

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

Ústav elektroenergetiky

ZKRÁCENÁ VERZE DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu Doktor (Ph.D.)

ve studijním oboru

SILNOPROUDÁ ELEKTROTECHNIKA A ELEKTROENERGETIKA

Ing. Jiří Malý

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

**IMPACT OF RENEWABLE SOURCES ON POWER SYSTEM
OPERATION**

Školitel:

Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Oponenti:

Datum obhajoby:

Brno 2009

KLÍČOVÁ SLOVA

kapacita sítí, obnovitelné zdroje elektrické energie, kruhové toky výkonu, elektrizační soustava

KEYWORDS

grid/network capacity, renewable energy sources , loops flows, electric power system

Práce je k dispozici na Vědeckém oddělení děkanátu FEKT VUT v Brně, Údolní 53, Brno 602 00.

OBSAH

1 ÚVOD	4
Cíle disertační práce	5
2 INTEGRACE A PŘIPOJOVÁNÍ OZE DO DS ČR	6
2.1 Sítňové kodexy PS a DS (Pravidla provozování soustav)	6
2.2 Návrh opatření pro připojování OZE do pravidel PPDS	6
3 KAPACITA SÍTÍ ES ČR PRO PŘIPOJENÍ NOVÝCH OZE	10
3.1 Stanovení využitelného výkonu OZE v ČR	10
3.2 Metodika stanovení větrného potenciálu v ČR	11
3.3 Kapacita sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů	12
4 VLIV OZE NA NADNÁRODNÍ PROVOZ SÍTÍ Z POHLEDU ČR	18
4.1 Analýza vlivu kruhových toků na ES ČR	18
5 ZÁVĚR	21
6 POUŽITÁ LITERATURA	25
CURRICULUM VITAE	27

1 ÚVOD

Od roku 1997, kdy byla v Evropském parlamentu schválena tzv. „Bílá kniha“, podporující obnovitelné zdroje energie (OZE) jako možnou náhradu za klasická fosilní paliva, zaznamenává energetika postupný nárůst podílu výroben OZE v elektrizační soustavě (ES) ČR. Využívání OZE v současné koncepci energetiky nabývá čím dál většího významu především ve snaze nalézt nové zdroje, jenž pomohou zvýšit nezávislost na primárních energetických surovinách, kterých stále ubývá a je velká závislost evropských zemí na jejich dovozu z politicky problematických zemí. Toto je rovněž jeden z hlavních cílů Evropské Unie, ČR se při svém vstupu do EU zavázala zvýšit podíl výroby elektrické energie z OZE do roku 2010 na 8% z celkové spotřeby ES ČR. Vláda ČR vydala 23. února roku 2005 Zákon o obnovitelných zdrojích, který zaručuje provozovatelům OZE přednostní vykoupení jimi vyrobené elektřiny za předem stanovenou cenu (výrazně vyšší než se pohybuje cena na trhu), případně finanční bonus za každou vyrobenou a na trhu prodanou kilowatthodinu. Tyto zásadní kroky přilákaly mnoho investorů, kteří na území ČR již dnes provozují mnoho různých druhů OZE. Některé z nich však ve větším zastoupení mohou razantním způsobem ovlivnit chod a stabilitu ES ČR.

Mnoho odborníků považuje potenciál OZE v ČR za velmi omezený. Jakožto vnitrozemský stát bez velkých pohoří a řek, se rýsují dvě hlavní možnosti využití OZE k produkci elektrické energie do ES. První je použití lokálních kogeneračních jednotek spalujících biomasu, které se svým provozním režimem téměř žádným způsobem neliší od klasických elektráren. Provoz takovýchto zdrojů neznamena pro chod ES a systémové operátory téměř žádné problémy, metodika jejich řízení je dlouhodobě zvládnutá. Druhou, velmi diskutovanou skupinou zdrojů, je využívání větrných elektráren (VTE) soustředěných do větrných parků (VP) a fotovoltaických elektráren (FVE). Tyto oba typy OZE s sebou přináší mnoho problematických faktorů a činitelů, které vyplývají z primárního zdroje jejich energie – větru a slunce a jejich nestálosti.

V ČR zatím nemáme žádné domácí zkušenosti s chováním velkého množství zdrojů s variabilní dodávkou výkonu připojených do ES, avšak ze zahraničních zkušeností je zřejmé, že tato oblast má zcela nekonvenční charakter a je nutné jí věnovat především v plánovací fázi zvýšenou pozornost.

V úvodní části své disertační práce věnuji pozornost legislativě a pravidlům pro připojování nových OZE do sítí na napěťové hladině 110 kV v ČR. Poukazuji na nepřipravenost a nedokonalost Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) a Pravidel pro provozování přenosové soustavy (PPPS) na integraci a provoz nekonvenčních zdrojů. Na základě zahraničních zkušeností s provozem sítí s velkou penetrací kolísavých zdrojů následně navrhuji úpravy v energetické legislativě ES ČR.

Stěžejní částí mé práce je analýza stanovení volné kapacity sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů se zaměřením na aktuální trend rozvoje VTE a FVE. Investorský sektor zahrnuje všechny regionální distribuční provozovatele žádostmi

o připojení nových zdrojů (především OZE) do ES ČR. Realizován je však jen zlomek projektů, tudíž je velmi obtížné zorientovat se v kapacitních možnostech sítí ES ČR. Tato část disertační práce by měla osvětlit danou problematiku a navrhnout možný směr pro hodnocení kapacitních možností sítí pro připojení nových zdrojů.

Neméně podstatnou částí práce je prověření vlivu zahraničních soustav s velkým podílem OZE na ES ČR. Jedná se zejména o ES Německa a Dánska, kde se kolísavý charakter OZE projevuje v nadnárodní úrovni a ovlivňuje přilehlé sousední ES okolních států velkými přetoky výkonů, tzv. kruhovými toky.

Problematikou OZE se na Ústavu elektroenergetiky FEKT VUT zabývá Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc, pod jehož vedením jsem danou problematiku studoval a disertační práci zpracoval. Dále jsem se problematikou zabýval též na svém současném pracovišti v Sekci Provozu a rozvoje ES v EGÚ Brno, a. s.

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

1) Rozbor pravidel provozování soustav a návrh jejich aktualizace.

Pravidla Provozování distribučních soustav (PPDS) a přenosové soustavy (PPPS), tzv. Kodexy sítí DS a PS, slouží především k jednotnému přístupu a chování všech subjektů – výroben, provozovatelů PS a DS a konečných zákazníků v ES ČR. V současné době přestávají tato pravidla plnit svou sjednocující funkci především v oblasti nových OZE. Cílem disertační práce je návrh na doplnění síťového kodexu o systémová pravidla pro připojení a provoz OZE kolísavého charakteru tak, aby se tyto nestandardní zdroje plnohodnotně začlenily do zdrojové základny ES ČR.

2) Stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů do ES ČR se zaměřením na VTE a FVE.

Dalším z hlavních cílů disertační práce je analýza současného stavu volné kapacity ES ČR pro připojení nových zdrojů se zaměřením na VTE a FVE. Cíle práce vycházejí z aktuální problematiky rozvoje OZE. V současnosti jsou všichni regionální distributoři zahlceni požadavky na připojení nových OZE do svých sítí. Momentálně je jen velmi omezená možnost, jak zjistit, kde je možné (z technického hlediska) připojovat nové zdroje do ES ČR, a kde již není volná kapacita sítí pro jejich připojení. Cílem práce je navrhnout takovou metodiku, která bude sloužit jako možný nástroj pro stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů do sítí.

3) Určení tzv. úzkých míst PS 400 kV v důsledku velkých kruhových toků výkonu ze zahraničí a návrh opatření pro eliminaci jejich vlivů.

Velká a náhlá změna produkce výroby ve VTE v severní Evropě má za následek přetok výkonu přes PS sousedních států do místa spotřeby. Dalším cílem disertační práce je simulace těchto vlivů očekávaných v budoucím provozu ES ČR v roce 2015, nalezení slabých článků PS 400 kV a navržení takových úprav sítě 400 kV, které by vedly k maximální redukci těchto negativních vlivů.

2 INTEGRACE A PŘIPOJOVÁNÍ OZE DO DS ČR

2.1 SÍŤOVÉ KODEXY PS A DS (PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ SOUSTAV)

Pro všechny provozovatele zdrojů elektrické energie a další uživatele ES jsou zavedeny předpisy, které shrnují minimální technické, organizační a provozní požadavky, které musí jejich zařízení splňovat, tzv. Pravidla Provozování Distribuční Soustavy (PPDS) nebo Pravidla Provozování Přenosové Soustavy (PPPS). Tento doplňující soubor pravidel je připravován provozovateli sítí (PDS a PPS) a vychází z platné legislativy. Následně jsou pravidla provozování soustav verifikovány ERÚ, jakožto nezávislou státní institucí. Dodržování těchto předepsaných pravidel snižuje pravděpodobnost vzniku, zavlečení a šíření poruch v soustavě. Pomocí pravidel provozování soustav jsou všechny zdroje do určité míry standardizovány co se týká jejich připojování do sítí a způsobu provozu. Ve výjimečných krizových situacích tak lze od všech zdrojů očekávat předepsaný způsob provozu, napomáhajíc operátorům DS a PS zvládnout nestandardní situace.

Současná PPDS jsou, stejně jako tomu bylo doposud v sousedních zemích, koncipována pro ES s převahou klasických konvenčních zdrojů v majoritním zastoupením. Postupně jsou doplňovány o podmínky okolností připojování a provozu velkého počtu malých kolísavých zdrojů v distribuční hladině 110 kV.

