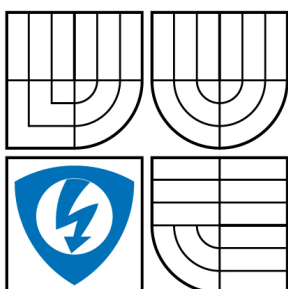


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

IMPACT OF RENEWABLE SOURCES ON POWER SYSTEM OPERATION

DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

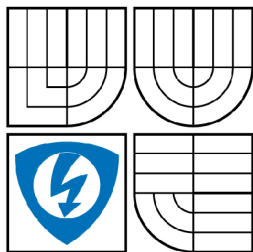
Ing. JIŘÍ MALÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ANTONÍN MATOUŠEK, CSc.

BRNO 2009



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektroenergetiky

Dizertační práce

doktorský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Ing. Jiří Malý
Ročník: 1

ID: 14492
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání:

Termín odevzdání:

Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor dizertační práce nesmí při vytváření dizertační práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně s použitím odborné literatury uvedené v seznamu na konci práce.

.....

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá primární a sekundární legislativou energetiky ČR a navrhuje její doplnění o nová pravidla pro obnovitelné zdroje energie. V práci je dále navržena metodika stanovování volné kapacity sítí ČR pro připojování nových zdrojů se zaměřením na obnovitelné zdroje energie. Analyzuje současný stav elektrizační soustavy ČR z hlediska možností připojování nových zdrojů a určuje volnou kapacitu pro připojení obnovitelných zdrojů v jednotlivých regionech ČR na základě jejich aktuálního trendu rozvoje. V další části práce je simulován vliv náhlé změny výroby větrných elektráren v severní Evropě v blízké perspektivě (rok 2015). Součástí práce jsou návrhy na posílení elektrizační soustavy ČR tak, aby byly negativní vlivy přetoků výkonu eliminovány.

ABSTRACT

Doctoral thesis deals about primary and secondary energy legislation of the Czech Republic and proposes supplement to the legislation for renewable sources of energy. The thesis contents proposal of methodology of determination of available network capacity for connecting of new renewable sources. It analyzes current state of Czech electric power system and its possibilities for integrating new sources. It also determined available network capacity for connecting of new renewable sources in various regions of Czech Republic according to actual trend of renewable sources development. Next part of the thesis simulates impact of volatile large production of wind power plants in northern Germany in near future (year 2015). The thesis also contents proposal to the Czech power system reinforcements to eliminate negative impacts of loops flows.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli Doc. Ing. Antonínu Matouškovi, CSc. za příkladné vedení během studia, podnětné připomínky a rady vznesené v průběhu celé práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům Ústavu elektroenergetiky a kolektivu pracovníků Sekce Provozu a rozvoje elektrizační soustavy EGÚ Brno, a. s. za vytrvalou podporu a vytvoření podmínek, díky kterým mohla tato práce vzniknout. V neposlední řadě bych chtěl velmi poděkovat svým rodičům a blízkým za trpělivost a podporu při mém studiu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ASRU	Automatická sekundární regulace napětí
c	Činitel flikru zřízení
ČR	Česká Republika
Δ_{pk}	Ztráty transformátoru nakrátko [kW]
Δ_{po}	Ztráty transformátoru naprázdno [kW]
DS	Distribuční soustava (v disertační práci uvažována napěťová hladina 110 kV, pokud není uvedeno jinak)
ERÚ	Energetický regulační úřad
E_k	Poměrové napětí nakrátko [%]
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská Unie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
CHKO	Chráněné krajinné oblasti
$i_{v, \mu zul}$	Vztažný proud vyšších harmonických [A/MVA]
$I_{v, \mu zul}$	Celkově přípustný proud vyšších harmonických v přípojném místě sítě 110 kV [A]
MVE	Malá vodní elektrárna
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NN	Nízké napětí (50-1000 V)
NP	Národní parky ČR
NVP	Nízký vzdušný prostor
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Poskytovatel Distribuční Soustavy
P_{inst}	Jmenovitý instalovaný výkon [MW]
P_{lt}	Dlouhodobá míra flikru, činitel dlouhodobého rušení flikrem (lt = Long time)
PPDS	Pravidla Provozování Distribuční soustavy, nazývané též Kodex DS
PPS	Poskytovatel Přenosové Soustavy
PS	Přenosová soustava (hladiny 220 kV a 400 kV)
PVC	Pevná výkupní cena za elektřinu z obnovitelných zdrojů energie
RDS	Regionální distribuční síť
Rz	Rozvodna
S_A	Jmenovitý zdánlivý výkon výroby [MVA]
S_0	Referenční zdánlivý výkon [MVA]
S_n	Jmenovitý zdánlivý výkon elektrického zařízení [MVA]
S_{nE}	Jmenovitý zdánlivý výkon výrobního bloku/elektrárny [MVA]
S_{kv}	Zkratový výkon výroby připojené do daného přípojného bodu [MVA]
UCTE	Union for Co-operation of Transmission of Electricity

U _n	Jmenovité napětí dané sítě
UO	Uzlová oblast (obvykle u sítí 110 kV)
VE	Vodní elektrárna
VN	Vysoké napětí (1 – 52 kV)
VP	Větrný park (parky)
VTE	Větrná elektrárna
VVN	Velmi vysoké napětí (52 – 300 kV)
ZVN	Zvlášť vysoké napětí (300- 800 kV)

POUŽITÉ ZKRATKY STÁTŮ

AT	Rakousko
ČR	Česká Republika
DE	Německo
DK	Dánsko
PL	Polsko

Bibliografická citace mé práce:

MALÝ, J. VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 108 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

OBSAH

1. Úvod	1
1.1. Cíle disertační práce	3
2. Integrace a připojování OZE do DS ČR	4
2.1. Legislativa připojování a provozu OZE do DS	5
2.2. Legislativa Evropské Unie v oblasti OZE	8
2.3. Praktické okolnosti provozu a rozvoje VTE v Evropě a ČR	9
2.4. Síťové kodexy PS a DS (Pravidla provozování soustav)	11
2.5. Základní pravidla pro připojování VTE do DS	12
2.6. Návrh opatření pro připojování OZE do pravidel PPDS	16
2.7. Výkon větrné energie a efektivita využívání VTE v ČR	21
2.8. Shrnutí kapitoly	26
3. Rizika provozu sítí ČR s velkým zastoupením kolísavých OZE a kapacita sítí ES ČR pro připojení nových OZE	27
3.1. Aktuální trend rozvoje OZE a technický stav ES ČR	29
3.2. Stanovení využitelného výkonu OZE v ČR	32
3.2.1. Metodika stanovení větrného potenciálu v ČR	34
3.2.2. Praktické využití metodiky	38
3.3. Kapacita sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů	38
3.3.1. Vstupní podklady	40
3.3.2. Metodika stanovení celkové volné kapacity pro připojení nových zdrojů	42
3.3.3. Výpočet volného transformačního výkonu v Rz. 110 kV/VN pro připojení nových zdrojů	45
3.3.4. Kontrola přenosové schopnosti vývodových vedení 110 kV a stanovení volného výkonu pro připojení nových zdrojů do sítí 110 kV	47
3.3.5. Výpočet volného transformačního výkonu v uzlu PS/110 kV pro připojení nových zdrojů	50

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

3.3.6. Očekávané zaplnění volné kapacity ES ČR jednotlivými typy nových zdrojů	52
3.4. Kapacitní možnosti přenosových sítí 400 kV a 220 kV vzhledem k připojení VTE	58
3.5. Vliv VTE na elektrizační soustavu ČR	60
3.5.1. Zálohování VTE	61
3.5.2. Zvýšení požadovaného regulačního výkonu v ES v důsledku integrace OZE	63
3.6. Shrnutí kapitoly	64
4. Vliv OZE na nadnárodní provoz sítí z pohledu ČR	68
4.1. Krizové stavy v ES ČR	69
4.2. Dispečerské prostředky pro regulaci toků výkonů	74
4.3. Transformátory pro regulaci výkonů	75
4.4. Analýza kruhových toků na ES ČR	77
4.4.1. Vstupní data	77
4.4.2. Výpočetní varianty	78
4.5. Ekonomický rozbor řešených variant	98
4.6. Shrnutí kapitoly	100
5. Závěr	103
Použitá literatura	108
Přílohy	109

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 výroby 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 (většinou 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 neznamená 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. 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.

1.1. 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, zejména pro VTE nebo FVE. 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 a mohly být integrovány do sítí příslušných napěťových hladin.

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. Z podaných žádostí o připojení je však realizován pouze zlomek požadavků (přibližně 10 %). 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

Tato část disertační práce se zabývá primární a sekundární legislativou energetiky, zejména ve vztahu k připojování OZE do ES ČR. V úvodu je stručně rozebrána nejdůležitější legislativa energetiky ČR, která by měla být bezpodmínečně známá všem subjektům podnikajícím v energetickém sektoru. Střední část kapitoly rozebírá současná Pravidla provozování soustav (PPDS a PPS), sleduje především pravidla týkající se integrace a řízení velkého počtu malých kolísavých zdrojů a poukazuje na jeho nedostatky ve vztahu k bezpečnosti provozu sítě. Dále je zde navrženo několik doplňujících pravidel, jejichž zavedení by umožnilo provozovatelům DS flexibilnější a spolehlivější řízení nepredikovatelných OZE připojených do DS 110 kV. Kapitulu uzavírá rozbor praktických okolností provozu a rozvoje kolísavých OZE v Evropě i v ČR.

Cílem této kapitoly je poukázat na mezery v současných PPDS a doplnit je o nové regule, které pomohou zamezit vzniku nebezpečných stavů vlivem velkého nasazení OZE připojených do ES ČR. PPDS však nesmí mít jen formu omezující, nýbrž musí mít i funkci podpůrnou. Jedině tak PPDS pomůžou integrovat OZE jako plnohodnotné zdroje elektrické energie do zdrojové základny ES ČR!

Úvod do problematiky

V současnosti nenesou provozovatelé OZE s kolísavým charakterem dodávky, díky povinnosti výkupu elektřiny a dotovaným pevným výkupním cenám, žádnou zodpovědnost za svou dodávku elektrické energie do ES ČR. Velké množství kolísavých zdrojů jako jsou VTE a FVE připojené do elektrických sítí s sebou přináší značné problémy s regulací výkonové bilance a v krajních situacích mohou vést až k ohrožení stability a bezpečnosti provozu ES. V nejbližších letech lze očekávat výrazný nárůst připojování těchto OZE do ES ČR a pokud nebudou tyto zdroje vhodným způsobem řízeny a regulovány, dojde zcela určitě k negativním dopadům jejich provozu na ES, který může vést až k rozpadu ES nebo dokonce k blackoutu.

Většina zahraničních operátorů s vysokým podílem těchto zdrojů ve svých sítích, již vymezila přesná pravidla, jak se mají chovat tyto specifické zdroje v nestandardních případech jako jsou např. poruchové stavy. České technické směrnice a legislativa jsou v tomto ohledu stále značně zaostalé a je třeba jim zavčas věnovat zvýšenou pozornost.

2.1. Legislativa připojování a provozu OZE do DS

Legislativu energetiky ČR lze rozdělit na primární a sekundární. Primární legislativa je tvořena zákony, popisujícími energetické prostředí a jejich novelami schválenými vládou ČR. Mezi sekundární legislativní prvky patří vyhlášky Energetického Regulačního Úřadu (ERÚ) a technické podmínky a směrnice pro provoz a připojování nových zdrojů do ES ČR vydávané provozovateli sítí (opět schválené ERÚ).

Legislativa vymezující práva výroben OZE je nástrojem, který zaručuje investorovi v této oblasti jistou návratnost projektu a jistý výkup jím vyrobené elektřiny za garantované ceny, případně dostává investor tzv. zelený bonus ke každé vyrobené MWh. Nutno podotknout, že ne každý podnikatel/investor takovouto záruku má. Protože jsou distribuční společnosti povinné tuto elektřinu vykupovat bez ohledu na to, zda je v síti přebytek elektřiny nebo nedostatek, zvyšují se jim tak náklady na provoz soustavy, což se následně odráží v ceně za elektřinu pro konečné zákazníky (KZ).

Právní prostředí energetiky je tvořeno především těmito hlavními zákony:

- Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (energetický zákon).
- Zákon č. 180/2005 Sb.: Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů).
- Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Ustanovení § 3 je zaměřeno na Státní energetickou koncepci a § 4 na Územní energetickou koncepci.

Mezi další legislativní prvky patří:

- Vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě,
- Vyhláška ERÚ č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, ve znění vyhlášky č. 364/2007 Sb.,
- Vyhláška MŽP č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využívání a parametrů biomasy při podpoře výroby z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb.,
- Vyhláška ERÚ č. 502/2005 Sb., o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a fosilních paliv,

- Vyhláška ERÚ č. 541/2005 Sb., o pravidlech trhu s elektřinou a vyhlášky ji měnící 552/2006 Sb.,
- Vyhláška ERÚ č. 150/2007 Sb., o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen,
- Cenové rozhodnutí ERÚ, ve kterém jsou stanoveny výkupní ceny a zelené bonusy v daném roce. Pro rok 2009 je v platnosti CR č. 8/2008.

Aby měl výrobce energie nárok na podporu výroby elektřiny z OZE, musí vlastnit licenci na výrobu elektrické energie, kterou schvaluje ERÚ. Licence a smlouva o dodávce elektřiny jsou nutnou podmínkou pro dodávku vyrobené elektřiny do ES. K dalším podmínkám patří nahlášení způsobu podpory výroby z OZE nejpozději měsíc před zahájením výroby. Výrobce je následně povinen měsíčně vykazovat provozovateli PS či DS množství vyrobené elektřiny. Pokud splní všechny tyto podmínky, distributor je povinen platit investorovi stanovenou výkupní cenu za každou dodanou MWh nebo zelený bonus v patřičné výši. Velikost výkupní ceny je daná v cenovém rozhodnutí pro daný rok, které aktualizuje ERÚ.

Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů

Přelomovým bodem ve snaze ČR o podporu OZE k výrobě elektřiny v rámci plnění závazků ČR vůči EU, bylo schválení zákona o podpoře a využívání OZE v roce 2005. Cílem zákona je podpora využívání OZE, zajištění zvyšování podílu OZE na výrobě elektřiny a podpora myšlenky trvale udržitelného rozvoje. Tento zákon, na rozdíl od jeho předchozích verzí, zajišťuje jistý způsob podpory výroby elektřiny z OZE v podobě povinného výkupu vyrobené elektřiny z OZE za předem stanovené výkupní ceny garantované na 15 let (maximálně s 5ti % poklesem za rok). Od uvedení v platnost tohoto zákona začal mohutný rozvoj OZE všech typů. Trendy aktuálního zájmu se různí v souvislosti s hlavními faktory ovlivňující návratnost projektu – vyčerpání vhodných lokalit, výše výkupní ceny vzhledem k pořizovacím nákladům, postoj obyvatelstva k danému typu OZE v plánované lokalitě, atd.

Zákon je založen na těchto principech:

- * povinnost provozovatele PS nebo DS připojit zařízení pro distribuci elektřiny z OZE,
- * povinnost vykupovat veškerou elektřinu z OZE, na kterou se vztahuje podpora a uzavřít smlouvu o dodávce, pokud je projevna vůle ze strany výrobce. *Součástí povinností provozovatele PS nebo DS je odpovědnost za odchylky způsobené provozem zdroje OZE,*
- * dodatečné náklady spojené s odchylkami výkonu zařízení OZE jsou uznatelnými náklady pro výpočet cen za distribuci a přenos,

- * dva nezávislé systémy podpory (pevná výkupní cena nebo zelený bonus),
- * každoroční stanovení výše výkupních cen a zelených bonusů,
- * garance výkupních cen pro delší časové období s maximálním poklesem ceny 5 % za rok,
- * garantovaná návratnost investice do 15ti let.

Pojmem „zelený bonus“ se rozumí jistý příplatek k tržní ceně elektřiny. V praxi podpora zeleným bonusem funguje tak, že výrobce prodává vlastní vyrobenou elektřinu na trhu s elektřinou (např. Pražská energetická burza, Lipská energetická burza) nebo obchodníkovi s elektřinou (příp. ji sám spotřebuje) a od provozovatele DS má právo inkasovat na základě předloženého výkazu zelené bonusy. Výše zeleného bonusu v Kč/MWh se každoročně mění a je zveřejňována ERÚ v Cenovém rozhodnutí pro daný rok. U pevných výkupních cen Kč/MWh mají provozovatelé DS nebo PS povinnost vykoupit všechnu vyrobenou elektřinu. Rovněž tyto ceny jsou každoročně upravovány ERÚ.

Vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě

Vyhláška vznikla v době úplného otevření trhu s elektřinou (1.1.2006) a předcházely jí vyhlášky MPO č.18/2002 Sb. (postup při připojování oprávněných zákazníků a výrobců) a ERÚ č.297/2001 Sb. (podmínky pro připojení a dodávku elektřiny pro chráněné zákazníky). Tyto vyhlášky zanikly s vydáním nové vyhlášky č. 51/2006 Sb., kdy se změnil status oprávněných a chráněných zákazníků na zákazníky konečné. Vyhláška sjednocuje postup při připojování zákazníků především k distribučním hladinám, definuje výši spoluúčasti při krytí nákladů spojených s připojováním a zajištěním výkonu (příkonu), stanovuje postup při neoprávněném odběru elektřiny a určuje výši náhrady.

Ve vyhlášce se objevuje důležitý pojem *rezervovaný výkon* – je to hodnota výkonu připojované výrobní v předávacím místě snižena o vlastní spotřebu nebo o výrobu elektřiny a tepla pro vlastní spotřebu [1].

Žádost o připojení zdroje do ES se podává před výstavbou, před připojením nové výrobní nebo před zvýšením rezervovaného výkonu. Je třeba, aby žádost obsahovala údaje o zařízení, zejména umístění, typ, charakter výrobní, požadovaný termín připojení, údaje o napěťové hladině, lokalitě připojení, jednopólové schéma, popis výrobní, popis blokového transformátoru, generátoru, údaje o vlastní spotřebě a požadovanou spolehlivost vyvedení výkonu.

Dojde-li k přijetí žádosti o připojení výrobní k DS či PS, je posouzena s ohledem na:

- místo a způsob požadovaného připojení,
- velikost požadovaného rezervovaného výkonu,

- spolehlivost dodávky,
- charakter zpětného působení nové výroby žadatele na PS či DS
- velikosti volné kapacity sítě v dané lokalitě.

Na toto posouzení vydává provozovatel DS nebo PS stanovisko k žádosti o připojení s těmito náležitostmi:

- místo a způsob připojení včetně určení předávacího místa a stanovení hranice vlastnictví,
- předpokládaný termín a zajištění rezervovaného výkonu,
- umístění a typ měřících zařízení provozovatele PS či DS,
- výši podílu žadatele na nákladech spojených s připojením,
- potvrzení požadavku na výši rezervovaného výkonu,
- doba závaznosti stanoviska.

Stanovisko daného rozsahu je povinen provozovatel DS či PS vydat do 30 kalendářních dnů. Výjimku tvoří případ, kdy je nutné provést měření nebo u sítí 110 kV ověření chodu sítě. Pak se povinnost vydat stanovisko prodlužuje na 60 kalendářních dnů.

Nelze-li vyhovět žadateli o připojení zdroje z důvodů stanovených energetickým zákonem, je provozovatel DS nebo PS povinen informovat žadatele o důvodech zamítnutí. Jsou-li možné jiné podmínky připojení, navrhne je provozovatel DS nebo PS ve svém stanovisku. Provozovatel DS nebo PS je vázán stanoviskem minimálně 180 dnů, pokud není dohodnuto jinak.

2.2. *Legislativa Evropské Unie v oblasti OZE*

Evropská unie se problematice OZE věnuje především v tzv. *Klimaticko-energetickém balíčku*. Jeho základem je systém obchodování s emisními povolenkami. Hlavním závazkem balíčku je snížení objemu emisí skleníkových plynů o 20 % v zemích EU do roku 2020 a zároveň zavazuje státy EU ke společnému zvyšování podílu obnovitelné energie na konečné spotřebě energie až ke 20 %. Evropský závazek snížit emise skleníkových plynů o 20 % se automaticky změní na 30 % v případě, že se v prosinci 2009 v Kodani podaří uzavřít celosvětovou dohodu o ochraně klimatu. Tato dohoda má po roce 2012 nahradit současný Kjótský protokol. Země, jež jsou při produkci elektřiny závislé na fosilních palivech více než z 30 % (tj. i ČR), budou od roku 2013 nakupovat pouze 30 % povolenek. Toto množství se bude zvyšovat až k dosažení 100 % v roce 2020. ČR má cílové hodnoty podílu energie

z obnovitelných zdrojů 13 % dosáhnout do roku 2020. Tato hodnota je právně závazná a je nutné ji splnit, neboť při jejím nedodržení lze očekávat sankce proti ČR ze strany EU.

Nové standardy pro připojování zdrojů rozptýlené výroby v EU

Na základě dosavadních zkušeností s provozem zdrojů rozptýlené výroby je snaha standardizovat připojovací podmínky v rámci celé Evropy. V současné době se připomínkuje IEC standard připojovacích podmínek zdrojů o výkonu do 10 MW připojovaných do distribučních sítí s napětím do 35 kV. Podle uvedeného dokumentu jsou pro nově připojovaný zdroj definovány požadavky s ohledem na:

- rozběh a odstavení zdroje – časové limity,
- jeho podíl na regulaci frekvence a napětí,
- kvalitu produkované elektrické energie,
- jeho chování při poruchách a požadavky na chránění,
- ověřovací zkoušky a monitoring provozu.

2.3. Praktické okolnosti provozu a rozvoje VTE v Evropě a ČR

Současné legislativní prostředí, ve snaze podpořit rozvoj, dovoluje OZE značnou volnost, co se jejich provozování v paralelně propojené elektrizační soustavě týče. Velké množství kolísavých zdrojů jako jsou VTE a FVE v ES s sebou přináší značné problémy s regulací bilance výkonu, které v krajních situacích mohou vést až k ohrožení bezpečného provozu sítě a ES. Ačkoli mají jednotlivé zdroje OZE v drtivé většině velmi malý instalovaný výkon (stovky kW až jednotky MW) v porovnání s klasickými elektrárnami, mohou především svým velkým počtem (VP a farmy slunečních elektráren) a nahodilým až téměř neregulovatelným provozem značně ovlivnit chod celé ES.

Vysoká výroba z VTE – dopady na síť

Každý standardní zdroj se musí chovat dle sjednaných podmínek, případně podle pokynů operátorů a dispečerů PDS a PPS, kteří hlídají, zajišťují a regulují stálou rovnováhu mezi spotřebou a výrobou elektřiny. V důsledku zákona č. 180/2005 Sb. mají všechny druhy OZE přednostní právo výkupu za jakékoli situace, a to i v případech, kdy může nekontrolovanou dodávkou z velkého počtu těchto malých dispersních zdrojů (např. při přechodu povětrnostní fronty přes území s velkým množstvím VTE) dojít ke kritickým situacím. Jako konkrétní příklady těchto situací lze uvést:

- okolnosti vysoké výroby ve VTE v Německu předcházely rozpadu UCTE (vysoká výroba z VTE nebyla jedinou příčinou rozpadu, ale byla to významná okolnost, která spolu s dalšími nepříznivými vlivy vedla k rozpadu systému),
- výrazné nesplnění kritéria spolehlivosti (N-1) v PS ČEPS v období podzim 2008 v důsledku vysokých přenosů na profilu s Německem jako důsledek velké výroby z VTE v Německu (toto se vyskytovalo opakovaně).

Operátoři PS (Transmission System Operator) nemají prozatím žádný nástroj, kterým by předešli prudkým změnám v dodávce OZE do sítě a musí složitými regulačními opatřeními a odstávkami velkých konvenčních elektráren a přepojováním zdrojů a sítí (redispečink) vytvářet podmínky pro přesměrování velkých toků výkonu z relativně malých lokalit s vysokým zastoupením OZE do místa spotřeby (toto se v současnosti týká především ES Německa). Tyto technické náročné manipulace mají, zejména v letním období, v dobách revizí a odstávek vedení ES, velmi omezené možnosti a snižují zabezpečení dodávky elektřiny. Současná technická legislativa není dostatečně připravená na integraci velkého počtu malých kolísavých zdrojů.

Většina zahraničních operátorů s vysokým podílem těchto zdrojů ve svých sítích již vymezila přesná pravidla, jak se mají tyto specifické zdroje chovat ať už v normálních provozních, nebo v nestandardních a havarijních situacích.

Omezení maximálního výkonu z VTE

Dalším nedostatkem současné legislativy je problematika operativního omezení maximálního dodávaného výkonu OZE do DS. Větrné elektrárny jsou v podmínkách ČR stavěny v oblastech s nízkou spotřebou a také v odlehlých, obvykle těžce dostupných oblastech. V těchto lokalitách je obvykle slabé síťové propojení s nízkou přenosovou schopností vedení. Předepsané revize a rekonstrukce vedení jsou v těchto lokalitách prováděny především v letním období v době nízkého zatížení sítě. Tyto činnosti pak vedou k situacím, že v této době při neúplné konfiguraci sítě nelze bezpečně vyvést plný instalovaný výkon připojeného větrného parku a je nutné částečné provozní omezení maximálního dodávaného výkonu v době neúplného zapojení sítě. Toto nezbytné omezení je však negativně vnímáno provozovateli větrných parků, neboť jim omezuje produkci, a tudíž tržby za prodanou elektřinu. Kromě toho toto omezení výroby snižuje již tak nízkou dobu využití VTE. PDS má jen omezené možnosti, jak donutit provozovatele větrných elektráren spolupracovat, a omezení je vázáno pouze dohodou mezi jednotlivými stranami. Je bezpodmínečně nutné zajistit provozovateli sítí takové podmínky, aby byl schopen i nadále provozovat bezpečně a spolehlivě soustavu za všech okolností. Opačný případ povede k častějším výpadkům v dodávkách elektřiny a zvýšeným ekonomickým ztrátám.

Je nutné podotknout, že pravidla pro provozování OZE s kolísavou výrobou by neměla mít jen podobu omezující, nýbrž musí mít funkci i podpůrnou, která by vedla OZE stát se plnohodnotným zdrojem elektrické energie ve výrobní základně ES ČR.

2.4. Sít'ové 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. Pravidla provozování soustav jsou koncipována jako závazný komplexní informační materiál, který definuje podmínky pro zajištění spolehlivého a bezpečného provozu sítí. Je jednotný pro všechny DS a PS na území ČR. 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. Stejně jako množství požadavků na připojení VTE a FVE v zahraničních soustavách donutilo jejich provozovatele doplnit své kodexy částmi, týkajícími se těchto OZE, je třeba i pravidla provozování soustav ČR připravit na tento stav (který již de facto nastal).

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. Ačkoli je jednotkový výkon těchto zdrojů zanedbatelný vzhledem k jmenovitým výkonům klasických konvenčních elektráren na tuhá paliva, souhrnný výkon celého VP, nebo zvýšené množství FVE rozptýlených v určité vymezené lokalitě již může hrát v sít'ovém kontextu určitou roli, zvláště pak, pokud se jedná o malou oblast s velkou penetrací OZE. 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.

2.5. Základní pravidla pro připojování VTE do DS

Samostatnou kapitolu v PPDS (i PPPS) tvoří pravidla a podmínky pro připojení VTE. Každý nově připojovaný zdroj do DS musí projít přihlašovacím procesem, při kterém jsou ověřeny příp. analyzovány zpětné vlivy zdroje na ES. Pro zdroje malých výkonů je možné za určitých podmínek upustit od této tzv. studie připojitelnosti (v závislosti na charakteru zdroje, místě připojení, provozních režimech atd.), ale vždy jen se souhlasem patřičného PDS. Studie připojitelnosti je technická zpráva vyhodnocující způsob vyvedení výkonu nového zdroje a jeho vlivu na síť. Kontroluje se vliv na změny napětí vyvolané připojením zdroje, vyšší harmonické a další kritéria dané PPDS [2]. Současná PPDS stanovují několik základních podmínek tak, aby nově připojovaný zdroj nezhoršoval svým připojením stávající provozní podmínky. Kontrola se provádí na splnění standardních kritérií zatěžování sítí a transformace a na splnění kritéria spolehlivosti (N-1). U OZE typu VTE, FVE a dalších problematických zdrojů jsou dále posuzována a vyhodnocena následující kritéria zpětných vlivů VTE na síť:

- Změna napětí vlivem trvalého připojení nové výroby.
- Změna napětí při spínání zdroje.
- Zpětné vlivy na napájecí síť (generace flikru a vyšších harmonických, rušení signálu HDO).

Při připojování VTE/FVE a zejména velkých větrných parků (VP), které pracují v širokém pásmu pracovních režimů, může dojít k situacím, které nejsou v PPDS zcela přesně definovány. Tyto pak mohou být předmětem sporu mezi provozovatelem výroby a provozovatelem sítě. V následujícím oddíle jsou popsány vybrané části pravidel, které mohou být při posuzování připojitelnosti OZE v různých situacích nejednoznačné a musí být posuzovány individuálně s každým novým požadavkem na připojení.

• Změna napětí v přípojném místě vlivem trvalého připojení VP k DS

Obečně pravidlo pro připojovanou jednotku říká, že zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě (přípojném bodě) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení, tedy:

$$\Delta U_{vn, 110 \text{ kV}} \leq 2 \text{ \%}.$$

Pro výroby s místem připojení do sítě vn je dovolená změna napětí:

$$\Delta U_{nn} \leq 3 \text{ \%}.$$

Podmínka zamezuje zavlečení výrazných vychýlení napětí v síti a pomáhá řídit a stabilizovat napětí ve všech bodech sítě v dovolených mezích. Z praktických případů vyplývá, že nejnepříznivější stavy se vyskytují v letních měsících, kdy je snižená spotřeba energie a distribuční síť procházejí údržbou. Nejsou tedy v plném základním zapojení, což vede k snížení přenosové schopnosti sítě a rovněž jsou více náchylné ke změně napětí v jednotlivých uzlech. Kolísavá výroba elektřiny z VTE a FVE se obecně v tomto období projevuje výrazněji a plné nasazení velkého VP během letního provozu sítě mnohdy překračuje dovolené hodnoty napětí v přípojném uzlu. PPDS stanovuje dovolenou změnu napětí v přípojném místě vlivem provozu nového zdroje v nejnepříznivějším stavu na hladině NN a VN ve srovnání s původním stavem sítě bez nově připojeného OZE (VTE / VP).

- **Změna napětí v přípojném místě při spínání nového zdroje**

Toto pravidlo zamezuje výraznému vychýlení (změně) napětí od normované hodnoty v přípojném bodě vlivem připojení zdroje. Cílem je omezit dopad vlivu připojení/odpojení zdroje na koncového odběratele v důsledku výrazného kolísání napětí. Kontrola se provádí pro nejhorší případ, kdy může být ovlivněno nejvíce odběratelů. Toto pravidlo je důležité zejména pro velké VP, neboť připojení celého VP tuto podmínku mnohdy nesplní. Z praktických zkušeností však vyplývá, že takový případ je velice ojedinělý, a proto je nesplnění kritéria ze strany PDS většinou tolerováno (příp. je omezen maximální výkon najednou připojitelný k síti DS). Proces připojování (odpojování) nového zdroje k síti (od sítě) je v obecném případě podle PPDS možný pouze za okolností, že tento proces nevyvolá v místě připojení změnu napětí vyšší než:

$$\Delta U_{vn} \leq 2 \%$$

v sítích VN a

$$\Delta U_{nn} \leq 3 \%$$

v sítích NN. Tato omezení platí pokud nedochází ke spínání / vypínání častěji než jednou za 1,5 minuty. Jelikož provozní charakter většiny OZE je velmi stochastický, jde v podstatě o neustálý proces připojování a odpojování zdroje od sítě, byla PPDS doplněna speciální částí pro VTE. Výrobní VTE připojené do sítě 110 kV nesmí spínacím procesem překročit tyto stanovené meze:

- A) V normálním provozu nesmí sepnutí jedné výrobní jednotky (jedna větrná turbína) vyvolat změnu v přípojném místě větší než

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

- B) Pokud se připojuje celá výrobní tj. celý VP platí omezení jako u ostatních zdrojů v síti vn, tedy:

$$\Delta U_{\max} \leq 2 \, \%.$$

- C) Při spínání při poruchovém stavu, může být změna napětí v přípojném bodě vyvolaná připojením celého VP (výrobní) maximálně 5 %, tedy

$$\Delta U_{\max} \leq 5 \, \%.$$

V praktických situacích obvykle nedochází k případům, kdy dojde k připojení všech výrobních jednotek parku k ES najednou. Nejběžnější postup je postupné připojování větrných turbín, u nichž automaty zaznamenaly dostačující větrné podmínky k připojení. Horší varianta nastává, pokud je v dané lokalitě překročena maximální konstrukční rychlost větru VTE. Nastává pak hromadné odpojení všech VTE a může dojít k porušení podmínky B). V takovýchto případech bývá obvykle při nedodržení těchto podmínek PDS shovívavý a povolí připojení VP s podmínkou postupného spínání větrných turbín na základě povelování z dispečinku PDS. Nicméně se stále jedná o individuální řešení problematiky, nikoli systémové.

- ***Zpětné vlivy na napájecí síť (generace flikru a vyšších harmonických, rušení signálu HDO)***

Zpětné vlivy výroben na elektrickou síť jsou kontrolovány v místě připojení z důvodů zamezení harmonického rušení elektrických zařízení ostatních odběratelů a porušení elektromagnetické kompatibility řídicích zařízení PDS.

Při připojování nových zdrojů (VTE nebo FVE) a zejména velkých větrných parků (VP), které pracují v širokém pásmu pracovních režimů, může dojít k situacím, které nejsou v PPDS zcela přesně definovány. Proto se musí přistupovat ke každému případu individuálně, zejména pak u zdrojů připojovaných do vyšších napěťových hladin, kde jsou vlivy na soustavu a ostatní uživatele sítě větší. Pokud je poměr zkratového výkonu sítě ke jmenovitému výkonu celé připojované výrobní větší než 500, lze od kontroly upustit. V opačném případě, tj. u zdrojů větších výkonů, musí výrobce předložit certifikát o zpětných vlivech, nebo zkušební protokol z uznávaného zkušebního institutu. Kromě výše uvedených napěťových kritérií se dále kontroluje:

— ***Generace flikru***

Nejen vlivem nestálého provozu a kolísavícího výstupního napětí z VTE/FVE, ale i díky výkonové elektronice, kterou VTE a FVE využívají, je třeba při jejich připojování provádět kontrolu vlivu dlouhodobého flikru na DS. Mezní hodnota dlouhodobého flikru, kterou nesmí nově připojovaná výrobní překročit je v sítích 110 kV:

$$P_{fl} \leq 0,37.$$

Hodnota dlouhodobého flikru se pro výrobní s větším počtem jednotlivých výrobních jednotek vypočítá dle vztahu:

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2}$$

V případě VP, kde jsou všechny VTE stejného typu lze provést výpočet P_{lt} dle vztahu:

$$P_{ltres} = \sqrt{n} * P_{lt} = \sqrt{n} * c * \frac{S_{nE}}{S_{kV}},$$

kde n je počet větrných turbín, P_{lt} je dlouhodobá míra flikru jedné větrné turbíny, c je činitel flikru, stanovený ve zkušebním protokolu VTE, S_{nE} je jmenovitý zdánlivý výkon generátoru VTE a S_{kV} je zkratový výkon v přípojném bodě [1].

— **Proudy vyšších harmonických**

Vyšší harmonické vznikají v zařízeních využívajících zejména střídače a měniče frekvence. Právě tyto zařízení se hojně vyskytují u OZE typu VTE/FVE, proto je tato problematika zvláště důležitá. Na druhou stranu je nutné podotknout, že výkonová elektronika zaznamenala v posledních letech výrazný pokrok a dnešní špičkové součástky dovolují lepší regulační možnosti.

Maximální přípustná hodnota vyšších harmonických proudů v daném konkrétním předávacím místě (transformovna, vedení) v sítích 110 kV se určí jako součin vztažných proudů $i_{vpř}$ z tabulky 2.1 ([2] tabulka 3 str.20) a zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu sítě S_{kV} .

$$I_{v,\mu zul} = i_{v,\mu} * S_{kV}$$

V případě, že je do společného napájecího místa připojeno více výrobních zařízení, je výše přípustných vyšších harmonických proudů do 13tého řádu pro jednotlivá zařízení stanovena ze vzorce:

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

pro harmonické vyšších řádů než 13 a pro mezipharmonické platí vztah:

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

kde S_A je zdánlivý výkon daného zařízení a

S_0 je zdánlivý referenční výkon.

Referenční zdánlivý výkon je roven meznímu tepelnému výkonu úseku vedení 110 kV v případě, že je výrobná vyvedena do části úseku vedení. V případě, že je výrobná vyvedena přímo do rozvodny 110 kV je S_0 roven jmenovitému zdánlivému výkonu výroby.

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

Tab. 2.1. Přípustná velikost vztažných proudů harmonických

— Vliv na Hromadné Dálkové Ovládání (HDO)

Vliv výroby na HDO se posuzuje v případě, že je výrobná připojená do stejné napěťové hladiny jako je vysílač HDO. Výrobní tlumí signál HDO a pro udržení požadované úrovně signálu HDO je nutné zvýšit výkon vysílače. Posuzování vlivu výroby na signál HDO vychází z jmenovitého proudu vysílače. Nové výroby připojované mimo přípojnic s vysílačem HDO nesmí způsobit větší útlum šíření signálu než je 5% stávající úrovně signálu HDO.

