  $U_n \pm 10\%$  a vyhoví ve všech uzlech sítě. Generátory VTE lze provozovat v rozsahu účinníku  $\cos \varphi = 0,998$  (kap) až  $\cos \varphi = -0,95$  (ind). Hodnoty jalového výkonu a změny napětí před a po připojení v závislosti na změnách účinníku vyjadřují grafy Obr. 4-4 a Obr. 4-5. Oblast účinníku, ve které lze VTE provozovat je vyznačena modrým polem.



Obr. 4-4 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinníku VTE v místě připojení



Obr. 4-5 Závislost změny napětí na účinnu VTE v místě připojení

Pomocí vztahu (4.3) byla provedena kontrola na změny napětí při spínání.

$$\Delta u_{\max} = k_{i_{\max}} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Zkratový výkon v místě připojení  $S_{kV} = 99,779$  (Tab. 6-4), jmenovitý zdánlivý výkon výrobního bloku  $S_{nE} = 4MVA$  (Tab. 4-1), činitel označovaný jako “největší spínací ráz“  $k_{i_{\max}} = 1,1$  (Tab. 4-1). Hodnoty největšího spínacího rázu pro FVE nejsou známy, proto uvažujeme hodnotu rovnu 1. VTE nebude spínána zároveň s FVE, proto posouzení bude provedeno zvlášť.

$$\Delta u_{\max, VTE} = 1,1 \cdot \frac{4}{99,779} \cdot 100 = 4,4$$

Hodnota změny napětí při spínání VTE nevyhoví podmínce  $\Delta u_{\max} \leq 2\%$  dle [2]. Doporučuje se VTE připojovat sepnutím do sítě za podmínky, že celkový výkon VTE nepřesáhne v době připojení výkon  $S = 1,98MVA$ . Druhou možností je připojovat generátory do sítě zvlášť, pak výkon jednoho generátoru by neměl přesáhnout výkon  $S = 1,98MVA$ .

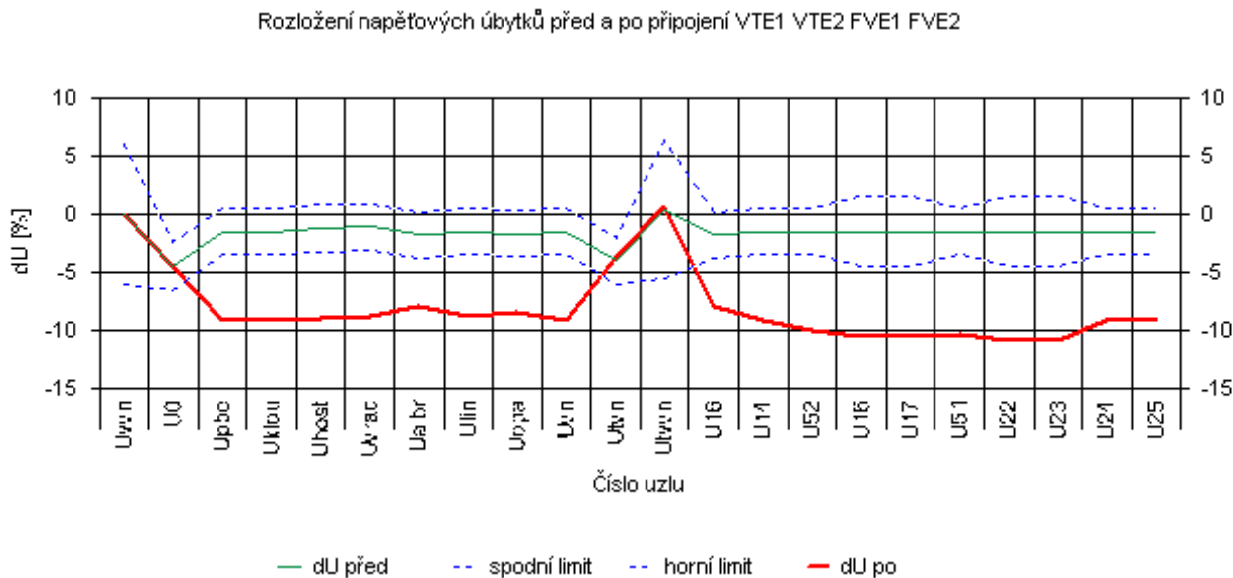
$$\Delta u_{\max, FVE} = 1 \cdot \frac{2}{99,779} \cdot 100 = 2,0$$

Hodnota změny napětí při spínání FVE leží přesně na hranici podmínky  $\Delta u_{\max} \leq 2\%$  dle [2].

### 4.3.2 Náhradní provozní stav č. 1

Náhradní provozní stav č. 1 vzniknul zapnutím spínače  $SP_1$  a vypnutím spínače  $SP_2$  Obr. 4-2, výrobní FVE i VTE pracují do sítě s maximálním výkonem.

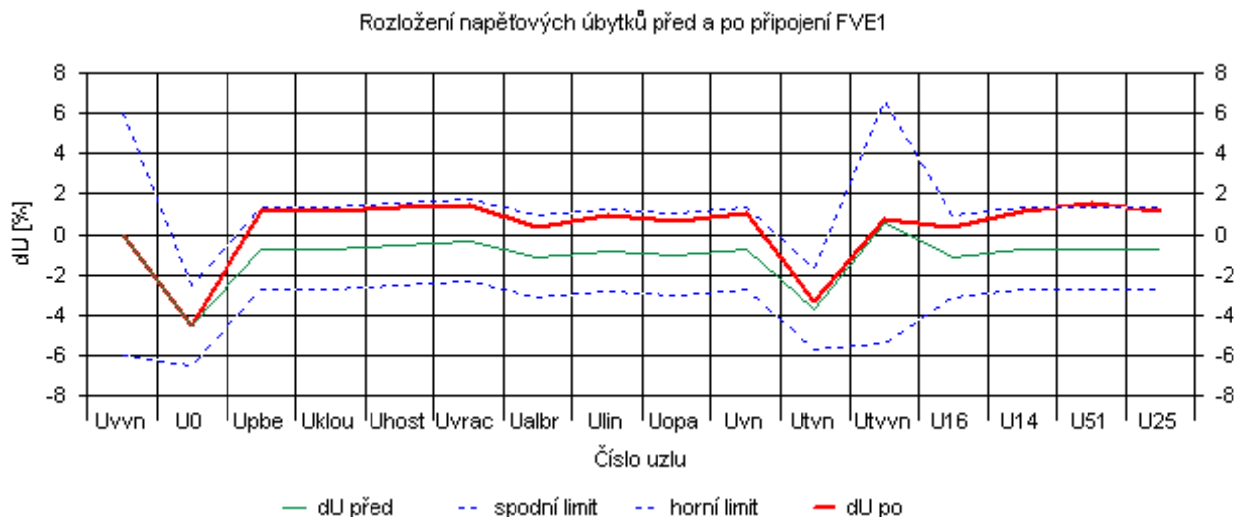
Z Obr. 4-6 a z Tab. 6-7 je patrné, že všechny uzly, vyjma uzlů  $U_{tn}$  a  $U_{tvn}$ , nevyhoví podmínce maximální změny napětí  $U_n \pm 2\%$  před a po připojení výroben. Náhradní provozní stav č. 1 je z tohoto hlediska nevhodný k provozování.



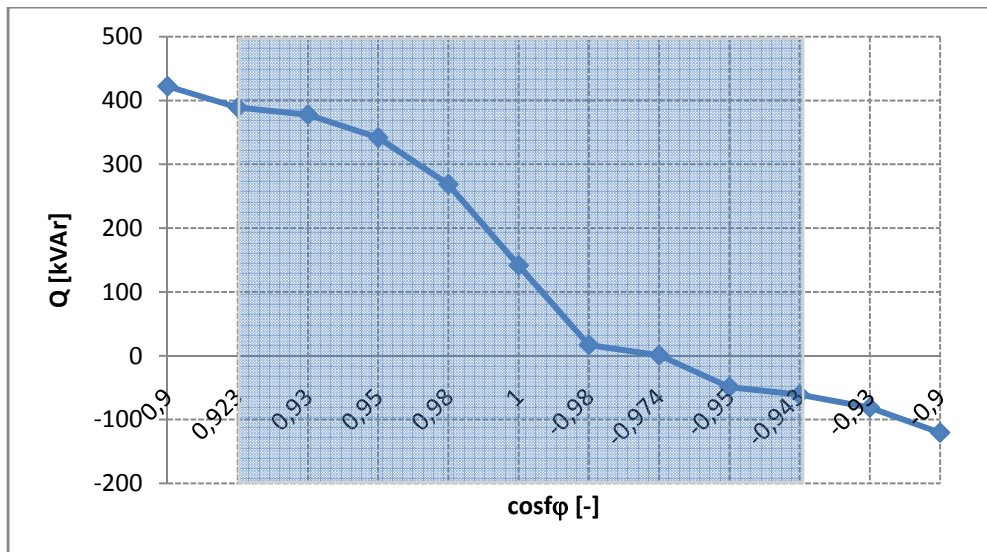
Obr. 4-6 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní provozní stav č. 1