Již v současné době je téměř enormní poptávka na připojování OZE do DS na hladině NN, VN a také na 110 kV. Jedná se především o VTE a FVE, které jsou díky svému primárnímu zdroji energie velmi nestálé co se dodávky výkonu týče. Operátoři PS využívají k udržení bilanční rovnováhy především rychlých točivých rezerv a dalších podpůrných služeb moderních elektráren. V současnosti se vzrůstajícím počtem malých výrobních jednotek OZE, se budou muset naučit řídit soustavu i pomocí velkého počtu malých rozptýlených zdrojů. Jelikož jsou VTE zdrojem značně se odlišujícím od konvenčních elektráren, je třeba pro tento druh zdroje vytvořit v rámci PPDS zvláštní systém pravidel. Tak se již ostatně děje v sousedních státech s velkým zastoupením VTE (DE, DK, atd.). Tyto nové směrnice by měly zajistit operátorům DS možnost nadále udržovat systémovou rovnováhu mezi aktuální dodávkou elektrické energie a její spotřebou a to i v sítích s velkým zastoupením VTE.

2.2 NÁVRH OPATŘENÍ PRO PŘIPOJOVÁNÍ OZE DO PRAVIDEL PPDS

2.2.1 Pravidlo o spínání výroby OZE kolísavého charakteru ve slabém uzlu sítě

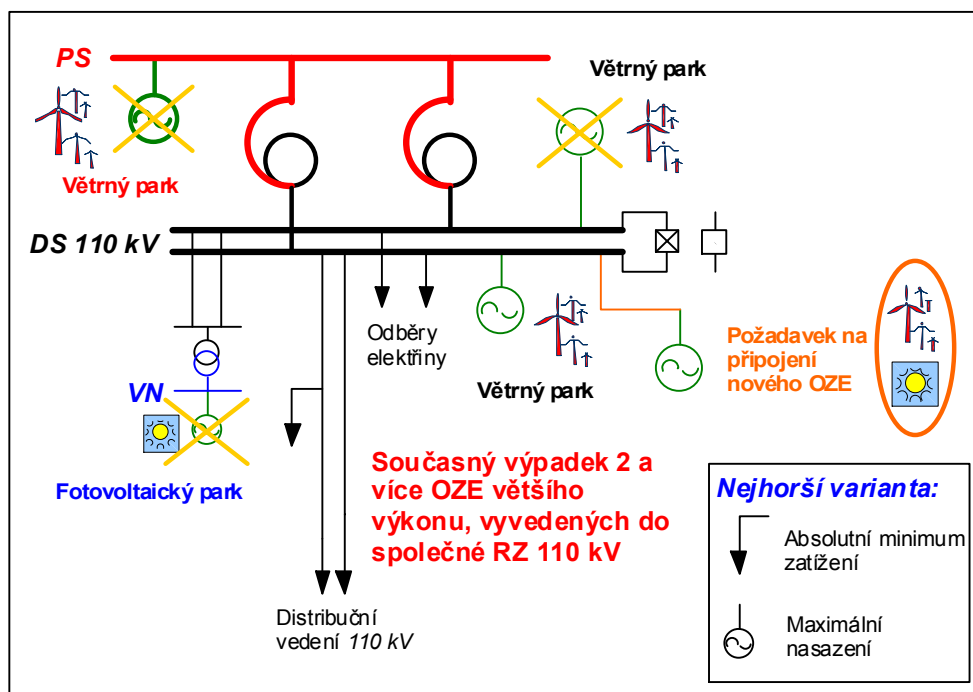
Zcela nestandardní situace, kterou současná PPDS nezahrnují, může nastat v případě, kdy do uzlu 110 kV jsou již vyvedeny některé výroby OZE kolísavého charakteru nezanedbatelného výkonu (např. VP) a na PDS jsou podány další požadavky na připojení dalších nových OZE do daného uzlu. U VTE při přechodu povětrnostních front dochází obvykle v první fázi k prudkému nárůstu výkonu.

Následně může nastat situace, kdy rychlost větru překročí maximální rychlost, při které může VTE/VP pracovat (maximální konstrukční rychlost VTE). Pak dochází k bezpečnostnímu odpojení výroby od sítě. Ve velice krátkém čase tak dochází k odpojení téměř celého nominálního výkonu VP (jednotlivé větrné turbíny jsou stejné konstrukce). Kromě toho VTE se v ČR obvykle staví na odlehlých místech s příznivými povětrnostními podmínkami, jako jsou vrchoviny, podhůří a odlehlé horské oblasti. V takovýchto lokalitách je zpravidla velmi nízká spotřeba a slabé přenosové linky nepřipravené k výraznějšímu přenosu elektrické energie. Takové slabé části elektrických sítí mají velmi citlivou reakci na změnu napětí v přípojných uzlech VTE/VP.

V případě, že do jednoho uzlu je takto vyvedeno několik VP nastává otázka, jak posuzovat změnu napětí v daném uzlu vlivem připojení/odpojení dalšího nového OZE (VTE/VP). Pokud se jedná o další výrobu s těžko predikovatelnou dodávkou elektřiny, nejhorší teoretický provozní stav nastává v okamžiku letního minima zatížení sítě a výpadku již připojených výroben OZE z maximálního provozního nasazení, což je typický příklad projevu náhlé změny počasí v DS. Prudká kolísavá injektáž výkonu v uzlech 110 kV nemůže za takových podmínek, splnit současná kritéria PPDS. Situaci názorně vykresluje následující obrázek 2.1.

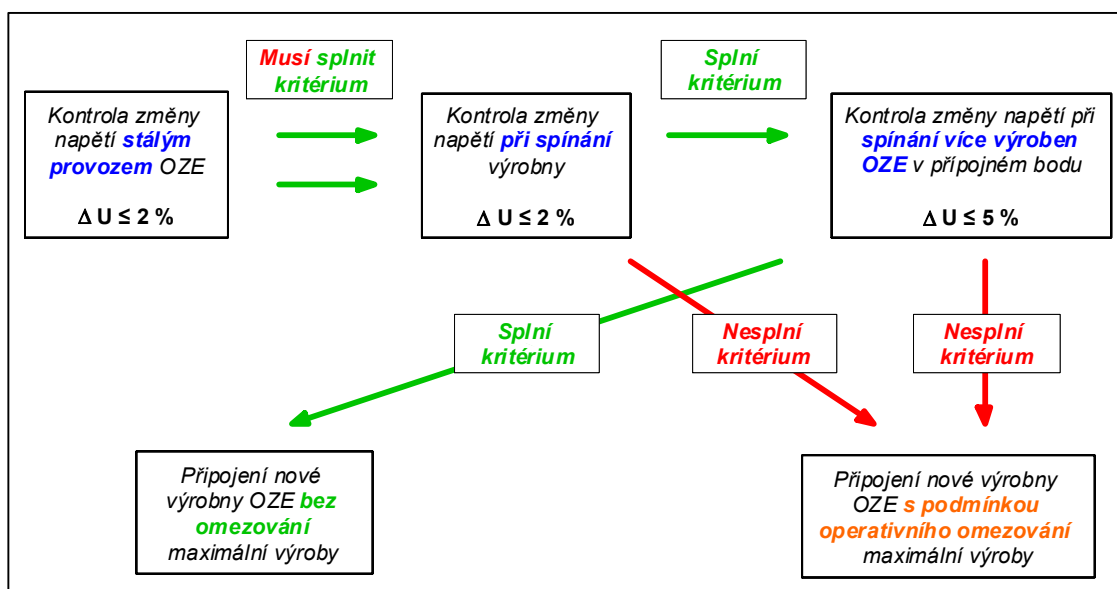
Jako prevence omezení kolísání napětí v přípojném uzlu vlivem připojování/odpojování VTE se nabízí zavedení zcela nového pravidla do PPDS, stanovujícího dovolenou změnu napětí při připojení/odpojení více výroben OZE (VP) v daném uzlu najednou. Při prověřování změny napětí v přípojném uzlu při spínání nové výroby OZE kolísavého charakteru, se provede kromě sepnutí této výroby i kontrola při sepnutí výroby OZE (kolísavého charakteru) s největším instalovaným výkonem připojeným do daného uzlu. Velikost napěťového limitu při sepnutí více výroben OZE by se měl odvíjet od pravidel pro krizové a poruchové stavy sítí, jelikož se jedná o nestandardní provozní situaci, která sice nastává zřídka, nicméně způsobuje velké problémy a hrozbu pro synchronní provoz zdrojů v ES. Limitní hodnota přípustné změny napětí v přípojném místě sítě 110 kV vlivem sepnutí/odpojení více výroben OZE by tudíž neměla přesáhnout hodnotu $\Delta U_{\max} \leq 5 \%$. Konkrétní výše procentuální změny napěťových poměrů v přípojném uzlu sítě 110 kV je v konečné fázi záležitostí PDS a lokálních síťových podmínek (blízký napájecí uzel PS/110 kV, blízký zdroj s možností regulace napětí, atd.). Nicméně je třeba podotknout, že by tento limit měl být používán jako krajní řešení k vyvarování se nouzových stavů.

Pokud změna napětí nevyhoví dovolenému limitu ($\Delta U_{vn} \leq 5 \%$), je nutno omezit variabilní produkci v daném uzlu a předejít tak porušení distribučních podmínek. Celý proces kontroly změny napětí při připojování nového OZE s kolísavou produkcí je schématicky znázorněn na obrázku 2.2.



Obr. 2.1. Schématické znázornění současného výpadku několika výroben OZE v napájecím uzlu v souvislosti s požadavkem na připojení dalšího nového OZE kolísavého charakteru

Obdobný proces pravidel je možné aplikovat na další systémové prvky – vedení 110 kV a transformační vazby na vyšší napěťovou hladinu. Tímto postupem se docílí systémového začlenění jinak problematických typů OZE do ES, aniž by bylo třeba posilování sítí a zvyšování množství systémových a podpůrných služeb nad rámec původně plánovaného rozvoje soustavy.



