

FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ

DISERTAČNÍ PRÁCE

PLZEŇ, 2011

Ing. František Kysnar



Fakulta elektrotechnická

DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor
v oboru

Elektroenergetika

Ing. František Kysnar

**Připojování obnovitelných zdrojů energie do energetických
sítí**

Školitel: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

Datum státní doktorské zkoušky: 20.05.2010

Datum odevzdání práce: 20.12.2011

V Plzni, 2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci na téma „Připojování obnovitelných zdrojů energie do energetických sítí“ vypracoval samostatně za použití odborné literatury a dalších technických pramenů uvedených v seznamu literatury, který je součástí této disertační práce.

Připojování obnovitelných zdrojů energie do energetických sítí

Práce se zabývá problematikou posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby. Na konkrétních příkladech popisuje problematiku posouzení připojitelnosti rozptýlené výroby připojované do sítí NN, VN a VVN. U posuzování připojitelnosti na jednotlivých napěťových hladinách pak uvádí možná rizika, která mohou souviset s připojením většího množství rozptýlené výroby do DS. Při znalosti těchto rizik se pak snaží zmapovat veškeré aspekty posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby.

Klíčová slova.

Rozptýlená výroba, studie připojitelnosti, kvalita elektřiny, modely elektrických sítí.

Connectability of renewable sources to the distribution network

This work deals with distributed generation connectability problems. On the real cases there are described problems, associated with connection of distributed generation to the LV, MV and HV networks. Work also shows possible risks of connection of larger amount of distributed generation to the electric network on the particular voltage levels. Knowing about those problems, I try to determine all aspects of assessment of distributed generation.

Keywords:

Distributed generation, connectability studies, power quality, models of electrical networks.

Obsah

1	Současný stav problematiky.....	10
2	Cíle disertační práce	11
3	Legislativní a normativní odkazy	12
4	Nejčastější typy rozptýlené výroby instalované v ČR.....	14
5	Posouzení připojitelnosti rozptýlené výroby	15
5.1	Požadavky na studie připojitelnosti.....	15
5.2	Rozsah studie.....	15
5.3	Posuzování připojitelnosti – síť NN.....	15
5.3.1	Vyvolaná napěťová změna	16
5.3.2	Flikr	16
5.3.3	Útlum signálu HDO	17
5.3.4	Velikost harmonických proudů	17
5.3.5	Příspěvek ke zkratovému proudu.....	17
5.3.6	Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách	18
5.4	Posuzování připojitelnosti – síť VN.....	18
5.4.1	Vyvolaná napěťová změna	18
5.4.2	Flikr	18
5.4.3	Útlum signálu HDO	18
5.4.4	Velikost harmonických proudů	19
5.4.5	Příspěvek ke zkratovému proudu.....	20
5.4.6	Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách	20
5.4.7	Chování výroben připojených do sítí VN	21
5.5	Posuzování připojitelnosti – síť VVN.....	21
5.5.1	Vyvolaná napěťová změna	21
5.5.2	Flikr	21
5.5.3	Útlum signálu HDO	22
5.5.4	Velikost harmonických proudů	22
5.5.5	Příspěvek ke zkratovému proudu.....	23
5.5.6	Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách	23
5.5.7	Chování výroben připojených do sítí VVN.....	23
6	Příklad posouzení připojitelnosti rozptýlené výroby do ds nn.....	24

6.1	Výchozí parametry posouzení	24
6.1.1	Napájecí uzel	24
6.1.2	Napájecí transformátor	24
6.1.3	Vedení.....	24
6.1.4	Zatížení	25
6.1.5	Ekvivalenty souvisejících zdrojů	25
6.1.6	Ekvivalent posuzovaného zdroje - použitý typ střídače.....	26
6.2	Referenční stav	26
6.3	Poměry po připojení zdroje	27
6.4	Příspěvek ke zkratovému proudu	28
6.5	Výpočet úrovně harmonických proudů	28
6.6	Závěry posouzení.....	29
6.7	Dopad kumulace více zdrojů připojených na jednom vývodu	30
7	Příklad posouzení připojitelnosti rozptýlené výroby do ds VN	31
7.1	Výchozí parametry posouzení	31
7.1.1	Napájecí uzel	31
7.1.2	Napájecí transformátor	32
7.1.3	Vedení.....	32
7.1.4	Zatížení DS	32
7.1.5	Transformátor 22 /0,4 kV	33
7.1.6	Ekvivalent FVE	33
7.1.7	Použitý typ střídačů	33
7.2	Referenční stav	34
7.3	Poměry po připojení samotného zdroje.....	34
7.4	Poměry po připojení zdroje s kompenzací nežádoucího odběru jalové energie z DS	35
7.5	Příspěvek ke zkratovému proudu	36
7.6	Výpočet úrovně harmonických proudů	36
7.7	Závěry posouzení.....	38
8	Ověření teoretického posouzení připojitelnosti	38
8.1	Základní popis měření	39
8.2	Výsledky měření	39
8.2.1	Porovnání velikosti vyvolané napěťové změny	39
8.2.2	Posouzení dodávky činného a jalového výkonu.....	41

8.2.3	Velikost výskytu flikru.....	42
8.2.4	Velikost napěťové nesymetrie	42
8.2.5	Velikost celkového harmonického zkreslení proudu	43
9	Příklad posouzení připojitelnosti rozptýlené výroby do ds VVN.....	45
9.1	Výchozí parametry posouzení	45
9.1.1	Napájecí uzel	45
9.1.2	Napájecí transformátor	45
9.1.3	Vedení.....	45
9.1.4	Zatížení DS.....	46
9.1.5	Injekce z DS nižšího napětí	46
9.1.6	Transformátory 110 kV/VN	47
9.1.7	Transformátory VN / NN	47
9.1.8	Ekvivalenty VTE	47
9.1.9	Parametry generátoru VTE.....	48
9.1.10	Parametry transformátoru VTE.....	48
9.2	Referenční stav	49
9.3	Poměry po připojení posuzované farmy VTE	50
9.3.1	Posouzení napěťové změny	50
9.3.2	Flikr	52
9.3.3	Útlum signálu HDO	52
9.3.4	Příspěvek ke zkratovému proudu.....	53
9.3.5	Úroveň harmonických proudů	54
9.3.6	Výkonová bilance	55
9.3.7	Další aspekty posouzení	56
9.4	Závěry posouzení.....	56
10	Další aspekty posouzení chování zdrojů připojených do DS.....	57
10.1	Detailní analýza poměrů v síti NN.....	57
10.1.1	Velikost zkratového výkonu	57
10.1.2	Velikost napětí, napěťové změny.....	58
10.1.3	Velikost zpětných vlivů – flikr	59
10.1.4	Velikost zpětných vlivů – harmonické zkreslení.....	60
10.1.5	Velikost zpětných vlivů – napěťová nesymetrie.....	60
10.1.6	Závěry detailní analýzy poměrů v síti NN.....	61
11	Závěry disertační práce	62

12	Doporučení pro další práci	63
13	Poděkování	64
14	Seznam použité literatury	65
15	Seznam vlastních publikovaných prací	66
16	Příloha 1 – Napěťové a proudové poměry – připojitelnost výroby NN	68
16.1	Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav	68
16.2	Napěťové a proudové poměry po připojení výroby	70
17	Příloha 2 – Napěťové a proudové poměry – připojitelnost výroby VN	72
17.1	Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav	72
17.2	Napěťové a proudové poměry po připojení výroby	73
17.3	Napěťové a proudové poměry po připojení výroby s kompenzací jalového výkonu	74
18	Příloha 3 – Napěťové a proudové poměry – připojitelnost výroby VVN	75
18.1	Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav	75
18.2	Napěťové a proudové poměry po připojení výroby	77
19	Příloha 4 – Technický list střídačů Fronius IG PLUS 120 V-3	81
20	Příloha 5 – Technický list střídačů KACO Powador 33000xi	86
21	Příloha 6 – Zkušební protokol Vestas V90	90

1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V roce 1997 vydala evropská unie tzv. Bílou knihu o obnovitelných zdrojích (Energy for the future: renewable sources of energy COM (97) 599 final 26/11/97) a po té 27. září 2001 směrnicí evropského parlamentu a rady 2001/77/ES, která zavazuje v té době členské země ke zvýšení podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na celkové výrobě elektřiny. Česká republika se při vstupu do EU zavázala k 8% podílu výroby elektřiny v obnovitelných zdrojích elektřiny do r. 2010. Aby mohla Česká republika tuto podmínku splnit, podpořil parlament České republiky výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů nastavením odlišných cenových podmínek oproti výrobě z klasických (konvenčních) energetických zdrojů. Tyto finanční podmínky stanovuje pro každý rok vydáním Cenového rozhodnutí Energetický regulační úřad.

Až doposud by se mohlo zdát, že je vše na dobré cestě vedoucí k navýšení podílu výroby v obnovitelných zdrojích a Česká republika tak nečelí řešení zásadnějších problémů v této oblasti. Bohužel však nastavení finančních podmínek zejména pro fotovoltaické zdroje bylo natolik výhodné, že v době nedávno minulé čelili PDS České republiky značnému nárůstu žádostí o připojení zdrojů rozptýlené výroby. Paradoxem je pak to, že „rozptýlená výroba“ pozbývá svůj původní význam a připojování těchto výroben vedlo spíše k nárůstu problémů s provozem dotčených částí DS s masivním nárůstem požadavků na připojení rozptýlené výroby k DS než, že by danou část sítě rozptýlená výroba podpořila a pomohla tak k řešení příp. „distribučních“ problémů v daném místě.

Situace v oblasti připojování rozptýlené výroby již v současné době došla tak daleko, že překročila hranice vyhlášení „STOP STAVu“ pro jednotlivé napájecí uzly VN či celé uzlové oblasti VVN a jedná se o celosystémový problém, ohrožující stabilitu přenosové soustavy ČR a vedla tak ke generálnímu „STOP STAVu“ pro veškerá připojování fotovoltaických a větrných elektráren.

Základním dokumentem popisujícím poměry při připojování rozptýlené výroby je zákon 458/2000 Sb. (energetický zákon). Ten ve vybraných paragrafech odkazuje na další platné dokumenty. Podmínky připojování včetně stanovení finančního podílu za připojení pak stanovuje Vyhl. č. 81/2010 o podmínkách připojení k elektrizační soustavě zveřejněná (novela Vyhl. 51/2006). Metodiku posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby definují v České republice platná Pravidla provozování distribučních soustav a to zejména ve své Příloze 4. Tento základní dokument je pravidelně aktualizován a reaguje tak na příp. změny podmínek v oblasti připojování rozptýlené výroby do DS.

Vzhledem k tomu, že stanovisko EU o předepsaném podílu výroby elektřiny v obnovitelných zdrojích dopadá i na ostatní členské státy, řeší problém narůstajícího podílu těchto zdrojů i další členské země Evropské unie. Doposud se podmínky připojování a provozu těchto zařízení stanovovaly regionálně dle legislativy platné v dané evropské zemi. V roce 2007 byla vydána evropská norma EN 50438, která byla převzata do podmínek České republiky jako ČSN EN 50438 a platí pro připojování zdrojů a mikrokogenerací s jmenovitým proudem do 16 A připojovaných do sítí NN. V současné době vzniká v rámci pracovní skupiny CENELEC TC8X WG03 nová evropská norma pro připojování zdrojů nad 16 A do sítí NN a VN.

Podobně jako dochází s rostoucím podílem výroby elektřiny v obnovitelných zdrojích k vývoji požadavků kladených na tyto zdroje, dochází i k nemalému vývoji na straně vlastní technologie. Porovnáme-li zařízení používaná před pěti lety a zařízení používaná v současné

době jsou mezi nimi značné rozdíly a to nejenom pouze např. v rovině účinnosti a dalších vlastností důležitých zejména pro investory, ale i vlastností důležitých z pohledu zpětných vlivů těchto zařízení na DS v místě připojení.

Práce se věnuje nejenom popisu aktuálních problémů, platné metodiky posuzování a její aplikaci na konkrétním případě připojení, ale i ověření tohoto posouzení na výsledcích měření kvality elektřiny provedeném na posuzovaných zdrojích s upozornění na další aspekty posouzení, které nejsou předmětem standardního posuzování připojitelnosti a přesto mohou vést k jejímu omezení. Práce tak přináší seznam možných rizik připojení rozptýlené výroby a rozsah hodnocení, který může těmto rizikům předcházet.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

- Na základě platných pravidel provozování distribučních soustav popsat proces posuzování připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby v sítích NN, VN a VVN.
- Stanovit rozsah nezbytných posouzení připojitelnosti na napěťových hladinách NN, VN a VVN.
- Zpracovat modelové příklady ve výpočetním sw pro jednotlivé napěťové hladiny
- Posoudit připojitelnost rozptýlené výroby ve vybraných příkladech a ověřit, zda lze stávající rozsah požadovaných posouzení považovat za dostatečný.
- Popsat rizika spojená s připojením většího množství rozptýlené výroby připojované do DS.
- Na vybraných příkladech ověřit proces posuzování připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby na úrovni modelu dotčené části DS a ekvivalentů připojených a posuzovaných zařízení se skutečným stavem po uvedení posuzovaných zařízení do provozu.
- Na základě měření kvality elektřiny vyjmenovat další aspekty posuzování připojitelnosti, které mohou mít zásadní dopad na poměry v DS po uvedení posuzovaných do provozu.

3 LEGISLATIVNÍ A NORMATIVNÍ ODKAZY

Následující kapitola uvádí seznam základních legislativních a normativních dokumentů zbývajících s problematikou rozptýlené výroby.

Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) v platném znění

Zákon č. 180/2005 – o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů)

Vyhláška ERÚ č. 51/2006 – o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ze dne 17. února 2006

Vyhláška ERÚ č. 81/2010 – kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě

Vyhláška ERÚ č. 541/2005 Sb. o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona v platném znění

PPDS – Pravidla provozování distribučních soustav – platná pro rok 2010

Příloha 1 – Dotazníky pro registrované údaje

Příloha 2 – Metodika určování plynulosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí

Příloha 3 – Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení

Příloha 4 – Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy

Příloha 5 – Fakturační měření

Příloha 6 – Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě

Pravidla provozování distribučních soustav hlavní část a Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy **Doplněk 01/2009**

Pravidla provozování distribučních soustav hlavní část a Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy **Změna 01/2010**

ČSN EN 50438 (33 0127) Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí (vydání – říjen 2008)

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 50438:2007. Norma uvádí technické požadavky pro připojení a provozování pevně instalovaných mikro-generátorů a jejich ochran, bez ohledu na primární zdroje energie mikrogenerátorů pracujících paralelně s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí, které se týkají zařízení s fázovým proudem do 16 A včetně, jednofázově nebo vícefázově o fázovém napětí 230/400 V nebo 230 V (mezi fázovými vodiči).

ČSN EN 61400-21 (33 3160): Větrné elektrárny - Část 21: Měření a stanovení kvality elektrických výkonových charakteristik větrných elektráren připojených do elektrické rozvodné soustavy

Requirements for the connection of generators above 16 A per phase to the LV distribution system or to the MV distribution system

Materiál věnující se sjednocení požadavků na zdroje rozptýlené výroby. Dokument vzniká v rámci činnosti pracovní skupiny TC8X WG03 a slouží jako podklad pro tvorbu nového evropského standardu.

ČSN EN 60909 – 0 – Zkratové proudy v trojfázových soustavách – Část 0: Výpočet zkratových proudů

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 60909-0:2001. Tato Část IEC 60909 platí pro výpočet zkratových proudů:

- v trojfázových střídavých soustavách nízkého napětí
- v trojfázových střídavých soustavách vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí

při jmenovitém kmitočtu 50 Hz nebo 60 Hz.

Soustavy s nejvyššími napětími 550kV a vyššími s dlouhými přenosovými vedeními potřebují zvláštní postupy.

Tato Část IEC 60909 stanovuje základní, použitelné a stručné postupy vedoucí k výsledkům, které mají přijatelnou přesnost. Pro tuto výpočetní metodu se v místě zkratu uvažuje ekvivalentní napěťový zdroj. Přitom se nevyklučuje použití speciálních metod, například metody superpozice přizpůsobené konkrétním podmínkám, jestliže zajišťují minimálně tutéž přesnost. Metoda superpozice udává zkratový proud vztahující se k jednomu předpokládanému zatížení. Metoda tudíž nemusí nutně vést k určení maximálního zkratového proudu

Soubor podnikových norem PNE 33 3430 (0-7)

- **PNE 33 3430-0:** Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav
- PNE 33 3430-1: Parametry kvality elektrické energie - Část 1: Harmonické a mezharmónické
- PNE 33 3430-2: Parametry kvality elektrické energie - Část 2: Kolísání napětí
- PNE 33 3430-3: Parametry kvality elektrické energie - Část 3: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí
- PNE 33 3430-4: Parametry kvality elektrické energie - Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí
- PNE 33 3430-5: Parametry kvality elektrické energie - Část 5: Přechodná přepětí – impulsní rušení

- **PNE 33 3430-6:** Parametry kvality elektrické energie - Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání
- **PNE 33 3430-7:** Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

4 NEJČASTĚJŠÍ TYPY ROZPTÝLENÉ VÝROBY INSTALOVANÉ V ČR

Charakter výroby v obnovitelných zdrojích instalovaných v ČR vychází z geografických podmínek, kterými ČR disponuje. Mezi hlavní zástupce v současné době patří následující typy rozptýlené výroby:

- MVE** – malé vodní elektrárny – ve většině případů asynchronní generátory
- VTE** – větrné elektrárny (různé typy technologických konstrukcí s různými typy generátorů)
 - Synchronní generátory (připojeny buď přímo k DS nebo přes výkonový střídač)
 - Asynchronní generátory (ve většině případů se jedná o stroje s dvojitě vinutou kotvou, přímo připojené k DS)
- FVE** – fotovoltaické elektrárny
 - Jednofázové (jednofázové měniče malých výkonů, bez možnosti regulace výstupních parametrů)
 - Třífázové (decentrální – jednofázové a třífázové měniče malých výkonů bez možnosti regulace výstupních poměrů, centrální – třífázové měniče vyšších výkonů s možností regulace výstupních poměrů)
- BPS** – bioplynové stanice – ve většině případů výrobní jednotky se synchronními generátory přímo připojenými k DS

Z uvedených typů zdrojů se v současné době stávají dominantními výrobními jednotkami, nejen co do počtu požadavků o připojení, ale především i co do instalovaného výkonu na celém území ČR fotovoltaické elektrárny. Zastiňují tak dříve zamýšlené investice do oblastí větrných elektráren, jejichž realizace je mnohem více časově náročnější včetně složitějšího procesu hledání vhodných lokalit pro výstavu takového typu zdroje.

5 POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI ROZPTÝLENÉ VÝROBY

Tato kapitola uvádí hrubý popis požadavků na studie připojitelnosti včetně metodických postupů posouzení připojitelnosti na jednotlivých napěťových hladinách (vybrané pasáže čerpají z textu Přílohy 4 PPDS).

Základním materiálem definujícím metodické postupy posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby je výše zmiňovaná Příloha 4 PPDS. Příloha 4 definuje nejen vlastní metodické postupy včetně platných vztahů pro posouzení všech aspektů připojitelnosti, ale také definuje, co vše musí obsahovat studie připojitelnosti, přihlašovací procesy včetně doporučených schémat připojení rozptýlené výroby a další. Příloha 4 uvádí metodické postupy odděleně pro jednotlivé napěťové hladiny. Metodické postupy jsou pravidelně aktualizovány dle vývoje evropské legislativy a aktuální situace v oblasti rozptýlené výroby v ČR.

Základním metodickým požadavkem je posouzení poměrů po připojení posuzovaného zdroje v předávacím místě resp. ve společném napájecím bodu, tedy takového bodu DS, z kterého mohou být napájeni další odběratelé.

5.1 Požadavky na studie připojitelnosti

Studie připojitelnosti výroby (dále jen studie) musí obsahovat technické posouzení možného připojení výroby 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 dle kritérií uvedených v části 10 a 11 Přílohy 4, tj. – zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výroby, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických a dalších kritérií daných PPDS (dle charakteru výroby).

5.2 Rozsah studie

U zdrojů, připojovaných do sítí NN a VN je rozsah dán zpravidla stanicí s napájecím transformátorem sítě a vedením (vedeními) s doporučeným přípojným bodem zdroje. Je-li to pro ověření připojitelnosti zdroje důležité, může být rozsah studie rozšířen o další stanice a vedení se zahrnutím provozovaných či plánovaných zdrojů i zátěží těchto vedení. Posuzován je základní provozní stav, příp. v závislosti na požadované zabezpečení dodávky do DS i další reálné provozní varianty.

U zdrojů připojovaných do sítí 110 kV se navíc posuzují případné přetoky do přenosové soustavy a respektují se možná omezení provozovatele přenosové soustavy.

5.3 Posuzování připojitelnosti – síť NN

V následujících odstavcích budou uvedeny mezní limity úrovně jednotlivých parametrů kvality elektřiny a vybraná základní pravidla pro jejich výpočet. Uvedené odstavce věnované

teoretickému popisu metodiky a limit jednotlivých veličin čerpají ze znění Přílohy 4 PPDS. Podrobné znění uvedených odstavců je součástí Přílohy 4 PPDS.

5.3.1 Vyvolaná napěťová změna

Vyvolaná napěťová změna současným připojením či odpojením všech zdrojů v dotčené části DS na hladině NN nesmí v předávacím místě přesáhnout 3%. Na základě doporučení ERÚ jsou posuzovány všechny zdroje s neutrálním účínkem v předávacím místě (tzv. nediskriminační přístup)

Změna napětí $\Delta U \leq 3 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti NN)

5.3.2 Flikr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě NN a VN mezní hodnotu:

$$P_{It} \leq 0,46$$

Dlouhodobá míra flikru P_{It} jednoho zdroje může být určena pomocí činitele flikru c jako

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}}$$

S_{nE} je jmenovitý výkon zařízení (pro větrné elektrárny je to hodnota S_nG).

Pokud je hodnota vypočtená podle předchozí rovnice větší než 0,46, je možné do výpočtu zahrnout fázové úhly a počítat podle následujícího vztahu

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}} |\cos(\psi_{KV} + \varphi_i)|$$

U výroby s více jednotlivými zařízeními je zapotřebí vypočítat P_{It} pro každé zvlášť a výslednou hodnotu pro flikr ve společném napájecím bodě určit podle následujícího vztahu

$$P_{Itres} = \sqrt{\sum_i P_{Iti}^2}$$

U zařízení s n stejnými jednotkami je výsledný činitel pro flikr

$$P_{Itres} = \sqrt{n} \cdot P_{It} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}}$$

Pokud zařízení sestává ze stejných generátorů, pak se předcházející rovnice zjednoduší na:

$$c_{res} = \frac{c}{\sqrt{n}}$$

Odtud je zřejmé, že u zařízení, která sestávají z více generátorů, dochází k určité "kompensaci" flikru jednotlivých generátorů.

5.3.3 Útlum signálu HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládní (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % U_n .

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:

$$\mathbf{NN} \quad \mathbf{150\% U_f}$$

U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 U_n

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

5.3.4 Velikost harmonických proudů

Za předpokladu, že do sítě NN nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výrobní s maximálním výkonem po 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, mohou být pro posouzení harmonických proudů (I_v) použita následující jednoduchá kritéria:

$$\text{Přípustný proud } I_{vnn} = \text{vztažný proud } i_v \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}}$$

vztažný proud i_v je uveden v Tab.1.

$\sin \psi_{kV} = X_k/Z_k$ ($\cong 1$, když je předávací místo blízko transformátoru VN/NN).

řád harmonické v	vztažný proud i_v (A/MVA)
5	3.0
7	2.5
11	1.5
13	1.0

Tab. 1 – velikost vztažného proudu

Tento výpočetní postup nemůže být použit, pokud je společný napájecí bod v síti vn (např. větrná elektrárna).

5.3.5 Příspěvek ke zkratovému proudu

Příspěvek ke zkratovému proudu se provádí v souladu s ČSN EN 60909-0. Cílem výpočtu je stanovit nejenom vlastní příspěvek posuzovaného zdroje, ale především určit celkovou úroveň zkratových poměrů v předávacím místě a dalších bodech dotčené části DS s ohledem na dimenzování zařízení.

5.3.6 Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Zdroje do 16 A/fázi včetně

Účinník zdroje za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí musí být podle [13] mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 20 % jmenovitého výkonu zdroje.

FVE do 4.6 kVA/fázi včetně

U fotovoltaických elektráren do výkonu 4.6 kVA/fázi se řízení účinníku nepožaduje, požaduje se provoz s pevně nastaveným účinníkem $\cos \varphi = 1$.

Ostatní zdroje

Účinník zdroje za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého výkonu zdroje.

5.4 Posuzování připojitelnosti – síť VN

V následujících odstavcích budou uvedeny mezní limity úrovně jednotlivých parametrů kvality elektřiny a vybraná základní pravidla pro jejich výpočet. Uvedené odstavce věnované teoretickému popisu metodiky a limit jednotlivých veličin čerpají ze znění Přílohy 4 PPDS. Podrobné znění uvedených odstavců je součástí Přílohy 4 PPDS.

5.4.1 Vyvolaná napěťová změna

Vyvolaná napěťová změna současným připojením či odpojením všech zdrojů v dotčené části DS na hladině VN nesmí v předávacím místě přesáhnout 2%. Na základě doporučení ERÚ jsou posuzovány všechny zdroje s neutrálním účinníkem v předávacím místě (tzv. nediskriminační přístup)

Změna napětí $\Delta U \leq 2 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti VN)

5.4.2 Flikr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě NN a VN mezní hodnotu:

Příspěvek flikru $P_{It} \leq 0,46$ (předávací místo VN)

Výpočetní vztahy dlouhodobého flikru jsou shodné jako vztahy uvedené v kapitole 4.3.2 pro výpočet flikru pro zdroje připojované do sítí VN.

5.4.3 Útlum signálu HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládní (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % U_n .

Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jež do určité míry vychází z 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Výrobní připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ho ovlivňují přidavným zatížením vysílačů HDO, které plyne z:

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

V těchto případech se posuzuje vliv výroby na zatížení vysílače HDO. Vychází se z informace PDS o jeho zatížení a jmenovitém proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 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 měřeními. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí.

Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

$$VN \quad 190\% U_f$$

U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 U_n

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

5.4.4 Velikost harmonických proudů

Pro pouze jediné předávací místo v síti vn lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{\nu p\check{r}}$ z Tab. 2 násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu, tedy

$$I_{\nu p\check{r}} = i_{\nu p\check{r}} \cdot S_{KV}$$

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

$$I_{\nu p\check{r}} = I_{\nu p\check{r}} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{\nu p\check{r}} \cdot S_{KV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}}$$

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

Celkově přípustné harmonické proudy pro síť vn, vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v TAB.2.

Pro harmonické s řády násobků tří platí hodnoty v Tab.2 pro nejbližší řád, a to pouze, pokud se nulová složka proudů z výroby neuzavírá do sítě.

Řád harmonické μ, ν	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu \nu p\check{r}} [A/MVA]$		
	síť 10 kV	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033

7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/√	0,03/√	0,017/√
$\mu < 40$	0,06/ μ	0,03/ μ	0,017/ μ
$\mu > 40$	0,16/ μ	0,09/ μ	0,046/ μ

Tab. 2 – velikost přípustného vztažného proudu

5.4.5 Příspěvek ke zkratovému proudu

Příspěvek ke zkratovému proudu se provádí v souladu s ČSN EN 60909-0. Cílem výpočtu je stanovit nejenom vlastní příspěvek posuzovaného zdroje, ale především určit celkovou úroveň zkratových poměrů v předávacím místě a dalších bodech dotčené části DS s ohledem na dimenzování zařízení.

5.4.6 Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Jalový výkon výroby musí být od instalovaného výkonu 100 kVA říditelný. Dohodnutý rozsah jalového výkonu musí využitelný v průběhu několika minut a libovolně často.

Při dodávce činného výkonu je nastavení jalového výkonu zadáváno PDS buď pevnou hodnotou, nebo když to provoz sítě vyžaduje dálkově nastavitelnou žádanou hodnotou.