### 4.3.3 Náhradní provozní stav č. 2

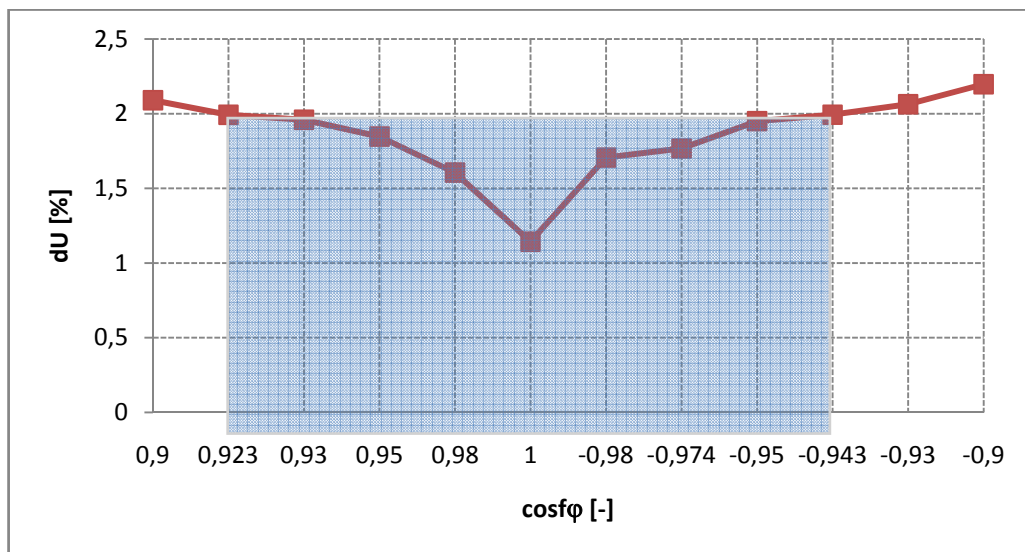
Střídače pro FVE Sunny Central 1000MV *Příloha - B* mají možnost, za použití systému Power reducer boxu, omezování činného výkonu v krocích 100, 60, 30, 0 % jmenovitého výkonu. Při náhradním provozním stavu č. 2, vycházejícího z náhradního stavu č. 1, lze provozovat síť s  $FVE_1$  na 60 % jmenovitého výkonu a s odpojenými  $FVE_2$ ,  $VTE_1$ ,  $VTE_2$ . Byl měněn účinek na střídači FVE tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinek. Účinek byl nastaven na hodnotu  $\cos\varphi = -0,974(ind)$ . Rozložení napětí charakterizuje následující Obr. 4-7 a Tab. 6-8. Z hodnot vyplývá, že změny napětí před a po připojení vyhoví ve všech uzlech sítě, vyjma uzlu  $U_{51}$  ležícího mimo posuzovanou síť (jež je součástí samotných výroben – studie neposuzuje). Výpočet UCH sítě je v Tab. 6-9 a Tab. 6-10. Náhradní provozní stav č. 2 vyhoví ve všech uzlech sítě na limitní hodnoty napětí hladiny 22kV [27] v daném rozsahu  $U_n \pm 10\%$ . Hodnoty jalového výkonu a změny napětí před a po připojení v závislosti na změnách účinníku vyjadřují grafy Obr. 4-8 a Obr. 4-9. Oblast účinníku, ve které lze FVE provozovat je vyznačena modrým polem.



Obr. 4-7 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní provozní stav č. 2



Obr. 4-8 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinniku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 2



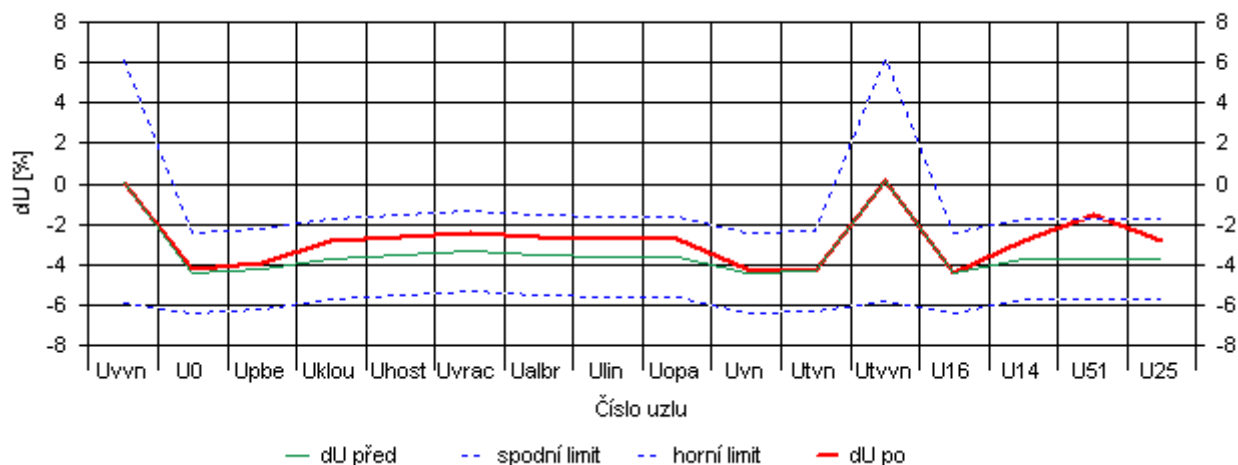
Obr. 4-9 Závislost změny napětí na účinniku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 2

#### 4.3.4 Náhradní provozní stav č. 3

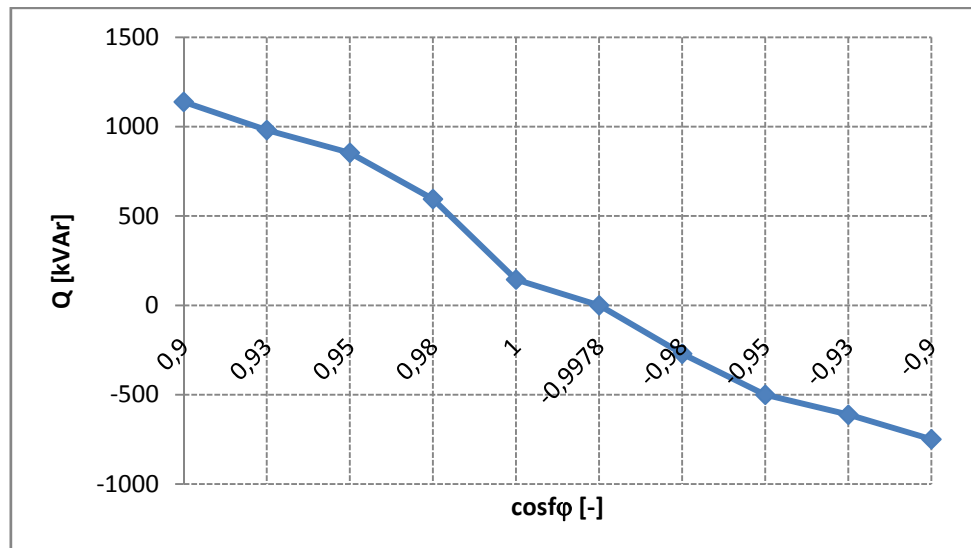
Náhradní provozní stav č. 3 nastane při sepnutém vypínači  $SP_1$  a vypnutém  $SP_2$ , při odpojených generátorech VTE. Byl měněn účinník na střídačích FVE tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinník. Účinník byl nastaven na hodnotu  $\cos \varphi = -0,9978$  (ind). Rozložení napětí charakterizuje následující Obr. 4-10 a

Tab. 6-11. Z hodnot vyplývá, že změny napětí před a po připojení vyhoví ve všech uzlech sítě, vyjma uzlů  $U_{51}$  ležícího mimo posuzovanou síť (jež je součástí samotné výroby – studie neposuzuje). Výpočet UCH sítě je v Tab. 6-12 a Tab. 6-13. Náhradní provozní stav č. 3 vyhoví ve všech uzlech sítě na limitní hodnoty napětí [27] v daném rozsahu  $U_n \pm 10\%$ . FVE lze provozovat v celém rozsahu účinníku  $\cos \varphi = 0,9_{kap} \div 0,9_{ind}$ . Hodnoty jalového výkonu a změny napětí před a po připojení v závislosti na změnách účinníku vyjadřují grafy Obr. 4-11 a Obr. 4-12.

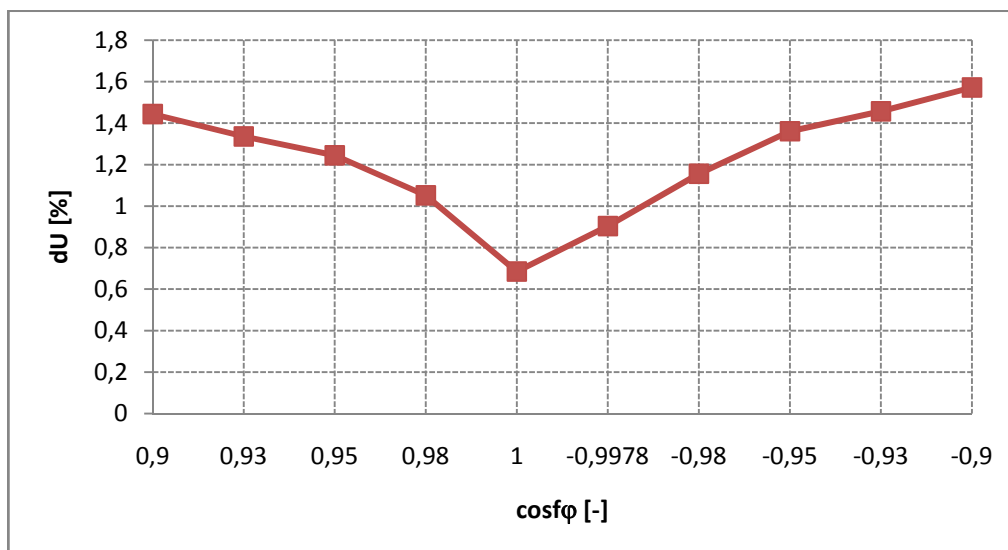
Rozložení napěťových úbytků před a po připojení FVE1 FVE2



Obr. 4-10 Rozložení napětí po a před připojení výroben – náhradní stav č. 3



Obr. 4-11 Změna jalového výkonu v závislosti na změně účinníku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 3



Obr. 4-12 Závislost změny napětí na účinniku FVE v místě připojení – náhradní stav č. 3

#### 4.4 Kompenzace jalové energie

Po odpojení generátorů VTE a střídačů FVE dodává kabelové vedení do předávacího místa jalový výkon **352,497 kVAr**. Transformátory  $T_{11}$  a  $T_{22}$  pomáhají částečně kompenzovat kapacitní výkon produkovaný kabely. Je zapotřebí s provozovatelem DS projednat možnou dodávku jalové energie, popř. zřízení kompenzační jednotky. Laditelnou kompenzační jednotku p výše uvedeném výkonu (induktivního charakteru) pracující v napěťové hladině 22 kV je výhodné zřídit v předávacím místě.

