

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY



Bakalářská práce

**Obnovitelné zdroje
a jejich vliv na elektrizační soustavu**

Michal Ključár

Praha, 2014

[ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE VLOŽIT ZDE]

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne

.....
Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce, panu Ing. Boučkovi, za usměrňování a rady v průběhu celé tvorby práce a za kontrolu výstupů. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Ostrovskému ze společnosti Stredoslovenská energetika, a.s., za množství užitečných podkladů, odborných komentářů a cenných konzultací.

ABSTRAKT

Název práce: Obnovitelné zdroje a jejich vliv na elektrizační soustavu

Autor: Michal Ključár

Katedra: Katedra elektroenergetiky FEL ČVUT v Praze

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Bouček

Email vedoucího práce: boucek@fel.cvut.cz

Abstrakt: Cílem práce je popis a analýza vlivu obnovitelných zdrojů na provoz a kvalitu distribuční soustavy. Po rekordním připojování OZE v uplynulých letech se jedná se o velice aktuální téma. Práce se zabývá zejména dopadem OZE na kvalitativní parametry elektrizační soustavy, ale snaží se vysvětlovat problematiku OZE v širších souvislostech, a to od podpory OZE, přes technické aspekty provozu, až po dopad na současné fungování a řízení stability elektrizační soustavy.

Klíčová slova: obnovitelné zdroje, distribuční soustava, stabilita elektrizační soustavy, kvalita napětí

ABSTRACT

Title: Renewable power sources and their impact on power grid system

Author: Michal Ključár

Department: Department of Electroenergetics at FEL ČVUT in Prague

Supervisor: Ing. Stanislav Bouček

Supervisor's email address: boucek@fel.cvut.cz

Abstract: Main objective of this work is to describe and analyse influence of renewable power production on operation and quality parameters of a distribution net. It has become a very actual issue after record-high connections of renewables in the previous years. The work primarily deals with impact of renewables on electricity network quality standards, but attempts to describe the overall green energy issue in wide context, starting with subsidies into renewables, through net-operating technical aspects, to the impact on actual functioning and stability management of the electricity network.

Keywords: renewables, power distribution network, electricity network stability, voltage quality

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Analýza současné situace podpory obnovitelných zdrojů a jejich instalací v ČR, případně v sousedních zemích	8
3. Vliv na stabilitu a kvalitativní parametry elektrizační soustavy	12
3.1. Systémové vlivy.....	12
3.1.1. Stabilita elektrizační soustavy	12
3.1.2. Chování zdrojů OZE při zkratech v přenosové soustavě	19
3.2. Lokální vlivy	19
3.2.1. Přepětí v síti.....	19
3.2.2. Změna poměrů v toku činného a jalového výkonu.....	24
3.2.3. Přetok výkonu, přetěžování sítí, wattrouter	25
3.2.4. Zvýšení zkratových poměrů.....	28
3.2.5. Příspěvek k úrovni flickrů	29
3.2.6. Emise harmonických proudů	30
4. Vliv OZE na ceny elektřiny a provoz fosilních zdrojů	32
5. Shrnutí a zhodnocení situace	33
6. Seznam použité literatury.....	36
7. Dodatky	37
7.1. Seznam použitých zkratek.....	38
7.2. CD s elektronickou verzí práce.....	39

1. Úvod

Zelené zdroje jsou posledních pár let často skloňovaným tématem. Kontroverze s nimi spojená se vyostřila zejména v poslední době, kdy dopad jejich rekordní výstavby a připojování do sítě začínají pociťovat nejenom peněženky domácností, ale i operátoři distribučních soustav. Jelikož moje profesní působení je spojeno s pozicí poradce představenstva ve společnosti Stredoslovenská energetika, a.s., velmi mě zajímalo podívat se blíže na toto téma a vytvořit si z dostupných zdrojů vlastní názor.

Z pohledu provozovatele distribuční soustavy je tento problém propleten jak technickými tak ekonomickými aspekty, proto jsem se rozhodl tyto pohledy ve své práci striktně neoddělovat, ale využít i své předchozí profesní působení spolu s ekonomickým vzděláním a zhodnotit toto téma komplexně.

Začátek práce uvede čtenáře do problematiky legislativní podpory obnovitelných zdrojů. Následně se těžiště přesouvá k technickému pohledu na provoz distribuční soustavy s připojenými obnovitelnými zdroji. Po technickém zhodnocení následuje zhodnocení ekonomického dopadu i s logickými důsledky na provoz ostatních, zejména "tvrdých", zdrojů v soustavě.

2. Analýza současné situace podpory obnovitelných zdrojů a jejich instalací v ČR, případně v sousedních zemích

Směrnice Evropského parlamentu 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, přijatá za německého předsednictví EU, stanovila ambiciózní plán pro energetickou politiku v ekologické oblasti do roku 2020, tzv. pravidlo 20-20-20, které znamená:

1. do roku 2020 snížit emise kysličníku uhličitého o 20 % (oproti r. 1990)
2. do roku 2020 čerpat 20 % primární energie z obnovitelných zdrojů
3. do roku 2020 zvýšením energetické účinnosti dosáhnout 20 % úspor primárních energií

Přijatý cíl č. 1 jde výrazně i nad rámec Kjotského protokolu, kterým se zahrnuté průmyslové země zavázaly redukovat skleníkové plyny o 5,2% v období 2008-2012. Cíle se týkají EU jako celku, ne každého člena jednotlivě.

ČR má cíle v oblasti obnovitelných zdrojů elektřiny (OZE) rozpracovány v Národním akčním plánu pro energie z obnovitelných zdrojů, pro střednědobý horizont do roku 2020. Povinnost zpracovat tento plán má dle výše uvedené Směrnice každý členský stát EU. Mezi lety 2010 a 2020 by se mělo jednat celkem o více než zdvojnásobení množství objemu energie z OZE na cca 50 TWh, resp. více než 180 PJ za rok. Toto navýšení by vedlo ke splnění cca 13,5 % hrubé konečné spotřeby energie v roce 2020 z obnovitelných zdrojů. Cíl 13,5 % zde není omezen jen na produkci elektřiny z OZE, ale nově i na teplo při jeho centralizované výrobě a distribuci ke konečným spotřebitelům a také jako motorové biopalivo v dopravě (10).

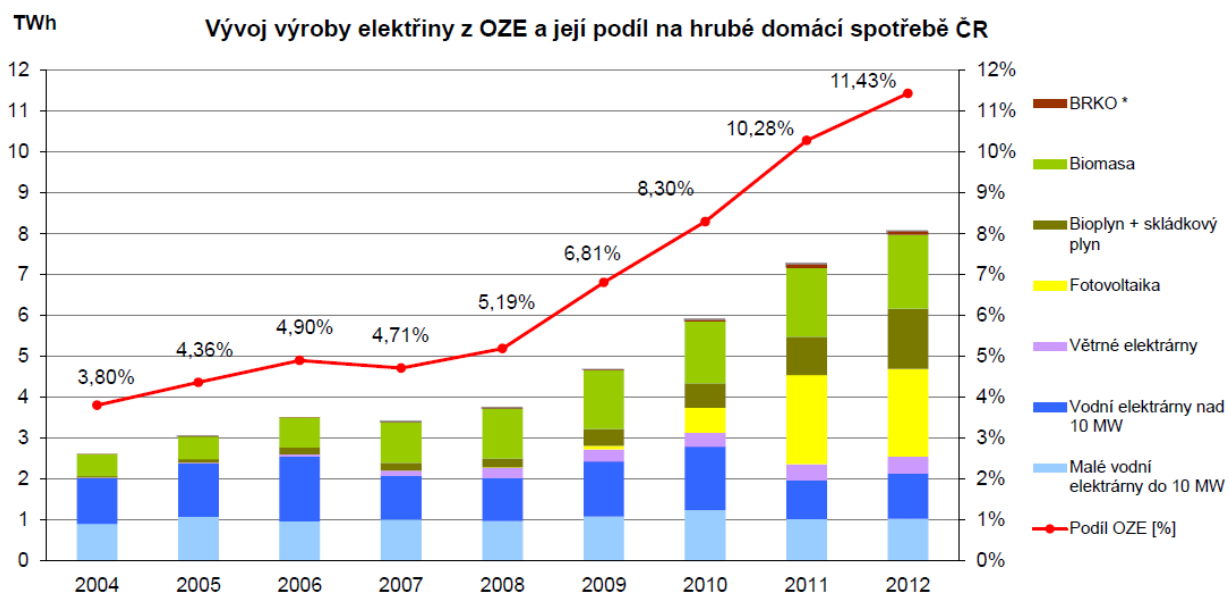
Jelikož jsou zdroje jako biomasa a vodní elektrárny limitované omezením na straně vstupů a vodní elektrárny byly za uplynulá desetiletí na vhodných místech už postaveny (jako jeden z mála obnovitelných zdrojů je to zdroj, který i v tržních podmínkách byl schopný garantovat rozumný výnos pro investora), prakticky zbývají jen dvě cesty, využití energie větru a sluneční energie. Větrné elektrárny jsou v současnosti jediným úspěšným celoevropským zdrojem (4).

Podpora výroby elektřiny z OZE je v ČR řešena speciálním zákonem číslo 180/2005 Sb, novelizovaným v roce 2011. Tento zákon se snaží stavět na čtyřech hlavních uvažovaných principech:

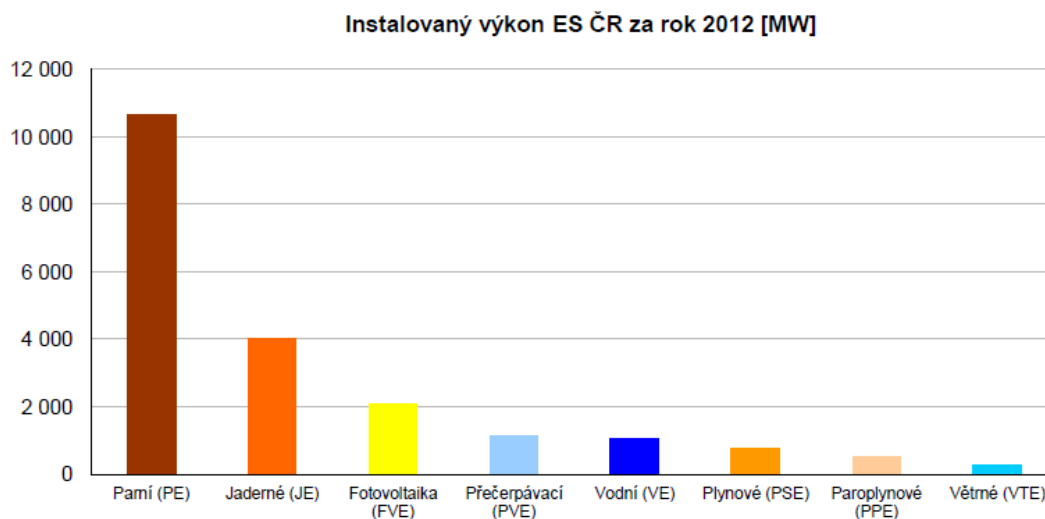
- povinnost provozovatele distribuční soustavy (PDS) nebo provozovatele přenosové soustavy (PPS) přednostně připojit výrobce elektřiny z OZE k distribuční soustavě (DS) nebo přenosové soustavě (PS)
- právo výrobce na podporu výroby elektřiny z OZE
- povinnost PDS nebo PPS vykoupit veškerou elektřinu z OZE, pokud ji výrobce nabídne
- patnáctiletou návratnost investic a patnáctileté zachování výše výnosů za jednotku

Můžeme tedy shrnout, že charakter dodávky OZE je ze zákona vynucený, tj. zaručuje přednost dodávek do sítě, povinnost výkupu bez ohledu na to, zda lze daný výkon uplatnit resp. prodat.

Následující graf ukazuje přehled vývoje výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na území ČR v členění na jednotlivé druhy. Kromě výrazného nárůstu výroby elektřiny z OZE v posledních letech, je z grafu patrné, že zejména fotovoltaické zdroje zažily v posledních letech nebývalý rozmach.