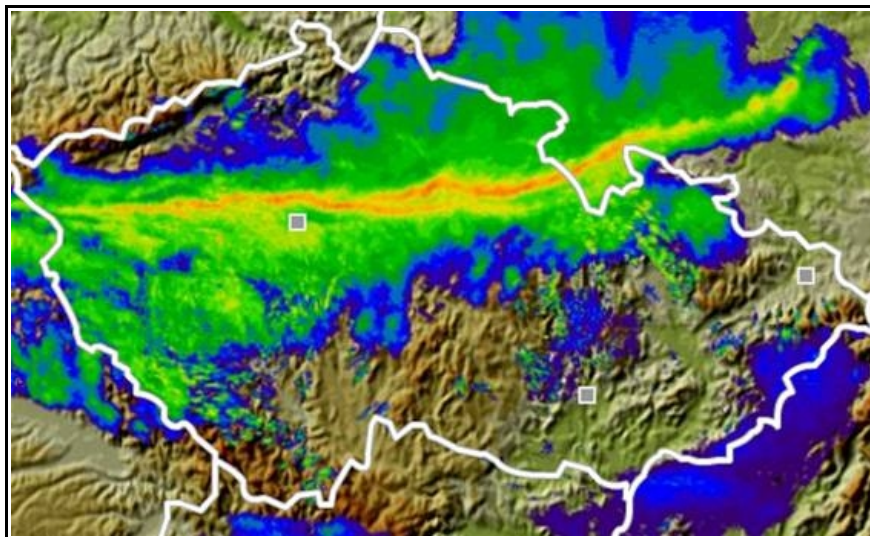
Poznámka: Pravidla pro připojování nových zdrojů v PPS se výrazně neliší od PPDS, odlišnosti jsou zejména v mezích kritérií v daných případech.

2.6. Návrh opatření pro připojování OZE do pravidel PPDS

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

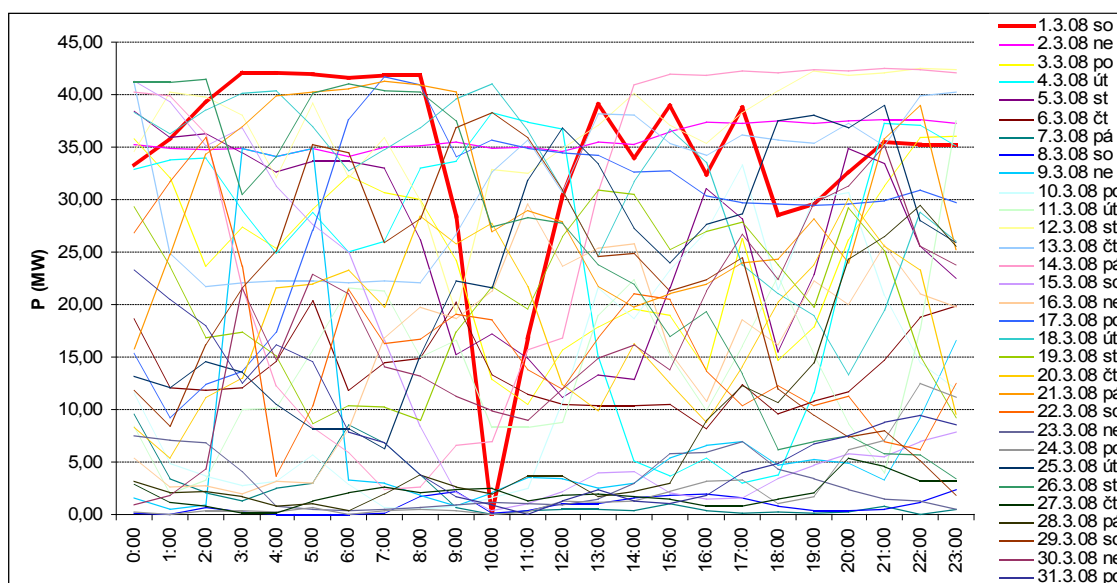
Zcela nestandardní situace, kterou současná PPDS nezahrnují, může nastat v případě, kdy do uzlu 110 kV jsou již vyvedeny některé výroby OZE kolísavého charakteru nezanedbatelného výkonu (např. VP) a na PDS jsou podány další požadavky na připojení nových OZE do daného uzlu. Při přechodu povětrnostních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

konstrukční rychlost VTE). Pak dochází k bezpečnostnímu odpojení výroby od sítě (viz. řada zkušeností z provozu VTE v Německu, příp. Španělsku)



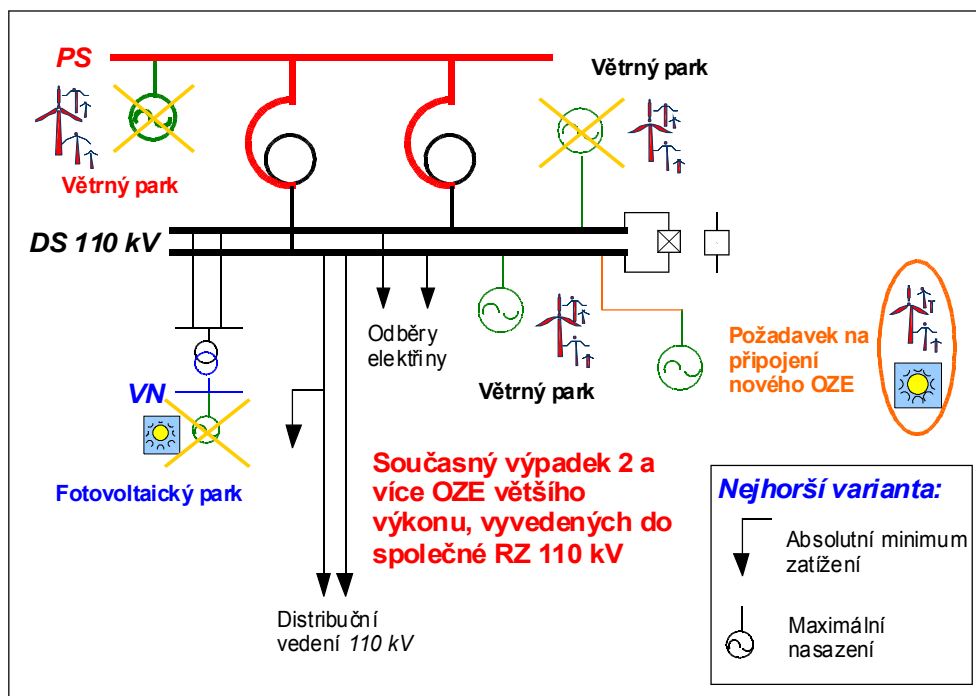
Obr. 2.1. Přechod povětrnostní fronty přes území ČR (19.1.2007)

Ve velice krátkém čase tak dochází k odpojení téměř celého nominálního výkonu VP (jednotlivé větrné turbíny jsou stejné konstrukce). Příkladem může průběh dodávky výkonu z VP Kryštofovy Hamry z 1.března 2008 při vichřici Emma na obrázku 2.2. (úder blesku vyřadil řídicí systémy VP) [3]. 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.



Obr. 2.2. Průběh denní dodávky z VP Kryštofovy Hamry v březnu 2008 [3]

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 2.3.

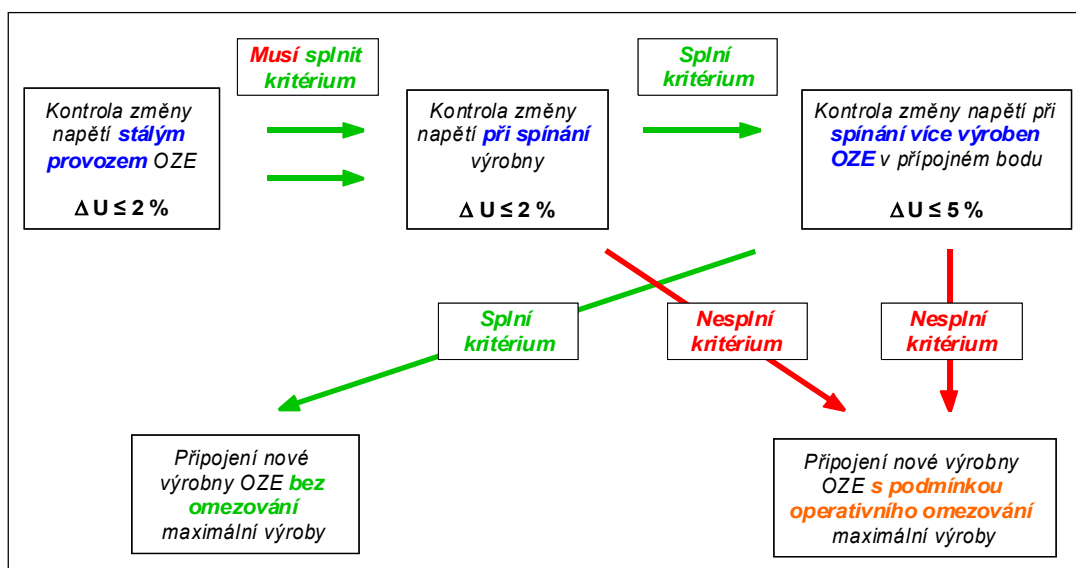


Obr. 2.3. Schématické znázornění současného výpadku několika výroben OZE v napájecím uzlu v souvislosti s požadavkem na připojení dalšího nového OZE kolísavého charakteru

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 výrobní OZE kolísavého charakteru, se provede kromě sepnutí této výrobní i kontrola při sepnutí výrobní OZE (kolísavého charakteru) s největším instalovaným výkonem připojeným do daného uzlu. Velikost limitu pro 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 a musí zůstat snahou primárně předcházet velkým kolísáním produkce elektřiny v soustavě. V dalších částech práce bude předpokládána dovolená hodnota změny napětí při sepnutí více výroben OZE $\Delta U_{\max} \leq 5\%$.

Pokud změna napětí nevyhoví dovolenému limitu ($\Delta U_{\text{vn}} \leq 5\%$), 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 2.4.



Obr. 2.4. Metodika posuzování připojování nových výroben OZE s kolísavým charakterem dodávky z hlediska změny napětí v přípojném místě

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.

Nutno poznamenat, že tento stav není pro současnou situaci zatím příliš podstatný a jeho využití bude nutné v rámci několika budoucích let, kdy se očekává připojování největšího množství OZE. Jelikož síť DS 110 kV trpí celkově výrazným nedostatkem volné kapacity pro připojení nových zdrojů, vyskytují se v současnosti pouze výjimečné případy, kdy do jednoho uzlu 110 kV je vyvedeno více OZE (např. RZ Šternberk – VTE Hraničné Petrovice, Kříž. Vrch; RZ Šumperk – VTE Mravenečník, VTE Mladoňov; RZ Horní Životice – VP Rejchartice, VP Oderské vrchy). Nicméně tento stav je dlouhodobě neudržitelný a v budoucnu bude do DS na všech napěťových hladinách připojeno mnohem více OZE a je úkolem již nyní, nalézt takové připojovací a provozní podmínky pro OZE s kolísavým charakterem provozu, aby investice do

sítí byly pokud možno minimální s maximálním efektem pro připojované zdroje a řízení soustavy.

- **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 obtížně systémově říditelné, avšak na vyšších napěťových hladinách jsou OZE sjednocovány a připojovány ve velké výrobní parky, disponující desítkami MW instalovaného výkonu. V současné době jsou zatím vyvedeny pouze dva VP do sítě 110 kV ES ČR – Kryštofovy Hamry v severních Čechách ($P_{\text{inst}} = 42$ MW) a Horní Loděnice (27 MW) v Jeseníkách. Nicméně PDS trvale aktualizuje seznam žádostí o připojení velkých výroben OZE do uzlů 110 kV. Proto je vhodné, již nyní připravit pravidla pro provoz OZE připojovaných do vyšších napěťových hladin (110 kV a PS), aby splňovaly alespoň základní požadavky na regulaci ES ČR. 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 porušení v předchozí kapitole popsaného pravidla o dovolené změně napětí v přípojném uzlu (toto pravidlo by mělo být směrodatným k omezování produkce v extrémních stavech) viz. obrázek 2.3. 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 nastávají (kromě jiného) 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. Předejde 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 to ekonomický velmi výhodné.

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 výrobní. Tato hodnota by měla vyplývat z četnosti rozložení výroby dané provozovny OZE. Horní pásmo dodávky výrobní OZE (70 % - 100 % P_{inst}) s četností pod 3% budou tímto pravidlem „oříznuty“, neboť tyto stavy nejsou velmi časté avšak pro soustavu jsou nebezpečné (viz. obrázek 2.5. - Četnost rozložení produkce VTE v následující kapitole).

Na druhou stranu výrobní 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 (pokrytí 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.

2.7. Výkon větrné energie a efektivita využívání VTE v ČR

A) Výkon a energie větru

Vítr je proudění vzduchu způsobené rozdíly atmosférického tlaku. Tyto rozdíly jsou důsledkem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením. Vzduch proudí z míst s vyšším tlakem vzduchu do míst s nižším tlakem vzduchu. Energie větru je ve své podstatě kinetickou energií pohybujícího se tělesa o definované hmotnosti m , které se pohybuje rychlostí v a je přímo úměrná hmotnosti a druhé mocnině rychlosti větru.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [\text{J; kg, m.s}^{-1}] \quad (2.1.).$$

Hmotnost tělesa (proudícího vzduchu) můžeme vyjádřit pomocí objemu V a hustoty vzduchu ρ_v :

$$m = \rho_v \cdot V = S \cdot l \cdot \rho_v \quad [\text{kg}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m}^3, \text{m}^2, \text{m}] \quad (2.2.),$$

kde je ρ_v hustota vzduchu,

S plocha protékaná daným objemem,

l vzdálenost, kterou urazí protékaný vzduch.

Výkon, který protéká jednotkovou plochou je pak vyjádřen následujícím vztahem:

$$P_v = \frac{E_k}{S \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot \frac{S \cdot l}{S \cdot t} \cdot v^2 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m}^2, \text{m}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}^2, \text{s}] \quad (2.3.),$$

kde t představuje dobu protékání tělesa protékanou plochou.

Pokud do vztahu (2.3.) dosadíme za rychlost v vztah:

$$v = \frac{l}{t} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}, \text{s}] \quad (2.4.),$$

tak dostaneme výraz pro výkon

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot v^3 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.5.).$$

Z výsledného vztahu (2.5.) vyplývá závislost výkonu větru procházejícího jednotkovou plochou 1 m^2 na hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti větru v .

Hustota vzduchu je obvykle určována z barometrického tlaku p_b [Pa], termodynamické teploty vzduchu T [K] a molární plynové konstanty vzduchu r [287,04 J.kg⁻¹.K⁻¹]. Určí se z následujícího vztahu:

$$\rho_v = \frac{p_b}{r \cdot T} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}; \text{Pa}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (2.6.).$$

Termodynamická teplota (Kelvinova) se stanoví pomocí početního vzorce a naměřené teploty vzduchu t [°C]:

$$T = 273,15 + t \quad [\text{K}, ^\circ\text{C}] \quad (2.7.).$$

Velikost atmosferického tlaku je závislá především na nadmořské výšce a s rostoucí výškou atmosférický tlak klesá podle závislosti:

$$p_h = p_0 \cdot (1 - 0,118358 \cdot 10^{-3} \cdot h + 0,5291 \cdot 10^{-8} \cdot h^2) \quad [\text{Pa}; \text{m}] \quad (2.8.),$$

kde h je nadmořská výška, ve které počítáme velikost tlaku.

Protože jsou rychlost i výkon větru časově závislé proměnné, je energie větru E_v protékající za dané časové období jednotkovou plochou vyjádřena vztahem:

$$E_v = \int_{t_0}^t P_v \cdot dt \quad [\text{W.s.m}^{-2}; \text{W.m}^{-2}, \text{s}] \quad (2.9.).$$

Při výpočtu protékající energie proudícího vzduchu je obvykle předpokládána konstantní teplota a hustota vzduchu. Za těchto předpokladů se pak vztah pro stanovení protékající energie zjednoduší do tvaru uvedeném ve vzorci (2.10.).

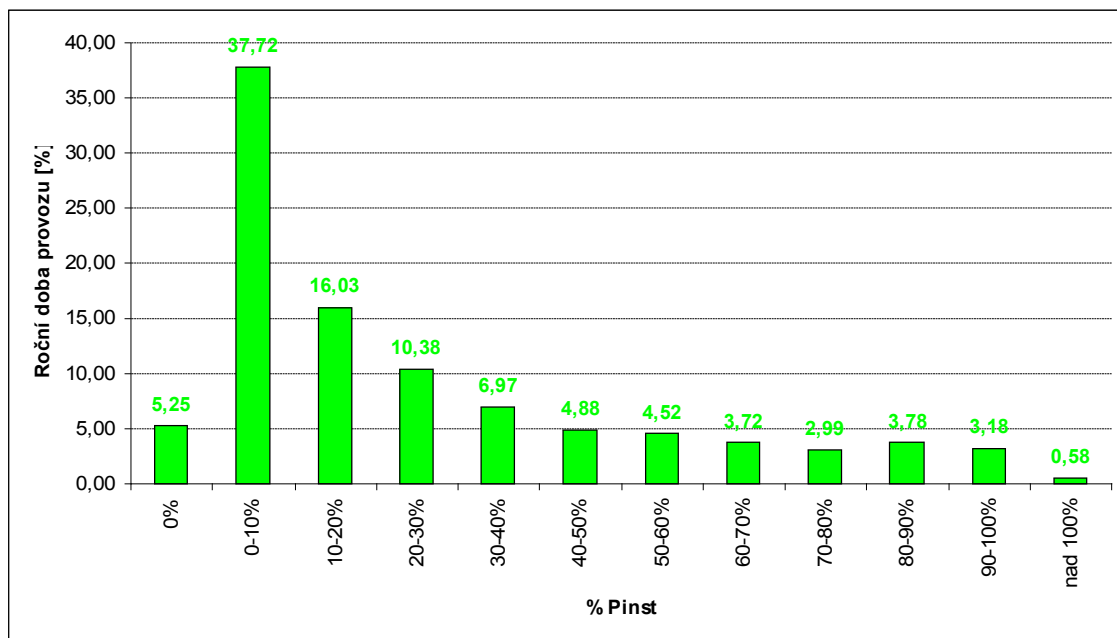
$$E_v = \frac{\rho_v}{2} \int_{t_0}^t v^3 \cdot dt \quad [\text{W.s.m}^{-2}; \text{kg.m}^{-3}, \text{m.s}^{-1}, \text{s}] \quad (2.10.).$$

Pro stanovení energie větru v dané lokalitě nejsou většinou údaje, které jsou nejčastěji k dispozici (průměrná rychlost větru) postačující. Pro výpočet celkové energie větru za delší časové období údaj o průměrné rychlosti větru v tomto časovém intervalu sám nepostačuje a je nutné vzít v úvahu četnost rozložení rychlostí větru v dané lokalitě. Více v [16, 17, 18 ,19].

B) Efektivita VTE v podmínkách ČR

Podmínky na území ČR nejsou zdaleka tak výhodné pro využívání VTE, jako v jiných, zejména přímořských oblastech. Intenzita a četnost větrů je ve vnitrozemských oblastech mnohem nižší než v přímořských oblastech. Pro efektivní využívání VTE je nutná především vysoká četnost středních až vyšších rychlostí rychlostním poli (Veibulovo rozložení). VTE obvykle pracují při rychlostech od 3 m.s^{-1} až do 25 m.s^{-1} , což je u většiny dnes standardně instalovaných strojů maximální konstrukční rychlost. Na následujícím obrázku 2.5. je Veibulovo rozložení produkce z VP Kryštofovy Hamry v severních Čechách (v současnosti jeden ze dvou VP vyvedený do sítě 110 kV [3]).

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY



Obr. 2.5. Četnost rozložení produkce v roce 2008 VP Kryštof Hamry [3]

Roční doba trvání výkonu VP Kryštof Hamry v roce 2008 vykazovala následující četnosti produkce:

Nedodávka	5,3 % provozované doby,
do 20 % Pinst	54 % provozované doby,
do 50 % Pinst	76 % provozované doby,
nad 50 % Pinst	18,8 % provozované doby,
nad 80 % Pinst	7,5 % provozované doby,
nad 90 % Pinst	3,8 % provozované doby [3].

Nejlepším parametrem ukazujícím efektivitu VTE je tzv. kapacitní faktor (capacity factor), neboli doba využití instalovaného výkonu elektrárny. Vypočítá se jako podíl skutečně dodané elektřiny ku maximálnímu možnému množství elektřiny, které by elektrárna mohla v průběhu roku za ideálních podmínek vyprodukovat. Ve vzorci lze tedy dobu využití instalovaného výkonu vyjádřit jako:

$$k_c = \frac{E_s}{t_r \cdot P_i} \cdot 100 \quad [\% ; \text{Wh, h, W}] \quad (2.11.),$$

kde k_c je doba využití maximálního instalovaného výkonu,

E_s vyrobená energie VTE v průběhu roku,

t_r je počet hodin v roce (8760 h) a

P_i je instalovaný výkon VTE.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

V přímořských oblastech dosahuje kapacitní faktor hodnot přes 50 % [20, 21], zatímco v podmínkách ČR se doba využití maxima u nejmodernější větrných motorů pohybuje od 25 % do 27 %. V případě našeho největšího větrného parku VP Kryštofovy Hamry, který vyrobil v roce 2008 přibližně 92 GWh je k_c asi 25,03 %, čemuž odpovídá 2 193 hodin provozu VP přepočteného na maximální výkon. Následující tabulka 2.2. přehledně udává dobu využití maxima VTE v podmínkách ČR, vypočítanou na základě dat o výrobě VTE v ČR zveřejněných ERÚ.

Jméno elektrárny	Uvedení do provozu	Celkový instalovaný výkon [MW]	Roční výroba elektřiny brutto [GWh]	Doba využití maxima [%]
Pavlov	2006	4,00	9,18	26,21%
Bantice, okres Znojmo	2008	2,00	1,62	9,22%
Kámen, okres Havlíčkův Brod	2007	2,00	5,79	33,06%
Pavlov	2006	1,70	2,5	16,76%
Nový Kostel - Skalná	2004	1,82	0,92	5,78%
Jáchymov - Neklid	2007	0,66	1,38	23,94%
Trojmezí u Aše	2008	2,70	1,37	5,78%
Lysý Vrch u Albrechtic	2004	3,10	5,3	19,51%
Jindřichovice	2003	1,20	1,33	12,69%
Nová Ves	2007	2,00	4,58	26,16%
Klíny	2007	2,00	4,67	26,63%
Klíny	2007	2,00	4,76	27,17%
Měděnec	2007	7,50	11,9	18,11%
Kryštofovy Hamry, Rusová	2007	42,00	93,21	25,33%
Loučná	2004	1,80	2,89	18,35%
Petrovice	2005	2,00	5,24	29,93%
Petrovice II	2007	2,00	4,12	23,49%
Nová Ves v Horách	2008	8,00	1,49	2,12%
Nové Město - Vrch Tří pánů	2006	6,00	13,32	25,34%
Nová Ves v Horách	2003	3,35	5,91	20,15%
Anenská Studánka	2008	1,25	0,36	3,30%
Solitary	2006	0,60	0,54	10,25%
Pohledy, Horní Hynčice	2004	0,50	0,47	10,66%
Anenská Studánka	2006	0,25	0,23	10,59%
Pohledy	2006	0,25	0,26	12,05%
Žipotín	2006	0,60	0,59	11,26%
Anenská Studánka D6	2008	3,75	1,92	5,83%
Pchery	2008	6,00	3,94	7,49%
Žipotín	2007	4,00	2,85	8,14%
Hraničné Petrovice	2006	0,85	1,62	21,74%
Loučná nad Desnou - Mravenečník	1993	1,17	0,45	4,40%
Brodek u Konice	2007	1,20	1,6	15,17%
Mladoňov	2004	0,50	0,29	6,62%
Hraničné Petrovice	2005	0,85	1,37	18,45%
Norberčany, Stará Libavá	2007	2,00	4,16	23,74%
Ostružná	1994	3,00	2,7	10,27%
Drahany	2006	2,00	6,35	36,24%
Odry - Veselí	2006	4,00	9,99	28,52%
Potštát, Lipná	2008	2,00	4,2	23,99%
Maletín	2008	2,00	2,9	16,55%
Protivanov	2005	3,00	5,19	19,76%
Průměr za vybrané VTE				17,12%

Tab. 2.2. Doba využití maxima vybraných VTE v ČR [21]

2.8. Shrnutí kapitoly

PPDS slouží jako směrnice pro provoz a řízení všech zdrojů elektrické energie připojených do DS. Při současném tempu rozvoje malých dispersních jednotek OZE s výrazně stochastickým charakterem provozu, je třeba prohloubit PPDS o nařízení a pravidla pro tyto zdroje s kolísavým charakterem produkce elektřiny. Na praktických příkladech z nejen zahraničních zkušeností jsem v této kapitole poukázal na hlavní problémy sítí s velkým zastoupením těchto zdrojů a na nezbytné opatření a přípravy ES ČR na mohutnou integraci OZE, která se v následujících letech očekává.

Hlavním návrhem pro doplnění kodexu DS je opatření k zavedení povinnosti řídit produkci OZE ve vybraných situacích. Jedná se o mezní situace, kdy v důsledku náhlých změn počasí dojde k prudké změně dodávaného výkonu z OZE, především pak v případech, kdy síť nejsou v základním, tj. plném provozním zapojení. Z tohoto důvodu jsem navrhl dvě nová pravidla pro PPDS, umožňující operátorovi DS operativně omezit výrobu těch elektráren, které ve studii připojitelnosti překročily v limitních provozních situacích (jako je u VTE dodávka jmenovitého výkonu) podmínky připojitelnosti výroby.

Druhé nové pravidlo se týká dovolené změny napětí při spínání několika výroben OZE s kolísavým charakterem dodávky najednou, vyvedených do společné rozvodny 110 kV. Kritérium vychází z praktické potřeby stabilizace napětí v případech, kdy je v oblasti se slabou sítí vybudováno několik velkých výroben OZE s kolísavým charakterem dodávky. Tyto místa přesně odpovídají v ČR odlehlym (horským) oblastem s nízkou spotřebou a slabými přenosovými linkami. Pokud změna napětí při sepnutí více výroben v jednom přípojném místě nesplní povolenou hodnotu změny napětí, dojde opět k operativnímu omezení výroby v daném uzlu, aby se předešlo neúměrnému kolísání napětí v daném uzlu. Výši dovolené změny napětí jsem vyvodil z pravidla pro dovolenou změnu napětí při poruchách, neboť se jedná o ne příliš častý jev a lze jej tudíž považovat za výjimečný.

Nová pravidla by v zásadě měla usnadnit operátorům DS alespoň omezeným způsobem umožnit řízení nových dispersních zdrojů s výrazně stochastickou dodávkou elektřiny, dokud bude trvat neúměrná legislativní podpora OZE. V opačném případě není dlouhodobý růst instalovaného výkonu těchto zdrojů v soustavě možný a povede ke snížení spolehlivosti provozu ES a k nižší zabezpečení a případným kritickým provozním stavům až k nejhorší situaci (celkové zhasnutí, neboli blackout).

3. RIZIKA PROVOZU SÍTÍ ČR S VELKÝM ZASTOUPENÍM KOLÍSAVÝCH OZE A KAPACITA SÍTÍ ES ČR PRO PŘIPOJENÍ NOVÝCH OZE

V následující kapitole se práce zaměřuje na propozice sítě 110 kV a okrajově na přenosové sítě 400 kV a 220 kV v souvislosti s mohutným rozvojem kolísavých (stochastických) OZE v ČR. Stručně se věnuje potenciálu větrné energetiky v jednotlivých regionech ČR a pokračuje analýzou současného kapacitního stavu elektrických sítí pro připojení nových zdrojů. Jsou stanoveny hodnoty aktuální kapacity distribučních sítí 110 kV pro připojení nových zdrojů (jak konvenčních elektráren, tak nových alternativních), u sítí PS 400 kV a 220 kV jsou určeny omezující faktory při vyvedení nových zdrojů. Výsledky analýzy poukazují na nejslabší prvky (úzká místa) jednotlivých sítí z pohledu připojení nových zdrojů do soustavy. Tato část disertační práce je vhodná jako podklad pro pokračování ve studiu a výzkumu dané problematiky (optimalizace připojování nových zdrojů do ES ČR a neefektivnější investice pro posilování sítí s ohledem na připojení nových zdrojů). Z výsledné volné kapacity jsou pak určeny části, které se předpokládají pro připojení jednotlivých typů elektráren (VTE, FVE, ostatní), podle aktuálního trendu rozvoje zdrojů. V závěrech jsou vyvozeny souhrnná doporučení pro rozvoj, zabezpečení a posilování DS v nejbližší době. Část výsledků této analýzy byla zpracována ve spolupráci s EGÚ Brno, a. s. a s Ústavem elektroenergetiky FEKT VUT v rámci výzkumné studie pro Ministerstvo životního prostředí v letošním roce. V úplném závěru kapitoly jsou shrnuty praktické zahraniční zkušenosti se zálohováním VTE (akumulace), jako budoucím „standardem“ OZE s proměnlivou a nestálou dodávkou energie.

Cílem kapitoly je určit na základě technického stavu sítí velikost aktuálně připojitelného výkonu, bez nutnosti výrazných investic do DS 110 kV a PS 400 kV a 220 kV členěnou do regionů dle napájecích oblastí sítě 110 kV z přenosové sítě.

Úvod do problematiky

V současné době nastává mohutný rozvoj OZE v celoevropském měřítku. Požadavky investorů na připojení nových OZE v ČR, především VTE a FVE do distribučních sítí, v mnohých případech převyšují stávající technické možnosti sítí. Distribuční společnosti musely přistoupit k sestavení pořadníků žádostí o připojení podle termínu jejich podání a pravidel vyřizování žádostí. Další očekávaný vývoj těchto OZE již nyní vyžaduje zvýšené požadavky na PS a DS. Při současném tempu integrace nových VTE bude ES v nejbližší budoucnosti vyžadovat výrazné úpravy a opatření, a to jak v oblasti síťového vyvedení výkonu z VTE, tak v oblasti regulačních služeb ES. Na tyto požadavky vyplývající z trvalého růstu instalovaného výkonu ve větrných elektrárnách musí jednotlivé ES ve svých rozvojových

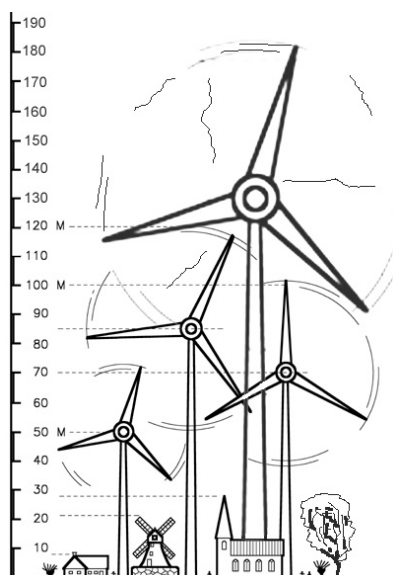
3.1. Aktuální trend rozvoje OZE a technický stav ES ČR

ČR se stejně jako zbytek EU zavázala zvýšit podíl elektřiny vyrobené z OZE a v roce 2005 vydala Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE. Od této doby se razantně zvedl zájem investorů o tyto alternativní zdroje. Výrazným způsobem narůstají požadavky na připojování nových zdrojů do ES, na což jednotlivé regionální energetiky nebyly a dosud nejsou plně připraveny. Česká přenosová soustava byla budována v 60. až 70. letech 20. století, přičemž v této době byla velmi dobře dimenzována. Od této doby se výraznějším způsobem nerozvíjela, pouze se posilovaly stávající vedení za vedení s vyšší přenosovou kapacitou. Nové koridory pro vedení PS a 110 kV se velmi obtížně prosazují z důvodů územně správních omezení. Výstavba nového vedení 110 kV je díky legislativním a právním zákonům velmi finančně náročná, neboť PDS/PPS musí vykoupit, nebo jinak legislativně zajistit všechny územní plochy, přes které má plánované vedení vést, včetně ochranných pásem. Tato okolnost tudíž výstavbu velmi prodlužuje a neúměrným způsobem prodražuje. Pokud nenastanou žádné větší komplikace (majitel požadující nepřiměřenou cenu za svůj pozemek), tak v současné době trvá proces projednání a výstavby nového vedení PS nebo 110 kV přibližně 7 až 15 let.

V celoevropském měřítku již využívání VTE pro výrobu elektřiny nabylo na energetickém významu. K tomu směřuje též politická a ekonomická podpora při jejich výstavbě a využívání.

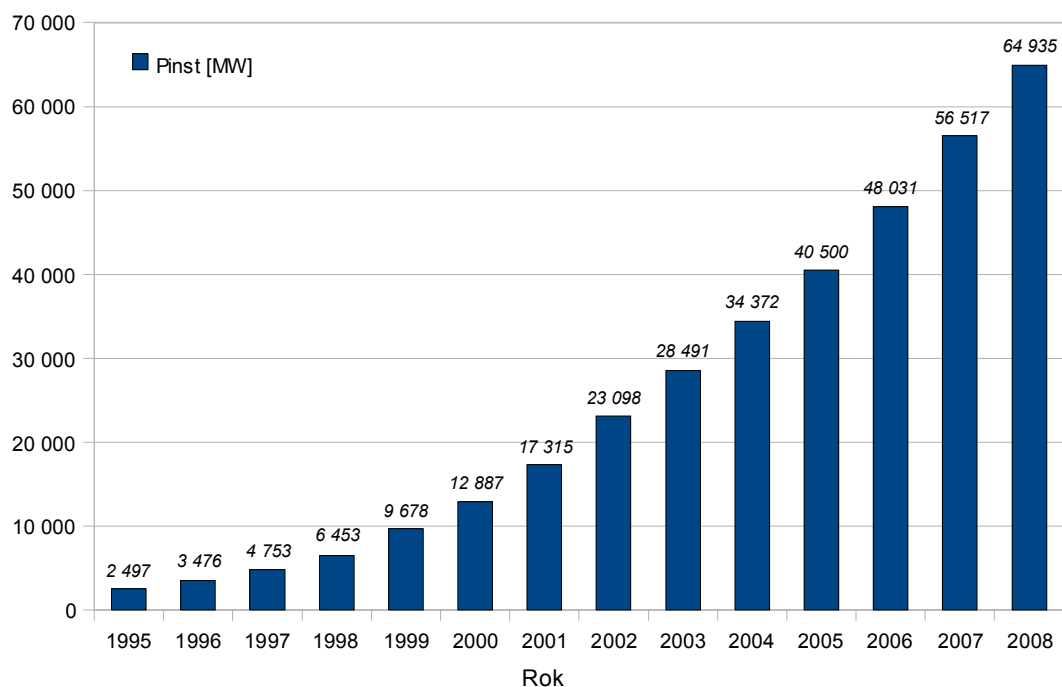
Ve vhodných lokalitách investoři VTE obvykle připravují výstavbu většího počtu věží ve vybrané oblasti a výkon je sveden vnitřní sítí větrného parku do sběrné rozvodny – transformovny. Odtud je připojovacím vedením výkon vyveden do elektrické sítě DS nebo PS. Připojovací vedení je vedeno do nejbližší vhodné rozvodny PS nebo DS, kterou určí provozovatel PS nebo DS jako místo připojení. Protože pro připojení je nutné provést nezbytné úpravy v zařízeních energetiky, je snahou provozovatelů sítí minimalizovat počet míst pro připojení větrných parků do sítí.

Stále roste velikost jednotkového výkonu VTE, který dnes dosahuje u komerčně využívaných jednotek výkon 2 až 3 MW, ve zkušebním provozu jsou jednotky o výkonu 5 MW. Viz. ilustrační obrázek 3.2. Značně rozvinutá technologie výroby větrných elektráren umožňuje jejich výstavbu a využívání i v oblastech s méně vhodnými větrnými podmínkami a oblastech špatně dostupných (lesy, hřebeny špatně přístupných hor, atd.). V oblastech s velmi dobrými povětrnostními podmínkami – především v mořských pobřežních oblastech – se již budují větrné parky a větrné farmy sdružené ve velkých skupinách s instalovaným výkonem větším než 100 MW (např. [4]).



Obr. 3.2. Vývoj velikosti větrných turbín

V Evropské Unii je v současné době (konec roku 2008) celkový instalovaný výkon VTE 64 935 MW, s meziročním přírůstkem +8 484 MW. Přitom 18 zemí EU 27 mají instalovaný výkon VTE vyšší než 100 MW. Mezi země s největším zastoupením VTE v Evropě patří Německo, Španělsko, Dánsko, Velká Británie, Irsko, Portugalsko a některé další, především přímořské země [5]. Pro srovnání, současný instalovaný výkon všech zdrojů v ES ČR činí cca 17 500 MW.

