

SIMULACE PROVOZU VTE S OHLEDEM NA PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY PDS

OPERATION SIMULATION OF WIND POWER STATION WITH REGARD TO CONNECTION CONDITIONS OF DISTRIBUTION SYSTEM OPERATOR

Michal Konč¹, Radovan Doleček²

Anotace: Článek se zabývá využitím energie větru jako obnovitelného zdroje elektrické energie získaného prostřednictvím větrných elektráren, možnosti jejich připojení, provozu se sítěmi PDS. Důraz je kladen především na zpětné vlivy v síti PDS, pro jejichž posuzování bude použit program E-vlivy fy EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o. Výsledky simulací jsou porovnány s manuálními výpočty a změřenými parametry kvality elektrické energie.

Klíčová slova: Větr; větrná elektrárna; energetika; připojitelnost; zpětný vliv.

Summary: The paper deals with utilization of wind energy as renewable resource of electric energy generated by wind power plants, their connectivity options and their operating within an electrical energy distribution network. The emphasis is laying particularly on resource influence in electrical energy distribution networks which will be evaluated using the E-vlivy program by EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o. The simulation outcomes are compared with manual calculation and the obtained measurements of electric energy quality parameters.

Keywords: Wind; wind power plant; energetics; connection; resource influence.

ÚVOD

Ke konci roku 2010 se předpokládá vzrůst instalovaného výkonu ve větrných elektrárnách (VTE) až na 303 MW, čemuž odpovídá zhruba 485 MWh vyrobené elektřiny ročně. Naproti tomu v roce 2006 činil instalovaný výkon pouhých 44 MW a vykoupená elektrická energie 49,4 GWh, což je během čtyřleté doby nárůst instalovaného výkonu skoro sedminásobný (1). Mezi největší farmy provozované v ČR patří farma Kryštofovy hamry - Měděnec o instalovaném výkonu 42 MW v Krušných horách, druhou největší je farma Horní Loděnice-Lipina na pomezí Nížkého Jeseníku a Oderských vrchů o instalovaném výkonu celkem 18 MW. Ostatních VTE (nad 100 kW) je kolem 50, ovšem tyto nepřekračují hodnotu instalovaného výkonu 10 MW (stav k 6/2009). Téměř 30 % veškerého instalovaného výkonu

¹ Ing. Michal Konč, ČEZ Distribuce, a.s., Riegrovo náměstí 1493, Hradec Králové 500 02, tel.: +420 492112491, fax: +420 492 112087, E-mail: michal.konc@cezdistribuce.cz

² Doc.Ing. Radovan Doleček, Ph.D., Univerzita Pardubice, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10, Pardubice, Tel.: +420 466036427, Fax: +420466036497, E-mail: radovan.dolecek@upce.cz

tuzemských větrných elektráren je v Ústeckém kraji, na Olomoucku pak dalších 20 %. Zájem firem o investice do výstavby nových VTE roste. Plány investorů počítají v nejbližších letech s nově instalovaným výkonem VTE po celé ČR přibližně 1 200 MW, což je více než kapacita jednoho bloku Temelína (2-4). Cílem tohoto článku je ukázat praktické způsoby a možnosti posouzení připojitelnosti zdrojů VTE do napěťových hladin nn, vn z pohledu zpětných vlivů do sítě provozovatelů distribučních soustav (PDS), dále pak najít a navrhnout možná opatření vedoucí k omezení výše uvedeného.

1. METODY ANALÝZY VÝSLEDKŮ VÝPOČTU ZPĚTNÝCH VLIVŮ VTE

Při posuzování možných zpětných vlivů na distribuční soustavu (DS) je možné využít výpočtový matematický model, nebo simulační programy, které jsou schopné pokrýt svými výpočty větší variabilitu stavů a i počet zdrojů.

Technické podmínky připojování upřesňují a doplňují pravidla provozování distribučních soustav (PPDS), v příloze č. 4 (5). Požadavky PDS, k jejichž sítím se VTE připojují jsou uvedeny v (5-7). Zpětné vlivy na síť PDS (změny napětí, flikr, proudy harmonických a ovlivnění zařízení HDO) byly zkoumány na základě výpočtů a simulací.

Pro vzájemné vyhodnocení byly použity tyto dvě metody:

Metoda výpočtová, která v kostce zahrnuje matematický model sítě s charakteristickými vstupy, mezi něž mimo jiné patří délka vedení, jeho měrný odpor, reaktance a průřez (dle technologických úseků trasované ke zdroji), zkratový výkon sítě, transformátory zahrnující zdánlivý výkon, ztráty nakrátko a napětí nakrátko. Výstupními proměnnými jsou pak maximálně možný připojitelný výkon, a k němu vztažené změny napětí, příspěvek k vjemu flikru, fázový úhel impedance sítě a proudy harmonických. Nevýhodou je, že tímto způsobem lze řešit pouze jednodušší konfigurace sítě s omezeným počtem zdrojů.