Žádaná hodnota je buď

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

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

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

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

Zadání může být buď:

- Dohodou na hodnotě nebo harmonogramu nebo
- On-line zadáváním

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

Další podrobnosti jsou uvedeny v [3].

5.4.7 Chování výroben připojených do sítí VN

Další zvláštní požadavky na chování výroben připojených do sítí VN jsou uvedeny v dokumentu [3] jako požadavky na podporu sítě (statické řízení napětí, dynamická podpora sítě) a přizpůsobení činného výkonu (snížení činného výkonu v závislosti na změně kmitočtu a v závislosti na provozních podmínkách).

5.5 Posuzování připojitelnosti – síť VVN

V následujících odstavcích budou uvedeny mezní limity úrovně jednotlivých parametrů kvality elektřiny a vybraná základní pravidla pro jejich výpočet. Uvedené odstavce věnované teoretickému popisu metodiky a limit jednotlivých veličin čerpají ze znění Přílohy 4 PPDS. Podrobné znění uvedených odstavců je součástí Přílohy 4 PPDS.

5.5.1 Vyvolaná napěťová změna

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)

$$\Delta u_{\max} \leq 0,5 \%$$

Spínání celého zařízení (např. větrného parku)

$$\Delta u_{\max} \leq 2 \%$$

b) Poruchový provoz

Pro změnu napětí při spínání celého zařízení platí

$$\Delta u_{\max} \leq 5 \%$$

5.5.2 Flickr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flickr dodržet ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu:

Příspěvek flickru $Plt \leq 0,37$ (předávací místo VVN)

Výpočetní vztahy u dlouhodobého flickru jsou shodné jako vztahy uvedené v kapitole 4.3.2 resp. v kapitole 4.4.2 pro výpočet flickru pro zdroje připojované do sítí NN resp. VN.

5.5.3 Útlum signálu HDO

Podmínky vlivu připojovaných zařízení do sítí 110kV jsou shodné s podmínkami uvedenými pro sítě VN, kap. 4.4.3 s odlišným znění v následujících bodech (podrobné znění uvedeno v Příloze 4 PPDS):

Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV je **5 %** jmenovitého proudu.

Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

$$110 \text{ kV} \quad 200\% U_f .$$

U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 U_n

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

5.5.4 Velikost harmonických proudů

Pro tyto sítě udává následující tabulka celkově dovolené proudy harmonických pro zařízení připojená do jedné transformovny nebo do jednoho vedení 110 kV. Tyto hodnoty převzaté z [18] se vztahují ke zkratovému výkonu v předávacím místě výroby.

Řád ν, μ	Přípustný vztahný proud harmonických $i_{\nu, \mu \text{ zul}}$ v A/GVA
5	2,6
7	3,75
11	2,4
13	1,6
17	0,92
19	0,70
23	0,46
25	0,32
> 25 nebo sudé	5,25 / ν
$\mu < 40$	5,25 / μ
$\mu > 40$	16 / μ

Tab. 3 – velikost přípustného vztahného proudu

Pozn.: Pro harmonické řádu násobku tří se mohou vzít za základ hodnoty pro nejbližší vyšší řád

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

$$I_{\nu \text{ zul}} = i_{\nu, \mu \text{ zul}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_0}$$

pro harmonické řádů vyšších než 13 a pro meziharmonické:

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

kde

$I_{v,\mu zul}$ přípustný proud harmonické výrobního zařízení

$i_{v,\mu zul}$ přípustný vztahný proud harmonické podle TAB. 6

S_{kV} zkratový výkon v přípojném bodě

S_A přípojný výkon výrobního zařízení

S_0 referenční výkon.

5.5.5 Příspěvek ke zkratovému proudu

Příspěvek ke zkratovému proudu se určuje v souladu s ČSN EN 60909-0. Cílem výpočtu je stanovit nejenom vlastní příspěvek posuzovaného zdroje, ale především určit celkovou úroveň zkratových poměrů v předávacím místě a dalších bodech dotčené části DS s ohledem na dimenzování zařízení.

5.5.6 Řízení jalového výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Požadavky na řízení jalového výkonu jsou shodné s požadavky uvedenými pro zdroje připojované do sítí VN v kap. 4.4.6.

5.5.7 Chování výroben připojených do sítí VVN

Další požadavky jsou uvedeny v dokumentu [1] jako zvláštní požadavky na výrobní s obnovitelnými zdroji s výkonem nad 15 MW připojované do sítí 110kV.

6 PŘÍKLAD POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI ROZPTÝLENÉ VÝROBY DO DS NN

Uvedený příklad posouzení se týká fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu 10kWp připojované do sítě NN. Cílem posouzení je jednak aplikovat předepsané metody, ale také poukázat na další aspekty, které mohou vést k omezení připojitelnosti.

6.1 Výchozí parametry posouzení

Posouzení se týká zdroje o instalovaném výkonu 10kWp, předávací místo je ve zpracovaném modelu označeno jako U9. Jde o instalaci s využitím střídačů Fronius, typ IG PLUS 120 V-3. V dotčené části sítě NN jsou i další zdroje rozptýlené výroby, které byly připojeny před posuzovaným zdrojem. V následujících odstavcích jsou pak uvedeny výchozí parametry prvků modelované části DS.

6.1.1 Napájecí uzel

Parametry napájecího uzlu jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 4. Napájecí uzel je charakterizován velikostí napětí, velikostí provozovaného napětí a zkratovým výkonem resp. proudem

Název	U_{vnt} [kV]	U_{prv} [kV]	I_{zkr} [kA]	S_{zkr} [MVA]	R/X
NU_VN	35	36,768	2,077	125,9	0,422

Tab. 4 – parametry napájecího uzlu

6.1.2 Napájecí transformátor

Parametry napájecího distribučního transformátoru jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 5. Při modelování je transformátor uvažován se základními jmenovitými parametry, doplněnými obvykle počtem a velikostí odboček.

Název	U_1 [kV]	U_2 [kV]	S_t [MVA]	P_k [kW]	u_k [%]
T1	35	0,4	0,4	6,17	6

Tab. 5 – parametry napájecího transformátoru

6.1.3 Vedení

Parametry vedení modelované části distribuční sítě jsou uvedeny v následující Tab. 6.

Název	Druh	Typ	R [Ω /km]	X [Ω /km]	B [μ S/km]	Délka [km]	I_{max} [A]
V10	kabel-0,4	120AYKY70	0,258	0,069	1	0,04	245
V12	kabel-0,4	70AYKY50	0,442	0,073	1	0,085	183
V11	kabel-0,4	120AYKY70	0,258	0,069	1	0,048	245

V8	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,027	205
V9	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,033	205
V1	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,12	205
V7	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,028	205
V5	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,027	205
V2	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,032	205
V3	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,032	205
V4	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,088	205
V6	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,03	205
V13	venko-0,4	50AlFe35	0,69	0,291	1	0,32	205

Tab. 6 – parametry vedení

6.1.4 Zatížení

Výchozí hodnoty modelovaného zatížení jsou uvedeny v následující Tab. 7 a odpovídají jmenovitých hodnotám proudu sazby D25. Pokud bych ponechal tyto hodnoty pro modelování, byla by síť výrazně přetížena, neboť by nebyla respektována soudobost těchto odběrů. Z rozsáhlých měření a modelování distribučních sítí NN, v rámci kterých byla posuzovaná mimo jiné i soudobost zatížení (viz. [20]) vyplývá, že se soudobost zatížení v sítích NN pohybuje mezi 5-10%. Pro potřeby zpracovaného modelu distribuční sítě budu uvažovat soudobost zatížení 7%. Při vlastním modelování tak bude modelované zatížení poníženo na uvedené hodnoty. U modelovaného zatížení byl zvolen účinník 0,95.

Název	U [kV]	I [A]	cos fi	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Z8	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z1	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z7	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z4	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z6	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z3	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z5	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z2	0,4	25	0,95	16,45	5,41	17,32
Z9	0,4	100	0,95	65,82	21,63	69,28

Tab. 7 – parametry zatížení

6.1.5 Ekvivalenty souvisejících zdrojů

Modelované zdroje rozptýlené výroby jsou fotovoltaické zdroje. Základní parametry těchto zdrojů uvádí následující tabulka Tab. 8

Název	Un [kV]	Sn [kVA]	cos fi
FVE_1	0,4	5	1
FVE_2	0,4	5	1

FVE_3	0,4	5	1
-------	-----	---	---

Tab. 8 – parametry souvisejících zdrojů

6.1.6 Ekvivalent posuzovaného zdroje - použitý typ střídače

Ekvivalent posuzovaného fotovoltaického zdroje bude v modelu zpracován obdobně jako zdroje související rozptýlené výroby. Pro nadstavbové analýzy posouzení je však potřebné znát další parametry posuzovaného zdroje. Pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý je použit střídač Fronius, typ IG PLUS 120 V-3. Jedná se o střídače bez možnosti regulace účinníku. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 9. Podrobná specifikace je pak uvedena v Příloze 4 této práce.

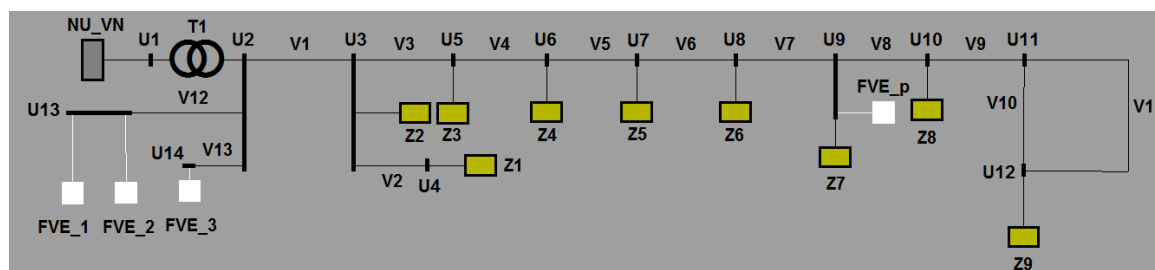
Výstupní výkon	10 kW
Jmenovité napětí :	3-NPE 400V/230V
Frekvence :	50 Hz
Jmenovitý účinník :	0,85-1 ind./kap.
Tolerance napětí :	180 – 270 V
Tolerance frekvence :	46 – 65 Hz

Tab. 9 – základní parametry použitého typu střídačů

6.2 Referenční stav

Výchozím stavem posouzení jsou napěťové a proudové poměry v modelované části DS bez připojené rozptýlené výroby. Schéma zapojení je uvedeno na Obr. 1. Předávací místo posuzované FVE je ve schématu označeno U9. Pro zpracování modelu dotčené části distribuční soustavy bylo využito softwaru E-Vlivy (produkt společnosti EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o.).

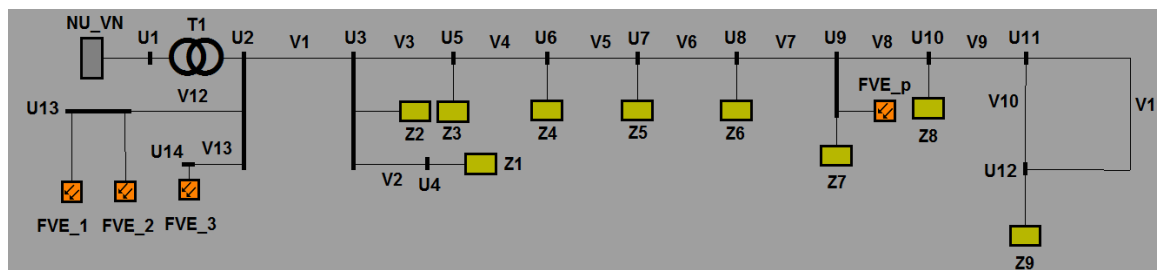
Napěťové a proudové poměry jsou uvedeny v tabulkách v Příloze 1 této disertační práce.



Obr. 1 – schéma zapojení referenčního stavu

6.3 Poměry po připojení zdroje

Schéma sítě pro posuzování poměrů po připojení posuzovaného fotovoltaického zdroje je uvedeno na následujícím Obr. 2.



Obr. 2 – schéma zapojení po připojení rozptýlené výroby

Po připojení posuzovaného zdroje a zdrojů souvisejících je vyvolaná napěťová v předávacím místě 1,45%, což je pod limitní hodnotou 3%. Velikost vyvolané napěťové změny v jednotlivých uzlech modelované sítě jsou uvedeny v tabulce Tab. 10. Vzhledem k výkonu souvisejících zdrojů a jejich místu připojení nedochází k výraznějšímu ovlivnění velikosti napěťové změny v předávacím místě posuzovaného zdroje.

Podrobné výsledky modelování (velikost napětí v uzlech modelované sítě, proudy a výkony ve větvích) jsou uvedeny v samostatné Příloze 1 této práce.

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
U1	-5,05	-5,06	-0,01
U2	-4,93	-5,03	-0,1
U3	-4,15	-4,75	-0,6
U4	-4,13	-4,73	-0,6
U5	-3,97	-4,71	-0,73
U6	-3,54	-4,64	-1,1
U7	-3,42	-4,63	-1,21
U8	-3,31	-4,64	-1,34
U9	-3,21	-4,67	-1,45
U10	-3,14	-4,6	-1,46
U11	-3,07	-4,52	-1,46
U12	-3,05	-4,51	-1,46
U13	-4,93	-5,26	-0,32
U14	-4,93	-5,69	-0,75

Tab. 10 – vyvolaná napěťová změna

6.4 Příspěvek ke zkratovému proudu

Posuzovaný zdroj je připojen k distribuční síti přes střídač. Tato zařízení dle technických specifikací výrobců zpravidla nepřispívají ke zkratovému proudu větším proudem, než je proud jmenovitý. V tomto konkrétním případě tak bude zdroj při zkratu přispívat proudem 13,8 A (vyjdeme-li ze jmenovitých parametrů, pak může příspěvek proudu dosáhnout cca 14,43A).

6.5 Výpočet úrovně harmonických proudů

Dostupné podklady neuvádějí pro měnič Fronius IG PLUS 120 V-3 velikost emise harmonických proudů. Při posouzení úrovně harmonických proudů jsem vycházel z prohlášení o shodě, kde výrobce deklaruje splnění požadavků dle DIN EN 61000-3-12 [12], viz samostatná Příloha 4 této práce. Tato norma uvádí meze harmonických proudů v závislosti na zkratovém poměru R_{SCE} . Tyto meze pak uvádí tabulka 11.

Minimální R_{SCE}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_n/I_1 [%]			
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}
33	10,7	7,2	3,1	2
66	14	9	5	3
120	19	12	7	4
250	31	20	12	7
≥ 350	40	25	15	10

Relativní hodnoty sudých harmonických do řádu 12 nesmějí překročit $16/n$ %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při THD a při PWHF stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

Tab. 11 – meze harmonických proudů

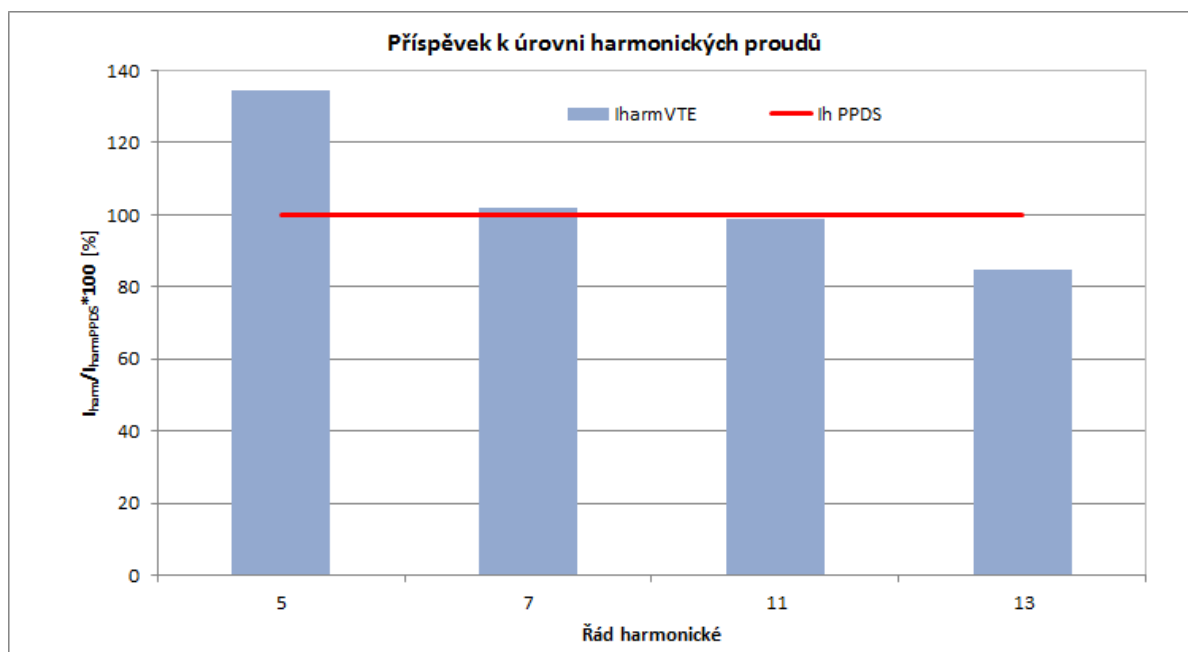
$$R_{SCE(FVE2)} = S_k / S_{Zař} = 680 / 10 = 68$$

Tabulka 12 pak uvádí maximální harmonické proudy, které splňují meze definované v tab. 12 pro $R_{SCE} = 68$ a jejich vztahy k mezím definovaným [1].

řád harmonické n	$I_{přip.}$ [%]	$I_{přip.}$ [A]	Mez [A/MVA]	Mez [A]
5	19	2,74	3	2,04
7	12	1,73	2,5	1,7
11	7	1,01	1,5	1,02
13	4	0,58	1	0,68

Tab. 12 – maximální hodnoty harmonických proudů

Z provedeného hodnocení vyplývá, že v místě připojení bude docházet při maximálních hodnotách uvedených v Tab. 11 k překročení limitních hodnot pro 5. a 7. harmonickou. 11. harmonická se limitní hodnotě velmi blíží. Je velmi pravděpodobné, že skutečně emitované hodnoty harmonických proudů do místa připojení od posuzovaného zařízení budou výrazně nižší jak maximální hodnoty uvedené v Tab. 11. Před trvalým uvedením do provozu však bude toto potřebné ověřit kontrolním měřením kvality elektřiny, kdy v případě překročení limitních hodnot bude nezbytné instalovat nápravná zařízení (filtry) pro jednotlivé řády harmonických. Míra překročení jednotlivých řádů harmonických je pak zřejmá z grafu na Obr. 3.



Obr. 3 – příspěvek FVE k úrovni harmonických proudů

6.6 Závěry posouzení

Z provedených hodnocení vyplývá, že je možné posuzovaný zdroj do dotčené části DS připojit a to i při respektování stávajících zdrojů rozptýlené výroby. Vyvolaná napěťová změna v předávacím místě po připojení zdrojů rozptýlené výroby činí 1,45% a je největší v dotčené části DS.

Ke zkratovému proudu bude zdroj přispívat jmenovitým proudem 13,8 A.

Podklady pro podrobné posouzení emise harmonických proudů výrobce neposkytuje. Na základě prohlášení o shodě (viz. [22] a Příloha 4 této práce) jsem vypočetl maximální příspěvky v daném místě. Při respektování těchto maximálních příspěvků dochází k překročení 5. a 7. harmonické proudu. Vzhledem k tomu, že skutečné zařízení bude s vysokou pravděpodobností emitovat hodnoty harmonických proudů výrazně nižší, dá se předpokládat, že budou požadované limitní hodnoty splněny. Před připojením je však

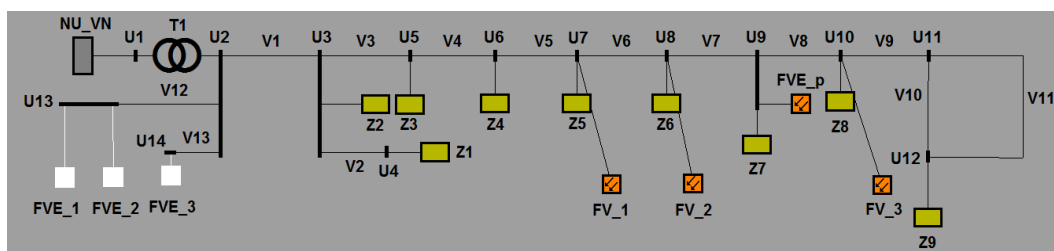
nezbytné provést kontrolní měření kvality elektřiny, na základě kterého bude stanoven další postup.

6.7 Dopad kumulace více zdrojů připojených na jednom vývodu

Ve zvoleném případě připojení fotovoltaického zdroje byly související zdroje instalovány v relativně malé elektrické vzdálenosti od napájecího distribučního transformátoru, navíc na jiných vývodech než posuzovaný zdroj. Díky tomuto místu připojení neovlivňují související zdroje předávací místo posuzovaného zdroje nikterak výrazně, což dokládá i výpočet vyvolané napěťové změny v kapitole 6.3.

Pokud však posoudíme stav, kdy související zdroje budou připojeny na stejném vývodu, jako posuzovaný zdroj v elektricky vzdáleném místě ovlivní poměry v dotčené části DS mnohem výrazněji.

Pro doložení tohoto tvrzení jsou zdroje o stejném výkonu přesunuty do míst elektricky vzdálenějších než v původním modelovém případě. Schéma zapojení při zachování všech parametrů pak zobrazuje Obr. 4.



Obr. 4 – schéma zapojení po přesunu posuzované rozptýlené výroby

Vypočtená velikost vyvolané napěťové změny je uvedena v následující tabulce Tab. 13.

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
U1	-5,05	-5,06	-0,01
U2	-4,93	-5,03	-0,1
U3	-4,15	-5,48	-1,33
U4	-4,13	-5,46	-1,33
U5	-3,97	-5,63	-1,66
U6	-3,54	-6,1	-2,56
U7	-3,42	-6,26	-2,84
U8	-3,31	-6,39	-3,09
U9	-3,21	-6,47	-3,26

U10	-3,14	-6,46	-3,32
U11	-3,07	-6,39	-3,32
U12	-3,05	-6,37	-3,32
U13	-4,93	-5,03	-0,1
U14	-4,93	-5,03	-0,1

Tab. 13 – vyvolaná napěťová změna

Z vypočtených hodnot vyplývá, že po přesunu zdrojů do míst elektricky vzdálenějších je vyvolaná napěťová změna v předávacím místě 3,26%. Nejvyšší napěťová změna je v uzlu U12 3,32%. Obě hodnoty tak překračují limitní hodnotu 3%.

Z modelového příkladu tak jednoznačně vyplývá (byly zachovány původní hodnoty výkonu rozptýlené výroby, jako při vlastním posouzení připojitelnosti), že nelze ani při malých hodnotách výkonů přistoupit k plošnému připojování a je nezbytné posuzovat každý požadavek o připojení individuálně.

7 PŘÍKLAD POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI ROZPTÝLENÉ VÝROBY DO DS VN

Dalším příkladem posouzení připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby je posouzení připojitelnosti fotovoltaického zdroje do distribuční sítě VN.

Jedná se o posouzení připojitelnosti jednoho zdroje. Pozornost tohoto posouzení bude zaměřena zejména na velikost napěťové změny, jejíž velikost bude možné ověřit na výsledcích měření kvality elektřiny provedeném v předávacím místě tohoto zdroje po jeho uvedení do provozu. I přesto, že se jedná o posouzení pouze jednoho zdroje v dotčené části DS, bude v posouzení uveden i bod posuzující celkovou výkonovou bilanci v dotčené části DS. Dá se předpokládat, že v tomto konkrétním případě nebude docházet k otáčení směru toku výkonu, ale vzhledem k vysokému počtu zdrojů připojených mnohdy v jedné napájecí oblasti toto reálně hrozí, a proto je nezbytné, aby se tento bod stal standardní součástí posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby. Model dotčené části DS a potřebné výpočty byly provedeny v programu E-Vlivy (produkt společnosti EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o.).

7.1 Výchozí parametry posouzení

Posouzení se týká připojitelnosti fotovoltaické elektrárny o výkonu 2MW s měniči Kaco Powador (výrobce označené jako centrální). Předávací místo je ve schématu a výstupních tabulkách označeno jako U9.

7.1.1 Napájecí uzel

Parametry napájecího uzlu uvádí následující tabulka Tab. 14. Napájecí uzel je charakterizován velikostí napětí a zkratovým výkonem resp. proudem.

Název	U_{vnt} [kV]	U_{prv} [kV]	I_{zkr} [kA]	S_{zkr} [MVA]
R110/22 kV	110	110	5,669	1080

Tab.14 – napájecí uzel 110 kV

7.1.2 Napájecí transformátor

Parametry napájecího transformátoru jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 15. Při modelování je transformátor uvažován se základními jmenovitými parametry, doplněnými obvykle počtem a velikostí odboček.

Název	U_1 [kV]	U_2 [kV]	S_t [MVA]	P_k [kW]	u_k [%]
T1	110	23	40	238	11

Tab. 15 – napájecí transformátor 110/22kV

7.1.3 Vedení

Parametry vedení jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 16

Název	Druh	Typ	R [Ω /km]	X [Ω /km]	B [μ S/km]	Délka [km]	I_{max} [A]
V1	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	0,461	506
V2	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	8,079	318
V3	venko-22	70/11AlFe6	0,401	0,381	1,434	1,731	236
V4	venko-22	35AlFe6	0,778	0,389	1,339	1,489	150
V5	venko-22	50AlFe6	0,615	0,396	1,407	0,167	177
V6	venko-22	35AlFe6	0,778	0,389	1,339	0,052	150
V7	venko-22	50AlFe6	0,615	0,396	1,407	1,023	177

Tab. 16 – vedení 22 kV

7.1.4 Zatížení DS

Parametry modelovaného zatížení jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 17. Modelované zatížení odpovídá měřené střední hodnotě na začátku vývodu v jednom ze dnů měřeného období. Zatížení je tak modelované jako součtové na začátku modelovaného vývodu 22 KV.

Název	U [kV]	I [A]	cos fi	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Z1	22	31,0	0,98	2005,08	407,15	2046,0

Tab. 17 – zatížení DS

7.1.5 Transformátor 22 /0,4 kV

Vyvedení výkonu z posuzované FVE je přes dva transformátory o výkonu 1000 kVA. Pro zjednodušené modelování byly transformátory nahrazeny ekvivalentem, který má sečtený výkon a ztráty nakrátko, převod napětí a napětí nakrátko zůstávají stejné. Výsledné parametry ekvivalentu jsou uvedeny v tabulce Tab. 18. Toto zjednodušení nijak neovlivní výsledky analýzy připojitelnosti.

Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	u _k [%]	Zap. prim.	Zap. sekun.
T2	22	0,4	2	21	6	D	yn

Tab. 18 – transformátor u FVE

7.1.6 Ekvivalent FVE

Použitý typ střídačů neumožňuje regulaci účinníku. Z tohoto důvodu byla elektrárna modelována s neutrálním účinníkem na straně NN. Pro splnění požadavku dodržení neutrálního účinníku v předávacím místě bude nezbytná instalace kompenzace na straně NN.

Název	U _n [kV]	S _n [kVA]	cos fi
FVE1	0,4	2000,0	1

Tab. 19 – parametry posuzované FVE

7.1.7 Použitý typ střídačů

V tomto konkrétním případě byly použity pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý střídače Kaco Powador 33000xi. Jedná se o střídače bez možnosti regulace účinníku. Základní parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 20.. Podrobná specifikace je pak uvedena v Příloze 5 této práce.