Obr. 2.2. Metodika posuzování připojování nových výroben OZE s kolísavým charakterem dodávky z hlediska změny napětí v přípojném místě

2.2.2 Pravidlo operativního snížení maximálního dodávaného výkonu z výroby OZE

Operativní snížení dodávky elektřiny z výroben OZE dle požadavku dispečerského řízení PDS (i PPS) se musí stát hlavním provozním pravidlem pro všechny OZE (zejména s těžko predikovatelnou výrobou) připojené do napěťové hladiny 110 kV a PS, aby mohli operátoři i nadále efektivně řídit ES ČR. Velké množství malých dispersních zdrojů rozptýlených v sítích na nižších napěťových hladinách (NN, VN) je téměř nemožné systémově říditelné, avšak na vyšších napěťových hladinách jsou OZE sjednocovány a připojovány ve velké výrobní parky, disponující desítkami MW instalovaného výkonu. Cílem pravidla operativního omezení dodávaného maximálního výkonu nesmí být pouhé „utlumení“ OZE, ale začlenění všech typů OZE do zdrojové základny ES ČR jako plnohodnotných zdrojů. Pouze tak splní OZE svůj smysl v celosystémovém kontextu ES.

Na omezování výroby OZE lze nahlížet z několika směrů. První může být v rámci porušení v předchozí kapitole popsáno pravidlo o dovolené změně napětí v přípojném uzlu (toto pravidlo by mělo být směrodatným k omezování produkce v extrémních stavech). Další situace vyplývá z provozního charakteru převládajících připojovaných OZE, tj. VTE (v poslední době investoři hromadně přecházejí k FVE). Z praktických zkušeností PDS s VP Kryštofovy Hamry a dalších VTE v ČR vyplývá, že jejich běžné (nejčastější) pracovní nasazení se pohybuje do 30 % P_{inst} . Výroba VTE v podmínkách ČR nad 70 % P_{inst} nastává pouze v cca 5 % celkové doby provozu VTE [3]. Je však třeba zdůraznit, že tyto hodnoty se různí s polohou a umístěním VTE. Krizové situace v ES vlivem OZE nastávají především při prudkém zvýšení/odstavení výkonu výroben OZE, což je typický příklad přechodu výrazné povětrnostní fronty přes oblast s velkou penetrací VTE.

Operativní omezení maximální dodávky se bude uplatňovat v případech, kdy produkce VTE/VP roste v dané oblasti takovým způsobem, že by mohlo dojít k přetížení či ohrožení sítí ES ČR. Dispečer bude dálkově povelovat výrobní OZE v dané lokalitě a krátkodobě operativně sníží maximální výkon, který může výrobní OZE dodávat do DS sítě 110 kV. Z toho plyne další požadavek na všechny nově připojované OZE do sítí 110 kV a vyšší napěťové úrovně na plnou schopnost regulace v rozmezí 20 % - 100 % jmenovitého zdánlivého výkonu. Předjde se tak řídkým, ale o to více nebezpečným, výkyvům v produkci elektřiny z OZE. Omezení bude obecně platit pro výrobní OZE, které využívají výhod režimu pevných výkupních cen. Tyto výrobní jsou zcela nezávislé na aktuálních požadavcích spotřebitelského sektoru a vyrábějí elektřinu „kdy to přírodní podmínky umožňují“ (fouká, svítí). Nenesou žádnou odpovědnost za dodávku či nedodávku elektřiny, která v konečném důsledku padá na PPS (ČEPS, a. s.) a promítá se do ceny za systémové služby (a ceny konečného zákazníka), které musí zohlednit velký objem OZE. Na druhou stranu pro provozovatele OZE je tento stav ekonomický velmi výhodný.

Operativní omezení dodávaného výkonu by mělo být přesně stanoveno operátorem DS pro každou provozní situaci, nicméně investor by měl znát informativní hodnotu maximální výroby OZE, při jejíž překročení, může provozovatel OZE očekávat pokyn dispečerů ke snížení dodávaného výkonu z výroby. Tato hodnota by měla vyplývat z četnosti rozložení výroby dané provozovny OZE. Horní pásmo dodávky výroby OZE (70 % - 100 % P_{inst}) s četností pod 3% budou tímto pravidlem „oříznuty“, neboť tyto stavy jsou velmi řídké a pro soustavu velmi nebezpečné.

Na druhou stranu výroby OZE připojené do systému automatické sekundární regulace napětí (ASRU), či ty, které jsou jinak zapojeny do procesu řízení a regulace soustavy, mohou být upřednostňovány a zvýhodňovány výší maximálního dodávaného výkonu.

Vzhledem k akutnímu nedostatku volné kapacity pro připojování nových zdrojů, nedostatku času posilovat a budovat nová liniová vedení a omezeným finančním prostředkům, je plnění závazků ČR vůči EU (pokryt do roku 2010 z OZE minimálně 8% hrubé spotřeby elektřiny) velmi nejisté. Pokud dojde u výroben OZE k řízení maximálního dodávaného výkonu v daném uzlu, bude možné připojení většího počtu OZE, ačkoli jejich celkový instalovaný výkon třeba překročí dimenzování elektrické sítě. Zvýší se tím celkové množství vyprodukované elektřiny a větší počet různých zdrojů v soustavě zvýší i spolehlivost a bezpečnost soustavy. Zavedení tohoto pravidla by rovněž snížilo celkový objem potřeb regulačního výkonu a systémových služeb v ES.

3 KAPACITA SÍTÍ ES ČR PRO PŘIPOJENÍ NOVÝCH OZE

3.1 STANOVENÍ VYUŽITELNÉHO VÝKONU OZE V ČR

Cílem předkládané práce je také praktické uplatnění jejích výsledků. Z tohoto důvodu vstupuje do výpočtu volné kapacity sítí pro připojení nových zdrojů co nejvíce podkladů odrážející aktuální požadavky a možnosti investorského sektoru. Jedním z hlavních kritérií pro úspěšnou realizaci a především návratnost projektu OZE je v dané lokalitě dostatečný potenciál primárního zdroje energie pro daný typ OZE.

Využívání FVE v podmínkách ČR

FVE mají ve všech regionech ČR téměř stejné sluneční podmínky, avšak tyto sluneční podmínky nemají nejdůležitější vliv na návratnost projektu. Návratnost projektu je v tomto případě dána zejména výší pevných výkupních cen elektřiny a investičními náklady (které v posledních letech klesají cca 7-15% za rok [7], pokles výkupní ceny nesmí ročně překročit 5%). Pro letošní rok (2009) je výkupní cena elektřiny pro FVE až 12 890 Kč/MWh, tj. 6,7 krát vyšší cena než cena elektřiny pro konečného zákazníka (cena silové elektřiny pro maloodběr je 1 914 Kč/MWh) [6]. Praktické situace potvrzují, že pokud nebude FVE postavená vyloženě v zastíněné oblasti (stromy, vysoké okolní budovy, atd.) a bude mít alespoň průměrnou výrobu, tak je výstavba pro ceny stanovené pro rok

2009 téměř vždy velmi výhodná. Návratnost takových projektů je 8 - 12 let [7]. Další výhodou FVE je mnohem snadnější průběh povolenacích procesů, který není zdaleka tak obtížný jako u jiných druhů OZE (hlavně VTE).

Využívání VTE v podmínkách ČR

V případě VTE je situace zcela odlišná. Pevné výkupní ceny pro větrnou energetiku byly pro letošní rok (2009) ERÚ stanoveny na 2 340 Kč/MWh, což již nezajišťuje tak výrazný zisk [6]. Proto se při výstavbě VTE zvažují veškeré faktory, které by mohly ovlivňovat velikost její produkce. V plánovaném místě se obvykle provádí dlouhodobé měření rychlostí větrů (minimálně půl roku, obvykle jeden rok [8]), aby se získalo dostatek dat o povětrnostních podmínkách v dané lokalitě.

Z výše uvedených důvodů jsem v této kapitole navrhl metodiku stanovení využitelného větrného potenciálu na území ČR, pro přesnější určení věrohodnosti investorů a jejich možnosti připojení VTE do sítí ES v jednotlivých oblastech ČR. Využitelným větrným potenciálem jsou v rámci disertační práce míněny oblasti a regiony s dostatečnou větrnou aktivitou (tzn. kde se průměrná rychlost větru pohybuje nad 6 m.s^{-1}), kde nejsou žádné omezující faktory znemožňující výstavbu VTE či VP. Je to tedy teoreticky dosažitelné množství větrných elektráren vyjádřené hodnotou celkového možného instalovaného výkonu P_{inst} , které je možno na území ČR teoreticky postavit.

Při určování využitelného větrného potenciálu se vychází z oblastí, kde je dostatečná rychlost větru a respektují se dokladovatelná omezení plochy pro výstavbu VTE.

3.2 METODIKA STANOVENÍ VĚTRNÉHO POTENCIÁLU V ČR

Metodika stanovení využitelného výkonu VTE je založena na dvou hlavních krocích:

- stanovení plochy území ČR využitelné pro výstavbu VTE,
- stanovení jednotkové plochy reprezentující 1 MW možného instalovaného výkonu VTE a její aplikace na celkovou využitelnou plochu pro výstavbu VTE.

Výsledná hodnota využitelného potenciálu VTE je dána podílem obou stanovených hodnot.

Stanovení plochy území ČR využitelné pro výstavbu VTE

Metodika stanovení plochy vhodné pro výstavbu VTE je založena na postupném prokládání mapových podkladů a vyčleňování oblastí, kde nelze stavět VTE. Jednotlivé mapy zachycují hlavní omezující faktory, které zásadním způsobem ovlivňují možnost výstavby VTE v jednotlivých lokalitách ČR.

Základním podkladem je mapa větrného potenciálu, která udává rozložení polí rychlostí větru v m.s^{-1} ve výšce 100 m nad zemským povrchem [9]. Uvažují se jen lokality s průměrnou roční rychlostí větru nad 6 m/s. Z uvedené plochy jsou odstraněny lokality, které jsou z hlediska výstavby VTE buď zcela vyloučeny, nebo

se jeví jako velmi problematické. Postupně dochází k průniku veřejně dostupných map ve vysokém rozlišení.

Stanovení jednotkové plochy VTE

Druhým krokem při určování celkového využitelného větrného potenciálu VTE je určení jednotkové plochy VTE/VP. Jedná se o krátkou analýzu, která určuje kolik MW jde průměrně postavit na 1 km². Při této analýze se vychází z celkové plochy a instalovaného výkonu stávajících větrných parků (především zahraničních). Vzhledem ke specifickým přírodním a sociologickým podmínkám v ČR (vysoká hustota zalidnění, členité území, zalesnění) se výsledné hodnota jednotkového výkonu násobí koeficienty omezení.