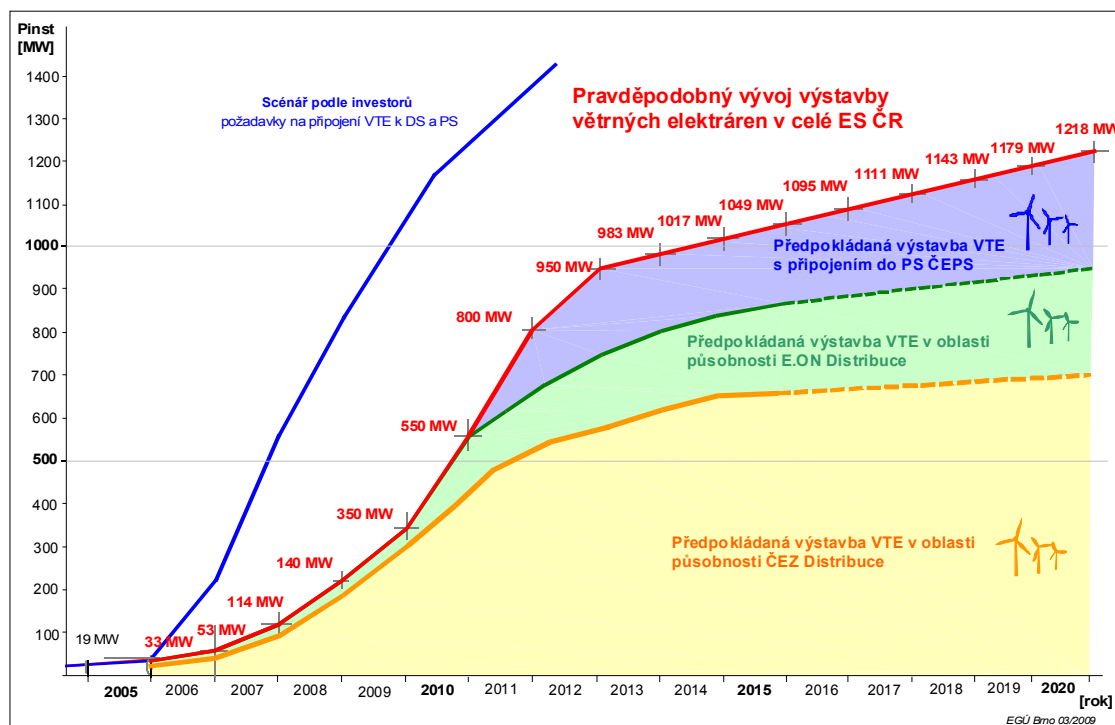


Obr. 3.3. Vývoj instalovaného výkonu VTE v regionu EU 27 (zdroj: EWEA)

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Podle zájmu investorů a politické podpory výstavby OZE (VTE/FVE) lze očekávat, že jejich instalovaný výkon v nejbližším období značně poroste i v ES ČR a kolem roku 2010 může dosáhnout 500 až 600 MW. Předpokládaný rozvoj VTE v ČR je na základě dlouhodobého sledování požadavků investorů a pravděpodobnosti realizace záměrů znázorněn na následujícím obrázku 3.4. Dlouhodobé sledování problematiky rozvoje VTE však vykazuje časový posun mezi plánovaným scénářem rozvoje podle investorů větrné energetiky a realizacemi jednotlivých VTE a VP. Toto zpoždění je způsobeno mnoha faktory zejména těžkopádným prosazováním VTE u ekologických organizací a obyvatelstva, nutností zpracovat studií posuzující vliv na životní prostředí, získání územně správního povolení, ekonomická náročnost atd. Časový skluz je přibližně 3 roky oproti původnímu předpokládanému termínu vyvedení do provozu. Realizovatelnost se odhaduje na 10 % všech původně zamýšlených projektů na výstavbu výroben OZE.

Velikost celkového výkonu větrných zdrojů spolu s koncentrací do malého počtu vhodných lokalit bude výrazným prvkem ovlivňujícím poměry v elektrických sítích v dotčených oblastech. Stochastický charakter dodávky elektřiny z těchto zdrojů může potom značnou měrou ovlivnit poměry v celé ES, především z hlediska její regulovatelnosti, spolehlivosti pokrytí diagramu zatížení a udržování mezinárodního salda na dohodnuté úrovni. Tyto negativní vlivy na provoz ES spolu s problematikou připojení VTE do sítí, řízení a regulace větrných elektráren jsou výrazným důvodem, proč je třeba se připojováním těchto obnovitelných zdrojů do ES zabývat a věnovat jim již v předprojektovém stádiu zvýšenou pozornost.



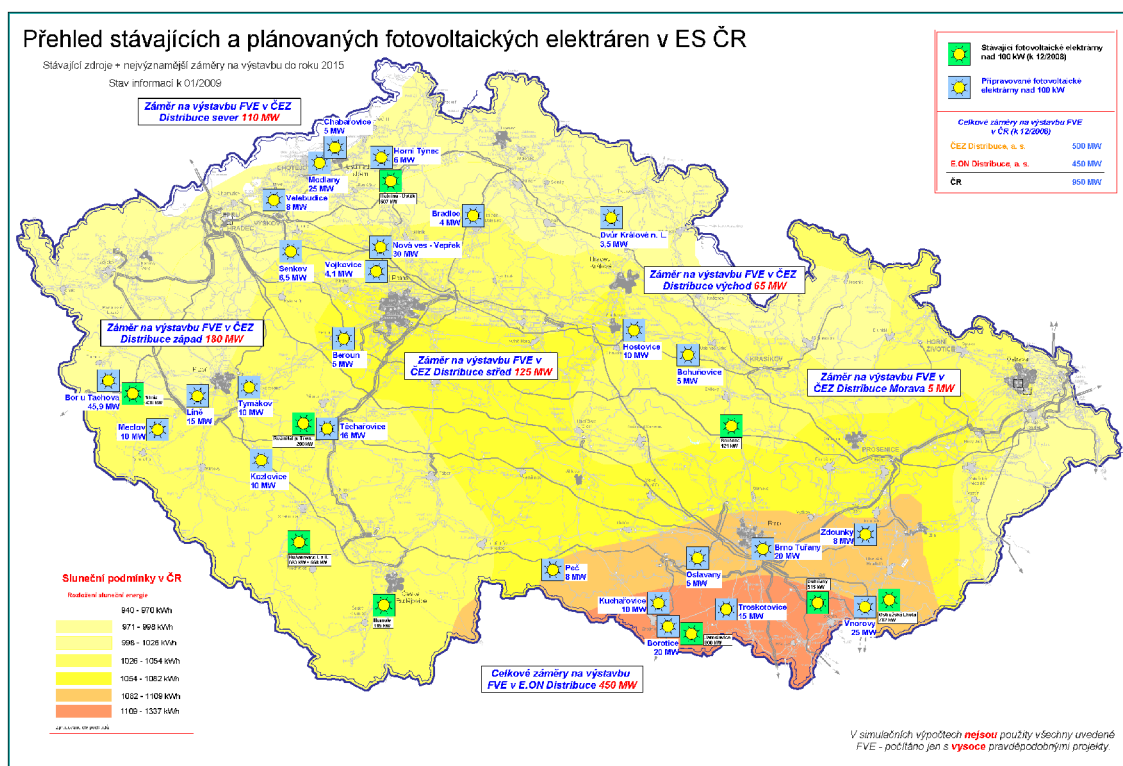
Obr. 3.4. Předpokládaný vývoj instalovaného výkonu VTE v ES ČR

3.2. 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, jak je patrné z rozložení intenzity slunečního svitu v ČR na obrázku 3.5. Je tedy zřejmé, že tyto sluneční podmínky nemají primární vliv na návratnost projektu. Návratnost projektu je v tomto případě dána zejména výší pevných výkupních cen elektřiny (PVCE). 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], přičemž garance PVCE je na 15 let. Další výhodou FVE je mnohem snadnější průběh povolenacích procesů, který není zdaleka tak obtížný jako u jiných druhů OZE (hlavně VTE).



Obr. 3.5. Rozložení intenzity slunečního záření v ČR a přehled stávajících a připravovaných fotovoltaických elektráren

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.

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

- vyjádření vlastníků půdy k výstavbě VTE,
- vyjádření místních samospráv k výstavbě VTE,
- vyjádření krajských zastupitelstev – hejtmanství k výstavbě VTE,
- omezení vyplývající z posudků vlivu na životní prostředí (EIA),
- kapacity sítí pro připojení VTE a možnosti ES pro integraci VTE (Pozn.: řešeno v dále v samostatné kapitole),
- další blíže nespecifikovatelná omezení (postoj veřejnosti v místě výstavby a další nepredikovatelná omezení).

Výsledný potenciál pak udává odhad celkového instalovaného výkonu v ČR za předpokladu, že všude, kde výstavbě VTE nebrání dokladovatelná omezení, budou VTE postaveny. Jedná se pouze o teoretickou hodnotu možného instalovaného výkonu VTE.

3.2.1. Metodika stanovení větrného potenciálu v ČR

Metodika stanovení využitelného výkonu VTE 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 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. Jednotlivé mapy byly zpracovány různými odbornými pracovišti a institucemi a jsou ve většině případů dostupné na internetových stránkách státní správy.

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. Průměrná rychlost větru nad 6 m.s^{-1} je totiž předpokladem efektivního využití větrné energie, což je nezbytné pro efektivní a komerční provoz VTE. 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 těchto veřejně dostupných map ve vysokém rozlišení:

- Chráněné krajinné oblasti (CHKO) a Národní parky (NP) České republiky [10].
- Vojenské prostory, velká letiště a rezervovaný vzdušný prostor s výškou spodní hranice ≤ 300 stop (tj. 91,5 m) nad úrovní terénu – tzv. nízký vzdušný prostor (NVP) [11].
- Databáze mapových podkladů EGÚ Brno, a. s. (neveřejný datový zdroj)
- Silnice, dálnice, železnice a velké městské aglomerace, včetně ochranného prostoru kolem těchto staveb v rozsahu cca 500 m na každou stranu [12].
- Důležité liniové stavby: ropovody, plynovody a elektrická vedení ZVN a VVN (400 kV, 220 kV a 110 kV) včetně ochranného pásma 150 m na každou stranu [13].
- Hlavní vodní toky ČR s uvažováním ochranného prostoru cca 150 m na každou stranu [14].
- Historické a krajinné dominanty s ochranným pásmem o poloměru 10 km (podle zásad tvorby a ochrany krajiny) Pro vlastní výpočet celkové plochy využitelné pro výstavbu VTE byl použit výběr asi 70ti dominant stanovený v EGÚ Brno, a. s. pro oblasti s vhodnými podmínkami pro VTE.

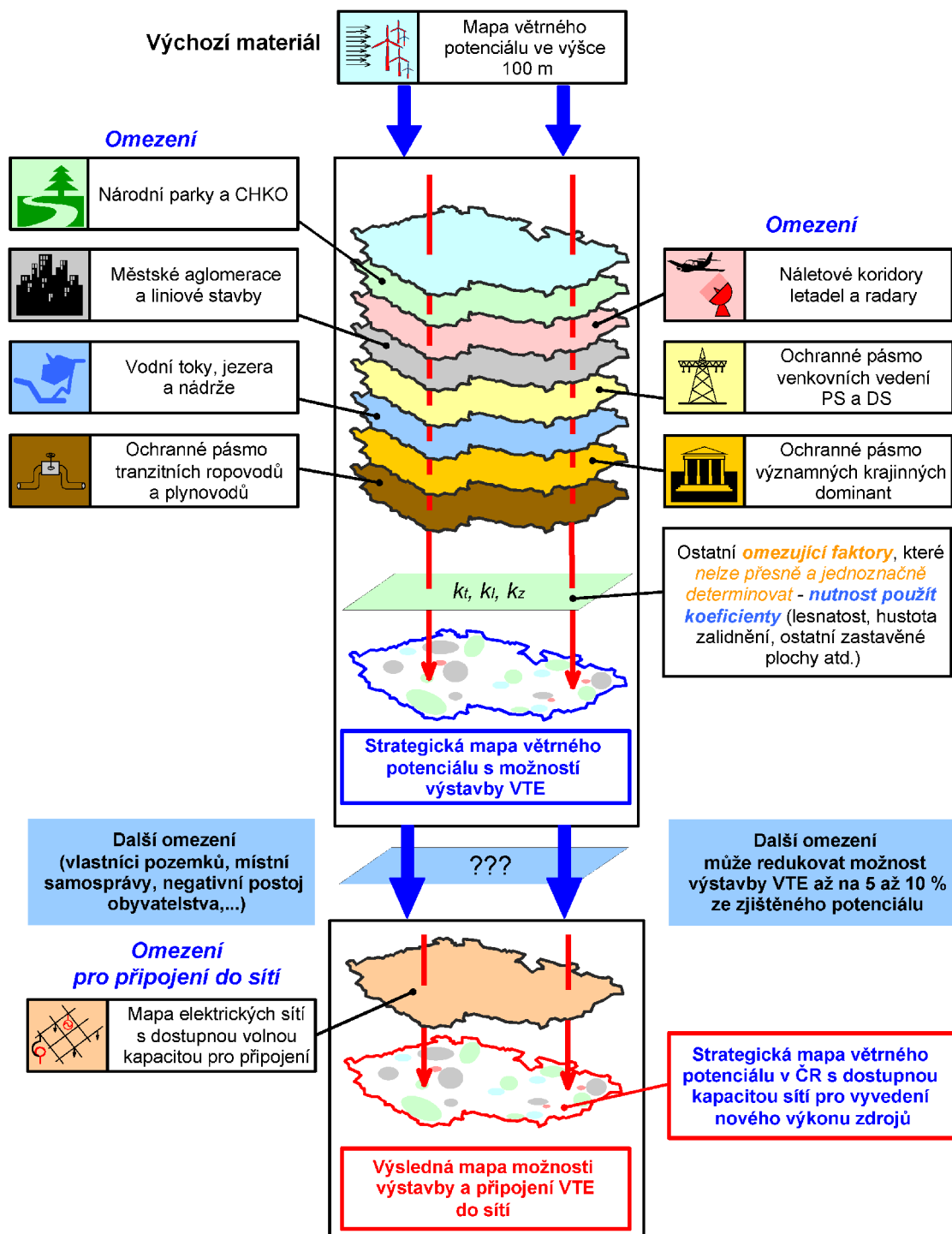
Okolnosti zahrnutí posledního bodu – krajinné dominanty - do metodiky je nutné trochu více rozebrat. Problematikou zásahů staveb do krajiny se zabývá zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, § 12 (Ochrana krajinného rázu a přírodní park). Krajinným rázem se v tomto smyslu rozumí přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa. Krajinný ráz je chráněn před činnostmi snižující jeho estetickou či přírodní hodnotu. Umisťování a povolování staveb zasahujících do krajinného rázu je povoleno pouze s ohledem na zachování významných krajinných prvků, kulturních dominant krajiny, harmonické měřítko a vztahy v krajině. K umisťování a povolování staveb, které by mohly snížit či změnit krajinný ráz, je nezbytný souhlas orgánů ochrany přírody. Tato omezení je potřeba přiměřeným způsobem zanást do metodiky stanovení potenciálu, neboť je velmi pravděpodobné, že pokud se investor bude snažit o výstavbu VTE v blízkosti výše popsaných (i když blíže zákonem nedefinovaných) objektů, musí počítat s komplikacemi či zdržením realizace celého projektu. Proto jsou takováto místa označena jako nevyhovující, nebo alespoň nevhodná pro výstavbu VTE. Vzhledem k tomu, že výše zmíněné pojmy jako „harmonické měřítko“ či „vztahy v krajině“ lze jen těžko technicky a obecně definovat a jejich vnímání je značně subjektivní, individuální a závisí na konkrétní dispozici v krajině, je problematické určit obecně přijatelnou vzdálenost VTE - krajinná dominanty. S přihlédnutím k faktu, že většina vhodných míst pro výstavbu VTE se nachází v hornatém terénu, případně na náhorních plošinách, je tato velikost ochranného pásma přiměřená. Uvedená ochranná pásma předpokládají minimální vzdálenosti VTE od staveb a zařízení, které zajistí jejich bezpečnost v případě havárie VTE.

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 výsledná hodnota jednotkového výkonu násobí koeficienty omezení.

Celkový postup při určování velikosti vhodné plochy pro výstavbu VTE je znázorněn na následujícím obrázku 3.7.

**Schématický průnik omezujících faktorů
výstavby větrných elektráren**



Obr. 3.7. Schématické znázornění metodiky stanovení využitelného výkonu VTE na území

ČR

3.2.2. Praktické využití metodiky

Tato metodika určení využitelného výkonu VTE na území ČR byla použita při zpracování výzkumného projektu pro Ministerstvo životního prostředí v roce 2009 Ústavem elektroenergetiky FEKT VUT Brno. Pracovalo se s mapami s rozlišením 4026 x 2334 pixelů, tzn. 1 pixel odpovídá 120 m ve skutečnosti. Pro vyhodnocení plochy reprezentující využitelný potenciál byl použit program „Mathematica“, který pracuje s mapami jako se soubory dat a je schopen pomocí matematických operací nad těmito soubory provádět průniky map s vysokou přesností. Metodika je tedy závislá pouze na přesnosti vstupních dat (viz rozlišení). Výsledná plocha reprezentující využitelný potenciál VTE v České republice byla stanovena na 5700 km², což představuje asi 7 % celkové plochy ČR, čemuž odpovídá na základě dvou řešených variant jednotkových ploch VTE větrný potenciál 12,5 GW a 20,52 GW instalovaného výkonu VTE [15]. Jedná se o teoretickou hodnotu, která udává výkon VTE při úplném pokrytí všech ploch, na kterých je možné stavět VTE s patřičnou účinností.

První varianta - 20,5 GW je velmi optimistická hodnota a při výpočtu byla uvažována vyšší hustota instalovaného výkonu VTE na celkové ploše, kterou je možno použít pro výstavbu VTE. Je to hodnota, která nezohledňuje členitost terénu, lesnatost ani hustotu osídlení ČR. Zahrnuje pouze determinovaná omezení, která jsou vyjádřena plochami eliminovanými z mapy větrného potenciálu na území ČR.

Druhá varianta - 12,5 GW je hodnota, která se více blíží možnostem výstavby VTE na našem území. Zde je však nutno zdůraznit, že analýza pracovala s reálnými podmínkami, které lze vyjádřit váhovými koeficienty.

Další omezení, která jsou dána místní politikou nebo veřejným míněním, nelze ve žádným způsobem deterministicky určit a zohlednit ve výpočtu. Proto je s nutno s uvedenou hodnotou pracovat velmi obezřetně.

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.

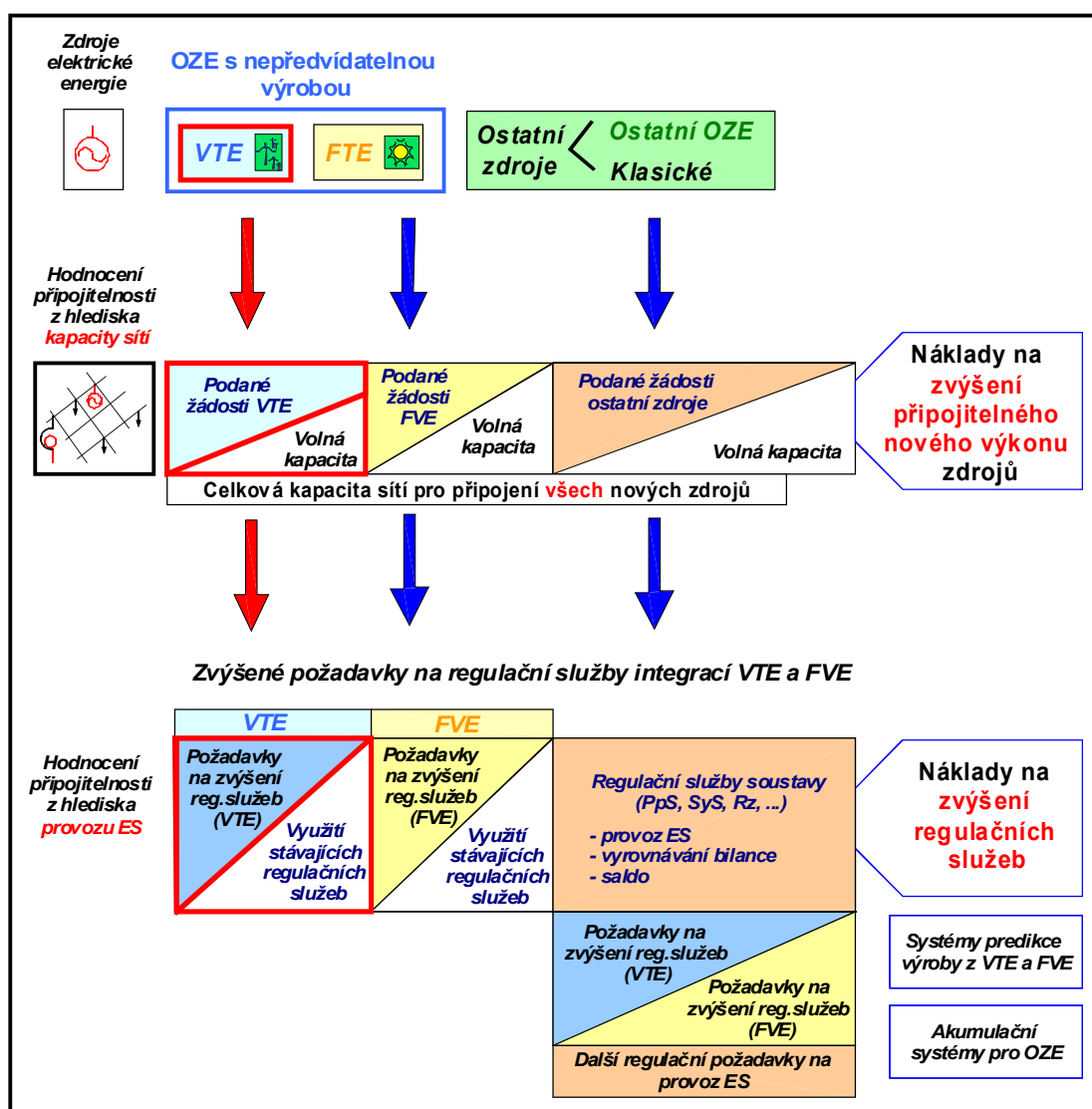
Je nutná zdůraznit, že kapacitní stav sítí pro připojení nových zdrojů vychází ze současného stavu elektrických sítí PS a sítí 110 kV (rok 2009) a neuvažuje se připravované posilování sítí jednotlivých distributorů kromě bezprostředního připojení VTE do sítí.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Na problematiku volné kapacity ES ČR lze pohlížet z více úhlů a hledisek. Na následujícím obrázku 3.8. je schématický rozbor této problematiky. Velikost připojitelnosti lze hodnotit ze dvou hlavních směrů – dle kapacity sítí a dle provozu a řízení (regulovatelnosti) ES ČR.

V prvním případě se hodnotí pouze schopnost sítí vyvést bezpečně výkon všech zdrojů a zajistit stabilitu soustavy (tzn. přetěžování síťových prvků, kritérium spolehlivosti N-1, překročení zkratového dimenzování prvků soustavy, atd.).

Ve druhém případě se musí uvažovat takový poměr zastoupení jednotlivých typů zdrojů, aby byla soustava schopná bezpečně připojit nejen velké množství nových disperzních OZE, ale zároveň byla schopna udržet stabilitu soustavy a bilanční rovnováhu při kolísavém charakteru dodávky výkonu z FVE a VTE (udržování výkonové rovnováhy na přeshraničních vedení, dispečerské řízení, dostatek systémových služeb pro regulaci výkonové rovnováhy ES, atd.).



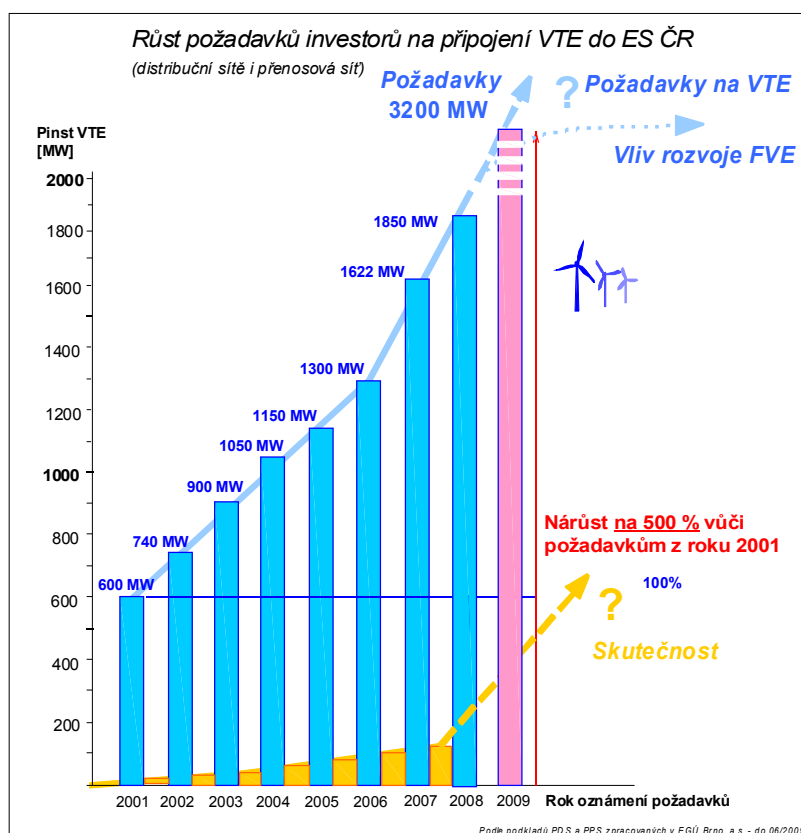
Obr. 3.8. Okolnosti integrace zdrojů do elektrických sítí a ES ČR

Stanovení volné kapacity pro připojení nových zdrojů v této práci je určována vzhledem k technickým možnostem sítí a tedy v souladu s prvním metodickým přístupem. Posuzování z celo-systémového hlediska je velice obtížná a komplexní problematika, vyžadující mnoho zkušeností v oblasti provozování a řízení ES ČR, simulační výpočtový model celé ES a rozsáhlou databázi vstupních podkladů.

3.3.1. Vstupní podklady

- Žádosti o připojení nových zdrojů

Současná energetika se rozvíjí s neobvyklou dynamikou, zejména ve zdrojové základně, což vede k vysokým požadavkům na připojení nových zdrojů do sítí. Zájem investorů o výstavbu nových zdrojů je stejně nahodilý a těžko předvídatelný, jako je provozní charakter některých druhů OZE. Trendy se mění velice často v závislosti na ekonomické efektivitě investic vložených do nového zdroje. Na následujícím obrázku 3.9. jsou dokumentovány trvale rostoucí požadavky investorů na připojení VTE do ES ČR tak, jak se v průběhu posledního období (od roku 2001) obraceli investoři s požadavky na připojení VTE na provozovatele PS a DS.



Obr. 3.9. Vývoj požadavků investorů na připojení VTE do ES ČR

Studie je založena na aktuálních podkladech o stavu podaných žádostech o připojení nových zdrojů v jednotlivých regionech k datu 31.3.2009. Žádosti byly rozděleny podle typu zdroje, napěťové hladiny připojení a lokality vyvedení dle jednotlivých uzlů 110 kV. Další vstupní

data jsou tvořena interní databází EGÚ Brno, a. s. síťových prvků, konkrétně informacemi o počtu a instalovaném výkonu distribučních transformátorů 110 kV/VN a napájecích transformátorů PS/110 kV, kterou jsem měl pro účely zpracování této disertační práce k dispozici.

- Výpočetní model sítí PS a DS 110 kV

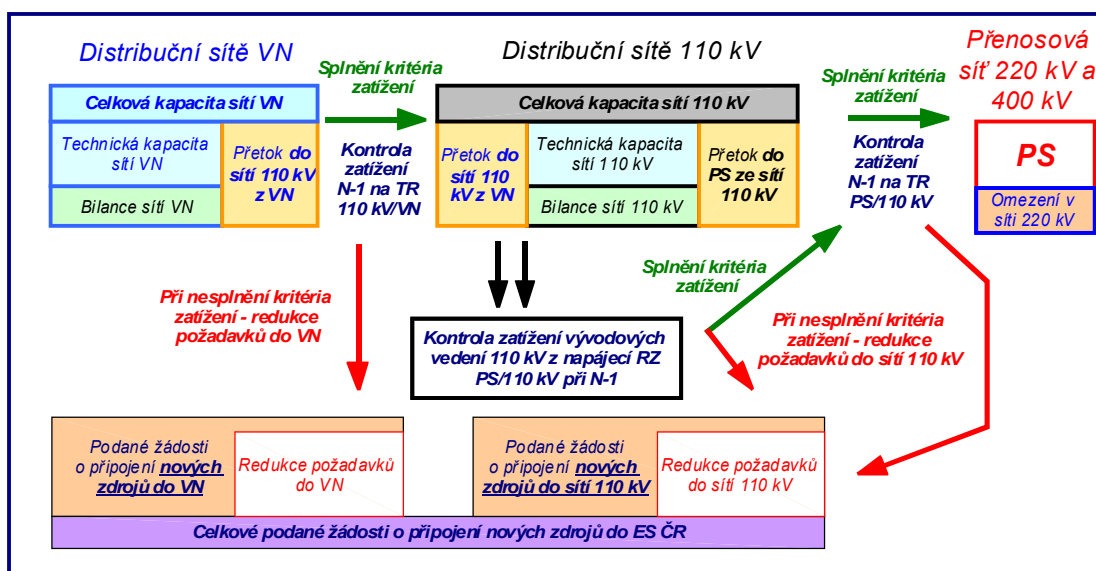
Společností EGÚ Brno, a. s. mě byl poskytnut k vytvoření analýzy dlouhodobě udržovaný simulační model sítí ES ČR, který obsahuje všechny distribuční i přenosové prvky ES ČR (DS 110 kV, PS 220 kV a 400 kV). Analýza tak vychází z aktuálního stavu sítí včetně nových vedení a rozvodů, které se plánují uvést do provozu v roce 2009. Rovněž je aktualizován instalovaný výkon zdrojů ve všech uzlech DS 110 kV podle aktuálních hodnot ze zimních měření v sítích 110 kV (výroba a spotřeba v jednotlivých uzlech sítě 110 kV v ES ČR). Vstupní data poskytnutá jednotlivými PDS jsem následně zpracoval do takové podoby, aby mohla být aplikována na aktuální model DS 110 kV a PS pro stanovení kapacitních možností těchto sítí pro připojení nových zdrojů.

Distribuční sítě 110 kV byly po všech nezbytných aktualizacích rozděleny do jednotlivých uzlových oblastí (UO 110 kV), tj. byla vyčleněna území a rozvodny 110 kV napájená v základním provozním schématu zapojení z jednoho napájecího transformátoru PS/110 kV (nebo z více paralelně spolupracujících transformátorů PS/110 kV). UO 110 kV napájené ze společné rozvodny PS/110 kV pak tvoří tzv. *napájecí oblast*. Každý napájecí uzel PS pokrývá region obvykle prostřednictvím 2 až 3 UO 110 kV. Přehled jednotlivých UO 110 kV pokrývajících území ČR je přehledně znázorněn na následujícím obrázku 3.10.

1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

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 sítí k roku 2009 bez uvažování jejich posilování a připravovaného rozvoje. Metodický postup výpočtu je přehledně znázorněn na následujícím obrázku 3.11.

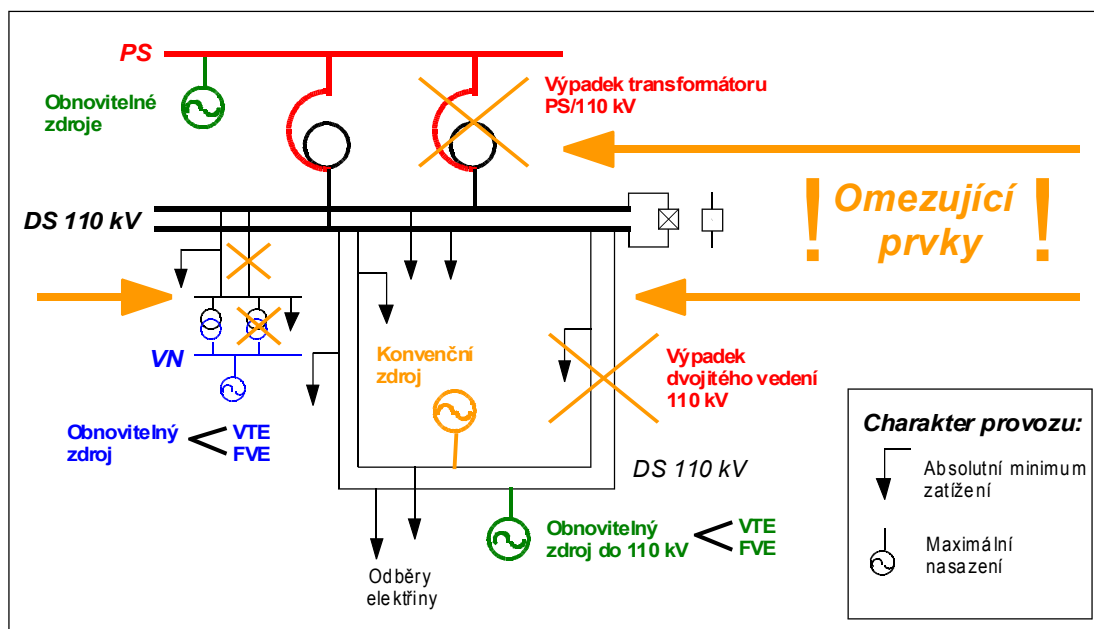


Obr. 3.11. Metodický postup výpočtu volné kapacity sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů

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. Použitá metodika kontroly spolehlivostním kritériem N-1 je přehledně znázorněna na následujícím obrázku 3.12.



Obr. 3.12. Metodika stanovení volné kapacity sítí a hlavní kontrolované omezující prvky soustavy

Vzhledem k rozsáhlosti sítí VN a NN bylo provedeno zjednodušující opatření a kontrola přenosové schopnosti vedení na těchto hladinách nebyla řešena. Maximální výkon zdrojů připojitelný v dané lokalitě je pak sumárně určen pro celou napájecí oblast PS/110 kV. Výpočty jsou provedeny pro bilanční stav zatížení v letním minimu (minimální odběr elektřiny), vedou k největším přenosům výkonu od zdrojů směrem do sítí vyšších napěťových hladin.

V oblastech, kde se nepředpokládá výstavba VTE, nejsou UO 110 kV ani regionální napájecí uzly kontrolovány a není zde prováděna analýza volné kapacity. Jedná se totiž především o UO 110 kV napájející velké městské aglomerace a průmyslové oblasti. Z těchto důvodů analyzována distribuční síť společnosti PREdistribuce, a. s. (napájení hlavního města Prahy) a z ostatních regionálních distribučních sítí (RDS) jsou takto vyřazeny UO 110 kV, které napájí významné městské a průmyslové aglomerace.

Z celkové volné kapacity v jednotlivých UO 110 kV je pak určen výkon, jehož připojení do DS 110 kV lze očekávat při respektování současného trendu rozvoje zdrojů. Problematiku určení výkonu jednotlivých typů zdrojů (VTE/FVE/ostatní), lze opět řešit z mnoha hledisek. Vzhledem k velice nízké pravděpodobnosti realizace všech požadavků investorů na připojení OZE (viz. Obr. 3.4. - cca 10%) se v práci vychází z celkového instalovaného výkonu jednotlivých typů zdrojů uvedených v požadavcích o připojení. Volná kapacita pro připojení jednotlivých typů zdrojů je tedy určena na základě poměrů podaných žádostí o připojení. Žádosti byly posuzovány dle celkového instalovaného výkonu jednotlivých typů zdrojů, nikoli dle počtu žádostí o připojení daného typu. Výsledné hodnoty mohou být určeny s různou přesností:

- dle poměrů v jednotlivých uzlech 110 kV (požadavky do 110kV, VN a NN),

- dle poměrů v jednotlivých UO 110 kV (všechny podané žádosti v dané napájené oblasti 110 kV),
- dle poměru požadavků v jednotlivých oblastech PDS (ČEZ Distribuce, a. s.; E.ON Distribuce, a. s.),
- dle poměru podaných žádostí souhrnně za celou ČR (průměr za všechny regiony).

Při současné dynamice podávaných žádostí jsem usoudil, že optimální přesnost je založená na regionální úrovni, tzn. stanovení volné kapacity pro jednotlivé typy zdrojů bylo uvažováno dle poměru žádostí instalovaného výkonu v požadavcích na připojení všech nových zdrojů v rámci jedné napájecí oblasti PS/110 kV. Je tak brán v potaz přírodní charakter daného regionu a možnost efektivního využití příslušného typu OZE, což je jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující zisk investora.

3.3.3. Výpočet volného transformačního výkonu v Rz 110 kV/VN pro připojení nových zdrojů

Stanovení maximálního připojitelného výkonu, který je možné za stávajících podmínek vyvést do napěťových hladin VN a NN vychází ze současného instalovaného výkonu zdrojů v lokalitě napájené z distribučních uzlů 110 kV/VN a ze spotřeby v absolutním minimu zatížení (rok 2008) v dané oblasti. Volná kapacita je stanovena při výpadku N-1 největšího transformátoru v transformovně 110 kV/VN a snížena koeficientem 0,9. Koeficient respektuje vliv jalové energie na přenosovou schopnost transformátoru a krátkodobé kolísání zatížení transformace. Následuje výpočet množství připojitelných zdrojů (stanovení velikosti připojitelného výkonu) z aktuálních požadavků investorů o připojení nových zdrojů v jednotlivých lokalitách napájených z VN a NN.