Metoda simulací pomocí programu E-vlivy, tento používá ve svém algoritmu strukturu známou z metody výpočtů, která ovšem navíc umožňuje stanovit mnohačetnou variabilitu charakterizovanou zejména různými provozními stavy sítě (simulace s vypínači – možnosti záložních napájení apod.), četností zdrojů včetně jejich rozmístění, možností jejich rychlé přeparametrizace.

Tyto zvolené metody byly vzájemně v průběhu řešení porovnávány. Jednotlivé výsledky rozdělené dle napěťových hladin, v jednotlivých zkoumaných zapojeních se sítěmi PDS jsou uvedené v následných bodech.

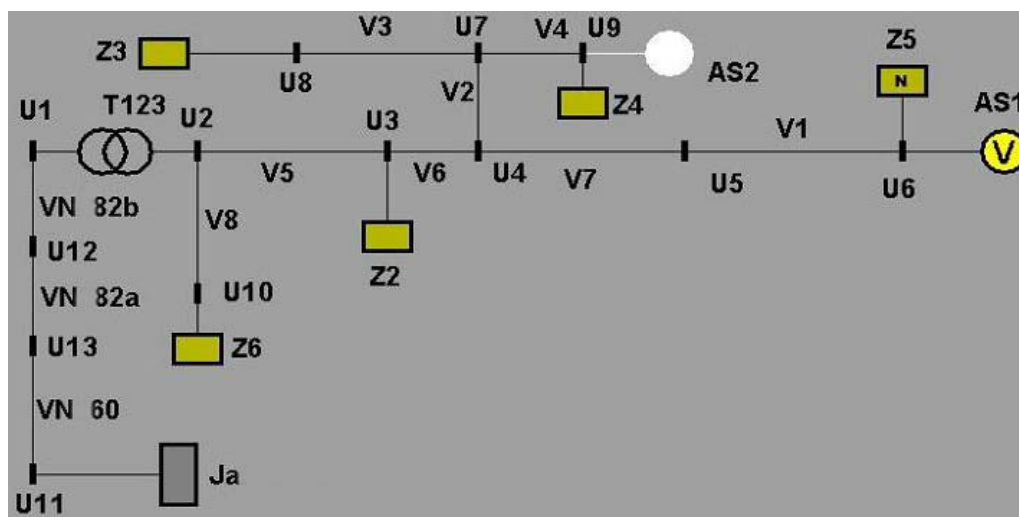
2. POSOUZENÍ VÝROBEN DODÁVAJÍCÍCH DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ NN

2.1. Posouzení výroben dodávajících do distribuční sítě vn

Pro výpočet a simulaci byl použit stávající případ malé vodní elektrárny na řece Moravě. Rozdíl v simulaci oproti VTE je pouze v dosazení do zadání doplňujících vstupních hodnot pro výpočet flikru, níže se s ní dále nakládá tedy jako s VTE. Zdroj působí v síti

nadměrné, především napětíové změny (prokázané měření). Vstupní parametry pro výpočet a pro simulaci v programu E-vlivy jsou uvedeny v (9).

Na obr. 1 je schéma zapojení posuzovaného (již provozovaného) zdroje s jmenovitým výkonem asynchronního generátoru 23 kW (AS1). Nově plánovaná VTE o jmenovitém výkonu 30 kW je označena jako (AS2). V simulaci dle obr. 1 není (AS2) již řešen z důvodu překročení povolených napětíových mezí provozovaným zdrojem AS1. Do simulace a výpočtu je zahrnuta i nadřazená síť vn 22 kV, která přispívá k výslednému zkratovému výkonu v přípojném místě VTE.



Zdroj (9)

Obr. 1 - Schéma stávajícího zapojení se zdrojem AS1

Velikost skutečných zátěží je odvozena z celkového změřeného proudového zatížení vývodu (bod U2), rozložení a velikost jednotlivých zátěží jsou dislokovány po síti na základě znalosti. Příklady výsledků pro (AS1) zpětných vlivů stávající „VTE“ na nn v U6 jsou uvedeny v tab.1.