Celkový postup při určování velikosti vhodné plochy pro výstavbu VTE je znázorněn na následujícím obrázku 3.1.

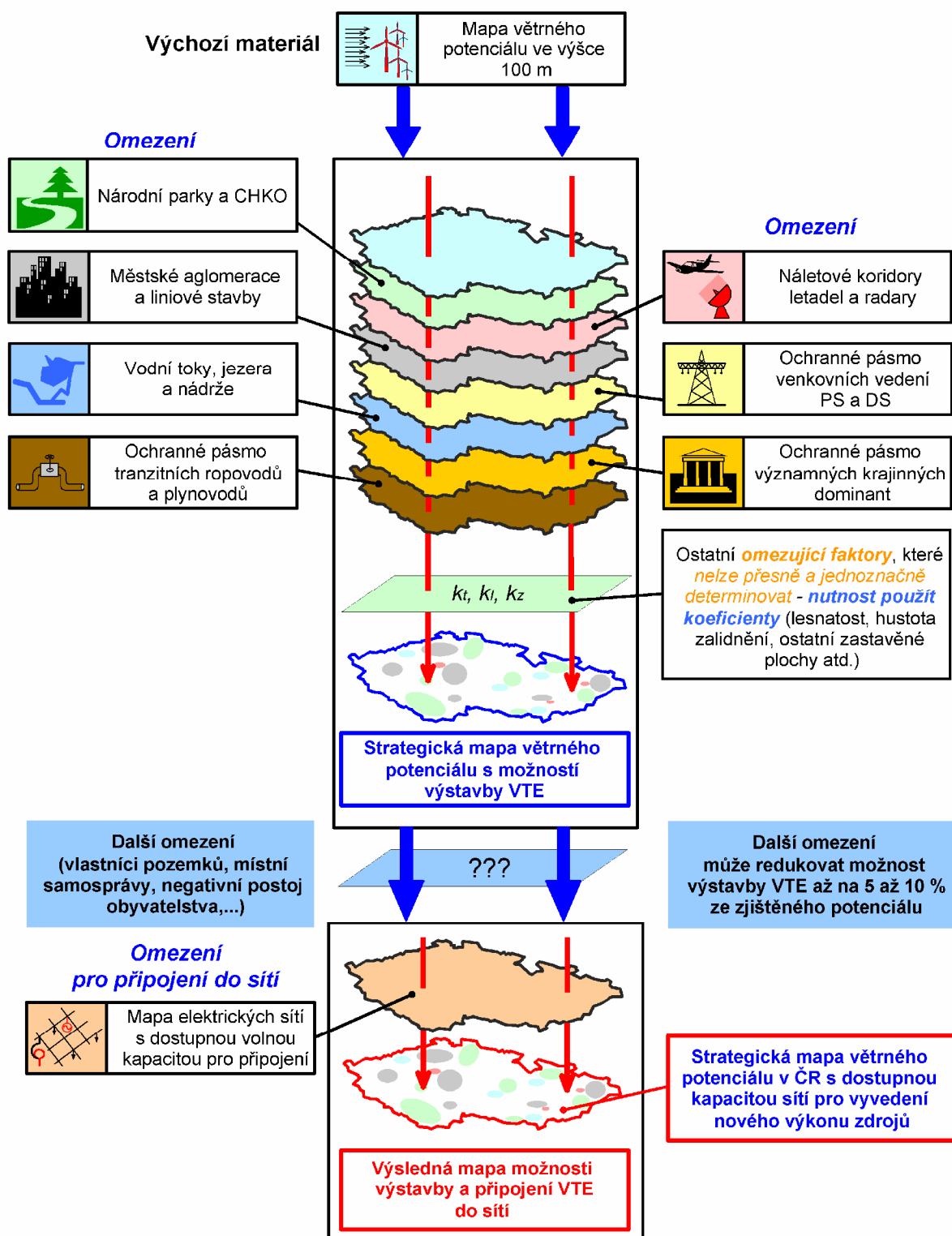
3.3 KAPACITA SÍTÍ ES ČR PRO PŘIPOJENÍ NOVÝCH ZDROJŮ

Následuje analýza, která si klade za cíl stanovit velikost výkonu, který lze v současnosti připojit do PS a DS 110 kV, aniž by bylo nutno výrazných investic do elektrických sítí nad rámec připojovacích procesů. Z aktuálního trendu podávaných žádostí o připojení nových OZE do ES vyplývá, že roste zájem investorů o připojování zdrojů především do napěťové hladiny 110 kV. Kromě distribučních sítí 110 kV je zkoumána PS s cílem indikace slabých míst v soustavě a komplexní zhodnocení problematiky připojování nových zdrojů do DS 110 kV a PS 400 kV a 220 kV.

Metodika stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů, je založena na kontrole zatížení jednotlivých prvků sítí PS a DS 110 kV v ES ČR v nejhorší možné situaci. Jedná se o stanovení dostupné kapacity sítí z hlediska celkového připojitelného výkonu nových zdrojů do ES ČR.

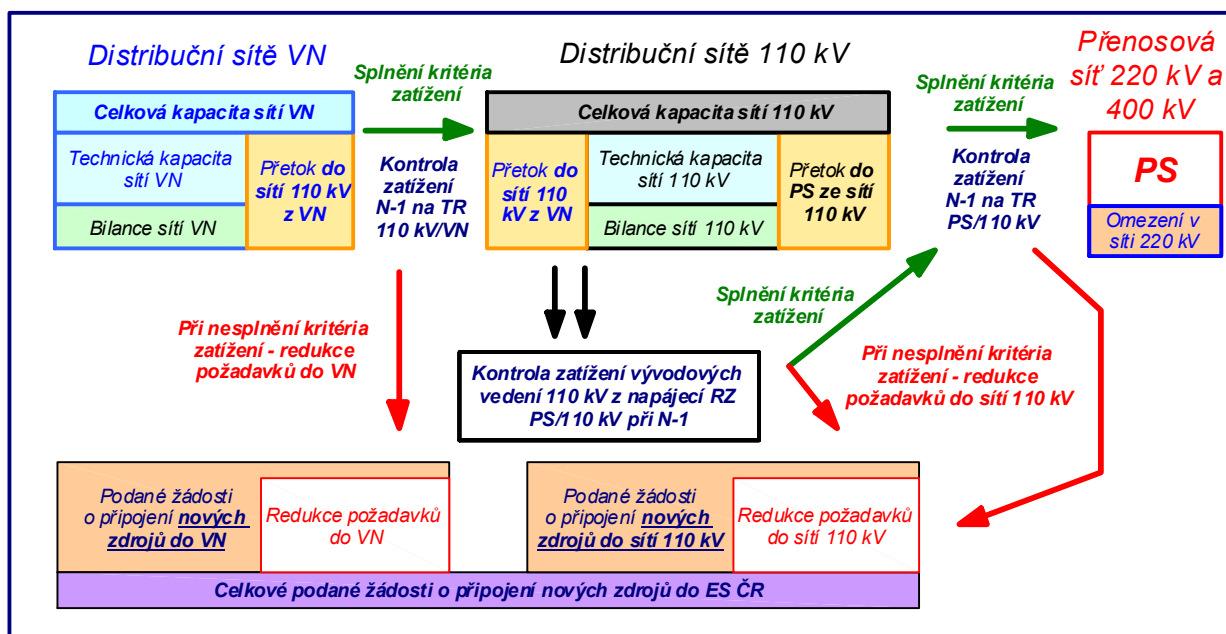
Analýza je založena na kontrole přenosové schopnosti soustavy, napájecích a distribučních transformátorů PS/110 kV a 110 kV/VN a sítí 110 kV při neúplném zapojení soustavy. Je tak simulován stav údržby soustavy, případně poruchy a odstávky soustavy v letních měsících. Prvky jsou kontrolovány s uvažováním podaných žádostí o připojení od nižších napěťových hladin, neboť vyvedení zdrojů do hladin NN a VN je pro investora ekonomicky výhodnější než do DS 110 kV a PS. Do DS 110 kV a PS se připojují jen projekty s velkým počtem výrobních jednotek (větrné parky, velké fotovoltaické elektrárny), neboť zde jsou náklady na připojení již výrazně vyšší. Ve výpočtech je na jednotlivé síťové prvky aplikována kontrola podle kritéria spolehlivosti N-1, tzn. výpadky distribučních transformátorů 110 kV/VN, vývodových vedení 110 kV z napájecích rozvodů PS/110 kV a výpadky jednotlivých transformátorů PS/110 kV.

Schématický průnik omezujících faktorů výstavby větrných elektráren



Obr. 3.1. Schématické znázornění metodiky stanovení využitelného výkonu VTE na území

Připojitelný výkon zdrojů do soustavy v dané lokalitě je pak dán přenosovou schopností soustavy v neúplném zapojení, tedy při výpadku jednoho z hlavních prvků sítě. Kontrola připojitelného výkonu zdrojů je prováděna pro bilančně nejméně příznivý stav v soustavě z hlediska připojení výkonu nových zdrojů, tedy v době letního minima zatížení s plným nasazením všech stávajících zdrojů tak, aby bylo možné určit volnou kapacitu zbývajících pro připojení nových zdrojů a z hlediska současného stavu sítě k roku 2009 bez uvažování jejich posilování a připravovaného rozvoje. Metodický postup výpočtu je přehledně znázorněn na následujícím obrázku 3.11.



Obr. 3.2. Metodický postup výpočtu volné kapacity sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů

Analýza byla prováděna pro tři hlavní omezující faktory, které jsou rozhodující pro připojování zdrojů do sítí 110 kV a PS:

- Transformační výkon v distribučních rozvodnách (Rz) 110 kV/VN.
- Přenosová schopnost dvojitého vývodového vedení (smyček a radiálních vedení) 110 kV z napájecích uzlů PS/110 kV.
- Transformační výkon v napájecím uzlu PS/110 kV.