#### 4.5 Příspěvek ke zkratovému proudu

V uvažovaném předávacím místě byl simulován zkrat. Při výpočtu zkratů lze příspěvek od FVE zanedbat. Příspěvek ke zkratovému proudu byl **0,632 kA**, což je **nárůst o 23,0 %** oproti původní hodnotě.

Tab. 4-12 Příspěvek ke zkratovému proudu

Provozní stav	$I_k$ [kA] bez VTE	$I_k$ [kA] s VTE	$\Delta I_k$ [kA]	Nárůst [%]
Základní	2,741	3,373	0,632	23,0

#### 4.6 Útlum signálu HDO

V související oblasti je signál HDO provozován na frekvenci 216,6 Hz. Za použití funkce v programu E-vlivy "Útlum HDO" byly spočteny hodnoty poměrného útlumu signálu HDO. Výsledné hodnoty jsou v Tab. 6-14. Z výpočtu je zřejmé, že úbytek signálu HDO vyhoví ve všech uzlech sítě na limitní hodnoty útlumu signálu 5 % dané [4].

Před uvedením do provozu bude nutné provést kontrolní měření signálu HDO, které ověří skutečné úbytky signálu HDO a dodatečné zvýšení zatížení vysílače HDO.

## 4.7 Výpočet flikru

Výpočet dlouhodobé míry flikru je proveden podle [3]. U fotovoltaického zařízení připojeného přes střídače se nepředpokládá výraznější příspěvek k úrovni flikru, proto bude výrobní FVE při posuzování flikru zanedbána.

Vstupní hodnoty pro výpočet flikru jsou uvedeny v *Tab. 4-13*. Typové výkony strojů byly sečteny. Zkratový výkon 99,779 MVA v přípojném bodě je odečten z *Tab. 6-4*.

Název	Veličina		Hodnota
Počet strojů	$n$	[-]	2
Ekvivalentní maximální činitel flikru:	$c$	[-]	2,1
Výkon generátoru	$S_n$	[MW]	2
Zkrat. výkon v místě připojení	$S_{kE}$	[MVA]	99,779

*Tab. 4-13 Příspěvek ke zkratovému proudu*

Výsledný dlouhodobý flikr za předpokladu, že všechny zdroje flikru jsou stejné, se vypočítá dle (4.4):

$$P_{lt} = \sqrt{n} \cdot c \cdot S_n / S_{kE} \quad (4.4)$$

$$P_{lt} = \sqrt{2} \cdot 2,1 \cdot 2 / 99,779 = 0,0595$$

V uzlové oblasti byla naměřena hodnota pozadí dlouhodobého flikru  $P_{lt} = 0,0253$ . Obě hodnoty sečteme pomocí superpozice kolísání napětí (4.5):

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (4.5)$$

$$P_{ltres} = \sqrt{0,0595^2 + 0,0221^2} = 0,0646$$

Dlouhodobá míra vjemu flikru je tedy rovna  $P_{lt} = 0,0646$ , což vyhovuje celkové přípustné úrovni  $P_{lt} = 0,47$  v síti vn podle [2].

## 4.8 Harmonická analýza

K posouzení harmonického rušení se vycházelo ze zkušebních protokolů VTE Vestas V90 a FVE střídače SC 1000MV, které udávají hodnoty emisí proudů vyšších harmonických použitých měničů. Střídač SC 1000MV je ve skutečnosti složen ze dvou střídačů 500HE-11. Emitované hodnoty harmonických tohoto zařízení jsou v *Příloha - B*.

Při výpočtech jsou pracovní proudy výroby přepočítány na síť 22 kV. V tabulkách a výpočtech jsou emisní hodnoty porovnány s úrovněmi přípustných proudů vyšších harmonických. Přípustné proudy vyšších harmonických jsou odvozeny od přípustných vztazných hodnot proudů vyšších harmonických [2], které jsou vztaženy na zkratový výkon v předávacím místě výroby - viz (4.6). Zkratový výkon v přípojném je 99,779 MVA (Tab. 6-4).

$$I_{\mu zul} = i_{\mu zul} \cdot S_{kv} \quad (4.6)$$

Celkové emisní proudy v uvažovaném místě připojení pro daný řád  $\mu$  harmonické, byly získány součtem. Harmonické typické pro usměrňovače (řádu 5., 7., 11., 13., atd.) i pro netypické nízkých řádů ( $\mu < 7$ ) se sečetly aritmeticky viz (4.7):

$$I_{hc} = \sum_{i=1}^n I_{\mu,i} \quad (4.7)$$

Pro netypické harmonické vyšších řádů ( $\mu > 7$ ) je celkový harmonický proud určitého řádu roven odmocnině součtu kvadrátů proudů vyšších harmonických (4.8) tohoto řádu:

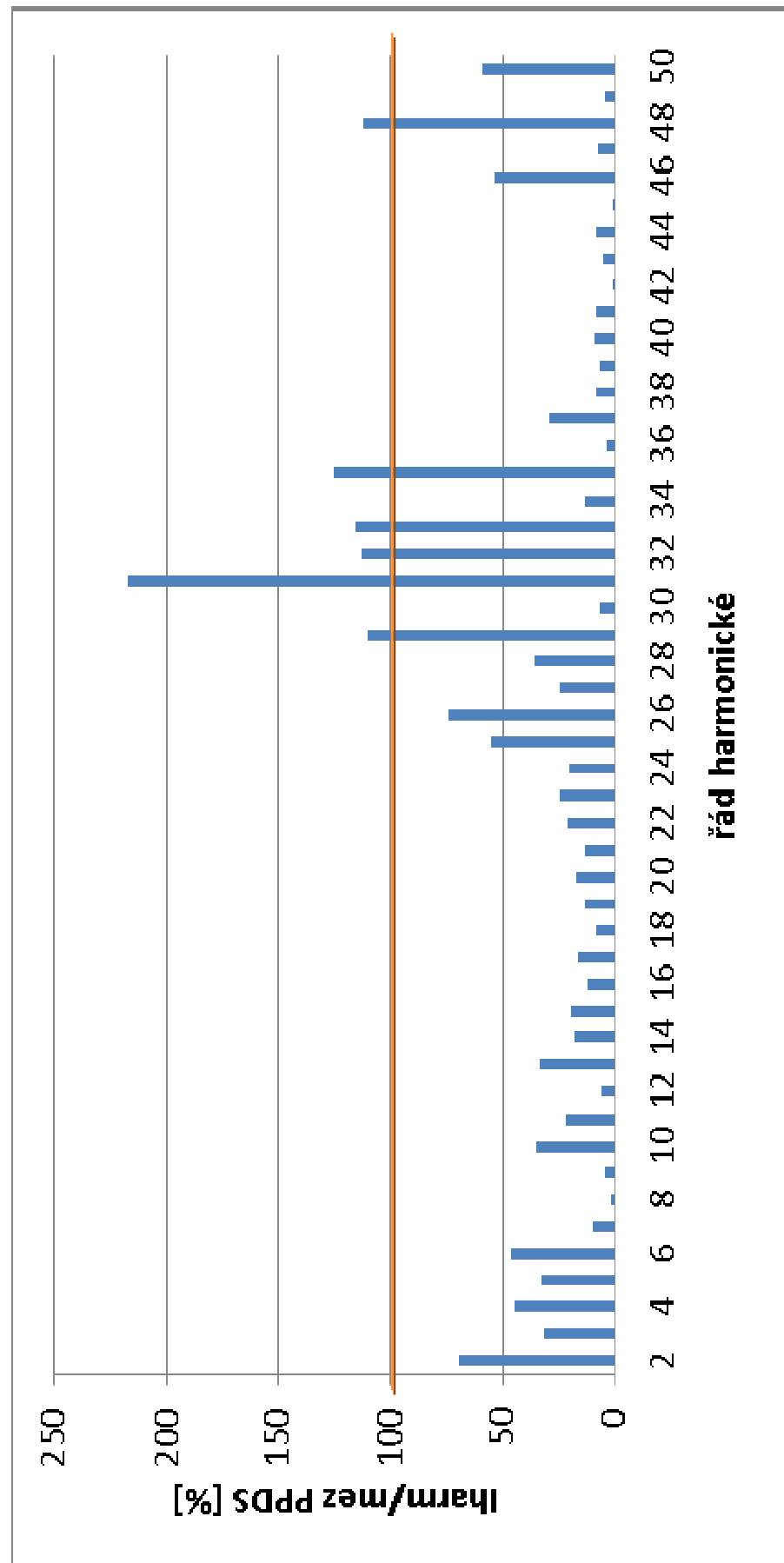
$$I_{hc} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu,i}^2} \quad (4.8)$$

V Tab. 4-14 a Obr. 4-13 jsou shrnuty výsledky analýzy proudů vyšších harmonických. V Obr. 4-13 je hodnota 100 % znázorněním mezní limitní hodnoty.