Tab.1 - Výsledky získané metodou výpočtů a simulací zpětných vlivů stávající „VTE“ na nn v U6

Název proměnné v přípojném bodě U6	prom.	výpočty	E-vlivy	E-vlivy
Impedance transformátoru T2	Z_{T2} (Ω)	0,016		0,022
Výsledná impedance vedení nn	Z_{nn} (Ω)	1,562		1,552
Výsledná impedance	Z_v (Ω)	1,584		1,574
Zkratový výkon v přípojném bodě	S_{kv} (MVA)	0,101		0,112
Zkratový výkon na přípojnicí Trafa vn/nn	S_{kTnn} (MVA)	7,136		10,672
Max. zdánlivý připojitelný výkon vyroben na nn	S_{Amax} (MVA)	0,003	0,003	
Zdánlivý připojitelný výkon vyroben na nn	S (MVA)			0,018
Úhel mezi napětím a proudem	φ ($^\circ$)	0,000		1,505
Fázový úhel impedance sítě	ψ_{kv} ($^\circ$)	20,342		20,331
Zvýšené napětí v přípojném bodě	Δu_{AV} (%)	3,030	2,6	18,764
Činitel spínání závislý na síti	$k_{i\psi}$	1,000		

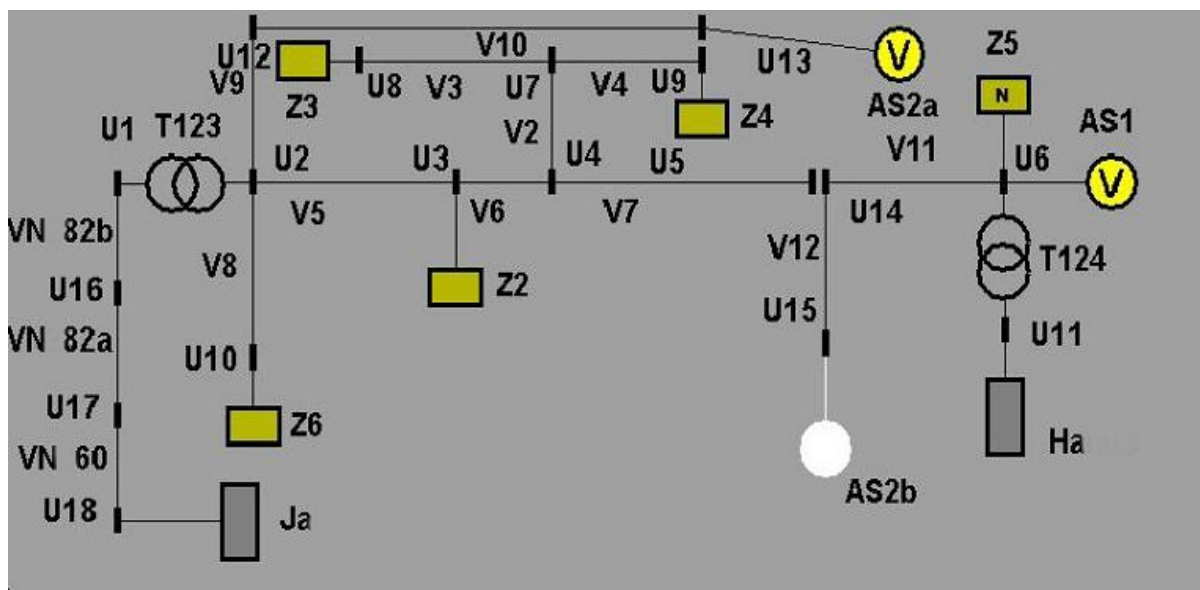
Název proměnné v přípojném bodě U6	prom.	výpočty	E-vlivy	E-vlivy
Fiktivní (náhradní) změna napětí	Δu_{ers} (%)	21,35		22,764
Příspěvek k dlouhodobému vjemu flikru	P_{lt}	2,277		2,058
Přípustný proud 5. harmonické	I_{5nn} (A)	0,872		
Přípustný proud 7. harmonické	I_{7nn} (A)	0,726		
Přípustný proud 11. harmonické	I_{11nn} (A)	0,436		
Přípustný proud 13. harmonické	I_{13nn} (A)	0,291		