Výstupní výkon	33,3 kW
Jmenovité napětí :	230 V
Frekvence :	50 Hz
Jmenovitý účinník :	1
Tolerance napětí :	-17 / +15 %

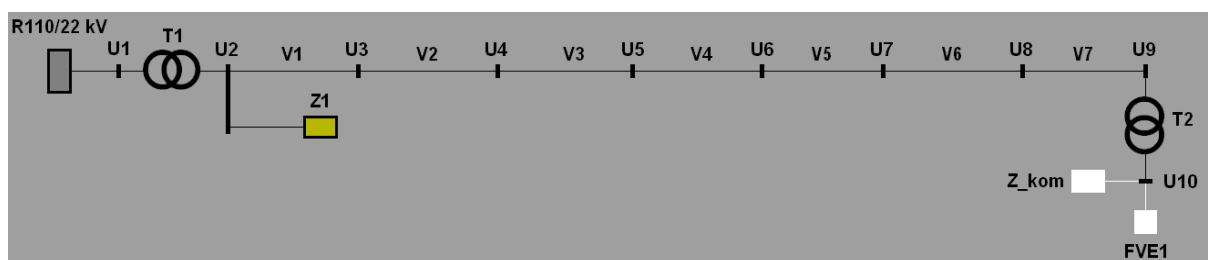
Tolerance frekvence :	+/- 0,5 Hz
-----------------------	------------

Tab. 20 – základní parametry použitého typu střídačů

7.2 Referenční stav

Schéma zapojení před připojením FVE k DS, resp. referenční stav před posouzením vyvolané napěťové změny je uveden na následujícím Obr. 5. Předávací místo posuzované FVE je ve schématu označeno U9. Referenčním stavem pro výpočet vyvolané napěťové změny je provoz zatížené sítě včetně transformátoru FVE. Výsledkem analýzy tak bude vyvolaná napěťová změna připojením vlastní FVE, která odpovídá stavu spínání a odpínání posuzovaného zdroje. Transformátor u FVE je součástí referenčního stavu z provozních důvodů, neboť je trvale pod napětím a není tedy připínán při „spuštění“ FVE.

Napěťové a proudové poměry jsou uvedeny v tabulkách v Příloze 2 této disertační práce.



Obr. 5 – výchozí zapojení dotčené části DS

7.3 Poměry po připojení samotného zdroje

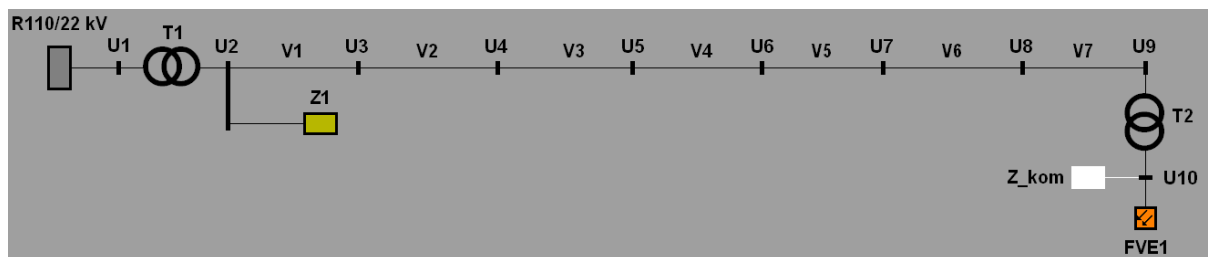
Pokud připojím posuzovaný zdroj k DS (schéma na Obr. 6) bude vyvolaná napěťová změna v předávacím místě 1,71% (podrobné výsledky viz. Tab. 21). Podrobím-li poměry v předávacím místě podrobnější analýze, mohu konstatovat, že tato napěťová změna neodpovídá neutrálnímu účinníku v předávacím místě. Při tomto zapojení dochází k odebrání jalového výkonu z DS (a tím zlepšování podmínek připojitelnosti) o velikosti 103,42 kVAR. Toto je způsobeno spotřebou transformátoru pro vlastní magnetizaci a dochází tak k nadlepšování podmínek připojitelnosti, což není z pohledu platné metodiky správné, mimo jiné není zaručen nediskriminační přístup v případě posouzení eventuálního dalšího z žadatelů o připojení do této části DS.

Dalším z faktorů, které je při posouzení připojitelnosti posuzovaného zdroje zapotřebí kontrolovat je úroveň napětí na svorkách zdroje po jeho připojení. Každý z výrobců uvádí možný pohyb napětí na svorkách daného zařízení, od kterého se odvíjí i nastavení přepěťových a podpěťových ochran. Po připojení námi posuzovaného zdroje bude na svorkách zdroje nárůst napětí na 6,92 % U_n .

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
U1	0,04	0,05	0,01
U2	-4,37	-4,35	0,02
U3	-4,37	-4,37	0,00
U4	-4,37	-5,11	-0,73

U5	-4,37	-5,36	-0,99
U6	-4,37	-5,79	-1,42
U7	-4,37	-5,83	-1,46
U8	-4,37	-5,85	-1,47
U9	-4,37	-6,08	-1,71
U10	-4,37	-6,92	-2,55

Tab. 21 – velikost napěťové změny po připojení samotného zdroje



Obr. 6 – schéma zapojení dotčené části DS po připojení samotného zdroje

Napěťové a proudové poměry po připojení zdroje k DS jsou uvedeny v Příloze 2 této disertační práce.

7.4 Poměry po připojení zdroje s kompenzací nežádoucího odběru jalové energie z DS

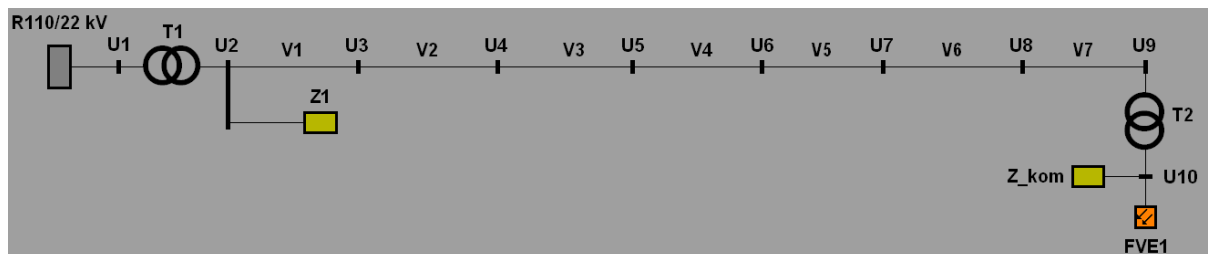
Pokud budeme respektovat požadavek na dodržení neutrálního účinníku v předávacím místě, bude nezbytné eliminovat nežádoucí odběr jalového výkonu z DS. Vzhledem k instalaci střídačů bez možnosti regulace PF, bude nezbytné instalovat na hladině NN (z finančních a provozních důvodů) kompenzaci odebírané jalové energie. S ohledem na předchozí posouzení víme, že velikost této kompenzace s ohledem na velikost odebíraného jalového výkonu činí až 103,42 kVAr.

Po připojení zdroje včetně dekompenzace činí vyvolaná napěťová změna v předávacím místě 1,84 % (viz. Tab. 22) a poměry v předávacím místě odpovídají neutrálnímu účinníku. Po připojení zdroje je nárůst napětí na jeho svorkách 7,34% U_n .

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	rozdíl
U1	0,04	0,04	0,00
U2	-4,37	-4,39	-0,02
U3	-4,37	-4,41	-0,04
U4	-4,37	-5,21	-0,83
U5	-4,37	-5,47	-1,1
U6	-4,37	-5,92	-1,55
U7	-4,37	-5,96	-1,59
U8	-4,37	-5,98	-1,6
U9	-4,37	-6,22	-1,84

U10	-4,37	-7,34	-2,97
-----	-------	-------	-------

Tab. 22 – velikost napěťové změny po připojení samotného zdroje



Obr. 7 – schéma zapojení dotčené části DS po připojení posuzovaného zdroje s kompenzací

Podrobné výsledky napěťových a proudových poměrů po připojení zdroje s kompenzací jsou uvedeny v Příloze 2 této práce.

7.5 Příspěvek ke zkratovému proudu

Při výpočtu příspěvku ke zkratovému proudu budu vycházet z předpokladu, který je ve většině případů výrobcem deklarován, tedy že použité měniče přispívají ke zkratu proudem v maximální výši jejich jmenovitého proudu. Přepočtu-li toto na náš případ, pak bude posuzovaná FVE přispívat ke stávající hodnotě proudu v předávacím místě (1,708kA) proudem o velikosti 0,045 kA, což je nárůst o cca 2,63%.

7.6 Výpočet úrovně harmonických proudů

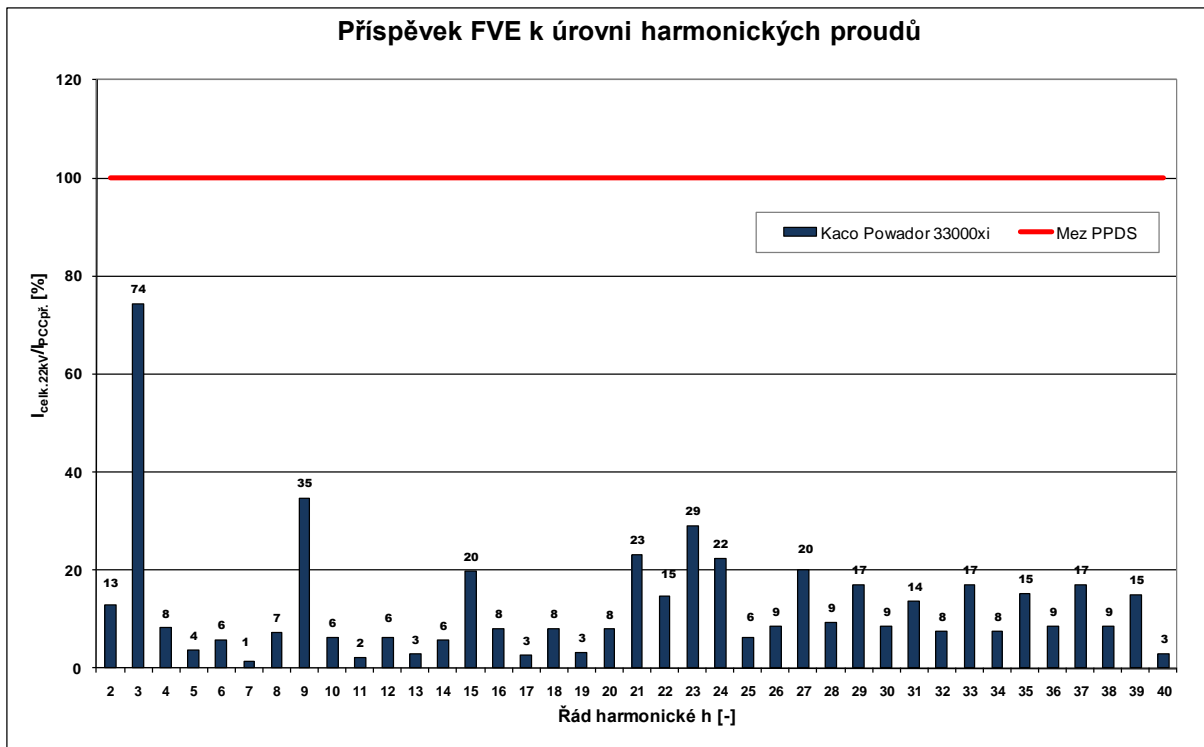
Při výpočtu úrovně harmonických proudů vycházíme z katalogového listu výrobce střídačů Kaco Powador 33000 xi (uvedený v Příloze 5). Výpočet byl proveden v souladu s metodikou výpočtu uvedenou v základních bodech v části 5.4.4.. Podrobný popis metodiky je uveden v Příloze 4 PPDS [1]. Níže uvedená tabulka Tab. 23 uvádí emisi harmonických proudů na jednotlivých řádech deklarovanou výrobcem, jejich přepočet na stranu 22kV a porovnání s přepočtenými hodnotami vztažných proudů na zkratový výkon v předávacím místě, který má hodnotu $S''_{kv} = 63,86$ MVA. Pro uvedený výkon FVE bude použito 60 střídačů výše uvedeného typu.

Řád harmonické h	$I_{h0,4kV}$ [A]	$I_{celk. 0,4kV}$ [A]	$I_{celk. 22kV}$ [A]	$I_{\mu n p \check{r}}$ [A/MVA]	$I_{PCC p \check{r}}$ [A]	Vyhovuje [ANO/NE]
2	0,113	6,78	0,1233	0,0150	0,9579	ANO
3	0,326	19,56	0,3556	0,0075	0,4790	ANO
4	0,036	2,16	0,0393	0,0075	0,4790	ANO
5	0,122	7,32	0,1331	0,0580	3,7039	ANO
6	0,017	1,02	0,0185	0,0050	0,3193	ANO
7	0,036	2,16	0,0393	0,0410	2,6183	ANO

8	0,016	0,96	0,0175	0,0038	0,2427	ANO
9	0,061	3,66	0,0665	0,0030	0,1916	ANO
10	0,011	0,66	0,0120	0,0030	0,1916	ANO
11	0,032	1,92	0,0349	0,0260	1,6604	ANO
12	0,009	0,54	0,0098	0,0025	0,1597	ANO
13	0,032	1,92	0,0349	0,0190	1,2133	ANO
14	0,007	0,42	0,0076	0,0021	0,1341	ANO
15	0,022	1,32	0,0240	0,0019	0,1213	ANO
16	0,009	0,54	0,0098	0,0019	0,1213	ANO
17	0,017	1,02	0,0185	0,0110	0,7025	ANO
18	0,008	0,48	0,0087	0,0017	0,1086	ANO
19	0,017	1,02	0,0185	0,0090	0,5747	ANO
20	0,007	0,42	0,0076	0,0015	0,0958	ANO
21	0,019	1,14	0,0207	0,0014	0,0894	ANO
22	0,012	0,72	0,0131	0,0014	0,0894	ANO
23	0,102	6,12	0,1113	0,0060	0,3832	ANO
24	0,017	1,02	0,0185	0,0013	0,0830	ANO
25	0,018	1,08	0,0196	0,0050	0,3193	ANO
26	0,006	0,36	0,0065	0,0012	0,0766	ANO
27	0,013	0,78	0,0142	0,0011	0,0702	ANO
28	0,006	0,36	0,0065	0,0011	0,0702	ANO
29	0,01	0,6	0,0109	0,0010	0,0639	ANO
30	0,005	0,3	0,0055	0,0010	0,0639	ANO
31	0,008	0,48	0,0087	0,0010	0,0639	ANO
32	0,004	0,24	0,0044	0,0009	0,0575	ANO
33	0,009	0,54	0,0098	0,0009	0,0575	ANO
34	0,004	0,24	0,0044	0,0009	0,0575	ANO
35	0,008	0,48	0,0087	0,0009	0,0575	ANO
36	0,004	0,24	0,0044	0,0008	0,0511	ANO
37	0,008	0,48	0,0087	0,0008	0,0511	ANO
38	0,004	0,24	0,0044	0,0008	0,0511	ANO
39	0,007	0,42	0,0076	0,0008	0,0511	ANO
40	0,004	0,24	0,0044	0,0023	0,1469	ANO

Tab. 23 – výpočet emise harmonických proudů

Výše uvedené hodnoty příspěvku harmonických proudů od posuzované FVE v předávacím místě byly vztaženy k vypočteným limitním hodnotám pro jednotlivé harmonické řády a tyto pak zakresleny společně s limitní hodnotou do sloupcového grafu uvedeného na Obr. 8. Z grafu je tak vidět nejenom velikost vlastního příspěvku FVE na jednotlivých řádech harmonických proudů, ale i velikost nevyčerpaného prostoru z povoleného pásma pro pohyb příspěvku daného harmonického řádu v předávacím místě.



Obr. 8 – příspěvek FVE k úrovni harmonických proudů v předávacím místě

7.7 Závěry posouzení

Z uvedeného posouzení FVE o jmenovitém výkonu 2 MW je zřejmé, že její připojení z pohledu vyvolané napěťové změny je možné, neboť nejvyšší hodnota napěťové změny vyvolané připojením zdroje dosahuje v předávacím místě hodnoty 1,84 % při dodržení kritéria neutrálního účinníku v předávacím místě. Vzhledem k použitému typu střídačů je potřebné pro splnění kritéria neutrálního účinníku v předávacím místě instalovat kompenzaci o výkonu cca 100 kVAr.

Z výsledků posouzení harmonických proudů je zřejmé, že se příspěvky pohybují výrazně pod limitní hodnotou pro všechny posuzované řády harmonických s výjimkou třetího řádu, který dosahuje velikosti 74% limitní hodnoty, což činí 0,479 A v předávacím místě. Protože transformátory mají spojení vinutí Dyn1, třetí harmonická se nebude do sítě přenášet.

Budu-li uvažovat příspěvek elektrárny ke zkratovému proudu ve výši jmenovitého proudu elektrárny, pak po připojení posuzované elektrárny k DS vzroste úroveň zkratových proudů v předávacím místě o 2,63% což odpovídá celkové hodnotě 1,753 kA.

8 OVĚŘENÍ TEORETICKÉHO POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI

Ověření výše uvedeného teoretického posouzení připojitelnosti vycházejícího z metodického předpisu PPDS bude uvedeno pro případ vyvolané napěťové změny na zdroji o výkonu 2MW připojovaném do sítě VN. Teoretické posouzení je uvedeno v kapitole 7 této práce. Další část této kapitoly se věnuje popisu dalších výsledků provedení měření kvality elektřiny v předávacím místě na straně 22 kV.

8.1 Základní popis měření

Měřící místo: předávací místo (obchodní měření) 22kV

Analyzátor PQ: ENA 500.11, výrobce společnost ELCOM, a.s.

Měřené období: 4.5. – 15.5.2009

Typ a výkon měřeného zdroje: FVE, 2 MW

Typ použitých střídačů: Kaco Powador 33000xi

Základním intervalem měření PQ jsou dle požadavků ČSN EN 50160 desetiminutové průměrné efektivní hodnoty měřených veličin

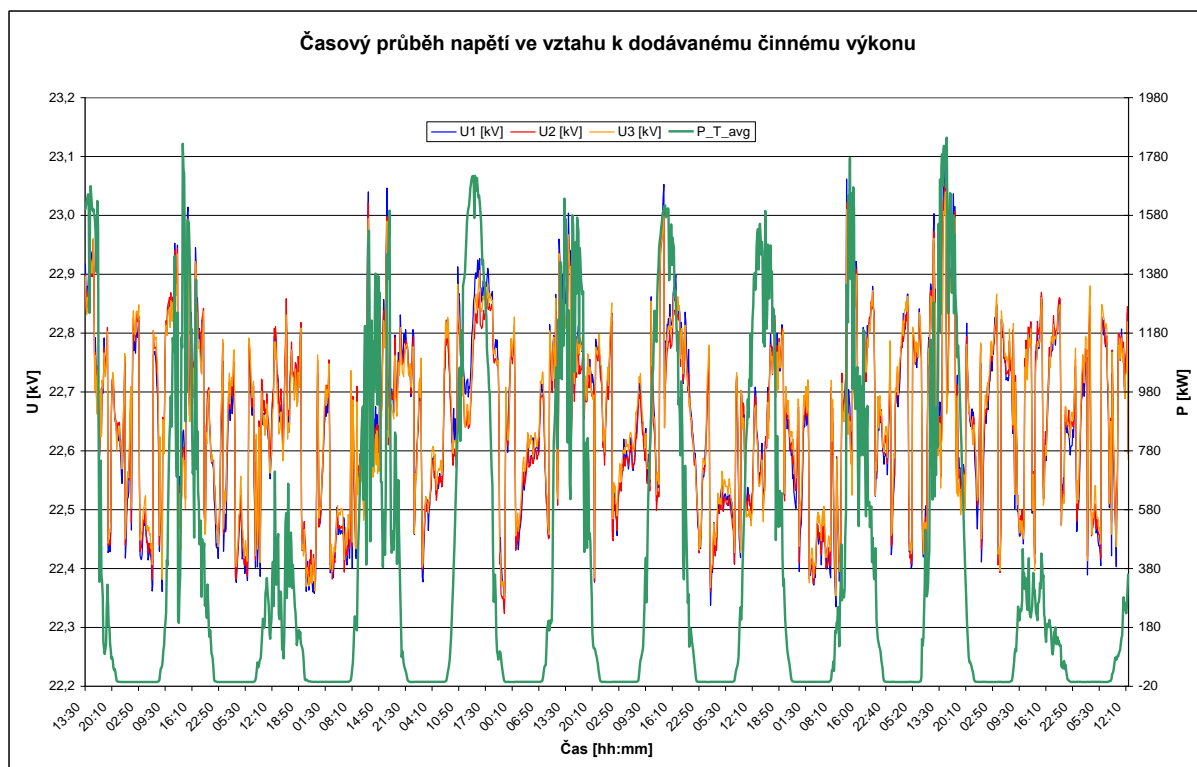
8.2 Výsledky měření

8.2.1 Porovnání velikosti vyvolané napěťové změny

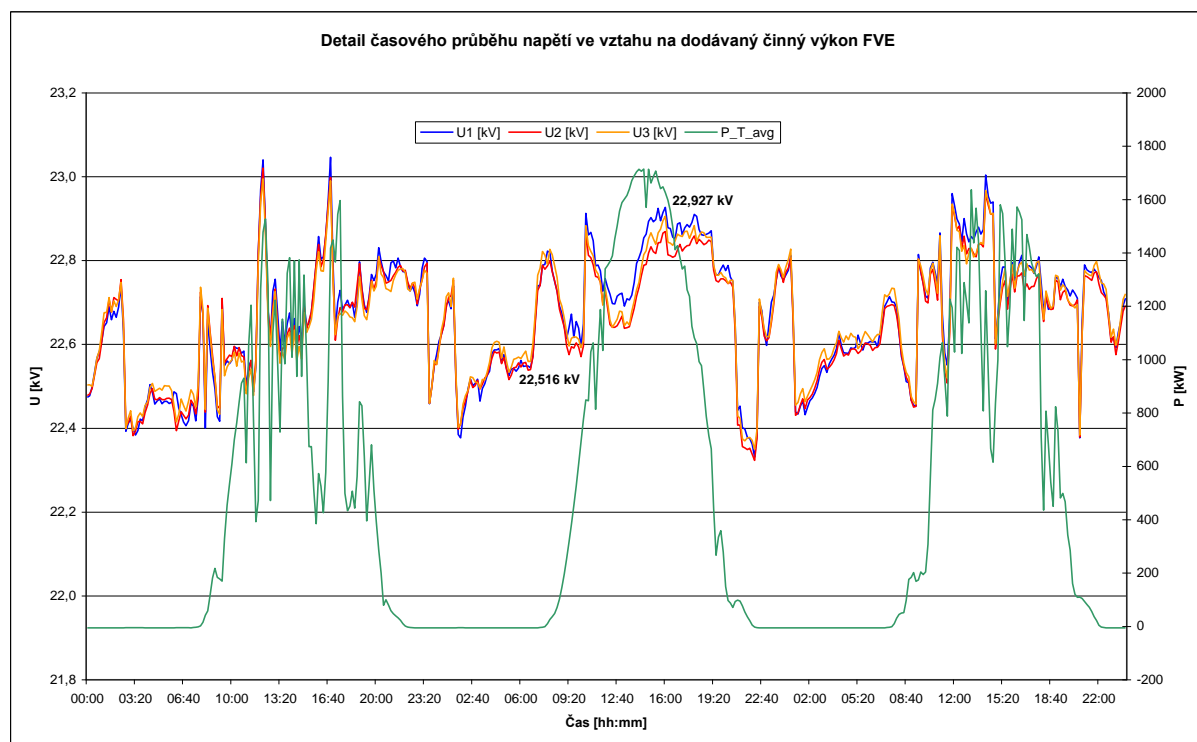
Jak již bylo uvedeno výše faktorem nejvíce limitujícím připojitelnost rozptýlené výroby v sítích VN je vyvolaná napěťová změna. Z teoretického výpočtu vyplývá, že v případě posuzovaného zdroje jde o vyvolanou napěťovou změnu cca 1,71 % (bez připojené kompenzace – odpovídá konečné realizaci FVE). Na následujícím Obr. 9 je uveden časový průběh napětí ve vztahu k dodávanému činnému výkonu v průběhu celého měřeného období. Z uvedeného průběhu je zřejmé, kdy bylo sluneční záření nejintenzivnější a bez výraznějších stínů (daných oblačností) a dodávka výkonu tak byla „nejčistší“. Naopak na těch dnech, kdy byla výraznější oblačnost je vidět značné kolísání dodávaného výkonu. Abych mohl stanovit z uvedeného průběhu velikost vyvolané napěťové změny, zpracuji detail dne, kdy byla oblačnost minimální a výkon elektrárny dosáhl maximálních hodnot (Obr. 10). Před náběhem dodávaného výkonu se úroveň napětí pohybovala zhruba na hodnotě **22,516 kV**. Po náběhu na maximální dodávaný výkon (1714,08 kW) se úroveň napětí pohybovala na hodnotě **22,927 kV**. Výsledná vyvolaná napěťová změna tak odpovídá hodnotě cca **1,87 %**. Porovná-li tuto velikost vyvolané napěťové změny s teoretickým posouzením, pak mohu konstatovat, že rozdíl obou hodnot je minimální. Je nutno podotknout, že teoretické posouzení vycházelo z hodnoty instalovaného výkonu 2 MW. Navíc je důležité poznamenat, že takto vypočtená hodnota odpovídá jednomu jedinému dni, kdy mohl být pohyb napětí ovlivněn i dalšími faktory nejenom nárůstem dodávaného výkonu. Pro stanovení přesnější hodnoty by bylo vhodné provést výpočet vyvolané napěťové změny pro více dnů a stanovit např. střední hodnotu vyvolané napěťové změny a tu pak porovnávat s hodnotou odpovídající teoretickému posouzení.

Pokud provedu zpřesnění modelu na základě provedeného měření a namodeluji maximální výkon FVE 1714,08 kW, pak bude vyvolaná napěťová změna odpovídat hodnotě cca **1,63 %**. Zpřesnění hodnoty zatížení (modelování hodnoty odpovídající konkrétnímu časovému údaji P_{max}) výsledek modelování v podstatě vůbec neovlivní.

Z uvedených hodnot je možné konstatovat, že rozdíly mezi teoretickým posouzením a výsledky vyplývajícími z provedeného měření nejsou nikterak výrazné a modelování tak může ve fázi návrhu velmi dobře prezentovat stav po připojení zdroje k DS. Je samozřejmé, že čím bude modelování přesnější, tím bude i rozdíl mezi teoretickým posouzením a stavem po připojení zdroje k DS ještě menší.