V následující tabulce 3.2. je příklad výpočtu volné transformační kapacity pro jednu UO 110 kV a transformační kapacity transformace 110 kV/VN v dané lokalitě. Kompletní výpočetní tabulky jsou součástí přílohy na konci práce.

		Kritéria		0,9															
Sítové prvky		Stanovení volné transformační kapacity na hladině 110 kV/VN+NN												Instal.výkon stávajících zdrojů		Podané žádosti o připojení nového zdroje			
UO 110 kV	Rz 110 kV	Sítový kód	Instalovaný TR výkon 110 kV/VN [MVA]	Snížený transformační výkon (N-1) [MVA]	Volný TR výkon 110 kV/VN pro připojení nových zdrojů [MW]	Požadavky na nové zdroje do VN+NN (přípojitelné) [MW]	Stav kontroly dostupného výkonu TR 110 kV/VN	Velikost redukce požadovanéh o výkonu do VN+NN [MW]	Odběry elektriny AM 2009 [MW]		110 kV [MW]	vn + nn [MW]	110 kV [MW]	vn + nn [MW]	110 kV [MW]	vn + nn [MW]	Ostatní zdroje		
ČEZ Distribuce Morava																			
H O R N Í Ž I V O T I C E	HZI T401	Krnov	KRNOV1	80,00	40	42,3	2,4	OK	OK	11,32	5,00	1,50		0,01			0,87		
		Česká Ves	CYES1	80,00	40	45,9	4,3	OK	OK	13,86	4,00	4,25							
		Vrbno pod Pradědem	VRBNO1	50,00	25	27,6	0,2	OK	OK	5,15			45,00	0,08	0,13				
		Břidličná	BRIDL1	80,00	40	43,7	2,0	OK	OK	12,73	5,00		39,00	1,55	0,40	0,08			
		Bruntál	BRUNT1	50,00	25	28,7	0,8	OK	OK	6,21			24,00	0,70	0,80				
O b l a s t H o m í Ž i v o n c e	HZI T402	Třemešná	TREME1	30,00	16	18,4	0,8	OK	OK	4,04									
		Opava Hoštice	HOST11	100,00	50	57,2	3,8	OK	OK	17,18	5,00	2,00		1,29	0,50				
		Dolní Benešov A	DBENE1A	50,00	25	36,2	1,7	OK	OK	13,68				0,45	1,22				
		Opava Jaktar	JAKTA1	80,00	40	46,8	7,3	OK	OK	10,79				2,12	5,13				
		Martínov	MART11	50,00	25	29,7	0,1	OK	OK	7,22				0,10					
					0	0,0	0,0	OK	OK			48,00							
Oblast Horní Živovice			500	250	308,2	179,2	OK	OK	102,2	0,0	19,0	7,8	156,0	7,1	0,0	8,3			

Tab. 3.2. Příklad výpočtu volné kapacity pro připojení nových zdrojů do VN a NN

Všechny tabulky s vyhodnocenou volnou kapacitou analyzovaných transformačních stanic 110 kV/VN jsou uvedeny v příloze. Hnědou barvou je podbarvena výpočtová část tabulek, ve které je stanovena volná transformační kapacita (pro všechny zdroje) na hladinách VN a NN.

V případě, že je v požadavcích na hladině VN a NN překročen připojitelný výkon, je zde znázorněna hodnota, o kterou je třeba snížit požadavky na připojení nových zdrojů v daném uzlu 110 kV/VN. Žlutá barva označuje spotřebu v daných uzlech sítě 110 kV v absolutním minimu zatížení soustavy a zeleně je označena zdrojová část. Instalovaný výkon zdrojů v prvních dvou sloupcích je členěn dle napěťových hladin, za ním následují požadavky v daných uzlech na připojení nových zdrojů rozdělené dle napěťové hladiny a typu zdroje. Požadavky na připojení zdrojů jsou uvedeny souhrnně v jednotlivých uzlech a vyjádřeny sumární hodnotou instalovaného výkonu v MW na základě zpracovaných vstupních. Sytě žluté podbarvení názvu Rz 110 kV vyznačuje rozvodny speciálně připravované pouze pro vyvedení VTE nebo FVE.

Volná kapacita se určí jako součet snížené transformační kapacity distribučních transformátorů 110 kV/VN (kontrola N-1 a započítání redukčního koeficientu $k_{VN+NN} = 0,9$) a spotřeby v minimu zatížení v dané oblasti napájené z uzlu 110 kV/VN. Následně je tato hodnota snížena o velikost aktuálně instalovaného výkonu stávajících zdrojů v oblasti VN + NN napájené z uzlu 110 kV/VN. Takto stanovená hodnota volného transformačního výkonu udává volnou kapacitu transformátorů pro připojení nových zdrojů v oblasti TR 110 kV/VN na hladině napětí VN + NN.

3.3.4. Kontrola přenosové schopnosti vývodových vedení 110 kV a stanovení volného výkonu pro připojení nových zdrojů do sítí 110 kV

Analýza pokračuje kontrolou přenosové schopnosti vedení 110 kV, jež je dalším omezujícím faktorem pro vyvedení nových zdrojů. Kontrola přenosové schopnosti vedení na napěťové hladině VN a NN nebyla prováděna, jelikož na hladinách VN a NN je výstavba vedení/kabelů výrazně levnější a z územně – správního hlediska průchodnější, než na hladině 110 kV a tudíž je zde hlavním omezujícím faktorem především transformátor 110 kV/VN. Analýza maximální přenosové schopnosti smyček 110 kV a radiálních vedení 110 kV v jednotlivých UO byla prováděna následujícím způsobem:

- Ve všech sledovaných UO 110 kV byla zkontrolována vývodová vedení 110 kV z napájecích transformoven PS/110 kV. Analýze byla podrobena vývodová vedení 110 kV zapojená do smyček 110 kV (obvykle dvojité smyčky 110 kV) a radiální vývodová vedení 110 kV z napájecí rozvodny PS/110 kV.
- Jednotlivým smyčkám a radiálním vývodům byly přiřazeny Rz 110 kV spadající pod napájecí oblast dané smyčky/radiálu 110 kV. Rozdělení vychází ze základního zapojení soustavy (tzn. rozdělení jednotlivých Rz 110 kV odpovídá zapojení, ve kterém je

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

soustava během většiny roku). Bilanční stav vychází ze stavu zatížení v letním minimu v nejnepříznivějším stavu (minimální spotřeba a maximální výroba zdrojů) viz. níže.

- Ověřují se vývodová vedení 110 kV z napájecího uzlu PS/110 kV ve stavu N-1, tzn. v případě, kdy dojde k vypnutí (výpadku) jednoduchého nebo dvojitého vývodového vedení 110 kV ve smyčce nebo jednoho vedení u dvojitých radiálních vedení 110 kV.
- Kontrola se provádí vždy pro nejnepříznivější variantu, tudíž se uvažuje výpadek vždy toho vývodu, který má větší dovolenou zatížitelnost. Kontroluje se dovolené zatížení zbývajících vývodů smyčky 110 kV. (Snížení dovolené zatížitelnosti koeficientem 0,9 respektuje zatížení přenosem jalového výkonu a krátkodobé kolísání odběrů).
- Při kontrole volné kapacity smyček a radiálních vývodů 110 kV se sečtou všechny odběry v uzlech 110 kV napájené z daného vedení ve stavu letního minima zatížení. Tato spotřeba ve smyčce/radiálu spolu s dovolenou zatížitelností jednotlivých vedení tvoří volnou kapacitu pro připojení zdrojů.
- Volná kapacita se sníží o hodnotu aktuálního instalovaného výkonu všech zdrojů na napěťových hladinách nn + vn + 110 kV v dané smyčce. Tím se určí dostupná volná kapacita pro připojení nových zdrojů.
- Podle podaných žádostí se ověří, které žádosti o připojení nových zdrojů směřují do rozvodu 110 kV v dané smyčce a určí se možnost jejich připojení.
- Proveďte se redukce požadavků na připojení podle dostupné volné kapacity vedení 110 kV.
- Tato hodnota je pak respektována při stanovení celkového omezení připojení nových zdrojů v napájecí oblasti PS/110 kV.

V následující tabulce 3.3. je přehledný příklad výpočtu volné kapacity smyček a radiálních vývodů 110 kV. Všechny výpočetní tabulky jsou v oddílu příloh na konci práce.

Uzlová oblast	Smyčka	Vývodová vedení smyčky	Vypnutá vedení při N-1 smyčky	Přenosová schopnost vývodových vedení (u smyček při N-1)	Rozvodny 110 kV ve smyčce	Spotřeba ve smyčce v minimu zatížení	Aktuální instalovaný výkon zdrojů ve smyčce	Balance smyčky	Volná kapacita pro připojení nových zdrojů
SOK T202-3	1.SM	530, 531 517	531, 530	100 MW	Hustopeče, Klobouky, Břeclav, ČD Břeclav, Tvrdonice, Mikulov, Dolní Dunajovice, Hrušovany n. Jevišovkou, Hodonice, Hrušovany u Brna	- 66 MW	+ 17 MW	-49 MW	149 MW
SOK T402	1.RAD	518	-	90 MW	Bučovice, Vyškov	- 15 MW	+ MW	-15 MW	105 MW
OTR T401	1.SM	5503-4 5501-2	5503-4	150 MW	Mladcová, Malenovice, Svit Zlín, Slušovice	- 40 MW	+ 69 MW	29 MW	121 MW
	2.SM	545, 546 5570-1	545, 546	160 MW	Kunovice, ČD Nedakonice, Kyjov, Pánov, Hodonín, Veselí, Velká nad Veličkou, Uherský Brod, Slavičín	- 85 MW	+ 23 MW	-62 MW	222 MW
OTR T402	1.RAD	5516-7	5516	70 MW	Uherské Hradiště	- 20 MW	+ 3 MW	-18 MW	88 MW
	2.RAD	5575-6	5575	100 MW	Zdounky, Prostějov, Konice, ČD Nezamyslice	- 35 MW	+ MW	-35 MW	135 MW
OTR T403	1.SM	5505-6	5505	80 MW	ČD Otrokovice, Barum Otrokovice, Otrokovice	- 38 MW	+ 50 MW	12 MW	68 MW
	1.RAD	550	-	70 MW	Bohatýč	- 11 MW	+ 3 MW	-8 MW	78 MW
	2.RAD	559	-	70 MW	Hulín	- 3 MW	+ MW	-3 MW	73 MW

Tab. 3.3. Příklad rozdělení jednotlivých vedení 110 kV na smyčky a vývodová radiální vedení včetně Rz 110 kV spadající do patřičné napájecí oblasti

Následuje příklad kontroly zatížení vedení a výpočet volné kapacity vedení 110 kV pro připojení nových zdrojů. Kompletní výpočetní tabulky jsou uvedeny v příloze na konci práce.

k_{DS} 110 kV	0,9	Požadavky na připojení nových zdrojů		Kontrola přenosové schopnosti vedení 110 kV							
Uzlová oblast	Smyčka	Požadavky na nové zdroje do VN+NN (připojitelné) přes TR 110 kV/vn	Požadavky na nové zdroje do DS 110 kV	Celkem [MW]	Bilance smyčky* [MW]	Tok výkonu v DS 110 kV** [MW]	Volná přenosová kapacita smyčky	Kontrola přenosové schopnosti smyčky***	Stav kontroly	Velikost redukce připojovaného výkonu**** [MW]	
E.ON Distribuce											
SOK T202-3	1. SM	252 MW	142 MW	394 MW	-49 MW	345 MW	134 MW	-260 MW	NUTNO OMEZIT !	260 MW	
SOK T402	1. RAD	74 MW	50 MW	124 MW	-15 MW	109 MW	95 MW	-29 MW	NUTNO OMEZIT !	29 MW	
OTR T401	1. SM	3 MW	0 MW	3 MW	29 MW	32 MW	109 MW	106 MW	OK	0 MW	
	2. SM	288 MW	0 MW	288 MW	-62 MW	226 MW	200 MW	-88 MW	NUTNO OMEZIT !	88 MW	
OTR T402	1. RAD	39 MW	0 MW	39 MW	-18 MW	21 MW	79 MW	41 MW	OK	0 MW	
	2. RAD	110 MW	24 MW	134 MW	-35 MW	99 MW	122 MW	-12 MW	NUTNO OMEZIT !	12 MW	
OTR T403	1. SM	23 MW	0 MW	23 MW	12 MW	35 MW	61 MW	38 MW	OK	0 MW	
	1. RAD	45 MW	0 MW	45 MW	-8 MW	37 MW	70 MW	25 MW	OK	0 MW	
	2. RAD	16 MW	0 MW	16 MW	-3 MW	13 MW	66 MW	50 MW	OK	0 MW	
	1. SM	38 MW	0 MW	38 MW	-8 MW	30 MW	97 MW	60 MW	OK	0 MW	
CEB T402	2. SM	102 MW	0 MW	102 MW	-39 MW	63 MW	107 MW	5 MW	OK	0 MW	
	1. RAD	20 MW	0 MW	20 MW	-6 MW	14 MW	95 MW	75 MW	OK	0 MW	
CEB T403	1. SM	60 MW	32 MW	92 MW	-25 MW	67 MW	113 MW	21 MW	OK	0 MW	
	1. RAD	57 MW	24 MW	80 MW	-32 MW	48 MW	119 MW	39 MW	OK	0 MW	
SLA T401	1. RAD	49 MW	31 MW	80 MW	6 MW	86 MW	130 MW	50 MW	OK	0 MW	
TAB T201	1. SM	1 MW	80 MW	81 MW	-9 MW	72 MW	80 MW	-1 MW	NUTNO OMEZIT !	1 MW	
	1. RAD	35 MW	0 MW	35 MW	-11 MW	24 MW	100 MW	65 MW	OK	0 MW	

* Bilance smyčky = Stávající P_{net} zdrojů - Spotřeba v uzlech ve smyčce v absolutním letním minimu (+ výrobní charakter, - spotřební charakter).

** Kladná hodnota - směr toku z DS do PS, Záporná hodnota - směr toku z PS do DS - kontrola přenosové schopnosti smyčky.

*** Volná přenosová kapacita smyčky po připojení všech požadavků na nové OZE a ostatní zdroje v dané smyčce.

**** Redukce požadavků na připojení nového výkonu do sítě 110 kV s uvažováním koeficientu kos.

Tab. 3.4. Příklad kontroly zatížitelnosti vedení 110 kV a výpočtu volné kapacity pro připojení nových zdrojů do sítě 110 kV

3.3.5. Výpočet volného transformačního výkonu v uzlu PS/110 kV pro připojení nových zdrojů

Dalším prvkem řetězce ovlivňující výši připojitelného výkonu nových zdrojů do sítí ES ČR, který je za stávajících podmínek možné připojit do soustavy, jsou napájecí transformátory PS/110 kV. Výpočet volné transformační kapacity vychází ze stávajícího instalovaného výkonu transformátorů PS/110 kV v jednotlivých napájecích uzlech soustavy.

Pro stanovení možného připojitelného výkonu nových zdrojů v jednotlivých oblastech se vychází z bezpodmínečné nutnosti splnění spolehlivosti kritéria (N-1) napájecích transformátorů PS/110 kV. Tzn., že v transformovnách PS/110 kV, kde jsou nyní provozovány transformátory v paralelním provozu do společné UO 110 kV, se uvažovalo s výpadkem největšího z provozovaných transformátorů. V transformovnách, kde jsou transformátory provozovány rozděleně do jednotlivých oddělených UO 110 kV, se při výpadku jednoho (největšího) z transformátorů uvažovalo sepnutí přípojníc na straně 110 kV tak, že zbývající transformátor (transformátory) napájejí celou oblast 110 kV propojenou na straně přípojnice 110 kV.

Volná kapacita pro připojení zdrojů se určí jako součet snížené transformační kapacity napájecích transformátorů PS/110 kV (kontrola N-1 a započítání koeficientu $k_{PS/110\text{ kV}} = 0,9$ – vliv jalové energie na transformační vazbě PS/110 kV) a spotřeby v dané oblasti 110 kV. Následně je tato hodnota snížena o velikost aktuálně instalovaného výkonu stávajících zdrojů v oblasti. Takto stanovená hodnota volného transformačního výkonu udává volnou kapacitu transformátorů pro připojení nových zdrojů v napájecí oblasti TR PS/110 kV.

Poznámka: Volná kapacita pro připojení VTE je vztažena pouze k přenosové schopnosti transformace PS/110 kV – v této části ještě nejsou zahrnuta omezení daná přenosovou schopností vedení 110 kV a distribučních transformátorů 110 kV / vn.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

k _{DS} 110 kV	Uzlová oblast	Smyčka	0,9	Požadavky na připojení nových zdrojů		Kontrola přenosové schopnosti vedení 110 kV						Kontrola transformace PS/110 kV				Velikost redukce výkonu v napájecí oblasti [MW] ****	Připojitelný výkon do napájecího uzlu PS/110 kV [MW]
				Požadavky na nové zdroje do VN-VN (připojitelné) přes TR 110 kV/vn	Požadavky na nové zdroje do DS 110 kV	Celkem [MW]	Balace smyčky* [MW]	Tok výkonu v DS 110 kV** [MW]	Volná (redukovaná) přenosová kapacita smyčky	Kontrola přenosové schopnosti smyčky***	Stav kontroly	Velikost redukce připojovaného výkonu**** [MW]	Volný transformační výkon PS/110 kV [MW]	Kontrola přenosové schopnosti TR PS/110 kV	Velikost redukce vzhledem k přenosové schopnosti TR PS/110 kV [MW]		
E.ON Distribuce	SOK T402.3	SOK T402	1.SM	252 MW	142 MW	394 MW	-49 MW	345 MW	134 MW	-260 MW	NUTNO OMEZIT !	260 MW	424 MW	OK	0 MW	268 MW	229 MW
			1.RAD	74 MW	50 MW	124 MW	-15 MW	109 MW	95 MW	-29 MW	NUTNO OMEZIT !	29 MW					
			2.SM	3 MW	0 MW	3 MW	29 MW	32 MW	109 MW	106 MW	OK	0 MW					
			1.SM	268 MW	0 MW	268 MW	-62 MW	206 MW	200 MW	88 MW	NUTNO OMEZIT !	88 MW					
			1.RAD	39 MW	0 MW	39 MW	-18 MW	21 MW	79 MW	41 MW	OK	0 MW					
			2.RAD	110 MW	24 MW	134 MW	-35 MW	99 MW	122 MW	-12 MW	NUTNO OMEZIT !	12 MW	721 MW	OK	0 MW	100 MW	707 MW
			1.SM	23 MW	0 MW	23 MW	12 MW	35 MW	61 MW	38 MW	OK	0 MW					
			1.RAD	45 MW	0 MW	45 MW	-8 MW	37 MW	70 MW	25 MW	OK	0 MW					
			2.RAD	16 MW	0 MW	16 MW	-3 MW	13 MW	66 MW	50 MW	OK	0 MW					
			1.SM	38 MW	0 MW	38 MW	-8 MW	30 MW	97 MW	60 MW	OK	0 MW					
			2.SM	102 MW	0 MW	102 MW	-39 MW	63 MW	107 MW	5 MW	OK	0 MW					
			1.RAD	20 MW	0 MW	20 MW	-6 MW	14 MW	95 MW	75 MW	OK	0 MW					
CEB T403	CEB T403	CEB T403	1.SM	60 MW	32 MW	92 MW	-25 MW	67 MW	113 MW	21 MW	OK	0 MW					
			1.RAD	57 MW	24 MW	80 MW	-32 MW	48 MW	119 MW	39 MW	OK	0 MW					
			1.RAD	49 MW	31 MW	80 MW	6 MW	86 MW	130 MW	50 MW	OK	0 MW					
			1.SM	1 MW	80 MW	81 MW	-9 MW	72 MW	80 MW	-1 MW	NUTNO OMEZIT !	1 MW	273 MW	OK	0 MW	0 MW	248 MW
SLA T401	SLA T401	SLA T401	1.RAD	35 MW	0 MW	35 MW	-11 MW	24 MW	100 MW	65 MW	OK	0 MW	-9 MW	NUTNO OMEZIT !	189 MW	190 MW	-9 MW
			1.RAD	35 MW	0 MW	35 MW	-11 MW	24 MW	100 MW	65 MW	OK	0 MW					
TAB T201	TAB T201	TAB T201	1.SM	1 MW	80 MW	81 MW	-9 MW	72 MW	80 MW	-1 MW	NUTNO OMEZIT !	1 MW	273 MW	OK	0 MW	0 MW	248 MW
			1.RAD	35 MW	0 MW	35 MW	-11 MW	24 MW	100 MW	65 MW	OK	0 MW	-9 MW	NUTNO OMEZIT !	189 MW	190 MW	-9 MW

* Balace smyčky = Stávající P_{net} zdrojů - Spotřeba v uzlech ve smyčce v absolutním letním minimu (+ výrobní charakter, - spotřební charakter).

** Kladná hodnota - směr toku z DS do PS, Záporná hodnota - směr toku z PS do DS - kontrola přenosové schopnosti smyčky.

*** Volná přenosová kapacita smyčky po připojení všech požadavků na nové OZE a ostatní zdroje v dané smyčce.

**** Redukce požadavků na připojení nového výkonu do síti 110 kV s uvažováním koeficientu k_{ps}.

***** Velikost redukce požadovaného výkonu nových zdrojů POUZE v síti 110 kV a na transformaci PS/110 kV - Výrazná redukce je již na transformaci 110 kV/vn.

Kontrola přenosové schopnosti TR PS/110 kV - srovnání volné přenosové kapacity vedení 110 kV a volné přenosové kapacity transformátoru PS/110 kV

Velikost redukce vzhledem k přenosové schopnosti TR PS/110 kV - Rozdíl volné přenosové schopnosti vedení 110 kV a volné transformační kapacity PS/110 kV

Velikost celkové redukce - Součet všech redukcí na vedení 110 kV a transformaci PS/110 kV

Připojitelný výkon do napájecího uzlu PS/110 kV

- pokud je stav kontroly vedení 110 kV (všech SM a RAD v napájecím uzlu) a kontroly TR PS/110 kV - OK - pak napiše hodnotu volné transformační kapacity PS/110 kV

- pokud není některá z kontrol - OK - zjistí nejslabší prvek a napiše jeho volnou kapacitu pro připojení nových zdrojů

Tab. 3.5. Příklad výpočtu volné kapacity na Tr PS/110 kV a celkové volné kapacity pro připojení nových zdrojů do ES ČR

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Velikost redukce výkonu v napájecí oblasti PS/110 kV v tabulce 3.5. je uvedena pouze za distribuční sítě 110 kV a transformaci PS/110 kV. K výraznému omezení dochází již v sítích VN a NN, ve studii byla však prováděna kontrola pouze na distribučních transformátorech 110 kV/VN.

PDS	Napájecí transformovny 400/110 kV a 220/110 kV		Inst.výkon transformace PS/110 kV k 1.1.2009 [MW]	N-1 transf. v napájecí TR PS/110 kV [MW]	Redukovany transf. výkon PS/110 kV	Odběr v minimu zatížení (AM) [MW]	Aktuální inst. výkon zdrojů Pinst [MW]	Volná kapacita TR PS/110 kV [MW] *	Celková volná kapacita pro připojení nových zdrojů [MW]**
					Koef.red. 0,9				
EON-D východ	Sokolnice	Σ	750	400 MW	360 MW	182 MW	118 MW	424 MW	229 MW
	Čebín	Σ	950	600 MW	540 MW	161 MW	111 MW	590 MW	412 MW
	Otrokovice	Σ	1050	700 MW	630 MW	244 MW	153 MW	721 MW	707 MW
	Slavětice	Σ	500	250 MW	225 MW	49 MW	2 MW	273 MW	248 MW
ČEZ-D Morava	Lískovec	Σ	400	200 MW	180 MW	181 MW	390 MW	-29 MW	
	Prosenice	Σ	400	200 MW	180 MW	157 MW	125 MW	212 MW	212 MW
	Albrechtice	Σ	500	250 MW	225 MW	273 MW	704 MW	-206 MW	
	Nošovice	Σ	500	250 MW	225 MW	191 MW	530 MW	-114 MW	
	Horní Životice	Σ	500	250 MW	225 MW	102 MW	19 MW	308 MW	211 MW
ČEZ-D východ	Opocínek	Σ	400	200 MW	180 MW	50 MW	277 MW	-47 MW	-47 MW
	Krasíkov	Σ	850	500 MW	450 MW	104 MW	25 MW	529 MW	487 MW
	Mírovka	Σ	500	250 MW	225 MW	30 MW	3 MW	252 MW	252 MW
	Neznašov	Σ	600	250 MW	225 MW	127 MW	434 MW	-82 MW	-82 MW
ČEZ-D sever	Bezděčín	Σ	700	450 MW	405 MW	147 MW	41 MW	511 MW	391 MW
	Chotějovice	Σ	400		0 MW				
	Výškov	Σ	450		0 MW				
	Babylon	Σ	1100	850 MW	765 MW	544 MW	1433 MW	-124 MW	-124 MW
		Σ	250	0 MW	0 MW	38 MW	1 MW	37 MW	37 MW
ČEZ-D západ	Přeštice	Σ	550	200 MW	180 MW	102 MW	22 MW	260 MW	260 MW
	Vitkov	Σ	400	200 MW	180 MW	130 MW	433 MW	-123 MW	-123 MW
	Chrást	Σ	680	330 MW	297 MW	134 MW	215 MW	216 MW	98 MW
EON-D západ	Tábor	Σ	200	0 MW	0 MW	56 MW	65 MW	-9 MW	-9 MW
	Dasný	Σ	600		0 MW				
	Kočín	Σ	500	750 MW	675 MW	181 MW	121 MW	735 MW	735 MW
ČEZ-D střed	Čechy Střed	Σ	900	550 MW	495 MW	237 MW	484 MW	248 MW	221 MW
	Milín	Σ	200	0 MW	0 MW	30 MW	80 MW	-51 MW	-51 MW
	Řeporyje	Σ	750	500 MW	450 MW	214 MW	1021 MW	-357 MW	-357 MW
	Týnec	Σ	700	350 MW	315 MW	105 MW	17 MW	403 MW	403 MW

- paralelně spolupracující UO110 kV
- překročena volná kapacita pro připojení VTE již v současnosti
- napájecí uzly PS/110 kV, ve kterých nebyla prováděna analýza volné kapacity pro připojení nových zdrojů

* Volná kapacita pouze na TR PS/110 kV bez zahrnutí omezujících vlivů TR 110kV/VN a sítí 110 kV

** Se zahrnutím omezení na transformaci 110 kV/VN a sítích 110 kV

Tab. 3.6. Volná kapacita napájecích transformátorů PS/110 kV a celková volná kapacita pro připojení nových zdrojů do ES ČR

Na jednotlivých kontrolovaných úrovních byla stanovena volná kapacita, omezující faktory a velikost redukce výkonu z požadavků na připojení nových zdrojů.

3.3.6. Očekávané zaplnění volné kapacity ES ČR jednotlivými typy nových zdrojů

V následující části je stanovený výkon, jehož připojení do ES ČR je možné očekávat vzhledem k aktuálnímu trendu rozvoje zdrojové základny. Stanovení celkové volné kapacity pro připojení nových zdrojů (VTE/FVE/ostatní zdroje) se všemi síťovými omezeními je dáno průnikem tří omezujících faktorů analyzovaných v předchozích částech. Sledovala se kapacita distribučních transformátorů 110 kV/VN, přenosová kapacita jednotlivých smyček a radiálních vedení 110 kV a přenosová kapacita napájecích transformátorů PS/110 kV s cílem nalézt

omezující prvek sítí ES ČR pro vyvedení nových zdrojů do systému v dané lokalitě. Celková volná kapacita pro připojení nových zdrojů je pak dána přenosovou schopností nejslabšího síťového prvku v systému. Konkrétně je dána buď přenosovou kapacitou vedení 110 kV nebo přenosovou kapacitou transformace PS/110 kV. Kapacita distribučních transformátorů 110 kV/VN je pouze orientačním kritériem, neboť v případě výstavby zdrojů většího výkonu bude připojení směřovat do vyšší napěťové hladiny. V případě, že bude v dané oblasti vyčerpána kapacita distribučních sítí (transformace 110 kV/VN) je možné sloučení více výroben menších výkonů (třeba i od více investorů) v jednu sběrnou transformovnu a následně její připojení přímo do hladiny 110 kV. Připojování do PS je již ekonomický výrazně náročnější a využitelné pouze v případě velkých projektů. Proto se uvažuje vedení 110 kV jako omezující přenosový prvek.

Očekávané zaplnění stanovené volné kapacity ES ČR jednotlivými typy nových zdrojů vychází z aktuálního trendu rozvoje zdrojové základny v ČR. 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.

V následující tabulce poměrů podaných žádostí (Tab. 3.7.) na připojení nových zdrojů jsou všechny žádosti o připojení 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 předpokládaného výkonu jednotlivých typů nových zdrojů jsou přehledně zaznamenány v tabulce 3.8. 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.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Oblast 110 kV E.ON Distribuce

Napájecí oblast PS/110 kV	Požadavek na připojení výkonu dle typu OZE [MW]			Poměr požadavků dle celkové hodnoty instalovaného výkonu daného typu OZE [%]		
	VTE	FVE	Ostatní	VTE	FVE	Ostatní
TR Sokolnice	85	731	109	9%	79%	12%
TR Čebín	81	291	145	16%	56%	28%
TR Otrokovice	33	752	55	4%	90%	7%
TR Slavětice	253	133	10	64%	34%	3%
TR Tábor	40	64	97	20%	32%	48%
TR Dasný, Kočín	0	449	82	0%	84%	16%
TR Mírovka (E.ON Dist.)	102	51	2	66%	33%	1%

Oblast 110 kV ČEZ Distribuce

Napájecí oblast PS/110 kV	Požadavek na připojení výkonu dle typu OZE [MW]			Poměr požadavků dle celkové hodnoty instalovaného výkonu daného typu OZE [%]		
	VTE	FVE	Ostatní	VTE	FVE	Ostatní
TR Horní Životice	119	7	8	89%	5%	6%
TR Lískovec	0	14	8	0%	64%	36%
TR Prosenice	159	27	80	60%	10%	30%
TR Albrechtice	0	1	66	0%	2%	98%
TR Nošovice	198	8	7	93%	4%	3%
TR Opočín	55	18	101	32%	10%	58%
TR Krasíkov	495	28	34	89%	5%	6%
TR Mírovka	43	10	4	76%	17%	7%
TR Neznášov	50	102	109	19%	39%	42%
TR Bezděčín	99	14	96	47%	7%	46%
TR Výškov, Chotějovice, Babylon - T403	449	304	633	32%	22%	46%
TR Babylon - T401	0	79	13	0%	86%	14%
TR Přeštice	41	204	0	17%	83%	0%
TR Vítkov	127	117	0	52%	48%	0%
TR Chrást	32	11	44	37%	13%	51%
TR Čechy střed	0	104	12	0%	90%	10%
TR Mílín	2	52	2	4%	93%	3%
TR Řeporyje	22	117	105	9%	48%	43%
TR Týnec	48	61	28	35%	44%	21%

Požadavky na připojení VTE vyšší než 50% P_{inst} všech žádostí v oblasti.

Požadavky na připojení FVE vyšší než 50% P_{inst} všech žádostí v oblasti.

Tab. 3.7. Poměrné zastoupení požadavků na připojení různých typů OZE v napájecích oblastech členěné dle souhrnného výkonu

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

PDS	Napájecí transformovny 400/110 kV a 220/110 kV	Inst.výkon transformace PS/110 kV k 1.1.2009 [MW]	Celková volná kapacita pro připojení nových zdrojů [MW]**	Poměr VTE / všechny požadavky na připojení	Volná kapacita pro připojení VTE [MW]	Poměr FVE / všechny požadavky na připojení	Volná kapacita pro připojení FVE [MW]
EON-D východ	Sokolnice	Σ 750	229 MW	9%	21 MW	79%	181 MW
	Čebín	Σ 950	412 MW	16%	64 MW	56%	231 MW
	Otrokovice	Σ 1050	707 MW	4%	28 MW	90%	636 MW
	Slavětice	Σ 500	248 MW	64%	158 MW	34%	84 MW
ČEZ-D Morava	Lískovec	Σ 400		0%			
	Prosenice	Σ 400	212 MW	60%	127 MW	10%	21 MW
	Albrechtice	Σ 500		0%			
	Nošovice	Σ 500		93%			
ČEZ-D východ	Horní Životice	Σ 500	211 MW	89%	187 MW	5%	11 MW
	Opočinec	Σ 400	-47 MW	32%	0 MW	10%	0 MW
	Krasíkov	Σ 850	487 MW	89%	434 MW	5%	24 MW
	Mirovka	Σ 500	252 MW	76%	192 MW	17%	43 MW
ČEZ-D sever	Neznášov	Σ 600	-82 MW	19%	0 MW	39%	0 MW
	Bezděčín	Σ 700	391 MW	47%	185 MW	7%	27 MW
	Chotějovice	Σ 400					
	Výškov	Σ 450			0 MW		0 MW
ČEZ-D západ	Babylon	Σ 1100	-124 MW	32%		22%	
		Σ 250	37 MW	0%	37 MW	86%	32 MW
	Přeštice	Σ 550	260 MW	17%	43 MW	83%	216 MW
	Vitkov	Σ 400	-123 MW	52%	0 MW	48%	0 MW
EON-D západ	Chrast	Σ 680	98 MW	37%	36 MW	13%	13 MW
	Tábor	Σ 200	-9 MW	0%	0 MW	32%	0 MW
	Dasný	Σ 600					0
	Kočín	Σ 500	735 MW	0%	735 MW	84%	617 MW
ČEZ-D střed	Čechy Střed	Σ 900	221 MW	0%	221 MW	90%	198 MW
	Milín	Σ 200	-51 MW	4%	0 MW	93%	0 MW
	Řeporyje	Σ 750	-357 MW	9%	0 MW	48%	0 MW
	Týnec	Σ 700	403 MW	35%	141 MW	44%	177 MW

- paralelně spolupracující UO110 kV
- překročena volná kapacita pro připojení VTE již v současnosti
- napájecí uzly PS/110 kV, ve kterých nebyla prováděna analýza volné kapacity pro připojení nových zdrojů

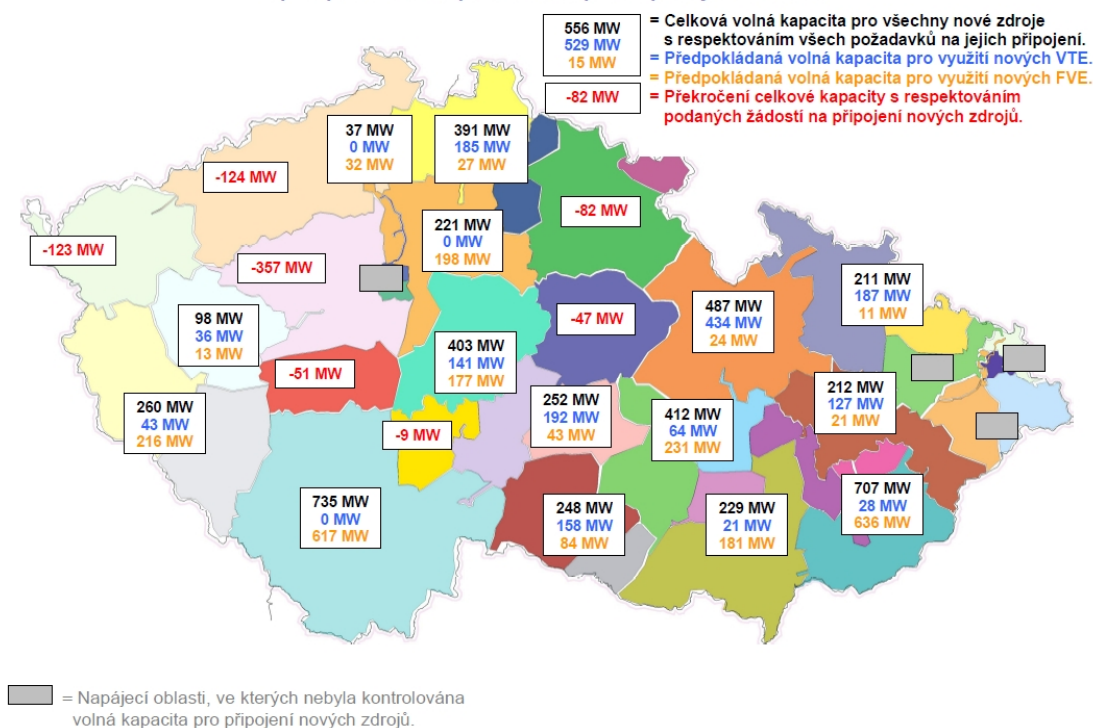
* Volná kapacita pouze na TR PS/110 kV bez zahrnutí omezujících vlivů TR 110kV/VN a sítí 110 kV
 ** Se zahrnutím omezení na transformaci 110 kV/VN a sítích 110 kV

Tab. 3.8. Očekávané zaplnění volné kapacity jednotlivými typy OZE v souvislosti s aktuálním trendem rozvoje zdrojové základny ES ČR

Následující dva obrázky přehledně zachycují výsledky analýzy a aktuální stav zájmu investorů v jednotlivých regionech. Na prvním (Obr. 3.12.) jsou znázorněny 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. Na druhém obrázku (Obr. 3.13.) jsou pro představu vyznačeny všechny podané žádosti o připojení k datu 31.3.2009 dle jednotlivých napájecích oblastí tak, jak se předpokládá jejich vyvedení a dostupná kapacita transformace PS/110 kV v jednotlivých lokalitách.