Zdroj: Autor¹

Obě metody jak výpočtová tak simulační vychází z podmínky neutrálního účinníku ($\cos \varphi = 1$) připojeného zdroje, výsledný úhel v simulaci je mírně odlišný vlivem výpočtu chodu sítě, neutrální účinník pro výpočet slouží jako vstupní statická hodnota. Zásadní a důležité diference jsou patrné u zvýšeného napětí, původ rozdílů je způsoben v rozdílném přístupu obou metod. Zatímco při výpočtech je nalezen maximálně možný připojitelný výkon S_{Amax} a pro něj přípustné zvýšené napětí Δu_{AV} v místě připojení (U6), u simulace kde program E-vlivy umožňuje i změny připojovaného výkonu a tím nalezení optimálního S. Pro porovnání s měřením bylo tedy zapotřebí se co nejvíce přiblížit skutečnému stavu v simulaci. Rozdíl od hodnoty ze skutečného měření (23,75 % uvedeno v (9)) je necelých 5 % (tab. 1). Pro porovnání s manuálními výpočty bylo tedy nutné zjistit maximální připojitelný výkon pro splnění maximálního 3 % napěťového zvýšení. Diference mezi zjištěnými hodnotami výkonu představuje přibližně hodnotu 0,5 kW. Na správnost přístupu k výpočtům pak poukazují všechny ostatní přiměřeně stejné výsledky. Skutečnou velikost vyšších harmonických nelze v tomto případě přesněji určit, důvodem je absence ověřovacích protokolů zdroje. Dle (9) je možné určit pouze limitní emisní hodnoty vybraných proudů (tab.1, sloupec výpočty).

Nový zdroj by v této fázi nešlo připojit (zvýšené napětí Δu překračuje povolenou hodnotu šestkrát, Δu_{ers} dokonce sedmkrát (program E-vlivy), a to už při neutrálním účinníku. Ač je to již v tomto případě nepodstatné, tak je zajímavé si všimnout celkem vysokého útlumu signálu HDO (15,7 %), který je však ještě v tolerančních mezích (20 %).

Provoz VTE se sítě PDS dle původního stavu je z hlediska příslušných mezí nepřípustný i přesto není možné z důvodů těchto nadlimitních zpětných vlivů zdroj odstavit. Navíc je požádáno o připojení dalšího, nového zdroje, situovaného do stejné sítě, tedy vývodu nn a i trafa vn/nn. Pro splnění požadavků vyplývajících z (5) a dalších souvisejících předpisů, bude nutné upravit síť například do podoby vyplývající z obr. 2.



Zdroj: (9)

Obr. 2 - Schéma možného budoucího zapojení se zdrojem AS1, AS2

Tab. 2 - Výsledky získané simulační metodou a metodou výpočtů zpětných vlivů plánované „VTE“ na nn v U13

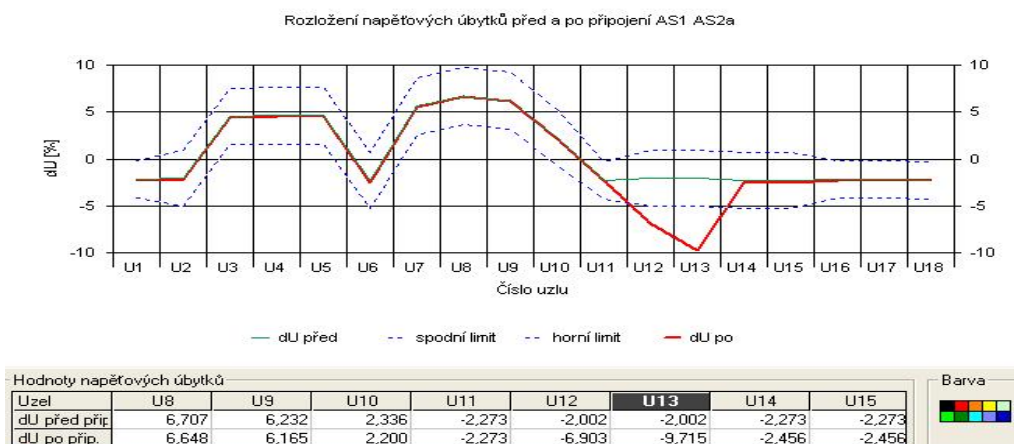
název proměnné v přípojném bodě U13	prom.	výpočty	E-vlivy	E-vlivy
Impedance transformátoru T2	$Z_{T2}' (\Omega)$	0,016		0,022
Výsledná impedance vedení nn	$Z_{nn} (\Omega)$	0,446		0,435
Výsledná impedance	$Z_v (\Omega)$	0,468		0,457
Zkratový výkon v přípojném bodě	$S_{kv} (MVA)$	0,342		0,385
Zkratový výkon na přípojnicí Trafa vn/nn	$S_{kTnn}(MVA)$	7,136		7,938
Max. zdánlivý připojitelný výkon vyroben na vn	$S_{Amax}(MVA)$	0,000		
Max. zdánlivý připojitelný výkon vyroben na nn	$S_{Amax}(MVA)$	0,010	Při 11 kW	
Zdánlivý připojitelný výkon vyroben na nn	$S (MVA)$			0,031
Úhel mezi napětím a proudem	$\varphi (^{\circ})$	0,000		0,455
Fázový úhel impedance sítě	$\psi_{kv} (^{\circ})$	9,615		9,670
Zvýšené napětí v přípojném bodě	$\Delta u_{AV} (\%)$	3,030	2,93%	7,700
Činitel spínání závislý na síti	$k_{i\psi}$	1,000		
Fiktivní (náhradní) změna napětí	$\Delta u_{ers} (\%)$	8,659		9,412
Příspěvek k dlouhodobému vjemu flikru	P_{lt}	0,878		0,779
Přípustný proud 5. harmonické	$I_{5nn} (A)$	6,135		
Přípustný proud 7. harmonické	$I_{7nn} (A)$	5,113		
Přípustný proud 11. harmonické	$I_{11nn} (A)$	3,068		
Přípustný proud 13. harmonické	$I_{13nn} (A)$	2,045		
název proměnné v přípojném bodě U13	prom.	výpočty	E-vlivy	E-vlivy
Útlum signálu HDO	$\Delta u_{HDO} (\%)$			4,373
Příspěvek ke zkratovému proudu	$\Delta i_k (A)$			63