Obr. 9 – časový průběh napětí ve vztahu k dodávanému činnému výkonu

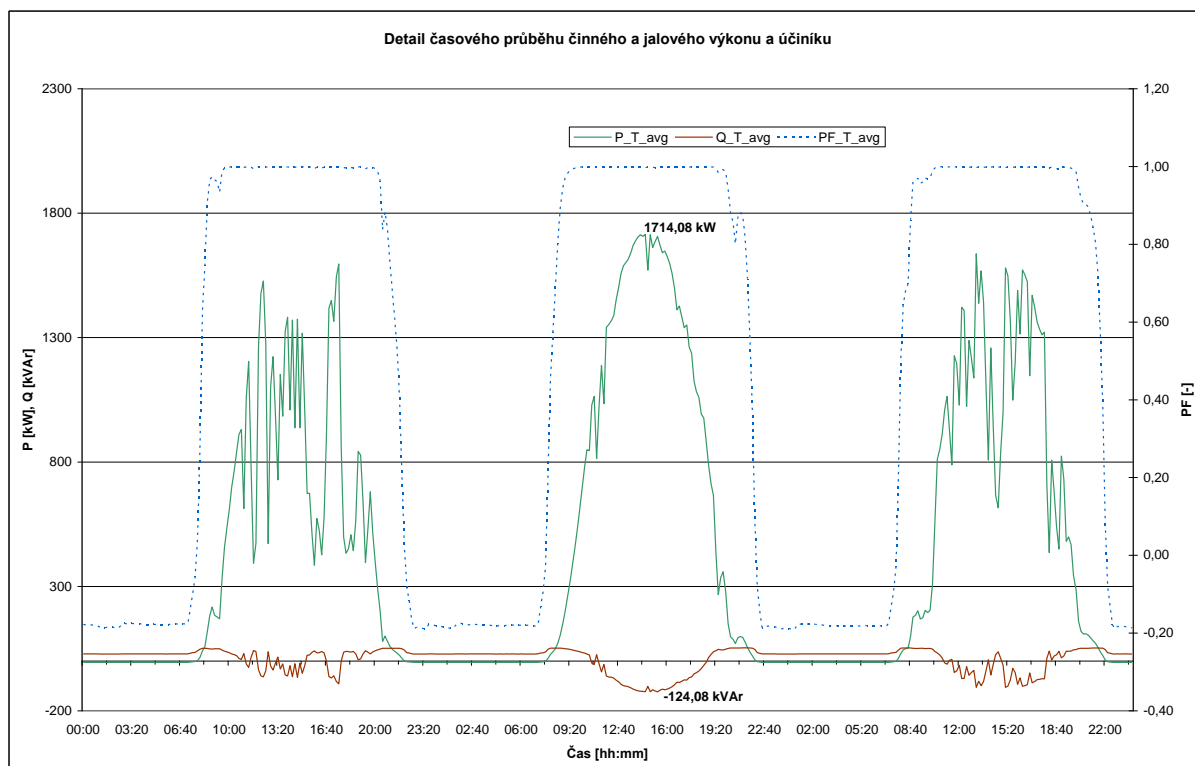


Obr. 10 – detail časového průběhu napětí ve vztahu k dodávanému činnému výkonu

8.2.2 Posouzení dodávky činného a jalového výkonu

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, je z uvedeného časového průběhu dodávky činného výkonu zřejmé, kdy bylo jasné počasí (hladká dodávka činného výkonu) a kdy bylo počasí polojasné či zatažené (rozkolísaná dodávka činného výkonu). Pro podrobnější analýzu dále uvádíme v této kapitole pouze detail časového průběhu dodávaného činného a jalového výkonu.

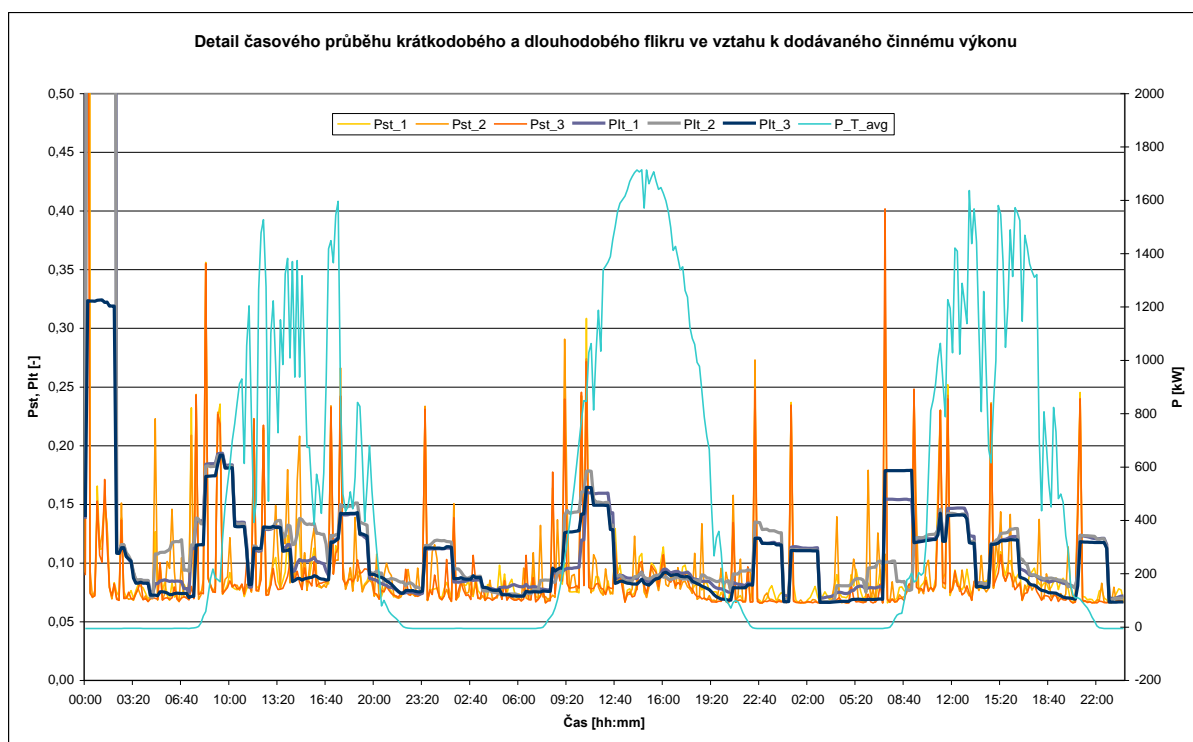
Z uvedeného detailu (Obr. 11) je zřejmý nárůst odběru jalového výkonu ze sítě pro pokrytí ztrát transformátoru, což je v případě připojeného zdroje nežádoucím jevem. Dokládá to fakt, kdy jsou použity měniče bez možnosti regulace účinníku a elektrárna nemá ani instalovanou kompenzaci, která by byla schopna tento požadavek na jalový výkon pokrýt. Při maximální dodávce činného výkonu **1714,08 kW**, tak dochází k odběru jalového výkonu **124,08 kVAr**. V případě jednoho zdroje se tato skutečnost nejeví jako dramatická, avšak díky v současné době existujícímu výraznému množství připojených takovýchto zařízení bez možnosti regulace účinníku je již tuto otázku nutné řešit. Při připojovaných větších výkonů FVE, což není výjimkou, by tak docházelo ke značné změně toku jalové energie a tím i možnému nárůstu ztrát v DS. Z uvedeného detailu je také vidět, že v době, kdy FVE nevyrábí (noc) dochází k nevyžádané dodávce jalové energie. Toto je způsobeno vnitřní kabelovou sítí, která zůstává trvale pod napětím. Nevyžádaná dodávka jalové energie je tak dána rozdílem generované jalové energie kabelovým rozvodem FVE poníženým o pokrytí ztrát naprázdno připojeného transformátoru. V noci pak dochází také ke změně směru toku činného výkonu, jehož velikost je dána vlastní spotřebou FVE.



Obr. 11 – časový průběh dodávaného činného výkonu, jalového výkonu a účinníku

8.2.3 Velikost výskytu flikru

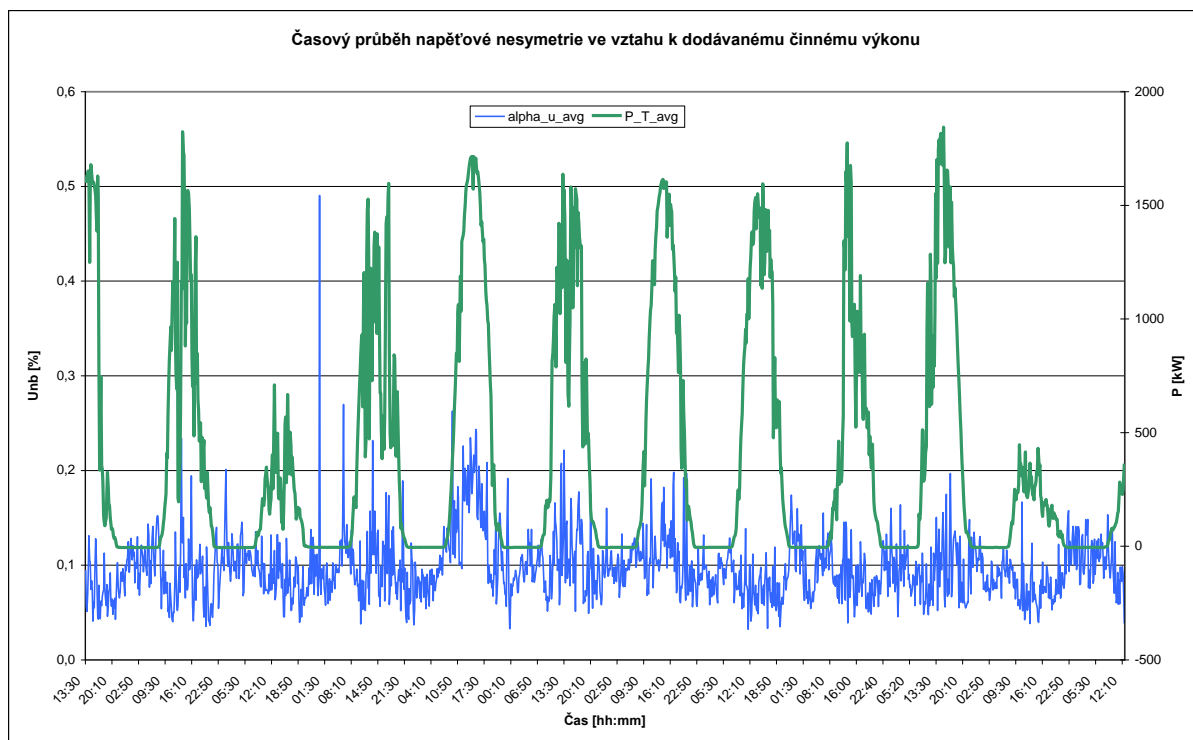
Na dalším obrázku (Obr. 12) je zakreslen výskyt krátkodobého a dlouhodobého flikru. Podklady pro modelování této charakteristické veličiny napětí nejsou výrobcí poskytovány a obecně je přijímán názor, že tyto zdroje nijak významně nepřispívají k úrovni flikru v předávacím místě. Z uvedeného průběhu je však možné vysledovat určité zvýšení úrovně jak Pst tak i Plt v období s horším počasím, což může být způsobeno nižším osvětlením fotovoltaických panelů a tím i nižší výrobou. Pro daný případ je nutno uvést, že se hodnoty Pst a Plt pohybují výrazně pod limitní hodnotou.



Obr. 12 – časový průběh krátkodobého a dlouhodobého flikru

8.2.4 Velikost napěťové nesymetrie

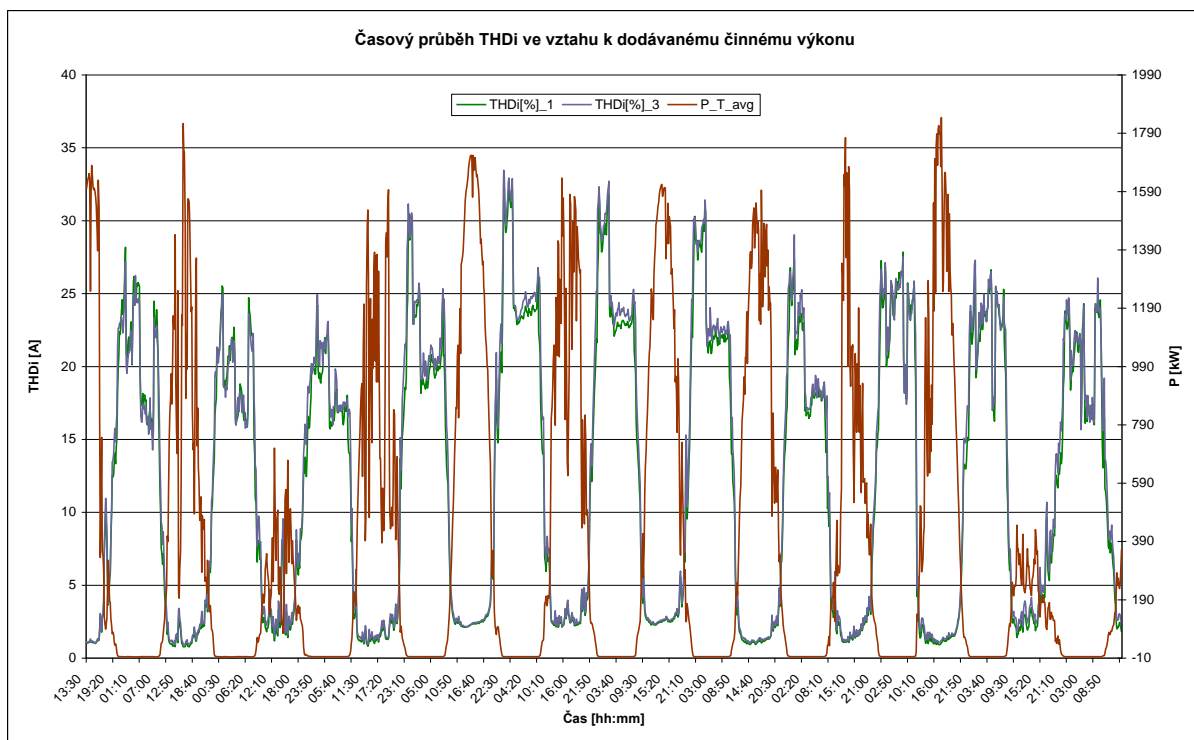
Na následujícím obrázku (Obr. 13) je uveden průběh měření časového vývoje nesymetrie ve sledovaném období ve vztahu k dodávanému činnému výkonu v předávacím místě. Z uvedeného průběhu je zřejmé, že dochází k mírnému navýšení hodnot nesymetrie, avšak její velikost je hluboko pod limitní hodnotou. Vliv na velikost úrovně napěťové nesymetrie má použitý typ střídačů. Pokud bychom použili jednofázové střídače se špatným rozdělením na jednotlivé fáze, bylo by ovlivnění velikosti nesymetrie připojenou FVE výrazně vyšší.



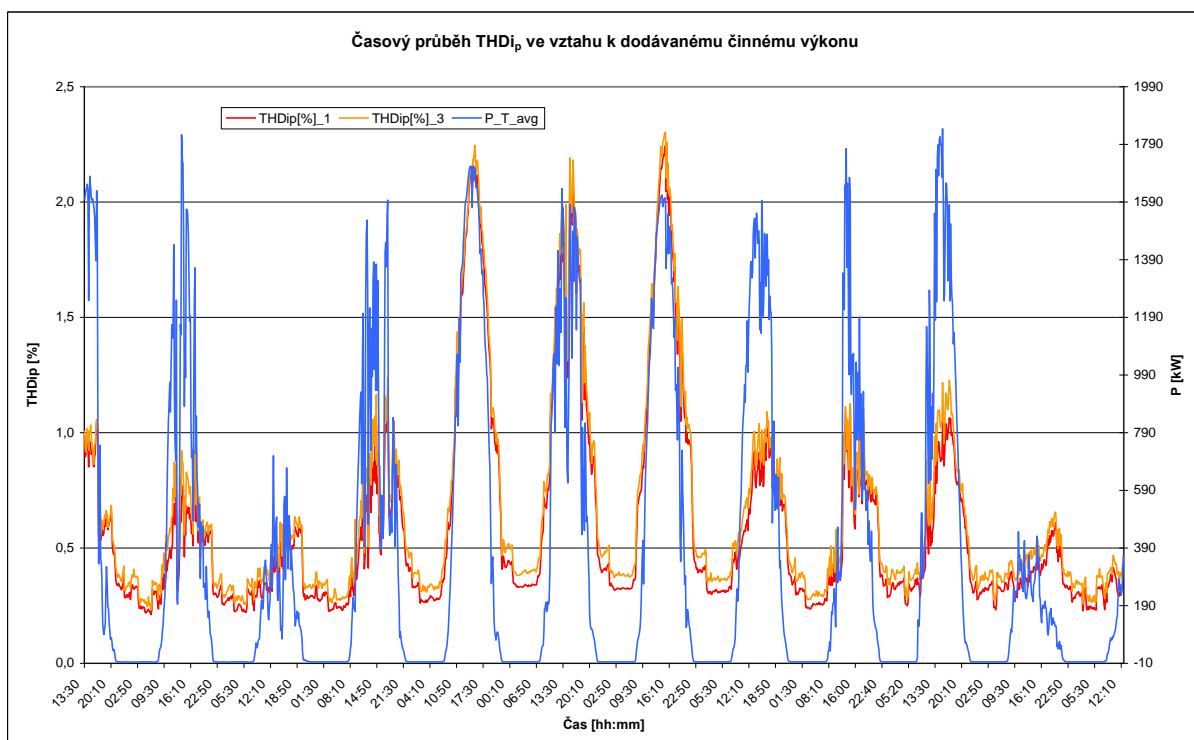
Obr. 13 – časový průběh napěťové nesymetrie ve vztahu k dodávanému činnému výkonu

8.2.5 Velikost celkového harmonického zkreslení proudu

Další z průběhů provedeného měření kvality elektřiny je časový průběh harmonických proudů ve vztahu k dodávanému výkonu. Výsledky měření jsou uvedeny na následujících Obr. 14 a Obr. 15. Na obou obrázcích je uveden týž časový průběh THDi. První obrázek prezentuje naměřené hodnoty THDi analyzátozem kvality elektřiny. Druhý pak přepočtené hodnoty THDi. Důvodem pro přepočet těchto hodnot je fakt, že analyzátor kvality elektřiny vztahuje měřené hodnoty harmonického spektra k aktuálnímu proudu první harmonické, což vede k opticky opačnému průběhu THDi, kdy jsou procentuální hodnoty THDi při výrobě nižší jak procentuální hodnoty THDi v době bez výroby, i když je jejich absolutní velikost výrazně nižší. Cílem přepočtu je tak uvést úroveň harmonických proudů v procentních hodnotách, avšak v souladu s jejich absolutní velikostí. Měřené procentní hodnoty tak byly přepočteny a výsledná absolutní hodnota harmonického zkreslení proudu v jednotlivých fázích, pak byla vztahena k maximálnímu měřenému proudu v příslušných fázích. Z takto upraveného průběhu THDi pak můžeme konstatovat, že měřený příspěvek THDi od měřené FVE dosahoval v maximu hodnoty cca 2,25 % ve fázi L1 resp. 2,3 % ve fázi L3.



Obr. 14 – časový průběh THDi zaznamenaný analyzátozem kvality elektřiny ve vztahu k dodávanému činnému výkonu



Obr. 15 – časový průběh přepočtené hodnoty THDi ve vztahu k dodávanému činnému výkonu

9 PŘÍKLAD POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI ROZPTÝLENÉ VÝROBY DO DS VVN

9.1 Výchozí parametry posouzení

Posouzení se týká farmy větrných elektráren o celkovém výkonu 15MW připojované do soustavy 110 kV. Předávací místo je ve schématu označeno jako UV1, vlastní posuzovaná farma VTE pak jako VTE_p. Farma bude osazena stroji Vestas V90 s generátorem o jednotkovém výkonu 3MW.

9.1.1 Napájecí uzel

Parametry napájecího uzlu uvádí následující tabulka Tab. 24. Napájecí uzel je charakterizován velikostí napětí a zkratovým výkonem resp. proudem.

Název	U _{vnt} [kV]	U _{prv} [kV]	I _{zkr} [kA]	S _{zkr} [MVA]
NU	400	400	35,682	24721,215

Tab. 24 – napájecí uzel 400 kV

9.1.2 Napájecí transformátor

Parametry napájecího transformátoru 400/121 kV jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 25. Při modelování je transformátor uvažován se základními jmenovitými parametry, doplněnými počtem a velikostí odboček.

Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	u _k [%]	i _o [%]	P _o [kW]	Počet. odb.	Krok [%]	I _{n1} [A]	I _{n2} [A]
T400	400	121	250	630	13	0,45	165	8	2	361	1455

Tab. 25 – napájecí transformátor 400/121kV

9.1.3 Vedení

Parametry vedení jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 26

Číslo	Druh	Typ	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [μS/km]	Délka [km]	I _{max} [A]
86	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	2,5	506
64	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	10	506
66	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	5	506
63	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	10	506
71	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	3	506

73	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	3	506
75	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	8	506
72	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	3	506
82	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	2	506
56	venko-110	DS450	0,065	0,385	2,98	15,09	725
46	venko-110	JS856A	0,156	0,406	2,91	1	431
9	venko-110	DS450	0,065	0,385	2,98	19	725
11	venko-110	JS856A	0,156	0,406	2,91	6,914	431
51	venko-110	DS450	0,065	0,385	2,98	10	725
13	venko-110	DD856F	0,156	0,401	2,88	6,11	300
17	venko-110	JS240A	0,125	0,401	2,88	0,598	522
40	venko-110	DS450	0,065	0,385	2,98	24,09	725
15	venko-110	JS856A	0,156	0,406	2,91	15,8	431
6	venko-110	DS240	0,125	0,407	2,82	3,066	509

Tab. 26 – vedení 110 a 22 kV

Uvedená kabelová vedení jsou modelována jako vedení použitá pro vyvedení výkonu z modelovaných farem VTE a jako ekvivalenty vedení vnitřního zapojení farem VTE. Modelování těchto ekvivalentních vedení jako náhradních modelů kapacity vnitřního rozvodu VTE je důležité vzhledem ke vzdálenostem propojení jednotlivých strojů uvnitř farmy, kdy celková kapacita vnitřního rozvodu společně s kapacitou vedení pro přenos vyrobené elektřiny z místa výstavby farmy VTE do předávacího místa, má značný vliv na výslednou hodnotu nejen provozovaného, ale především dosažitelného účinníku v předávacím místě.

9.1.4 Zatížení DS

Parametry modelovaného zatížení jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 27.

Název	U [kV]	I [A]	cos fi	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Z_6	110	47,56	0,98	8900,0	1700,0	9060,91
Z_5	110	118,24	0,99	22300,0	3200,0	22528,43
Z3	110	2,62	0,95	475,0	156,12	500,0
Z_4	110	186,21	0,98	34800,0	6900,0	35477,46

Tab. 27 – zatížení DS

9.1.5 Injekce z DS nižšího napětí

Vzhledem ke značnému množství instalované rozptýlené výroby v sítích vysokého napětí dochází nečíslně k přetokům do nadřazené soustavy. Příklad modelování takového stavu je zpracován pro tři uzly modelované UO 110kV. Použité parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 28.

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos fi
89	G_4	110	43000	1
88	G6	110	13000	1
90	G_5	110	55000	1

Tab. 28 – injekce z DS nižšího napětí

9.1.6 Transformátory 110 kV/VN

Vyvedení výkonu z modelovaných farem VTE je realizováno prostřednictvím transformace 110/22 kV. Parametry jednotlivých transformátorů jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 29. Transformátor sloužící pro vyvedení výkonu z posuzované farmy VTE je v tabulce šedivě podbarven.

Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	u _k [%]	Počet. odb.	Krok [%]	I _{n1} [A]	I _{n2} [A]
TV2a	110	23	25	163	11	8	2	131,4	628,3
TV3	110	23	63	360	17,5	8	2	331	1583
TV1a	110	23	63	360	13	8	2	331	1583
TV4	110	23	63	360	17,5	8	2	331	1583
TVpa	110	23	16	118	10,5	8	2	84,1	402,1

Tab. 29 – transformátor u FVE

9.1.7 Transformátory VN / NN

Parametry ekvivalentů transformátorů instalovaných v jednotlivých strojích (transformace VN/NN) jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 30. Tvorba těchto ekvivalentů nijak neovlivní výsledky modelování. Parametry ekvivalentu transformátorů instalovaných v posuzované farmě VTE jsou šedivě podbarveny.

Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	u _k [%]	Počet. odb.	Krok [%]	I _{n1} [A]	I _{n2} [A]
TV1b	22	1	62,8	668	8	2	2,5	1650	36300
TVpb	22	1	15,7	167	8	2	2,5	412,5	9075
TV2b	22	1	25,12	267,2	8	2	2,5	660	14520

Tab. 30 – parametry ekvivalentů transformátorů VN/NN

9.1.8 Ekvivalenty VTE

Pro modelované farmy VTE i pro posuzovanou farmu VTE byly zpracovány ekvivalenty se stejnými charakteristickými vlastnostmi, takže nemají vliv na výsledky modelování, ale zvyšují přehlednost celého výpočtu. V následující tabulce Tab. 31 jsou uvedeny parametry těchto ekvivalentů. Některé ze zpracovaných ekvivalentů se odlišují jmenovitým napětím a jsou modelovány o napěťovou úroveň výše. Cílem takového modelování je ukázat výsledky

zpracování ekvivalentních zařízení v případech, kdy není zcela přesně známa vnitřní struktura modelované farmy VTE. Parametry ekvivalentu posuzované VTE jsou v tabulce podbarveny šedivou barvou.

Název	U [kV]	S_n [kVA]	$\cos \varphi_n$	P [kW]	$\cos \varphi$	k	$\cos \varphi_k$	c	fi
VTE1	1	60000,0	1	60000	0,981	10,7	0,3	0,46	85,00
VTE4	22	50000,0	1	50000	0,991	8	0,3	1,5	85,00
VTE2	1	24000,0	1	24000	0,987	10,7	0,3	0,72	85,00
VTE3	22	51000,0	1	51000	0,99	8	0,3	1,2	85,00
VTE_p	1	15000,0	1	15000	0,987	10,7	0,3	0,91	85,00

Tab. 31 – parametry posuzované FVE

9.1.9 Parametry generátoru VTE

Jak již bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, jsou v posuzované farmě VTE použity stroje VESTAS V90 o jednotkovém výkonu 3MW. Souhrn parametrů generátorů tohoto typu stroje je uveden v následující tabulce Tab. 32.

Výrobce	Vestas
Typ	V 90 3,0 MW
Jmenovitý činný výkon (P_n)	3000 kW
Typ generátoru	Asynchronní, dvojitě napájený
Napětí (U_n)	1 kV
Frekvence (f)	50 Hz
Jmenovitý účinník generátoru ($\cos \varphi$)	1
Zkratový poměr (k)	10,7
Maximální činitel flikru (c)	2,04
Úhel flikru (ψ)	85°
Rozsah účinníku	0,98kap ÷ 0,96ind (spotřebičová orientace)

Tab. 32 - parametry generátoru VTE

Podrobné parametry včetně parametrů nezbytných pro posouzení zpětných vlivů VTE na kvalitu elektřiny jsou uvedeny v Příloze 6 této práce.

9.1.10 Parametry transformátoru VTE

Transformátor pro stroj Vestas V 90 3,0 MW je umístěn v gondole VTE spolu s generátorem. Souhrn parametrů je uveden v následující tabulce Tab. 33.