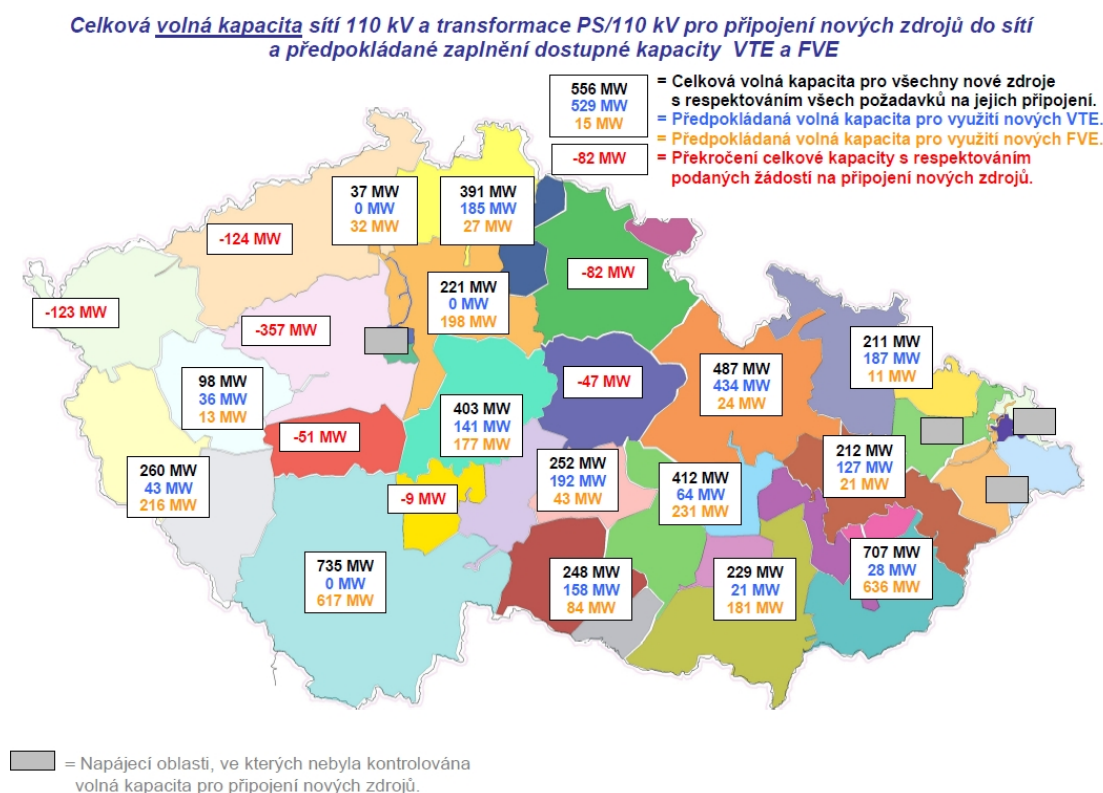
U všech tří kontrolovaných faktorů je volná kapacita omezena přenosovou schopností nejslabšího prvku sítě při stavu N-1.

Následně byl stanoven výkon jednotlivých typů zdrojů, jehož připojení do ES ČR je možné očekávat vzhledem k aktuálnímu trendu rozvoje zdrojové základny. Ten je dán především souhrnnou velikostí instalovaného výkonu v podaných žádostech o připojení v jednotlivých regionech. Podané žádosti o připojení je možné rozdělit podle typu zdroje mezi VTE - FVE - ostatní zdroje a podle poměrů instalovaného výkonu požadovaných v žádostech. Z tohoto rozdělení se pak určí možnost připojení jednotlivých typů nových zdrojů do dané smyčky. V případě překročení volných

kapacit pro připojení nových zdrojů se vyčíslí omezení připojitelnosti nových zdrojů.

Podané žádosti na připojení nových zdrojů byly rozčleněny podle typu zdroje (VTE, FVE, ostatní zdroje) a velikosti požadovaného souhrnného instalovaného výkonu v žádostech v dané napájecí oblasti PS/110 kV. Na základě těchto vstupních dat, odrážející aktuální záměry a zájem investorů o je spočítán poměr volné kapacity, jaký lze očekávat, že bude vyveden do sítí ES ČR v jednotlivých napájecích regionech. Výsledné hodnoty celkové volné kapacity, předpokládaného výkonu jednotlivých typů nových zdrojů a jednotlivých omezujících prvků ES ČR jsou přehledně zaznamenány v tabulce 3.1. Tyto hodnoty je nutné brát velice rezervovaně, neboť udávají pouze orientační údaje, jelikož se zájmy investorů mění velice dynamicky. Nicméně pro úspěšné podnikání v oblasti energetiky je nutná co nejvyšší efektivita výrobních jednotek, tudíž podané žádosti o připojení jednotlivých typů zdrojů částečně odráží regionální přírodní podmínky v daném kraji. Je tedy velice nepravděpodobný výrazný přechod investorů v oblastech s dobrými větrnými podmínkami od větrné energetiky k fotovoltaice apod. (viz. např. UO 110 kV Krasíkov - 89% žádostí na připojení VTE). V současnosti se spíše projevuje rostoucí zájem nových investorů a „vyčerpání“ nejlepších lokalit pro využití daných typů OZE.

Následující obrázek 3.3 přehledně zachycuje výsledky analýzy a aktuální stav zájmu investorů v jednotlivých regionech.



Jsou zde znázorněné jednotlivé napájecí oblasti s dostupnou volnou kapacitou pro připojení nových zdrojů do ES ČR a její očekávané zaplnění VTE a FVE. Dále jsou zde vyznačeny oblasti, kde dojde při uvažování podaných žádostí k překročení volné kapacity pro další připojování dalších zdrojů. V těchto oblastech je třeba výrazných investic do posilování sítí a transformační vazby, aby bylo možno vyhovět všem požadavkům investorů.

Oblast 110 kV E.ON Distribuce

Napájecí oblast PS/110 kV	Síťové omezení	Volná kapacita pro připojení nových zdrojů [MW]	Předpokládaná volná kapacita pro připojení VTE [MW]	Předpokládaná volná kapacita pro připojení FVE [MW]
TR Sokolnice	Vedení 110 kV	229 MW	21 MW	181 MW
TR Čebín		412 MW	64 MW	231 MW
TR Otrokovice	Vedení 110 kV	707 MW	28 MW	636 MW
TR Slavětice		248 MW	158 MW	84 MW
TR Tábor	Vedení 110 kV i transformace PS/110 kV	-9 MW	0 MW	0 MW
TR Dasný, Kočín				617 MW
TR Mírovka (E.ON Dist.)*		252 MW	166 MW	83 MW
Σ E.ON DISTRIBUCE		1848 MW	437 MW	1832 MW

Oblast 110 kV ČEZ Distribuce

Napájecí oblast PS/110 kV	Síťové omezení	Volná kapacita pro připojení nových zdrojů [MW]	Předpokládaná volná kapacita pro připojení VTE [MW]	Předpokládaná volná kapacita pro připojení FVE [MW]
TR Homí Životice		211 MW	187 MW	11 MW
TR Lískovec				
TR Prosenice	Transformace PS/110 kV	212 MW	127 MW	21 MW
TR Albrechtice				
TR Nošovice				
TR Opočín	Vedení 110 kV i transformace PS/110 kV	-47 MW	0 MW	0 MW
TR Krasíkov	Vedení 110 kV	487 MW	433 MW	24 MW
TR Mírovka*		252 MW	192 MW	43 MW
TR Neznášov	Transformace PS/110 kV	-82 MW	0 MW	0 MW
TR Bezděčín		391 MW	185 MW	
TR Výškov, Chotějovice, Babylon - T403	Vedení 110 kV i transformace PS/110 kV	-124 MW	0 MW	0 MW
TR Babylon - T401	Transformace PS/110 kV	37 MW	0 MW	32 MW
TR Přestice	Transformace PS/110 kV	260 MW	43 MW	216 MW
TR Vítkov	Vedení 110 kV i transformace PS/110 kV	-123 MW	0 MW	0 MW
TR Chrást		98 MW	36 MW	13 MW
TR Čechy střed	Vedení 110 kV	221 MW	0 MW	198 MW
TR Milín	Transformace PS/110 kV	-51 MW	0 MW	0 MW
TR Řeporyje	Vedení 110 kV i transformace PS/110 kV	-357 MW	0 MW	0 MW
TR Týnec		403 MW	142 MW	177 MW
Σ ČEZ DISTRIBUCE		2572 MW	1343 MW	735 MW

Σ E.ON DISTRIBUCE+ČEZ DISTRIBUCE	4420 MW	1780 MW	2567 MW
---	----------------	----------------	----------------

- napájecí uzly PS/110 kV, ve kterých nebyla prováděna analýza volné kapacity pro připojení nových zdrojů