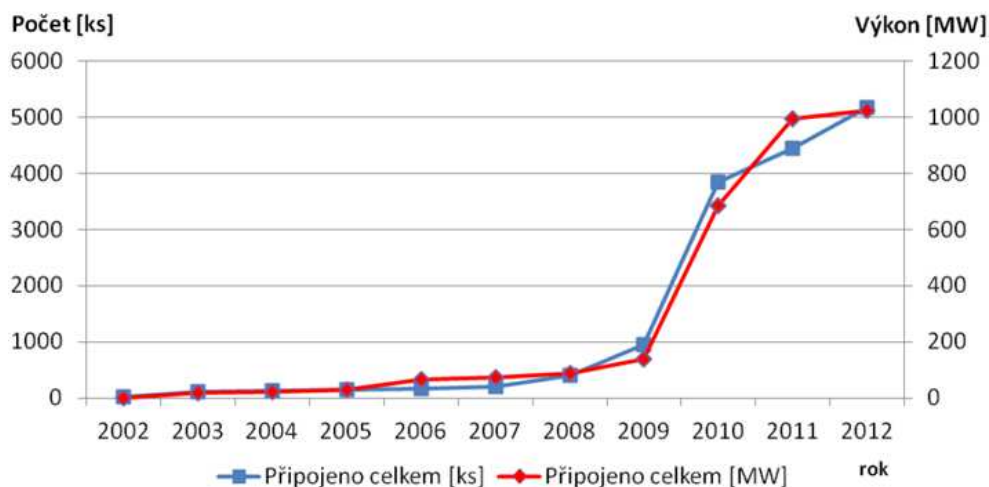


Graf 1, zdroj: 11



Graf 2, zdroj: 11

Graf 2 ukazuje porovnání instalované kapacity zdrojů v ČR (celkově 20 520 MW ve 2012) a již nezanedbatelné místo instalovaných zelených zdrojů.



Graf 3, kumulativní součet připojených OZE k síti E.ON Distribuce, a.s., zdroj: 8

Z grafu 3 je patrný vývoj počtu a výkonu připojených OZE (součet vodních, větrných, fotovoltaických a bioplynových výroben), kdy ke konci roku 2012 je k síti E.ON Distribuce, a.s. připojeno přes 5000 výroben s instalovaným výkonem přes 1000 MW. Ještě v roce 2008 byl tento počet i výkon výroben více než 10x menší, resp. pouze desetinný, tedy za 4 roky se počet připojených výroben a jejich instalovaný výkon více než zdesetinásobil. Většinu podílu tvoří fotovoltaické elektrárny (FVE), v současné době je zájem o připojení výroben bioplynových. Tyto skutečnosti s sebou přinášejí nové provozní problémy, které se dosud v distribučních sítích nevyskytovaly.

Provozovatel obnovitelného zdroje připojeného do lokální distribuční soustavy má možnost prodávat elektřinu za výkupní cenu nebo se dohodnout na ceně dodané silové elektřiny s provozovatelem lokální distribuční soustavy a od provozovatele regionální distribuční soustavy požadovat příspěvek k takto získané ceně ve formě zeleného bonusu.

S rozšířením OZE zároveň klesala potřeba finanční stimulace investorů garantovanou výkupní cenou, viz následující tabulka.

ČR		2010	2011	2012	2013	2014
VE (v nových lokalitách)	EUR/MWh	119.7	116.3	126.9	124.2	117.6
FTV	EUR/MWh	484.8	228.7	245.0	101.2	N/A
VTE	EUR/MWh	89.0	86.4	88.7	81.5	73.3
Biomasa	EUR/MWh	140.9	136.8	140.4	111.2	84.5
Bioplyn	EUR/MWh	141.7	137.6	141.2	116.9	56.1

SR		2010	2011	2012	2013	2014
VE (do 1 MW)	EUR/MWh	109.1	109.1	109.1	109.1	108.1
FTV	EUR/MWh	425.1	382.6	156.8	119.1	N/A
VTE	EUR/MWh	80.9	80.1	79.3	79.3	70.3
Biomasa	EUR/MWh	113.1	125.3	112.2	112.2	92.1
Bioplyn	EUR/MWh	131.5	130.9	118.1	118.1	115.6

Tab. 1, Vývoj podpory OZE, zdroj: Cenové rozhodnutí ERÚ, ÚRSO

Tabulka 1 ukazuje vývoj výkupní ceny zelené elektřiny v ČR a SR za posledních pět let. Pokles jednotkové ceny je způsoben nižší potřebou motivace investorů do OZE a dále následkem poklesu cen technologií v období krize. Z čísel je ale zřejmé, že ani jedna z uvedených příčin nezakládá důvod k tak výraznému poklesu, jaký se za poslední roky uskutečnil. Skutečnost, že i za výrazně nižších cen se investorům vyplatilo investovat do OZE naznačuje, že výkupní ceny OZE v prvních letech podpory byly zvoleny příliš vysoko, s výslednou návratností pro investory výrazně dříve, než zamýšlený horizont 15 let. Fotovoltaické zdroje nad 0.1 MW instalovaného výkonu byly podporované výkupní cenou jen do roku 2011, v cenovém vyhlášení pro rok 2014 se již podpora pro fotovoltaické zdroje nevyskytuje vůbec.

3. Vliv na stabilitu a kvalitativní parametry elektrizační soustavy

Systemové vlivy

- Stabilita elektrizační soustavy a začlenění zdrojů OZE do pokrývání diagramu zatížení
- Chování větrných elektráren při zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách

Lokální vlivy

- Přepětí v síti
- Změny frekvence
- Změna poměru v toku činného a jalového výkonu
- Přetok výkonu, přetěžování sítí, Wattrouter
- Zvýšení zkratových poměrů
- Příspěvek k úrovni flickrů
- Emise harmonických proudů

3.1. SYSTEMOVÉ VLIVY

3.1.1. Stabilita elektrizační soustavy

Výroba elektřiny z OZE má výrazně stochastický charakter v závislosti na počasí. Tato vlastnost zelených zdrojů je jistě zvladatelná pro provoz distribuční soustavy při malém rozsahu nasazení takovéto výroby.

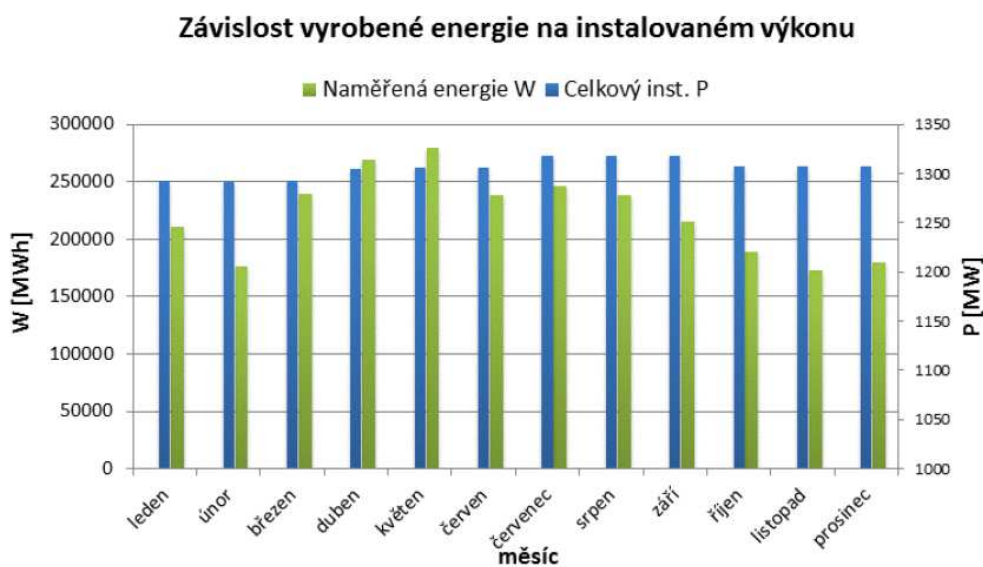
V období let 2008-2012 došlo k zdvojnásobení produkce elektřiny z OZE (viz. Graf 1) a téměř k ztrojnásobení kapacit malých neřízených zdrojů (12). Na rozdíl od provozu tepelných zdrojů, které dodávají nejvíce v zimě, kdy je největší spotřeba elektřiny, zejména u fotovoltaických elektráren (FVE) lze očekávat největší dodávky v létě, kdy je spotřeba nejnižší (viz charakteristická výroba z OZE v následujících odstavcích).

Modelováním provozu soustavy v nepříznivých podmínkách (minimální spotřeba, maximální výkon OZE) očekávatelných v průběhu letních měsíců byl stanoven limitní výkon těchto zdrojů pro ČR (ČEPS), a to 1650 MW dodávaného výkonu (což odpovídá zhruba 2200 MW instalovaného výkonu; 12). Pokud bude tento výkon překročen, aniž by byly zdroje zapojeny do dálkového řízení s možností regulovat jejich výkon v mezních situacích, nelze dále garantovat spolehlivost soustavy. Protože v únoru roku 2010 počet povolených žádostí o připojení téměř čtyřnásobně přesáhl tento limit (12), požádal provozovatel přenosové soustavy provozovatele distribučních soustav o pozastavení vydávání kladných rozhodnutí o připojení s tím, že připojení většího množství než stanovený limit, již není v souladu se spolehlivým a bezpečným provozem elektrizační soustavy.

Na Slovensku je v současné době pozastaveno přijímání žádostí o připojení OZE i do distribuční soustavy.

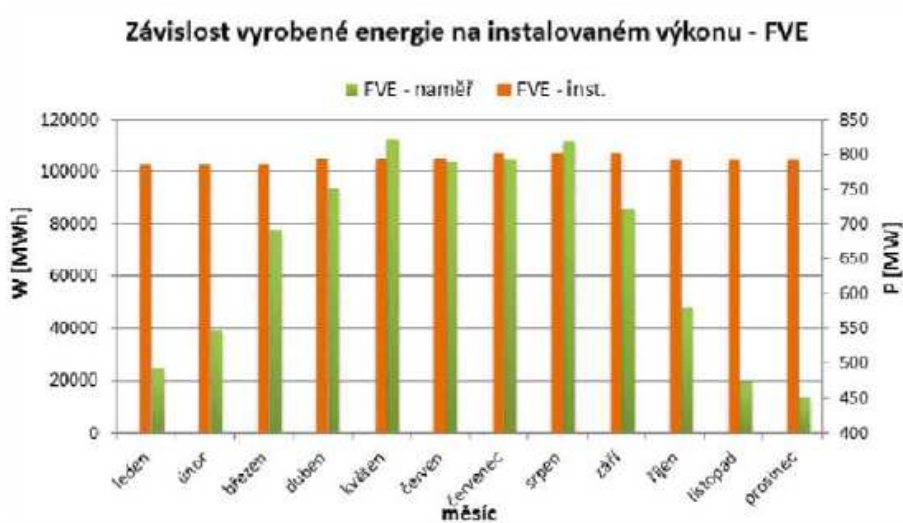
Aby se dosáhlo vyrovnané bilance, kdy výroba odpovídá spotřebě v každém okamžiku, může dojít k situaci, že při respektování přednosti výroby z OZE, budou muset být odstavovány klasické elektrárny. Tyto situace jsou v současnosti známé především z Německa, kde k přenosu větrné elektřiny z přímořských severních oblastí do vnitrozemí, nejsou vybudovány dostatečné kapacity.

V porovnání s fosilními zdroji není výroba z OZE charakteristická jenom nepředvídatelnou závislostí na počasí, ale také cykličností v rámci roku.

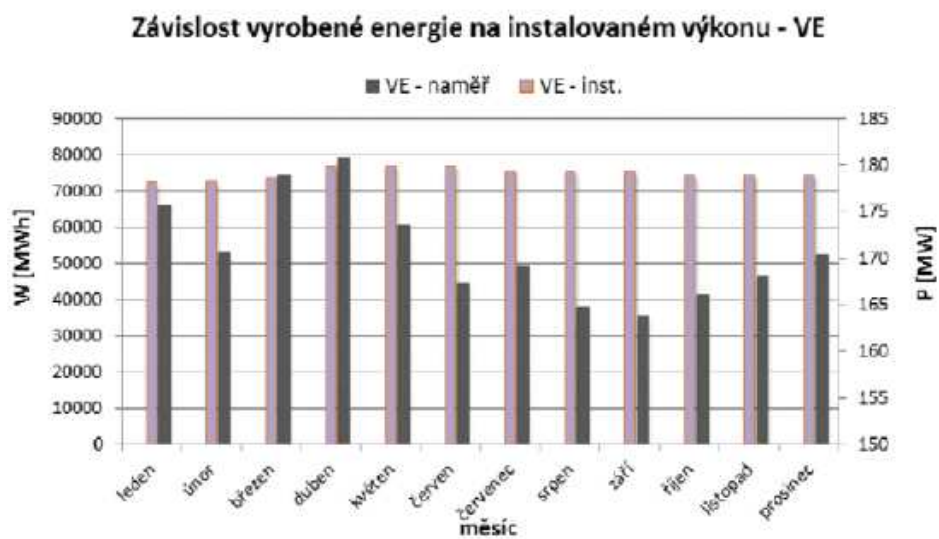


Graf 4, zdroj: 7

Ta je poznat nejlépe z následujících grafů u zdrojů jako fotovoltaika (FVE), vodní elektrárny (VE) a částečně i větrné elektrárny (VTE).