Jmenovitý výkon:	3140 kVA
Napětí vn (U_1):	22 kV
odbočky:	± 2 x 2,5 %
Napětí (U_2):	1 kV

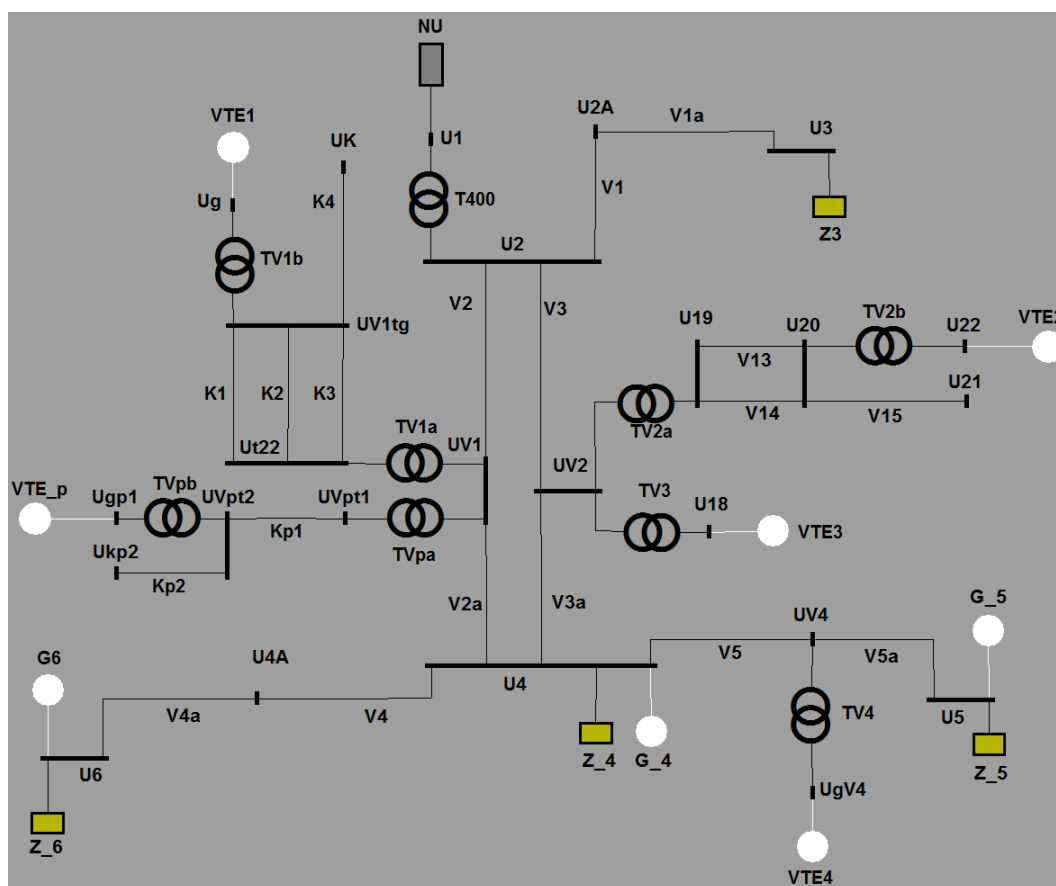
Zapojení vinutí	Dyn
Ztráty nakrátko (P_k)	33,4 kW
Napětí nakrátko (u_k)	8 %

Tab. 33 - parametry transformátoru pro V 90 3,0 MW

9.2 Referenční stav

Výchozím stavem modelování, tzv. referenční stav, jsou napěťové a proudové poměry v modelované síti před připojením modelované farmy VTE, souvisejících zdrojů a výkonových injekcí z nižších napěťových hladin (viz. Obr. 16). Předávací místo posuzované farmy VTE je ve schématu označeno UV1. Do modelu referenčního stavu vstupují všechny modelované zátěže a veškerá zařízení modelovaných VTE (transformátory a kabelová vedení). Výsledkem analýzy tak bude vyvolaná napěťová změna současným připojením všech modelovaných zdrojů včetně injekcí z nižších napěťových hladin. Důvodem tohoto modelování je snaha o co největší přiblížení se reálnému provoznímu stavu, kdy při krátkodobém odpojení VTE zůstává veškeré zařízení VTE (transformátory a kabelová vedení) pod napětím.

Napěťové a proudové poměry jsou uvedeny v samostatné Příloze 3 této práce.



Obr. 16 – schéma zapojení referenčního stavu

9.3 Poměry po připojení posuzované farmy VTE

Již v předchozích odstavcích této práce jsem uváděl, a i na konkrétním příkladu dokládal, že při posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby do DS je nutné respektovat zdroje rozptýlené výroby již do DS připojené, ale i zdroje, jejichž připojení bylo uvažováno před posuzováním analyzované zdroje VTE. Z těchto postupů budu vycházet i při následných posouzeních a výpočtech.

9.3.1 Posouzení napěťové změny

Schéma sítě po připojení posuzovaného zdroje a souvisejících zdrojů včetně výkonových injekcí z nižších napěťových hladin je uvedeno na následujícím obrázku Obr. 17. Před provedením vlastního výpočtu vyvolané napěťové změny byly účinníky všech strojů nastaveny na takovou hodnotu, aby bylo v předávacím místě dosaženo neutrálního účinku. Vzhledem k rozsáhlé vnitřní síti kabelových vedení a dvojí transformaci není stejný účinník na strojích a v předávacím místě. V případě posuzované farmy VTE bylo neutrálního účinníku v předávacím místě dosaženo při účinníku $\cos \varphi = 0,987$ na stroji. Vyvolaná změna napětí připojením posuzovaného zdroje včetně zdrojů souvisejících je uvedena pro všechny uzly sítě tabulce Tab. 34. Při výpočtu je nutné respektovat povolený rozsah napětí na svorkách generátoru, aby nemohlo dojít k posuzování stavu, kdy sice bude dosaženo provozního účinníku, avšak nebude možné posuzovaný stroj s takto nastaveným účinníkem provozovat. V případě posuzované farmy VTE je v předávacím místě vyvolaná napěťová změna rovna hodnotě 0,71%, při změně napětí na generátoru -3,29%. Obě hodnoty se pohybují pod limitními hodnotami. Podrobné napěťové a proudové poměry po připojení jsou uvedeny v samostatné Příloze 3 této práce.

Ukp2	-0,2	-1,37	-1,17
------	------	-------	-------

Tab. 34 – velikost vyvolané napěťové změny

9.3.2 Flikr

Dopad posuzované farmy VTE na úroveň flikru je možné posoudit díky parametru „c“ – součinitel flikru, který se uvádí pro každý stroj používaný ve větrné energetice. Tento parametr se stanovuje z protokolu o měření kvality elektřiny, viz. Příloha 6 této práce. Uvádí se pro různé rychlosti větru a různé úhly impedance sítě. Z uvedených hodnot se pak pro modelování a posouzení, zda nedochází k překračování povoleného příspěvku, bere hodnota nejvyšší (v případě posuzované farmy jde o hodnotu 2,04). V případě posuzované farmy VTE pak po dosažení vychází výsledná úroveň flikru v předávacím místě 0,011, což je výrazně pod limitní hodnotou. Zásadní pro výpočet celkové úrovně flikru je znalost principu skládání příspěvků jednotlivých zdrojů flikru. Zatímco pro normální zdroje jsou příspěvky v souladu s [9] skládány přes třetí mocniny, příspěvky od větrných elektráren jsou skládány pouze přes mocniny druhé.

Uzel	Pst	Uzel	Pst
U1	0,001	U18	0,014
U2	0,008	U19	0,014
U3	0,008	U20	0,014
U4	0,015	U21	0,014
U5	0,015	U22	0,014
U6	0,015	UV1tg	0,011
U4A	0,015	UK	0,011
U2A	0,008	Ug	0,011
UV4	0,015	UVpt1	0,086
UgV4	0,015	UVpt2	0,097
UV1	0,011	Ugp1	0,161
Ut22	0,011	Ukp2	0,097
UV2	0,014		

Tab. 35 – velikost flikru

9.3.3 Útlum signálu HDO

Pro posouzení útlumu signálu HDO je nezbytné znát charakteristické vlastnosti posuzované technologie. Zásadní na posouzení je, zda bude generátor připojen k DS přímo nebo přes výkonový střídač. Stroj připojený k síti přímo bude mít na úroveň signálu výrazně větší vliv jak stroj připojený přes výkonový střídač.

V posuzovaném případě způsobí farma VTE útlum signálu HDO v předávacím místě o velikosti 1,23%. Tato hodnota se nachází pod limitními hodnotami uvedenými v [1] a [6].

Skutečný vliv je však v praxi nezbytné ověřit kontrolním měřením při uvádění posuzované farmy VTE do provozu a při posouzení vycházet ze skutečné úrovně signálu HDO v daném místě DS.

Uzel	dU [%]
U2	0,00
U3	0,00
U4	0,71
U5	0,71
U6	0,71
U4A	0,71
U2A	0,00
UV4	0,71
UV1	1,23
UV2	0,37
UVpt1	34,69
UVpt2	39,13
Ugp1	66,39
Ukp2	39,13

Tab. 36 – útlum signálu HDO

Pro případ modelování je vždy nezbytné respektovat místo připojení vysílače HDO a místo připojení posuzovaného zdroje. Pokud bude zdroj připojen do místa připojení vysílače HDO, bude potřebné z pohledu modelování posuzovat spíše jak útlum signálu HDO proudové zatížení vysílače HDO.

9.3.4 Příspěvek ke zkratovému proudu

Pro zjištění zkratového příspěvku v předávacím místě od posuzované farmy VTE je nezbytné vypočítat výchozí zkratové poměry před připojením farmy VTE. V předávacím místě je při třífázovém zkratu zkratový proud 9,539 kA. Ve výchozím stavu jsou respektovány i příspěvky farem VTE, které jsou již v síti připojené či jejich připojení bylo zkoumáno před posuzovanou farmou VTE. Po připojení farmy s respektováním zkratových příspěvků všech ostatních zdrojů připojených v modelované uzlové oblasti 110kV vzrostl v předávacím místě zkratový proud na hodnotu 9,852 kA. Zkratové poměry jsou shrnuty v následující tabulce Tab. 37. Z uvedených hodnot je tak zřejmé, že vlastní příspěvek posuzované farmy VTE je 0,313 kA tedy 3,28 % (vztaženo k výchozí hodnotě zkratového proudu).

$I_{k\text{před}}$ [kA]	$I_{k\text{po}}$ [kA]	ΔI_k [kA]	ΔI_k [%]
9,539	9,852	0,313	3,28

Tab. 37 – zkratové proudy

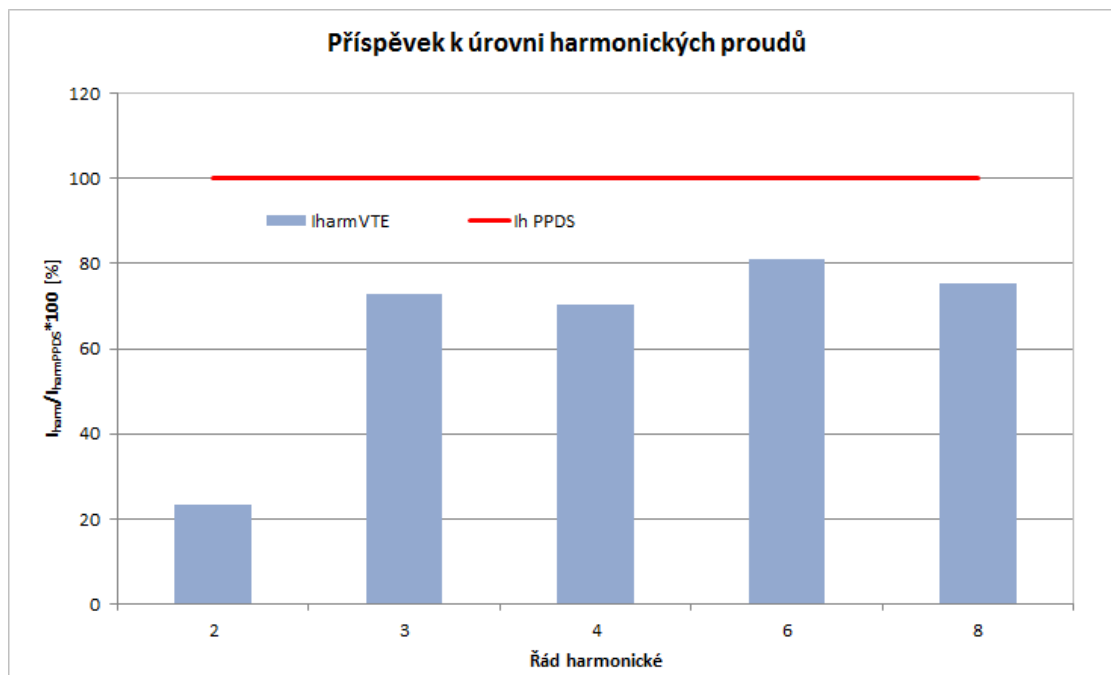
9.3.5 Úroveň harmonických proudů

Při výpočtu emise harmonických proudů od posuzované VTE jsem vycházel ze zkušebního protokolu společnosti DEWI [24]. Ve zmiňovaném protokolu jsou uvedeny emise harmonických proudů na hladině 10,5 kV v procentech jmenovitého proudu (**166A**). Uvedené hodnoty pro jeden stroj jsem přepočítal na hladinu 110 kV a přepočítal na počet instalovaných strojů, čímž jsem získal celkovou emisi harmonických proudů v předávacím místě. Tyto výsledné hodnoty jsem pak porovnal s limitními hodnotami uvedenými v [1]. Výsledky výpočtu uvádí následující tabulka Tab. 38. Z provedeného hodnocení vyplývá, že nedochází k překročení limitních hodnot. Vzhledem k tomu, že vyvedení výkonu z farmy VTE se neskládá pouze ze samotných strojů, ale z řady dalších zařízení, která mohou být případným zdrojem harmonických, je nezbytné před uvedením do provozu provést kontrolní měření kvality elektřiny, na jehož základě může místní provozovatel distribuční soustavy rozhodnout o dodatečné instalaci zařízení pro eliminaci úrovně harmonických proudů (filtr pro příslušné řády).

Řád harmonické h	Emise 10,5kV	VTE1	VTE_p	Celkem	Limit PPDS	Přípustný proud PPDS	Výsledek
	I_h/I_n [%]	$I_{hVTE1\ 110\ kV}$ [A]	$I_{hVTE_p\ 110\ kV}$ [A]	$I_{hc\ 110\ kV}$ [A]	$I_{v,\mu\ zul}$ [A/GVA]	I [A]	
2	0,2	0,634	0,158	0,792	2,625	3,37	Ano
3	0,31	0,982	0,246	1,228	1,313	1,685	Ano
4	0,3	0,951	0,238	1,188	1,313	1,685	Ano
6	0,23	0,729	0,182	0,911	0,875	1,123	Ano
8	0,16	0,507	0,127	0,634	0,656	0,843	Ano

Tab. 38 – harmonické proudy

Aby bylo zřejmé, kolik z povoleného pásma posuzovaný zdroj vyčerpává, jsou vypočtené emise jednotlivých řádů harmonických proudů zakresleny do grafu na Obr. 18.



Obr. 18 – příspěvek VTE k úrovni harmonických proudů

9.3.6 Výkonová bilance

Vzhledem k nemalému zastoupení rozptýlené výroby v modelované uzlové oblasti 110kV je nezbytné posoudit také celkovou výkonovou bilanci v rámci této UO. Důvodem pro toto posouzení je skutečnost, kdy soustava vzhledem ke svému dostatečnému zkratovému výkonu umožní připojení značného množství rozptýlené výroby, ta však svým celkovým výkonem překračuje aktuální spotřebu P a může docházet k otáčení směru toku výkonu z nižší napěťové hladiny na vyšší a to dokonce v takové míře, že může docházet k přetěžování napájecího transformátoru.

Abych mohl stanovit možnou míru případného přetoku výkonu do nadřazené soustavy, je nezbytné spočítat velikost instalovaného výkonu a velikost zatížení posuzované UO 110 kV. Aby byla postižena veškerá rizika, pak při stanovování velikosti výkonu budu vycházet z předpokladu, že modelované zatížení je zatížení v letních měsících. Důvodem pro volbu tohoto období je předpoklad minimálního zatížení posuzované UO.

ΣP_{dod} [MW]	ΣP_{od} [MW]	P_{bil} [MW]
311	66,485	-244,515

Tab. 39 – výkonová bilance

Z uvedené tabulky Tab. 39 vyplývá, že bude z posuzované UO 110kV přenášén výkon o velikosti až 244,515 MW, což plně vytěžuje přenosovou schopnost napájecích transformátoru 400/110kV.

Vzhledem k tomu, že se jedná o stav s maximální výrobou a minimálním odběrem, který může nastat pouze v ojedinělých případech a při tom nedochází k překročení přenosové schopnosti napájecího transformátoru, není potřeba posuzovanou farmu z tohoto pohledu limitovat. Pouze v případě dalšího poklesu odběru v dané uzlové oblasti bude nezbytné ve vybraných případech omezovat výrobu z modelovaných zdrojů tak, aby nebyl ohrožen bezpečný provoz dotčené části DS.

9.3.7 Další aspekty posouzení

Dalšími aspekty posouzení je definování vlastností posuzované technologie, aby splňovala, díky svému výkonu a místu připojení, odst. 10.6 v Příloze 4 PPDS [1]. Tyto požadavky nejsou primárně limitujícími pro velikost připojitelného výkonu do soustavy, avšak jejich splnění je nezbytnou podmínkou při posuzování připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby.

9.4 Závěry posouzení

Z uvedeného posouzení, jehož body vycházejí z požadavku Přílohy 4 PPDS jednoznačně vyplývají následující závěry:

Vyvolaná napěťová změna

Po připojení posuzované farmy VTE je vyvolaná napěťová změna připojenou rozptýlenou výrobou 0,71% v předávacím místě. Nejvyšší vyvolaná napěťová změna je dosažena v uzlu U2 a to 1,36%. Změna napětí na generátoru dosáhla hodnoty -3,29%.

Flikr

Po připojení posuzované farmy VTE je příspěvek k úrovni flikru roven hodnotě 0,011, což je výrazně pod limitní hodnotou.

HDO

Farma VTE způsobí v předávacím místě útlum signálu HDO o velikosti 1,23%, což je pod limitní hodnotou. O konečném řešení příp. instalaci opatření pro snížení útlumu signálu HDO rozhodne měření v průběhu zkušebního provozu.

Příspěvek ke zkratovému proudu

Připojovaná farma VTE bude ke zkratovému proudu přispívat zkratovým proudem o velikost 0,313 kA, což je nárůst původní úrovně o hodnotu 3,28%.

Harmonické proudy

Na základě provedeného posouzení emise harmonických proudů je možné konstatovat, že se nepředpokládá překročení limitních hodnot. O případné instalaci opatření pro snížení emise harmonických proudů musí rozhodnout měření kvality elektřiny v předávacím místě v průběhu zkušebního provozu.

Výkonová bilance

Po připojení farmy VTE může v modelované oblasti 110kV docházet k takovým výkonovým poměrům, kdy přetok do nadřazené soustavy plně vyčerpá jmenovitý výkon napájecího transformátoru. S ohledem na četnost takového stavu (případ, kdy daná VTE bude vyrábět plný výkon) je možné konstatovat, že připojení je možné. Konečné stanovisko k tomuto

problému, však musí stanovit provozovatel distribuční soustavy, který z provozních důvodů může stanovit snížení připojitelného výkonu farmy VTE.

10 DALŠÍ ASPEKTY POSOUZENÍ CHOVÁNÍ ZDROJŮ PŘIPOJENÝCH DO DS

Na základě provedených měření kvality elektřiny a znalosti zapojení a poměrů v modelovaných sítích DS je možné provést podrobnější analýzu chování zdrojů rozptýlené výroby po jejich uvedení do provozu a pokusit se tak buďto rozšířit či podpořit jako dostačující stávající počet posuzovaných aspektů připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby.

10.1 Detailní analýza poměrů v síti NN

10.1.1 Velikost zkratového výkonu

Z výpočtů a posouzení provedených v kapitole 5.3 vyplývá, že v předávacím místě zdroje FVE je zřejmé, že dosažená velikost zkratového výkonu v místě připojení posuzované FVE činí 0,7 MVA. Odpovídající hodnoty zkratové impedance jsou pak uvedeny v následující tabulce Tab. 40.

Uzel	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	11,89	67,11	113,3
U2	0,03	74,62	6,9
U3	0,11	33,68	1,6
U4	0,13	31,73	1,3
U5	0,13	31,73	1,3
U6	0,20	28,80	0,9
U7	0,22	28,25	0,8
U8	0,24	27,75	0,7
U9	0,26	27,37	0,7
U10	0,28	27,05	0,6
U11	0,30	26,72	0,6
U12	0,31	26,50	0,6
U13	0,05	34,75	3,3
U14	0,26	27,43	0,7

Tab. 40 – Velikost zkratového výkonu

Pokud tuto hodnotu porovnáme s doporučenou velikostí vztažné impedance (0,4+j0,25 Ω pro spotřebiče do 16A a 0,25+j0,25 Ω pro spotřebiče do 75A), uvedenou v [10,11], je zřejmé,

že v modelované síti většina uzlů tomuto požadavku vyhoví, avšak uzly ke konci modelovaného vývodu se již limitní hodnotě přibližují. Velikost zkratového výkonu je pochopitelně poplatná struktuře provozované sítě, kde především ve vzdálenějších venkovských sítích se jedná o vedení venkovní s relativně malým průřezem, což má za následek značný pokles zkratového výkonu ve vztahu k napájecí distribuční trafostanici. To, že se jedná o velmi důležitý aspekt, dokládají studie [17, 18, 19] dlouhodobých měření zkratové impedance v sítích NN na zásobovacím území pokrývajícím celou ČR, kdy zatímco ve středu posuzovaných sítí nevyhoví z pohledu vztažné impedance necelých 20% sítí, pak ke konci vývodů těchto sítí nevyhoví tomuto požadavku až 80% distribučních sítí NN.

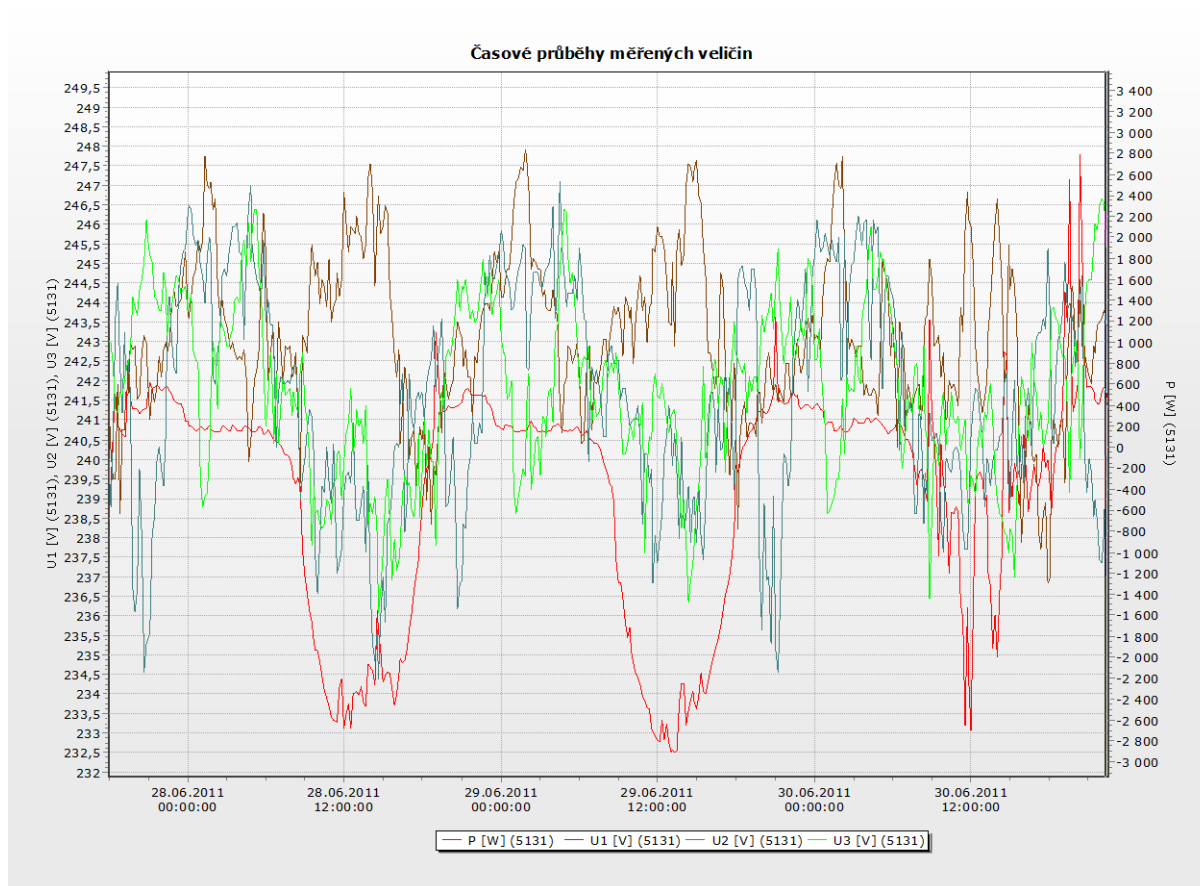
10.1.2 Velikost napětí, napěťové změny

Vyjdou-li ze závěrů předchozí kapitoly, mohu konstatovat, že se nedá v modelované části DS NN předpokládat výraznější problém s kvalitou elektřiny. Při realizaci modelového příkladu uvedeného v kapitole 6 byl připojen zdroj o výkonu pouze 5 kW (jednofázový zdroj) se střídačem Fornius IG 40. V daném místě bylo provedeno měření kvality elektřiny. Z tohoto měření je možné vysledovat závislost změny napětí na výrobě FVE. Tato závislost je zřejmá z Obr. 19, na kterém je možné vidět jednoznačnou závislost mezi výrobou a nárůstem napětí ve fázi L1 (připojený střídač je jednofázové zařízení).

Na uvedené závislosti je podstatné posoudit dosaženou úroveň napětí. Důvodem k tomuto posouzení je fakt, že v řadě sítí je provozovaná úroveň napětí v pásmu mezi jmenovitým napětím a horní mezí povoleného pohybu napětí. Po připojení zdroje(ů) rozptýlené výroby do této sítě může dojít k nárůstu napětí až nad povolenou mez. Důsledky může pocítit jako jeden z prvních právě výrobce, který z důvodu nárůstu napětí může zaznamenat výpadky výroby.

V popisovaném případě dosáhlo napětí ve fázi s připojeným zdrojem velikosti cca 248 V, tedy cca 107, 83%.

Při posouzení připojitelnosti, zejména v místech s nižším zkratovým výkonem je potřebné posoudit připojitelnost nejenom z pohledu definovaným pravidel či postupů, ale i z pohledu aktuálních poměrů v místě připojení. Před rozhodnutím o připojení je tak potřebné provést měření kvality elektřiny, z kterého vyplyne skutečný prostor pro jednotlivé charakteristické veličiny napětí pro připojení vlastního zdroje.



Obr. 19 – časový průběh napětí a činného výkonu dodávaného FVE

10.1.3 Velikost zpětných vlivů – flickr

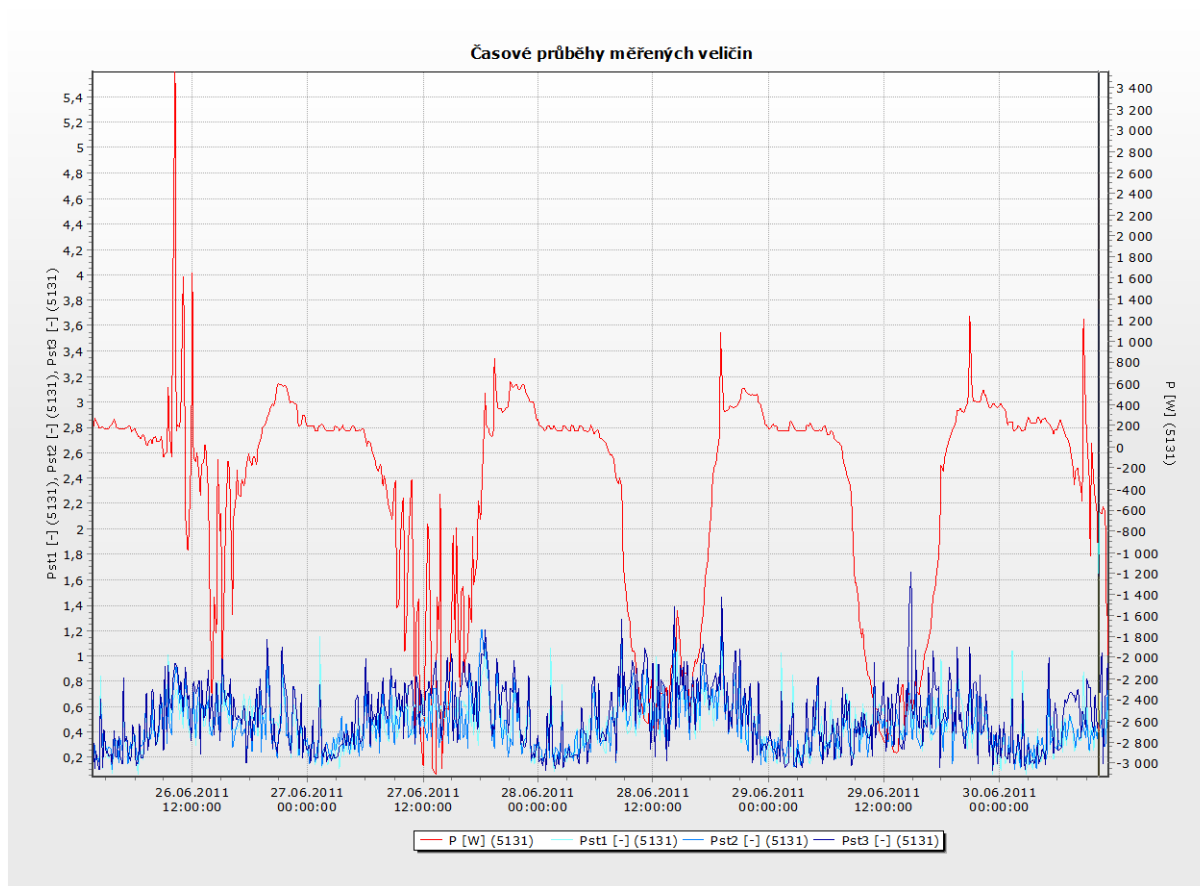
Podobně jako úroveň napětí je důležitá i úroveň flickru a míra vlivu připojovaného zdroje na tuto charakteristickou veličinu napětí.