*jedná se o souhrnnou volnou kapacitu za napájecí oblast

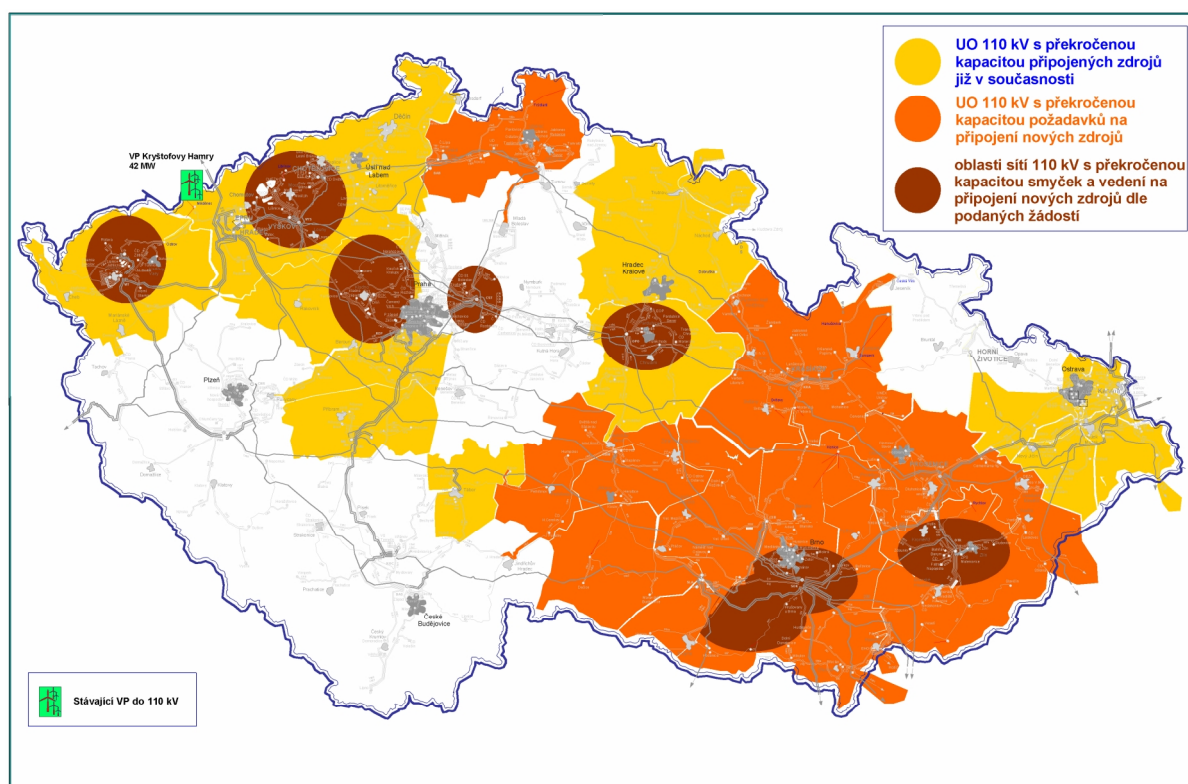
Tab. 3.1. Poměrné zastoupení požadavků na připojení různých typů OZE v napájecích oblastech členěné dle souhrnného výkonu

Hlavním omezujícím faktorem pro připojování nových zdrojů je přenosová schopnost vedení 110 kV a transformace PS/110 kV. Již v současnosti je nedostatek volné kapacity pro připojování nových zdrojů v 9ti napájecích oblastech - Tábor, Opočíněk, Neznášov, Výškov-Chotějovice-Babylon, Vítkov, Milín a Řeporyje.

V těchto oblastech nelze za stávajícího stavu sítí 110 kV a transformačního výkonu PS/110 kV připojovat nové zdroje. Pro připojení nových zdrojů v těchto oblastech by bylo nutné výrazně investovat do infrastruktury sítí a transformačního výkonu.

Kromě tohoto překročení kapacity sítí v těchto lokalitách, bylo nutno v dalších 7mi oblastech provést redukci volné kapacity z důvodu překročení dovoleného zatížení některého ze sítových prvků. Jedná se o oblasti Sokolnice, Otrokovice, Prosenice, Krasíkov, Babylon (T401), Přeštice a Čechy střed. Ve čtyřech případech byl omezující prvek vedení 110 kV, ve třech transformace PS/110 kV. Největší překročení požadavků nad rámec přenosové schopnosti vedení 110 kV bylo zjištěno v oblasti napájecích uzlů Řeporyje, Výškov a Sokolnice. Kromě omezení na vedeních 110 kV došlo v 10ti oblastech k překročení volné kapacity transformace PS/110 kV, přičemž největší redukce z důvodu překročení kapacity transformace PS/110 kV jsou zapotřebí v propojených oblastech Výškov-Chotějovice-Babylon a v oblasti Neznášov.

K nutnosti omezení připojovaného výkonu nových zdrojů jak v důsledku překročení volné kapacity vedení 110 kV, tak i transformace PS/110 kV došlo v 5 oblastech napájecích uzlů PS/110 kV: Tábor, Opočíněk, Vítkov, Výškov-Chotějovice-Babylon a Řeporyje. Všechny výsledky jsou ilustračně znázorněné v obrázku 3.4.



Obr. 3.4. Překročení volné kapacity sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů

4 Vliv OZE na nadnárodní provoz sítí z pohledu ČR

Následující kapitola pojednává o vlivu nasazení velkého počtu malých disperzních zdrojů v zahraničních soustavách na provoz ES ČR. Práce se zaměřuje na simulaci velkého nasazení VTE, především v sousedním Německu, a vlivu prudké výroby VTE v severní Evropě na PS ČR. Simulace zahrnují několik výpočetních modelů, ve kterých jsou aplikovány různé varianty síťových instalací s cílem nalézt optimální řešení pro ES ČR na omezení tzv. kruhových toků výkonu. Podrobnou síťovou analýzou jsou odhaleny slabá, tzv. úzká místa, přenosové sítě 400 kV a jsou navržena protiopatření. Jednotlivé varianty jsou opět nasimulovány a je vyhodnocen jejich přínos. Veškeré simulace síťových výpočtů probíhaly v simulačním programu pro analýzy elektrických sítí - GLF - dlouhodobě vyvíjeném v EGÚ Brno, a. s.

4.1 ANALÝZA VLIVU KRUHOVÝCH TOKŮ NA ES ČR

V následující části disertační práce je simulováno nasazení velkého výkonu VTE v severní Evropě a je sledován vliv kruhových toků na ES ČR, konkrétně na síť 400 kV. Vliv FVE a ostatních OZE se zatím v současnosti výrazně neprojevuje, neboť v evropské zdrojové základně OZE momentálně převládá instalovaný výkon VTE.

Základním výchozím stavem pro všechny výpočetní varianty sítí 400 kV je předpokládaný stav sítě 400 kV k roku 2015, včetně do té doby uvažovaných síťových úprav. K analýze vlivů VTE na ES ČR byl použit simulační program GLF, dlouhodobě vyvíjený a používaný v EGÚ Brno, a. s. Je to komplexní program pro analýzy v sítích VN, VVN a ZVN, vhodný je zejména pro výpočty ustálených chodů, analýzy napěťových poměrů, výpočty zkratů anebo provádění kontroly spolehlivosti provozu sítě podle kritéria (N-1).

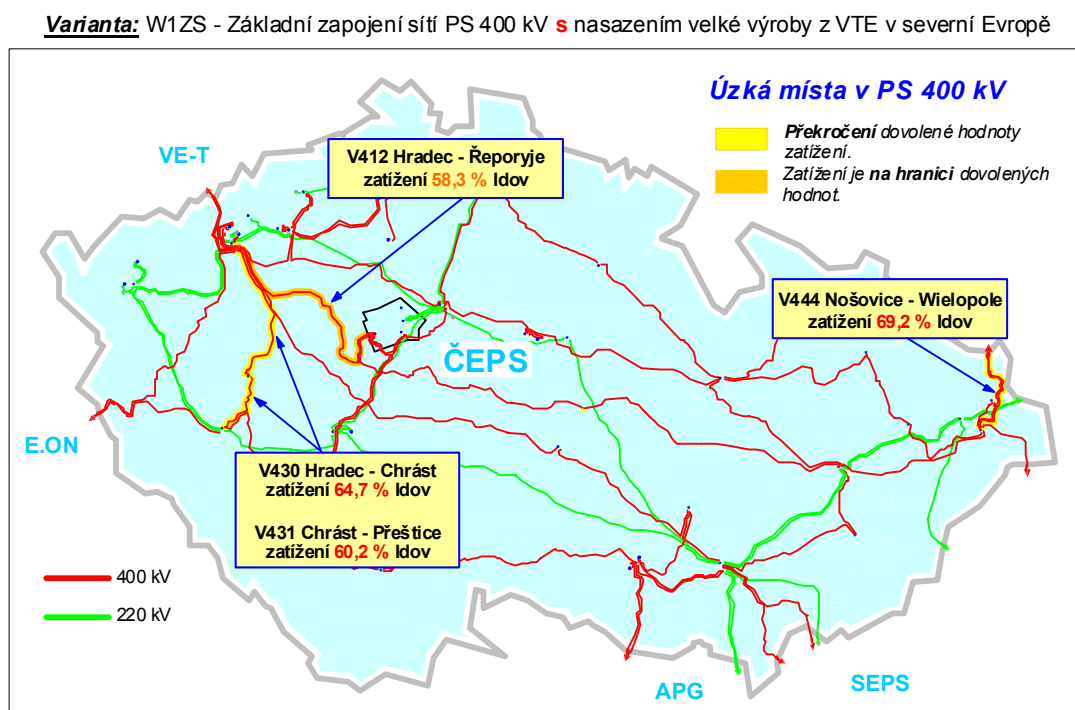
Jednotlivé výpočetní modely vycházejí z modelu propojených sítí evropských zemí na napěťové hladině 400 kV. První varianta výpočtu vychází ze základního zapojení sítí ES ČR v normálním provozním režimu bez žádných významných odstávek a rekonstrukcí vedení 400 kV. Je to zároveň referenční varianta vůči ostatním variantám a vůči ní je posuzován vliv a efekt ostatních navrhovaných variant.

Ve všech variantách a výpočtech byla prověřována pouze síť 400 kV, neboť to je páteří systém ES ČR. Přenosová síť 220 kV je v současnosti ve stavu „dožívání“ a s jejím systematickým rozvojem se nadále již nepočítá.

Následně jsem v základním výpočetním modelu zvýšil produkci VTE o 17 000 MW v oblasti severní Evropy. Pro představu se jedná o přibližně polovinu očekávaného instalovaného výkonu VTE v Německu k roku 2015. Takovýto nárůst výroby je charakteristický pro náhlé zvýšení produkce VTE při přechodu silné povětrnostní fronty, nebo při prudké změně počasí, které nastávají v přímořských

oblastech. Následují opětovné kontroly zatížení vedení PS 400 kV ČR a vyhodnocení změny toků a zatížení PS 400 kV ČR.