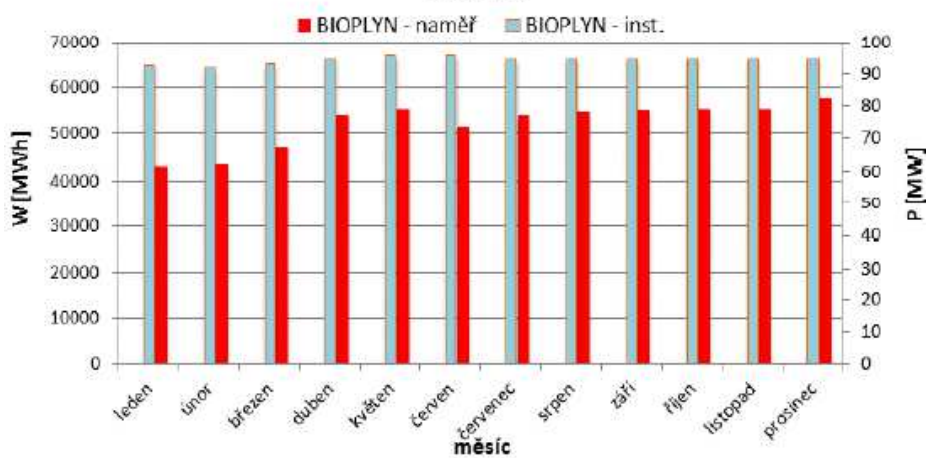
Graf 5, zdroj: 7



Graf 6, zdroj: 7

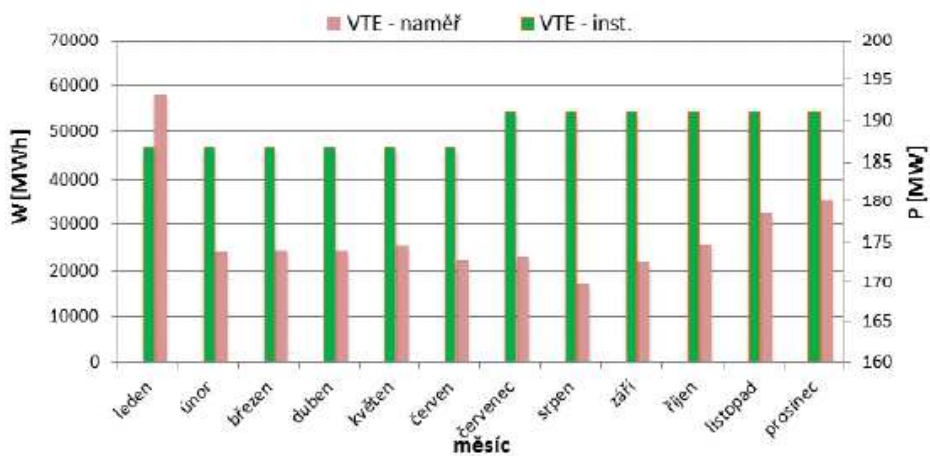
Naopak, u zdrojů jako je bioplyn, biomasa a důlní plyn, můžeme konstatovat vyrovnaný profil výroby v průběhu roku.

Závislost vyrobené energie na instalovaném výkonu - BIOPLYN



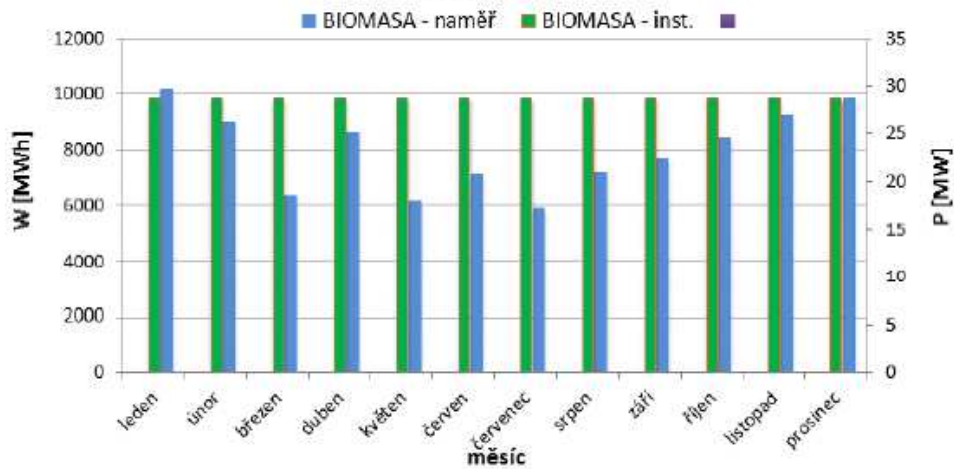
Graf 7, zdroj: 7

Závislost vyrobené energie na instalovaném výkonu - VTE



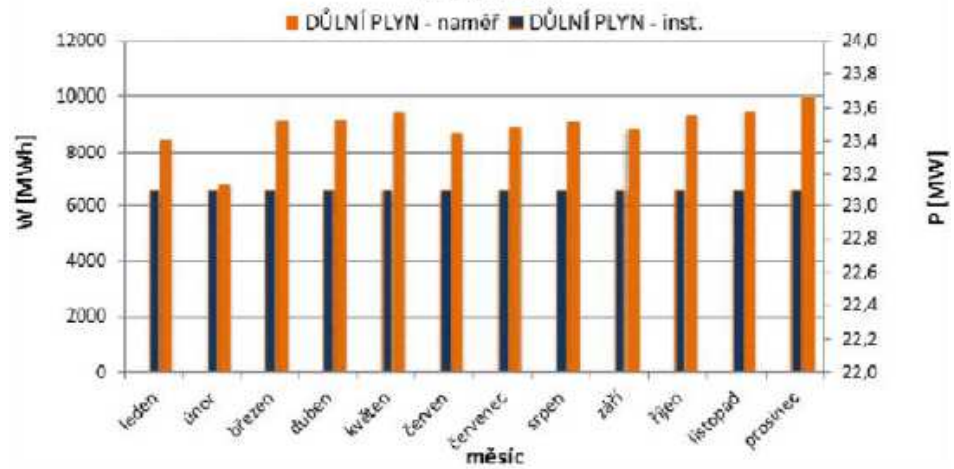
Graf 8, zdroj: 7

Závislost vyrobené energie na instalovaném výkonu - BIOMASA



Graf 9, zdroj: 7

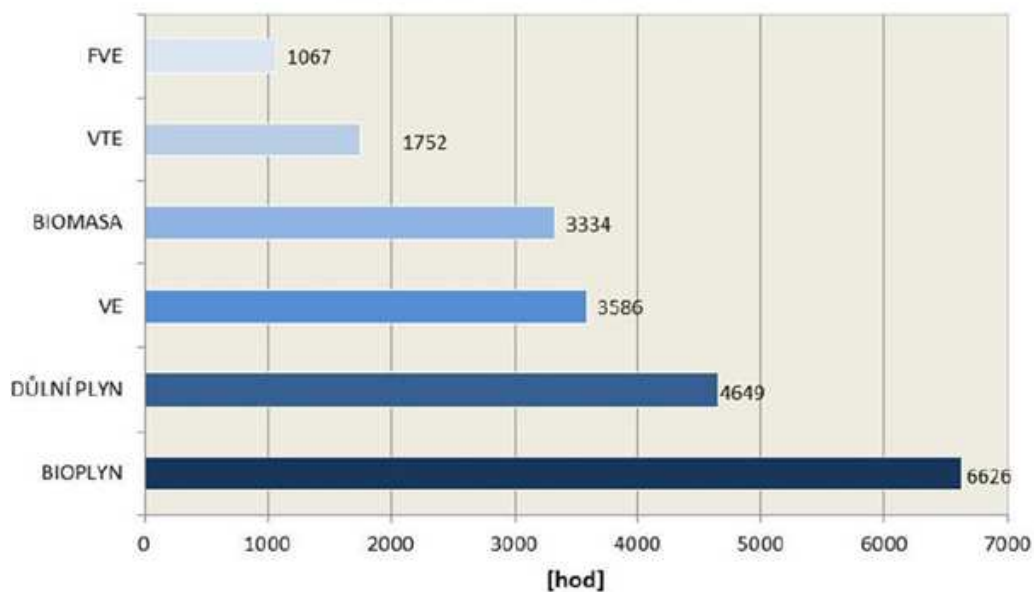
Závislost vyrobené energie na instalovaném výkonu - DŮLNÍ PLYN



Graf 10, zdroj: 7

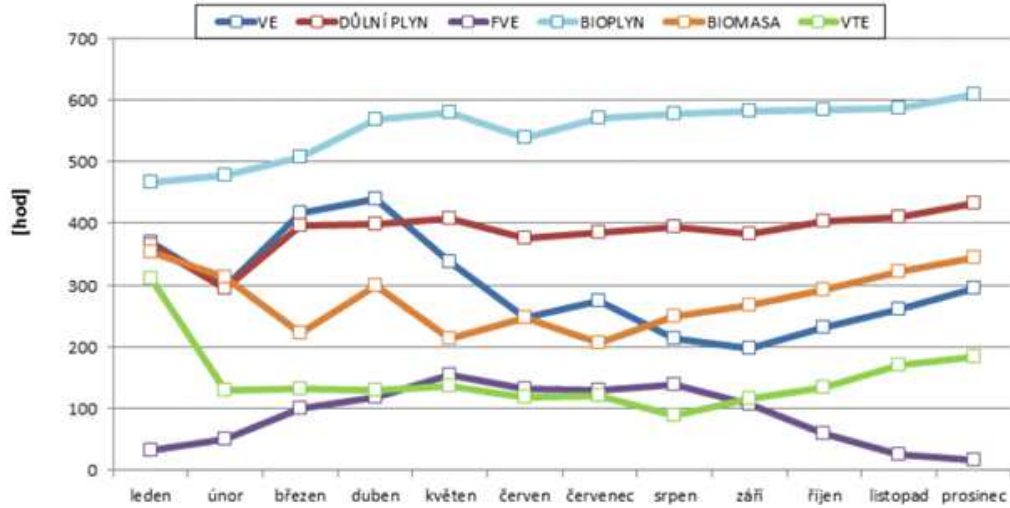
Následující dva grafy popisují chování OZE ve smyslu vyžití maximálního výkonu v rámci roku. Jako zdroje s nejvíce nárazovou dodávkou elektřiny se jeví fotovoltaiky (FTV) a větrné elektrárny (VTE). Naopak, nejstabilnější zdroj s nejvyšší mírou využití výkonu jsou bioplynové stanice. Data pocházejí z oblasti pokrytou společností ČEZ Distribuce, a.s. za rok 2012.

Doba využití maxima, rok 2012

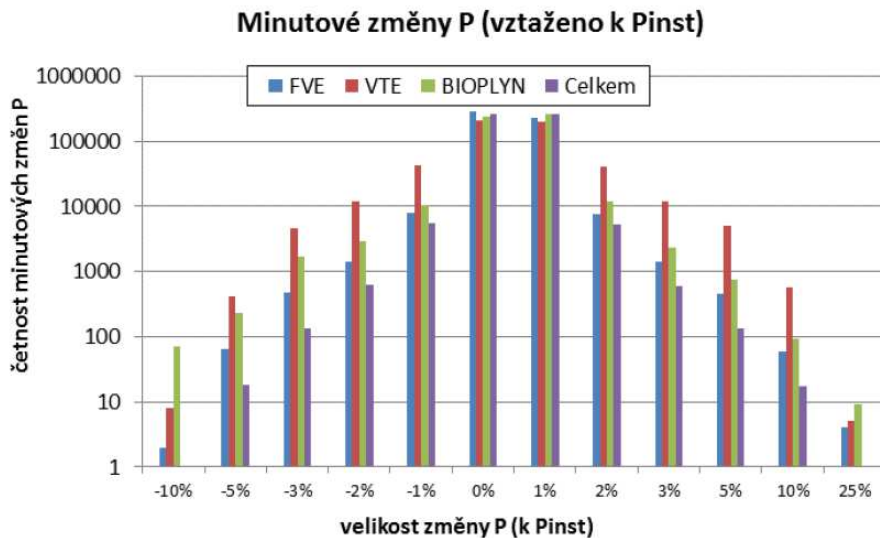


Graf 11, zdroj: 7

Doba využití maxima - rok 2012



Graf 12, zdroj: 7



Graf 13, zdroj: 7

Grafy dokazují, že “nejhorší” elektřinou OZE, z pohledu predikce a tedy stability soustavy, jsou fotovoltaické a větrné zdroje.

