

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

**ROZPTÝLENÁ VÝROBA A JEJÍ VLIV
NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

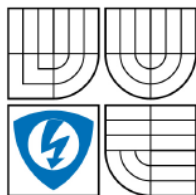
AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FRANTIŠEK KÁCL

BRNO 2009

>>Vložit originál zadání práce<<



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. František Kácl
Ročník: 2

ID: 83543
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Rozptýlená výroba a její vliv na distribuční síť

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Druhy výroben
2. Legislativa pro výrobní
3. Vlivy výroben an distribuční síť
4. Ověření vlivu větrné elektrárny na distribuční síť
5. Vyhodnocení výsledků s ohledem na konkrétní situaci

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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.

>>Vložit licenční smlouvu<<

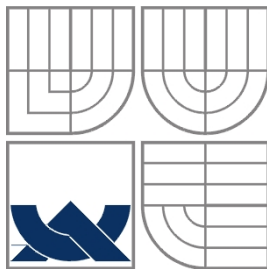
Bibliografická citace práce:

KÁCL, F. *Rozptýlená výroba a její vliv na distribuční síť*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

.....

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky



Diplomová práce

ROZPTÝLENÁ VÝROBA A JEJÍ VLIV NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ

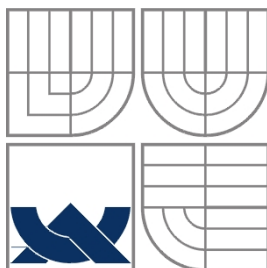
František Kácl

vedoucí: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering



Master's Thesis

DISPERSED PRODUCTION AND ITS INFLUENCE ON DISTRIBUTION NETWORK

**by
František Kácl**

Supervisor: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá rozptýlenou výrobou, respektive malými zdroji elektrické energie, které jsou připojovány do sítě provozovatele distribuční soustavy. Obsahem práce jsou nejen druhy a principy malých zdrojů elektrické energie, ale i výtah z legislativy, která se zabývá touto problematikou.

Tyto výroby mohou ovlivňovat chod distribuční sítě a proto jsou součástí této práce i způsoby připojení zdrojů do distribuční sítě, tak i posouzení vlivu konkrétního zdroje elektrické energie na tuto síť.

KLÍČOVÁ SLOVA: rozptýlená výroba; výroby; malé zdroje elektrické energie; distribuční soustava; distribuční síť; připojení; legislativa; chod sítě; vliv

ABSTRACT

The diploma thesis deals with dispersed generation (production). The small electric power sources are connected into distribution networks. Types and principles of the small electric power sources are studied. The legislation framework concerning renewable energy sources utilization is described.

These power plants have impact into distribution networks and therefore techniques for the source connection to distribution network are included in the thesis. The impact of the specific small source of electricity must be studied.

KEY WORDS: dispersed generation, production, power plants, small electric power sources, distribution network, connection, legislation, load flow, impact

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD	16
2 DRUHY VÝROBEN	18
2.1 DRUHY ZDROJŮ ENERGIE	18
2.2 MALÉ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	21
2.2.1 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	21
2.2.2 SLUNEČNÍ ELEKTRÁRNY	23
2.2.3 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	24
2.2.4 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	26
3 LEGISLATIVA PRO VÝROBNY.....	30
3.1 SEZNAM LEGISLATIVY	30
3.2 PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY ČEZ DISTRIBUCE, A. S.	31
3.2.1 ÚVOD	31
3.2.2 VŠEOBECNÉ PODMÍNKY ^[5]	31
3.2.3 PODMÍNKY PRO PROVOZ VEE.....	32
3.2.4 KONTROLA NAPĚŤOVÝCH POMĚRŮ V SÍTI	32
3.2.5 VYBAVENÍ ROZPOJOVACÍHO MÍSTA MEZI VEE A DS	32
3.2.6 POSOUZENÍ NUTNOSTI KOMPENZACE	32
3.2.7 OCHRANY VEE	32
3.2.8 PROVOZNÍ PŘEDPISY	32
3.2.9 OSTATNÍ VEE	32
3.2.10 ZÁVĚREČNÁ USTANOVENÍ	32
3.2.11 MĚŘENÍ VEE	33
3.2.12 PODMÍNKY PRO OBSLUHU VEE A PRÁCE NA EL. ZAŘÍZENÍ VEE	33
3.3 VÝKUP ELEKTŘINY Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ	33
3.4 CENOVÉ ROZHODNUTÍ ERÚ.....	34
4 VLIV VÝROBEN NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	35
4.1 PŘIPOJENÍ VÝROBNY K SÍTI.....	35
4.1.1 PODMÍNKY K PŘIPOJOVÁNÍ	35
4.1.2 ZPŮSOBY PŘIPOJENÍ VÝROBEN.....	35
4.1.3 PŘIPOJENÍ VTE K SÍTI	39
4.2 VLIV VÝROBEN NA SÍŤ	41
4.2.1 ZMĚNY NAPĚTÍ.....	41
4.2.2 HARMONICKÉ.....	42
4.2.3 ZPĚTNÉ VLIVY NA ZAŘÍZENÍ HDO	44
4.3 VLIV VTE NA SÍŤ.....	46
4.3.1 LOKÁLNÍ VLIVY	46
4.3.2 SYSTÉMOVÉ VLIVY	46