Ze základního stavu zapojení jsem určil tzv. úzká místa sítě 400 kV v důsledku přetoků výkonu ze zahraničí při nasazení velkého výkonu VTE na severu Evropy. Toky výkonu mají severojižní směr, který je omezen vnitřní sítí ES ČR ve středních Čechách vedeními V430 Hradec - Chrást, V431 Chrást - Přeštice, V412 Hradec – Řeporyje. Na severní Moravě je to pak mezistátní vedení V444 Nošovice – Wielopole (Polsko). Úzká místa sítě 400 kV jsou schématicky znázorněny na následujícím obrázku 4.1.



Obr. 4.1. Zvýrazněná úzká místa PS 400 kV ČR vyvozená z výsledků analýzy vlivu kruhových toků ze zahraničí vlivem vysoké produkce VTE v severní Evropě

Celkem jsem vytvořil 7 výpočetních modelů, které se liší novými instalovanými prvky v PS 400 kV ČR. Jednotlivé modely obsahují instalace následujících síťových prvků:

- Základní stav (W1ZS) – Základní zapojení sítě 400 kV k roku 2015, se všemi do té doby plánovanými posilujícími vazbami.
- Varianta A (W1vA) – Výstavba nového vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed.
- Varianta B (W1vB) – Výstavba nového vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed a náhrada vedení 220 kV Hradec – Výškov za jednoduché vedení 400 kV.
- Varianta C (W1vC) – Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV Hradec – Etzenricht (Německo) a náhrada vedení 220 kV Výškov – Čechy Střed za jednoduché vedení 400 kV.
- Varianta D (W1vD) – Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV Hradec – Etzenricht (Německo), náhrada vedení 220 kV Výškov – Čechy Střed za

jednoduché vedení 400 kV a instalace PST transformátoru na hraniční profil ČR - PL.

- Varianta E (W1vE1) – Instalace PST transformátorů na mezistátní profily ČR – DE a ČR – PL.
- Varianta F (W1vF1) – Instalace PST transformátorů na mezistátní vedení 400 kV Hradec – Röhrsdorf (Německo) a hraniční profil ČR – PL.

Jednotlivé varianty jsem podrobně analyzoval z hlediska vlivů kruhových toků výkonu ze zahraničí a vyhodnotil dopady navrhovaných síťových opatření. V základním stavu, variantách A a B docházelo k nedovolenému zatížení několika klíčových vedení 400 kV, rovněž při analýze bezpečnosti sítí 400 kV podle kritéria (N-1) došlo v těchto případech k několika zatížením vedení 400 kV mimo dovolené hodnoty, viz. následující tabulka 4.1.

Vyhodnocované kritérium		W1ZS	W1vA	W1vB	W1vC	W1vD	W1vE1	W1vF1
Vedení 400 kV	Celkový počet vypnutých prvků při kontrole (N-1)	111	112	112	112	112	106	106
	Počet vedení 400 kV u kterých je překročeno dovolené zatížení při kontrole (N-1)	7	3	4	3	0	0	0
	Maximální zatížení vedení 400 kV při kontrole (N-1)	96%	93%	93%	93%	-	-	-
Transformace PS/110 kV	Počet transformátorů PS/110 kV, u kterých je překročeno dovolené zatížení (nad 80% instalovaného tr. výkonu S_N)	1	1	1	1	1	1	1
	Nejvíce zatížený transformátor PS/110 kV	T401 Babylon	T401 Babylon	T401 Babylon	T401 Babylon	T401 Babylon	T401 Babylon	T401 Babylon
	Maximální zatížení transformátoru PS/110 kV (% S_N) při výpadku (N-1) v síti 400 kV	109%	107%	105%	102%	104%	114%	112%

Základní popis jednotlivých variant:

- W1ZS** - Základní zapojení ES ČR k roku 2015 s vysokou výrobou z VTE v severním Německu (17 000 MW).
W1vA - Nové vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed.
W1vB - Nové vedení 400 kV HRA – CST + náhrada vedení V225 (220 kV) za jednoduché vedení 400 kV.
W1vC - Nové mezistátní vedení 400 kV HRA – ETZ + náhrada vedení V201 (220 kV) VYS – CST za vedení 400 kV.
W1vD - Nové mezistátní vedení 400 kV HRA-ETZ + náhrada vedení V201 (220 kV) VYS-CST za vedení 400 kV + PST transformátor (polovina regulačního výkonu) na profilu ČR-PL.
W1vE1 - Nové PST transformátory na profilech ČR – DE a ČR – PL (S regulací na odbočkách PST).
W1vF1 - Nové PST transformátory na profilech HRA – Röhrsdorf a ČR – PL (S regulací na odbočkách PST).

Tab. 4.1. Vyhodnocení kontroly spolehlivosti přenosové sítě 400 kV v jednotlivých simulovaných variantách podle spolehlivostního kritéria (N-1)

Varianta C je „zlomová“ z hlediska situace zatížení vnitřní sítě PS ČR. Zatížení „kritických“ vedení ve středních Čechách nepřekračuje dovolené hodnoty, ani nejsou provozována blízko této hranice. Pouze zatížení vedení V444 Nošovice – Wielopole je mimo předepsané meze, což se výrazně projevuje při bezpečnostní kontrole N-1 (problematika severní Moravy je řešena v následujících variantách). Zbývající varianty D, E a F, u kterých se předpokládá instalace PST transformátorů, zcela eliminují negativní vlivy zahraničních kruhových toků a řeší danou problematiku.

Poněkud netradiční a zatím v praxi málo využívané je použití PST transformátorů k omezení toků v sítích PS 400 kV. Ačkoli energetická politika EU není nakloněna omezování toků výkonů na mezistátních vedení uvnitř propojené soustavy zemí EU, nevytváří zatím dostatečný prostor pro podporu klasických způsobů zvyšování přenosové schopnosti sítí, tj. výstavby nových vedení a posilování propojení

mezinárodních soustav. Simulační varianty D, E a F ukazují netradiční řešení této problematiky s využitím PST transformátorů.

Pokud nebudou v brzké době vytvořené takové podmínky pro rozvoj ES ČR, které zajistí bezpečnost soustavy před vlivem VTE v severní Evropě, je využití PST transformátorů zcela na místě.

5 ZÁVĚR

V práci bylo řešeno několik problémových okruhů týkajících se problematiky integrace a provozu OZE v propojených soustavách. Cíle disertační práce jsou definovány v kapitole 1.

Cíle disertační práce a jejich naplnění

1) Rozbor pravidel provozování soustav a návrh jejich aktualizace

Česká energetika naráží na těžko využitelnou legislativu, která nedává provozovatelům sítí dostatečnou pravomoc k ovlivňování provozu rozptýlených OZE s kolísavou výrobou. Proto se v úvodní části práce zabývám primární a sekundární legislativou energetiky, zejména ve vztahu k připojování OZE do ES ČR. Dále se zaměřuji na technická pravidla připojování a provozování OZE v ES ČR. Zde shledávám výrazný nedostatek Pravidel provozování sítí v nemožnosti provozovatelů sítí regulovat a řídit dodávku výkonu z OZE v případech nutnosti. Z tohoto důvodu v disertační práci navrhuji dvě zcela nová pravidla týkající se daného problému:

- Pravidlo o spínání výrobní OZE kolísavého charakteru ve slabém uzlu sítě.
- Pravidlo umožňující operativní snížení dodávaného výkonu z výrobní OZE.

Obě regule jsou založené na základě analýzy a důsledků zpětného vlivu nového zdroje na ES ČR. Pravidla mají omezující charakter, avšak s pozitivní motivací vzhledem k provozu výrobní OZE. Pokud nová výrobní OZE nesplní některé kritérium dané Kodexy sítí (v práci uvedeno na příkladu kritéria o změně napětí v přípojném uzlu), připojení zdroje je možné, ale pouze s podmínkou druhou – s podmínkou operativního snížení výroby, dle požadavků provozovatele sítí. Obě pravidla jsou navrhována v rámci systémového řešení, tudíž jsou aplikována na ostatní síťové analýzy (nejen na napěťové kolísání, ale i na spolehlivostní analýzy N-1, zkratové poměry, zatížení transformační vazby, atd.).

2) Stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů do ES ČR se zaměřením na VTE a FVE

Aktuální trend rozvoje OZE přinesl obrovský zájem o výstavbu těchto nových zdrojů. V současnosti jsou všichni regionální distributoři zahlceni požadavky na připojení nových OZE do svých sítí. Momentálně je jen velmi omezená možnost, jak zjistit, kde je možné (z technického hlediska) připojovat nové zdroje do ES ČR, a kde již není volná kapacita sítí pro jejich připojení.

Z těchto důvodů jsem se v další části práce zaměřil na návrh metodiky, která bude sloužit jako možný nástroj pro stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů do sítí. Do výpočtu volné kapacity sítí vstupuje co nejvíce podkladů odrážející aktuální trend rozvoje OZE v ČR a možnosti investorského sektoru. Těmito podklady jsou zejména podané žádosti o připojení nových zdrojů a technicky dostupný (využitelný) potenciál OZE.

Z důvodů nevhodně nastavených výkupních cen elektrické energie z fotovoltaických elektráren (FVE) je jejich využitelný výkon na území ČR těžko predikovatelný, neboť i výroba v regionech s nízkou intenzitou slunečního záření je výnosná. Výkupní ceny FVE v současnosti neodráží společenskou užitečnost a přínos těchto zdrojů.

Pro určení využitelného potenciálu větrných elektráren (VTE) v ČR jsem navrhl metodiku, která je založena na dvou hlavních krocích:

A) Stanovení plochy území ČR využitelné pro výstavbu VTE.

B) Stanovení jednotkové plochy reprezentující 1 MW možného instalovaného výkonu a její aplikace na celkovou využitelnou plochu pro výstavbu VTE.

Bod A) je založen na postupném prokládání mapových podkladů a vyčleňování oblastí, kde nelze stavět VTE. Jednotlivé mapy zachycují hlavní omezující faktory, které zásadním způsobem ovlivňují možnost výstavby VTE v jednotlivých lokalitách ČR. Schématický obrázek 3.1. zachycující metodický postup je na straně 14.

Stanovení jednotkové plochy vychází z analýzy, která určí kolik MW jde průměrně postavit na 1 km². Při této analýze se vycházelo z celkové plochy stávajících větrných parků (VP), především zahraničních.