Potíž nastává v momentu, kdy jsou odstavované elektrárny poskytující regulační výkony, které zajišťují rovnováhu v síti. Každým dalším odstavením je již omezována spolehlivost provozu soustavy, protože při výkyvech spotřeby není možnost ji vyrovnávat. Pokud je elektřiny nedostatek, lze to řešit (ve stavu nouze) jejím vypínáním. Pokud jí je ale přebytek a v soustavě jsou již jen zdroje, které nepodléhají dálkovému řízení a zdroje které poskytují regulační výkon, pak tuto situaci prakticky není možné řešit. Teoreticky lze přebytečnou elektřinu vyvézt, ale pokud na tom sousední země budou obdobně, pak ani toto nepřipadá v úvahu.

Obecně je ale potřeba zmínit, že OZE, jakožto nestabilní zdroje elektřiny, si vynucují existenci velkého regulačního výkonu, který je nejenom drahou, ale také samozřejmě neekologickou záležitostí.

Připojování OZE je pro soustavu bezpečně možné v objemu podloženém studiemi, který zohledňuje dostatek regulační energie vzhledem k připojenému množství OZE. Například České sdružení regulovaných elektroenergetických společností (ČSRES) konstatuje, že elektrizační soustava ČR je prakticky od začátku roku 2010 provozována na hranici bilančního (bezpečného) limitu pro nestabilní zdroje (fotovoltaické elektrárny - FVE a větrné elektrárny - VTE). Tento limit byl stanoven s ohledem na strukturu domácí spotřeby, skladbu zdrojů, možnosti exportu, možnosti vnitrodenního trhu a dostupnost podpůrných služeb.

Pro SR existuje taky několik údajů o tomto limitním objemu OZE pro elektrizační soustavu. Údaje se pochopitelně liší, jak bylo vidět z předchozích grafů, toto číslo závisí na složení flotily OZE z jednotlivých druhů, a taky nezanedbatelně na uvažovaném parametru soudobosti výpadku těchto zdrojů, kde ty nejpřísnější studie uvažují se soudobostí 1.

3.1.2. Chování zdrojů OZE při zkratech v přenosové soustavě

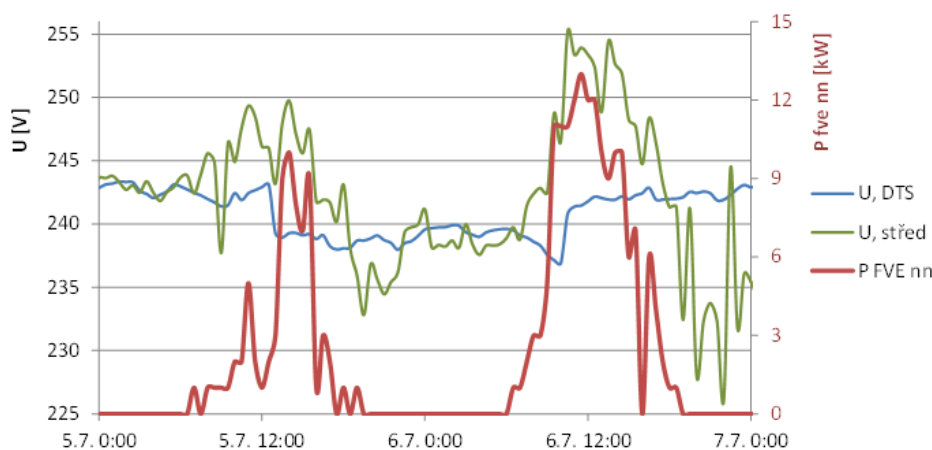
Zelené zdroje elektřiny, jakožto malé zdroje převážně “měkkého” charakteru s rozptýlenou výrobou nedisponují potřebnou razancí, aby byly schopny dodávat zkratový výkon po delší dobu. Ale i tak je zde požadavek (1) na co nejrychlejší odpojení v případě zkratu, s cílem omezit zkratové poměry a tím zabránit poškození zařízení. Okamžité odpojení od sítě nemusí být vhodné z pohledu výpadku výkonu a stability sítě, při velkém zastoupení OZE. Vycházejíc z empirických zkušeností, v případě zkratu a následného poklesu napětí se zelený zdroj automaticky odpojí a připojí se až po zotavení napětí.

Ano, výpadky OZE v zkratem postižené lokalitě sice hrozí, ale z uvedeného charakteru roztroušeného nasazení těchto zdrojů vyplývá, že by to nemělo mít materiální dopad na provoz nebo zotavování soustavy.

3.2. LOKÁLNÍ VLIVY

3.2.1. Přepětí v síti

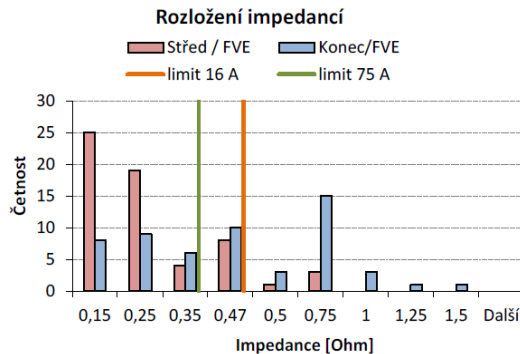
Následující graf zobrazuje průběh napětí v závislosti na výrobě fotovoltaické elektrárny (FVE) o výkonu 15kW v napájecí distribuční trafostanici a v místě připojení FVE vzdálené cca 600m. Z průběhů je zřejmé, že zatímco napětí v distribuční stanici kolísalo nevýrazně, v místě připojení FVE došlo k překročení horní hranice pro dovolené napětí v síti.



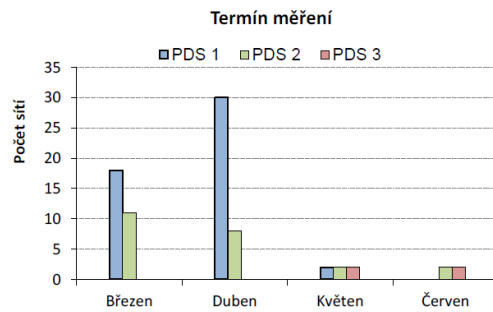
Graf 14, zdroj: 12

Dopad vysoké penetrace OZE na úroveň napětí v distribučních sítích nízkého napětí je možné vysledovat z výsledků rozsáhlého monitoringu kvality elektřiny v sítích nízkého napětí provedeného napříč zásobovacím územím všech tří distribučních soustav v ČR, v 206 bodech, v letech 2011 a 2012 (9). Měření monitorovalo vztažnou impedanci pro spotřebiče do 16A a 75A. Znovu, zejména místa připojení FTV zdrojů vykazují překročení povoleného napětí. Tezi podporuje i další obrázek, který znázorňuje rozložení

měření do měsíců. Je patrné, že jsou to všechno měsíce s předpokládanou silnou výrobou ve fotovoltaických zdrojích.

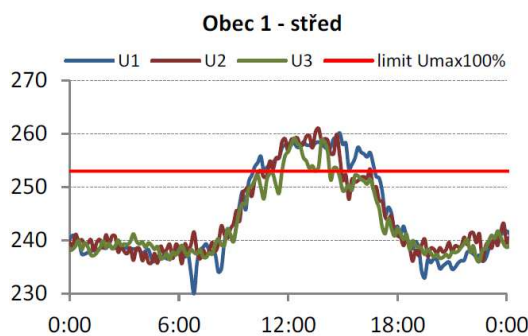


Graf 15, zdroj: 9

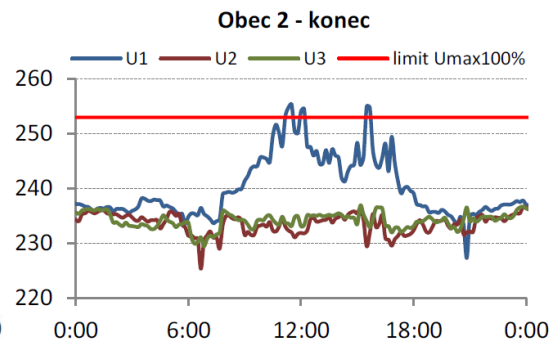


Graf 16, zdroj: 9

To, že překročení povolených mezí souvisí s nárůstem výroby OZE, v tomto případě zřejmě s fotovoltaickou elektrárnou, je zřejmé i z následujících grafů, kde jsou prezentovány průběhy napětí během jednoho dne. Z grafů je patrné, že k překročení hranice povoleného pásma pohybu napětí dochází v době nárůstu výroby fotovoltaických zdrojů. Poslední graf vyjadřuje překročení v pouze v jedné fázi.

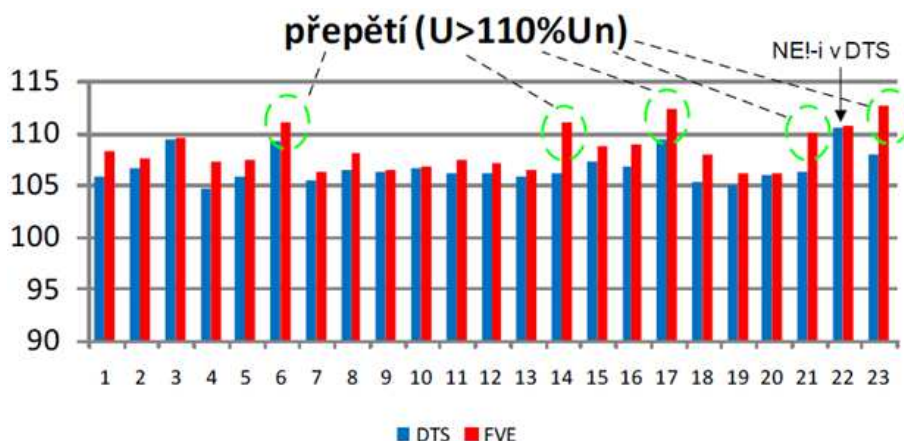


Graf 17, zdroj: 9



Graf 18, zdroj: 9

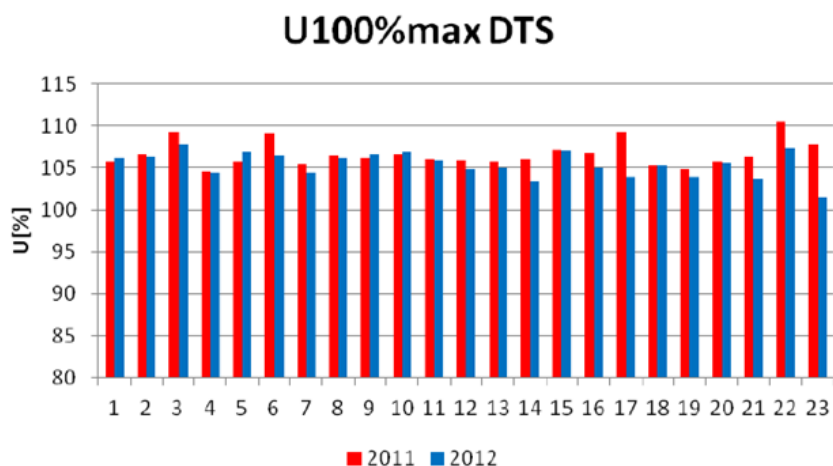
Obdobné měření pro praktické posouzení skutečného dopadu provozu OZE na odchylky napětí bylo v síti E.ON Distribuce, a.s. vybráno 23 reprezentativních NN sítí s nasazenými FVE NN (8). Týdenní měření kvality napětí probíhalo v květnu až červenci 2011, současně v rozvaděči NN DTS a na FVE NN u každé sítě. Výsledky měření (průměrné ef. hodnoty 10min, vyhodnocení dle ČSN EN 50160) s ohledem na vyhodnocení max. odchylek napětí ($U_{100\%max}$) znázorňuje graf 19.



Graf 19, Maximální odchylky napětí (U100%max) v DTS a na FVE NN, %Un, 2011, zdroj: 8

Graf 19 ukazuje, že v pěti případech (síť č. 6, 14, 17, 21, 23) odchylky napětí v místech připojení FVE nevyhověly normě ČSN EN 50160 z důvodu přepětí ($U > 110\%U_n$), které prokazatelně vzniká při provozu FVE, poněvadž v DTS je napětí v tolerancích. Lze tedy konstatovat, že v $(5/23) \cdot 100 = 21,7\%$ NN sítí s FVE NN odchylky napětí nevyhověly požadavkům normy ČSN EN 50160 vlivem provozu OZE (8). V síti č. 22 je přepětí i v DTS, můžeme tedy konstatovat, že je zde i chybně nastavená odbočka na distribučním transformátoru (DTR) a přepětí v NN síti vyhodilo z provozu FVE.