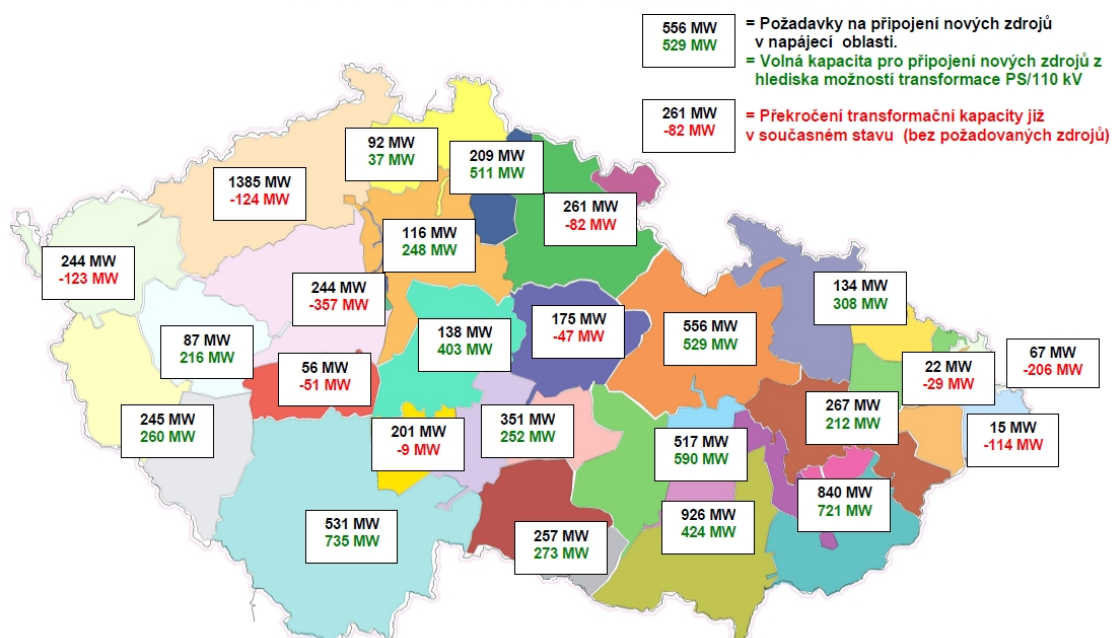
VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Celková volná kapacita sítě 110 kV a transformace PS/110 kV pro připojení nových zdrojů do sítě a předpokládané zaplnění dostupné kapacity VTE a FVE



Obr. 3.12. Celková volná kapacita pro vyvedení nových zdrojů a předpokládané zaplnění dostupné kapacity VTE a FVE

Požadavky na připojení nových zdrojů v jednotlivých napájecích oblastech PS/110 kV a volná transformační kapacita pro připojení těchto zdrojů



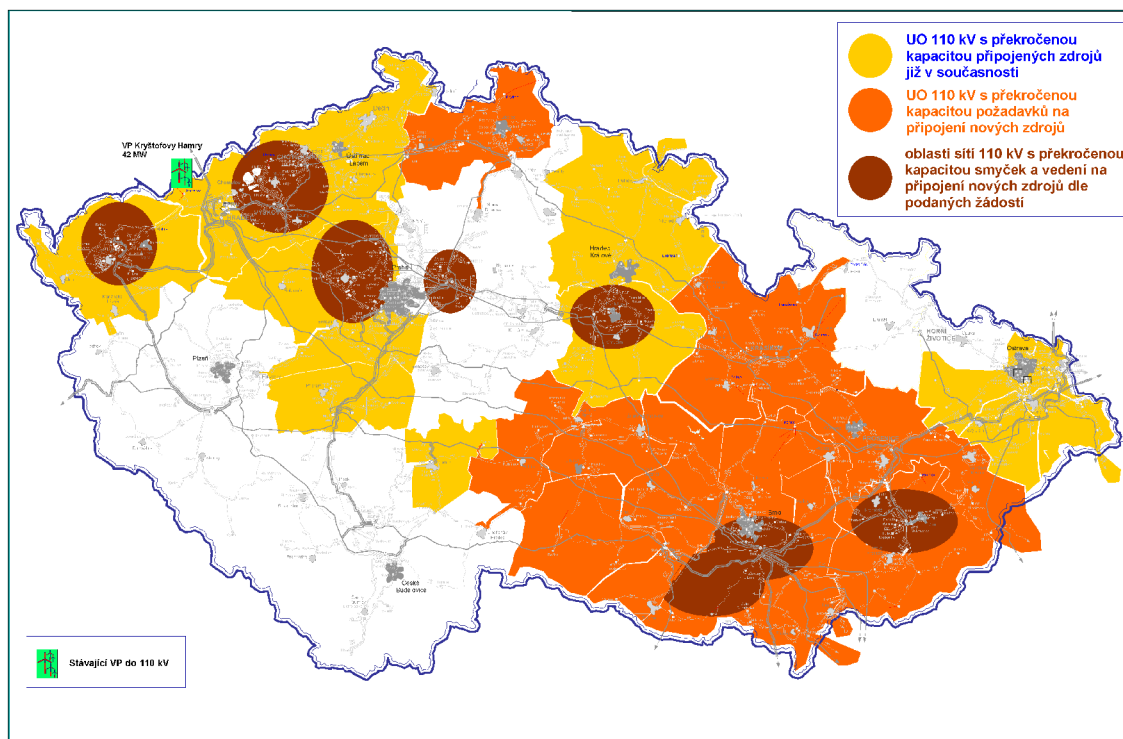
Obr. 3.13. Celkové požadavky na připojení nových zdrojů a dostupná volná kapacita z hlediska transformace PS/110 kV v jednotlivých lokalitách

Volnou kapacitu pro připojování nových zdrojů rozptýlené výroby nelze sumarizovat za ES ČR jako celek, neboť se jedná o lokální záležitosti jednotlivých regionů. V práci jsou tyto regiony ztotožněny s UO 110 kV, resp. s napájecími oblastmi PS/110 kV. Uvnitř těchto regionů může docházet k lokálním omezením v důsledku přenosových schopností distribučních sítí VN, NN, 110 kV a transformace 110 kV/VN. Proto je ve výše uvedené přehledové tabulce a obrázcích uvedena volná kapacita pro jednotlivé napájecí uzly PS/110 kV.

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 síťových prvků. Jedná se o oblasti Sokolnice, Otrokovice, Prosenice, Krasíkov, Babylon (T401), Přestice 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 (viz. výpočetní tabulky v příloze). 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 (viz. výpočetní tabulky v příloze).

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 3.15.



Obr. 3.15. Překročení volné kapacity sítí ES ČR pro připojení nových zdrojů

3.4. Kapacitní možnosti přenosových sítí 400 kV a 220 kV vzhledem k připojení VTE

Přenosová síť slouží především k přenosu elektřiny od výroben – velkých elektrárenských bloků klasických elektráren – k místům spotřeby, tzn. v daném případě k transformačním stanicím PS/110 kV. Vlastní distribuci od transformačních napájecích stanic PS/110 kV zajišťuje distribuční síť na hladině napětí 110 kV. Rozvodná síť pak na nižších napěťových hladinách distribuuje elektřinu až k odběratelům.

Přenosová síť je v ES ČR provozována ve dvou napěťových hladinách 400 a 220 kV. Zatímco síť 400 kV je páteřním přenosovým systémem, který zajišťuje přenosy značných výkonů na velké vzdálenosti, síť 220 kV v dnešní době již plní spíše záložní funkci a zajišťuje přenosy ve vymezených regionech. Síť 400 kV se trvale koncepčně rozvíjí a její posilování a rozvoj směřuje k zajištění spolehlivému provozu celé soustavy. Síť 220 kV se již dále topologicky nerozšiřuje (nebo jen ve výjimečných případech), její stav se udržuje na stávající úrovni a další rozvoj systému 220 kV se nepředpokládá.

Neméně důležitá je role systému 400 kV v mezistátním propojení přenosové sítě se sousedními soustavami. Toto propojení zajišťuje paralelní spolupráci a začlenění ES ČR do celoevropského systému elektrizačních soustav a umožňuje ve významných objemech realizovat mezistátní výměny elektřiny. Tranzitní toky realizované PS ČR se nemalou měrou

podílejí na čerpání přenosové kapacity jednotlivých přenosových prvků naší soustavy a tím mohou omezit připojitelný výkon nových zdrojů (včetně OZE) do PS.

Z hlediska připojování nových zdrojů typu VTE (vyvedení FVE do PS se zatím nepředpokládá) jsou kapacitní možnosti sítě 400 kV velké, nicméně pro připojení těchto zdrojů do PS musí být splněny podmínky dané Pravidly Provozu PS (Kodex PS). Je evidentní, že připojení VTE do PS přichází v úvahu až v případě potřeby připojení velkých parků, kdy je realizace připojení a splnění podmínek PPPS již pro investora ekonomicky rentabilní. Vynucené posílení sítě 400 kV vyvolané připojením nových zdrojů může narážet na mnohá omezení především s ohledem na možnosti výstavby nových linek a průchodností koridorů (územní omezení).

Pro investory velkých větrných parků je samozřejmě ekonomicky nejvýhodnější připojení do sítě v místě co nejbližší ke svým zdrojům. V těchto případech se mnohdy jedná o připojení do systému 220 kV, kde však již existuje celá řada omezení daných přenosovou kapacitou linek 220 kV, která připojitelný výkon nových zdrojů značně omezuje a v některých oblastech nedovoluje připojit dokonce vůbec žádný výkon.

Následují lokality rozvodu 220 kV v přenosové síti s omezenou možností připojování nových zdrojů – VTE:

Rz. Vítkov 220 kV: Do rozvodny jsou přímo na hladině 220 kV vyvedeny tři bloky elektráren PPC Vřesová (2x185 MW) a PE Tisová (1x112 MW). Již tento fakt vylučuje Rz. Vítkov 220 kV z možnosti využít ji k dalšímu vyvedení nových zdrojů v této oblasti.

Rz. Výškov 220 kV: Z dlouhodobého hlediska se nepředpokládá další rozvoj PS 220 kV v této oblasti, resp. dojde k výměně vedení a změně napěťové hladiny na hladinu 400 kV (vedení V201 a V211). Z tohoto důvodu zde není perspektivní připojovat nové zdroje (vysoké náklady na připojení do sítě 220 kV).

Rz. Chotějovice 220 kV: Obdobná situace jako u Rz. Výškov 220 kV – v blízké budoucnosti se uvažuje o přestavbě celé rozvodny a povýšení na napěťovou hladinu 400 kV.

Rz. Opočínec 220 kV: V napájecí oblasti Rz. Opočínec 220 kV/110 kV je vyveden poloviční výkon elektrárny Opatovice (3x60 MW, od roku 2010 1x100 MW), kde momentálně probíhá modernizace bloků a navýšení instalovaného výkonu. Druhá část výkonu (2x60 MW, 1x63 MW) je vyvedena do oblasti napájené z Rz. Neznášov 400 kV. Kromě této skutečnosti je Rz. Opočínec 220 kV velice slabě propojená - pouze dvěma

jednoduchými vedeními V202 a V203. V případě výpadku jednoho z vedení dochází k výrazným síťovým komplikacím.

Rz. Tábor 220 kV: Situace v této oblasti se značně podobá oblasti Rz. Opočíněk 220 kV. Propojení Rz. Tábor 220 kV tvoří dvě jednoduchá vedení (V204 a V207), která slouží především k přenesení výkonu elektrárny VE Orlík (4x91 MW) vyvedené do Rz. Milín 220 kV. Přenosové linky z Rz. Milín 220 kV ve směru na Přeštice 220 kV a Vítkov 220 kV jsou těžko „průchodné“ (v důsledku PPC Vřesová a PE Tisová), jednoduché vedení V208 (Rz. Milín 220 kV – Čechy Střed 220 kV) má pro tyto účely pouze omezenou kapacitu. Z těchto důvodů nelze snižovat v dané lokalitě přenosovou schopnost sítě 220 kV připojováním nových zdrojů.

V současné době jsou u provozovatele PS podány žádosti o připojení velkých parků VTE do PS:

VP Chomutov – Krušné hory 182 MW – připojení do nové Rz. 400 kV Vernéřov.

VP Jihlavsko – Českomoravská vrchovina přibližně 200 MW – pro připojení se uvažuje nová Rz. 220 kV Rosice (nasmyčkováná na V207 – Sokolnice – Tábor).

VP Znojensko – Dvě lokality o přibližně 200 MW a 120 MW – připojení do nové Rz. 400 kV (nasmyčkováné na V437/8 – přeshraniční vedení Slavětice – Dürnröhr).

Celkově se jedná o asi 700 MW instalovaného výkonu ve větrných parcích směřujících svým připojením do PS. Ve všech případech vyžaduje jejich připojení do PS výstavbu nové rozvodny.

3.5. Vliv VTE na elektrizační soustavu ČR

Vlivem nově připravovaných OZE, především větrných parků, dojde v některých UO 110 kV k výrazné změně výkonové bilančního charakteru celé oblasti – ze spotřebního charakteru s výraznou a ustálenou převahou odběru elektřiny se stane UO s proměnným charakterem výkonové bilance a režim odběr / dodávka na předacím místě PS/110 kV bude značně kolísat a měnit se v závislosti na okamžitém provozním stavu větrných elektráren. Tento způsob provozu bude vyžadovat zvýšené nároky na přípravu provozu, dispečerské řízení a i na zajištění ostatních provozních podmínek (výrazné změny v tocích výkonů v průběhu krátkých časových období, složitější zajištění plánovaných odstávek v sítích - údržby a opravy zařízení, poruchové stavy, rezervní a náhradní schémata zapojení atd.).

Pro připojení většího počtu nových OZE, především větrných parků do DS i PS, je nezbytné, aby provozovatelé těchto nových zdrojů zajistili jejich provoz v takových podmínkách, aby nedošlo ke zhoršení nebo k omezení stávajícího provozu příslušných sítí a ke snížení

spolehlivosti provozu v příslušné části ES. Proto se po investorech a provozovateli nových zdrojů požaduje:

- Vybavení všech nových větrných parků a obdobných OZE telemetrií – přenosem dat o okamžitém provozním stavu výroby do řídicího dispečinku PDS nebo PPS a možnost přímého ovlivnění provozu/výroby z dispečerského pracoviště PDS/PPS v návaznosti na smluvní podmínky připojení a provozu zdroje.
- Nové větrné zdroje musí spolupracovat se systémem predikce výroby poskytováním údajů o výrobě a meteorologické situaci.
- Zařazení větrného parku (nebo obdobného zdroje) většího výkonu do systému automatické regulace napětí (např. ASRU) příslušného provozovatele distribuční sítě a koordinace regulace napětí a jalového výkonu v novém zdroji se stávajícím systémem řízení U/Q v oblasti připojení.
- Přijetí a závazné dodržování smluvních provozních podmínek nového zdroje včetně omezení výroby (vyváděného výkonu) dodávané do sítě v případě požadavků dispečerského řízení PDS – omezení dodávky výkonu z důvodů neúplného zapojení sítí, nestandardního provozu soustavy atd., ať už při plánovaných omezeních nebo při poruchových stavech.
- Odstavení nebo omezení výroby z důvodu provozních manipulací v síti podle požadavku dispečerského řízení PDS a možnost dispečerského ovlivnění připojování k síti a nasazování výroby podle potřeb provozu ES, např. organizace obnovení výroby po těžkých poruchách v síti.

Dnešní vývoj v oblasti integrace a využívání OZE s kolísavou dodávkou se ubírá dvěma hlavními směry. Jsou to především zálohování a akumulace výkonu VTE a rozvoj regulačních technologií.

3.5.1. Zálohování větrných elektráren

Rozvoj VTE s sebou přináší specifické problémy vyplývající z podstaty větrných podmínek. Stochastický charakter větru ovlivňuje dodávaný výkon z větrných parků, čímž značně komplikuje regulaci soustavy. Za stabilního větru lze odchylku výroby VTE od predikované hodnoty poměrně dobře regulovat. Problémy nastávají v době, kdy přes území s vyšším výskytem VTE přechází povětrnostní fronta. Dochází k prudkým změnám rychlosti větru a následně výroby z VTE. Prudkým zvýšením výroby v dané oblasti vznikají velké požadavky na přenos výkonu. Při rychlostech větru nad 25 m.s^{-1} (obvyklá maximální konstrukční rychlost VTE) dochází k odpojení VTE od sítě a následnému zastavení, aby se předešlo jejich poškození. Takové náhlé vypnutí VP znamená ztrátu výkonu několika desítek, v budoucnu až stovek megawattů během několika málo minut. Aby se předešlo těmto nežádoucím jevům, které

vyvolává velký rozvoj VTE, hledají se cesty k zálohování energie z větrných elektráren i celých větrných farem pomocí různých technologií.

Zálohovací systémy by měly zrovnoměnit úroveň dodávaného výkonu z VTE a mít schopnost pokrýt poptávku během špičkového zatížení soustavy. V ideálním případě by potom měla být energie z VTE dostupná v době, kdy je požadována, nikoliv v době, kdy fouká vítr. Akumulační systémy mohou navíc poskytnout i napěťovou podporu, regulaci (vyrovnání poklesu napětí, kmitů) a úpravu účinníku.

Ve většině zemí se VTE zatím nijak nezálhují a praktické realizace se ve světě objevují jen zřídka. Jedná se spíše o experimentální projekty. Tato problematika je v počátku svého vývoje, avšak s rostoucím podílem VTE nabývá stále více na aktuálnosti. V praxi se odchylky ve výrobě způsobené VTE kompenzují nákupem podpůrných služeb, což není zálohování v pravém slova smyslu.

Hlavní příčiny pomalého rozvoje akumulacích systémů jsou vysoká ekonomická a technická náročnost technologie, krátká životnost stávajících akumulacích systémů, nízká účinnost a mnohdy negativní vlivy na životní prostředí. Na akumulaci energie jsou kladeny vysoké nároky. Musí efektivně zvládnout velké kolísání spotřeby i výroby a dodat dostatek energie na pokrytí energetických špiček. Zálohovat nebo ukládat elektrickou energii vyrobenou VTE můžeme ve formě chemické, mechanické nebo elektrické energie. Mezi nejobvyklejší způsoby akumulace energie patří:

- Akumulátorové baterie
- Přečerpávací vodní elektrárny
- Kondenzátory
- Setrvačníky
- Stlačený vzduch
- Supravodivé magnety
- Vodík

Kromě přečerpávacích vodních elektráren a akumulátorových baterií jsou ostatní typy akumulace spíše ve fázi vývoje a testovacích provozů. Limitujícím faktorem pro masovější rozvoj akumulace je zejména finanční náročnost projektů, jejich životnost a vliv na životní prostředí.

V prostředí české elektrizační soustavy nelze v blízkém časovém horizontu předpokládat realizaci významnějších projektů akumulace energie z VTE zejména z důvodu vysoké finanční náročnosti. V budoucnu lze očekávat, že z výše uvedených typů zálohování se budou uplatňovat přečerpávací vodní elektrárny a systémy s akumulacími bateriemi.

3.5.2. Zvýšení požadovaného regulačního výkonu v ES v důsledku integrace OZE

V každé elektrizační soustavě je třeba mít určitý objem regulační energie k zajištění spolehlivého vyrovnávání odchylek aktuální spotřeby a výroby. ES ČR je součástí evropské propojené soustavy UCTE a dodržuje její závazné provozní a bezpečnostní standardy. Pro každou zemi jsou určeny minimální objemy regulační energie v různých kategoriích.

V souvislosti s rozvojem VTE je třeba se zabývat i jejich vlivem na navýšení potřeby regulační energie, tzn. podpůrných služeb (PpS). Metodika je popsána v PPPS. Hledisko regulovatelnosti ES a vlivu obnovitelných zdrojů na velikost potřebných regulačních výkonů a rezerv je natolik závažná a složitá problematika, že její řešení vyžaduje komplexní přístup hodnocení očekávaného provozu ES se zahrnutím rozsáhlého komplexu faktorů.

Zabezpečení stabilní a vyrovnané výkonové bilance ES ČR zajišťuje společnost ČEPS, a.s. jako nejvyšší subjekt energetického sektoru. K vyrovnávání odchylek využívá podpůrné služby (PpS), které spolu s dispečerským řízením soustavy tvoří tzv. systémové služby (SyS). PpS se skládají z různých produktů, v závislosti na rychlosti dodávky/odběru (tzv. záporná regulace) záložního výkonu se dělí na primární, sekundární a terciární regulaci. Záložní služby nabízejí zejména moderní spalovací turbíny s rychlými startovacími časy. Obecně je pro vyrovnávání produkce VTE zapotřebí sekundární a terciární regulace, tzn. záložní výkony startující do 30 minut. Současný záložní systém ČR je schopný pokrýt přibližně 500 – 600 MW instalovaného výkonu VTE. Pokud instalovaný výkon VTE i nadále poroste nad tuto hranici, je nutné zvýšit rovněž množství PpS pro vyrovnávání odchylek ve výrobě VTE.

3.6. Shrnutí kapitoly

První část kapitoly je věnována metodice určení využitelného větrného potenciálu na území ČR. Je zde navržena metodika „postupného překrývání datových vrstev“, jejíž podstata je v postupném vyčleňování oblastí nevhodných pro výstavbu VTE. Základní vrstva je tvořena mapou větrného potenciálu ve výšce 100 m nad zemským povrchem s průměrnou rychlostí větru 6 a více m.s^{-1} . Následují další mapové vrstvy oblastí s omezením pro výstavbu VTE – mapa chráněných krajinných oblastí a národních parků, oblasti náletových koridorů dopravních a vojenských letadel, velké městské aglomerace a průmyslové zóny, atd.

Dalším krokem při určování celkového využitelného větrného potenciálu VTE je určení jednotkové plochy VTE/VP, jejíž výsledky určují kolik MW jde průměrně postavit na 1 km^2 . Při této analýze se vychází z celkové plochy stávajících větrných parků. Vzhledem ke specifickým omezujícím faktorů, které nejdou deterministicky uchopit byla jednotková plocha vynásobena koeficienty zahrnující vliv hustoty zalidnění, zalesnění a ostatní zastavěné plochy, které nebyly v první části postupu brány v potaz.

Metodika určení využitelného výkonu VTE na území ČR byla využita při zpracovávání výzkumného projektu pro Ministerstvo životního prostředí v roce 2009 Ústavem elektroenergetiky FEKT VUT Brno. Výsledná plocha reprezentující využitelný potenciál VTE v České republice byla stanovena na 5700 km^2 , což představuje asi 7 % celkové plochy ČR, čemuž odpovídá na základě dvou řešených variant jednotkových ploch VTE větrný potenciál 12,5 GW a 20,52 GW instalovaného výkonu VTE. Jedná se o teoretickou hodnotu, která udává výkon VTE při úplném pokrytí všech ploch, na kterých je možné stavět VTE s patřičnou účinností.

První varianta - 20,5 GW je velmi optimistická hodnota a při výpočtu byla uvažována vyšší hustota instalovaného výkonu VTE na celkové ploše, kterou je možno použít pro výstavbu VTE. Je to hodnota, která nezohledňuje členitost terénu, lesnatost ani hustotu osídlení ČR. Zahrnuje pouze determinovaná omezení, která jsou vyjádřena plochami eliminovanými z mapy větrného potenciálu na území ČR.

Druhá varianta - 12,5 GW je hodnota, která se více blíží možností výstavby VTE na našem území. Zde je však nutno zdůraznit, že analýza pracovala s reálnými podmínkami, které lze vyjádřit váhovými koeficienty.

Další omezení, která jsou dána místní politikou nebo veřejným míněním, nelze ve žádným způsobem deterministicky určit a zohlednit ve výpočtu. Proto je s nutno s uvedenou hodnotou pracovat velmi obezřetně.

V druhé části kapitoly je spočtena volná kapacita sítí pro připojení nových zdrojů do ES ČR. Vstupními podklady byly podané žádosti na připojení nových zdrojů. Z celkového počtu

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

podaných žádostí rozdělených podle zamýšleného připojovaného výkonu vyplývá, že se mění trend rozvoje OZE podle zastoupení typů. Požadavky na výstavbu VTE již prakticky nenarůstají a zájem investorů se výrazně zaměřuje na výstavbu FVE. Přehled všech podaných žádostí členěných dle zamýšleného souhrnného instalovaného výkonu je znázorněn v tabulce 3.9.

	VTE [MW]	FVE [MW]	Ostatní zdroje [MW]	Celkem [MW]
Žádosti na E.ON Distribuce, a.s.	593	2471	501	3565
Žádosti na ČEZ Distribuce, a.s.	1939	1278	1351	4568
Žádosti v sítích 110 kV, vn a nn	2532	3749	1852	8133
Žádosti na ČEPS, a.s.	702	29		731
Podané žádosti celkem [MW]	3234	3778	1852	8864

Bez ostatních zdrojů v PS

Stav žádostí k 31.3.2009



Tab. 3.9. Souhrn všech podaných žádostí o připojení nových zdrojů do ES ČR členěné dle zamýšleného instalovaného výkonu

Trvale rostoucí zájem investorů o výstavbu obnovitelných zdrojů převážně směřujících svým připojením do distribučních soustav vede k naplnění a překročení technických možností sítí pro jejich připojení. V současnosti jsou v ES ČR již oblasti sítí 110 kV, ve kterých je zájem investorů o připojení OZE, především VTE a FVE, do sítí vyšší, než jsou stávající možnosti těchto sítí a transformačního výkonu PS/110 kV.

Metodika stanovení volné kapacity ES ČR pro připojení nových zdrojů, je založena na kontrole přenosové schopnosti soustavy při neúplném zapojení sítí, simulujíc tak údržbu vedení v letních měsících. Prvky jsou kontrolovány s uvažováním všech 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. 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. Připojitelný výkon zdrojů do soustavy v dané lokalitě je pak dán přenosovou schopností soustavy v neúplném zapojení. 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 sítí k roku 2009 bez uvažování jejich posilování a připravovaného rozvoje.

V následující tabulce 3.10. je uveden přehled vypočítané volné kapacity pro připojení nových zdrojů pro jednotlivé napájecí oblasti PS/110 kV v ES ČR s uvedením omezujících

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

faktorů pro jejich připojování a předpokládané zaplnění příslušné části této volné kapacity jednotlivými typy OZE.

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 Horní 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 Přeštice	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

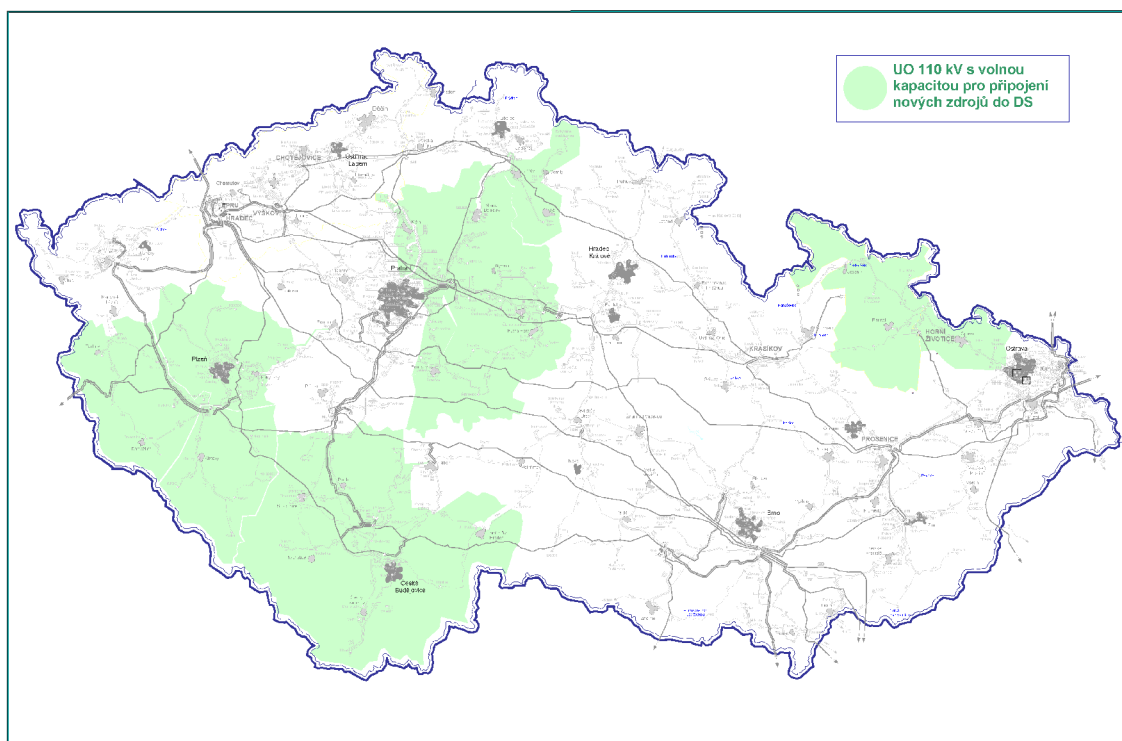
*Tab. 3.10. Volná kapacita pro připojení nových zdrojů dle jednotlivých napájecích oblastí
a očekávané zaplnění volné kapacity jednotlivými druhy OZE*

Napájecí oblasti bez volné kapacity jsou označeny žlutým podbarvením s červenou hodnotou (se znaménkem mínus), která udává, o jaký výkon je dovolená připojitelná kapacita v dané oblasti překročena.

Napájecí oblasti s překročenou kapacitou na připojení zdrojů v současnosti a dále s překročenou kapacitou při uvažování podaných žádostí na připojení nových zdrojů jsou

vyznačeny v mapě v příloze (příp. Obr. 3.15.). Dále jsou v této mapě vyznačeny lokální oblasti, kde dochází k překročení kapacity vývodových vedení a smyček 110 kV při uvažování podaných žádostí na připojení nových zdrojů bez posílení síťových prvků.

Oblasti s volnou kapacitou pro vyvedení nových zdrojů je vyznačena v obrázku 3.16.



Obr. 3.16. Volná kapacita sítě ES ČR pro připojení nových zdrojů

Požadavky větrných parků směřujících svým připojením přímo do přenosové soustavy představují v současné době asi 700 MW instalovaného výkonu. Jejich připojení vyžaduje výstavbu nových rozvodů PS. Z hlediska připojování nových zdrojů typu VTE jsou kapacitní možnosti sítě 400 kV velké. Vynucené posílení sítě 400 kV vyvolané připojením nových zdrojů může narážet na mnohá omezení především s ohledem na možnosti výstavby nových linek a průchodnost koridorů (územní omezení).

V případech připojování VP do PS se mnohdy jedná o připojení do systému 220 kV, kde však již existuje celá řada omezení daných přenosovou kapacitou linek 220 kV, která připojitelný výkon nových zdrojů značně omezují a v některých oblastech nedovolují připojit dokonce vůbec žádný výkon. Tato omezení jsou hlavně v západní části soustavy – rozvodny Vítkov, Výškov, Chotějovice. Rovněž mohou nastat omezení pro vyvedení nových zdrojů v síti 400 kV v souvislosti s vysokými tranzity elektřiny.

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. Úvod kapitoly je věnován kritickým stavům v propojených soustavách zemí EU v minulých letech, způsobených velkým nasazením kolísavých OZE. Další části stručně popisují možnosti dispečerského řízení a jejich nástrojů, včetně využití speciálních zařízení pro řízení toků výkonu v propojených sítích. Práce se dále 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 s cílem nalézt optimální řešení pro ES ČR na omezení tzv. kruhových toků výkonu (viz. níže). Podrobnou síťovou analýzou jsou odhaleny slabá, tzv. úzká místa, přenosové sítě 400 kV a jsou navržena protipatření. 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.

Úvod do problematiky

Velké množství neříditelných (neregulovatelných) malých zdrojů s variabilní a kolísavou výrobou způsobuje již v současné době v některých sítích velkých evropských států (Německo, Španělsko, Dánsko, aj.) značné problémy s řízením soustavy. Nedodržení výkonové rovnováhy soustav má za příčinu vznik tzv. kruhových toků výkonu (loopflows), kdy jsou PS sousedních států zatíženy přetoky výkonu do míst spotřeby. Takovéto nestandardní toky mají řadu vedlejších negativních efektů a zhoršují bezpečnost provozu okolních sítí. Nehledě na stochastický charakter výkonových přetoků, zatěžují soustavy okolních států zvyšováním ztrát, snížením přenosové schopnosti vedení, snížením volné kapacity na mezistátních profilech pro možnosti obchodování s elektřinou na energetické burze, omezení vyvedení výkonu z elektráren atd. Kromě těchto omezení mohou velké toky napříč oblastí střední Evropy způsobit přetížení kritických linek a může dojít k velkým systémovým poruchám, v krajních mezích až rozpadu propojené synchronní soustavy. V průběhu posledních let došlo v oblasti střední Evropy k několika velkým systémovým poruchám, nejdříve rozpad polské přenosové soustavy na ostrovní provoz (26.6.2006), pak stav nouze ES ČR (25.7.2006), rozpad propojené soustavy UCTE do ostrovního provozu (4.11.2006) [22] nebo například nouzový stav ES ČR z 10. - 11. listopadu 2008 při velké produkci VTE v Německu. Vyrůstající četnost těchto krizových stavů a poruch v posledních letech a zejména jejich následky vyvolávají velký znepokojení nejen mezi odbornou veřejností.

Přetěžování linek 400 kV ES ČR při vysoké výrobě elektrické energie z VTE v severním Německu, je v současnosti natolik vážné, že provozovatel přenosové sítě ČR ČEPS musí pro jejich řešení používat nestandardní nástroje operativního řízení. Mezi tyto nástroje patří například rekonfigurace sítí (změna topologie sítí), redispečink zdrojů či vydělený provoz zdrojů do určité oblasti. Tato nesystémová řešení však nejsou z dlouhodobého hlediska možná a dostačující především v důsledku neustále rostoucího instalovaného výkonu VTE v Německu (plány na P_{inst} VTE do roku 2020 cca 50000 MW). Negativní dopady na ES ČR se budou stále stupňovat až do doby, kdy stávající prostředky na eliminaci těchto problémů nebudou stačit.

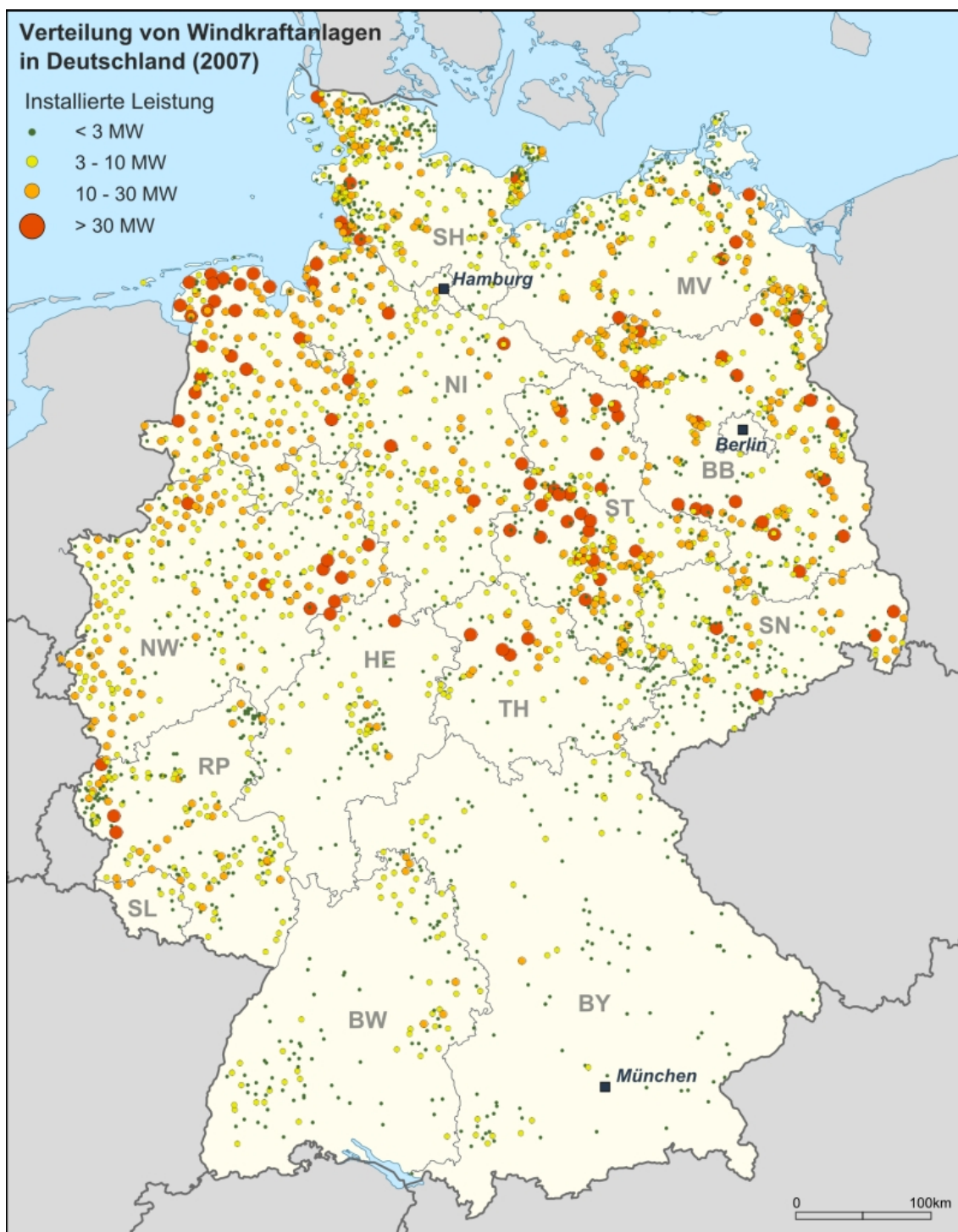
Navíc dnes neexistuje celoevropská koncepce, která by shromažďovala a rozdělovala finance na řešení tohoto problému. Veškerá řešení „přetoků“ z Německa, které musí PPS (ČEPS, a. s.) řešit, jsou a nadále budou hrazena výhradně českým konečným zákazníkem. Pokud nebude existovat celoevropský systém rozvoje sítí a alokace financí pro tuto výstavbu, nebude v silách a možnostech jednotlivých národních provozovatelů přenosových sítí tyto problémy adekvátně řešit.