Zdroj: Autor¹

Dodavatel bude dle svých potřeb (především rychlejšího návratu vložených investic) požadovat měření v místě výroby VTE (bod U13). V tab. 2 jsou uvedeny výpočty zpětných vlivů v bodě nejbližšího požadovaného místa připojení. Opět je nutné nakládat s výsledky obou přístupů ze dvou různých úhlů pohledu. Z výše uvedených výsledků vyplývá, že není možné požadavkům dodavatele vyhovět. Jako nejbližší předací místo je z pozice PDS navržen bod U2. Pro tento bod byly simulovány zpětné vlivy pouze v programu E-vlivy, hodnoty jsou patrné z tab. 3. Odtud vyplývá, že pro požadovaný výkon zdroje jsou splněny základní požadavky pro jeho připojení. V tomto stavu lze simulovat i provoz při jiném než neutrálním účinníku a stanovit tak jeho meze pro vlastní zdroj. Lze i kontinuálně měnit velikost připojovaného výkonu, zvyšovat jej, a stanovit jeho maximální výši. Harmonické nelze opět spočítat vlivem absence ověřovacího protokolu, přípustné meze jsou uvedeny v tab. 2. Na obr. 3. je graf příslušných napěťových poměrů uzlů ve studované síti nn.

Tab. 3 - Výstupní hodnoty zpětných vlivů plánované „VTE“ v U2 z programu E-vlivy

Výstupní hodnoty z programu E-vlivy VTE na nn v U2		
<i>název proměnné v přípojném bodě U2</i>	<i>prom.</i>	<i>E-vlivy</i>
Impedance transformátoru T2	$Z_{T2}' (\Omega)$	0,022
Výsledná impedance vedení nn	$Z_{nn} (\Omega)$	0,435
Výsledná impedance	$Z_v (\Omega)$	0,457
Zkratový výkon v přípojném bodě	$S_{kv} (MVA)$	0,385
Zkratový výkon na přípojnicí Trafa vn/nn	$S_{kTnn} (MVA)$	7,938
Zdánlivý připojitelný výkon vyroben na nn	$S (MVA)$	0,032
Úhel mezi napětím a proudem	$\varphi (^\circ)$	-0,085
Fázový úhel impedance sítě	$\psi_{kv} (^\circ)$	68,447
Zvýšené napětí v přípojném bodě	$\Delta u (\%)$	0,129
Fiktivní (náhradní) změna napětí	$\Delta u_{ers} (\%)$	0,165
Příspěvek k vjemu flikru	P_t	0,038
Útlum signálu HDO	$\Delta u_{HDO} (\%)$	0,743