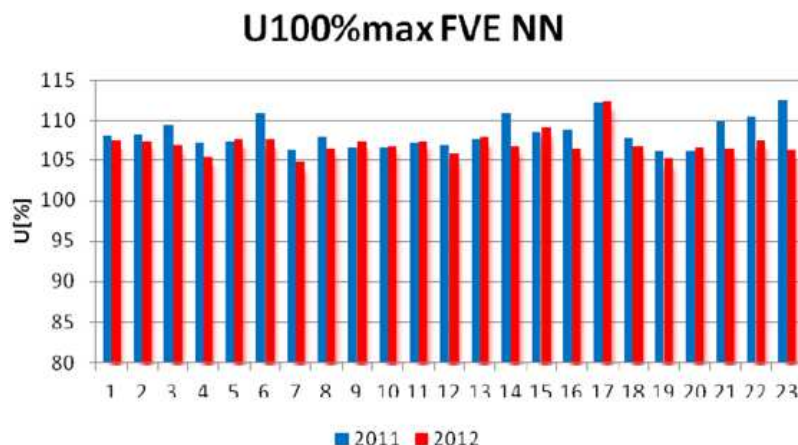
V zmíněných pěti případech přepětí z předcházejícího grafu, bylo následně provedeno snížení napětí přenastavením odboček na distribučních transformátorech 22kV/NN. Následující graf znázorňuje opakované měření ve všech 23 sítích na jaře 2012, které probíhalo opět současně jak v DTS, tak na FVE NN.



Graf 20, Vyhodnocení max. odchylek napětí v trafostanici pro 23 různých NN sítí, zdroj: 8

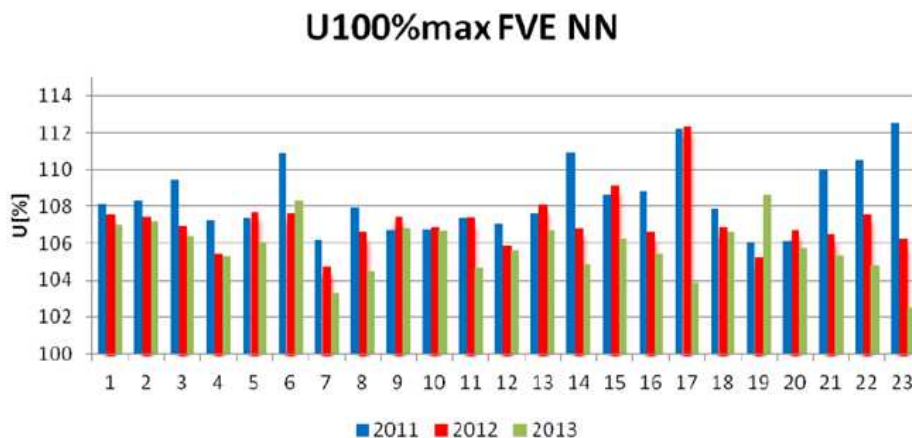
Je zřejmé, že pro rok 2012 v trafostanici odchylky napětí již vyhověly ve všech 23 sítích. Z grafu 20 je patrné, že v sítích 6, 14, 21, 22 a 23 již na FVE NN v roce 2012 přepětí zjištěno nebylo a tedy nápravné opatření, spočívající v regulaci napětí na DTR přenastavením odbočky, bylo účinné. V síti č. 17 však bylo přepětí zjištěno i přes snížení napětí změnou odbočky také v roce 2012. Lze tak konstatovat, že ve vzorku

sítí NN s připojenými výrobkami nevyhovělo na odchylky napětí z důvodu provozu OZE 21,7% sítí. Po nápravném opatření (snížení napětí na distribučním transformátoru přenastavením odbočky) již nevyhověla pouze jediná síť, resp. $(1/23) \cdot 100 = 4\%$ sítí.



Graf 21, Vyhodnocení max. odchylek napětí v bodech připojení FTV pro 23 různých NN sítí, zdroj: 8

Pro ověření dodržení úrovní napětí z hlediska spodního limitu bylo ve všech 23 NN sítích provedeno měření v lednu až únoru 2013, kdy se předpokládala více zatížená NN síť a menší výroba z FVE. Přepětí nebylo zjištěno v žádné síti, a to ani na FVE NN, viz graf 22.

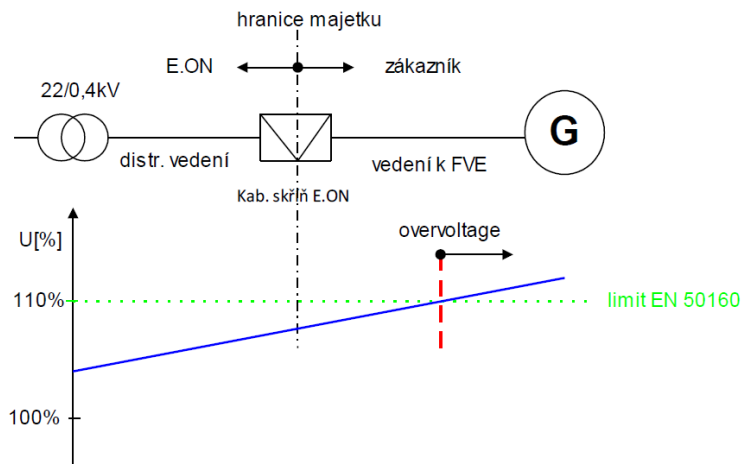


Graf 22, Vyhodnocení min. odchylek napětí na FVE NN pro 23 různých NN sítí, zdroj: 8

Bylo ale zjištěno, že minimální odchylky v některých sítích (např. síť č. 8 v grafu 22) mohou v zimním období klesnout pod hodnotu $90\%U_n$, což by v případě, že by tento stav trval déle než 5% času měřeného období, mělo za následek nevyhovění požadavkům na odchylky napětí podle normy ČSN EN 50160 (8).

Dle informací ze společnosti E.ON Distribuce, a.s., právě z důvodu přepětí jsou časté reklamace provozovatelů fotovoltaických elektráren. Tyto reklamace se týkají vypadávání střídačů FVE z důvodu „přepětí“ a následně plateb za nevyžádanou dodávku jalové energie.

Provozovatel distribuční soustavy garantuje a zajišťuje odchylky napětí v tzv. předávacím místě (obvykle pojistková skříň) a tam i v případě reklamace provádí měření (v případě že je pojistková skříň malá nebo nedostupná, provádí se měření v elektroměrovém rozvaděči). Avšak fotovoltaické panely samotné, jsou většinou umístěny na střeše objektu, tedy několik desítek metrů od předávacího místa a vzniká na něm nenulový úbytek napětí (resp. při provozu FVE zvýšení napětí), který se přičítá k hodnotě napětí v předávacím místě. Pokud pak střídač FVE (resp. ochrana FVE která je pro FVE NN obvykle integrovaná ve střídači) vypadává přepětím, neznamená to, že přepětí je v předávacím místě. Přepětí vzniká zvýšením napětí na interním vedení, instalaci, od předávacího místa k fotovoltaickým panelům, a to provozem zdroje. Situace je schematicky znázorněna na následujícím grafu.



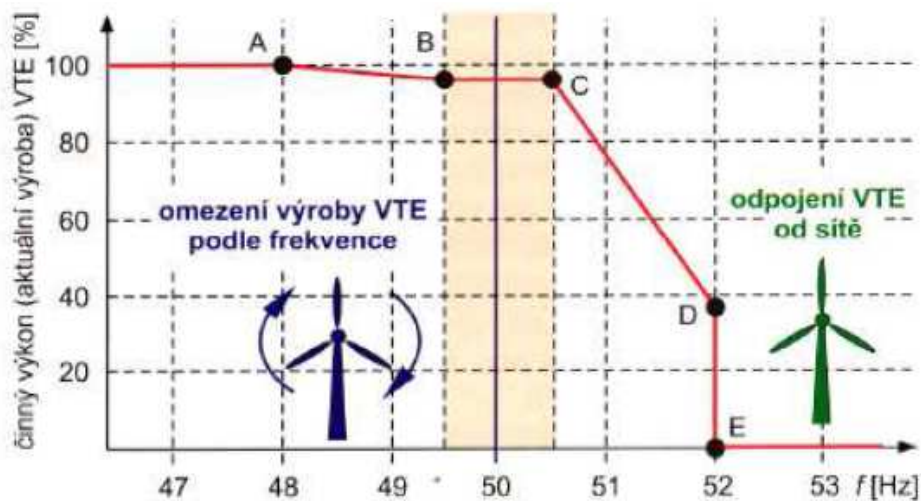
Graf 23, Schematické znázornění vzniku přepětí na vedení odběratele od předávacího místa k FVE (8)

CHOVÁNÍ PŘI ZMĚNÁCH FREKVENCE

Při změnách frekvence v síti je vyžadováno, aby zdroje OZE zůstaly připojeny do soustavy a pomáhaly vyrovnávat bilanci výkonů. V principu se jedná o ekvivalent primární regulace. Požadované chování větrných elektráren při změnách frekvence můžeme rozdělit do tří skupin:

- Frekvence 49.5 – 50.5Hz, při kolísání frekvence v síti v tomto intervalu se výroba nijak nezmění
- Frekvence vyšší než 52.0Hz, jestliže frekvence v síti stoupne nad tuto hodnotu, je vyžadováno odpojení VTE
- Frekvence nižší než 49.5Hz, nastane-li v síti tato situace, je vyžadováno, aby VTE zůstala k síti připojena, dokonce je zde i požadavek na zvýšenou výrobu VTE

Všechny 3 typy chování VTE při změnách frekvence jsou uvedeny na následujícím grafu.



Graf 24, Chování VTE při změnách frekvence, zdroj: 3

Problémem velké části OZE v současnosti připojených v soustavě je, že nemají vhodně nastavené ochrany pro stavy poklesu frekvence. Drtivá většina těchto OZE má podfrekvenční relé nastaveno na kmitočty velmi blízké 50.0 Hz, (49.8 Hz), což je příznačné pro legislativní požadavky na nastavení těchto ochran před rokem 2011 (3). Z tohoto důvodu je třeba při posuzování stability distribuční soustavy respektovat předčasné odpojování těchto zdrojů od systému. Nepřipravenost zdrojů setrvat v dodávce výkonu do sítě při poklesu frekvence má značný vliv na dosud platné plány systémového automatického frekvenčního odlehčení (SAFO). Před jakýmkoli zásahem obranných mechanismů soustavy dojde k odpojení velkého množství výkonu OZE a kritická situace z pohledu soustavy je ještě prohloubena. Vydělování uvažovaných „přebytkových“ ostrovních provozů z DS při malých podfrekvencích má značně negativní vliv na stabilitu soustavy, kdy bilance přichází o cenné desítky MW činného výkonu.

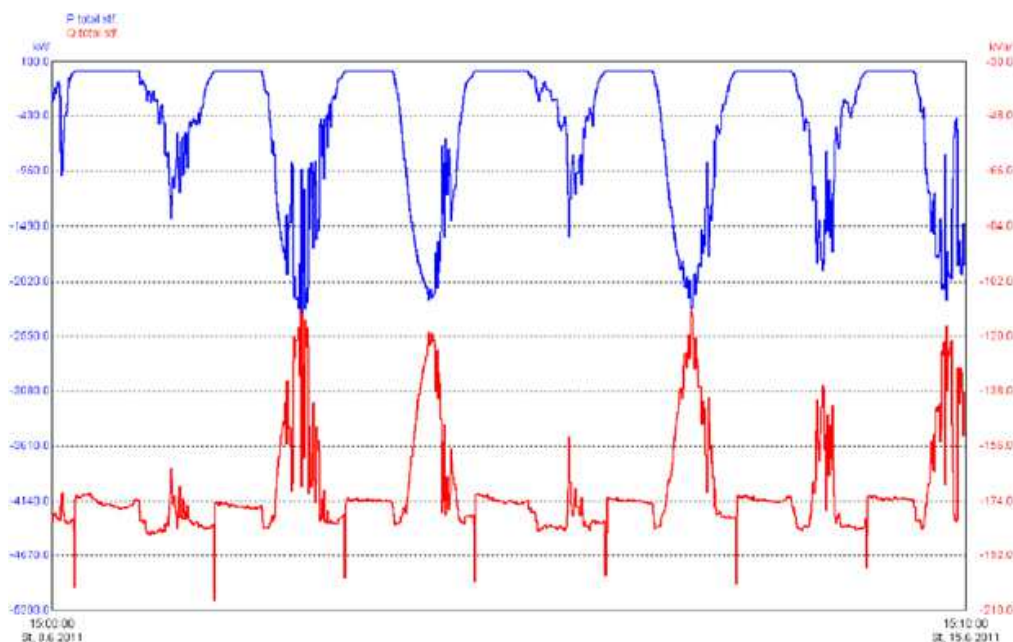
3.2.2. Změna poměrů v toku činného a jalového výkonu

Zdroje elektrické energie připojované do distribuční soustavy musí dodržovat účinník dle požadavku provozovatele distribuční soustavy (PDS) ve stanovených mezích. Jedná se především o problém spojený s VTE. Výjimkou jsou situace, kdy přímo na požadavek PDS mají výrobní regulovat jalový výkon. U zdrojů dřívějšího data spuštění bylo ze strany PDS požadováno dodržení tolerance účinníku v rozsahu 0.95-1 induktivní. U nově budovaných zdrojů připojovaných do DS E.ON je požadováno dodržení tolerancí účinníku v rozsahu 0.98-1 induktivní.