Tab. 4-14 Analýza proudů vyšších harmonických

ŘÁD	Emisní proud V90	Emisní proud SMA 1000MV	Emisní proud celkem na 22kV	Přípustný vztazný proud (22kV)	Přípustný proud	Přípustná úroveň
$\mu$	$I_{h V90}$	$I_{h SMA 1000MV}$	$I_{hc}$	$i_{\mu zul}$	$I_{\mu zul}$	
	[%I <sub>n</sub> ]	[%I <sub>n</sub> ]	[A]	[A/MVA]	[A]	
1						
2	0,2000	1,5942	1,0467	0,0150	1,4967	VYHOVUJE
3	0,1000	0,4052	0,3176	0,0100	0,9978	VYHOVUJE
4	0,2000	0,2428	0,3374	0,0075	0,7483	VYHOVUJE
5	0,8000	2,0424	1,9118	0,0580	5,7872	VYHOVUJE
6	0,2000	0,0442	0,2331	0,0050	0,4989	VYHOVUJE
7	0,2000	0,3916	0,4155	0,0410	4,0909	VYHOVUJE
8		0,1650	0,0866	0,0410	4,0909	VYHOVUJE
9		0,0288	0,0151	0,0033	0,3326	VYHOVUJE
10	0,1000	0,0308	0,1062	0,0030	0,2993	VYHOVUJE
11	0,5000	0,1130	0,5842	0,0260	2,5943	VYHOVUJE
12		0,0296	0,0155	0,0025	0,2494	VYHOVUJE

13	0,2000	0,8072	0,6336	0,0190	1,8958	VYHOVUJE
14		0,0750	0,0394	0,0021	0,2138	VYHOVUJE
15		0,0762	0,0400	0,0020	0,1996	VYHOVUJE
16		0,0456	0,0239	0,0019	0,1871	VYHOVUJE
17		0,3498	0,1836	0,0110	1,0976	VYHOVUJE
18		0,0274	0,0144	0,0017	0,1663	VYHOVUJE
19		0,2312	0,1213	0,0090	0,8980	VYHOVUJE
20		0,0486	0,0255	0,0015	0,1497	VYHOVUJE
21		0,0356	0,0187	0,0014	0,1425	VYHOVUJE
22		0,0548	0,0288	0,0014	0,1361	VYHOVUJE
23		0,2770	0,1454	0,0060	0,5987	VYHOVUJE
24		0,0486	0,0255	0,0013	0,1247	VYHOVUJE
25		0,5286	0,2774	0,0050	0,4989	VYHOVUJE
26		0,1636	0,0859	0,0012	0,1151	VYHOVUJE
27		0,0526	0,0276	0,0011	0,1109	VYHOVUJE
28		0,0726	0,0381	0,0011	0,1069	VYHOVUJE
29	0,1000	0,0806	0,1132	0,0010	0,1032	NEVYHOVUJE
30		0,0128	0,0067	0,0010	0,0998	VYHOVUJE
31	0,2000	0,0234	0,2103	0,0010	0,0966	NEVYHOVUJE
32	0,1000	0,0248	0,1058	0,0009	0,0935	NEVYHOVUJE
33	0,1000	0,0072	0,1050	0,0009	0,0907	NEVYHOVUJE
34		0,0226	0,0119	0,0009	0,0880	VYHOVUJE
35	0,1000	0,0414	0,1072	0,0009	0,0855	NEVYHOVUJE
36		0,0058	0,0030	0,0008	0,0831	VYHOVUJE
37		0,0460	0,0241	0,0008	0,0809	VYHOVUJE
38		0,0122	0,0064	0,0008	0,0788	VYHOVUJE
39		0,0102	0,0054	0,0008	0,0768	VYHOVUJE
40		0,0136	0,0071	0,0008	0,0748	VYHOVUJE
41		0,0346	0,0182	0,0022	0,2190	VYHOVUJE
42		0,0034	0,0018	0,0021	0,2138	VYHOVUJE
43		0,0204	0,0107	0,0021	0,2088	VYHOVUJE
44		0,0314	0,0165	0,0020	0,2041	VYHOVUJE
45		0,0030	0,0016	0,0020	0,1996	VYHOVUJE
46	0,1000	0,0066	0,1050	0,0020	0,1952	VYHOVUJE
47		0,0268	0,0141	0,0019	0,1911	VYHOVUJE
48	0,2000	0,0024	0,2099	0,0019	0,1871	NEVYHOVUJE
49		0,0146	0,0077	0,0018	0,1833	VYHOVUJE
50	0,1000	0,0364	0,1067	0,0018	0,1796	VYHOVUJE



Obr. 4-13 Poměrné emise harmonických proudů

Dále bylo provedeno vyhodnocení celkové úrovně harmonického rušení v síti vn. Byl namodelován namísto zdrojů VTE a FVE zdroj proudu vyšších harmonických. V programu E-mlivy byla pro výpočet napětí vyšších harmonických využita funkce „Harmonická analýza“. Vypočtené hodnoty byly připočteny k hodnotám stávající úrovně za pomoci následujícího vztahu:

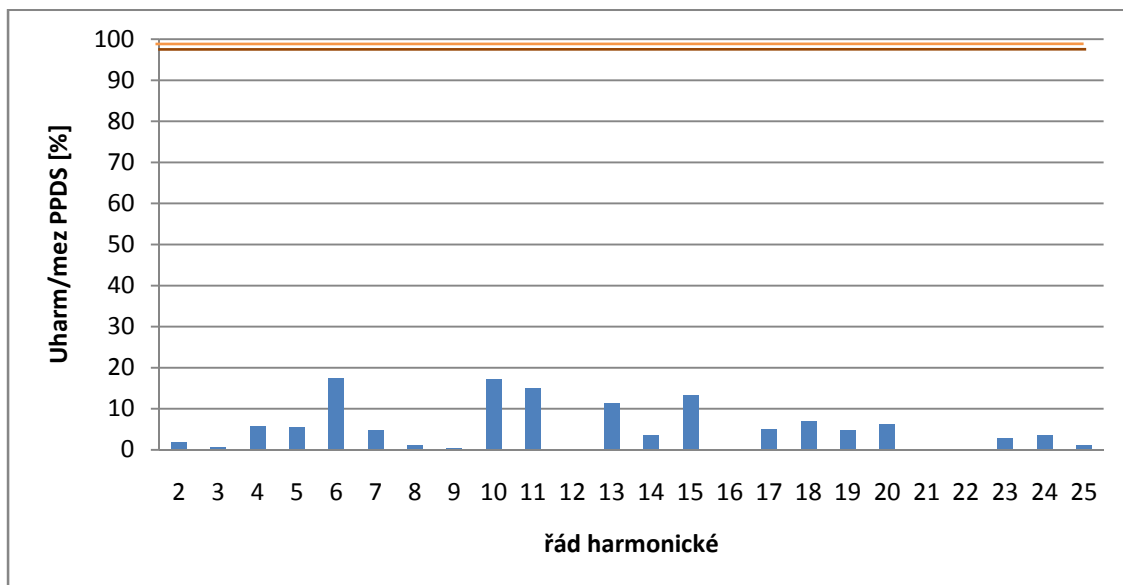
$$U_{hc} = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_{\mu i}^\alpha} \quad (4.9)$$

Pro řád harmonické  $\mu$  do 5. je  $\alpha = 1$ , pro  $\mu = 6$  až 10 je  $\alpha = 1,4$ , pro  $\mu > 10$  je  $\alpha = 2$ .

Vypočtené hodnoty s následným vyhodnocením dle limitů z [28] jsou v Tab. 4-15 a graficky zobrazeny v Obr. 4-14, kdy hranice 100 % vyjadřuje mezní limitní hodnoty.

Tab. 4-15 Analýza harmonických napětí

ŘÁD	Napětí vyšších harmonických				Mez napětí	Přípustná úroveň
	od výroben		stávající úroveň	celkem		
$\mu$	$U_h$	$U_h$	$U_{st}$	$U_{hc}$	$U_m$	
	[V]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	22000,00					
2	7,80	0,04	0,01	0,05	2,00	VYHOVUJE
3	6,73	0,03	0,01	0,04	5,00	VYHOVUJE
4	12,56	0,06	0,02	0,08	1,00	VYHOVUJE
5	72,50	0,33	0,11	0,44	6,00	VYHOVUJE
6	19,08	0,09	0,03	0,10	0,50	VYHOVUJE
7	51,90	0,24	0,08	0,27	5,00	VYHOVUJE
8	1,33	0,01	0,00	0,01	0,50	VYHOVUJE
9	1,58	0,01	0,00	0,01	1,50	VYHOVUJE
10	18,83	0,09	0,03	0,10	0,50	VYHOVUJE
11	114,51	0,52	0,17	0,55	3,50	VYHOVUJE
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-
13	74,74	0,34	0,11	0,36	3,00	VYHOVUJE
14	3,96	0,02	0,01	0,02	0,50	VYHOVUJE
15	14,60	0,07	0,02	0,07	0,50	VYHOVUJE
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-
17	21,30	0,10	0,03	0,10	2,00	VYHOVUJE
18	7,81	0,04	0,01	0,04	0,50	VYHOVUJE
19	15,35	0,07	0,02	0,07	1,50	VYHOVUJE
20	6,91	0,03	0,01	0,03	0,50	VYHOVUJE
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-
23	9,07	0,04	0,01	0,04	1,50	VYHOVUJE
24	4,01	0,02	0,01	0,02	0,50	VYHOVUJE
25	3,60	0,02	0,01	0,02	1,50	VYHOVUJE



Obr. 4-14 Poměrné emise harmonických napětí

Z hodnot harmonických proudů a napětí vypočteme celkové činitele harmonického zkreslení THD.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_A} \cdot 100 \quad (4.10)$$

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_n} \cdot 100 \quad (4.11)$$

Tab. 4-16 Celkové činitele harmonického zkreslení THD

Zkratový výkon v místě připojení	Výkon vyroben	Napětí vyroben	Proud vyroben	Výpočet celkového zkreslení	
				THDi	THDu
$S_k$	$S_A$	$U_n$	$I_A$	THDi	THDu
[MVA]	[MVA]	[kV]	[A]	[%]	[%]
99,78	6,00	22,00	157,46	2,66	0,0186

Emise proudů vyšších harmonických 29., 31., 32., 33., 35, 48. řádu **překračují** limity dané přílohou 4 PPDS, proto bude třeba instalovat filtry pro tyto řády. Velikosti napětí vyšších harmonických i celkové zkreslení THD vyhoví přípustným mezím dle [28]. Proudů vyšších harmonických, jejichž řád je lichým násobkem tří, lze eliminovat zapojením transformátoru do trojúhelníku. Instalované filtry nesmí ovlivnit úroveň signálu HDO. Před uvedením do provozu

bude nutné provést kontrolní měření kvality elektřiny, které ověří skutečné harmonické zkreslení v předávacím místě.