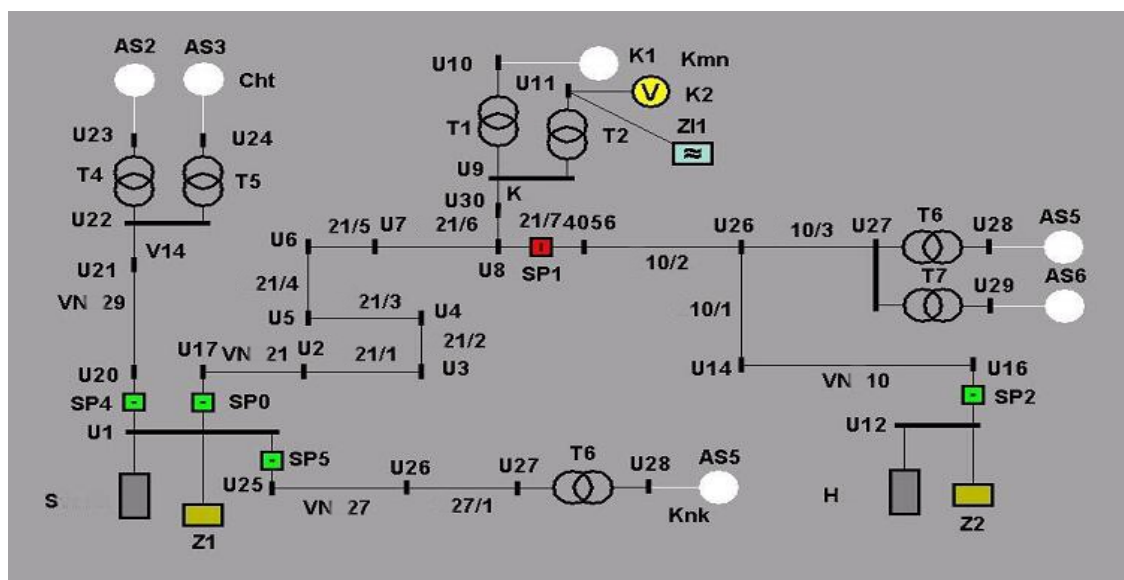
Zdroj: (9)

Obr. 3 - Rozložení napětí v dotčeném vedení nn s oběma zdroji

Možnosti připojení a měření nového zdroje jsou posuzovány v bodech U13 nebo U14. Je tedy na dodavateli, ke které DTS svůj kabel přivede (T123, T124), porovná-li se však poměry mezi přibližně stejnými délkami kabelů, pak nelze AS2b provozovat, neboť v uzlu č. U14 (předací místo) je zvýšené napětí přes 6 %. Dodavatel tedy musí zvážit komplexně ekonomiku připojení na základě místních poměrů, nákladů a výčtu možností připojení do sítě předložené příslušným PDS (pouze bod U2, U6 při rozpojení sítě v U14).

2.2. Posouzení výroben dodávajících do distribuční sítě vn

Do sítě vn se připojují již zdroje z kategorie velkých VTE (až jednotky MW). Pro tento případ bylo opět vybrán stávající zdroj (Kmn, Vestas V90 – 2 MW) [9], který je zaústěn přes linku VN 21 do transformovny 110/22 kV. V simulaci programu jsou bílou barvou podbarveny další zdroje na které byly již evidované nové žádosti.



Zdroj: (9)

Obr. 4 - Schéma stávajícího zapojení s VTE K2 a jeho zdrojem harmonických proudů Z11

Problémem těchto sítí v simulaci je v základu nerovnoměrné rozložení zátěže, trafostanice jsou nepravidelně s různou hustotou rozmístěné podél vedení vn. Jelikož neznáme konkrétní velikosti odběrů jednotlivých DTS, využíváme jen dostupných dat z řídicího systému PDS. Simulace se musí omezit na zimní, lépe však na **letní**, pro tyto účely zhotovené, měření rozvoden (Z1, Z2). Celková délka vedení k předacímu bodu U9 je více než 21 km. Při posuzování zpětných vlivů je nutné respektovat i další stanoviska dotčených Úseků, které poskytují vstupní podklady pro simulace. Vychází se ze základních a náhradních způsobů zapojení, napájení linek vn (vypínače SP1,2 - přepojení na další možné stavy provozu). V Tab. 4. jsou uvedeny výsledky výpočtů zpětných vlivů a výsledky simulací v programu E-vlivy. Opět je na první pohled patrný rozdíl v přístupu k vlastnímu posouzení z hlediska výpočtů a simulace. Výpočet předkládá přijatelné zpětné ovlivnění zdrojem, pokud bude hodnota S_{Amax} rovna hodnotě 1,345 MW. Červeně jsou označeny hodnoty překračující, ač mírně, přípustné parametry. Jelikož se jedná o VTE, která je již v provozu, tak je možné porovnat některé tyto si-