V praxi nastávají dvě možnosti nedodržování účinníku:

- Nedokompenzovaný provoz výrobní (induktivní odběr, charakter „L“)
- Překompenzovaný provoz výrobní (kapacitní dodávka, charakter „C“)

V případě nedodržení účinníku je provozovatelům výroben účtována platba za nevyžádanou dodávku jalové energie a to zejména v režimu, kdy výroba nedodává činný výkon. U fotovoltaických zdrojů nastává tento stav typicky v noci. Je způsoben jednak přítomností vnitřních kabelových rozvodů za místem měření a jednak zapnutou kompenzací, kterou výroba reguluje účinník při dodávce činného výkonu do sítě během dne.



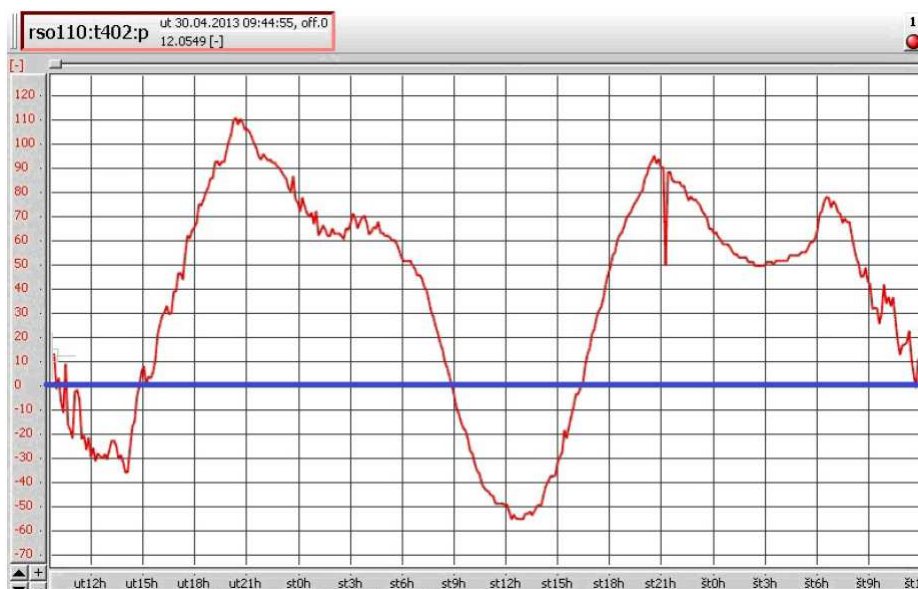
Graf 25, zdroj: 8

Graf nahoře popisuje průběhy jalového výkonu (červená křivka) a činného výkonu (modrá křivka) fotovoltaické výroby o instalovaném výkonu 2400 kW. Hodnota dodávaného Q je nižší během dne při dodávce činného výkonu a vyšší pak během noci.

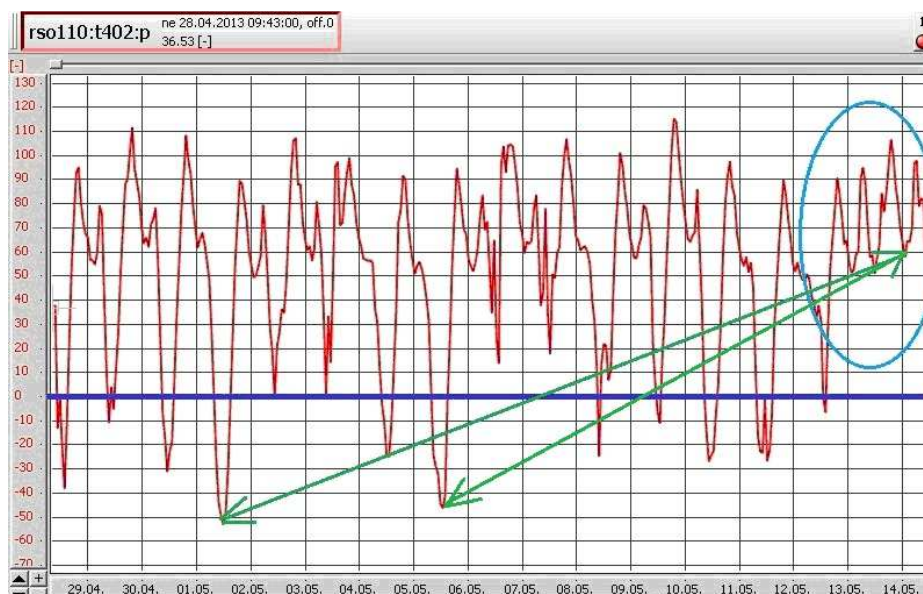
Pro dodržení účinníku výroby v mezích stanovených distribuční soustavou je nutné v interní elektroinstalaci odběratele instalovat dekompenzační tlumivky, případně kondenzátorové baterie tak, aby v předávacím místě výroby byl dodržován účinník v mezích stanovených distribuční soustavou.

3.2.3. Přetok výkonu, přetěžování sítí, wattrouter

Následující graf zobrazuje měření toku činného výkonu měřeného na hladině 110 kV. Průběh zobrazuje tok činného výkonu na nadřazeném uzlu 400/110 kV v průběhu jediného dne. Z grafu je jasně vidět, že distribuční uzel v čase nečinnosti fotovoltaických elektráren vykazoval maximální odběr kolem 110 MW. Při činnosti fotovoltaických elektráren, naopak, do přenosové soustavy bylo předaných téměř 60 MW činného výkonu.



Graf 26, zdroj: 5

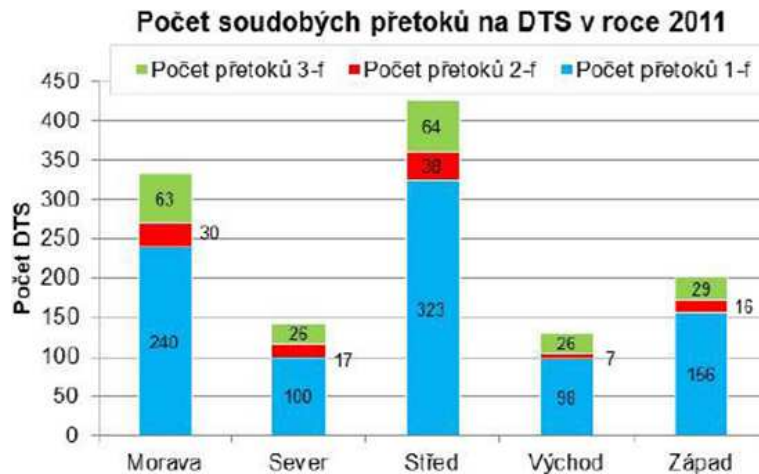


Graf 27, zdroj: 5

Pro analýzu byl vybrán uzel s jednou z největších koncentrací fotovoltaických elektráren, připojených na hladinu 22 kV. Z průběhu můžeme vidět silnou závislosti na světelných podmínkách, dodávaný činný výkon značně kolísá. Překvapivé je, že z měřeného období 16 dní tok činného výkonu v tomto uzlu směřoval, alespoň částečně, 13 dní do vyšší hladiny.

Následující graf znázorňuje rozdělení počtu 1f, 2f a 3f přetoků v členění na hodnocené regiony napájecí oblasti. Dominantním typem přetoku činného výkonu je přetok v jedné fázi. Příčinou tohoto jevu může být kumulativní připojení 1f výroben na stejné fázi.

Na druhou stranu je nutno poznamenat, že nebyla zkoumána symetrie mezi dodávkou a spotřebou, tedy možný synergický efekt vyplývající z asymetrie také na straně spotřeby.

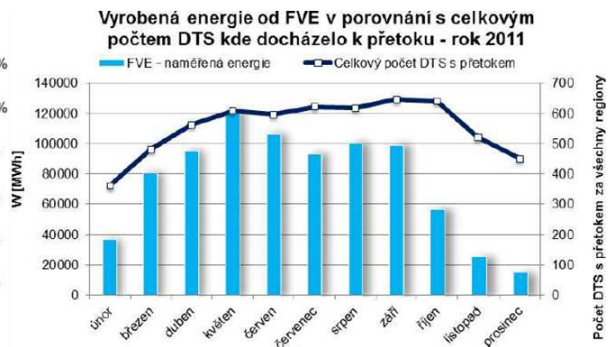


Graf 28, zdroj: 9

Zaznamenané přetoky byly analyzovány z pohledu jejich maximální výše a času, kdy k těmto maximálním přetokům na hodnocených DTS docházelo. Z provedeného rozložení v rámci dne a roku vyplývá dominantní nárůst přetoků v poledních hodinách a letním období, což je možné dávat do přímé souvislosti s výrobou ve fotovoltaických elektrárnách.



Graf 29, zdroj: 9



Graf 30, zdroj: 9

Žádoucí tok výkonů mezi distribuční a přenosovou soustavou je jedním z nejcitlivějších fenoménů v energetických soustavách členských států EU. Nakolik distribuční a přenosová soustava představuje nejcitlivější část energetického systému každého státu, je potřebné mít pod kontrolou i toky výkonů elektrické energie, které standardně směřují z přenosové soustavy do distribuční sítě a nestandardně z distribuční sítě do přenosové soustavy. I při splnění základních podmínek je potřebné kontrolovat objem výkonu předaného do přenosové soustavy, aby byly zabezpečeny požadavky a podmínky stanovené provozovatelem přenosové soustavy.

WATTROUTER

Myšlenka minimalizace přetoků výkonu FVE do DS pomocí zařízení, které tyto přetoky měří a na základě naměřených bilancí výkonů spínají spotřebiče, je v ohledu správného řízení toků výkonu velice užitečná. Fyzikálně, pokud nevzniká přetok z FVE do DS, FVE nezvyšuje napětí v síti NN (za předpokladu simultánní regulace odboček DTR) a navíc dochází k úsporám na ztrátách v DS, které nevzniknou při přenosu elektřiny z místa výroby do místa spotřeby. Ideální zátěž pro použití v kombinaci s wattrouterem jsou odporové spotřebiče. Tyto spotřebiče lze běžně spínat podle výroby FVE. Pro použití v domácnosti se uplatnění wattrouteru týká tedy zejména ohřevu teplé užitkové vody, případně nabíjení akumulčních nádrží pro otop.

I používání wattrouteru musí být ale promyšleno do důsledků s ohledem na nepředikovatelnost a sezónnost výroby z OZE. V případě jednofázové FVE je nutné rozlišovat zimní a letní provoz. V letním provozu je z hlediska minimalizace přetoků výkonu vhodné mít veškeré tepelné akumulční spotřebiče na fázi se zdrojem. V zimním provozu není vhodné z hlediska malého výkonu FVE a značně převyšující spínané zátěže mít veškeré tepelné spotřebiče na jedné fázi. Tato fáze při minimálním osvitu bude přetěžována, což sebou přinese důsledky ve značném vlivu na odchylky napětí (8).

Z hlediska minimalizace ztrát v důsledku přenosu elektřiny na velké vzdálenosti je důležité, aby zdroje OZE byly co nejbliž spotřebě a přetoky výkonu OZE do vyšších napěťových hladin tak byly co možná nejmenší.

HDO

Podobně jako wattrouter je užitečné pro směrování toků i hromadné dálkové ovládání (HDO). Jedná se o soubor zařízení, který je využíván k řízení spotřeby pomocí elektrických spotřebičů, měření, nebo jiným službám, které využívají přenos řídicích signálů tónovým kmitočtem po sítích distribuční soustavy.