## 4.9 Výkonová bilance

Celkové jmenovité zatížení linky vn 262 sítě 22 kV dosahuje 1,74 MW. Započtením celkového instalovaného výkonu v lince, rezervovaného výkonu v lince a instalovaného výkonu výroben bude docházet, při chodu výroben s maximálním výkonem, k přetoku výkonu o velikosti **3134,98 kW** z linky vn 262 do sítě 110 kV.

Tab. 4-17 Výkonová bilance

Stav sítě	Prvek	Uzel	P [kW]
Před připojením	<i>Krnov</i>	<i>Uvvn</i>	-1741,22
Referenční stav	<i>Krnov</i>	<i>Uvvn</i>	4876,195
<b>Přetok do vvn</b>	<b><i>Krnov</i></b>	<b><i>Uvvn</i></b>	<b>3134,98</b>

## 5 ZÁVĚR

Byly popsány postupy zažité při vypracovávání studií připojitelností, byl popsán a zhodnocen software využitelný při výpočtech sítě a splněno tak zadání v plném rozsahu. V této práci byl využit pro výpočty program E-vlivy. Byly popsány legislativní a normativní ustanovení vztahující se k SP.

Dle požadavku PPDS bylo provedeno posouzení připojení VTE o výkonu 2x2 MW a FVE o výkonu 2 MW do sítě 22 kV pro všechny provozní stavy (základní provozní stav, náhradní provozní stavy č. 1, 2, 3).

Posouzení bylo provedeno v tomto rozsahu:

- 1) Vyvedení výkonu z výroben
- 2) Připojení zadaného výkonu a provozní stavy
- 3) Kompenzace jalové energie
- 4) Příspěvek ke zkratovému proudu
- 5) Útlum signálu HDO
- 6) Výpočet flikru
- 7) Harmonická analýza
- 8) Výkonová bilance

### ad. 1) Vyvedení výkonu z výroben

Pro vyvedení výkonu z FVE i VTE byl použit kabel 3x 22-AXEKVCEY 1x50, který vyhoví na přenesený výkon, úbytky napětí a zkratové proudy. Střídače pro FVE Sunny Central HE od společnosti SMA jsou součástí stanice vysokého napětí SC 1000 MV *Příloha - B*, která pracuje přímo do společného transformátoru vysokého napětí. Tyto stanice se připojují přímo do sítě vn, bez použití dalších transformátorů. Každý z obou generátorů VTE bude připojen do sítě přes transformátor. Parametry kabelového vedení jsou v *Tab. 4-7*, a parametry transformátorů jsou v *Tab. 4-9*.

### ad. 2) Připojení zadaného výkonu a provozní stavy

Byly spočítány ustálené chody sítě při referenčním a náhradním provozním stavu č. 1, 2, 3:

- Referenční stav. Byl měněn účinník na generátorech VTE tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinník. Účinník generátoru byl nastaven na hodnotu  $\cos \varphi = -0,99965$  (*ind*). Účinník na FVE byl ponechán na  $\cos \varphi = 1$  tak, aby síť vyhověla na dovolené limity úbytků napětí před, a po připojení výroben lze generátory VTE provozovat v rozsahu účinníku  $\cos \varphi = 0,998$  (*kap*) až  $\cos \varphi = -0,95$  (*ind*).
- Náhradní provozní stav č. 1 vzniknul zapnutím spínače  $SP_1$  a vypnutím spínače  $SP_2$ . Tento stav je z hlediska úbytků napětí před a po připojení výroben **nevhodný** k provozování.

- Náhradní provozní stav č. 2. Při náhradním provozním stavu č. 2, vycházejícího z náhradního stavu č. 1, lze provozovat síť s  $FVE_1$  na 60 % jmenovitého výkonu a s odpojenými  $FVE_2$ ,  $VTE_1$ ,  $VTE_2$ . Byl měněn účinník na střídači FVE tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinník. Účinník byl nastaven na hodnotu  $\cos \varphi = -0,974(ind)$ . FVE lze provozovat v celém rozsahu účinníku  $\cos \varphi = 0,923kap \div 0,943ind$ .
- Náhradní provozní stav č. 3. Náhradní provozní stav č. 3 nastane při sepnutém vypínači  $SP_1$  a vypnutém  $SP_2$ , při odpojených generátorech VTE. Byl měněn účinník na střídačích FVE tak, aby v předávacím místě byl neutrální účinník. Účinník byl nastaven na hodnotu  $\cos \varphi = -0,9978(ind)$ . FVE lze provozovat v celém rozsahu účinníku  $\cos \varphi = 0,9kap \div 0,9ind$ .

#### ad. 3) **Kompence jalové energie**

Byl spočten jalový výkon 352,497 kVAr kapacitní povahy, který je produkován kabelovým vedením. Je zapotřebí s provozovatelem DS projednat možnou dodávku jalové energie, popř. zřízení kompenzační jednotky. Laditelnou kompenzační jednotku o výše uvedeném výkonu (induktivního charakteru) pracující v napěťové hladině 22 kV je výhodné zřídit v předávacím místě.

#### ad. 4) **Příspěvek ke zkratovému proudu**

Byl spočítán příspěvek ke zkratovému proudu 0,632 kA, což je nárůst o 23,0 % oproti původní hodnotě.

#### ad. 5) **Útlum signálu HDO**

Výpočtem bylo zjištěno, že úbytek signálu HDO vyhoví ve všech uzlech sítě na limitní hodnoty útlumu signálu 5 % dané [4].

Před uvedením do provozu bude nutné provést kontrolní měření signálu HDO, které ověří skutečné úbytky signálu HDO a dodatečné zvýšení zatížení vysílače HDO.

#### ad. 6) **Výpočet flikru**

U fotovoltaického zařízení připojeného přes střídače se nepředpokládá výraznější příspěvek k úrovni flikru, proto byla výrobní FVE při posuzování flikru zanedbána. Byla vypočtena dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{fl} = 0,0646$ , jež vyhovuje celkové přípustné úrovni  $P_{fl} = 0,47$  pro síť vn podle [2].

#### ad. 7) **Harmonická analýza**

Emise harmonických proudů 29., 31., 32., 33., 35, 48. řádu překračují limity dané přílohou 4 PPDS, proto bude třeba instalovat filtry pro tyto řády. Velikosti harmonických napětí i celkové zkreslení THD vyhoví přípustným mezím dle [28]. Instalované filtry nesmí ovlivnit úroveň

---

signálu HDO. Před uvedením do provozu bude nutné provést kontrolní měření kvality elektřiny, které ověří skutečné harmonické zkreslení v předávacím místě.

**ad. 8) Výkonová bilance**

Výpočtem bylo zjištěno, že bude docházet, při chodu výroben s maximálním výkonem, k přetoku výkonu o velikosti 3134,98 kW z linky vn 262 do sítě 110 kV.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Příloha 4 PPDS : *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy.*, prosinec 2008.
- [2] Příloha 4 PPDS : *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů ze sítí nízkého nebo vysokého napětí provozovatele distribuční soustavy.*, 2009.
- [3] PNE 33 3430-0. *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav.*, leden 2009
- [4] PNE 33 3430-6. *Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání.*, únor 2006
- [5] Program E-Vlivy – verze 2.4.3.  
*EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o., Čechova 52, 370 01 České Budějovice*
- [6] Program Zkraty – verze 2.0.  
*ELCOM, a. s. – Divize Realizace a inženýring, Hudcova 76a, 612 48 Brno*
- [7] Program Pavouk-Schrack – verze 2.7.  
*Schrack Technik, s.r.o., Dolnoměcholupská 2, 102 00, Praha*  
*Vývoj systému Pavouk: Ing. Petr Slavata, Poradenství CAD, Brno © 2001-2009*
- [8] Program Modes – verze 2.2/12.  
*Ing. Karel MÁŠLO, CSc., Louňovice 262, 251 62 Mukařov*
- [9] Program Power Calc Lite - verze 2.01.  
*DAISY, spol. s r. o., Hrusická 2538, 141 00 Praha 4*
- [10] Program PAS DAISY Off-Line.  
*DAISY, spol. s r. o., Hrusická 2538, 141 00 Praha 4*
- [11] Program Bizon Projektant.  
*DAISY, spol. s r. o., Hrusická 2538, 141 00 Praha 4*
- [12] Program NetCalc - verze 7.0.  
*Ing. Alfred Bodor, Jiráskova 20, 602 00 Brno, vytvořeno ve spolupráci s firmou Ing. Petr Baxant - EMDAT*
- [13] Program GLF - verze 23/2/2008.  
*Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., Ing. Petr Modlitba, CSc.*
- [14] KABLO ELEKTRO Velké Meziříčí, spol. s r.o.  
U tržiště 685/1, 594 22 Velké Meziříčí
- [15] Vestas Wind Systems A/S  
Alsvej 21 8940 Randers SV Denmark
- [16] BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.  
Rybničná 40, 835 54 Bratislava, Slovak republic
- [17] ČERMÁK, Libor; HLAVIČKA, Rudolf. *Numerické metody: Řešení nelineárních rovnic.* [s.l.] : [s.n.], 2006. 63 s.  
Dostupné z WWW: <<http://mathonline.fme.vutbr.cz/UploadedFiles/244.pdf>>.