4.3.3 SYSTÉMOVÉ POŽADAVKY NA CHOVÁNÍ VTE	48
4.3.4 MEZINÁRODNÍ DOPORUČENÍ PRO INTEGRACI VTE.....	49
5 OVĚŘENÍ VLIVU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	51
5.1 PARAMETRY VTE PCHERY	51
5.1.1 UMÍSTĚNÍ VTE.....	51
5.1.2 TECHNICKÁ DATA VTE PCHERY	51
5.1.3 POPIS TECHNOLOGIE VTE PCHERY	53
5.2 PROVOZNÍ STAV DS	55
5.2.1 PROVOZNÍ SCHÉMA DS	55
5.2.2 PARAMETRY PRVKŮ DS.....	57
5.3 VÝPOČET CHODU SÍTĚ	59
5.3.1 CHOD SÍTĚ BEZ PŘIPOJENÉ VTE.....	60
5.3.2 CHOD SÍTĚ S PŘIPOJENOU VTE S ÚČINÍKEM 0,98.....	61
5.3.3 CHOD SÍTĚ S PŘIPOJENOU VTE S ÚČINÍKEM -0,98	63
5.3.4 CHOD SÍTĚ S PŘIPOJENOU VTE S ÚČINÍKEM -0,998	65
5.4 ÚTLUM SIGNÁLU HDO.....	66
5.5 MĚŘENÍ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ VTE DLE ČSN EN 50160	66
5.5.1 MONITOR PQ	67
5.5.2 CHARAKTERISTIKY NAPĚTÍ DLE ČSN EN 50160	67
5.5.3 VSTUPNÍ HODNOTY MĚŘENÍ.....	68
5.5.4 NAMĚŘENÁ DATA Z MONITORU PQ	68
5.5.5 NAPĚŤOVÁ ZMĚNA V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ DLE NAMĚŘENÝCH DAT	72
6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU S OHLEDEM NA KONKRÉTNÍ SITUACI.....	73
6.1 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTŮ A MĚŘENÍ	73
6.2 ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOS.....	73
6.3 VÝZNAM A VYUŽITÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	73
6.4 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	74
POUŽITÁ LITERATURA	75
PŘÍLOHA A PŘEHLED VÝKUPNÍCH CEN ELEKTRINY.....	76
PŘÍLOHA B PROVOZNÍ INSTRUKCE Č. 30-988-017-08	78