Tak jako je poměrně jednoduché vysledovat jednoznačnou závislost mezi napětím a vyráběným výkonem, je vysledování přímé závislosti mezi nárůstem úrovně flickru a vyráběným výkonem výrazně složitější.

Pro popisovaný případ připojení 5kW zdroje je uvedena vzájemná závislost mezi vyráběným výkonem a flickrem na Obr. 20. Z uvedených průběhů je možné vysledovat nárůst úrovně flickru v závislosti na nárůstu vyráběného výkonu.

Pokud bychom chtěli stanovit, jakou měrou přispívá posuzovaný zdroj ke konečné úrovni flickru, je nezbytné podrobné posouzení daného případu. V uvedeném případě dochází k překračování limitní hodnoty flickru. Je evidentní, že i při výraznějším výkonových výkyvech nedochází ke kopírování této dynamiky i v nárůstu flickru. Dá se tedy předpokládat, že v dané DS se vyskytují takové typy zátěží, které mají značný podíl na celkové úrovni flickru v dané síti.

Nelze tedy stanovit jednoznačnou závislost mezi výrobou v rozptýlené výrobě a úrovní flickru bez podrobného posouzení konkrétního příkladu.



Obr. 20 – časový průběh flikru a činného výkonu dodávaného FVE

10.1.4 Velikost zpětných vlivů – harmonické zkreslení

Z provedených měření v sítích NN [21] je možné vysledovat závislost mezi úrovní celkového harmonického zkreslení napětí a vyráběným výkonem rozptýlené výroby v místě připojení. Při stanovení jednoznačné závislosti je nezbytné provedení měření kvality elektřiny před připojením posuzovaného zdroje a stanovit tak průběh THDu v průběhu celého týdne tak, aby byly popsány jak pracovní tak i víkendové dny. Následně v průběhu zkušebního provozu stanovit přírůstek úrovně harmonického zkreslení napětí způsobený připojeným zdrojem rozptýlené výroby.

10.1.5 Velikost zpětných vlivů – napěťová nesymetrie

Stejný přístup jako při posuzování THDu je potřebné aplikovat i při posuzování napěťové nesymetrie. Posouzení této charakteristické veličiny napětí je podstatné zejména v sítích NN, kde díky nesprávnému rozložení jednofázových zdrojů do jednotlivých fází může docházet k výraznějšímu nárůstu napěťové nesymetrie.

10.1.6 Závěry detailní analýzy poměrů v síti NN

Z uvedených posouzení jednoznačně vyplývá nutnost individuálního posuzování připojitelnosti zdrojů v sítích NN, nelze připojovat zdroje i o relativně malém výkonu plošně bez bližšího posouzení. Z uvedených hodnocení vyplývá, že i zdroje o relativně malém výkonu, které vyhoví požadavku na vyvolanou napěťovou změnu, mohou ve slabším místě DS způsobovat nemalé problémy s kvalitou elektřiny. Dále je nutné alespoň v těch místech DS, kde není splněna podmínka minimální zkratové impedance, provést podrobnější analýzu posouzení zpětných vlivů ještě před připojením zdroje.

Dalším z důležitých závěrů je nezbytnost provedení měření kvality elektřiny již v průběhu zkušebního provozu a ověření úrovně zpětných vlivů v reálném provozu. Na základě těchto měření pak stanovit případná doplňující opatření, která zamezí dalšímu zhoršování situace v daném místě DS a bude jimi podmíněn provoz rozptýlené výroby.

11 ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorská práce je zaměřena na problematiku připojování rozptýlené výroby do distribučních sítí NN, VN a VVN. Vzhledem k aktuálnosti tohoto tématu se pokouším reagovat i na poslední změny legislativy či změny přístupů k hodnocení připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby.

Tato práce uvádí na praktických příkladech postupy hodnocení připojitelnosti zdrojů rozptýlené výroby na jednotlivých napěťových hladinách (NN, VN a VVN).

Na hladině NN se věnuje posouzení připojitelnosti zdroje o relativně malém výkonu 10 kW a na výsledcích měření kvality elektřiny zdroje o polovičním výkonu (5kW) poukazují na možná rizika a aspekty posuzování připojitelnosti zdrojů do této napěťové hladiny. Z možných rizik je pak provedena podrobná analýza napěťových poměrů a velikosti flikru.

Na hladině VN se věnuji posouzení připojitelnosti zdroje o jmenovitém výkonu 2MW, kde použité postupy ověřuji na provedeném měření kvality elektřiny po připojení tohoto zdroje a poukazují na shodu či rozdíly mezi modelovanou situací při posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby a skutečným stavem po uvedení do provozu.

Na hladině VVN se věnuji posouzení rozsáhlé farmy větrných elektráren o výkonu 15MW do uzlové oblasti 110kV s již značným množstvím připojeného výkonu či příslibeného výkonu rozptýlené výroby s respektováním výkonových přetoků z nižších napěťových hladin. Na otázce bilance pak ukazují i rizika spojená s přetokem výroby v rozptýlené výrobě do nadřazené soustavy.

Hlavními přínosy mé doktorské práce jsou:

- Stanovení rozsahu nezbytných posouzení pro napěťovou hladinu NN, VN a VVN
- Jednoznačné doložení nezbytnosti posuzovat i připojitelnost relativně malých výkonů zdrojů rozptýlené výroby, neboť při kumulaci těchto zdrojů pak hrozí překročení požadovaných standardů. Nelze tedy za žádných okolností přistoupit k plošnému připojování zdrojů rozptýlené výroby.
- Na základě provedených analýz doporučuji, pokud to dané podmínky umožňují, provedení kontrolního měření kvality elektřiny v místě požadovaného připojení před posuzováním připojitelnosti zdroje rozptýlené výroby a vydáním případného souhlasu s připojením.
- Uvedené výsledky v této doktorské práci jednoznačně ukazují na nezbytnost provedení kontrolního měření kvality elektřiny po připojení zdroje v době zkušebního provozu, a na základě těchto měření rozhodnout o konečném řešení vyvedení výkonu z připojovaného zdroje. Investor si musí být vědom možného navýšení investice do zařízení, které budou eliminovat míru zpětných vlivů připojovaného zařízení.
- Vzhledem k vysoké penetraci zdrojů rozptýlené výroby jednoznačně podporuji nutnost vybavení připojených zdrojů rozptýlené výroby regulačními vlastnostmi činného a jalového výkonu, což dokládají i provedené analýzy v této disertační práci.

Disertační práce tak poskytuje komplexní pohled na problematiku připojování rozptýlené výroby do distribučních soustav ČR všech napěťových hladin.

12 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ PRÁCI

Problematika rozptýlené výroby se neustále poměrně dynamicky vyvíjí a je velmi závislá na legislativním rámci stanovujícím nejenom podmínky připojení, ale především podmínky výkupu vyrobené elektřiny.

Jako doporučení pro další práci lze vnímat následující body:

- Nalezení zjednodušeného algoritmus posuzování připojitelnosti rozptýlené výroby v sítích NN, kde se dá do budoucna očekávat značný zájem investorů ve FVE. Zjednodušený algoritmus posuzování by byl přínosem zejména pro provozovatele distribučních soustav a umožnil stanovit ty zdroje, u kterých bude nezbytné podrobné posouzení připojitelnosti.
- Hledat možnosti navýšení připojitelného výkonu, ať již nárůstem regulačních vlastností připojovaných zdrojů nebo např. využitím akumulace a dalším.
- Stanovit pravidla provozu rozptýlené výroby a akumulace při možnosti zpětné dodávky elektřiny do distribuční soustavy
- Stanovit pravidla limitující vytěsňování klasických zdrojů ze soustavy připojovanou rozptýlenou výrobou ve vztahu ke snižování zkratového výkonu v soustavě a zajištění spolehlivé činnosti ochran.
- Stanovit pravidla pro posouzení vlivu připojovaného množství rozptýlené výroby na podpůrné služby.

13 PODĚKOVÁNÍ

Závěrem této práce bych chtěl poděkovat mému školiteli p. prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za vedení mé práce. Dále bych velmi rád poděkoval p. Ing. Karlu Procházkovi, CSc. za mé dlouholeté profesní vedení a předávání řady zkušeností v oblasti rozptýlené výroby, kvality elektřiny a dalších oblastí elektroenergetiky a v neposlední řadě mé rodině za podporu při studiu.

Rád bych také poděkoval zástupcům společnosti EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o. za poskytnutí licence softwaru E-Vlivy pro účely vypracování této disertační práce.

14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Příloha 4 PPDS: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů ze sítí nízkého nebo vysokého napětí provozovatele distribuční soustavy.
- [2] PPDS hlavní část a Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy **Doplněk 01/2009**.
- [3] PPDS hlavní část a Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy **Změna 01/2010**.
- [4] Příloha 3 PPDS: Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení.
- [5] PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav.
- [6] PNE 33 3430 – 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání
- [7] Technische Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU) VDEW
- [8] ČSN EN 60909-0 – Zkratové poměry v trojfázových soustavách – Část 0: Výpočet zkratů
- [9] IEC 61000-3-7 – Limitation of voltage fluctuations and flicker for equipments connected to medium and high voltage power supply systems
- [10] ČSN IEC 725 Vztažné impedance pro užití při určování rušivých charakteristik domácích spotřebičů a podobných elektrických zařízení
- [11] IEC 60725: Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated $\leq 75A$ per phase
- [12] ČSN EN 61000-3-12 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-12: Meze harmonických proudů způsobených zařízeními se vstupním fázovým proudem $>16 A$ a $\leq 75 A$ připojeným k veřejným sítím nízkého napětí
- [13] ČSN EN 50 438 Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí
- [14] Kysnar, F.: Aktuální problémy připojování rozptýlené výroby do distribučních sítí. In: Konference ČK CIRED 2007, Praha 2007, ISBN 978-80-254-0304-4
- [15] Kysnar, F.: Příprava evropské normy pro připojování zdrojů do sítí nn a vn. In: Konference ČK CIRED 2008, Praha 2008, ISBN 978-80-254-2790-3
- [16] Král, V., Kysnar, F., Procházka, K.: Control of Q/U ratios for connecting remote farms of wind power plants in 110 kV networks. In: Konference CIRED 2009 v Praze
- [17] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K. Parametry sítí NN a připojovaných zařízení pro plnění standardů kvality napětí podle Vyhl. 41 a Vyhl. 51., studie EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o., 2008

- [18] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K. Parametry sítí NN a připojovaných zařízení pro plnění standardů kvality napětí podle Vyhl. 41 a Vyhl. 51., studie EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o., 2009
- [19] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K. Parametry sítí NN a připojovaných zařízení pro plnění standardů kvality napětí podle Vyhl. 41 a Vyhl. 51., studie EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o., 2010
- [20] Procházka, K., Celba, T., Kysnar, F., Průcha, S., Hodnocení distribučních sítí NN z hlediska dodržení závazných parametrů kvality napětí, studie EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o., 2005
- [21] Procházka, K., Kysnar, F., Brož, F., Heřman, A., Dušek, R., Měření kvality elektřiny v sítích NN a VN s vysokým zastoupením rozptýlené výroby, studie EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o., 2011
- [22] Technický list střídačů Fronius IG PLUS 120 V-3
- [23] Technický list střídačů Kaco Powador 33000 xi
- [24] Protokol o měření kvality větrné elektrárny VESTAS V90 – 3MW – Power Quality Measurement V90-3MW, IEC 61 400-21, DEWI

15 SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

- [1] Procházka, K., Kysnar, F., Výsledky hodnocení parametrů kvality elektřiny v předávacích místech PS/DS ve vazbě na znění Přílohy 3 PDDS, Konference ČK CIRED 2007, ISBN 978-80-254-0304-4
- [2] Kysnar, F., Procházka, K. Výsledky monitoringu 80 sítí NN v ČR s ohledem na limitní hodnoty závazných charakteristik podle ČSN EN 50160, Konference ČK CIRED 2007, ISBN 978-80-254-0304-4
- [3] Kysnar, F., Procházka, K. Vývoj ukazatelů plynulosti distribuce elektřiny v DS ČR a metodiky jejich hodnocení, Konference ČK CIRED 2007, ISBN 978-80-254-0304-4
- [4] Kysnar, F., Procházka, K. Aktuální problémy připojování rozptýlené výroby do distribučních sítí, Konference ČK CIRED 2007, ISBN 978-80-254-0304-4
- [5] Kysnar, F., Připojování fotovoltaických elektráren do distribučních sítí, Konference Solární energie v ČR 2008
- [6] Kysnar, F., Problematika připojování rozptýlené výroby do distribučních sítí, Konference ELEN 2008, ISBN 978-80-254-2293-9
- [7] Kysnar, F., Procházka, K. Obecné standardy plynulosti distribuce, stav a aktuální problémy hodnocení, ČK CIRED 2008, ISBN 978-80-254-2790-3
- [8] Kysnar, F., Heřman, A., Brož, F., Výsledky trvalého monitoringu PQ v předávacích místech mezi PS a DS a rozsáhlého monitoringu PQ v sítích NN, Konference ČK CIRED 2008, ISBN 978-80-254-2790-3
- [9] Kysnar, F., Příprava evropské normy pro připojování zdrojů do sítí nn a vn, Konference ČK CIRED 2008, ISBN 978-80-254-2790-3

- [10] Král, V., Kysnar, F., Procházka, K., Požadavky, možnosti a příklad řešení řízení U/Q farmy VTE připojované do sítě 110 kV, Konference ČK CIREC 2008, ISBN 978-80-254-2790-3
- [11] Kysnar, F., Procházka, K., Electricity quality level in 110 kV networks in the Czech Republic, Konference CIREC 2009 Praha
- [12] Král, V., Kysnar, F., Procházka, K., Control of Q/U ratios for connecting remote farms of wind power plants in 110 kV networks, Konference CIREC 2009 Praha
- [13] Kysnar, F., Aktuální vývoj nové evropské normy na připojování zdrojů do sítí NN a VN, Konference ČK CIREC 2009, ISBN 978-80-254-5635-4
- [14] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K., Standardy plynulosti distribuce PDS v ČR, možnosti členění podle územních celků, Konference ČK CIREC 2009, ISBN 978-80-254-5635-4
- [15] Kysnar, F., Baloun, M., Procházka, K., Úroveň kvality elektřiny v sítích 110kV, aktuální stav a požadavky na systémy hodnocení a archivace měření kvality elektřiny, Konference ČK CIREC 2009, ISBN 978-80-254-5635-4
- [16] Kysnar, F., Procházka, K., Negativní dopad připojovaných OZE na DS, nápravná opatření, Konference ČK CIREC 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [17] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K., Aktuální úroveň obecných standardů plynulosti distribuce ČR a SR, Konference ČK CIREC 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [18] Kysnar, F., Procházka, K., Hanžlík, T., Vliv obnovitelných zdrojů energie na úroveň kvality elektřiny, Konference ČK CIREC 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [19] Kysnar, F., Procházka, K., Dušek, R., Úroveň parametrů kvality elektřiny v sítích 22 kV a 110 kV, Konference ČK CIREC 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [20] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K., Výsledky hodnocení rozsáhlé kampaně měření kvality elektřiny v sítích NN, Konference ČK CIREC 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [21] Procházka, K., Santarius, P., Pospíchal, L., Kysnar, F., Krejčí, P., Mezera, D., EN 50160 ED.3 and voltage quality in the Czech Republic, Konference CIREC 2011, Frankfurt nad Mohanem
- [22] Kysnar, F., Aktuální situace v české a mezinárodní normalizaci v oblasti rozptýlené výroby, Konference ČK CIREC 2011, ISBN 978-80-905014-0-9
- [23] Brož, F., Kysnar, F., Procházka, K., Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce v DS ČR, Konference ČK CIREC 2011, ISBN 978-80-905014-0-9
- [24] Kysnar, F., Procházka, K., Úroveň kvality elektřiny v DS ČR v roce 2010, Konference ČK CIREC 2011, ISBN 978-80-905014-0-9
- [25] Procházka, K., Dušek, R., Kysnar, F., Parametry kvality elektřiny v NN sítích s vysokým zastoupením rozptýlené výroby, Konference ČK CIREC 2011, ISBN 978-80-905014-0-9

16 PŘÍLOHA 1 – NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ POMĚRY – PŘIPOJITELNOST VÝROBNY NN

16.1 Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	36,767	-0,01	-5,05	11,89	67,11	113,31
U2	0,420	-0,10	-4,93	0,03	74,62	6,89
U3	0,417	-0,14	-4,15	0,11	33,68	1,64
U4	0,417	-0,14	-4,13	0,13	31,73	1,34
U5	0,416	-0,15	-3,97	0,13	31,73	1,34
U6	0,414	-0,17	-3,54	0,20	28,80	0,89
U7	0,414	-0,17	-3,42	0,22	28,25	0,81
U8	0,413	-0,18	-3,31	0,24	27,75	0,74
U9	0,413	-0,18	-3,21	0,26	27,37	0,68
U10	0,413	-0,18	-3,14	0,28	27,05	0,63
U11	0,412	-0,19	-3,07	0,30	26,72	0,58
U12	0,412	-0,19	-3,05	0,31	26,50	0,57
U13	0,420	-0,10	-4,93	0,05	34,75	3,26
U14	0,420	-0,10	-4,93	0,26	27,43	0,69

Tab.1 – napětí v uzlech – referenční stav

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
NU_VN	U1	0,23	161,66	10,81	67,11	-14,00	-4,64	14,75
T1	U1	0,23	161,68	0,02	75,10	-14,00	-4,64	14,75
T1	U2	20,27	161,68	0,02	75,10	13,99	4,61	14,73
V1	U2	20,26	161,68	0,09	22,95	-13,99	-4,61	14,73
V1	U3	20,26	161,68	0,09	22,95	13,89	4,56	14,62
V2	U3	1,68	161,59	0,02	22,95	-1,15	-0,38	1,21
V2	U4	1,68	161,59	0,02	22,95	1,15	0,38	1,21
V3	U3	16,91	161,69	0,02	22,95	-11,59	-3,80	12,20
V3	U5	16,91	161,69	0,02	22,95	11,57	3,80	12,18

V4	U5	15,23	161,70	0,07	22,95	-10,43	-3,42	10,97
V4	U6	15,23	161,70	0,07	22,95	10,39	3,40	10,93
V5	U6	13,55	161,70	0,02	22,95	-9,24	-3,03	9,72
V5	U7	13,55	161,70	0,02	22,95	9,23	3,02	9,71
V6	U7	11,86	161,68	0,02	22,95	-8,07	-2,65	8,50
V6	U8	11,86	161,68	0,02	22,95	8,06	2,64	8,49
V7	U8	10,16	161,65	0,02	22,95	-6,91	-2,27	7,27
V7	U9	10,16	161,65	0,02	22,95	6,91	2,27	7,27
V8	U9	8,47	161,60	0,02	22,95	-5,75	-1,89	6,06
V8	U10	8,47	161,60	0,02	22,95	5,75	1,89	6,05
V9	U10	6,78	161,54	0,02	22,95	-4,60	-1,52	4,85
V9	U11	6,78	161,54	0,02	22,95	4,60	1,52	4,84
V10	U11	3,70	161,54	0,01	15,00	-2,51	-0,83	2,64
V10	U12	3,70	161,54	0,01	15,00	2,51	0,83	2,64
V11	U12	3,08	-18,46	0,01	15,00	2,09	0,69	2,20
V11	U11	3,08	-18,46	0,01	15,00	-2,09	-0,69	2,20
Z1	U4	1,68	-18,41	143,33	18,27	1,15	0,38	1,21
Z2	U3	1,68	-18,41	143,33	18,27	1,15	0,38	1,21
Z3	U5	1,68	-18,42	143,33	18,27	1,15	0,38	1,21
Z4	U6	1,68	-18,28	142,12	18,11	1,15	0,38	1,21
Z5	U7	1,69	-18,13	140,93	17,96	1,16	0,37	1,21
Z6	U8	1,69	-18,13	140,93	17,96	1,15	0,37	1,21
Z7	U9	1,69	-18,14	140,93	17,96	1,15	0,37	1,21
Z8	U10	1,69	-18,14	140,93	17,96	1,15	0,37	1,21
Z9	U12	6,78	-18,46	35,09	18,28	4,60	1,52	4,84
V12	U2	0,00	-94,43	0,04	9,28	0,00	0,00	0,00
V12	U13	0,00	139,49	0,04	9,28	0,00	0,00	0,00
V13	U2	0,00	-101,04	0,24	22,95	0,00	0,00	0,00
V13	U14	0,00	156,82	0,24	22,95	0,00	0,00	0,00

Tab. 2 – proudy a výkony – referenční stav

16.2 Napěťové a proudové poměry po připojení výroby

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	36,770	0,01	-5,06	11,89	67,11	113,3
U2	0,420	0,10	-5,03	0,03	74,62	6,9
U3	0,419	0,18	-4,75	0,11	33,68	1,6
U4	0,419	0,18	-4,73	0,13	31,73	1,3
U5	0,419	0,20	-4,71	0,13	31,73	1,3
U6	0,419	0,27	-4,64	0,20	28,80	0,9
U7	0,419	0,29	-4,63	0,22	28,25	0,8
U8	0,419	0,31	-4,64	0,24	27,75	0,7
U9	0,419	0,33	-4,67	0,26	27,37	0,7
U10	0,418	0,33	-4,60	0,28	27,05	0,6
U11	0,418	0,33	-4,52	0,30	26,72	0,6
U12	0,418	0,33	-4,51	0,31	26,50	0,6
U13	0,421	0,12	-5,26	0,05	34,75	3,3
U14	0,423	0,25	-5,69	0,26	27,43	0,7

Tab. 3 – napětí v uzlech po připojení výroby

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
NU_VN	U1	0,2	22,72	10,81	67,11	11,1	-4,6	12,0
T1	U1	0,2	22,72	0,02	75,10	11,1	-4,6	12,0
T1	U2	16,5	22,72	0,02	75,10	-11,1	4,6	12,0
V1	U2	8,2	130,06	0,09	22,95	-3,9	-4,6	6,0
V1	U3	8,2	130,06	0,09	22,95	3,8	4,6	6,0
V2	U3	1,7	161,74	0,02	22,95	-1,2	-0,4	1,2
V2	U4	1,7	161,74	0,02	22,95	1,2	0,4	1,2
V3	U3	5,7	112,04	0,02	22,95	-1,5	-3,8	4,1
V3	U5	5,7	112,04	0,02	22,95	1,5	3,8	4,1
V4	U5	4,8	96,53	0,07	22,95	-0,4	-3,4	3,5
V4	U6	4,8	96,53	0,07	22,95	0,4	3,4	3,5
V5	U6	4,3	76,09	0,02	22,95	0,8	-3,1	3,2

V5	U7	4,3	76,09	0,02	22,95	-0,8	3,1	3,2
V6	U7	4,5	54,54	0,02	22,95	1,9	-2,7	3,3
V6	U8	4,5	54,54	0,02	22,95	-1,9	2,7	3,3
V7	U8	5,3	36,97	0,02	22,95	3,1	-2,3	3,8
V7	U9	5,3	36,97	0,02	22,95	-3,1	2,3	3,8
V8	U9	8,4	162,06	0,02	22,95	-5,8	-1,9	6,1
V8	U10	8,4	162,06	0,02	22,95	5,8	1,9	6,1
V9	U10	6,7	162,10	0,02	22,95	-4,6	-1,5	4,9
V9	U11	6,7	162,10	0,02	22,95	4,6	1,5	4,9
V10	U11	3,7	162,10	0,01	15,00	-2,5	-0,8	2,6
V10	U12	3,7	162,10	0,01	15,00	2,5	0,8	2,6
V11	U12	3,0	-17,90	0,01	15,00	2,1	0,7	2,2
V11	U11	3,0	-17,90	0,01	15,00	-2,1	-0,7	2,2
Z1	U4	1,7	-18,26	144,56	18,43	1,2	0,4	1,2
Z2	U3	1,7	-18,26	144,56	18,43	1,2	0,4	1,2
Z3	U5	1,7	-18,23	144,56	18,43	1,2	0,4	1,2
Z4	U6	1,7	-18,17	144,56	18,43	1,1	0,4	1,2
Z5	U7	1,7	-18,15	144,56	18,43	1,1	0,4	1,2
Z6	U8	1,7	-18,12	144,56	18,43	1,1	0,4	1,2
Z7	U9	1,7	-17,94	143,33	18,27	1,2	0,4	1,2
Z8	U10	1,7	-18,11	144,56	18,43	1,1	0,4	1,2
Z9	U12	6,7	-17,90	36,01	18,23	4,6	1,5	4,9
V12	U2	13,7	0,12	0,04	9,28	10,0	0,0	10,0
V12	U13	13,7	0,12	0,04	9,28	-10,0	0,0	10,0
FVE_1	U13	6,9	-179,88	35,48	-180,00	-5,0	0,0	5,0
FVE_2	U13	6,9	-179,88	35,48	-180,00	-5,0	0,0	5,0
V13	U2	6,8	0,25	0,24	22,95	5,0	0,0	5,0
V13	U14	6,8	0,25	0,24	22,95	-5,0	0,0	5,0
FVE_3	U14	6,8	-179,75	35,79	-180,00	-5,0	0,0	5,0
FVE_p	U9	13,8	-179,67	17,52	-180,00	-10,0	0,0	10,0

Tab. 4 – proudy a výkony ve větvích po připojení výroby

17 PŘÍLOHA 2 – NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ POMĚRY – PŘIPOJITELNOST VÝROBNY VN

17.1 Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	109,956	-0,12	0,04	13,69	90,00	971,96
U2	22,961	-0,42	-4,37	1,99	87,83	267,38
U3	22,961	-0,42	-4,37	2,09	86,31	255,31
U4	22,962	-0,42	-4,37	5,52	66,21	96,45
U5	22,962	-0,42	-4,37	6,41	62,90	83,02
U6	22,962	-0,42	-4,37	7,50	57,03	71,02
U7	22,962	-0,42	-4,37	7,61	56,65	69,98
U8	22,962	-0,42	-4,37	7,65	56,48	69,62
U9	22,962	-0,42	-4,37	8,34	54,41	63,86
U10	0,417	-0,42	-4,37	0,01	70,67	23,84

Tab. 1 – napětí v uzlech – referenční stav

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
R110/22 kV	U1	10,72	168,99	12,45	90,00	-2005,50	-385,78	2042,27
T1	U1	10,72	168,99	1,45	86,90	-2005,50	-385,73	2042,26
T1	U2	51,29	168,99	1,45	86,90	2004,91	374,76	2039,63
V1	U2	0,81	-90,74	0,11	57,11	-0,18	32,07	32,07
V1	U3	0,23	-91,55	0,11	57,11	0,18	-9,23	9,23
V2	U3	0,24	-90,40	3,63	54,83	0,00	9,50	9,50
V2	U4	0,08	-90,37	3,63	54,83	0,00	-3,28	3,28
V3	U4	0,08	-90,07	0,96	43,47	0,02	3,30	3,30
V3	U5	0,05	-89,83	0,96	43,47	-0,02	-1,99	1,99
V4	U5	0,05	-90,79	1,30	26,60	-0,01	1,96	1,96
V4	U6	0,02	-91,21	1,30	26,60	0,01	-0,91	0,91
V5	U6	0,02	-87,90	0,12	32,77	0,04	0,95	0,95
V5	U7	0,02	-87,52	0,12	32,77	-0,04	-0,82	0,82
V6	U7	0,02	-115,95	0,05	26,60	-0,31	0,64	0,71
V6	U8	0,02	-117,28	0,05	26,60	0,31	-0,61	0,68
V7	U8	0,02	-87,57	0,75	32,77	0,04	0,78	0,78
V7	U9	0,00	-32,61	0,75	32,77	-0,04	-0,02	0,05
T2	U9	0,00	90,00	0,12	79,92	0,00	0,00	0,00
T2	U10	0,00	90,00	0,12	79,92	0,00	0,00	0,00
Z1	U2	51,44	-11,90	257,70	11,48	2004,91	407,11	2045,83