- 
- [18] MACHÁČEK, Václav. *Novelizované podmínky pro připojení k elektrizační soustavě : 2. část - dokončení*. Elektro. 2011, 12, s. 9-12.
- [19] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brně : VUT Brno, 2007.
- [20] SMA Czech Republic, spol. s r.o.  
Avenir Business Park, Radlická 740/113d, 158 00 Praha 5
- [21] KONČ, Michal; DOLEČEK, Radovan. *Simulace provozu větrných elektráren*. Elektro. Březen 2011, 66, 3, s. 60-63.
- [22] Garbow, B. S. "Integer-Preserving Gaussian Elimination." Program P-158 (3600F), Applied Mathematics Division, Argonne National Laboratory, Nov. 21, 1966.
- [23] PNE 33 3430-1. *Parametry kvality elektrické energie – část 1: Harmonické a meziharmonické.*, leden 2009
- [24] Příloha 3 PPDS : *Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení.*, prosinec 2008.
- [25] Hlavní část a příloha 4 PPDS : *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy.*, 01/2010.
- [26] ČSN 33 0050-604. *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie – Provoz*. Český normalizační institut, říjen 1994.
- [27] ČSN 33 0120. *Normalizovaná napětí IEC*. Český normalizační institut, srpen 2001.
- [28] ČSN EN 50160 ed. 2. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Český normalizační institut, červen 2008.
- [29] ČSN EN 60909-0. *Zkratové poměry v trojfázových soustavách – část 0: výpočet*. Český normalizační institut, květen 2002.
- [30] PNE 33 3430-2 ed. 3. *Parametry kvality elektrické energie – část 2: Kolísání napětí, druhé vydání.*, leden 2010
- [31] PNE 33 3430-7 ed. 3. *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti.*, leden 2008
- [32] EGÚ Brno, a. s. *Schéma sítí ES ČR : PS 400, 220 kV, DS 110 kV* : ERÚ, 11/2003. 1.  
Dostupné z WWW:  
<[http://www.eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocní\\_zprava/2003/ostatni/images/8b.png](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2003/ostatni/images/8b.png)>.

---

## 6 PŘÍLOHA - A

A1 TABULKY

Tab. 6-1 Proudové a výkonové poměry v síti před připojením výroben

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Krnov	Uvvn	9,624	161,734	24,673	90	-1741,22	-567,848	1831,47
T101	Uvvn	9,624	161,734	1,273	88,568	-1741,21	-567,842	1831,467
T101	U0	44,629	165,494	1,273	88,568	1720,323	430,637	1773,403
V1	Uvn	44,629	165,494	0,857	58,308	-1720,32	-430,638	1773,4
V1	Upbe	44,639	165,446	0,857	58,308	1717,629	427,827	1770,109
V2	Upbe	44,639	165,445	2,178	54,83	-1717,63	-427,835	1770,115
V2	Uklou	44,661	165,329	2,178	54,83	1710,132	420,876	1761,161
V3	Uklou	16,717	165,465	1,893	32,258	-640,496	-156,016	659,224
V3	Uhost	16,731	165,273	1,893	32,258	639,153	157,45	658,26
V4	Uhost	8,35	165,509	2,448	32,258	-319,296	-77,259	328,51
V4	Uvrac	8,368	165,012	2,448	32,258	318,862	79,924	328,726
V5	Uklou	13,947	165,405	0,674	54,83	-534,217	-130,726	549,979
V5	Ulin	13,954	165,29	0,674	54,83	533,99	131,539	549,953
V7	Ualbr	13,972	-15,015	0,899	54,83	533,38	133,692	549,88
V7	Uopa	13,963	-14,862	0,899	54,83	-533,683	-132,613	549,913
V6	Ulin	13,952	165,296	0,899	54,83	-533,938	-131,467	549,885
V6	Uopa	13,961	165,143	0,899	54,83	533,636	132,55	549,851
Zob	Ualbr	13,971	-15,012	938,965	14,069	533,353	133,658	549,845
Zvrac	Uvrac	8,368	-14,989	1564,918	14,072	318,873	79,931	328,739
Zhost	Uhost	8,38	-14,961	1564,918	14,072	319,82	80,168	329,714
Zklou	Uklou	13,999	-14,913	938,965	14,069	535,476	134,19	552,034
T3	Utvn	0,546	-93,901	3,479	87,721	0,002	-21,701	21,701
T3	Utvvn	0,114	-93,901	3,479	87,721	-0,002	21,698	21,698
Třemešná	Utvvn	46,487	176,244	92,849	90	-8837,96	21,685	8837,986
Z_TRM	Utvvn	52,374	-3,897	1210	0	9957,137	0	9957,137
G_TRM	Utvvn	5,887	176,103	10765,12	-180	-1119,18	0	1119,182
V10	U16	0	-42,076	11,991	58,311	0,003	0,002	0,004
V10	Utvn	0,546	86,09	11,991	58,311	-0,005	21,691	21,691

Tab. 6-2 Napěťové poměry v síti před připojením výroben

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
Uvvn	109,872	-0,204	0,117	27,133	89,997	490,539
U0	22,942	-0,452	-4,281	2,517	89,24	211,547
Upbe	22,894	-0,568	-4,065	3,281	81,526	162,255
Uklou	22,767	-0,845	-3,487	5,318	70,922	100,115
Uhost	22,715	-0,889	-3,25	6,898	61,049	77,18
Uvrac	22,681	-0,917	-3,098	9,12	53,62	58,375
Ualbr	22,722	-0,943	-3,281	7,725	65,83	68,922
Ulin	22,755	-0,872	-3,431	5,969	69,127	89,196
Uopa	22,738	-0,908	-3,356	6,844	67,267	77,791
Uvn	22,942	-0,452	-4,281	2,517	89,239	211,547
Utvn	22,954	-3,897	-4,335	7,794	89,026	68,312
Utvvn	109,764	-3,897	0,215	102,153	90	130,295
U16	22,959	-3,905	-4,357	19,117	70,325	27,85
U14	22,767	-0,845	-3,487	5,318	70,922	100,115

Tab. 6-3 Proudové a výkonové poměry v síti po připojení výroben

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
Krnov	Uvvn	25,959	7,777	24,673	90	4900,365	-619,359	4939,351
T101	Uvvn	25,959	7,777	1,273	88,568	4900,365	-619,359	4939,351
T101	U0	124,325	6,263	1,273	88,568	-4922,59	428,74	4941,229
V1	Uvn	124,325	6,263	0,857	58,308	4922,608	-428,717	4941,241
V1	Upbe	124,328	6,281	0,857	58,308	-4943,48	396,473	4959,348
V2	Upbe	124,328	6,281	2,178	54,83	4943,461	-396,498	4959,337
V2	Uklou	124,335	6,325	2,178	54,83	-5001,63	317,736	5011,713
V3	Uklou	17,087	169,001	1,893	32,258	-669,188	-162,995	688,752
V3	Uhost	17,101	168,808	1,893	32,258	667,785	164,492	687,746
V4	Uhost	8,535	169,044	2,448	32,258	-333,62	-80,726	343,247
V4	Uvrac	8,553	168,546	2,448	32,258	333,166	83,511	343,473
V5	Uklou	14,256	168,941	0,674	54,83	-558,156	-136,57	574,621
V5	Ulin	14,263	168,826	0,674	54,83	557,919	137,42	574,594
V7	Ualbr	14,281	-11,476	0,899	54,83	557,262	139,637	574,491
V7	Uopa	14,271	-11,324	0,899	54,83	-557,579	-138,509	574,525
V6	Ulin	14,262	168,829	0,899	54,83	-557,895	-137,38	574,561
V6	Uopa	14,271	168,676	0,899	54,83	557,579	138,511	574,525
Zob	Ualbr	14,281	-11,477	938,965	14,069	557,269	139,652	574,501
Zvrac	Uvrac	8,554	-11,454	1564,918	14,072	333,172	83,515	343,48
Zhost	Uhost	8,566	-11,426	1564,918	14,072	334,161	83,763	344,499
Zklou	Uklou	14,309	-11,379	938,965	14,069	559,488	140,208	576,788
T3	Utvn	0,546	-93,901	3,479	87,721	0,002	-21,701	21,701
T3	Utvvn	0,114	-93,901	3,479	87,721	-0,002	21,698	21,698

Třemešná	Utvvn	46,487	176,244	92,849	90	-8837,96	21,685	8837,986
Z_TRM	Utvvn	52,374	-3,897	1210	0	9957,137	0	9957,137
G_TRM	Utvvn	5,887	176,103	10765,12	-180	-1119,18	0	1119,182
V10	U16	0	-42,076	11,991	58,311	0,003	0,002	0,004
V10	Utvn	0,546	86,09	11,991	58,311	-0,005	21,691	21,691
<b>V52</b>	<b>U24</b>	<b>112,139</b>	<b>3,024</b>	<b>1,19</b>	<b>30,097</b>	<b>4520,031</b>	<b>-26,343</b>	<b>4520,107</b>
<b>V52</b>	<b>U52</b>	<b>112,292</b>	<b>5,837</b>	<b>1,19</b>	<b>30,097</b>	<b>-4558,93</b>	<b>226,873</b>	<b>4564,568</b>
T21	U52	56,146	5,836	0,004	82,339	2279,477	-113,426	2282,297
T21	U16	3095,613	5,726	0,004	82,339	-2299,88	-0,002	2299,877
VTE1	U16	3095,613	-174,274	0,08	-180	-2299,88	0	2299,876
T22	U52	56,146	5,836	0,004	82,339	2279,477	-113,426	2282,297
T22	U17	3095,613	5,726	0,004	82,339	-2299,88	-0,002	2299,877
VTE2	U17	3095,613	-174,274	0,08	-180	-2299,88	0	2299,876
<b>V51</b>	<b>U25</b>	<b>56,397</b>	<b>-1,052</b>	<b>3,285</b>	<b>12,714</b>	<b>2268,405</b>	<b>148,344</b>	<b>2273,25</b>
<b>V51</b>	<b>U51</b>	<b>56,272</b>	<b>2,837</b>	<b>3,285</b>	<b>12,714</b>	<b>-2298,9</b>	<b>-0,003</b>	<b>2298,896</b>
FVE1	U51	28,136	-177,163	484	-180	-1149,44	0	1149,442
FVE2	U51	28,136	-177,163	484	-180	-1149,44	0	1149,442