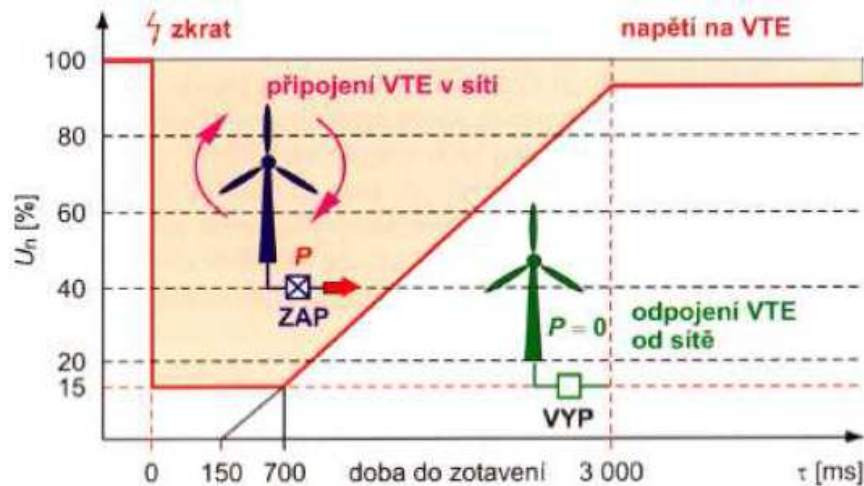
3.2.4. Zvýšení zkratových poměrů

Připojený zdroj OZE se chová jako jakákoliv jiná elektrárna vyvedená do jednoho bodu sítě, takže je potřeba počítat se změnou zkratových poměrů v síti. Nicméně, zdrojům OZE z principů chybí tvrdost a robustnost fosilních zdrojů, proto reálně nejsou schopny dodávky zkratového výkonu.

Jedním z obecných požadavků na zdroje OZE je, aby se při zkratu co nejrychleji, nejlépe však okamžitě, odpojily, což je důležité proto, aby se zmenšil možný dopad nebezpečných zkratových poměrů a předešlo se poškození zařízení. Následně, aby zdroj nedodával dodatečný výkon do zkratu, musí dodržet minimální dobu odstávky.

Okamžité odpojení ale není pravidlem u všech OZE. V případě připojení vícero zdrojů OZE do distribuční soustavy, nemusí být okamžité odpojení žádoucí, vzhledem k velkým odpadlým výkonům. U OZE, které jsou připojeny do přenosové soustavy, je požadována zkratová odolnost proti odpojení při vzdálených zkratech.

Jak je vidět na následujícím obrázku, po zkratu dojde k poklesu napětí v místě větrných elektráren (VTE) na hodnotu 15% jmenovitého napětí U_n . Zdroj se odpojí. Přibližně 0.7s trvá odstávka, respektive ochrana opětovného zapojení, než se zdroj znovu začne připojovat k síti.

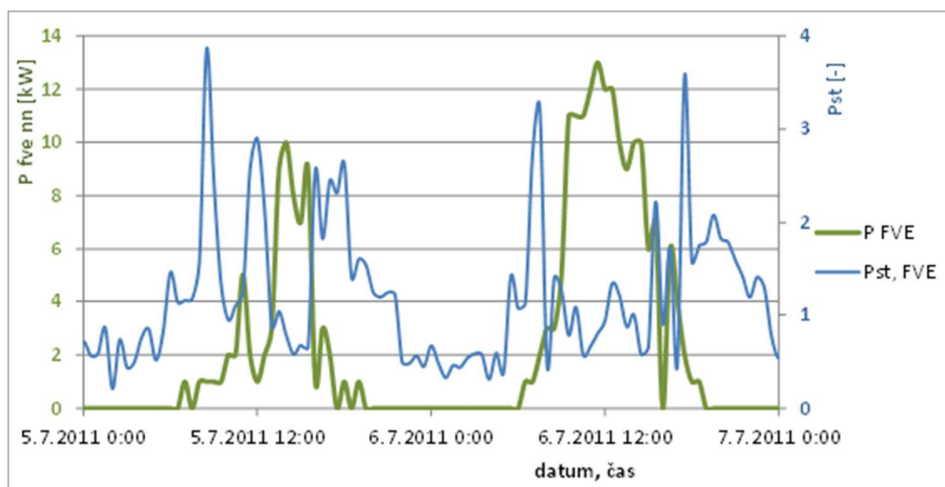


3.2.5. Příspěvek k úrovni flickrů

Flickr (z anglického flicker) je jev popsateľný jako změny napětí vnímané pouhým zrakem. Typickým příkladem jsou rychlé změny záření žárovky projevující se blikáním. V principu se jedná o rychlé kolísání napětí při určité frekvenci v dovolených mezích.

Rychlé kolísání napětí může způsobit změny světelného toku u zdrojů světla, zejména u vláknových žárovek, rychlé viditelné změny jasu svítidel, což může mít neblahý vliv na lidskou psychiku. Dále negativně ovlivňuje technická zařízení, citlivá na dodržování konstantního napětí, např. televizory. Je to obvykle způsobené rychlými změnami činných a jalových výkonových toků v síti. Toto mohou zapříčinit například obloukové pece a pily. Dalším důvodem blikání mohou být zdroje OZE, typicky větrné turbíny, které způsobují rychlé změny činného a jalového výkonu vlivem nárazových větrů nebo momentu, kdy se překrývá list vrtule se stožárem, nebo také fotovoltaické zdroje v případě, kdy dochází k rychlým změnám světelnosti.

Při flickru je posuzováno, zda nejsou překročeny povolené hodnoty. Při dlouhodobém flickru nesmí hodnota v místě připojení překročit normovanou hodnotu 0.46 (12).



Graf 32, Změny velikostí flikru v závislosti na zvyšování a snižování výkonu FVE

Graf zobrazuje výrazné překročení limitů flikru v závislosti na průběhu změn výkonu FVE 15kW.

3.2.6. Emise harmonických proudů

Harmonické proudy vznikají na zařízeních se střídači nebo měniči frekvence. Tato problematika v rámci OZE se týká hlavně fotovoltaických a větrných elektráren. Harmonické proudy můžeme definovat jako násobky základní sinusoidní křivky. Abychom harmonické proudy vykompenzovali, používáme harmonické filtry. Jestliže jsou harmonické proudy příliš velké, může dojít k přehřátí a v nejhorším případě i ke vznícení harmonických filtrů.

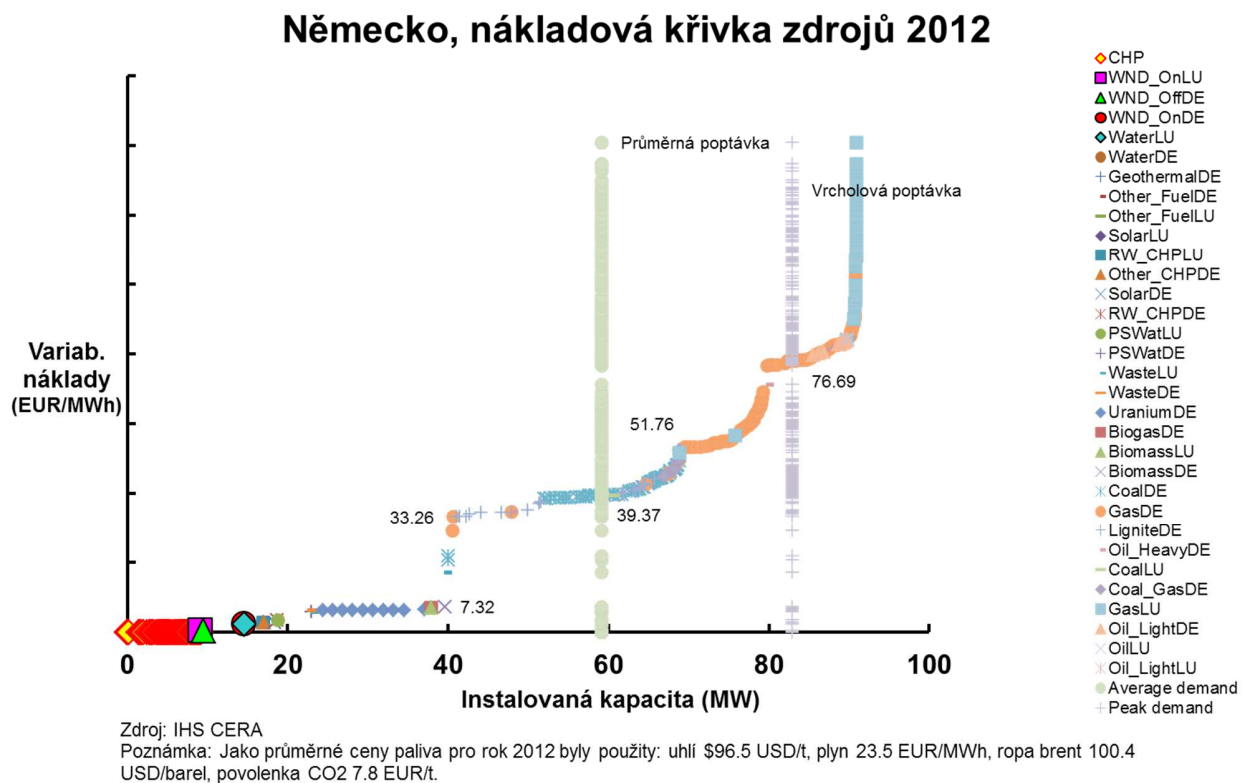
Proud z fotovoltaického zdroje (FTE) je obvykle stejnosměrný. Ten je však prostřednictvím střídače převeden na proud střídavý. Nové modely těchto zařízení už výrazné harmonické proudy nezpůsobují, ale starší modely měničů, které nejsou tak kvalitní, mohou vyšší harmonické proudy generovat. Dle zkušeností z provozu se v současnosti jedná o potíže s harmonickými proudy v momentu, kdy se střídač uvádí do provozu nebo vypíná.

Systém nazývaný PWM, Pulse Width Modulation, nebo-li pulsní šířková modulace, pomáhá v zabránění vytváření vyšších harmonických proudů. Většina počítačových zařízení v dnešní době má harmonické filtry, které nám odstraní většinu harmonických proudů již při výstupu z FTE.

Dnes je u zařízení udávána tzv. hodnota celkového činitele zkreslení vyššími harmonickými proudy, která je zpravidla nastavena tak, aby nedošlo k nežádanému ovlivnění přístrojů, které jsou připojené k distribuční soustavě.

4. Vliv OZE na ceny elektřiny a provoz fosilních zdrojů

Při problematice obnovitelných zdrojů se nelze nezmínit o jejich dopadu na ceny elektřiny a provoz fosilních zdrojů. Na následujícím grafu je modelována nákladová křivka zdrojů elektrické energie v Německu pro rok 2012.



Graf 33, zdroj: Vlastní výpočty, HIS CERA

Nákladová křivka představuje základní nástroj pro analýzu tržní ceny elektřiny. Skládá se z jednotkových variabilních nákladů producentů elektřiny uspořádaných od nejlevnějších po nejdražší (stoupající tvar). Začneme-li od tradičních stávajících zdrojů elektřiny, na začátku křivky, s nejnižšími variabilními náklady, se nachází zdroje na jaderné palivo. Na obrázku jsou označeny jako modré kosočtverce, zejména v rozmezí instalované kapacity od 20 do 40 MW. Dále následují zdroje na lignit (hnědé uhlí, označeny jako modré kříže), dále pak zdroje na dražší, černé uhlí (modré hvězdy). Tyto zdroje můžeme vidět v stoupající linii od 40 do 70 MW instalovaného výkonu. Za uhelnými zdroji následují zdroje plynové. Jako první jsou to paroplynové cykly (CCGT), které se díky dodatečné dodávce tepla dostávají pod cenovou úroveň zbytku plynových zdrojů. Dále jsou pak umístěny ostatní, méně efektivní varianty produkce elektřiny z plynu, jako single-cycle turbíny (bez dodávky tepla) a zdroje na topný olej.

Z popisu jsem záměrně vynechal první velkou kategorii zdrojů, která je znázorněna v grafu úplně na začátku. Jedná se o obnovitelné zdroje elektřiny (OZE). Výkupní cena pro tyto zdroje je vysoko nad jejich rozhodovacími jednotkovými variabilními náklady. Proto budou vyrábět vždy, pokud jim to podmínky

(počasí) umožní. Jak víme, provozovatelé distribučních soustav jsou povinni tuto elektřinu přednostně odebrat.

Obnovitelné zdroje vidíme na předcházejícím grafu rozložené od 0 po 20 MW instalovaného výkonu. A právě to je důvod, proč je v současné době cena elektřiny dlouhodobě stlačena pod úroveň cen, jaké známe z období 4-5 let zpátky. Popisovaných „začátečných“ 20 MW instalovaného výkonu v tomto období téměř vůbec neexistovalo, tedy posuneme-li celou nákladovou křivku o 20 MW instalovaného výkonu „doleva“, dostáváme se při průměrné poptávce 60 MW instalovaného výkonu na cenovou úroveň elektřiny (roční baseload) kolem 70-75 EUR/MWh.