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Struktura zdrojů a spotřeby elektřiny v ES ČR 2007 ^[3]	17
Obr. 2-1 Dělení zdrojů energie ^[1]	19
Obr. 2-2 Skladba a využití elektráren při výrobě elektřiny ^[3]	20
Obr. 2-3 Vývoj a skladba výroby elektřiny ^[3]	21
Obr. 2-4 Zařízení pro omezení maximálního výkonu a zabezpečení proti extrémním rychlostem větru ^[7]	28
Obr. 2-5 Princip regulace u rotoru s natáčivými list "na prapor(vlevo) a na odtržení(vpravo)" ^[7]	29
Obr. 4-1 Schéma připojení výrobní do nn ^[6]	35
Obr. 4-2 Schéma připojení jedné výrobní do vn bez možnosti ostrovního provozu ^[6]	36
Obr. 4-3 Schéma připojení dvou výroben do vn bez možnosti ostrovního provozu ^[6]	36
Obr. 4-4 Schéma připojení dvou výroben do vn s možností ostrovního provozu ^[6]	37
Obr. 4-5 Schéma připojení VTE do vvn tzv. T odbočením ^[6]	38
Obr. 4-6 Schéma připojení VTE do vvn tzv. zasmyčkováním ^[6]	38
Obr. 4-7 Schéma připojení VTE do vvn rozvodny ^[6]	39
Obr. 4-8 Schéma připojení VTE přímo do sítě ^[6]	39
Obr. 4-9 Schéma připojení VTE přes měnič kmitočtu do sítě ^[6]	39
Obr. 4-10 Schéma připojení VTE přes tyristorový spouštěč do sítě ^[6]	40
Obr. 4-11 Schéma připojení VTE do vn ^[6]	40
Obr. 4-12 Vliv počasí na výrobu z VTE ^[1]	47
Obr. 4-13 Vliv přechodu bouřkové fronty výrobu z VTE ^[1]	47
Obr. 4-14 Vliv VTE na regulační odchylku v Rakousku ^[1]	48
Obr. 4-15 Požadavek na odpojení či neodpojení VTE při zkratu ^[1]	49
Obr. 4-16 Požadavek na odpojení či neodpojení VTE při změně frekvence ^[1]	49
Obr. 5-1 Umístění VTE v lokalitě	51
Obr. 5-2 Technologie VTE Multibrid® ^[8]	53
Obr. 5-3 Pohled na obě VTE ^[8]	54
Obr. 5-4 Pohled na detail gondoly a hlavy rotoru VTE ^[9]	54
Obr. 5-5 Pohled na detail hlavy rotoru VTE před montáží ^[10]	55
Obr. 5-6 Výřez provozní mapy místa vyvedení výkonu obou VTE ^[11]	56
Obr. 5-7 Jednopolové schéma VTE Pchery ^[11]	56
Obr. 5-8 Zjednodušené provozní schéma DS ^[12]	56
Obr. 5-9 Podrobné provozní schéma DS ^[12]	57

Obr. 5-10 Graf průběhu činného a jalového výkonu VTE1 po dobu měření ^[14]	71
Obr. 5-11 Graf průběhu činného a jalového výkonu VTE2 po dobu měření ^[14]	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Skladba využití energetických zdrojů ^[3]	20
Tab. 2-2 Rozdělení MVE dle dosažitelného výkonu ^[1]	22
Tab. 2-3 Rozdělení MVE dle jednotkového výkonu ^[1]	22
Tab. 2-4 Rozdělení MVE dle velikosti spádu ^[1]	23
Tab. 2-5 Rozdělení větru dle rychlosti ^[1]	26
Tab. 4-1 Vztažné hodnoty vyšších harmonických proudů v systému nn ^[6]	43
Tab. 4-2 Vztažné hodnoty vyšších harmonických proudů v systému vn 22 kV ^[6]	44
Tab. 5-1 Základní technická data VTE mechanické součásti ^[8,9,11]	52
Tab. 5-2 Základní technická data VTE elektrické součásti ^[8,9]	52
Tab. 5-3 Parametry napájecí soustavy ^[12]	57
Tab. 5-4 Parametry vedení MILA ^[12]	58
Tab. 5-5 Parametry transformátoru a generátoru VTE1 ^[12]	58
Tab. 5-6 Parametry zátěží na vedení MILA ^[12]	58
Tab. 5-7 Parametry vedení LAPO ^[12]	59
Tab. 5-8 Parametry transformátoru a generátoru VTE2 ^[12]	59
Tab. 5-9 Parametry odběrů na zátěži LAPO ^[12]	59
Tab. 5-10 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA ^[13]	60
Tab. 5-11 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO ^[13]	60
Tab. 5-12 Proudů a výkonů ve větvích vedení MILA ^[13]	60
Tab. 5-13 Proudů a výkonů ve větvích vedení LAPO ^[13]	61
Tab. 5-14 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účinníkem 0,98 ^[13]	62
Tab. 5-15 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účinníkem 0,98 ^[13]	62
Tab. 5-16 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účinníkem 0,98 ^[13]	62
Tab. 5-17 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účinníkem 0,98 ^[13]	63
Tab. 5-18 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účinníkem -0,98 ^[13]	63
Tab. 5-19 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účinníkem -0,98 ^[13]	64
Tab. 5-20 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účinníkem -0,98 ^[13]	64
Tab. 5-21 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účinníkem -0,98 ^[13]	64
Tab. 5-22 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účinníkem -0,998 ^[13]	65
Tab. 5-23 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účinníkem -0,998 ^[13]	65
Tab. 5-24 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účinníkem -0,998 ^[13]	66
Tab. 5-25 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účinníkem -0,998 ^[13]	66