Tab. 6-4 Napěťové poměry v síti po připojení výroben

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
Uvvn	109,855	0,573	0,131	27,155	89,996	490,145
U0	22,947	1,286	-4,302	2,521	89,235	211,187
Upbe	23,03	1,696	-4,682	3,288	81,503	161,901
Uklou	23,272	2,69	-5,782	5,336	70,849	99,779
Uhost	23,219	2,646	-5,54	6,917	61,019	76,969
Uvrac	23,184	2,618	-5,384	9,14	53,613	58,252
Ualbr	23,226	2,591	-5,572	7,743	65,792	68,758
Ulin	23,259	2,663	-5,725	5,987	69,067	88,925
Uopa	23,243	2,627	-5,648	6,862	67,22	77,583
Uvn	22,947	1,286	-4,302	2,521	89,234	211,187
Utvn	22,954	-3,897	-4,335	7,794	89,026	68,312
Utvvn	109,764	-3,897	0,215	102,153	90	130,295
U16	22,959	-3,905	-4,357	19,117	70,325	27,85
U14	23,272	2,69	-5,782	5,336	70,849	99,779
U52	23,469	2,988	-6,676	6,287	63,726	84,682
U16	0,429	5,726	-7,235	0,006	75,821	30,101
U17	0,429	5,726	-7,235	0,006	75,821	30,101
U51	23,587	2,837	-7,212	7,603	49,271	70,025
U24	23,272	2,69	-5,782	5,336	70,848	99,778
U25	23,272	2,69	-5,782	5,336	70,848	99,778

Tab. 6-5 Proudové a výkonové poměry v síti po připojení výroben- referenční stav

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Krnov	Uvvn	25,926	9,182	24,673	90	4876,195	-738,484	4931,798
T101	Uvvn	25,926	9,182	1,273	88,568	4876,194	-738,469	4931,796
T101	U0	124,084	7,666	1,273	88,568	-4898,4	548,15	4928,976
V1	Uvn	124,084	7,666	0,857	58,308	4898,406	-548,152	4928,981
V1	Upbe	124,089	7,683	0,857	58,308	-4919,19	516,036	4946,185
V2	Upbe	124,089	7,683	2,178	54,83	4919,199	-516,027	4946,191
V2	Uklou	124,098	7,727	2,178	54,83	-4977,15	437,574	4996,344
V3	Uklou	17,067	169,013	1,893	32,258	-667,635	-162,617	687,155
V3	Uhost	17,081	168,821	1,893	32,258	666,235	164,111	686,15
V4	Uhost	8,525	169,055	2,448	32,258	-332,856	-80,547	342,463
V4	Uvrac	8,544	168,558	2,448	32,258	332,404	83,326	342,689
V5	Uklou	14,239	168,953	0,674	54,83	-556,867	-136,259	573,295
V5	Ulin	14,246	168,838	0,674	54,83	556,63	137,107	573,267
V7	Ualbr	14,264	-11,465	0,899	54,83	555,972	139,323	573,163
V7	Uopa	14,255	-11,312	0,899	54,83	-556,288	-138,198	573,197
V6	Ulin	14,246	168,841	0,899	54,83	-556,604	-137,07	573,233
V6	Uopa	14,255	168,688	0,899	54,83	556,288	138,198	573,198
Zob	Ualbr	14,264	-11,465	938,965	14,069	555,974	139,327	573,166
Zvrac	Uvrac	8,544	-11,442	1564,918	14,072	332,398	83,321	342,681
Zhost	Uhost	8,556	-11,414	1564,918	14,072	333,384	83,568	343,698
Zklou	Uklou	14,293	-11,366	938,965	14,069	558,187	139,882	575,447
T3	Utvn	0,546	-93,901	3,479	87,721	0,002	-21,701	21,701
T3	Utvvn	0,114	-93,901	3,479	87,721	-0,002	21,698	21,698
Třemešná	Utvvn	46,487	176,244	92,849	90	-8837,96	21,685	8837,986
Z_TRM	Utvvn	52,374	-3,897	1210	0	9957,137	0	9957,137
G_TRM	Utvvn	5,887	176,103	10765,12	-180	-1119,18	0	1119,182
V10	U16	0	-42,076	11,991	58,311	0,003	0,002	0,004
V10	Utvn	0,546	86,09	11,991	58,311	-0,005	21,691	21,691
V52	U24	111,747	4,573	1,19	30,097	4496,67	-146,865	4499,068
V52	U52	112,047	7,387	1,19	30,097	-4535,35	346,97	4548,598
T21	U52	56,023	7,387	0,004	82,339	2267,679	-173,484	2274,305
T21	U16	3088,685	7,273	0,004	82,339	-2287,99	60,554	2288,792
VTE1	U16	3088,685	-172,727	0,08	178,484	-2287,99	60,552	2288,792
T22	U52	56,023	7,387	0,004	82,339	2267,679	-173,484	2274,305
T22	U17	3088,685	7,273	0,004	82,339	-2287,99	60,554	2288,792
VTE2	U17	3088,685	-172,727	0,08	178,484	-2287,99	60,552	2288,792
V51	U25	56,331	-1,039	3,285	12,714	2263,13	147,999	2267,964
V51	U51	56,207	2,85	3,285	12,714	-2293,55	-0,003	2293,551
FVE1	U51	28,103	-177,15	484	-180	-1146,77	0	1146,77
FVE2	U51	28,103	-177,15	484	-180	-1146,77	0	1146,77

Tab. 6-6 Napětí před a po připojení výroben- referenční stav

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
Uvvn	0,038	0,116	0,078
U0	-4,465	-4,329	0,137
Upbe	-4,315	-4,643	-0,328
Uklou	-3,899	-5,554	-1,654
Uhost	-3,679	-5,339	-1,66
Uvrac	-3,536	-5,2	-1,664
Ualbr	-3,709	-5,368	-1,659
Ulin	-3,848	-5,503	-1,656
Uopa	-3,778	-5,436	-1,657
Uvn	-4,465	-4,329	0,137
Utvn	-4,333	-4,333	0
Utvvn	0,217	0,217	0
U16	-4,355	-4,355	0
U14	-3,899	-5,554	-1,654
U52	-3,909	-6,308	-2,399
U16	-3,904	-6,682	-2,779
U17	-3,904	-6,682	-2,779
U51	-3,91	-6,771	-2,861
U24	-3,899	-5,554	-1,654
U25	-3,899	-5,554	-1,654

Tab. 6-7 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav I

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
Uvvn	0,026	0,026	0
U0	-4,501	-4,501	0
Upbe	-1,497	-9,214	-7,717
Uklou	-1,496	-9,213	-7,717
Uhost	-1,269	-9,003	-7,733
Uvrac	-1,122	-8,866	-7,744
Ualbr	-1,791	-7,949	-6,158
Ulin	-1,576	-8,865	-7,289
Uopa	-1,683	-8,405	-6,722
Uvn	-1,497	-9,214	-7,717
Utvn	-4,007	-3,64	0,367
Utvvn	0,412	0,581	0,17
U16	-1,791	-7,949	-6,158
U14	-1,496	-9,213	-7,717
U52	-1,505	-9,975	-8,469
U16	-1,5	-10,464	-8,964

U17	-1,5	-10,464	-8,964
U51	-1,506	-10,423	-8,917
U24	-1,496	-9,213	-7,717
U25	-1,496	-9,213	-7,717

Tab. 6-8 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav 2

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
Uvvn	0,026	0,026	0
U0	-4,501	-4,501	0
Upbe	-0,717	1,05	1,767
Uklou	-0,716	1,051	1,767
Uhost	-0,487	1,283	1,77
Uvrac	-0,339	1,433	1,772
Ualbr	-1,091	0,436	1,527
Ulin	-0,818	0,884	1,702
Uopa	-0,955	0,66	1,614
Uvn	-0,717	1,05	1,767
Utvn	-3,714	-3,342	0,372
Utvvn	0,566	0,774	0,208
U16	-1,091	0,436	1,527
U14	-0,716	1,051	1,767
U51	-0,726	1,453	2,179
U25	-0,716	1,051	1,767

Tab. 6-9 Proudové a výkonové poměry v síti- náhradní provozní stav 2

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Krnov	Uvvn	0,688	99,107	24,673	90	-20,751	-129,417	131,07
T101	Uvvn	0,688	99,108	1,273	88,568	-20,75	-129,392	131,045
T101	U0	0,001	-92,045	1,273	88,568	0,001	-0,021	0,021
V1	Uvn	0,001	-61,431	0,857	58,308	0,011	0,015	0,019
V1	Upbe	0,037	81,257	0,857	58,308	-0,011	1,382	1,382
V2	Upbe	0,037	81,733	2,178	54,83	0	-1,397	1,397
V2	Uklou	0,126	81,729	2,178	54,83	0	4,758	4,758
V3	Uklou	16,004	158,038	1,893	32,258	-587,008	-142,98	604,171
V3	Uhost	16,017	157,846	1,893	32,258	585,777	144,294	603,288
V4	Uhost	7,994	158,081	2,448	32,258	-292,642	-70,812	301,087
V4	Uvrac	8,011	157,583	2,448	32,258	292,244	73,255	301,285
V5	Uklou	44,223	-17,242	0,674	54,83	1649,093	260,281	1669,507
V5	Ulin	44,219	-17,206	0,674	54,83	-1651,37	-262,472	1672,101
V7	Ualbr	44,207	162,888	0,899	54,83	-1657,45	-268,303	1679,03
V7	Uopa	44,213	162,841	0,899	54,83	1654,417	265,395	1675,569
V6	Ulin	44,219	-17,206	0,899	54,83	1651,382	262,477	1672,111