Proto je třeba pro odpovídající a dlouhodobé řešení tohoto rizika nutné hledat systémové řešení a vyvarovat se složitého, neefektivního a někdy až nebezpečného (riskantního) dispečerského řízení (lidský faktor).

4.1. Krizové stavy v ES ČR

Současný trend liberalizované energetiky klade stále větší důraz na kooperaci mezinárodních elektrizačních soustav.

V posledních letech dostala česká energetika hned několik důrazných varování ze strany neřízených OZE v podobě neočekávaných extrémních přetoků na a operátoři PS byli nuceni vyhlásit nouzové stavy. Tyto krizové stavy má příčinu především v neregulované výrobě z VTE, zejména v severním Německu a Dánsku. Zde jsou totiž výborné podmínky pro využití VTE a tudíž velký počet těchto zdrojů. Ilustračně ukazuje rozmístění VTE obrázek 4.1.[28]. Velkou kumulaci VTE v jedné lokalitě již nelze považovat za zdroj disperzní, tedy rozptýlený. Disperzní zdroje jsou zdroje většinou s nízkým instalovaným výkonem, rozptýleným v různých částech ES, čímž dochází k injektáži výkonu blízko místa spotřeby a nezatěžuje se PS přenášením výkonu z místa výroby ke spotřebiteli. Tuto hrubou definici splňují i VTE, avšak vysoké zastoupení těchto zdrojů v jedné oblasti má za dobrých povětrnostních podmínek efekt zcela opačný. Výroba v oblasti převyšuje spotřebu konečných zákazníků a výkon teče z nižších napěťových hladin do PS. Přesně taková je i situace v severním Německu. Zde kromě tohoto faktu vstupuje další významný faktor, který ovlivňuje ES ČR.



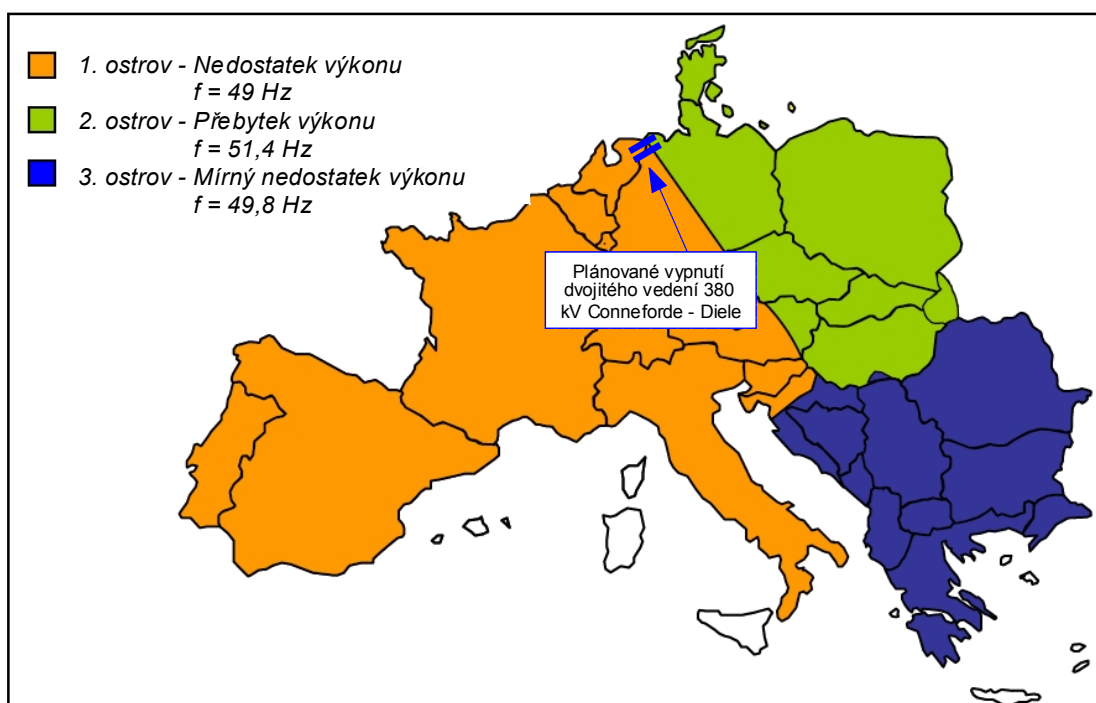
Obr. 4.1. Schématické zobrazení VTE v severním Německu [28]

Tímto faktorem je velice slabé elektrické propojení na úrovni PS mezi bývalým východním a západním Německem. Provozovatelé německé PS sice plánují výstavbu nových linek 380 kV, avšak výstavba takového vedení je v současnosti těžko průchodná z důvodů špatné legislativy, což prodlužuje dobu výstavby vedení na řádově 10 – 15 let.

V nedávné době se neřízená dodávka OZE významně podílela na dvou vážných krizových stavech v propojených sítích zemí EU. Prvním byl rozpad sítě UCTE ze dne 4. listopadu 2006 a druhým byl stav nouze ES ČR ze dnů 10.-11. listopadu 2008.

- **Okolnosti provozu VTE při rozpadu propojených sítí UCTE**

Původně banální dispečerská operace – plánované vypnutí dvojitého vedení 380 kV v Německu vedení kvůli průjezdu lodě přes řeku Ems - se nečekaně změnila v nejrozsáhlejší systémovou poruchu v historii propojených soustav UCTE. Vypnutí vedení 380 kV mezi rozvodnami Conneforde – Diele, které vede přes řeku Ems bylo plánované z důvodu průjezdu velké zaoceánské lodě (Norwegian Pearl). Nicméně v důsledku neplánovaných a neočekávaných změn toků výkonů mezi jednotlivými propojenými soustavami a rovněž v důsledku vysoké výroby z VTE, došlo k přetížení klíčových vedení 380 kV a následnému kaskádovitému rozdělení soustavy UCTE na tři ostrovní oblasti. Rozdělení soustavy UCTE je znázorněno na obrázku 4.2.



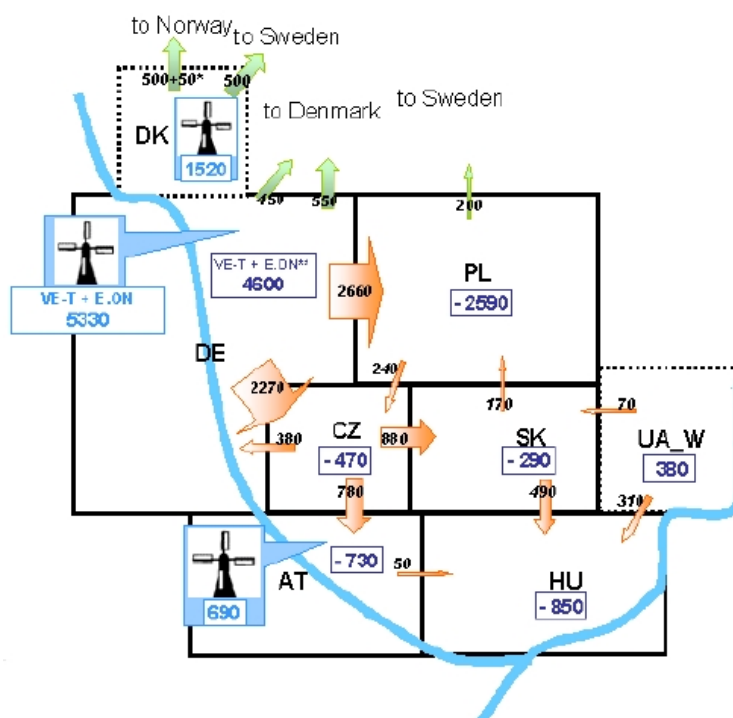
Obr. 4.2. Schématické rozdělení soustavy UCTE do tří ostrovních oblastí

První ostrovní oddělený provoz vznikl v západní části Evropy (oranžová barva). Zde nastal velký deficit výkonu a frekvence v celé oblasti poklesla na 49,0 Hz. Při řešení této krizové situace byly aktivovány systémy automatického odpojování zátěže. Dle [23] došlo celkově k odpojení 17000 MW zátěže a uvedení do provozu celkově 1600 MW čerpacího výkonu. Výpadkem výkonu bylo postiženo více než 15000 odběratelů.

Druhý ostrov vznikl v severovýchodní části Evropy, kam spadala i ES ČR. Zde byl naopak výrazný přebytek výroby a frekvence se přechodně zvýšila až na 51,4 HZ. V prvním okamžiku

zareagovaly VTE citlivé na frekvenci a došlo k jejich hromadnému odpojení (asi 5400 MW v severním Německu a 800 MW v Rakousku). Za několik minut se operátorům podařilo částečně vyrovnat bilanci a došlo k ustálení frekvence. V tom okamžiku se opět začaly VTE nekontrolovatelně připojovat a soustava se dostala opět do nevyrovnaného stavu. Operátoři tedy museli složitě manipulovat s centrálně řízenými zdroji a dále složitě snižovat výrobu v důsledku zvýšené produkce VTE. Paradoxní bylo to, že v době, kdy se operátoři snažili rychle snížit výrobu, VTE vlivem dobrých povětrnostních podmínek zvyšovali svou produkci a působili de facto proti snaze operátorů. Schéma toků výkonů při nejvyšší frekvenci je na obrázku 4.3. [23]

Třetí ostrov vznikl v jihovýchodní Evropě a převládal zde mírný nedostatek výkonu a frekvence se ustálila na 49,8 Hz.



Obr. 4.3. Toky výkonu v severovýchodním ostrovu v okamžiku nejvyšší frekvence během celého rozpadu soustavy UCTE

Soustava byla úspěšně resynchronizována asi za necelé 2 hodiny od jejího rozpadu. [23]

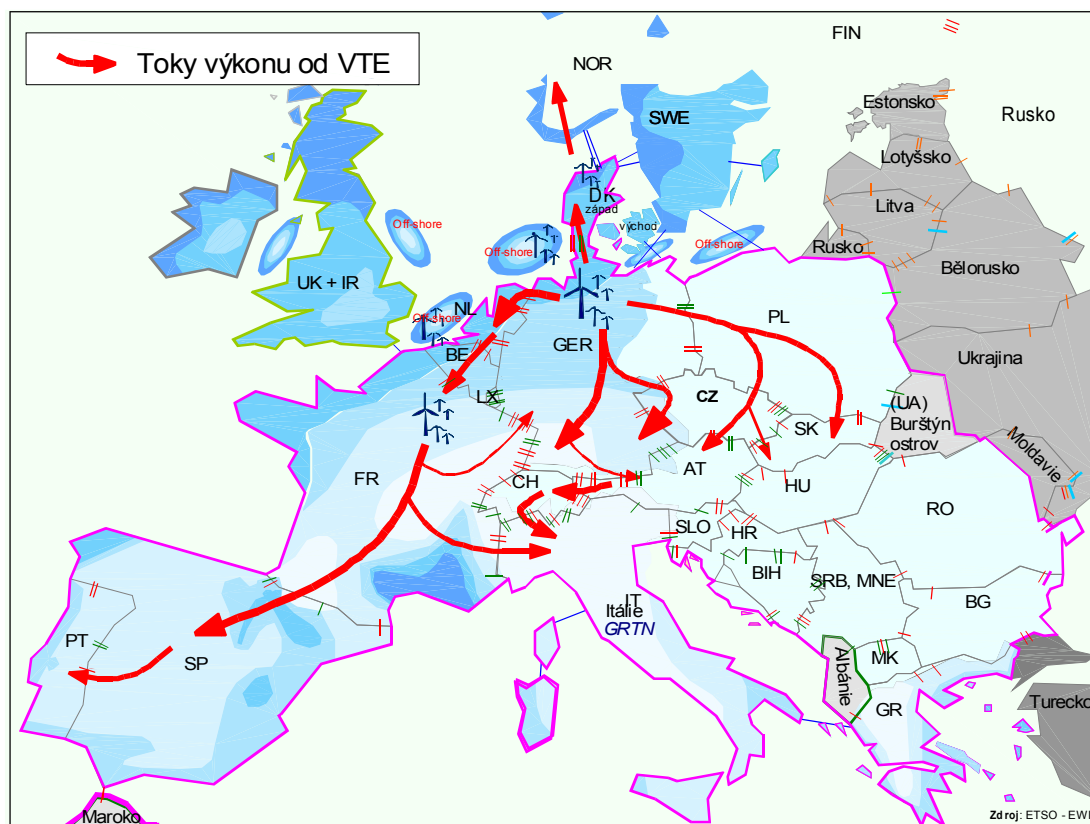
- **Krizový stav ES ČR při vysoké produkci VTE v severním Německu**

Ve dnech 10.-11. listopadu 2008 došlo v důsledku náhlého silného větru k vysoké výrobě VTE v severním Německu, což způsobilo extrémní zatížení PS ČR a hrozilo její zhroucení spojený s následným „zhasnutím“ neboli blackoutem.

V inkriminovaných dnech byla nasmlouván export přibližně 200 MW výkonu z PS ČR do Německa, avšak skutečné fyzické toky výkonu byly naprosto odlišné. Z německé přenosové soustavy do PS ČR teklo až 1700 MW [24]. Operátoři ČEPS museli okamžitě reagovat na tento

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

neohlášený tok výkonu regulací výkonu v ES ČR a odlehčit přetížené soustavě neboť hrozilo její zhroucení. Kritické bylo především zatížení vedení 400 kV V412 Hradec – Řeporyje. Schématické zobrazení zatížení okolních soustav kruhovými toky v obdobných případech je na obrázku 4.4.



Obr. 4.4. Zatížení elektrických soustav kruhovými toky výkonu v důsledku vysoké produkce VTE v severní Evropě

Problematika velkých přetoků elektřiny v důsledku náhlého zvýšení produkce VTE z Německa bude z dlouhodobého hlediska stále častější. Pokud se nezačne podporovat rozvoj evropských přenosových soustav obdobným způsobem jako se podporuje rozvoj OZE, je otázkou času, než dojde k úplnému rozpadu propojených soustav a blackoutu. Z tohoto důvodu jsem se v této části disertační práce zaměřil na hledání řešení při omezování vynucených toků způsobených velkým nasazením VTE v jedné z částí propojených ES v Evropě.

4.2. Dispečerské prostředky pro regulaci toků výkonů

Zvyšující se mezistátní výměny energie je třeba efektivně kontrolovat a regulovat, aby nedocházelo k přetěžování stěžejních přenosových prvků a následně krizových stavů. Mezistátní vedení byla v minulosti využívána pouze jako záložní vedení pro případ výpomoci ze zahraničí při výpadku velkých bloků a obecně sloužila pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti ES ČR. Současný stav přeshraničních vedení 400 kV však již nevyhovuje požadavkům na zvyšování objemů mezistátních výměn elektrické energie a je nutno posilovat mezistátní propojení a vazby ve směrech hlavních toků elektřiny.

Nicméně operátoři PS mají k dispozici několik regulačních nástrojů, kterými se mohou vypořádat s velkými tranzitními toky výkonu ze zahraničí.

a) Redispečink zdrojů (změna nasazení výkonu zdrojů)

Jedná se o přerozdělení provozu zdrojů mezi regiony tak, aby nové síťové přepojení zdrojů příznivě působila na stávající situaci. V současných podmínkách v ČR je provozovatel PS právně oddělen od provozu zdrojů, tudíž je realizace těchto opatření poměrně problematická.

V praktických případech se mění nasazení bloků vyvedených do PS, u kterých není nutný provoz z důvodů dodávky tepla.

b) Řízení spotřeby prostřednictvím HDO

Hromadné dálkové ovládání má pouze omezený vliv na toky činných výkonů. To je dáno především časovým omezením, neboť HDO nelze využít kdykoli. Používá se především jako podpůrná služba při tvarování odběrových diagramů regionálních distribučních soustav.

c) Rekonfigurace sítě (změna topologie/zapojení sítě)

Rekonfigurací sítě, nebo též změnou topologie sítě se rozumí přepojení sítě tak, aby nedocházelo k přetěžování klíčových prvků PS. V praktických situacích se například omezují údržbové práce na vedeních a zapínají se vedení, která jsou momentálně v odstávce. Vypínání vedení většinou snižuje přenosové schopnosti soustavy a zvyšuje impedanci sítě, což vede k zvýšení ztrát.

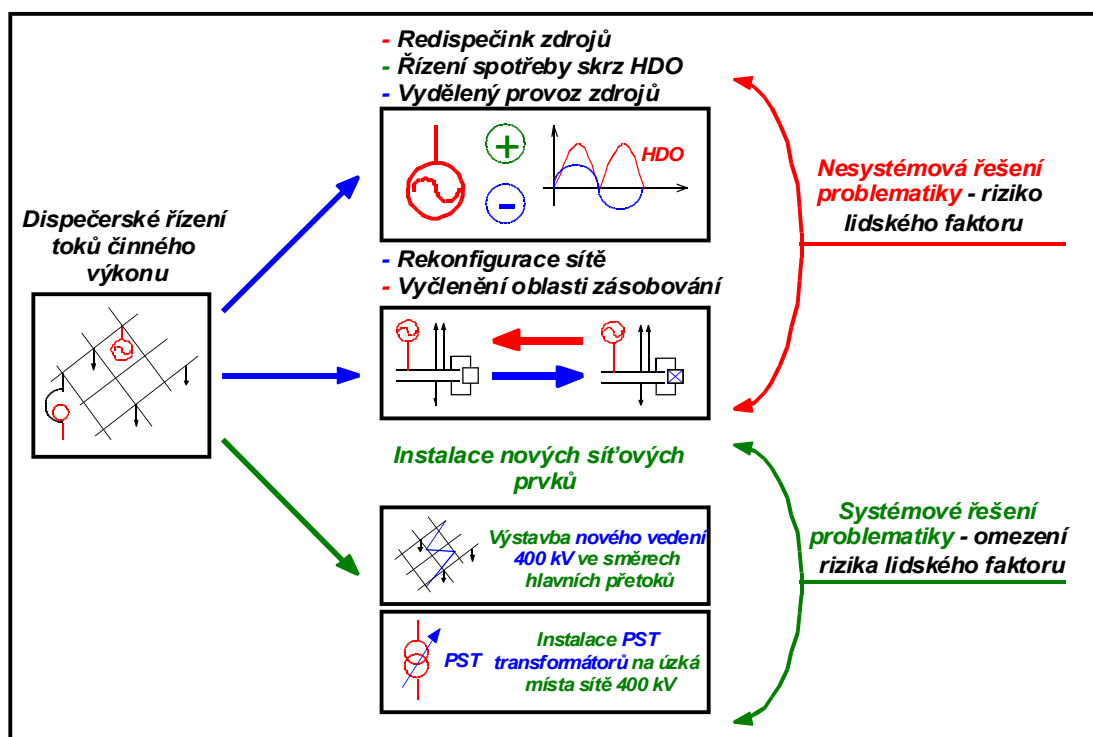
d) Vyčlenění oblasti zásobování (ostrovní provoz spotřeby)

Jedná se o případy, kdy je určitá oblast spotřeby vyčleněná z regionálního napájení a je zásobena přímým vedením ze zahraničí. Tyto případy se vyskytují v ES ČR na hladině 110 kV a slouží především ke snížení zatížení PS v místě spotřeby. Nicméně vyčlenění oblasti zásobování 110 kV se zahraničím není většinou vynuceno technickými příčinami, ale zabezpečením obchodních případů.

e) Vydělený provoz zdrojů (ostrovní provoz zdrojů)

Vyděleným provozem zdrojů se rozumí nasazení výkonu elektrárny připojené do PS přímo do určité oblasti, přičemž dojde v jiných oblastech k odlehčení vedení a zvýšení přenosových schopností v dané oblasti. Tento příklad provozu se rovněž využívá pro zabezpečení požadovaných vysokých exportů z ES. [vše 25,26].

Následující obrázek 4.5. přehledně rozděluje možnosti dispečerského řízení. Veškeré výše uvedené metody nelze považovat za systémové a spolehlivé, neboť se k nim většinou přistupuje až při vysokém zatížení prvků PS. Mnohdy jsou manipulace dispečerů založeny „pouze“ na jejich odborných odhadech a zlepšení dané situace není ověřeno síťovou analýzou, neboť v takovýchto krizových stavech je třeba reagovat velice rychle a na výpočty většinou nezbývá čas.



Obr. 4.5. Schématický přehled aktuálních možností dispečerského řízení

4.3. Transformátory pro regulaci výkonů

Dnešní technologie dávají operátorům PS mnoho kvalitních nástrojů pro řízení toků výkonu propojených soustavách. Mezi tyto nástroje patří především:

- Stejnosměrný přenos (HVDC – High Voltage Direct Current).
- Tyristorově řízená sériová kompenzace (TCSC – Thyristor Controlled Series Compensator).

- Univerzální regulátor výkonů (UPFC – Universal Power Flow Controller).
- Specializované transformátory pro regulaci toku výkonů [26].

Srovnání základních vlastností výše zmíněných regulačních technologií je přehledně publikováno např. v [26]. Nejvhodnější variantou pro poměry České energetiky je využití specializovaných transformátorů pro regulaci toku výkonů.

Jedná se především o transformátory s příčnou regulací (TPR), které svou konstrukcí umožňují jistým způsobem regulovat toky výkonu v sítích.

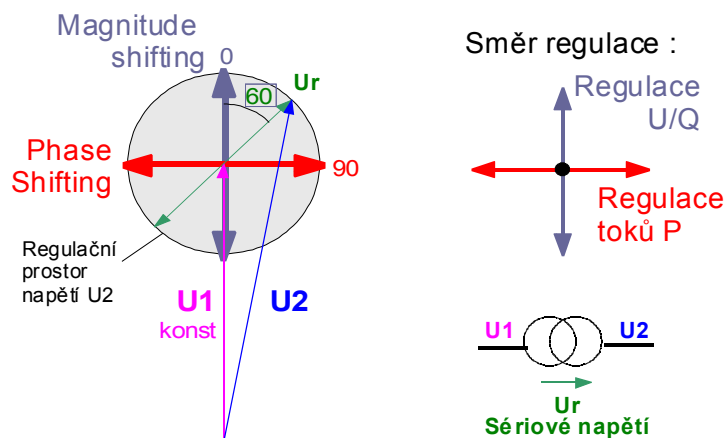
Transformátory s příčnou regulací (TPR)

Běžné transformátory s možností regulace odbočkami v PS, které spojují dvě rozdílné napěťové hladiny, mají všechna tři napětí na svorkách ve fázi (primár, sekundár a regulační napětí na odbočkách). U transformátorů s příčnou regulací (TPR) je při regulování odbočkami část přidavného napětí přičítána či odečítána k výstupnímu napětí. Transformátory s příčnou regulací mají regulační napětí úhlově natočené vůči primárnímu, což má za následek změnu vzájemného výsledného úhlu mezi primárním a sekundárním vinutím. Tento fázový posun nastává i při zapojení transformátoru naprázdno. Výsledná změna úhlu mezi primárním a sekundárním napětím se pohybuje kolem 5° – 10° . Takováto změna úhlu má za následek již výraznou změnu toku činného výkonu přes transformátor.

Transformátory s fázovou regulací (PST)

Transformátory pro regulaci fáze jsou konstruovány především pro řízení toků činného výkonu. Změna napětí (regulace) je jen doplňkovou funkcí. Zapojuje se tedy do stejné napěťové hladiny především do vývodů mezistátních vedení pro usnadnění obchodních toků výkonu. Princip regulace je obdobný jako u transformátorů s příčnou regulací, tedy k sekundárnímu napětí se přičítá/odčítá fázově posunuté regulační napětí. Fázový posun v případě PST transformátorů činí obvykle 90° , což se projevuje i ve velkém fázovém posunu sekundárního napětí vůči primárnímu (až 40°). Na obrázku 4.6. je znázorněn fázorový diagram regulačního efektu u PST transformátorů [27].

Regulace napětí na PST - modul, úhel



Obr. 4.6. Fázorový diagram regulačního mechanismu PST transformátorů [27]

4.4. Analýza vlivu kruhových toků na ES ČR

4.4.1. Vstupní data

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. Jedná se o zdvojení vedení V403 Prosenice – Nošovice plánované do roku 2010, propojení rozvodu 400 kV Krasíkov – Horní Životice do roku 2011 a změna napěťové hladiny v Rz. Chotějovice do roku 2011. Rovněž je aktualizována výše spotřeby a výroby (nové zdroje Ledvice - 600 MW a VP Chomutov I. - 182 MW) v modelu dle predikcí EGÚ Brno, a. s. Pro snadnější orientaci je v oddíle Příloh velká mapa PS ČR ve formátu A3.

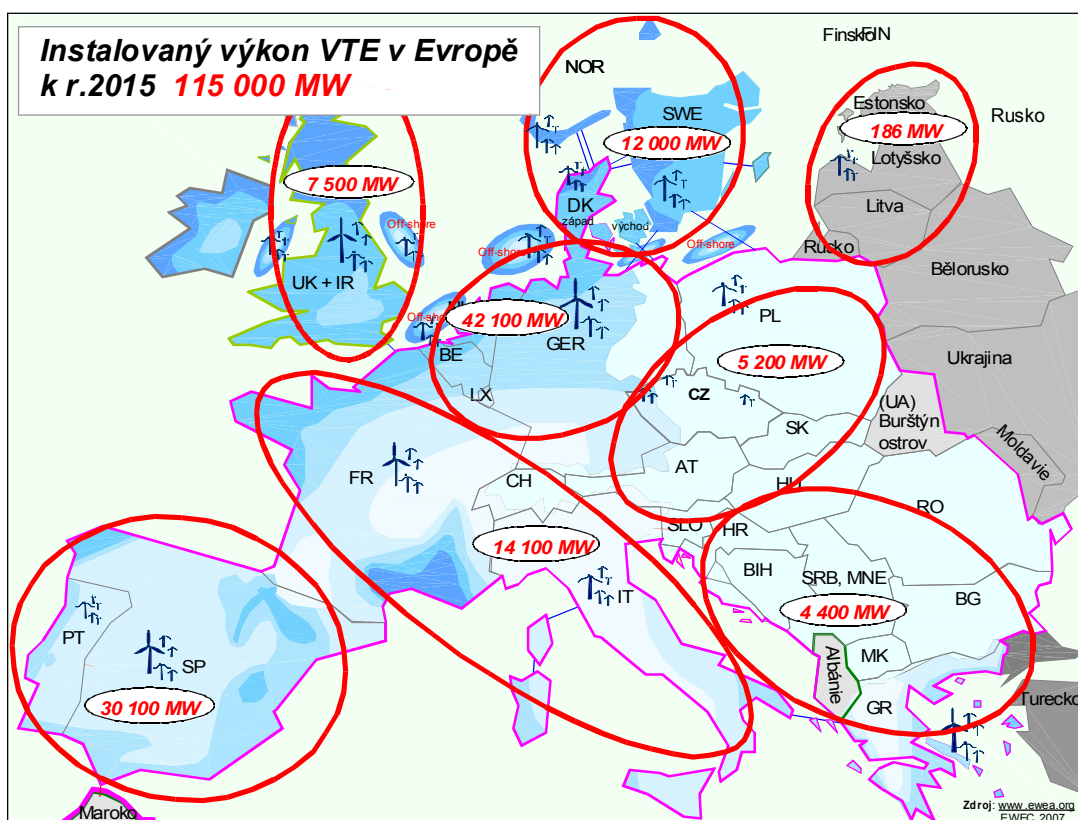
K analýze vlivů VTE na ES ČR byl použit simulační program GLF, dlouhodobě vyvíjený v EGÚ Brno, a. s. Je to komplexní program pro analýzy v sítích VN, VVN a ZVN, vhodný je zejména pro výpočty ustálených chodů, analýzy napěťových poměrů, výpočty zkratů anebo provádění kontroly spolehlivosti provozu sítě podle kritéria (N-1).

4.4.2. Výpočetní varianty

- **Základní stav (W0ZS, W1ZS)**

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. Označení jednotlivých variant přímo udává stav nasazení VTE v severní Evropě, např. W0ZS = W – Nasazení větrných elektráren v severní Evropě (Wind power plants), 0/1 – off/on, ZS – Základní Stav zapojení sítě 400 kV (dále W1vA – varianta zapojení sítě A s nasazením výkonu VTE v severní Evropě, atd.). Elektrické schéma zapojení PS ČR je na konci práce v oddílu Příloh pod označením W0ZS. Ve všech variantách a výpočtech byla prověřována pouze síť 400 kV, neboť to je páteřní systém ES ČR. Přenosová síť 220 kV je v současnosti ve stavu „dožívání“ a s jejím systematickým rozvojem se nadále již nepočítá.

Na výše popsaném modelu jsem provedl základní výpočty sítě 400 kV a prověřil její stabilitu – zatížení jednotlivých vedení 400 kV a kontrolu pomocí spolehlivostního kritéria N-1. V následující tabulce 4.1. jsou přehledně vyhodnoceny výsledky analýzy zatížení vedení 400 kV v základním stavu bez nasazení výkonu VTE v severní Evropě. Výše dovoleného zatížení vedení je podle Pravidel Provozování Přenosové Soustavy za normálního provozu (tzn. ne během poruchového stavu N-1) 60% dovoleného proudového zatížení (I_{dov}). Rozložení toků přes PS ČR je v tomto základním provozním stavu na obrázku 4.7.



Obr. 4.8. Předpokládaný instalovaný výkon VTE v Evropě v roce 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. Z domácích i zahraničních zkušeností je zřejmé, že právě takovéto prudké změny výroby jsou typické pro provoz VTE.

Následuje opětovná kontrola zatížení vedení PS 400 kV ČR a vyhodnocení změny toků a zatížení PS 400 kV ČR. Zatížení jednotlivých vedení a hlavní toky výkonu přes vedení 400 kV jsou v tabulce 4.2.

Varianta W1ZS: Základní zapojení sítě k roku 2015 s nasazením cca 17 000 MW VTE v severním Německu.

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozvodu		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V444	Nošovice	Wielopole (Polsko)	69,2 %	974,8 MW	714,7 MW	260,1 MW	36,4%
V430	Chrast	Hradec	64,7 %	883,9 MW	319,8 MW	564,2 MW	176,4%
V431	Chrast	Přeštice	60,2 %	661,1 MW	105,5 MW	555,6 MW	526,8%
V412	Hradec	Řeporyje	58,3 %	710,9 MW	250,6 MW	460,3 MW	183,6%
V441	Hradec	Etzenricht (Německo)	55,8 %	757,4 MW	574,1 MW	183,3 MW	31,9%
V460	Albrechtice	Nošovice	55,1 %	669,8 MW	480,9 MW	188,9 MW	39,3%
V442	Přeštice	Etzenricht (Německo)	45,7 %	740,5 MW	223,7 MW	516,8 MW	231,1%
V443	Albrechtice	Dobrzeń (Polsko)	43,1 %	609,1 MW	417,4 MW	191,7 MW	45,9%
V451	Babylon	Bezděčín	42,5 %	581,0 MW	653,8 MW	-72,8 MW	-11,1%
V410	Čechy Střed	Výškov	38,2 %	465,9 MW	579,1 MW	-113,2 MW	-19,6%

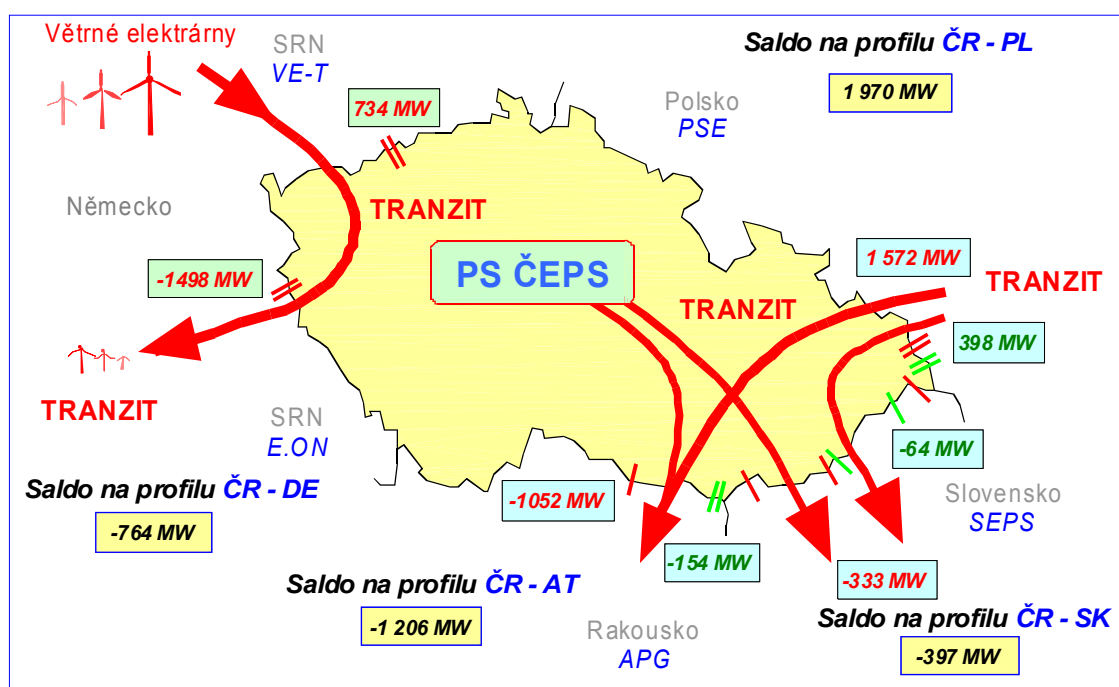
Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.2. Zatížení vedení PS 400 kV v základní variantě s nasazením VTE v Německu

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

V tabulce 4.2. je naprosto zřetelné zvýšení toku výkonu na přeshraničních profilech s Německem a Polskem. Tento kruhový tok způsobuje nedovolené zatížení na třech vedení 400 kV (tučnou černou barvou jsou označena vedení 400 kV provozovaná na hranici dovolené meze zatížení). Jednotlivé nárůsty zatížení jsou výkonově i procentuálně zvýrazněny v posledních dvou sloupcích. Červenou barvou jsou zvýrazněné nárůsty, které přesahují 100 %, modrou barvou vyznačují pokles zatížení daného vedení 400 kV. Zelené podbarvení vyznačuje hlavní tok výkonu přes PS 400 kV ČR, způsobený vysokou výrobou VTE v severní Evropě. Schématické rozložení kruhových toků přes PS 400 kV ČR je znázorněna na obrázku 4.9.

Varianta: W1ZS - Základní zapojení sítě PS 400 kV s nasazením velké výroby z VTE v severní Evropě



Obr. 4.9. Schématické rozložení kruhových toků přes PS 400 kV ČR způsobené vysokou dodávkou výkonu z VTE v severní Evropě

Velký nárůst produkce VTE na severu Evropy zcela otočí směr toku výkonu na mezistátním profilu Hradec – Röhrsdorf (V445, V446). Kromě toho dojde k překročení dovoleného zatížení vedení V430 a V431, které tvoří hlavní jednu z hlavních přenosových tras na jihozápadní přeshraniční profil s Německem Přeštice – Etzenricht. Změna toků výkonu na německém profilu rovněž výrazným způsobem zatíží vedení V412 Hradec – Řeporyje (napájející rozvodna části hlavního města Prahy), které se svým zatížením přiblíží hranici dovoleného proudového zatížení.

Na severní Moravě dojde v důsledku zvýšení produkce VTE k překročení dovoleného zatížení mezistátního vedení V444 Nošovice – Wielopole (Polsko), které je provozováno již za běžného stavu blízko mezního zatížení. Hlavní tranzitní toky na Moravě vedou z Polska do

Rakouska a kromě překročení dovolených hodnot na vedení V444 nedojde v této oblasti k výrazným nárůstům zatížení PS 400 kV v důsledku zvýšení produkce VTE v severní Evropě.