Tab. 2 – proudy a výkony – referenční stav

17.2 Napěťové a proudové poměry po připojení výroby

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	109,942	0,00	0,05	13,69	90,00	971,96
U2	22,957	-0,01	-4,35	1,99	87,83	267,38
U3	22,961	0,01	-4,37	2,09	86,31	255,31
U4	23,123	0,67	-5,11	5,52	66,21	96,45
U5	23,179	0,81	-5,36	6,41	62,90	83,02
U6	23,275	0,95	-5,79	7,50	57,03	71,02
U7	23,283	0,96	-5,83	7,61	56,65	69,98
U8	23,286	0,97	-5,85	7,65	56,48	69,62
U9	23,338	1,06	-6,08	8,34	54,41	63,86
U10	0,428	4,04	-6,92	0,01	70,67	23,84

Tab. 3 – napětí v uzlech – po připojení samotného zdroje

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
R110/22 kV	U1	2,71	96,35	12,45	90,00	-57,13	-513,44	516,60
T1	U1	2,71	96,35	1,45	86,90	-57,13	-513,41	516,58
T1	U2	12,98	96,35	1,45	86,90	57,10	512,74	515,91
V1	U2	49,06	3,09	0,11	57,11	1947,91	-105,35	1950,76
V1	U3	49,10	3,76	0,11	57,11	-1948,34	127,53	1952,50
V2	U3	49,09	3,77	3,63	54,83	1948,17	-127,79	1952,36
V2	U4	49,10	3,95	3,63	54,83	-1963,30	112,58	1966,53
V3	U4	49,10	3,95	0,96	43,47	1963,29	-112,59	1966,51
V3	U5	49,10	3,99	0,96	43,47	-1968,31	109,16	1971,33
V4	U5	49,10	3,99	1,30	26,60	1968,34	-109,14	1971,37
V4	U6	49,10	4,02	1,30	26,60	-1976,72	106,02	1979,56
V5	U6	49,10	4,02	0,12	32,77	1976,64	-106,06	1979,49
V5	U7	49,10	4,02	0,12	32,77	-1977,39	105,71	1980,21
V6	U7	49,12	4,01	0,05	26,60	1977,92	-105,45	1980,73
V6	U8	49,12	4,02	0,05	26,60	-1978,21	105,34	1981,01
V7	U8	49,10	4,02	0,75	32,77	1977,73	-105,57	1980,55
V7	U9	49,11	4,05	0,75	32,77	-1982,28	103,42	1984,98
T2	U9	49,11	4,05	0,12	79,92	1982,29	-103,42	1984,99
T2	U10	2700,81	4,05	0,12	79,92	-2000,67	0,00	2000,67
FVE1	U10	2700,81	-175,96	0,09	-180,00	-2000,67	0,00	2000,67
Z1	U2	51,45	-11,49	257,61	11,48	2004,84	407,10	2045,76

Tab. 4 - proudy a výkony – po připojení samotného zdroje

17.3 Napěťové a proudové poměry po připojení výroby s kompenzací jalového výkonu

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	109,954	0,00	0,04	13,69	90,00	971,96
U2	22,965	-0,01	-4,39	1,99	87,83	267,38
U3	22,970	0,01	-4,41	2,09	86,31	255,31
U4	23,146	0,64	-5,21	5,52	66,21	96,45
U5	23,204	0,78	-5,47	6,41	62,90	83,02
U6	23,303	0,90	-5,92	7,50	57,03	71,02
U7	23,311	0,91	-5,96	7,61	56,65	69,98
U8	23,315	0,92	-5,98	7,65	56,48	69,62
U9	23,368	1,00	-6,22	8,34	54,41	63,86
U10	0,429	3,95	-7,34	0,01	70,67	23,84

Tab. 5 – napětí v uzlech – po připojení samotného zdroje s kompenzací

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
R110/22 kV	U1	2,17	97,87	12,45	90,00	-56,60	-409,39	413,28
T1	U1	2,17	97,87	1,45	86,90	-56,60	-409,34	413,24
T1	U2	10,38	97,87	1,45	86,90	56,58	408,91	412,80
V1	U2	48,98	0,04	0,11	57,11	1948,36	-1,67	1948,36
V1	U3	48,99	0,71	0,11	57,11	-1948,79	23,88	1948,93
V2	U3	48,98	0,72	3,63	54,83	1948,72	-23,99	1948,86
V2	U4	48,99	0,90	3,63	54,83	-1963,78	8,88	1963,80
V3	U4	48,99	0,90	0,96	43,47	1963,79	-8,87	1963,81
V3	U5	48,99	0,94	0,96	43,47	-1968,79	5,46	1968,80
V4	U5	48,99	0,94	1,30	26,60	1968,77	-5,48	1968,78
V4	U6	48,99	0,97	1,30	26,60	-1977,11	2,38	1977,11
V5	U6	48,99	0,96	0,12	32,77	1977,43	-2,17	1977,43
V5	U7	48,99	0,97	0,12	32,77	-1978,17	1,82	1978,17
V6	U7	48,97	0,98	0,05	26,60	1977,42	-2,24	1977,42
V6	U8	48,97	0,98	0,05	26,60	-1977,71	2,13	1977,71
V7	U8	48,99	0,97	0,75	32,77	1978,16	-1,91	1978,16
V7	U9	48,99	1,00	0,75	32,77	-1982,69	-0,22	1982,69
T2	U9	48,99	1,00	0,12	79,92	1982,68	0,21	1982,68
T2	U10	2694,20	1,00	0,12	79,92	-2000,97	-103,12	2003,62
FVE1	U10	2690,65	-176,05	0,09	-180,00	-2000,98	0,00	2000,98
Z_kom	U10	138,67	93,94	1,79	-89,99	0,01	-103,12	103,12
Z1	U2	51,43	-11,49	257,80	11,48	2004,87	407,11	2045,78

Tab. 6 - proudy a výkony – po připojení samotného zdroje s kompenzací

18 PŘÍLOHA 3 – NAPĚŤOVÉ A PROUDOVÉ POMĚRY – PŘIPOJITELNOST VÝROBNY VVN

18.1 Napěťové a proudové poměry před připojením výroby – výchozí stav

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	399,799	-0,2	0,05	7,91	90,0	22243,1
U2	120,318	-2,0	-9,38	7,70	89,0	1728,3
U3	120,315	-2,0	-9,38	9,21	86,3	1444,9
U4	119,189	-3,7	-8,35	14,37	85,0	926,0
U5	118,874	-4,0	-8,07	17,70	81,9	751,8
U6	118,839	-4,0	-8,04	23,66	78,6	562,7
U4A	119,098	-3,8	-8,27	16,93	82,5	786,4
U2A	120,316	-2,0	-9,38	8,97	86,7	1484,3
UV4	118,914	-3,9	-8,10	17,28	82,2	770,2
UV1	120,015	-2,5	-9,10	11,03	86,4	1206,3
UV2	119,725	-2,9	-8,84	13,06	85,5	1019,0
UVpt1	22,040	-2,5	-0,18	3,30	86,0	161,4
UVpt2	22,042	-2,5	-0,19	3,72	82,5	143,1
Ugp1	1,002	-2,5	-0,19	0,01	82,4	86,1
Ukp2	22,044	-2,5	-0,20	4,26	79,1	125,0

Tab. 1 – napětí v uzlech – před připojením posuzované výroby

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
NU	U1	98,09	170,4	7,19	90,0	-67017,9	-11073,2	67926,5
T400	U1	98,09	170,4	7,61	88,9	-67017,9	-11074,1	67926,7
T400	U2	322,77	171,4	7,61	88,9	66811,7	7785,5	67263,8
V1	U2	2,28	177,3	1,31	73,0	-474,2	-5,4	474,3
V1	U2A	2,36	162,6	1,31	73,0	474,2	130,6	491,9
V3	U2	160,32	171,1	7,44	80,5	-33169,8	-3992,4	33409,2
V3	UV2	160,80	169,7	7,44	80,5	33074,3	4240,6	33345,1
V5	U4	109,08	168,7	3,00	68,9	-22320,0	-2985,0	22518,7
V5	UV4	109,27	168,0	3,00	68,9	22281,4	3169,9	22505,8
V4	U4	43,35	170,9	2,64	68,8	-8909,9	-848,4	8950,2

Připojování obnovitelných zdrojů do energetických sítí

V4	U4A	43,49	169,3	2,64	68,8	8904,5	1084,3	8970,3
V4a	U6	43,97	-14,8	6,86	68,9	8890,4	1698,2	9051,1
V4a	U4A	43,49	-10,7	6,86	68,9	-8904,5	-1084,3	8970,3
V1a	U3	2,39	-20,2	0,25	72,7	474,1	155,6	498,9
V1a	U2A	2,36	-17,4	0,25	72,7	-474,1	-130,7	491,7
Z3	U3	2,40	-20,2	28993,22	18,2	474,3	155,9	499,3
Z_5	U5	109,30	-12,1	627,94	8,2	22275,8	3196,5	22504,0
Z_6	U6	43,97	-14,8	1560,32	10,8	8890,4	1698,2	9051,1
Z_4	U4	171,66	-14,9	400,87	11,2	34761,2	6892,3	35437,9
V2a	U4	161,80	-12,7	9,44	80,5	32994,8	5200,4	33402,1
V2a	UV1	161,05	-10,9	9,44	80,5	-33117,2	-4900,7	33477,8
V5a	U5	109,30	-12,1	0,43	68,9	22276,0	3196,6	22504,2
V5a	UV4	109,27	-12,0	0,43	68,9	-22281,6	-3170,0	22506,0
TV4	UV4	0,00	90,0	19,43	88,1	0,0	0,0	0,0
TV4	UgV4	0,00	-180,0	19,43	88,1	0,0	0,0	0,0
V2	U2	160,19	171,5	3,92	80,5	-33167,5	-3787,0	33383,0
V2	UV1	160,43	170,8	3,92	80,5	33117,4	3919,6	33348,6
TV1a	UV1	3,73	-92,5	14,43	87,5	-0,2	775,7	775,7
TV1a	Ut22	20,35	-92,5	14,43	87,5	0,2	-776,8	776,8
V3a	U4	162,06	-13,2	5,91	80,5	32996,3	5525,4	33455,8
V3a	UV2	161,56	-12,1	5,91	80,5	-33073,4	-5341,4	33501,9
TV3	UV2	0,00	88,2	19,43	88,1	0,0	0,0	0,0
TV3	U18	0,00	98,9	19,43	88,1	0,0	0,0	0,0
TV2a	UV2	5,31	-93,0	30,78	86,6	-1,0	1100,5	1100,5
TV2a	U19	29,44	-93,0	30,78	86,6	0,7	-1105,5	1105,5
V13	U19	14,72	-93,0	2,36	57,1	-0,4	552,8	552,8
V13	U20	2,95	-93,0	2,36	57,1	0,0	-110,8	110,8
V14	U19	14,72	-93,0	2,36	57,1	-0,4	552,8	552,8
V14	U20	2,95	-93,0	2,36	57,1	0,0	-110,8	110,8
V15	U20	5,89	-93,0	1,18	57,1	0,0	221,5	221,5
V15	U21	0,00	86,8	1,18	57,1	0,0	0,0	0,0
TV2b	U20	0,00	90,0	1,05	82,4	0,0	0,0	0,0
TV2b	U22	0,00	90,0	1,05	82,4	0,0	0,0	0,0
K3	Ut22	6,78	-92,5	0,71	57,1	0,0	259,0	259,0
K3	UV1tg	3,19	-92,5	0,71	57,1	0,0	-121,9	121,9

K2	Ut22	6,78	-92,5	0,71	57,1	0,0	259,0	259,0
K2	UV1tg	3,19	-92,5	0,71	57,1	0,0	-121,9	121,9
K1	Ut22	6,78	-92,5	0,71	57,1	0,0	259,0	259,0
K1	UV1tg	3,19	-92,5	0,71	57,1	0,0	-121,9	121,9
K4	UV1tg	9,58	-92,5	1,89	57,1	-0,1	365,8	365,8
K4	UK	0,00	127,3	1,89	57,1	0,0	0,0	0,0
TV1b	UV1tg	0,00	90,0	0,42	82,4	0,0	0,0	0,0
TV1b	Ug	0,00	90,0	0,42	82,4	0,0	0,0	0,0
TVpa	UV1	0,99	-92,5	45,90	86,0	0,0	205,2	205,2
TVpa	UVpt1	5,38	-92,5	45,90	86,0	0,0	-205,5	205,5
Kp1	UVpt1	5,38	-92,5	0,47	57,1	0,0	205,5	205,5
Kp1	UVpt2	2,99	-92,5	0,47	57,1	0,0	-114,2	114,2
TVpb	UVpt2	0,00	90,0	1,68	82,4	0,0	0,0	0,0
TVpb	Ugp1	0,00	90,0	1,68	82,4	0,0	0,0	0,0
Kp2	UVpt2	2,99	-92,5	0,59	57,1	0,0	114,2	114,2
Kp2	Ukp2	0,00	-57,7	0,59	57,1	0,0	0,0	0,0

Tab. 2 - proudy a výkony – před připojením posuzované výroby

18.2 Napěťové a proudové poměry po připojení výroby

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	399,046	0,61	0,24	7,91	90,00	22243,1
U2	118,825	7,25	-8,02	7,70	88,99	1728,3
U3	118,822	7,25	-8,02	9,21	86,30	1444,9
U4	119,472	11,46	-8,61	14,37	85,01	926,0
U5	120,156	12,45	-9,23	17,70	81,93	751,8
U6	119,497	11,62	-8,63	23,66	78,60	562,7
U4A	119,486	11,50	-8,62	16,93	82,51	786,4
U2A	118,823	7,25	-8,02	8,97	86,68	1484,3
UV4	120,125	12,39	-9,20	17,28	82,25	770,2
UV1	119,235	9,29	-8,40	11,03	86,40	1206,3
UV2	119,450	10,57	-8,59	13,06	85,47	1019,0
UVpt1	22,103	14,39	-0,47	3,30	86,01	161,4

UVpt2	22,299	15,03	-1,36	3,72	82,49	143,1
Ugp1	1,033	19,11	-3,29	0,01	82,44	86,1
Ukp2	22,301	15,03	-1,37	4,26	79,09	125,0

Tab. 3 – napětí v uzlech – po připojení posuzované výroby

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
NU	U1	351,7	12,89	7,19	90,00	237512,5	-51690,7	243072,2
T400	U1	351,7	12,89	7,61	88,89	237512,5	-51690,4	243072,1
T400	U2	1162,6	12,63	7,61	88,89	- 238219,8	22419,2	239272,4
V1	U2	2,3	-173,62	1,31	72,98	-468,0	-7,1	468,1
V1	U2A	2,4	171,82	1,31	72,98	468,0	129,2	485,5
V3	U2	537,3	13,09	7,44	80,45	110009,8	-11236,0	110582,2
V3	UV2	537,6	13,50	7,44	80,45	- 111080,1	5677,2	111225,1
V5	U4	395,7	14,38	3,00	68,95	81775,6	-4165,0	81881,6
V5	UV4	395,8	14,58	3,00	68,95	-82282,4	3137,3	82342,1
V4	U4	19,8	22,36	2,64	68,80	4029,3	-775,7	4103,3
V4	U4A	20,1	25,76	2,64	68,80	-4030,5	1024,1	4158,5
V4a	U6	21,1	-145,86	6,86	68,95	-4033,6	1672,5	4366,5
V4a	U4A	20,1	-154,24	6,86	68,95	4030,4	-1024,3	4158,5
V1a	U3	2,4	-10,97	0,25	72,73	468,2	154,1	492,9
V1a	U2A	2,4	-8,25	0,25	72,73	-468,2	-129,8	485,8
Z3	U3	2,4	-10,94	28655,80	18,20	468,1	153,8	492,7
Z_5	U5	105,9	4,28	655,32	8,17	21807,8	3129,4	22031,2
Z_6	U6	43,1	0,81	1601,90	10,81	8755,8	1672,4	8914,1
Z_4	U4	168,7	0,25	408,91	11,21	34240,1	6789,0	34906,7
V2a	U4	276,6	-162,58	9,44	80,45	-56918,5	5941,2	57227,7
V2a	UV1	276,0	-163,60	9,44	80,45	56559,9	-7049,9	56997,6
V5a	U5	154,4	-161,97	0,43	68,95	-31978,8	3128,2	32131,5
V5a	UV4	154,4	-162,04	0,43	68,95	31967,7	-3115,2	32119,1
TV4	UV4	241,8	12,42	19,43	88,13	50315,3	-21,0	50315,3
TV4	UgV4	1318,5	12,42	19,43	88,13	-50526,0	-6429,7	50933,5
VTE4	UgV4	1318,5	-167,58	9,77	-172,75	-50526,0	-6429,7	50933,5
V2	U2	627,6	12,22	3,92	80,45	128678,1	-11175,5	129162,4

Připojování obnovitelných zdrojů do energetických sítí

V2	UV1	627,7	12,40	3,92	80,45	-129446,3	7031,0	129637,1
TV1a	UV1	281,7	9,34	14,43	87,48	58173,3	-42,2	58173,3
TV1a	Ut22	1535,8	9,34	14,43	87,48	-58459,3	-6456,7	58814,7
V3a	U4	180,8	-159,64	5,91	80,45	-36954,6	5788,8	37405,3
V3a	UV2	180,3	-160,61	5,91	80,45	36858,7	-5716,8	37299,4
TV3	UV2	248,2	10,60	19,43	88,13	51348,1	-27,3	51348,1
TV3	U18	1353,2	10,60	19,43	88,13	-51570,1	-6767,2	52012,2
VTE3	U18	1353,2	-169,40	9,47	-172,52	-51570,1	-6767,1	52012,2
TV2a	UV2	110,6	10,41	30,78	86,60	22873,2	66,9	22873,3
TV2a	U19	613,3	10,41	30,78	86,60	-23002,3	-2240,9	23111,2
V13	U19	306,7	10,41	2,36	57,12	11501,1	1120,5	11555,6
V13	U20	305,5	12,64	2,36	57,12	-11860,9	-1215,7	11923,0
V14	U19	306,7	10,41	2,36	57,12	11501,1	1120,5	11555,6
V14	U20	305,5	12,64	2,36	57,12	-11860,9	-1215,7	11923,0
V15	U20	6,1	-71,51	1,18	57,11	0,0	238,7	238,7
V15	U21	0,0	-13,20	1,18	57,11	0,0	0,0	0,0
TV2b	U20	610,4	13,22	1,05	82,36	23721,8	2192,7	23823,0
TV2b	U22	13427,8	13,22	1,05	82,36	-23950,9	-3900,1	24266,3
VTE2	U22	13427,8	-166,78	0,04	-170,75	-23950,9	-3900,1	24266,3
K3	Ut22	511,9	9,34	0,71	57,11	19486,4	2152,2	19604,9
K3	UV1tg	511,5	9,74	0,71	57,11	-19788,1	-2478,3	19942,7
K2	Ut22	511,9	9,34	0,71	57,11	19486,4	2152,2	19604,9
K2	UV1tg	511,5	9,74	0,71	57,11	-19788,1	-2478,3	19942,7
K1	Ut22	511,9	9,34	0,71	57,11	19486,4	2152,2	19604,9
K1	UV1tg	511,5	9,74	0,71	57,11	-19788,1	-2478,3	19942,7
K4	UV1tg	9,8	-73,14	1,89	57,12	-0,1	381,2	381,2
K4	UK	0,0	135,80	1,89	57,12	0,0	0,0	0,0
TV1b	UV1tg	1533,3	10,10	0,42	82,36	59364,3	7053,8	59781,9
TV1b	Ug	33733,2	10,10	0,42	82,36	-59942,6	-11364,0	61010,2
VTE1	Ug	33733,2	-169,90	0,02	-169,27	-59942,6	-11363,9	61010,2
TVpa	UV1	71,2	9,06	45,90	85,97	14713,0	60,8	14713,1
TVpa	UVpt1	388,4	9,06	45,90	85,97	-14806,0	-1380,9	14870,2
Kp1	UVpt1	388,4	9,06	0,47	57,11	14806,0	1380,9	14870,2
Kp1	UVpt2	388,2	9,41	0,47	57,11	-14921,8	-1467,3	14993,7

TVpb	UVpt2	387,9	9,86	1,68	82,36	14921,8	1350,5	14982,8
TVpb	Ugp1	8534,1	9,86	1,68	82,36	-15069,8	-2453,9	15268,3
Kp2	UVpt2	3,0	-74,97	0,59	57,11	0,0	116,9	116,9
Kp2	Ukp2	0,0	-58,20	0,59	57,11	0,0	0,0	0,0
VTE_p	Ugp1	8534,1	-170,14	0,07	-170,75	-15069,8	-2453,9	15268,3
G6	U6	61,8	-168,38	1116,51	-180,00	-12789,4	0,0	12789,4
G_4	U4	204,5	-168,54	337,37	-180,00	-42308,2	0,0	42308,2
G_5	U5	258,4	-167,55	268,43	-180,00	-53786,1	0,0	53786,1

Tab. 4 - proudy a výkony – po připojení posuzované výrobní

19 PŘÍLOHA 4 – TECHNICKÝ LIST STŘÍDAČŮ FRONIUS IG PLUS 120 V-3

/ Nabíjecí systémy akumulátorů / Svařovací technika / Solární elektronika



TRANSFORMÁTOROVÉ STŘÍDAČE FRONIUS IG PLUS

/ Univerzální přístroje s maximální jistotou výnosu.



/ Koncepte MIX™



/ Přepínání vysokofrekvenčního transformátoru



/ Module Manager



/ Koncepte výměny výkonových desek



/ Systém montáže



/ Koncepte odvětrávání



/ Nová generace střídačů Fronius IG Plus představuje další stupeň vývoje osvědčené řady Fronius IG. Výkonové třídy od 3 do 12 kW slibují použitelnost pro všechny myslitelné velikosti fotovoltaických elektráren. S účinností 95,9 % dosahují přístroje řady Fronius IG Plus nejvyšších hodnot u transformátorových střídačů.

TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG PLUS (30 V-1, 35 V-1, 50 V-1, 70 V-2, 100 V-2)

VSTUPNÍ ÚDAJE	30 V-1	35 V-1	50 V-1	70 V-2	100 V-2
Maximální výkon DC při $\cos \varphi = 1$	3 170 W	3 710 W	4 260 W	6 880 W	8 520 W
Max. vstupní proud ($I_{dc,max}$)	13,8 A	16,1 A	18,5 A	29,9 A	37,0 A
Min. vstupní napětí ($U_{dc,min}$)	230 V				
Startovací napětí dodávky ($U_{dc,start}$)	260 V				
Jmenovité vstupní napětí ($U_{dc,r}$)	370 V				
Max. vstupní napětí ($U_{dc,max}$)	600 V				
Rozsah napětí MPP ($U_{mpp,min} - U_{mpp,max}$)	230 – 500 V				
Počet vstupů DC	6				

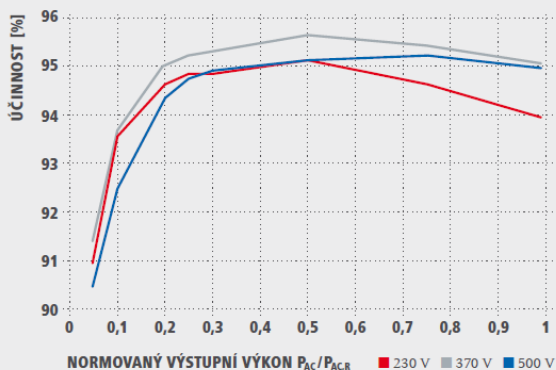
VÝSTUPNÍ ÚDAJE	30 V-1	35 V-1	50 V-1	70 V-2	100 V-2
Jmenovitý výkon AC ($P_{ac,r}$)	3 000 W	3 500 W	4 000 W	6 500 W	8 000 W
Maximální výstupní výkon	3 000 VA	3 500 VA	4 000 VA	6 500 VA	8 000 VA
Max. výstupní proud ($I_{ac,max}$)	13,0 A	15,2 A	17,4 A	14,1 A (28,3 A) ¹⁾	17,4 A (34,8 A) ¹⁾
Síťové připojení ($U_{ac,r}$)	1-NPE 230 V				
Min. výstupní napětí ($U_{ac,min}$)	180 V				
Max. výstupní napětí ($U_{ac,max}$)	270 V				
Frekvence (f_r)	50 Hz / 60 Hz				
Frekvenční rozsah ($f_{min} - f_{max}$)	46 – 65 Hz				
Činitel zkreslení	< 3 %				
Účinnost ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0,85 – 1 ind. / $\cos \varphi$.				

¹⁾ 1fázový (roz. výbava)

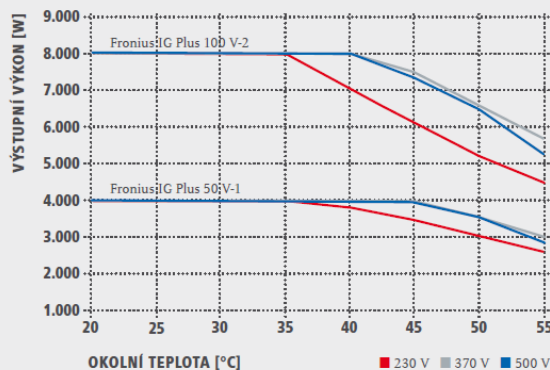
VŠEOBECNÉ ÚDAJE	30 V-1	35 V-1	50 V-1	70 V-2	100 V-2
Rozměry (výška x šířka x hloubka)	673 x 434 x 250 mm			968 x 434 x 250 mm	
Hmotnost	23,8 kg			36,9 kg	
Krytí	IP 54 ²⁾				
Třída ochrany	1				
Kategorie přepětí (DC/AC)	2/3				
Spotřeba v noci	< 1 W				
Koncepte střídače	vysokofrekvenční transformátor				
Chlazení	řízené chlazení vzduchem				
Montáž	vnitřní a venkovní instalace				
Rozsah okolní teploty	-20 – +55 °C				
Přípustná vlhkost vzduchu	0 – 95 %				
Technologie připojení DC	připojení pomocí šroubových svorek, 1,5 – 16 mm ²				
Technologie připojení AC	připojení pomocí šroubových svorek, 2,5 – 35 mm ²				
Certifikace a normy	DIN V VDE V 0126-1-1, ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, G83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, Guida per le connessioni alla rete elettrica di ENEL Distribuzione, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3				

²⁾ Dodržujte pokyny pro správnou instalaci střídače, které jsou uvedeny v návodu k obsluze.