V6	Uopa	44,213	-17,159	0,899	54,83	-1654,42	-265,393	1675,571
Zob	Ualbr	13,483	-21,986	938,965	14,069	496,741	124,483	512,102
Zvrac	Uvrac	8,011	-22,417	1564,918	14,072	292,252	73,258	301,294
Zhost	Uhost	8,023	-22,388	1564,918	14,072	293,119	73,475	302,188
Zklou	Uklou	13,402	-22,341	938,965	14,069	490,771	122,987	505,947
T3	Utvn	57,55	162,267	3,479	87,721	2216,908	473,824	2266,978
T3	Utvvn	12,033	162,267	3,479	87,721	-2218,22	-506,86	2275,395
Třemešná	Utvvn	58,03	172,491	92,849	90	-10961,3	-506,863	10973,01
Z_TRM	Utvvn	52,092	-4,862	1210	0	9850,236	0	9850,236
G_TRM	Utvvn	5,855	175,138	10765,12	-180	-1107,17	0	1107,167
V10	U16	57,653	-18,25	11,991	58,311	2154,196	392,785	2189,713
V10	Utvn	57,55	-17,733	11,991	58,311	-2216,91	-473,823	2266,979
V51	U25	15,134	171,82	3,285	12,714	-571,331	0,921	571,332
V51	U51	15,538	158,609	3,285	12,714	569,09	132,369	584,281
FVE1	U51	15,538	-21,391	806,666	13,094	569,085	132,368	584,277

Tab. 6-10 Napěťové poměry v síti- náhradní provozní stav 2

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
Uvvn	109,971	-0,002	0,026	27,132	89,997	490,556
U0	22,99	-0,004	-4,501	2,517	89,24	211,562
Upbe	21,796	-8,273	0,926	23,767	67,189	22,401
Uklou	21,796	-8,272	0,927	21,644	68,424	24,598
Uhost	21,746	-8,316	1,153	23,2	65,663	22,948
Uvrac	21,714	-8,345	1,3	25,28	62,606	21,06
Ualbr	21,928	-7,917	0,326	19,224	70,209	27,694
Ulin	21,832	-8,175	0,764	20,982	68,871	25,374
Uopa	21,88	-8,046	0,545	20,102	69,511	26,485
Uvn	21,796	-8,273	0,926	24,614	66,882	21,63
Utvn	22,743	-5,668	-3,376	7,813	89,024	68,146
Utvvn	109,173	-4,862	0,752	102,296	90	130,113
U16	21,928	-7,917	0,326	19,224	70,209	27,694
U14	21,796	-8,272	0,927	21,644	68,424	24,598
U51	21,71	-8,297	1,319	23,657	61,785	22,505
U25	21,796	-8,272	0,927	21,644	68,424	24,598

Tab. 6-11 Napětí před a po připojení výroben- náhradní provozní stav 3

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
Uvvn	0,08	0,128	0,048
U0	-4,367	-4,247	0,12
Upbe	-4,188	-3,856	0,331
Uklou	-3,701	-2,797	0,904
Uhost	-3,48	-2,573	0,907
Uvrac	-3,337	-2,429	0,908
Ualbr	-3,51	-2,603	0,906
Ulin	-3,649	-2,744	0,905
Uopa	-3,579	-2,674	0,906
Uvn	-4,367	-4,247	0,12
Utvn	-4,333	-4,333	0
Utvvn	0,217	0,217	0
U16	-4,355	-4,355	0
U14	-3,701	-2,797	0,904
U52	100	100	0
U16	100	100	0
U17	100	100	0
U51	-3,712	-1,483	2,228
U24	100	100	0
U25	-3,701	-2,797	0,904

Tab. 6-12 Proudové a výkonové poměry v síti- náhradní provozní stav 3

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Krnov	Uvvn	20,424	169,978	24,673	90	-3831,99	-646,324	3886,109
T101	Uvvn	20,424	169,978	1,273	88,568	-3831,98	-646,309	3886,106
T101	U0	96,695	171,825	1,273	88,568	3810,369	479,689	3840,445
V1	Uvn	96,695	171,825	0,857	58,308	-3810,38	-479,724	3840,458
V1	Upbe	96,7	171,802	0,857	58,308	3797,755	460,819	3825,611
V2	Upbe	96,699	171,802	2,178	54,83	-3797,74	-460,801	3825,596
V2	Uklou	96,71	171,748	2,178	54,83	3762,552	414,511	3785,316
V3	Uklou	16,592	164,345	1,893	32,258	-630,988	-153,689	649,436
V3	Uhost	16,606	164,153	1,893	32,258	629,665	155,101	648,486
V4	Uhost	8,288	164,388	2,448	32,258	-314,583	-76,123	323,662
V4	Uvrac	8,306	163,89	2,448	32,258	314,155	78,749	323,875
V5	Uklou	13,842	164,29	0,674	54,83	-526,264	-128,726	541,778
V5	Ulin	13,849	164,175	0,674	54,83	526,04	129,527	541,752
V7	Ualbr	13,868	-16,133	0,899	54,83	525,462	131,679	541,709
V7	Uopa	13,858	-15,98	0,899	54,83	-525,76	-130,615	541,742
V6	Ulin	13,849	164,173	0,899	54,83	-526,055	-129,548	541,772
V6	Uopa	13,858	164,02	0,899	54,83	525,757	130,614	541,738

Zob	Ualbr	13,867	-16,133	938,965	14,069	525,459	131,68	541,707
Zvrac	Uvrac	8,306	-16,11	1564,918	14,072	314,154	78,748	323,873
Zhost	Uhost	8,318	-16,082	1564,918	14,072	315,086	78,982	324,834
Zklou	Uklou	13,895	-16,034	938,965	14,069	527,551	132,204	543,864
T3	Utvn	0,546	-93,901	3,479	87,721	0,002	-21,701	21,701
T3	Utvvn	0,114	-93,901	3,479	87,721	-0,002	21,698	21,698
Třemešná	Utvvn	46,487	176,244	92,849	90	-8837,96	21,685	8837,986
Z_TRM	Utvvn	52,374	-3,897	1210	0	9957,137	0	9957,137
G_TRM	Utvvn	5,887	176,103	10765,12	-180	-1119,18	0	1119,182
V10	U16	0	-42,076	11,991	58,311	0,003	0,002	0,004
V10	Utvn	0,546	86,09	11,991	58,311	-0,005	21,691	21,691
V52	U24	0	178,034	1,19	30,097	0	0	0
V52	U52	0	-179,156	1,19	30,097	0	0	0
T21	U52	0	-179,156	0,004	82,339	0	0	0
T21	U16	0	-179,264	0,004	82,339	0	0	0
VTE1	U16	0	0,736	0,08	-178,854	0	0	0
T22	U52	0	-179,156	0,004	82,339	0	0	0
T22	U17	0	-179,264	0,004	82,339	0	0	0
VTE2	U17	0	0,736	0,08	-178,854	0	0	0
V51	U25	53,083	178,038	3,285	12,714	-2077,73	0,132	2077,733
V51	U51	53,205	174,088	3,285	12,714	2050,598	136,255	2055,12
FVE1	U51	26,602	-5,912	484	3,801	1025,299	68,127	1027,56
FVE2	U51	26,602	-5,912	484	3,801	1025,299	68,127	1027,56

Tab. 6-13 Napěťové poměry v síti- náhradní provozní stav 3

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
Uvvn	109,851	-0,448	0,135	27,143	89,997	490,375
U0	22,931	-0,999	-4,231	2,518	89,239	211,397
Upbe	22,841	-1,28	-3,823	3,284	81,518	162,106
Uklou	22,598	-1,966	-2,718	5,325	70,894	99,973
Uhost	22,546	-2,009	-2,484	6,906	61,038	77,091
Uvrac	22,513	-2,038	-2,332	9,128	53,619	58,323
Ualbr	22,553	-2,064	-2,514	7,732	65,816	68,853
Ulin	22,586	-1,993	-2,663	5,977	69,104	89,081
Uopa	22,569	-2,028	-2,589	6,852	67,249	77,703
Uvn	22,931	-0,999	-4,231	2,518	89,238	211,397
Utvn	22,954	-3,897	-4,335	7,794	89,026	68,312
Utvvn	109,764	-3,897	0,215	102,153	90	130,295
U16	22,959	-3,905	-4,357	19,117	70,325	27,85
U14	22,598	-1,966	-2,718	5,325	70,894	99,973
U51	22,301	-2,11	-1,369	7,592	49,272	70,128
U25	22,598	-1,966	-2,718	5,325	70,894	99,972

*Tab. 6-14 Útlum signálu HDO*

Uzel	dU [%]
Uvvn	0,024
U0	2,808
Upbe	2,714
Uklou	2,452
Uhost	2,314
Uvrac	2,224
Ualbr	2,333
Ulin	2,420
Uopa	2,376
Uvn	2,808
Utvn	2,725
Utvvn	0,136
U16	2,739
U14	2,452
U52	2,458
U16	2,455
U17	2,455
U51	2,459
U24	2,452
U25	2,452

---

## **7 PŘÍLOHA - B**

- B1 JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA PŘENOSU FVE
- B2 JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA PŘENOSU VTE
- B3 TECHNICKÉ INFORMACE – SMA Sunny Central 1000MV
- B4 TECHNICKÉ INFORMACE – V90-2 MW V CS