Z výsledků této základní varianty vyplývá, že při výrazné produkci elektřiny z VTE v severním Německu dochází ke značným tokům výkonu přes PS 400 kV ČR severojižním směrem. Současný stav přenosové sítě 400 kV (s plánovanými posilovacími vazbami, zmíněné v úvodu kapitoly) nesplňuje, především v západních a středních Čechách, základní spolehlivostní parametry při transportu těchto velkých kruhových toků ze zahraničí. Tuto situaci jen potvrzuje kontrola spolehlivosti přenosové sítě 400 kV podle kritéria (N-1). Výsledky této analýzy jsou v tabulce 4.3. ve sloupci W1ZS. Alarmující je především počet vedení 400 kV, u kterých došlo k překročení dovoleného zatížení při kontrole (při kontrole N-1 je dovolená mez $80\% I_{dov}$), tj. došlo k překročení v 7mi případech, přičemž nejvíce zatížené vedení bylo mezistátní vedení V444 Nošovice – Wielopole na $96\% I_{dov}$, při výpadku vedení V460 Nošovice – Albrechtice.

Přetížení transformátoru T401 400 kV/110 kV nastává ve všech řešených variantách a je vždy způsobeno výpadkem vedení 400 kV V451 Babylon – Bezděčín. Do uzlu 400 kV Babylon je vyveden výkon elektrárny Mělník III. (500 MW) a při výpadku vedení na Bezděčín, se jeho nasazení projevuje přetížením vazebního transformátoru na nižší napěťovou hladinu 110 kV. Pokud nastane tato situace, je nutné snížit výrobu elektrárny Mělník III., neboť ani sepnutí přípojníc v rozvodně Babylon na hladině 110 kV nevede, v důsledku rozdílných parametrů transformátorů 400 kV/110 kV, k snížení zatížení transformace Babylon 400 kV/110 kV (dojde k přetížení druhého vazebního transformátoru T403). Nicméně tato situace není významná z hlediska cílů disertační práce a nebude zde dále řešena.

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%	-	-	-
Transformátory 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%

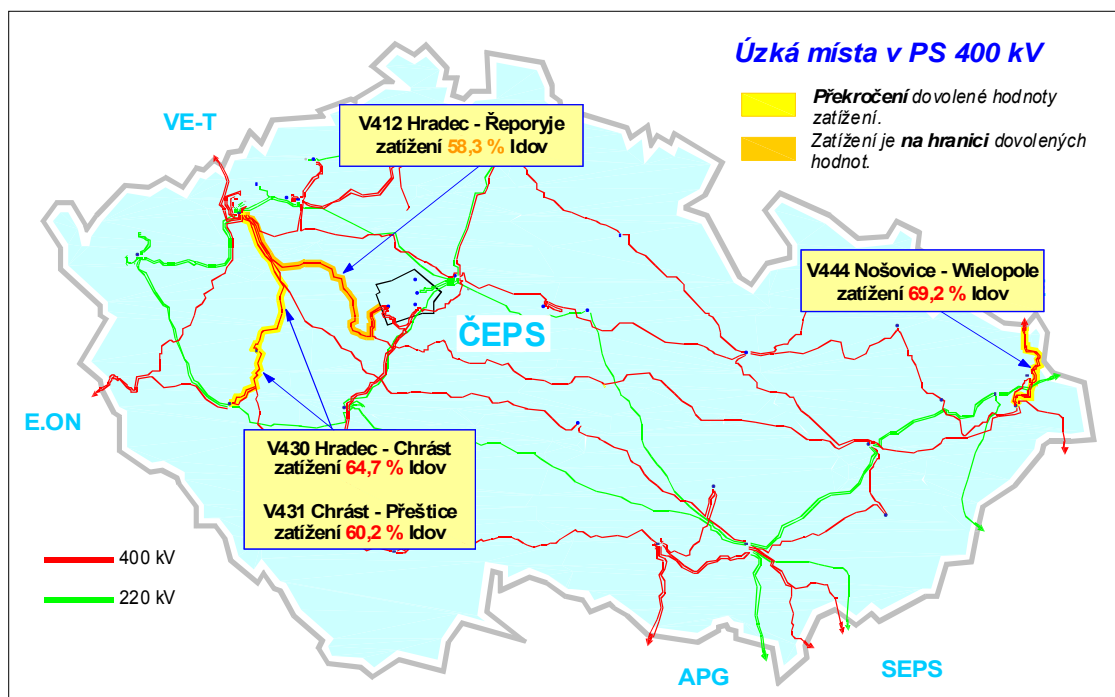
Základní popis jednotlivých variant:	W1ZS	- Základní zapojení ES ČR k roku 2015 s vysokou výrobou z VTE v severním Německu (17 000 MW).
	W1vA	- Nové vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed.
	W1vB	- Nové vedení 400 kV HRA – CST + náhrada vedení V225 (220 kV) za jednoduché vedení 400 kV.
	W1vC	- Nové mezistátní 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. 4.3. Vyhodnocení kontroly spolehlivosti přenosové sítě 400 kV v jednotlivých simulovaných variantách podle spolehlivostního kritéria (N-1)

Na následujícím obrázku 4.10. jsou zvýrazněná tzv. úzká místa (nejslabší články), které vyplývají z výsledků analýz sítě 400 kV při vysoké produkci VTE v zahraničí.

Cílem dalších variant a úprav sítě 400 kV je zajistit, pokud možno, co největší spolehlivost PS 400 kV.

Varianta: W1ZS - Základní zapojení sítě PS 400 kV s nasazením velké výroby z VTE v severní Evropě



Obr. 4.10. Zvýrazněná úzká místa PS 400 kV ČR vyvozená z výsledků analýz základního stavu zapojení sítě s vysokou produkcí VTE v zahraničí

- **Varianta A – výstavba nového vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed (W1vA)**

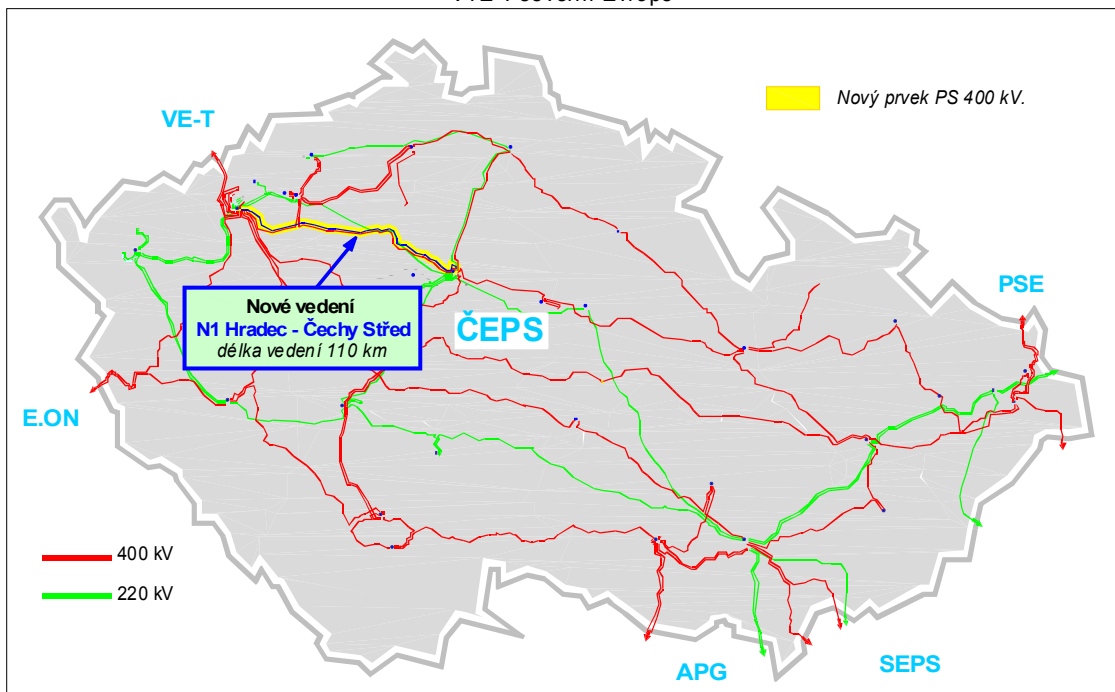
Při snaze posílit úzká místa PS ČR jsem postupoval v rámci praktických možností rozvoje ES ČR, tzn. využívat především stávající koridory vedení 400 kV a 220 kV. V první řadě jsem se snažil nalézt nejvhodnější síťový prvek pro minimalizování vlivu zahraničních kruhových toků. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách výstavba nového koridoru pro vedení 400 kV je z hlediska časového a územně - správního velice náročná. Jako nejvhodnější řešení se jeví posílit přetížené linky V430 Hradec – Chrást a V431 Chrást – Přeštice. Nicméně větší tok výkonu jižním směrem naráží na omezenou kapacitu přeshraničního vedení V442 Přeštice – Etzenricht, jehož posílení je prakticky stejně obtížné jako výstavba zcela nového koridoru vedení 400 kV. Jižní směr je z důvodu vyvedení výkonu JE Temelín zcela neprůchodný.

Navrhl jsem tedy posílit stávající linky 400 kV v koridoru vedení V411 Hradec – Výškov a V410 Výškov – Čechy Střed a zbudovat v tomto koridoru zcela nové jednoduché vedení 400 kV (trojsvazek, 350 AlFe). Cílem tohoto posílení je přenést část výkonu ze zahraničí do oblastí se spotřebním charakterem - oblasti Prahy, středních Čech a transportovat část toku jihovýchodním směrem a odlehčit jižní profily s Německem (Etznericht). Schématické

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

znázornění trasy nového vedení je na následujícím obrázku 4.11. Délka vedení je přibližně 110 km.

Varianta: W1vA - Výstavba nového vedení 400 kV **N1 Hradec - Čechy střed** s nasazením velké výroby z VTE v severní Evropě



Obr. 4.11. Varianta A – výstavba nového vedení 400 kV N1 Hradec – Čechy Střed

Elektrické schéma zapojení sítě 400 kV včetně nového, modře vyznačeného vedení N1 Hradec – Čechy Střed, je v oddíle Příloh pod označením W1vA. Následoval obdobný metodický postup při síťových analýzách jako u předchozího modelu. Výsledky zatížení vedení 400 kV jsou v následující tabulce 4.4. včetně srovnání nárůstu zatížení v původním základním zapojení sítě 400 kV bez nasazení velkého počtu VTE v severní Evropě.

Varianta W1vA: Nové vedení 400 kV HRA – CST.

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozvodu		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (WOZS)	Nárůst zatížení oproti variantě WOZS	
V444	Nošovice	Wielopole (Polsko)	67,0 %	944,0 MW	714,7 MW	229,3 MW	32,1%
V441	Hradec	Etzenricht (Německo)	61,5 %	837,8 MW	574,1 MW	263,8 MW	45,9%
V430	Chrát	Hradec	56,7 %	773,4 MW	319,8 MW	453,7 MW	141,9%
V460	Albrechtice	Nošovice	53,4 %	649,8 MW	480,9 MW	168,8 MW	35,1%
V431	Chrát	Přeštice	50,2 %	552,9 MW	105,5 MW	447,4 MW	424,2%
V442	Přeštice	Etzenricht (Německo)	44,0 %	711,1 MW	223,7 MW	487,5 MW	217,9%
V412	Hradec	Řeporyje	42,1 %	512,6 MW	250,6 MW	262,0 MW	104,5%
V443	Albrechtice	Dobrzeń (Polsko)	41,6 %	588,7 MW	417,4 MW	171,3 MW	41,0%
V451	Babylon	Bezděčín	40,8 %	559,1 MW	653,8 MW	-94,7 MW	-14,5%
V437, V438	Slavětice	Dümmrohr (Rakousko)	38,0 %	539,2 MW	526,2 MW	13,0 MW	2,47%

Prevládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.4. Zatížení vedení PS 400 kV s novým vedením 400 kV Hradec – Čechy Střed s nasazením VTE v Německu

Nové vedení N1 je vlivem zahraničních přetoků výkonu zatíženo přenosem 481,1 MW čemuž odpovídá 34,8 % dovoleného zatížení. Z tabulce 4.4. je opět zelenou barvou znázorněn hlavní směr toku výkonu. Z hodnot zatížení je zřejmé, že výstavba nového vedení 400 kV

částečným způsobem sníží zatížení klíčových linky pro přenos výkonů ve směru sever – jih. Došlo k částečnému odlehčení vedení V430 Chrást – Hradec, V431 Chrást – Přestice, V412 Hradec – Řeporyje a k nepatrnému poklesu zatížení na vedení V444 Nošovice – Wielopole. Nicméně vzrostlo zatížení Česko - Německého profilu V441 Hradec – Etzenricht o cca 81 MW což již překračuje meze celkové dovoleného zatížení vedení.

Kromě výše zmíněných efektů má posilování vedení ve směru západ – východ pozitivní vliv na vedení V451 Babylon – Bezděčín, které je důležité pro bezpečné vyvedení výkonu z elektrárny Mělník III. Při jeho výpadku nastává v Rz. Babylon přetížení transformace PS/110 kV.

Kontrola spolehlivosti sítě 400 kV podle kritéria (N-1) rovněž vykazala částečné zlepšení ve srovnání se základním stavem (W0ZS). Výsledky jsou přehledně uspořádány v tabulce 4.3. Při kontrole došlo ve třech případech k překročení dovolených mezí zatížení vedení, přičemž maximální zatížení vedení 400 kV – 93% I_{dov} nastalo na vedení V444 Nošovice – Wielopole při výpadku vedení V460 Albrechtice – Nošovice.

Nové vedení N1 Hradec – Čechy Střed ve stávajícím koridoru částečně sníží nedovolené zatížení páteřních prvků sítě 400 kV a prokazatelně zvýší spolehlivost soustavy při náhlé velké dodávce výkonu ze zahraničí. Nicméně stále je několik stěžejních prvků PS 400 kV provozováno blízko hranice dovoleného zatížení, nebo za ní a tudíž je tato úprava stále nedostatečná pro úplnou stabilitu a bezpečnost soustavy.

- ***Varianta B - výstavba nového vedení 400 kV Hradec – Čechy Střed a náhrada vedení 220 kV V225 Hradec – Výškov za vedení 400 kV (W1vB)***

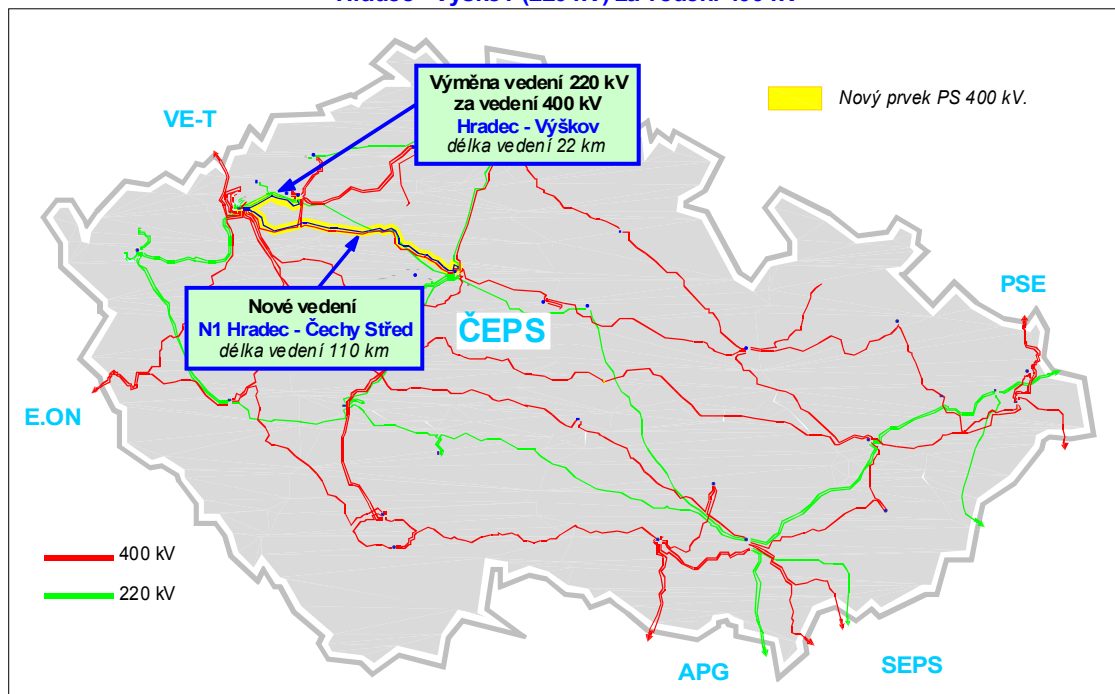
Následující varianta aplikuje další nový prvek do sítě 400 kV ES ČR. Vychází z předchozí varianty A a jejích pozitivních vlivů na PS 400 kV, s cílem ještě více omezit negativní vlivy zahraničních kruhových přetoků.

V rámci výše zmíněné filozofie hledání řešení (praktická možnost realizace) daného problému, jsem navrhl další úpravu sítě 400 kV a využil koridor linky 220 kV Hradec – Výškov k posílení kritické oblasti sítě 400 kV a zaměnil vedení 220 kV za jednoduché vedení 400 kV. Spolu s instalací nového vedení 400 kV N1 mají tyto nové síťové prvky odvést část výkonu z Rz. Hradec východním směrem do centrální části Čech s výrazně spotřebním charakterem.

Schématické znázornění trasy nových prvků v síti 400 kV je na následujícím obrázku 4.12. Délka nového vedení je přibližně 22 km. Elektrické schéma zapojení sítě 400 kV včetně nových prvků je v oddíle Příloh pod označením W1vB.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Varianta: W1vB - Výstavba nového vedení 400 kV **N1 Hradec - Čechy střed** a výměna vedení **V225 Hradec - Výškov (220 kV) za vedení 400 kV**



Obr. 4.12. Varianta B – výstavba nového vedení 400 kV N1 Hradec – Čechy Střed a výměna vedení 220 kV N2 Hradec – Výškov za vedení 400 kV

Analýza zatížení prvků sítě 400 kV varianty B však nepřinesla výrazné změny v zatížení přenosových linek 400 kV. Směr toku výkonu se téměř vůbec nezměnil a neodlehčil výrazně zatěžované síťové prvky. Výsledky analýzy jsou v tabulce 4.5. Výsledky kontroly spolehlivosti sítě pomocí kritéria (N-1) jsou stejně neuspokojivé, ve srovnání s variantou A (viz. tabulka 4.3.). Došlo zde dokonce k mírnému zhoršení spolehlivostní situace.

Hlavním důvodem je především velká injekce výkonu v oblasti severních Čech (El. Mělník III. - 500 MW, El. Počerady – 3x220 MW a od roku 2012 nový blok el. Ledvice 660 MW), která se v první fázi nezdála rozhodujícím faktorem.

Varianta W1vB: Nové vedení 400 kV HRA – CST + náhrada vedení V225 (220 kV) za jednoduché vedení 400 kV.

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozvodu		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V444	Nošovice	Wielopole (Polsko)	67,1 %	945,7 MW	714,7 MW	231,0 MW	32,3%
V441	Hradec	Etzenricht (Německo)	63,5 %	866,2 MW	574,1 MW	292,1 MW	50,9%
V430	Chrast	Hradec	56,2 %	766,8 MW	319,8 MW	447,0 MW	139,8%
V460	Albrechtice	Nošovice	53,4 %	650,6 MW	480,9 MW	169,7 MW	35,3%
V431	Chrast	Přeštice	49,6 %	546,4 MW	105,5 MW	440,9 MW	418,0%
V442	Přeštice	Etzenricht (Německo)	43,2 %	698,4 MW	223,7 MW	474,7 MW	212,2%
V412	Hradec	Řeporyje	42,4 %	516,8 MW	250,6 MW	266,2 MW	106,2%
V443	Albrechtice	Dobrzeń (Polsko)	41,7 %	589,6 MW	417,4 MW	172,2 MW	41,2%
V451	Babylon	Bezděčín	39,5 %	540,4 MW	653,8 MW	-113,5 MW	-17,4%
V437, V438	Slavětice	Dümmrohr (Rakousko)	38,0 %	539,5 MW	526,2 MW	13,3 MW	2,52%

Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

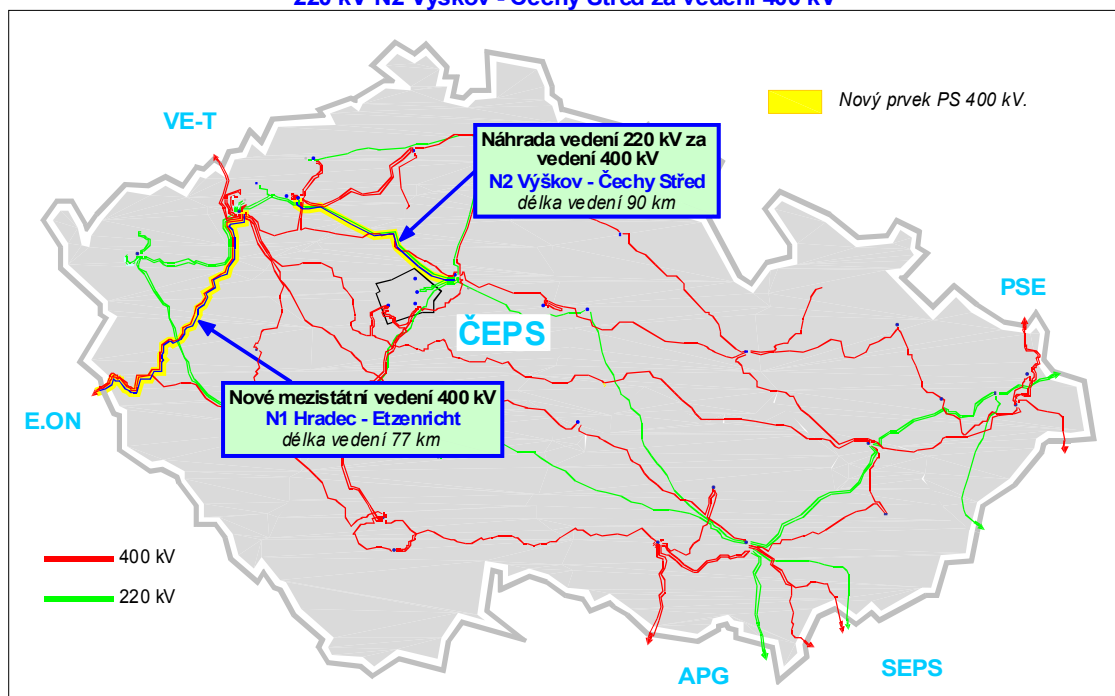
Tab. 4.5. Zatížení vedení PS 400 kV s novým vedením 400 kV Hradec – Čechy Střed a s posílením vedení Hradec – Výškov na jednoduché vedení 400 kV

Další následné úpravy sítě ve smyslu náhrad vedení a posilování vazeb (v práci neuváděné) nevedly ke zlepšení výsledků zatížení páteřních prvků sítě 400 kV. Rozhodl jsem se tedy pro radikální (v praktických podmínkách obtížně realizovatelné) varianty, které dle mého názoru jsou jediným schůdným a především dlouhodobým řešením zkoumané problematiky.

- **Varianta C – Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV Hradec – Etzenricht a náhrada vedení 220 kV Výškov – Čechy Střed za jednoduché vedení 400 kV**

Vzhledem k tomu, že stávající linky 400 kV nejsou v současnosti schopny pokrýt potřeby přenosu velkých toků výkonu ze zahraničních soustav, je nutné budovat nová propojení jak ve vnitřních sítích ES ČR, tak mezinárodní propojení elektrických soustav. V následující variantě je provedena první radikální změna PS ČR. Navrhl jsem nové propojení na hladině 400 kV vedením N1 mezi Rz. Hradec a německou Rz. Etzenricht spolu se sítíovou náhradou vedení 220 kV Výškov – Čechy Střed za vedení N2 400 kV. Schématické znázornění trasy nových vedení 400 kV je na obrázku 4.13. a elektrické schéma zapojení prvků v PS ČR je v oddíle Příloh pod označením W1vC. Přibližná délka vedení N1 Hradec – Etznericht je na území ČR asi 77 km, délka vedení N2 Výškov – Čechy Střed asi 90 km.

Varianta: W1vC - Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV **N1 Hradec - Etzenricht** a **výměna vedení 220 kV N2 Výškov - Čechy Střed za vedení 400 kV**



Obr. 4.13. Varianta C – výstavba nového mezistátního vedení 400 kV N1 Hradec – Etzenricht a výměna vedení 220 kV N2 Výškov - Čechy Střed za vedení 400 kV

Provedené sítíové analýzy prokázaly velký pozitivní efekt na ostatní prvky přenosové soustavy 400 kV ČR a jejich výrazné odlehčení při velkých přetocích výkonu ze zahraničních

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

soustav. Výsledky zatížení vedení 400 kV ve variantě C jsou v tabulce 4.6., kontrola spolehlivosti sítě 400 kV kritériem (N-1) je v tabulce 4.3.

Zatížení jednotlivých vedení kromě vedení V444 Nošovice – Wielopole nepřekročí hranice dovoleného zatížení a ani se nepřiblíží jejich mezi. Z výsledků je zřejmé využití především nového vedení N1 Hradec – Etzenricht, na kterém je sice obrovský nárůst zatížení vůči základnímu stavu (pro tento případ: instalovaná nová vedení N1 a N2 bez nasazení VTE v severní Evropě - W0vC) - 689%, nicméně ten je dán nízkým zatížením vedení N1 v základním stavu (84,4 MW). Toto vytížení vedení N1 při vynucených tocích výkonu ze zahraničí jen zdůrazňuje jeho přínos pro bezpečnost PS ČR. Vedení N2 bylo instalováno především pro snížení zatížení vedení V451, jehož výpadek přetěžuje transformaci Babylon PS/110 kV.

Variantá W1vC: Nové mezistátní vedení 400 kV HRA – ETZ + náhrada vedení V201 (220 kV) VYS – CST za vedení 400 kV.

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozvodu		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V444	Nošovice	Wielopole (Polsko)	67,5 %	950,9 MW	714,7 MW	236,2 MW	33,0%
V460	Albrechtice	Nošovice	53,7 %	653,6 MW	480,9 MW	172,6 MW	35,9%
V430	Chrast	Hradec	51,2 %	700,0 MW	319,8 MW	380,2 MW	118,9%
N1*	Hradec	Etzenricht (Německo)	48,8 %	665,6 MW	84,4 MW	581,2 MW	689,0%
V431	Chrast	Přeštice	43,6 %	480,8 MW	105,5 MW	375,3 MW	355,9%
V412	Hradec	Řeporyje	42,0 %	508,7 MW	250,6 MW	258,1 MW	103,0%
V443	Albrechtice	Dobruška (Polsko)	41,9 %	592,6 MW	417,4 MW	175,2 MW	42,0%
V451	Babylon	Bezděčín	39,9 %	546,7 MW	653,8 MW	-107,1 MW	-16,4%
V437, V438	Slavětice	Důmrohr (Rakousko)	37,5 %	532,3 MW	526,2 MW	6,1 MW	1,16%
V442	Přeštice	Etzenricht (Německo)	36,9 %	594,7 MW	223,7 MW	371,0 MW	165,89%

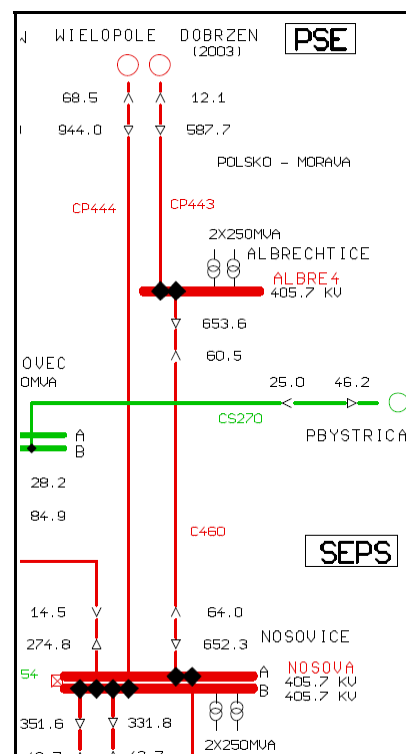
* Původní hodnoty zatížení vycházejí ze stavu sítě s novými úpravami bez nasazení VTE v severní Německu.

Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.6. Zatížení vedení PS 400 kV s novým mezistátním vedením 400 kV Hradec – Etzenricht a s posílením vedení 220 kV Výšov - Čechy Střed na jednoduché vedení 400 kV

Bezpečnostní analýza podle spolehlivostního kritéria (N-1) nevykazuje na první pohled výrazné zlepšení ve srovnání s předchozími variantami, avšak v porovnání se základním stavem je počet přetížených vedení nižší. Vedení 400 kV, která při kontrole (N-1) překročila dovolené zatížení jsou ve skutečnosti pouze 2 a to je vedení V460 Albrechtice – Nošovice (při výpadku V444) a V444 Nošovice – Wielopole (při výpadku V460 – zatížení 93 % a V443 Albrechtice – Dobruška – zatížení 91 %), což je de facto paralelní větve jak ukazuje detail na obrázku 4.14. Nové prvky sítě 400 kV v této variantě byly primárně navrženy pro zlepšení síťových podmínek v západních a středních Čechách, kde mají kruhové toky výkonu z VTE v severní Evropě větší negativnější dopad. Situace severní Moravy je řešena v dalších variantách.

Obr. 4.14. Detail mezistátního profilu ČR – PL: vedení V460, V443 a V444



- **Varianta D – Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV Hradec – Etzenricht, náhrada vedení 220 kV Výškov – Čechy Střed za jednoduché vedení 400 kV a instalace PST transformátoru na hraniční profil ČR - PL**

V další simulační části práce jsem zaměřil pozornost na vyřešení problematiky přetoků výkonu z Polské přenosové soustavy v důsledku kruhových toků způsobených zvýšenou výrobou ve VTE v severní Evropě.

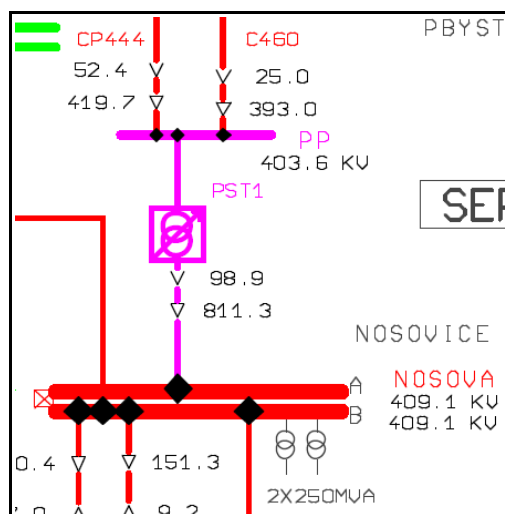
Ačkoli je omezování přeshraničních výměn energie v rozporu s energetickou politikou EU, využil jsem v této simulační variantě speciální síťový prvek k omezování toků činného výkonu – transformátor pro regulaci fáze (Phase Shifting Transformer – PST). Rozhodl jsem se pro tuto variantu jelikož považuji cenovou politiku pro mezistátní a tranzitní výměny za velice špatně nastavenou. Náklady (ztráty, redispečink), které vyvolávají zahraniční přetoky výkonu v ČR jsou totiž placené konečnými zákazníky ČR ačkoli v leží původce problému v zahraniční soustavě. Z tohoto hlediska je možnost využití PST transformátorů velice diskutabilní a sporná, nicméně výsledky jasně reflektují efektivitu a účinnost tohoto síťového prvku.

Vzhledem k velikosti toků výkonu na daném profilu je pro tyto podmínky vhodný PST transformátor s následujícími parametry [27]:

$S_n = 1\,250\text{ MVA}$	$K = 1,32\%$
$E_k = 15\%$	$\alpha = 90^\circ$
$\Delta_{po} = 500\text{ kW}$	$\text{Odbočky} = \pm 32$
$\Delta_{pk} = 2500\text{ kW}$	$\text{Aktuální odbočka} = + 16,$

kde S_n je zdánlivý výkon PST transformátoru,
 E_k je poměrové napětí nakrátko,
 Δ_{po} jsou ztráty naprázdno,
 Δ_{pk} jsou ztráty nakrátko,
 K je krok příčné regulace,
 α je úhel posunu vůči primárnímu napětí PST transformátoru.

PST transformátor je umístěný mezi pomocnou přípojnici (PP), do které jsou zaústěny vývody mezistátního vedení V 444 (Wielopole) a V460 (Albrechtice). Detail zapojení PST transformátoru na mezistátním profilu ČR - PL je na obrázku 4.15. Schématické znázornění nových prvků v síti 400 kV je na obrázku 4.16. Celkové elektrické schéma je v oddíle příloh pod označením W1vD.

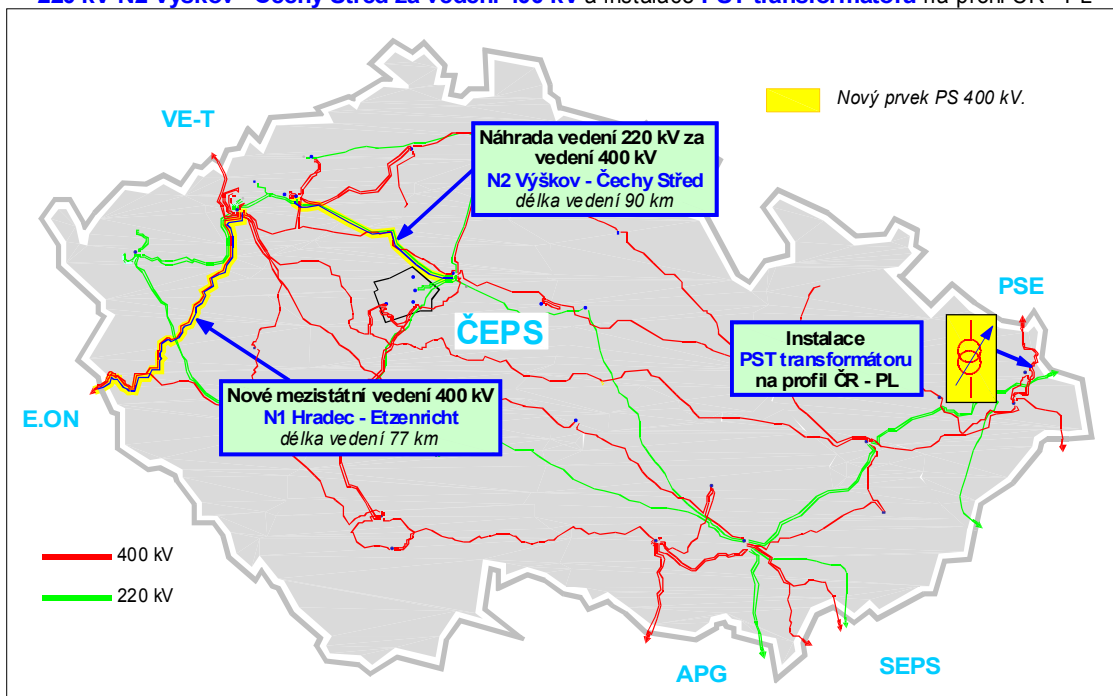


Obr. 4.15. Detail zapojení PST transformátoru na mezistátním profilu ČR - PL

Výsledky analýzy zatížení vedení 400 kV varianty D při vysokém nasazení výroby VTE v severní Evropě vykazují z doposud řešených variant zatím nejlepší výsledky. Přehledně jsou uspořádány v tabulce 4.7. Na žádném vedení 400 kV nedochází oproti původnímu stavu (W0ZS) k překročení dovolených hodnot zatížení, ani se zatížení vedení 400 kV nepřibližuje k těmto mezím. Vedení V444, které bývalo vlivem kruhových toků zatíženo nad dovolené meze se v důsledku instalace PST transformátoru zatěžuje na pouhých 30,4% čemuž odpovídá přenášený výkon 419,7 MW. Přes PST transformátor celkově teče 811,3 MW což zatěžuje transformátor na 64,8 %. Optimální využití PST transformátoru nastává při regulaci polovinou svého regulačního rozsahu (16 odboček).

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Varianta: W1vD - Výstavba nového mezistátního vedení 400 kV **N1 Hradec - Etzenricht**, výměna vedení 220 kV **N2 Výšov - Čechy Střed** za vedení 400 kV a instalace **PST transformátoru** na profil ČR - PL



Obr. 4.16. Varianta D – výstavba nového mezistátního vedení 400 kV N1 Hradec – Etzenricht, výměna vedení 220 kV N2 Výšov - Čechy Střed za vedení 400 kV a instalace PST transformátoru na hraniční profil ČR - PL

Rovněž analýza spolehlivosti sítě 400 kV podle bezpečnostního kritéria (N-1) vykazuje výrazné zlepšení ve srovnání se základním stavem sítě 400 kV i s ostatními doposud řešenými variantami. PS 400 kV ČR se při využití výše popsaných síťových prvků stává 100% zálohovanou a jeden výpadek zařízení PS 400 kV nevyvolá překročení dovolených hodnot zatížení prvků PS 400 kV. Výsledky kontroly (N-1) sítě 400 kV je v tabulce 4.3. v úvodní části kapitoly.

Varianta 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.