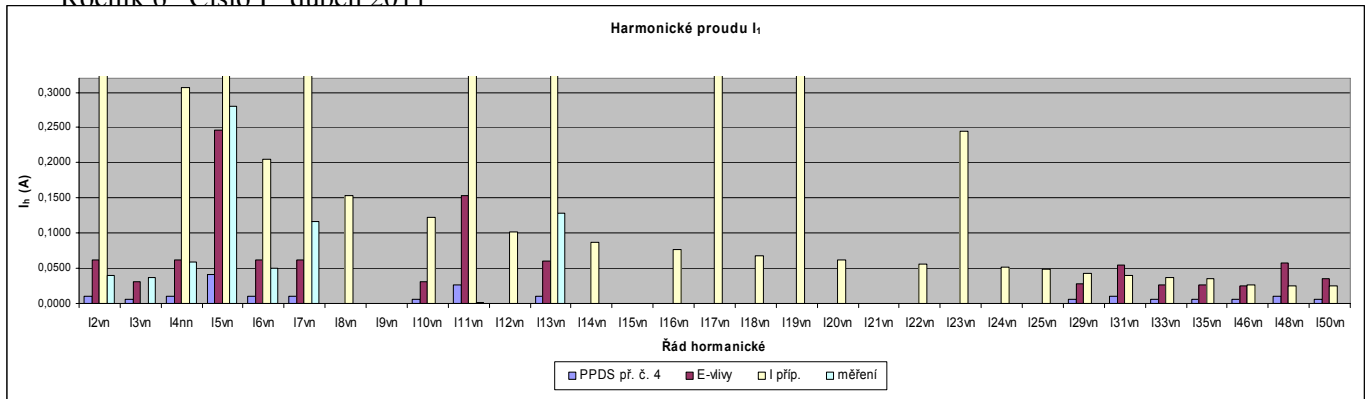
mulované parametry se skutečně naměřenými hodnotami (9). Při analýze naměřených hodnot jsem nezjistil žádný negativní vliv na síť VN 21. Sníží-li se však instalovaný výkon VTE v programu na hodnotu 1,345 MVA, hodnota Δu klesne na přibližně stejnou hodnotu jako u výpočtu. Příčinou nadměrného Δu pro 2 MW VTE je zhruba 1,2 km délka AlFe vedení VN 21 příliš malého průřezu ($S \leq 42 \text{ mm}^2$). U vn by tedy bylo pro simulační model nutné vyeliminovat slabá místa linky VN 21 (tedy $S \leq 42 \text{ mm}^2$) a ty nahradit vodiči s průřezem alespoň 110 mm^2 .

Tab. 4 - Výpočty zpětných vlivů plánované VTE v U9

Příklad výpočtu zpětných vlivů VTE na vn ve U9			
<i>název proměnné v přípojném bodě VI</i>	<i>prom.</i>	<i>výpočty</i>	<i>E-vlivy</i>
Výsledná impedance vedení vn	$Z_{vn} (\Omega)$	10,272	9,886
Výsledná impedance	$Z_v (\Omega)$	11,837	11,451
Zkratový výkon v přípojném bodě	$S_{kv} (\Omega)$	40,889	45,913
Zkratový výkon na přípojnicí Trafa vn/nn	$S_{kTvn} (\text{MVA})$	309,364	306,200
Max. zdánlivý připojitelný výkon vyroben na vn	$S_{Amax} (\text{MVA})$	1,345	
Zdánlivý připojitelný výkon na vn	$S (\text{MVA})$		1,930
Úhel mezi napětím a proudem	$\varphi (^\circ)$	0	1,364
Fázový úhel impedance sítě	$\psi_{kv} (^\circ)$	56,435	56,397
Zvýšené napětí v přípojném bodě	$\Delta u_{AV} (\%)$	1,818	2,180
Fiktivní (náhradní) změna napětí	$\Delta u_{ers} (\%)$	1,623	2,515
Příspěvek k dlouhodobému vjemu flikru	P_{lt}	0,103	0,091
Útlum signálu HDO	$\Delta u_{HDO} (\%)$		16,314
Příspěvek ke zkratovému proudu	$\Delta i_k (\text{A})$		303

Zdroj: (9)

V tomto případě jsem se již mohl lépe zaměřit na emitované vyšší harmonické zdrojem VTE. Z ověřovacího protokolu [9] zjišťuji procentuální velikosti vztahované k proudu základní harmonické. Tyto hodnoty bylo nutné pomocí jmenovitého výkonu přepočítat na příslušnou napěťovou hladinu sítě vn. Podrobné postupy a výsledky jsou uvedeny opět v (9). Graf v obr. 1. představuje hodnoty z výpočtů dle (9), ze simulace programu E-vlivy a z měření. Žluté sloupce pak představují povolené emisní limity (vzhledem k jejich některým vysokým velikostem nejsou v grafu zanesené celé). Problém zde však představují nasimulované hodnoty harmonických >31 , tyto překračují již emisní limity dané výpočty dle (9). Důvodem bude zřejmě frekvenční charakteristika U9, kde dochází skokově k vysoké změně impedance právě mezi 40. a 50. harmonickou (emise doloženy ověřovacím protokolem). Bohužel měření se dle platné legislativy provádí pouze do 25. harmonické, tudíž nelze tuto skutečnost ověřit. Je nutné též brát v potaz vliv transformátoru 22/0,4 kV, Dyn, díky němuž jsou harmonické násobky tří eliminovány. Konečné znečištění harmonickými by mělo být ověřeno opět měřením (pouze samotná VTE-ostrovni provoz).