<i>Tab. 5-26 Tabulka vybraných charakteristik napětí^[15]</i>	67
<i>Tab. 5-27 Tabulka charakteristik harmonických napětí^[15]</i>	67
<i>Tab. 5-28 Tabulka vstupních hodnot pro měření^[14]</i>	68
<i>Tab. 5-29 Tabulka minim a maxim měření VTE1^[14]</i>	68
<i>Tab. 5-30 Tabulka minim a maxim měření VTE2^[14]</i>	68
<i>Tab. 5-31 Protokol o měření dle ČSN EN 50160 v předávacím místě VTE1^[14]</i>	69
<i>Tab. 5-32 Protokol o měření dle ČSN EN 50160 v předávacím místě VTE2^[14]</i>	70

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČR – Česká republika
EU – Evropská unie
ES – elektrizační soustava
PE – parní elektrárna
PPE – paroplynová elektrárna
PSE – plynová, spalovací elektrárna
VE – vodní elektrárna
VTE – větrná elektrárna
SLE – solární elektrárna
JE – jaderná elektrárna
MVE – malá vodní elektrárna
AOE – jiná alternativní elektrárna
GEO – geotermální elektrárna
KVET – kombinovaná výroby elektřiny a tepla
ČU – černí uhlí
HU – hnědé uhlí
LTO – lehký topný olej
ZP – zemní plyn
PPDS – pravidla provozování distribučních soustav
VEE – výroba elektřiny
HDO – hromadné dálkové ovládání
nn – nízké napětí
vn – vysoké napětí
vvv – velmi vysoké napětí