Současné ceny elektřiny jsou téměř likvidační pro všechny fosilní zdroje, které musejí omezovat svůj provoz, aby využili alespoň ty části roku, kdy jim ceny elektřiny umožňují být profitabilní (cena elektřiny se mění jak v průběhu dne, tak v průběhu roku v závislosti na poptávce). Podíváme-li se na dnešní clean-dark spread (jednotková hrubá marže producentů z uhlí) na úrovni pouze 1 EUR/MWh, vidíme, že i když je graf s nákladovou křivkou Německa postaven z dat roku 2012, principiální situace na trhu se nezměnila. Dokládá to i aktuální cena za baseload kolem 35 EUR/MWh. Poslední zdroje, kterým se ještě oplatí vyrábět profitabilně baseload, tedy stejný výkon v průběhu celého roku, jsou levnější hnědouhelné zdroje, což je z pohledu historických souvislostí nebývalá situace. Produkce plynových zdrojů je ztrátová.

Obnovitelné zdroje jsou zdroje produkčně velmi nestabilní. Nestabilita je bohužel vlastnost velmi nevhodná pro provoz distribuční soustavy. Potom co obnovitelné zdroje dostávají zaplacené výkupní ceny elektřiny daleko vzdálené těm tržním, a prodávají tak elektřinu pro konečné uživatele, je tady druhý moment prodražení zelené energie a to ten, kdy provozovatele distribučních soustav (jsou to právě oni, kdo je zodpovědný za stabilitu soustavy), budou nuceni z peněz konečných spotřebitelů elektřiny udržovat flotilu vypnutých fosilních zdrojů, které se zapnou pro případ, že povětrnostní podmínky neumožní obnovitelným zdrojům právě vyrábět.

Je zde reálný předpoklad, že náklady spojené se stabilitou soustavy a podpůrnými službami budou s rozvojem OZE citelně stoupat, přičemž tržní cena elektřiny může ještě nadále mírně klesat.

5. Shrnutí a zhodnocení situace

Dopad provozu OZE na kvalitu napětí, cenu elektrické energie jako komodity i celkových nákladů pro koncové odběratele, dle zjištění na předchozích stranách, rozhodně není zanedbatelný.

Otazník nad vším tímto ekologickým úsilím vzbuzuje zejména porovnání světových statistik. První cíl směrnice Evropského parlamentu z roku 2009 je redukce 20% emisí CO₂ EU z roku 1990 pro rok 2020, tedy c. 900 miliónů tun CO₂ (zdroj EEA). Světová jednička v produkci CO₂, Čína, odpovědná za c. 26% světových emisí (2010, zdroj Wiki) meziročně (2008/2009) zvedne produkci CO₂ o přibližně stejné množství jako je zmíněný třicetiletý cíl úspory pro EU, tj. c. 900 miliónů (zdroj IEA), a to zejména v důsledku spuštění fosilních elektráren pro zabezpečení domácí poptávky po elektrické energii.

Nicméně pokud odhlédneme od filozofických úvah, jestli mají zdroje OZE smysl nebo ne a vycházíme ze současně nastavené politiky EU, je zde několik momentů, které je třeba vzít v úvahu.

Podpora obnovitelných zdrojů

Obnovitelné zdroje elektřiny nejsou schopny při výrobě za tržní ceny zabezpečit investorsky zajímavou návratnost, proto jsou odkázány na systém státních pobídek. V důsledku velice štědrého systému výkupu elektřiny z OZE, ale i nepředvídatelného poklesu v cenách jednotlivých technologií, jsme byli za uplynulé čtyři roky svědky rekordního nárůstu počtu obnovitelných zdrojů připojených do soustavy. I když dnes jsou již výkupní ceny výrazně nižší, z OZE se netrzním zásahem náhle stala významná skupina zdrojů, se kterou je nutné ve všech směrech počítat.

Vliv na stabilitu a kvalitativní parametry elektrizační soustavy

Počet sítí s nevyhovující kvalitou napětí vlivem provozu OZE díky jejich postupnému připojování má tendenci růst, což bude pro distributora elektřiny představovat budoucí jak provozní, tak investiční náklady. Z pohledu distributora je tedy potřeba případné další připojování OZE posuzovat podle přísnějších kritérií a pro stávající síť hledat technická opatření zajišťující stabilnější napětí. V sítích, kde je již instalováno větší množství neřiditelné rozptýlené výroby, je nutné zavedení dalších akčních členů (např. nasazení distribučních transformátorů VN/NN s regulací odboček pod zatížením).

Provozovatelé distribučních soustav se v posledním období vážně zamýšlejí nad bilančními limity těchto zdrojů pro své soustavy. V současnosti všichni tři provozovatele distribučních soustav na Slovensku již nepřipojují obnovitelné zdroje, až do důkladného prozkoumání jejich bilančních limitů OZE.

Obecně můžeme zhodnotit, že připojení OZE do elektrizační soustavy určitě možné je, avšak je zde přímá spojitost s náročností na dostatečné kapacity, zejména regulačního výkonu, což je jak drahé, tak i ekologicky náročné řešení.

Vliv na provoz fosilních zdrojů, ceny elektřiny a dopad na hospodářství

S nárůstem flotily zelených zdrojů došlo k zásadnímu přeuspořádání nákladové křivky výroby elektrické energie. Zelené zdroje, které mají efektivně nulové variabilní náklady, se dostaly na úplný začátek křivky,

čímž, při stejné poptávce elektřiny, posunuly uzavírací technologii nákladové křivky při výrobě elektřiny z plynové na hnědouhelnou a efektivně tak srazily cenu elektřiny na poloviční úroveň v porovnání s rokem 2010. Většina národních energetik států EU se tak dostala do problematické situace. Mnoho fosilních zdrojů při této ceně elektřiny již vyrábí jenom v omezeném období roku, typicky v zimě, nebo se jim nevyplatí vyrábět vůbec. Příkladem jsou plynové zdroje, které dnes již nejsou investičně zajímavé ani při kombinaci s dodávkou zbytkového tepla a jejich jediné komerční využití je na trhu podpůrných služeb, kde je však prostor omezený.

Pozitivní efekt poklesu silové ceny elektřiny na hospodářství je zcela logicky překonán negativním vlivem dodatečných nákladů na vyplácenou podporu OZE a regulační energii. Výsledkem je nebývalý tlak na ceny energií pro finální spotřebitele, podniky a domácnosti, který znevýhodňuje naši domácí konkurenceschopnost v globálním tržním prostředí.

Navržení možných řešení situace

Jeden ze základních problémů dnešního stavu je, že zelené zdroje nejsou vybaveny zařízením umožňujícím jejich regulaci nebo odpojení. Propojení s dispečinkem by umožnilo jejich hromadné dálkové ovládání. Existují návrhy, dle kterých by všechna zařízení nad 100 kW výkonu byly postupně vybaveny dálkovým řízením a propojena s dispečinkem, a současně ve stavech nouze nebo ve stavech jejího předcházení bude možné dostatečnou část zdrojů řídit (HDO Princip).

Nezbytnou součástí systému by měl být i nový výkupní model podpory obnovitelných zdrojů, který nestimuluje k dodávce elektřiny za každou cenu, ale jenom v případech adekvátní poptávky.

Samostatnou kapitolou je instalace akumulací, ať už v místě připojení rozptýlené výroby, nebo řešení formou centrální akumulace pro danou distribuční soustavu, avšak tato řešení jsou za současných ekonomických podmínek neefektivní a vedla by k dalšímu navyšování ceny pro koncového odběratele (9).

U vysoce nestabilních zdrojů, jako je fotovoltaika a větrné elektrárny, by měl být celý výkon zálohován v klasických fosilních zdrojích, tedy ještě rozšíření současného trhu s podpůrnými službami. Kromě jiného i předpoklady nárůstu instalované kapacity větrných elektráren podporovaly ČEZ, a.s., k výstavbě několika flexibilních paroplynových zdrojů (4).

Závěr

Shrneme-li dnešní situaci, jsme již za hranicemi „nástupní etapy“ obnovitelných zdrojů, kdy přednost těchto zdrojů byla absolutní a požadavky na ně kladené z hlediska soustavy nulové. Přestože jejich vliv na ni je dnes nezanedbatelný, jejich podíl v ČR dosahuje aktuálně kolem 14.5% hrubé domácí spotřeby elektřiny (ERÚ). Pro jejich další rozvoj a pro zvyšování jejich podílu v celkovém energetickém mixu (přes 30 % do roku 2050 podle státní energetické koncepce) již samy musejí převzít část odpovědnosti společně se stranou spotřeby, která se bude muset v určitém rozsahu rovněž přizpůsobit. S postupným zapojením zdrojů do dálkového ovládání se může limit připojitelného výkonu zvyšovat a postupně zmizet úplně. V opačném případě bude nutné mít k dispozici dostatečnou kapacitu regulační energie. Tak, jak bude narůstat podíl OZE na zdrojovém mixu, bude ale nutné počítat i s uplatňováním regulace. Rozhodující roli

bude hrát trh s elektřinou, který by měl zajistit, že očekávaná výroba z OZE bude respektována ve výrobních plánech ostatních zdrojů, které se jí přizpůsobí. S poklesem dodávky klasických zdrojů bude stoupat cena podpůrných služeb a postupně je začnou nabízet i velké zdroje OZE. Teprve v případech, kdy tržní mechanismy selžou (nebudou schopny vyrovnat nabídku/výrobu s poptávkou/spotřebou), nastoupí v mimořádných stavech direktivní dispečerské řízení zdrojů. Součástí zřejmě bude omezování výroby jednotlivých skupin zdrojů dle nastavených priorit, které budou respektovat faktické omezující podmínky provozu zdrojů (omezení dodávky tepla z tepláren, hydrologické vazby průtočných vodních elektráren apod.).

Jakmile bude implementována tato soustava pravidel a mechanismů, může se, z pohledu energetického systému, po krátké přestávce opět rozběhnout připojování OZE. Je zřejmé, že počáteční fáze, ve které OZE byly jakýmsi doplňkovým, občas až kuriózním zdrojem zanedbatelného vlivu a pro jejich rozvoj a uplatnění nebyly nastaveny žádné omezující podmínky, je už za námi. Nyní se již jedná o výraznou skupinu zdrojů výroby elektřiny s plnými právy, současně ale zároveň pokulhávajícími odpovědnostmi vůči soustavě (což nevylučuje prioritní zacházení v rámci daných podmínek). Zaváhání v přístupu bychom, pokud možno, neměli v budoucnu opakovat. Tedy i argument o střešních systémech, jejichž rozsah je zatím pro celý systém zanedbatelný a proto mohou být vyjmuty z plánování, je platný dnes, kdy tyto fotovoltaické systémy představují méně než 5 % celkového výkonu. Avšak již při instalaci na každé desáté střeše v ČR by byl i tento výkon pro soustavu významný.

6. Seznam použité literatury

1. Mastný, P., Drápela, J., Mišák, S. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. ČVUT v Praze, 2011
2. Toman, P., Drápela, J., Mišák, S. a kol. *Provoz distribučních soustav*. ČVUT v Praze, 2011
3. VÁNIŠOVÁ, M. Vliv OZE na elektrizační soustavu ČR. VUT v Brně, 2010
4. VELEK, V. Ekologická politika EU, její cíle, rozptýlené zdroje elektřiny a dopady na elektrizační soustavu. Konference ČK CIREC, 2008
5. DUBOVSKÝ, M. Analýza toku výkonu mezi hladinami VN, VVN a přenosovou soustavou pro převádění fotovoltaických elektráren připojených na hladinu VN. Konference ČK CIREC, 2013
6. PROCHÁZKA, K., HROUDA, J., BROŽ, F., KYSNAR, F. Chování fotovoltaických a dalších zdrojů v DS ČR při větších odchylkách frekvence sítě. Konference ČK CIREC, 2013
7. DERNER, P., KYSNAR, F. Hodnocení provozu OZE na zásobovacím území ČEZ Distribuce, a.s. Konference ČK CIREC, 2013
8. KAŠPÍREK, M., JIŘIČKA, J., KOUBA, D. Hodnocení provozu OZE v distribuční síti E.ON Distribuce, a.s. Konference ČK CIREC, 2013
9. KYSNAR, F., PROCHÁZKA, K., DUŠEK, R., BROŽ, F., HROUDA, J. *Vliv OZE na poměry v sítích NN a VN*. Konference ČK CIREC, 2013
10. energetika.tzb-info.cz [ONLINE]. Accesible via WWW:<<http://energetika.tzb-info.cz>>.
11. Oddělení statistik. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2012*. ERÚ v Praze, 2013
12. České sdružení regulovaných elektroenergetických společností [ONLINE]. Accesible via WWW:<<http://www.csres.cz>>.

7. Dodatky

7.1. Seznam použitých zkratk

CCGT	Paroplynový cyklus (Combined Cycle Gas Turbine)
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční trafostanice
FTV	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelné zdroje elektřiny
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
VE	Vodní elektrárna
VN	Vysoké napětí
VTE	Větrná elektrárna
VVN	Velmi vysoké napětí

7.2. CD s elektronickou verzí práce