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozvodu		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V430	Chrást	Hradec	53,7 %	732,8 MW	319,8 MW	413,0 MW	129,2%
N1*	Hradec	Etzenricht (Německo)	52,7 %	720,7 MW	129,5 MW	591,3 MW	456,6%
V412	Hradec	Řeporyje	50,2 %	607,7 MW	250,6 MW	357,1 MW	142,5%
V431	Chrást	Přeštice	46,6 %	513,0 MW	105,5 MW	407,5 MW	386,4%
V445, V446	Hradec	Röhrsdorf (Německo)	43,7 %	602,6 MW	56,7 MW	545,9 MW	962,5%
V451	Babylon	Bezdčín	42,6 %	584,7 MW	653,8 MW	-69,1 MW	-10,6%
V437, V438	Slavětice	Dümröhr (Rakousko)	35,5 %	503,9 MW	526,2 MW	-22,3 MW	-4,2%
V442	Přeštice	Etzenricht (Německo)	35,4 %	569,9 MW	223,7 MW	346,2 MW	154,8%
N2*	Výšov	Čechy Střed	33,1 %	457,5 MW	472,6 MW	-15,1 MW	-3,2%
V410	Čechy Střed	Výšov	33,0 %	403,7 MW	579,1 MW	-175,4 MW	-30,3%

* Původní hodnoty zatížení vycházejí ze stavu sítě s novými úpravami sítě a PST transformátorem, bez nasazení VTE v severním Německu.

Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.7. Zatížení vedení PS 400 kV s novým mezistátním vedením 400 kV Hradec – Etzenricht, s posílením vedení 220 kV Výšov - Čechy Střed na jednoduché vedení 400 kV a s instalací PST transformátoru na mezistátní profil ČR - PL

- **Variantá E – Instalace PST transformátorů na mezistátních profilech ČR – DE a ČR - PL**

Hlavní myšlenkou další simulační varianty prověřit zda je možná náhrada složité výstavby nových vedení 400 kV (především mezistátních) za použití PST transformátorů pro fázovou regulaci.

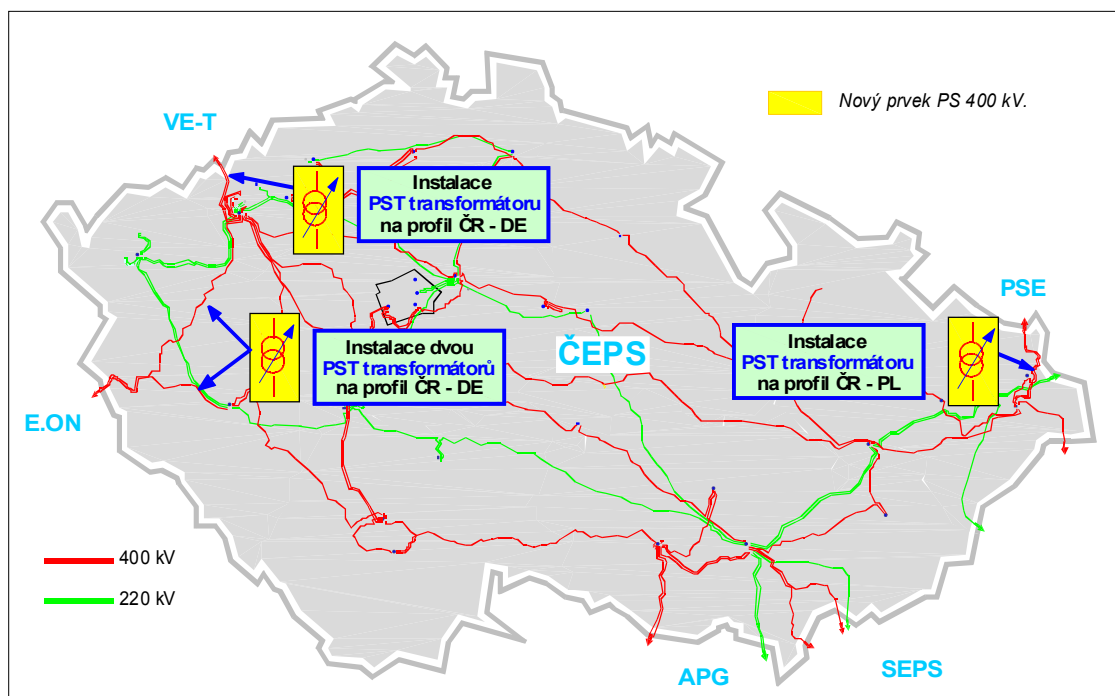
V této variantě je využito obdobných typů PST transformátoru se stejnými parametry, jako v předchozí variantě D. Využívá se původního zapojení sítě 400 kV bez instalace jakýchkoli posilovacích vazeb a nových vedení. Sledovaným prvkem je opět změna zatížení PS 400 kV ČR vlivem velkých kruhových toků způsobené zvýšenou výrobou VTE v severní Evropě.

Schématické znázornění instalace PST transformátorů na výše zmíněné mezistátní profily je na obrázku 4.17. Elektrické schéma zapojení je na konci práce v příloze pod označením W1vE1.

Variantá byla řešena ve dvou provozních stavech PST transformátorů. V první jsem pouze zapojil transformátory do vývodů daných mezistátních vedení, přičemž nebyla využita možnost regulace odbočkami na PST transformátoru. Již tento stav (pouze kontrolní, proto zde neuvádím výsledky) přinesl významné snížení zatížení na klíčových přenosových prvcích sítě 400 kV. Nicméně na PST transformátoru na mezistátním profilu ČR – PL docházelo k přetížení až na 101 % dovoleného zatížení, čemuž odpovídal tok výkonu přes transformátor přesahující 1266 MW. Bez regulace tedy není možné v tomto místě sítě 400 kV PST transformátor dlouhodobě provozovat. Obecně se potvrdila skutečnost, že vysoká reaktance transformátoru působí obdobně jako velmi dlouhý úsek vedení (,které jím ve srovnání s předchozí variantou nahrazuji).

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Varianta: W1vE - Instalace PST transformátorů na mezistátních profilech ČR – DE a ČR - PL



Obr. 4.17. Varianta E - Instalace PST transformátorů na mezistátních profilech ČR – DE a ČR - PL

Následoval výpočet zatížení sítě 400 kV s optimální regulací odbočkami na PST transformátorech. Výsledkem simulací a postupného omezování výkonu zvyšováním odboček na PST transformátorech bylo nastavení 12ti odboček na PST3 Hradec – Röhrsdorf a 16ti odboček na PST4 ČR - PL. Výsledkem bylo výrazné odlehčení všech klíčových prvků ve směru toku výkonu oproti základnímu stavu zapojení sítě 400 kV. Výsledky zatížení jednotlivých vedení sítě 400 kV jsou v tabulce 4.8.

Varianta W1vE1: Nové PST transformátory na profilech ČR – DE a ČR – PL (S regulací na odbočkách PST).

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozveden		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V430	Chrast	Hradec	49,3 %	675,3 MW	319,8 MW	355,5 MW	111,2%
V412	Hradec	Řeporyje	47,5 %	584,2 MW	250,6 MW	333,6 MW	133,1%
V451	Babylon	Bezděčín	46,3 %	635,4 MW	653,8 MW	-18,4 MW	-2,8%
V410	Čechy Střed	Výškov	43,3 %	530,3 MW	579,1 MW	-48,8 MW	-8,4%
V431	Chrast	Přestice	41,3 %	456,6 MW	105,5 MW	351,1 MW	332,9%
V460*	PP4	Albrechtice	40,8 %	496,2 MW	480,9 MW	15,3 MW	3,2%
V437, V438	Slavětice	Dümmrohr (Rakousko)	34,9 %	495,6 MW	526,2 MW	-30,6 MW	-5,8%
V443	Albrechtice	Dobrzeń (Polsko)	30,9 %	432,9 MW	417,4 MW	15,5 MW	3,7%
V418	Otrokovice	Prosenice	26,5 %	324,0 MW	202,0 MW	121,9 MW	60,3%
V420	Hradec	Mírovka	25,2 %	298,2 MW	248,9 MW	49,4 MW	19,8%

* Původní hodnoty zatížení vycházejí ze stavu zatížení vedení V460 bez instalovaného PST4 (W0ZS).

Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.8. Zatížení vedení 400 kV s instalovanými PST transformátory na mezistátních profilech ČR – DE a ČR – PL s regulací odbočkami a vysokou výrobou z VTE (W1vE1)

Rovněž došlo k výraznému poklesu zatížení na PST transformátoru na profilu ČR – PL na hodnotu, při které je možno transformátor bezpečně provozovat po i delší dobu. Jelikož zde

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

není záložní PST transformátor, není nutné předpisově trvat na mezní hodnotě zatížení 60% I_{dov} .
Tabulka 4.9. zatížení PST transformátorů je uvedena níže.

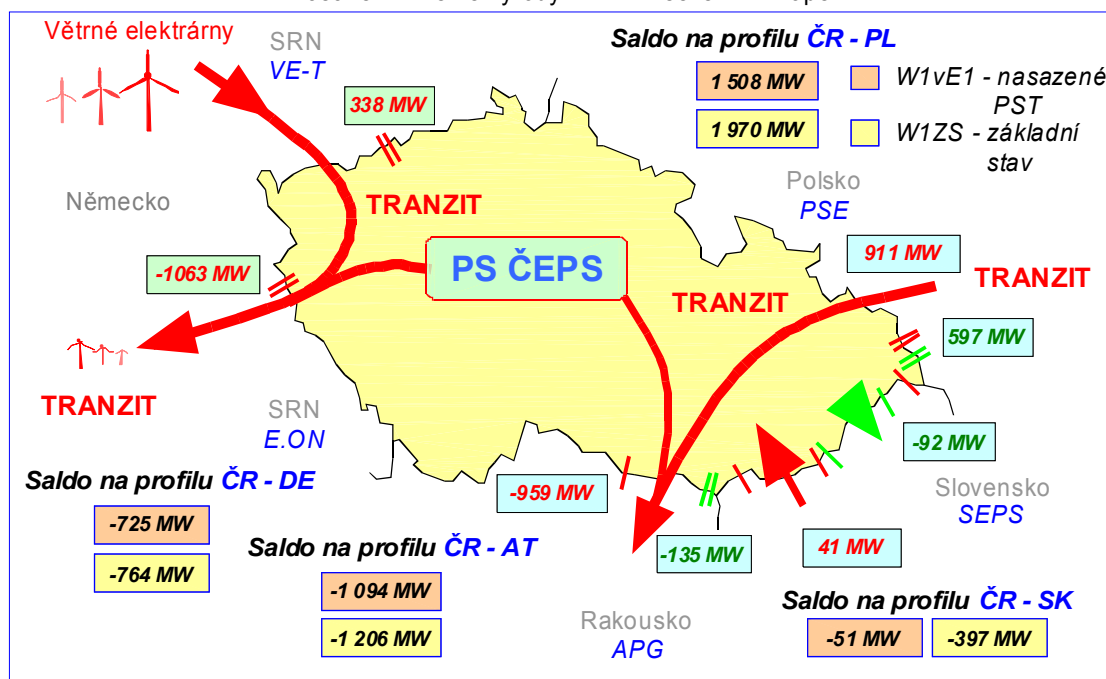
Varianta W1vE1: Nové PST transformátory na profilech ČR – DE a ČR – PL (**S** regulací na odbočkách PST).

Číslo PST transformátoru	Profil zaústění PST transformátorů do uzlů sítě 400 kV		Vedení 400 kV	Zatížení bez nasazení VTE (W0vE0)		Zatížení s nasazením VTE (W1vE1)		Regulační stupeň odboček
PST1	Přeštice	Etzenricht	V442	218 MW	17,1 %	463 MW	38,2 %	0
PST2	Hradec	Etzenricht	V441	471 MW	36,7 %	571 MW	46,4 %	0
PST3	Hradec	Röhrsdorf	V445-6	233 MW	18,0 %	338 MW	27,0 %	12/32
PST4	Nošovice	Wielopole	V444	886 MW	69,6 %	911 MW	72,8 %	16/32
	Albrechtice	Dobrzeń	V443					

Tab. 4.9. Zatížení PST transformátorů na mezistátních profilech ČR – DE a ČR – PL s regulací odbočkami a vysokou výrobou z VTE (W1vE1)

Zajímavý je pohled na změny toků výkonu z hlediska sald jednotlivých profilů. Následující obrázek 4.18. jsou schématicky znázorněny toky výkonu při instalaci PST transformátoru na mezistátních profilech ČR – DE a ČR – PL. V rámečcích se žlutým podkladem jsou pro srovnání hodnoty sald toků výkonu v základním stavu s nasazením výroby z VTE v severní Evropě (W1ZS). Výrazné omezení toků výkonu na linkách 400 kV, je především v severní Moravě, doprovázené zvýšeným zatížením linek 220 kV. Z tohoto důvodu není celková změna salda daného mezistátního profilu tak výrazná. Nicméně, při srovnání pouze vedení 400 kV dochází k razantnímu snížení tranzitního toku výkonu přes ČR. Toto srovnání je v tabulce 4.10., kde jsou stanoveny změny toků výkonu jen na linkách 400 kV.

Varianta: W1vE1 - Instalace PST transformátorů na mezistátních profilech ČR – DE a ČR - PL **s** nasazením velké výroby z VTE v severní Evropě



Obr. 4.18. Schématické rozložení toků výkonu přes PS 400 kV ČR při instalaci PST transformátorů na mezistátní profily ČR – DE a ČR – PL (s regulací na odbočkách PST)

Změna toku výkonu po vedení 400 kV

Profil vedení 400 kV	Změna toku výkonu na profilu vůči W1ZS	Poznámka
ČR – DE (Röhrsdorf)	-396 MW	
ČR – DE (Etzenricht)	-435 MW	
ČR – PL	-661 MW	
ČR – SK	-292 MW	Změna směru toku vůči W1ZS
ČR – AT	-93 MW	

Tab. 4.10. Změna toků výkonu na jednotlivých mezistátních profilech vedení 400 kV vlivem instalace PST transformátoru (W1vE1)

Kontrola sítě spolehlivostním kritériem (N-1) vykázala nejlepší dosavadní výsledky, na žádném vedení 400 kV nedošlo k překročení mezí dovoleného zatížení. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v tabulce 4.3. v úvodní části podkapitoly 4.4. V tabulce je také vidět nárůst zatížení transformátoru T401 Babylon (400 kV/110 kV) v důsledku absence posilovací příčné vazby v Výškov/Hradec – Čechy Střed, simulované v předchozích variantách.

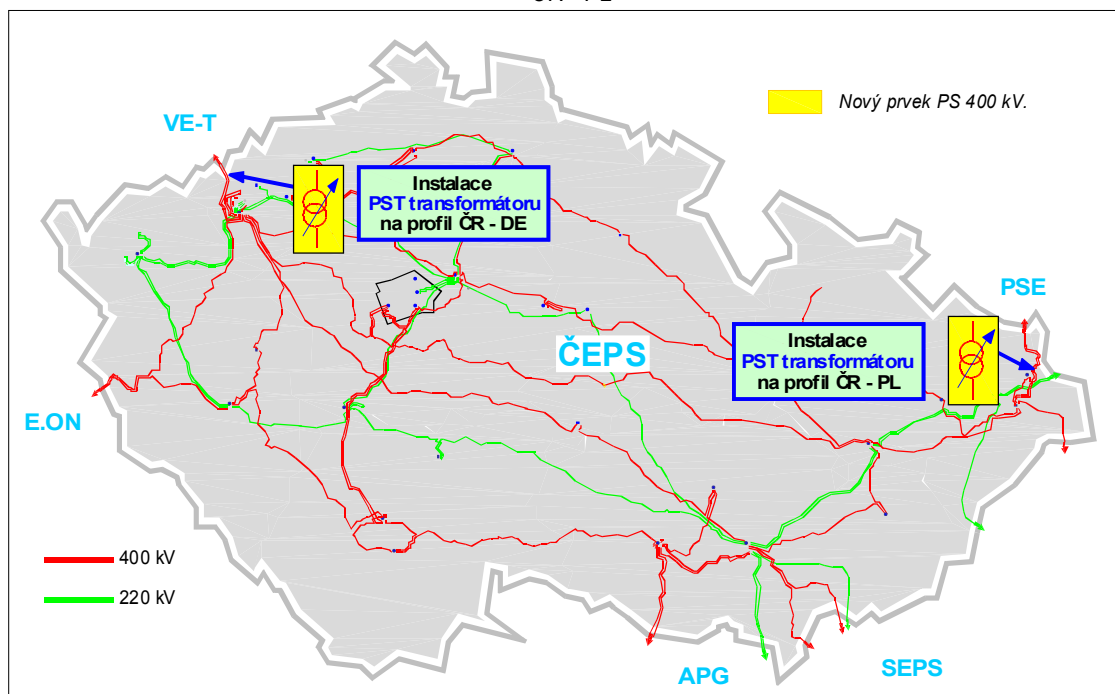
- **Varianta F – Instalace PST transformátorů na mezistátních vedení Hradec – Röhrsdorf a profilu ČR - PL**

Poslední řešená varianta prověřuje úspornější verzi předchozí varianty. Vzhledem ke snaze nalézt efektivní, prakticky využitelné, nové a nekonvenční řešení problematiky kruhových toků je důležitým faktorem i výsledná cena řešených variant (ekonomické srovnání jednotlivých variant je v podkapitole 4.5.)

V této variantě jsem instaloval pouze dva PST transformátory na nejdůležitější vedení 400 kV pro přetoky kruhových toků do PS ČR ze zahraničí. První na dvojité mezistátní vedení Hradec – Röhrsdorf a druhé na mezistátní profil ČR – PL, obdobně jako ve variantě E. Schématické znázornění instalace PST transformátorů je na obrázku 4.19. Elektrické schéma zapojení je v oddíle Příloh na konci práce pod označením W1vF1.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Varianta: W1vF - Instalace PST transformátorů na mezistátním vedení Hradec - Röhrsdorf a na profilu ČR - PL



Obr. 4.19. Varianta F - Instalace PST transformátorů na mezistátním vedení 400 kV Hradec – Röhrsdorf a na profilu ČR - PL

Opět bylo kontrolováno několik provozních stavů PST transformátorů. Při zapojení PST transformátorů na vývody inkriminovaných vedení došlo celkově v PS 400 kV k odlehčení prvků, nicméně vedení V430 Hradec – Chrást a V412 Hradec – Řeporyje byly zatíženy na hranici dovoleného zatížení. Optimální regulace odbočkami PST transformátoru byla docílena při 12ti zařazených odbočkách na PST Hradec – Röhrsdorf a 16ti odbočkách na PST ČR – PL. Výsledky zatížení vedení v tomto provozním nasazení a zatížení PST transformátorů jsou v následujících tabulkách 4.11. a 4.12.

Varianta W1vF1: Nové PST transformátory na profilech HRA – Röhrsdorf a ČR – PL (S regulací na odbočkách PST).

Číslo vedení	Zaústění vedení do rozveden		Zatížení vedení		Původní hodnoty zatížení (W0ZS)	Nárůst zatížení oproti variantě W0ZS	
V430	Chrát	Hradec	49,7 %	680,6 MW	319,8 MW	360,8 MW	112,8%
V412	Hradec	Řeporyje	46,8 %	576,1 MW	250,6 MW	325,5 MW	129,9%
V451	Babylon	Bezděčín	45,7 %	628,3 MW	653,8 MW	-25,5 MW	-3,9%
V410	Čechy Střed	Výškov	42,4 %	519,8 MW	579,1 MW	-59,3 MW	-10,2%
V431	Chrát	Přeštice	41,7 %	461,8 MW	105,5 MW	356,3 MW	337,8%
V460*	PP4	Albrechtice	36,5 %	442,7 MW	480,9 MW	-38,2 MW	-7,9%
V437, V438	Slavětice	Dümröhr (Rakousko)	32,6 %	463,1 MW	526,2 MW	-63,1 MW	-12,0%
V443	Albrechtice	Dobrzeň (Polsko)	27,3 %	378,9 MW	417,4 MW	-38,5 MW	-9,2%
V434	Čebín	Slavětice	25,8 %	361,0 MW	412,6 MW	-51,6 MW	-12,5%
V420	Hradec	Mírovka	23,3 %	272,8 MW	248,9 MW	24,0 MW	9,6%

* Původní hodnoty zatížení vycházejí ze stavu zatížení vedení V460 bez instalovaného PST4 (W0ZS).

Převládající směr toku výkonu v síti 400 kV v důsledku nasazení VTE v Německu.

Tab. 4.11. Zatížení vedení 400 kV s instalovanými PST transformátory na mezistátním vedení Hradec – Röhrsdorf a na profilu ČR – PL s regulací odbočkami a vysokou výrobou z VTE (W1vF1)

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

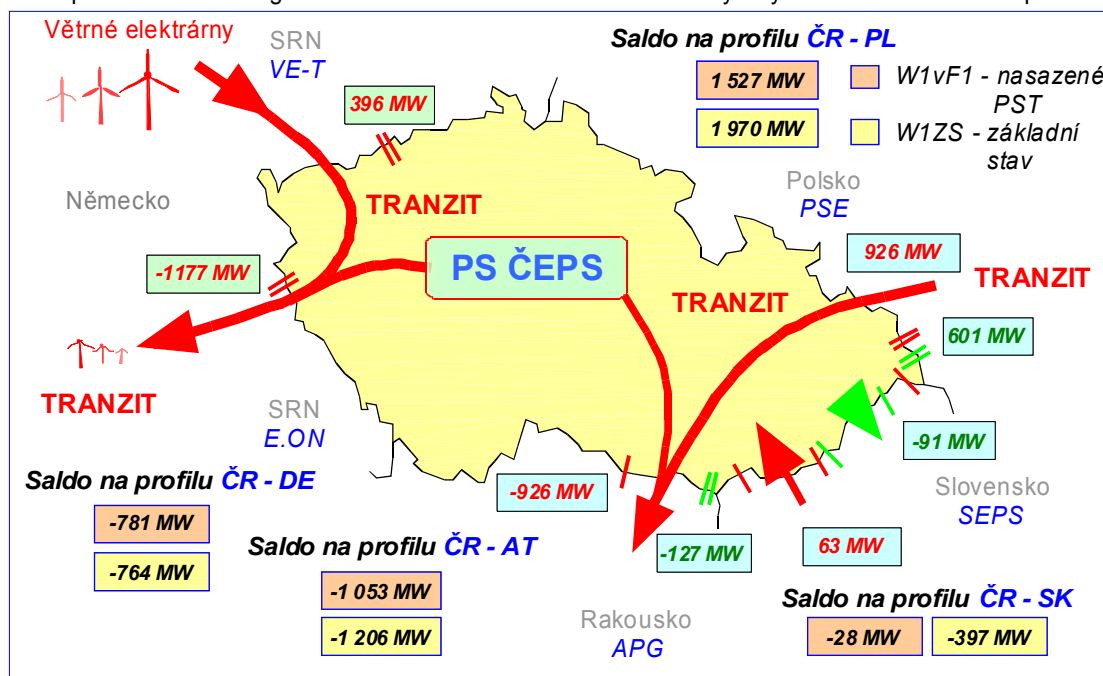
Varianta W1vF1: Nové PST transformátory na profilech HRA – Röhrsdorf a ČR – PL (**S** regulací na odbočkách PST).

Číslo PST transformátoru	Profil zaústění PST transformátorů do uzlů sítě 400 kV		Vedení 400 kV	Zatížení bez nasazení VTE (W0vF0)		Zatížení s nasazením VTE (W1vF1)		Regulační stupeň odboček
PST3	Hradec	Röhrsdorf	V445-6	200 MW	15,5 %	396 MW	31,6 %	12/32
PST4	Nošovice	Wielopole	V444	897 MW	70,5 %	926 MW	74,0 %	16/32
	Albrechtice	Dobrzeń	V443					

Tab. 4.12. Zatížení PST transformátorů na mezistátním vedení Hradec - Röhrsdorf a na profilu ČR – PL s regulací odbočkami a vysokou výrobou z VTE (W1vF1)

Z výsledků je patrné, že instalace pouze dvou PST transformátorů je zcela dostačující. PST transformátory zabraňují nekontrolovatelnému přetoku výkonu ze zahraničí, který spolu s výrobou elektráren připojených do ČEPS v severozápadních Čechách vedly k přetěžování páteřních linek sítě 400 kV. Změny toků výkonu vůči původnímu základnímu stavu (W1ZS) je uveden v tabulce 4.13. Hlavní toky výkonu přes ES ČR jsou znázorněny na obrázku 4.20.

Varianta: W1vF1 - Instalace PST transformátorů na mezistátní vedení Hradec - Röhrsdorf a na profil ČR - PL s regulací odbočkami a **s** nasazením velké výroby z VTE v severní Evropě



Obr. 4.20. Schématické rozložení toků výkonu přes PS 400 kV ČR při instalaci PST transformátorů na mezistátní vedení Hradec – Röhrsdorf a na profil ČR – PL (s regulací na odbočkách PST)

Kontrola spolehlivosti soustavy kritériem (N-1) vykazovala rovněž výrazně stabilní stav ve srovnání se základním provozním stavem, viz. tabulka 4.3. V žádném případě nedošlo k přetížení ani k nedovolenému zatížení vedení 400 kV v důsledku výpadku síťového prvku a vysoké produkce výkonu z VTE v severní Evropě.

Profil vedení 400 kV	Změna toku výkonu na profilu vůči W1ZS	Poznámka
ČR – DE (Röhrsdorf)	-338 MW	
ČR – DE (Etzenricht)	-321 MW	
ČR – PL	-646 MW	
ČR – SK	-270 MW	Změna směru toku vůči W1ZS
ČR – AT	-126 MW	

Tab. 4.13. Změna toků výkonu na jednotlivých mezistátních profilech vedení 400 kV vlivem instalace PST transformátoru (W1vF1)

4.5. Ekonomický rozbor řešených variant

Efektivita nových síťových prvků a jejich cena jsou hlavní faktory, které ovlivňují rozvoj nejen ES ČR. Obecně platí, že rozvoj energetiky je vzhledem k cenám jednotlivých komponentů plánován v souladu s dlouhodobým cíli. Návrhnost vložených investic se u nedotovaných sektorů energetiky pohybuje řádově v desítkách let. V následující tabulce 4.14. jsou uvedené pořizovací ceny jednotlivých síťových prvků na napěťové hladině 400 kV dle informací ČEPS, a. s. (2005). Na základě těchto informací jsem provedl stručný rozbor výše simulovaných variant C, D, E a F, jelikož ty vykazují nejlepší efekt na zatížení ES ČR a vyhověly (kromě varianty C) kontrole spolehlivosti podle kritéria N-1.

Síťový prvek	Specifikace	Jednotka	Cena
Venkovní vedení 400 kV – jednoduché	350 AlFe	1 km	12 mil. Kč
- dvojité		1 km	20 mil. Kč
Rekonstrukce vedení 400 kV – výměna fáz. vodičů		1 km	2 mil. Kč
Vývodové pole 400 kV – venkovní		1 pole	60 mil. Kč
Transformátor 400/110 kV	3-fázový	350 MVA	90 mil. Kč
PST Transformátor	3-fázový	1250 MVA	450 mil. Kč

Tab. 4.14. Ceny síťových prvků na napěťové hladině 400 kV

• Cenová náročnost varianty C

Ačkoli varianta C nesplňuje všechna předepsaná kritéria (kontrolu N-1), je z hlediska celoevropské politiky nejvíce přijatelná (zvyšování propojení mezi zahraničními soustavami). Obsahuje následující úpravy sítě 400 kV:

- cca 90 km rekonstrukce vedení resp. náhrady vedení 220 kV na 400 kV (z důvodů ochranného pásma od krajních vodičů a rozteče mezi vodiči nutno z nahrazovat i sloupky vedení, tudíž je uvažována cena za nové jednoduché vedení 400 kV)
- cca 77 km posílení vedení 400 kV (uvažováno pouhé zdvojení vodičů, předpokládané využití stávajících sloupů)
- celkem 3 nová vývodová pole 400 kV

Cena dle hrubého odhadu činí cca **1 414 mil. Kč**.

- **Cenová náročnost varianty D**

Varianta D obsahuje nejvíce nových síťových úprav:

- cca 90 km rekonstrukce vedení resp. náhrady vedení 220 kV na 400 kV (z důvodů ochranného pásma od krajních vodičů a rozteče mezi vodiči nutno z upravovat i sloupky vedení, tudíž je uvažována cena za nové jednoduché vedení)
- cca 77 km posílení vedení 400 kV (uvažováno pouhé zdvojení vodičů, předpokládané využití stávajících sloupů)
- celkem 4 nová vývodová pole 400 kV
- 1xPST transformátor

Výsledná cena varianty D dle hrubých cen v tabulce 4.14. je cca **1 924 mil. Kč**.

- **Cenová náročnost varianty E**

Varianta E obsahuje „pouze“ 4 nové PST transformátory a 4 nová vývodová pole, což činí odhadované pořizovací náklady na cca **2 040 mil. Kč**. Vývodová pole v této variantě jsou nutná k přemostění PST transformátorů např. při jejich odstávkách z důvodů revize.

- **Cenová náročnost varianty F**

Ve variantě F došlo k redukci instalovaných PST transformátorů na polovinu, čemuž ve finále odpovídají pořizovací náklady v ceně cca **1 020 mil. Kč**.

Navrhované varianty jsou finančně značně náročné. Na druhou stranu však přinášejí posílení nejvíce namáhaných přenosových prvků sítí 400 kV a zvyšují bezpečnost provozu ES ČR. Ačkoli je energetická politika EU proti omezování toků výkonů přes propojené soustavy zemí EU, zatím nevytváří dostatečný prostor pro podporu výstavby nových vedení a posilování propojování těchto soustav. Kromě toho veškeré náklady vzniklé vlivem vynucených kruhových toků výkonu nesou koneční zákazníci ES, ve které bylo nutno provádět dispečerské řízení k omezení těchto negativních vlivů.

4.6. Shrnutí kapitoly

Kapitola je zaměřená na simulaci vlivů náhlé změny výroby VTE v severní části Evropy, kde je největší kumulace větrných turbín v EU. Výpočty vychází z očekávané stavu sítí a zdrojů v roce 2015 a simuluje náhlou změnu výroby VTE v severním Německu (o cca 17 000 MW). Analýzu jsem prováděl v simulačním programu GLF, ve kterém jsem vytvořil několik výpočetních modelů.

Simulace základního stavu s vysokou výrobou VTE v severní Evropě (viz. Přílohy s označením - W1ZS) ukazuje odhaluje úzká místa PS 400 kV ČR. V tomto provozním stavu dochází k nedovolenému zatížení na třech vedení 400 kV v důsledku kruhových toků ze zahraničí. Jedná se o mezistátní vedení V444 Nošovice – Wielopole (Polsko), V430 Hradec – Chrást a V431 Chrást – Přeštice. Kromě toho další 3 vedení jsou provozována na mezi dovoleného zatížení viz. tabulka 4.2.

Rovněž kontrola spolehlivosti sítí 400 kV podle kritéria (N-1) vykazuje výrazné překročení dovolených limitů.

V následujících výpočetních modelech jsem aplikoval nové posilovací prvky do PS 400 kV ve snaze minimalizovat negativní vlivy vynucených toků výkonu. Filozofie dalšího postupu byla zaměřena na, pokud možno, reálnou možnost výstavby nových prvků. Cílem byl maximální přínos pro praktické využití výpočetních modelů a ukázka, Evropskou Unií neuznávaného, využití PST transformátorů.

- **Varianta A (W1vA)**

Novým prvkem bylo posilující vedení N1 Hradec – Čechy Střed o délce přibližně 110 km. Vedení N1 bylo vlivem zahraničních kruhových toků zatíženo přenosem 481 MW čemuž odpovídá 34,8 % dovoleného zatížení. Úpravy sítě 400 kV však vedly pouze k částečnému odlehčení klíčových prvků sítě 400 kV ve směru sever – jih. K mírnému odlehčení došlo na vedení V430 Hradec – Chrást, V431 Chrást – Přeštice, V412 Hradec – Řeporyje. Nicméně jsou tato vedení stále provozována na mezi dovoleného zatížení viz. tabulka 4.4. Tuto mez překročilo zatížení vedení V444 Nošovice – Wielopole a V441 Přeštice – Etzenrich (Německo).

- **Varianta B (W1vB)**

Varianta vychází z předchozího modelu a je doplněna o náhradu vedení 220 kV V225 Hradec – Výškov za jednoduché vedení 400 kV. Tato varianta však nepřinesla další výrazné změny v zatížení přenosových linek 400 kV, viz. tabulka 4.5. Hlavním faktorem neuspokojivých výsledků je zejména výrazná injekce výkonu v oblasti severních Čech, která se v první fázi simulace nezdála vzhledem k přetokům ze zahraničí výrazným faktorem.

- **Varianta C (W1vC)**

Vzhledem k tomu, že ani další náhrady vedení 220 kV za silnější přenosové prvky a využití stávajících koridorů nevedlo ke zlepšení stavu zatížení PS 400 kV, rozhodl jsem se pro řešení, které je v praktických situacích hůře realizovatelné, ale o to více účinnější. Ve variantě C jsem instaloval do PS 400 kV zcela nové mezistátní vedení Hradec – Etzenricht (Německo) spolu s náhradou vedení 220 kV V201 Výškov – Čechy Střed za jednoduché vedení 400 kV.

Provedené síťové analýzy prokázaly velmi pozitivní efekt na ostatní prvky PS 400 kV. Kromě vedení V444 Nošovice – Wielopole, které překročilo mez dovoleného zatížení, se zatížení žádného dalšího vedení 400 kV nepřiblížilo této mezi, viz. tabulka 4.6.

- **Varianta D (W1vD)**

V další části je řešena otázka přetoků výkonu z Polské přenosové soustavy. Varianta vychází z předcházející, která zcela eliminovala negativní vlivy kruhových toků z Německa a je doplněna na mezistátním profilu ČR - PL transformátorem pro fázovou regulaci (PST). Tato varianta přináší doposud nejlepší výsledky. Nedochází na žádném z vedení k překročení dovolených mezí, viz. tabulka 4.7.

- **Varianta E (W1vE1)**

Výpočetní model ve variantě E počítá s instalovanými PST transformátory na mezistátních profilech ČR – DE a ČR – PL. Rovněž v této variantě nastal výrazný pokles zatížení všech vedení 400 kV a v žádném případě nedochází k překročení dovolených mezí. Kromě toho došlo k razantnímu snížení toku přes hraniční vedení 400 kV, viz. tabulky 4.8. a 4.10.

- **Varianta F (W1vF1)**

Poslední varianta je úspornější a pro praktické využití vhodnější řešení předchozího modelu. Instalovány byly pouze dva PST transformátory a to na mezistátní profily 400 kV Hradec – Röhrsdorf (Německo) a ČR – PL. Výsledky jsou velice pozitivní jak udává tabulka 4.11. a rovněž snížení toků výkonu přes mezistátní profil po vedení 400 kV je zásadním způsobem omezen.

U všech variant byla provedena analýza bezpečnosti sítí 400 kV podle kritéria (N-1), jejíž výsledky jsou v následující tabulce. Jak je vidět, počínaje variantou D je soustava zcela stabilní i při výpadku jednoho přenosového prvku 400 kV. Přetěžování transformace T401 Babylon 400 kV/110 kV nastává ve všech výpočetních variantách a je vždy způsobeno výpadkem vedení V451 Babylon – Bezděčín. Do uzlu Babylon je totiž vyveden výkon elektrárny Mělník III. Pokud nastane výpadek vedení V451 je nutné snížit výrobu této elektrárny, neboť ani při sepnutí přípojníc na straně 110 kV, nedojde k odlehčení přetěžovaného transformátoru T401 (dojde k přetížení druhého vazebního transformátoru T403).

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

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).

5. ZÁVĚR

Problematika vlivu OZE na chod elektrizačních soustav je v současnosti velmi diskutované téma v mnoha různých sektorech, nejen energetických. Ze strany EU a jejích členských států nastává výrazná podpora rozvoje OZE, avšak na druhé straně stagnuje rozvoj elektrických sítí a dalších nezbytných sektorů energetiky. Jedno bez druhého nebude nikdy k užítku a je nutné stejnou mírou jako jsou podporovány OZE v ČR, podporovat rozvoj i ostatních sektorů ES ČR.

Cíle disertační práce a jejich naplnění

1) Rozbor pravidel provozování soustav a návrh jejich aktualizace

Nejen 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 výroby OZE kolísavého charakteru ve slabém uzlu sítě.
- Pravidlo umožňující operativní snížení dodávaného výkonu z výroby 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 výroby OZE. Pokud nová výroba 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 – viz. připravované FVE v severních Čechách, obrázek 3.5. na straně 32. 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 3.7. zachycující metodický postup je na straně 37.

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. Je tak simulován stav údržby soustavy, případně poruchy a během odstávek prvků sítě ES ČR. 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. Všechny výpočetní tabulky jsou uvedeny v oddíle příloh.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

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.

V následující tabulce je uvedena volná kapacita pro jednotlivé napájecí oblasti včetně uvedení nejslabšího – omezujícího – prvku a předpokládaná volná kapacita pro VTE a FVE.

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 Horní 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 Opočíněk	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

Grafické zobrazení výsledků je na obrázcích 3.12. a 3.13. na straně 56.

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.

Velké množství neříditelných (neregulovatelných) malých zdrojů s variabilní a kolísavou výrobou způsobuje již v současné době v některých sítích velkých evropských států (Německo, Španělsko, Dánsko, aj.) značné problémy s řízením soustavy. Nedodržením výkonové rovnováhy 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 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 zatím v současnosti výrazně neprojevuje. 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. Pro snadnější orientaci je v oddíle Příloh mapa PS ČR ve formátu A3. 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 analýza bezpečnosti sítí 400 kV podle kritéria (N-1) došlo v těchto případech k několika zatížením vedení 400 kV mimo dovolené hodnoty. viz. následující tabulka.

VLIV OZE NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

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).

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.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [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