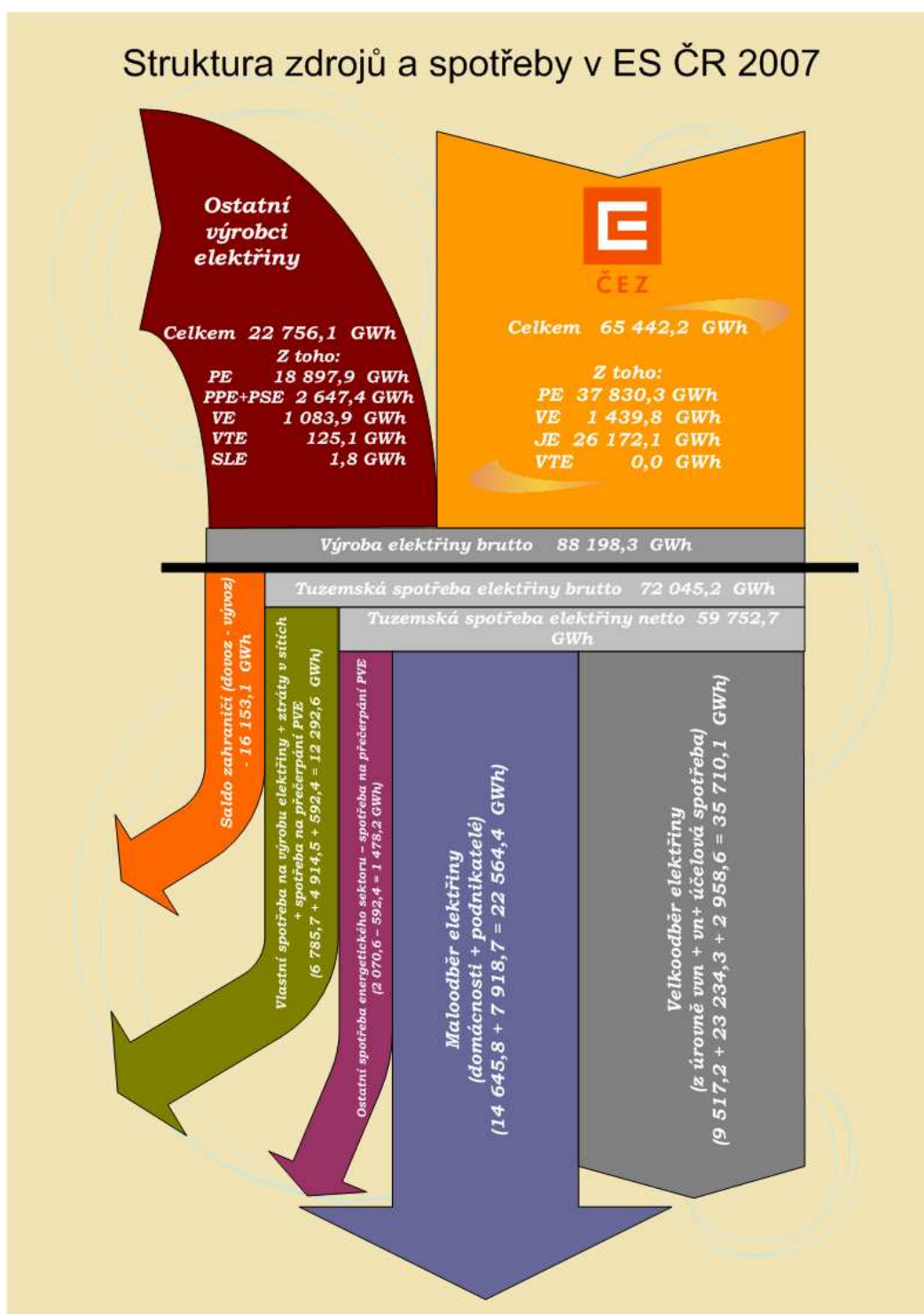
1 ÚVOD

Základním zdrojem energie pokrývajícím potřeby člověka je příroda. Přírodní zdroje energie označujeme jako primární zdroje. Pocházejí především z činnosti Slunce, ale také z činnosti Měsíce, z geofyzikálního tepla, z jaderných štěpných reakcí apod. Po mnoho staletí se využívala energie pouze v přírodních formách, tj. biomasa, zejména dřevo, k získání tepla, voda a vítr jako hnací síla. Dnešní život si nedovedeme představit bez nejrůznějších druhů energie zušlechtěné (elektřina, užitkové plyny, pára, horká voda aj.). Zušlechťování energie je proces přeměny energie z primárních zdrojů na jiné vhodnější formy energie, například elektřiny^[2].

Výrobu elektřiny v ČR zajišťuje především elektrárenská společnost ČEZ a.s., s podílem asi 70%. Zbývajících podíl výroby zajišťuje dalších více než 100 nezávislých výrobců. Pro výrobu elektřiny je použito tepelných elektráren na fosilní paliva, jaderných elektráren Temelín a Dukovany, vodních elektráren, větrných elektráren, solárních elektráren, elektráren spalujících biomasu i kogeneračních jednotek^[1].

Tato práce se zabývá malou částí výrobních zdrojů, nazývajících se malé zdroje elektrické energie, mezi které zejména patří: malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, sluneční elektrárny a kogenerační jednotky.

Na úvod je na následující obrázku zobrazena struktura a spotřeby elektřiny v ES ČR za rok 2007^[3].