Hlavními kritérii vstupujících do výpočtu volné kapacity sítí byly podané žádosti o připojení nových zdrojů k jednotlivým provozovatelům sítí a simulační model sítí ES ČR, který mě byl poskytnut EGÚ Brno, a. s. Metodika stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů, je založena na kontrole zatížení jednotlivých prvků sítí PS a DS 110 kV v ES ČR v nejhorší možné situaci. Analýza je založena na kontrole přenosové schopnosti soustavy, napájecích a distribučních transformátorů PS/110 kV a 110 kV/VN při neúplném zapojení sítí. Ve výpočtech je na jednotlivé síťové prvky aplikována kontrola podle kritéria spolehlivosti N-1, tzn. výpadky distribučních transformátorů 110 kV/VN, vývodových vedení 110 kV z napájecích rozvodů PS/110 kV a výpadky jednotlivých transformátorů PS/110 kV.

Po určení celkové volné kapacity sítí ES ČR jsem na základě trendu rozvoje zdrojové základny stanovil očekávané zaplnění této volné kapacity jednotlivými typy nových zdrojů. Trend je dán především souhrnnou velikostí instalovaného výkonu v podaných žádostech o připojení v jednotlivých regionech. Podané žádosti o připojení jsem rozdělil podle typu zdroje mezi VTE - FVE - ostatní disperzní zdroje v sítích DS a to podle poměrů instalovaného výkonu požadovaných v podaných žádostech o připojení. Z tohoto rozdělení je pak určena možnost připojení jednotlivých typů nových zdrojů do dané oblasti 110 kV. V případě překročení volných kapacit pro připojení nových zdrojů jsem vyčíslil omezení

připojitelnosti nových zdrojů. Výsledky dle jednotlivých napájecích uzlů jsou v tabulce 3.1. na straně 17.

3) Určení tzv. úzkých míst PS 400 kV v důsledku velkých kruhových toků výkonu ze zahraničí a návrh opatření pro eliminaci jejich vlivů

Velká a náhlá změna produkce výroby ve VTE v severní Evropě má za následek velký tok výkonu přes PS sousedních států do místa spotřeby v jižní oblasti Německa. Dalším cílem disertační práce je simulace těchto vlivů očekávaných v budoucím provozu ES ČR v roce 2015, nalezení slabých článků PS 400 kV a navržení takových úprav sítě 400 kV, které by vedly k maximální redukci těchto negativních vlivů.

Nedodržení výkonové rovnováhy zahraničních soustav má za příčinu vznik tzv. kruhových toků výkonu (loopflows), kdy jsou PS sousedních států zatíženy velkými toky výkonu do míst spotřeby. Takovéto nestandardní toky, způsobené především OZE s kolísavým charakterem, mají řadu vedlejších negativních efektů a zhoršují bezpečnost provozu okolních sítí.

V následující části disertační práce je simulováno nasazení cca 17 000 MW výkonu VTE v severní Evropě a je sledován vliv kruhových toků na ES ČR, konkrétně na síť 400 kV. Vliv FVE a ostatních OZE se nepředpokládá v souvislosti s velikostí instalovaného výkonu VTE.

Základním výchozím stavem pro všechny výpočetní varianty sítě 400 kV je předpokládaný stav sítě 400 kV k roku 2015, včetně do té doby uvažovaných síťových úprav. K analýze vlivů VTE na ES ČR byl použit simulační program GLF, dlouhodobě vyvíjený a používaný v EGÚ Brno, a. s.

Celkem jsem vytvořil 7 výpočetních modelů, které se liší novými instalovanými prvky v PS 400 kV ČR. Ze základního stavu zapojení jsem určil tzv. úzká místa sítě 400 kV v důsledku přetoků výkonu ze zahraničí při nasazení velkého výkonu VTE na severu Evropy. Toky výkonu mají severojižní směr, který je omezen vnitřní sítí ES ČR ve středních Čechách vedeními V430 Hradec - Chrást, V431 Chrást - Přeštice, V412 Hradec - Řeporyje. Na severní Moravě je to pak mezistátní vedení V444 Nošovice – Wielopole (Polsko).

Jednotlivé varianty jsem podrobně analyzoval z hlediska vlivů kruhových toků výkonu ze zahraničí a vyhodnotil dopady navrhovaných síťových opatření.

V základním stavu, variantách A a B docházelo k nedovolenému zatížení několika vedení 400 kV, rovněž při analýze bezpečnosti sítě 400 kV podle kritéria (N-1) došlo v těchto případech k několika zatížením vedení 400 kV mimo dovolené hodnoty.

Varianta C je „zlomová“ z hlediska situace zatížení vnitřní sítě PS ČR. Zatížení „kritických“ vedení ve středních Čechách nepřekračuje dovolené hodnoty, ani nejsou provozována blízko této hranice. Pouze zatížení vedení V444 Nošovice – Wielopole je mimo předepsané meze, což se výrazně projevuje při bezpečnostní kontrole N-1. Zbývající varianty D, E a F, u kterých se předpokládá instalace PST transformátorů, zcela eliminují negativní vlivy zahraničních kruhových toků a řeší danou problematiku.

Poněkud netradiční a zatím v praxi málo využívané je použití PST transformátorů k omezení toků v sítích PS. Ačkoli energetická politika EU není nakloněna omezování toků výkonů na mezistátních vedení uvnitř propojené soustavy zemí EU, nevytváří zatím dostatečný prostor pro podporu klasických způsobů zvyšování přenosové schopnosti sítí, tj. výstavby nových vedení a posilování propojení mezinárodních soustav. Simulační varianty D, E a F ukazují netradiční řešení této problematiky s využitím PST transformátorů.

Pokud nebudou v brzké době vytvořené takové podmínky pro rozvoj ES ČR, které zajistí bezpečnost soustavy před vlivem VTE v severní Evropě, je využití PST transformátorů zcela na místě.”

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ERÚ a.s.
- [2] PPDS – Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy, prosinec 2007, ERÚ a.s.
- [3] Jednání Pracovní skupiny 4 ČK CIRED – Dispersní zdroje, 21. - 22.4.2009, Doubice a Workshop: Integrating wind power in the Czech Republic, dostupné na <http://www.ewea.org>
- [4] Van Oord Company, <http://vanoord.com>.
- [5] European Wind Energy Association, větrná mapa 2008, dostupné na <http://www.ewea.org>
- [6] Cenové rozhodnutí č. 8/2008, ERÚ a.s., dostupné na www.eru.cz
- [7] Solarhaus s. r. o. - solární systémy na klíč, <http://www.solarhaus.cz/>
- [8] Konference „Větrná energie 2007“ a „Větrná energie 2008“, Hotel Novotel, Praha
- [9] Mapa větrného potenciálu ve výšce 100 m nad zemí, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, dostupné na: www.ufa.cas.cz
- [10] Mapa CHKO a NP, dostupné na www.env.cz, www.ochranaprirody.cz
- [11] Mapa spodního vzdušného prostoru ČR, dostupné na www.marecek.cz
- [12] Mapa silnic a dálnic ČR, dostupné na <http://www.rsd.cz/Mapy>
- [13] Databáze EGÚ Brno, a. s. příp. Roční zpráva o provozu ES ČR 2009, ERÚ a. s.
- [14] Mapa hlavních toků a řek ČR, dostupné např. na http://www.raft.cz/mapa_c.aspx
- [15] Studie potenciálu větrné energie ČR a problematika napojení větrných elektráren do DS a PS, 2009, EGÚ Brno, a. s., Ústav elektroenergetiky FEKT VUT Brno.
- [16] Větrná energie a její možnosti v ČR, Štekl, J., Obnovitelné zdroje energie a jejich možnosti uplatnění v České republice, ČEZ Praha 2003.
- [17] Obnovitelné zdroje energie, Čeněk, M., FCC Public, Praha 2001, ISBN 80-9010985-8-9.
- [18] Větrné motory a elektrárny, Rychetník, V., Janoušek, J., Pavelka, J., Vydavatelství ČVUT, Praha 1997, ISBN 80-01-01563-7.
- [19] Vliv rozvoje obnovitelných zdrojů (větrných elektráren) na provoz ES ČR, disertační práce, Ing. Michal Bernard, 2008.
- [20] Wind power: Capacity factor, Intermittency, Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst, dostupné na <http://www.ceere.org/>.
- [20] Danish Wind Power Association, dostupné na <http://www.windpower.org/en/core.htm>.
- [21] Výběr větrných elektráren k 31. 12. 2008, ERÚ a.s., dostupné na www.eru.cz
- [22] Pro-Energy magazín, Poruchy v provozu přenosových soustav v roce 2006 (aneb jak dál?), Ing. Pavel Šolc, ředitel sekce, ČEPS, a. s., 1/2007

- [23] System Disturbance on 4 November 2006 – Final Report, UCTE, dostupné na www.ucte.org
- [24] Tiskové prohlášení společnosti ČEPS, a. s., www.ceps.cz
- [25] Srovnání prostředků pro regulaci toků výkonů v sítích, Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., Ing. Petr Modlitba, CSc., Electrical Power 2004.
- [26] Regulace toků činných výkonů v přenosových sítích, Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., Ing. Petr Modlitba, CSc., Elektroenergetika, Stará Lesná, 16. - 18.9. 2003.
- [27] Regulace toků výkonů v propojených elektrizačních soustavách, Disertační práce, Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., VUT Brno.
- [28] Informační server Wikipedia Commons, dostupné na: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Windkraftanlagen_in_Deutschland.png

CURRICULUM VITAE

Jméno: Jiří Malý
Narozen: 27. června 1980 ve Svitavách
Kontakt: jiri.maly@egubрно.cz

Vzdělání:

2005 – nyní **EGÚ Brno, a. s.**
Odborná praxe

2004 – nyní **Vysoké učení technické Brno**
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Postgraduální studium. Státní zkouška složena v červnu 2006.

1998 – 2004 **Vysoké učení technické Brno**
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Magisterské studium zakončené státní zkouškou v květnu 2004.

Jazyky:

Angličtina, Němčina, Ruština