Zdroj: (9)

Obr. 5 - Graf porovnání emitovaných vyšších harmonických proudů

ZÁVĚR

Článek ukazuje jakým způsobem se postupuje, je-li PDS požadováno posouzení zpětného ovlivnění sítě výrobnou elektrické energie dle (5-7). Cesta výpočtů je náročná ovšem ve skutečnosti s větší či menší námahou proveditelná. Simulace v programu E-vlivy je naproti tomu mnohem rychlejší a představuje i možnost široké variability v případě žádaného dosažení optimálního instalovaného výkonu VTE, či jiných zdrojů.

V článku byly z hlediska připojení, se zaměřením na výpočet zpětných vlivů, posouzeny VTE připojené do napěťových hladin nn, vn. Vzhledem k porovnání správnosti výstupů byly zvoleny vícehledové výpočetní a simulační metody výpočtů v lokalitách, kde bylo provedeno i skutečné měření zpětných vlivů. Obě metody se v konečném důsledku doplňují a je tedy možné využít jak jeden, tak i druhý způsob. Samozřejmě program E-vlivy představuje mnohem pohodlnější, rychlejší a variabilnější přístup ke konečnému řešení.

Napětí: Výsledky výpočtů, simulací a měření na nn ukazují, při respektování stávajícího zatížení, na překročení změny napětí Δu_{ers} a zvýšené napětí Δu . U VTE AS1 v přípojném bodě U6 více než 3 %. Nápravná opatření s celkovým kladným vyjádřením jsou u nn patrná z obr. 2, kdy je možné provozovat novou i stávající VTE i s větším rozsahem účinníku. Na hladině vn výsledky výpočtů a měření ukazují, ve stávajícím stavu s respektováním pouze celkového zatížení rozvodu, na nepřekročení zvýšeného napětí Δu VTE o výkonu 2 MW v přípojném bodě U9 více než 2 %. Zatímco simulační model předkládá mírné překročení parametrů Δu_{ers} a Δu .

Flikr: Výsledný činitel flikru překračuje stanovené limity na nn v U6 a v U13, v U2 jsou limity již v toleranci. Na vn ve stávajícím stavu sítě nedochází k překročení jak ve výpočtech, tak i v simulačním modelu, nejsou tudíž nutná žádná opatření pro jejich snížení.

Vyšší harmonické: Nadměrnou produkci vyšších harmonických proudů u VTE připojených na nn nelze vyhodnotit z důvodu absence ověřovacích protokolů zařízení VTE. Pro vlastní měření jsou stanoveny pouze přípustné emisní limity, které nesmí být skutečnými hodnotami vyšších harmonických překročeny (zjištěné následným měřením). Na hladině vn jsou výsledné hodnoty z výpočtů, ze simulace a z měření uvedeny v (9), grafické srovnání s vypočtenými přípustnými hodnotami jsou pak patrné z obr 1. Zanedbám-li u vyšších harmonických proudů násobky tří vlivem zapojení primárního vinutí u T2 (22/0,4 kV, Dyn), pak

jsou meze překročeny pouze u 31. a 50. harmonické, tuto skutečnost y bylo zajímavé prověřit praktickým měřením.

HDO: K nadměrnému ovlivnění signálu HDO, určených pomocí simulačních modelů, nedochází ani v jednom z případů jak na nn, tak i na vn.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) Bezpečná integrace OZE do ES ČR, tisková konference ČSRES, dne 10.3.2010.
- (2) <http://bids.cz/fines/20091102-439-VtE-v-CR-k-1.6.2009.pdf>, dne 26.3.2010.
- (3) HOŠEK J., *Využití větrné energie v ČR*, ČK Konference CIRED 2007.
- (4) VELEK VL., *Očekávané dopady vsřikování velkých výkonů větrných elektráren do distribuční a přenosové soustavy*. ČK Konference CIRED, 2006.
- (5) Pravidla provozování distribučních soustav příloha 4, pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy, 2006.
- (6) ČSN EN 50160 (330122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.
- (7) PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav.
- (8) Technická specifikace stroje: V90-2 MW_gen.specifikace 14.01.2004 950019.R2.
- (9) KONČ M., *Simulace provozu VTE s ohledem na připojovací podmínky PDS*, ČK konf. CIRED 2009.