KŘIVKA ÚČINNOSTI PRO FRONIUS IG PLUS 100 V-2



ZMĚNA VÝKONU V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ U FRONIUS IG PLUS V



TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG PLUS (30 V-1, 35 V-1, 50 V-1, 70 V-2, 100 V-2)

ÚČINNOST	30 V-1	35 V-1	50 V-1	70 V-2	100 V-2
Max. účinnost	95,7 %	95,7 %	95,7 %	95,7 %	95,7 %
Účinnost Euro (η_{EU})	94,8 %	95,0 %	95,0 %	95,1 %	95,2 %
η při 5 % $P_{AC,r}^{(3)}$	87,9 / 87,6 / 87,2 %	88,2 / 88,1 / 87,4 %	88,7 / 88,6 / 88,2 %	90,4 / 91,1 / 90,3 %	90,9 / 91,4 / 90,5 %
η při 10 % $P_{AC,r}^{(3)}$	90,4 / 90,8 / 90,2 %	91,6 / 92,3 / 91,5 %	92,1 / 92,7 / 92,1 %	93,0 / 93,2 / 92,0 %	93,6 / 93,7 / 92,5 %
η při 20 % $P_{AC,r}^{(3)}$	93,6 / 94,2 / 93,2 %	94,1 / 94,6 / 93,4 %	94,4 / 94,7 / 93,5 %	94,7 / 94,7 / 94,0 %	94,7 / 95,1 / 94,4 %
η při 25 % $P_{AC,r}^{(3)}$	94,3 / 94,6 / 93,5 %	94,6 / 94,8 / 93,7 %	94,8 / 94,9 / 94,0 %	94,9 / 95,1 / 94,4 %	94,9 / 95,3 / 94,8 %
η při 30 % $P_{AC,r}^{(3)}$	94,7 / 94,9 / 93,8 %	94,9 / 95,0 / 94,1 %	95,1 / 95,2 / 94,5 %	95,0 / 95,3 / 94,8 %	94,9 / 95,4 / 95,0 %
η při 50 % $P_{AC,r}^{(3)}$	95,2 / 95,5 / 94,9 %	95,3 / 95,7 / 95,3 %	95,2 / 95,7 / 95,3 %	95,3 / 95,5 / 94,9 %	95,2 / 95,7 / 95,2 %
η při 75 % $P_{AC,r}^{(3)}$	95,1 / 95,7 / 95,4 %	94,9 / 95,6 / 95,4 %	94,7 / 95,5 / 95,4 %	95,0 / 95,7 / 95,3 %	94,7 / 95,5 / 95,3 %
η při 100 % $P_{AC,r}^{(3)}$	94,7 / 95,5 / 95,4 %	94,4 / 95,2 / 95,1 %	94,0 / 95,0 / 95,0 %	94,5 / 95,4 / 95,2 %	94,0 / 95,1 / 95,0 %
Účinnost přizpůsobení MPP	> 99,9 %				

³⁾ A při $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ	30 V-1	35 V-1	50 V-1	70 V-2	100 V-2
Měření izolace DC	varování / odpojení (v závislosti na nastavení země) při $R_{ISO} < 500\ k\Omega$				
Chování při přetížení	posunutí pracovního bodu, omezení výkonu				
Odpojovač DC	integrovaný				

TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG PLUS (100 V-3, 120 V-3, 150 V-3)

VSTUPNÍ ÚDAJE	100 V-3 ¹⁾	120 V-3	150 V-3
Maximální výkon DC při $\cos \varphi = 1$	8 430 W	10 590 W	12 770 W
Max. vstupní proud ($I_{dc\ max}$)	36,7 A	46,0 A	55,5 A
Min. vstupní napětí ($U_{dc\ min}$)		230 V	
Startovací napětí dodávky ($U_{dc\ start}$)		260 V	
Jmenovité vstupní napětí ($U_{dc,r}$)		370 V	
Max. vstupní napětí ($U_{dc\ max}$)		600 V	
Rozsah napětí MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)		230 – 500 V	
Počet vstupů DC		6	

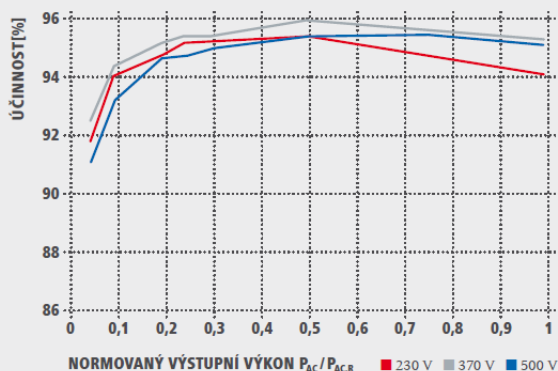
VÝSTUPNÍ ÚDAJE	100 V-3 ¹⁾	120 V-3	150 V-3
Jmenovitý výkon AC ($P_{ac,r}$)	8 000 W	10 000 W	12 000 W
Maximální výstupní výkon	8 000 VA	10 000 VA	12 000 VA
Max. výstupní proud ($I_{ac\ max}$)	11,6 A	14,5 A	17,4 A
Síťové připojení ($U_{ac,r}$)		3-NPE 400 V / 230 V	
Min. výstupní napětí ($U_{ac\ min}$)		180 V	
Max. výstupní napětí ($U_{ac\ max}$)		270 V	
Frekvence (f_s)		50 Hz / 60 Hz	
Frekvenční rozsah ($f_{min} - f_{max}$)		46 – 65 Hz	
Činitel zkreslení		< 3 %	
Účinník ($\cos \varphi_{ac,r}$)		0,85 – 1 ind. / cap.	

VŠEOBECNÉ ÚDAJE	100 V-3 ¹⁾	120 V-3	150 V-3
Rozměry (výška x šířka x hloubka)		1 263 x 434 x 250 mm	
Hmotnost		49,2 kg	
Krytí		IP 54 ²⁾	
Třída ochrany		1	
Kategorie přepětí (DC/AC)		2 / 3	
Spotřeba v noci		< 1 W	
Koncepce střídače		vysokofrekvenční transformátor	
Chlazení		řízené chlazení vzduchem	
Montáž		vnitřní a venkovní instalace	
Rozsah okolní teploty		-20 – +55 °C	
Přípustná vlhkost vzduchu		0 – 95 %	
Technologie připojení DC		připojení pomocí šroubových svorek, 1,5 – 16 mm ²	
Technologie připojení AC		připojení pomocí šroubových svorek, 2,5 – 35 mm ²	
Certifikace a normy	DIN V VDE V 0126-1-1, ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, G83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, Guida per le connessioni alla rete elettrica di ENEL Distribuzione, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3		

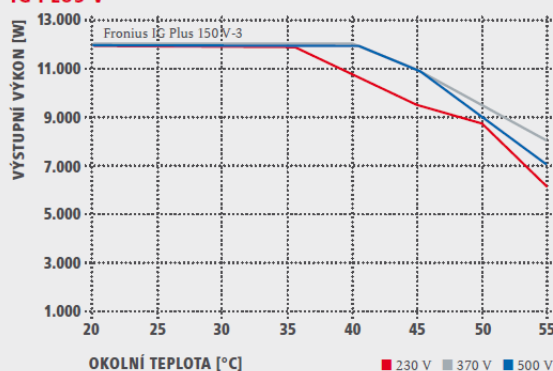
¹⁾ Přístroje Fronius IG Plus 100 V-3 jsou určeny pouze pro použití v Evropě (kromě Itálie).

²⁾ Dodržujte pokyny pro správnou instalaci střídače, které jsou uvedeny v návodu k obsluze.

KŘIVKA ÚČINNOSTI PRO FRONIUS IG PLUS 150 V-3



ZMĚNA VÝKONU V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ U FRONIUS IG PLUS V



TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG PLUS (100 V-3, 120 V-3, 150 V-3)

ÚČINNOST	100 V-3 ¹⁾	120 V-3	150 V-3
Max. účinnost	95,9 %	95,9 %	95,9 %
Účinnost Euro (η_{EU})	95,3 %	95,4 %	95,4 %
η při 5 % $P_{ac,r}$ ³⁾	91,7 / 91,9 / 90,3 %	91,5 / 92,2 / 90,7 %	91,8 / 92,5 / 91,1 %
η při 10 % $P_{ac,r}$ ³⁾	93,1 / 93,1 / 92,0 %	93,4 / 93,7 / 92,6 %	94,0 / 94,3 / 93,2 %
η při 20 % $P_{ac,r}$ ³⁾	94,3 / 94,9 / 94,2 %	94,6 / 95,2 / 94,5 %	94,7 / 95,1 / 94,6 %
η při 25 % $P_{ac,r}$ ³⁾	94,6 / 95,2 / 94,5 %	94,7 / 95,3 / 94,7 %	95,1 / 95,3 / 94,7 %
η při 30 % $P_{ac,r}$ ³⁾	94,7 / 95,2 / 94,5 %	95,0 / 95,4 / 94,7 %	95,1 / 95,3 / 94,9 %
η při 50 % $P_{ac,r}$ ³⁾	95,3 / 95,8 / 95,0 %	95,3 / 95,9 / 95,1 %	95,3 / 95,9 / 95,3 %
η při 75 % $P_{ac,r}$ ³⁾	95,3 / 95,9 / 95,3 %	95,0 / 95,5 / 95,4 %	94,7 / 95,6 / 95,4 %
η při 100 % $P_{ac,r}$ ³⁾	94,9 / 95,7 / 95,4 %	94,6 / 95,5 / 95,3 %	94,0 / 95,2 / 95,1 %
Účinnost přizpůsobení MPP		> 99,9 %	

³⁾ A při $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ	100 V-3 ¹⁾	120 V-3	150 V-3
Měření izolace DC	varování / odpojení (v závislosti na nastavení země) při RISO < 500 kΩ		
Chování při přetížení	posunutí pracovního bodu, omezení výkonu		
Odpojovač DC	integrováný		

/ Nabíjecí systémy akumulátorů / Svařovací technika / Solární elektronika

MÁME TŘI DIVIZE A JEDNU SPOLEČNOU VÁŠEŇ: POSOUVÁME HRANICE.

/ Ať už se jedná o nabíjecí systémy akumulátorů, svařovací techniku nebo solární elektroniku, náš cíl je jasně definován: Být jedničkou v technologii i ve kvalitě. S více než 3 000 zaměstnanců na celém světě posouváme hranice realizovatelného. Důkazem je 737 aktivních patentů. Zatímco ostatní se vyvíjejí krok za krokem, my děláme vývojové skoky. Již od začátku. Další informace ke každému výrobku Fronius a o našich prodejních partnerech a reprezentantech po celém světě naleznete na adrese www.fronius.com.





**EU-KONFORMITÄTSERKLÄRUNG 2011
EC-DECLARATION OF CONFORMITY 2011
DECLARATION DE CONFORMITE DE LA CE, 2011**

Wels-Thalheim, 2011-07-25

Die Firma

Manufacturer

La compagnie

FRONIUS INTERNATIONAL GMBH
Günter Fronius Straße 1, A-4600 Wels-Thalheim

erklärt in alleiniger Verantwortung,
dass folgendes Produkt:

Hereby certifies on its sole
responsibility that the following
product:

se déclare seule responsable du fait
que le produit suivant:

Fronius IG Plus 30V-1 / 35V-1
/ 50V-1 / 70V-1 / 70V-2 /
100V-1 / 100V-2 / 100V-3 /
120V-3 / 150V-3
Solar-Wechselrichter

Fronius IG Plus 30V-1 / 35V-1
/ 50V-1 / 70V-1 / 70V-2 /
100V-1 / 100V-2 / 100V-3 /
120V-3 / 150V-3
Photovoltaic inverter

Fronius IG Plus 30V-1 / 35V-1
/ 50V-1 / 70V-1 / 70V-2 /
100V-1 / 100V-2 / 100V-3 /
120V-3 / 150V-3
Onduleur solaire

auf das sich diese Erklärung
bezieht, mit folgenden Richtlinien
bzw. Normen übereinstimmt:

which is explicitly referred to by this
Declaration meet the following
directives and standard(s):

qui est l'objet de la présente
déclaration correspondent aux
suivantes directives et normes:

Richtlinie 2006/95/EG
Elektrische Betriebsmittel
Niederspannungsrichtlinie
Richtlinie 2004/108/EG
Elektromag. Verträglichkeit

Directive 2006/95/EC
Electrical Apparatus
Low Voltage Directive
Directive 2004/108/EC
Electromag. compatibility

Directive 2006/95/CE
Outillages électriques
Directive de basse tension
Directive 2004/108/CE
Électromag. Compatibilité

Europäische Normen inklusive
zutreffende Änderungen
IEC 62109-1:2010
IEC 62109-2:2011
EN 50178:1997
EN 61000-3-2:2006
EN 61000-3-11:2000
EN 61000-3-12:2005
EN 61000-6-2:2005
EN 61000-6-3:2007
EN 62233:2008

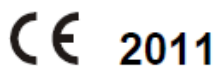
European Standards including
relevant amendments
IEC 62109-1:2010
IEC 62109-2:2011
EN 50178:1997
EN 61000-3-2:2006
EN 61000-3-11:2000
EN 61000-3-12:2005
EN 61000-6-2:2005
EN 61000-6-3:2007
EN 62233:2008

Normes européennes avec
amendements correspondants
IEC 62109-1:2010
IEC 62109-2:2011
EN 50178:1997
EN 61000-3-2:2006
EN 61000-3-11:2000
EN 61000-3-12:2005
EN 61000-6-2:2005
EN 61000-6-3:2007
EN 62233:2008

Die oben genannte Firma hält
Dokumentationen als Nachweis der
Erfüllung der Sicherheitsziele und
die wesentlichen Schutzanforder-
ungen zur Einsicht bereit.

Documentation evidencing
conformity with the requirements of
the Directives is kept available for
inspection at the above
Manufacturer.

En tant que preuve de la satisfaction
des demandes de sécurité la
documentation peut être consultée
chez la compagnie susmentionnée.



ppa Hackl
ppa. Mag.ing.H.Hackl

DE German

Deutsch

EN English

English

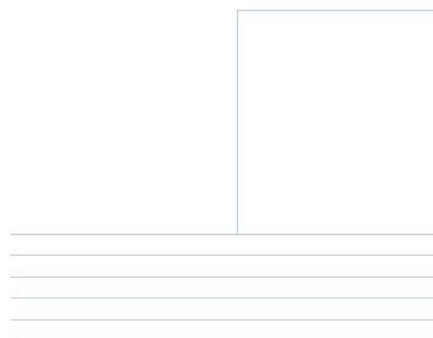
FR French

Française

20 PŘÍLOHA 5 – TECHNICKÝ LIST STŘÍDAČŮ KACO POWADOR 33000XI



Powador
25000xi/30000xi/33000xi.
Centrální střídače v osvědčené kvalitě KACO.



plné energie.



velikán od KACO.

Centrální střídače jsou založeny na známé a spolehlivé technologii Powador. Každá fáze elektrické sítě je napájena z jedné beztransformátorové jednotky. Váš cenný fotovoltaický proud je dodáván do veřejné distribuční sítě s nejvyšší efektivitou. Sledování vstupního DC-napětí je kompatibilní s 1-fázovými beztransformátorovými střídači Powador, což dělá projektování jednoduché a flexibilní. Díky novému konceptu chlazení, kde je elektronika umístěna v chráněném prostoru, mohou střídače Powador 25000xi/30000xi/33000xi pracovat i ve ztížených provozních podmínkách.

Osvědčené vlastnosti produktů firmy KACO, jako jsou jednoduchost ovládání, dlouhá životnost, účinnost a inovace, jsou naplněny i u střídačů Powador 25000xi/30000xi/33000xi.

Firma KACO nabízí 6-ti letou záruku na výrobek, čímž jde příkladem ostatním výrobcům.

Vstup - elektrické parametry

typ	25000xi	30000xi	33000xi
maximální výkon FV generátoru	30 kWp (10 kWp na vstup)	37,5 kWp (12,5 kWp na vstup)	39 kWp (13 kWp na vstup)
MPP - sledovač	3		
MPP - rozsah	350 ... 800V _{DC}		
max. dovolené napětí naprázdno	do 800V _{DC}		
sledování vstupního napětí	udržovací režim od U _i >300V _{DC} noční odpojení od U _i <250V _{DC}		

Výstup - elektrické parametry

Jmenovitý výkon	25 kW	29,9 kW	33,3 kW
maximální výkon	27,5 kW	32,9 kW	33,3 kW
napětí sítě	3 x 190 ... 264V / 400V		
Jmenovitý proud na fázi	36,2 A	43,3 A	48,3 A
součinitel výkonu	=1		
frekvence	50 Hz ± 0,1%		

Střídač - elektrické parametry

max. účinnost	96,5%
EU účinnost	94,5%
minimální výkon	120 W
spínací koncept	pulsně šířková modulace bez traťu
taktovací frekvence	17 kHz
sledování sítě	sledování 3 fází dle nové VDE 0126-1-1, VDEW-shodný

Střídač - mechanické a technické parametry

optické ukazatele	FV - generátor (zelená) napětí sítě (zelená) porucha (červená) podsvícený LC-display (4x20 znaků)		
ovládání	2 tlačítka LC-Display		
připojení	AC - šroubovací svorky, vývodka 1 x M40 DC - šroubovací svorky, vývodka 6 x M20		
okolní teplota	-20°C ... +40°C		
sledování teploty	>75°C teplotné závěsné přizpůsobení výkonu >80°C odpojení od sítě		
datové rozhraní	RS 485		
chlazení	nucené (ventilátor s regulátorem otáček, max. 450 m ³ /h)		
krytí	IP54 podle EN 60529		
rozměry (š x h x v)	835 x 300 x 1460 mm	835 x 300 x 1460 mm	835 x 340 x 1460 mm
váha	185 kg	185 kg	190 kg

vlastnosti.

- Beztransformátorová technika firmy KACO zaručující nejvyšší účinnost
- Osvědčená a spolehlivá Powador spínací topologie
- 3 DC vstupy s nezávislými MPP sledovači
- Malé rozměry
- Sledování všech tří fází sítě, nastavení ochran dle PPDS Příloha 4
- Atraktivní poměr ceny a výkonu
- Odečet dat a komunikace kompatibilní s příslušenstvím KACO



KACO GERÄTETECHNIK GmbH
Gottfried-Leibniz-Straße 1
D-74172 Neckarsulm
Telefon +49 (0) 7132 / 38 18 - 0
Telefax +49 (0) 7132 / 38 18 - 22
e-Mail: info@kaco-geraetetechnik.de
www.kaco-geraetetechnik.de

Váš prodejce:

31000105-02-070307

Current harmonics IEC61000-3-12 Powador 33000xi

KACO GERÄTECHNIK GmbH
Forschungs- und Entwicklungszentrum Kassel
Dormannweg 48
D-34123 Kassel



Test conditions:

Voltage: U = 233,451 Vrms THD(U) = 0,048 %
Power (per phase) P = 11166,111 W
Powerfactor: cosPhi = -0,999

Harmonic	max. Current [A]	Limits		Margin to Limit	av. Current [A]	Pass
		IEC61000-3-12 Tabelle 2	IEC61000-3-12 No balanced 3ph [A]			
1	47,8321	-	-	-	47,8069	X
2	0,1129	8,00%	3,8266	-97,1%	0,1082	X
3	0,3264	21,60%	10,3317	-96,8%	0,3247	X
4	0,0356	4,00%	1,9133	-98,1%	0,0332	X
5	0,1222	10,70%	5,1180	-97,6%	0,1192	X
6	0,0171	2,67%	1,2755	-98,7%	0,0145	X
7	0,0361	7,20%	3,4439	-99,0%	0,0342	X
8	0,0163	2,00%	0,9566	-98,3%	0,0148	X
9	0,0606	3,80%	1,8176	-96,7%	0,0594	X
10	0,0105	1,60%	0,7653	-98,6%	0,0097	X
11	0,0323	3,10%	1,4828	-97,8%	0,0308	X
12	0,0093	1,33%	0,6378	-98,5%	0,0078	X
13	0,0321	2,00%	0,9566	-96,6%	0,0310	X
14	0,0071	1,14%	0,5467	-98,7%	0,0056	X
15	0,0217	-	-	-	0,0203	X
16	0,0086	1,00%	0,4783	-98,2%	0,0065	X
17	0,0173	-	-	-	0,0167	X
18	0,0077	0,89%	0,4252	-98,2%	0,0056	X
19	0,0168	-	-	-	0,0161	X
20	0,0068	0,80%	0,3827	-98,2%	0,0052	X
21	0,0186	-	-	-	0,0176	X
22	0,0123	0,73%	0,3479	-96,5%	0,0104	X
23	0,1018	-	-	-	0,1012	X
24	0,0173	0,67%	0,3189	-94,6%	0,0164	X
25	0,0181	-	-	-	0,0168	X
26	0,0062	0,62%	0,2944	-97,9%	0,0049	X
27	0,0126	-	-	-	0,0117	X
28	0,0060	0,57%	0,2733	-97,8%	0,0044	X
29	0,0103	-	-	-	0,0093	X
30	0,0046	0,53%	0,2551	-98,2%	0,0029	X
31	0,0082	-	-	-	0,0067	X
32	0,0042	0,50%	0,2392	-98,2%	0,0024	X
33	0,0085	-	-	-	0,0070	X
34	0,0042	0,47%	0,2251	-98,1%	0,0024	X
35	0,0082	-	-	-	0,0064	X
36	0,0041	0,44%	0,2126	-98,1%	0,0023	X
37	0,0077	-	-	-	0,0061	X
38	0,0041	0,42%	0,2014	-98,0%	0,0024	X
39	0,0074	-	-	-	0,0060	X
40	0,0041	0,40%	0,1913	-97,9%	0,0022	X

Powador 30000xi



EU Konformitätserklärung

Name und Anschrift des Herstellers:	KACO GERÄTECHNIK GmbH Gottfried-Leibniz-Str. 1 74172 Neckarsulm
Produktbezeichnung:	Photovoltaik-Netzeinspeise-Wechselrichter Powador
Typenbezeichnung:	Powador 30000xi

Für die oben genannten Geräte wird hiermit bestätigt, dass sie den Schutzanforderungen entsprechen, die in der Richtlinie des Rates der Europäischen Union vom 3. Mai 1998 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG) und den Niederspannungsrichtlinien (72/23/EWG) festgelegt sind.

Die Geräte entsprechen folgenden Normen:

73/23/EWG „Richtlinie über elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen“	DIN EN 60950-1 Luft- und Kriechstrecken gemäß DIN EN 50178
89/336/EWG „Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit“	DIN EN 61000-6-4 DIN EN 61000-6-2 DIN EN 61000-3-12 DIN EN 61000-3-11

Die oben genannten Typen werden daher mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet.

Bei eigenmächtigen Änderungen an den gelieferten Geräten und/oder nicht bestimmungsgemäßer Verwendung erlischt die Gültigkeit dieser Konformitätserklärung.

Neckarsulm, 08.05.2008
KACO GERÄTECHNIK GmbH

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Matthias Haag', with a checkmark at the end.

i.V. Matthias Haag
Bereichsleiter Photovoltaik

21 PŘÍLOHA 6 – ZKUŠEBNÍ PROTOKOL VESTAS V90

DATA SHEET OF POWER QUALITY MEASUREMENT



According to IEC 61400-21: Wind turbine generator systems, 2001-12

Report:	NR 03 0808	Sheet:	NR 03 0808-5e	page 1 of 3
Wind turbine type designation:	V 90 – 3.0 MW Serial number 12679			
Name of test organisation:	German Wind Energy Institute GmbH Ebertstr. 96, D-26382 Wilhelmshaven, Germany			
Wind turbine manufacture:	Vestas Wind Systems A/S Smed Sorensens Vej 5 DK-6950 Ringkøbing, Denmark			

Description of the tested wind turbine, including settings of control parameters:	Document name and date Manufacturer specification of: 12.01.2004 *)
Description of the test side and grid connection:	NR 03 0808
Description of the test equipment:	NR 03 0808
Description of test conditions:	NR 03 0808
Measurement period:	05.12.2003 - 04.03.2004

*) This data sheet is only in force with the confirmation of turbine from the manufacturer

Note of exceptions to IEC 61400-21:

--

Remarks:

--

General Data:

Number of blades:	3	Generator type and rating(s):	doubly fed induction generator with converter system 3000 kW
Rotor diameter [m]:	90 m	Frequency converter type rating:	four quadrant frequency converter
Hub height [m]:	80 m	Special features	
Blade control (pitch/stall):	pitch		
Speed control (fixed/2speed/variable):	variable		

Rated Data:

Rated power, P_n :	3000 kW	Rated apparent power, S_n :	3020 kVA
Rated wind speed, v_n :	15.5 m/s	Rated reactive power, Q_n :	349 kvar inductive
Rated voltage, U_n :	10.5 kV	Rated current, I_n :	166 A

Wind turbine type:	V 90 – 3.0 MW	Sheet:	NR 03 0808-5e	page 2 of 3
--------------------	---------------	--------	---------------	-------------

Maximum power and assessed reactive power:

Max. permitted power, P_{mc} :		Max. measured 60 – second - average		Max. measured 0.2 – second - average	
P_{mc} 2940 kW	$P_{mc}=P_{mc}/P_n$ 0.98	P_{60} 2957 kW	$P_{60}=P_{60}/P_n$ 0.99	$P_{0.2}$ 3118 kW	$P_{0.2}=P_{0.2}/P_n$ 1.04
Q_{mc} at P_{mc} 336 kvar inductive	Q_{mc}/P_n [kvar/kW] 0.11 inductive	Q_{60} at P_{60} 341 kvar inductive	Q_{60}/P_n [kvar/kW] 0.11 inductive	$Q_{0.2}$ at $P_{0.2}$ 369 kvar inductive	$Q_{0.2}/P_n$ [kvar/kW] 0.12 inductive

Reactive power:

Output power bin P/P_n		Active power bin-mean-value [kW]	Reactive power bin-mean-value [kvar]
from	to		
-0.05	<0.05	106	7 inductive
0.05	<0.15	264	13 inductive
0.15	<0.25	585	30 inductive
0.25	<0.35	923	54 inductive
0.35	<0.45	1173	76 inductive
0.45	<0.55	1477	107 inductive
0.55	<0.65	1811	150 inductive
0.65	<0.75	2110	192 inductive
0.75	<0.85	2384	236 inductive
0.85	<0.95	2687	290 inductive
0.95	<1.05	2925	335 inductive

Harmonics:

Order	Harmonic current [% of I_n]	Output power [kW]	Order	Harmonic current [% of I_n]	Output power [kW]	Order	Harmonic current [% of I_n]	Output power [kW]
2	0.20	2955	3	0.31	620	4	0.30	351
5			6	0.23	2955	7		
8	0.16	2955	9			10		
11			12			13		
14			15			16		
17			18			19		
20			21			22		
23			24			25		
26			27			28		
29			30			31		
32			33			34		
35			36			37		
38			39			40		
41			42			43		
44			45			46		
47			48			49		
50								
Maximum total harmonic current distortion [% of I_n]:			0.46	Output power at maximum total harmonic current distortion [kW]:			351	

Wind turbine type:	V 90 – 3.0 MW	Sheet:	NR 03 0808-5e	page 3 of 3
--------------------	---------------	--------	---------------	-------------

Flicker:

Network impedance phase angle, Ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Annual average wind speed, v_a (m/s):	Flicker coefficient, $c(\Psi_k, v_a)$:			
6.0 m/s	1.63	1.63	1.87	2.04
7.5 m/s	1.65	1.63	1.87	2.04
8.5 m/s	1.65	1.63	1.87	2.04
10 m/s	1.65	1.63	1.84	2.03

Switching operations:

Case of switching operation:	Start-up at cut in wind speed			
Maximum number of switching operations, N_{10} :	4			
Maximum number of switching operations, N_{120} :	20			
Network impedance phase angle, Ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\Psi_k)$:	0.03	0.03	0.03	0.03
Voltage change factor, $k_U(\Psi_k)$:	0.12	0.09	0.05	0.02

Case of switching operation:	Start up at rated wind speed			
Maximum number of switching operations, N_{10} :	2			
Maximum number of switching operations, N_{120} :	10			
Network impedance phase angle, Ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\Psi_k)$:	0.06	0.05	0.04	0.05
Voltage change factor, $k_U(\Psi_k)$:	0.81	0.57	0.26	0.07

Worst case switching between generators:

Case of switching operation:	Operation from large to small generator stage			
Maximum number of switching operations, N_{10} :	2			
Maximum number of switching operations, N_{120} :	10			
Network impedance phase angle, Ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\Psi_k)$:	0.25	0.21	0.15	0.09
Voltage change factor, $k_U(\Psi_k)$:	0.39	0.32	0.21	0.12

Deutsches Windenergie-Institut GmbH
 Ebertstr. 96
 D-26382 Wilhelmshaven, Germany
 Wilhelmshaven, 30.03.2004



J. Herbrandt
 Dipl.-Ing. J. Herbrandt

F. Santjer
 i.V. Dipl.-Ing. F. Santjer