Obr. 1-1 Struktura zdrojů a spotřeby elektřiny v ES ČR 2007^[3]

2 DRUHY VÝROBEN

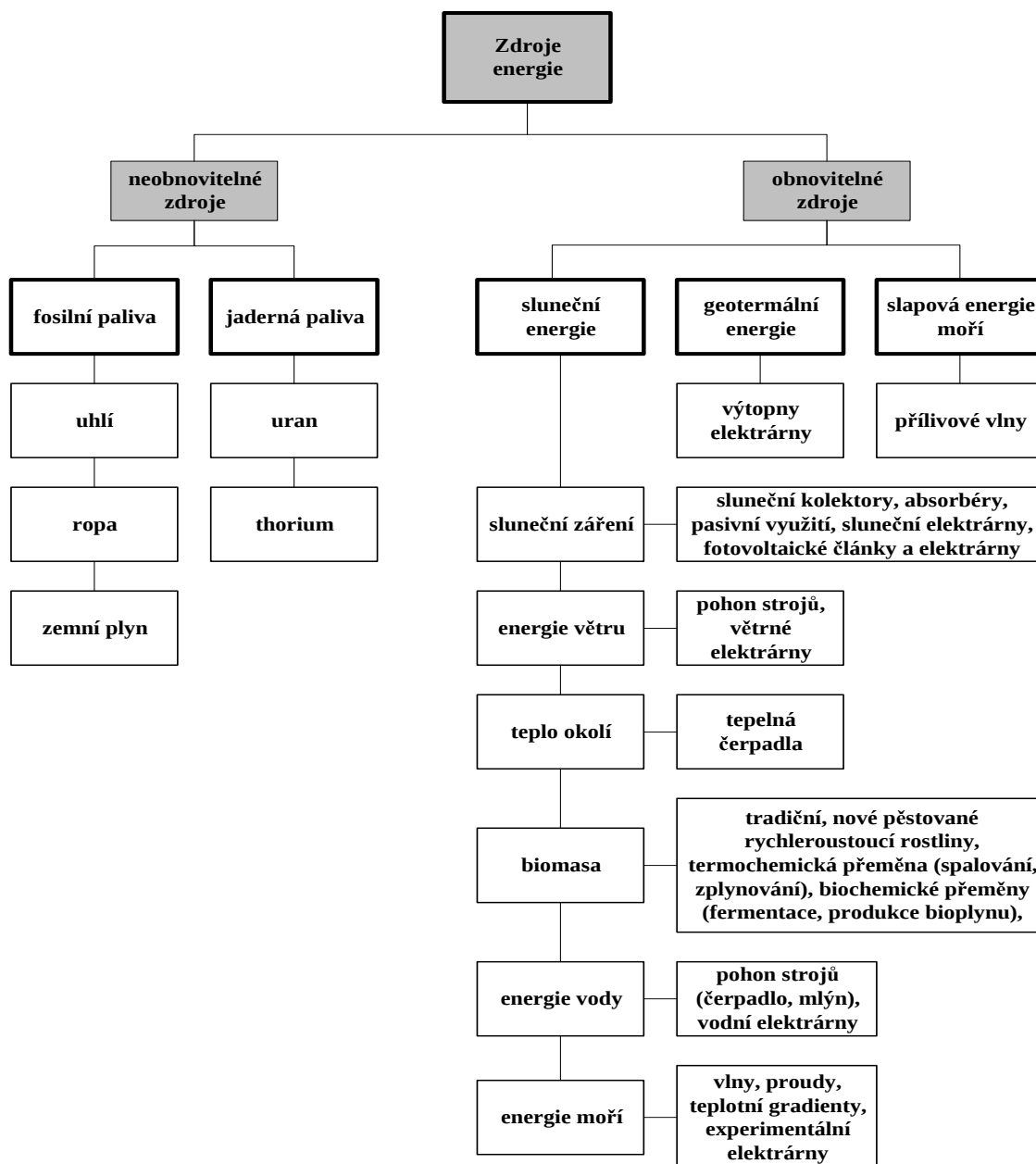
2.1 Druhy zdrojů energie

Přírodní (primární) energetické zdroje rozdělujeme zpravidla na neobnovitelné a obnovitelné zdroje. Neobnovitelnými zdroji primární energie jsou všechny zdroje, které po přeměně primární energie v jinou, zpravidla vhodnější formu, se v historicky krátké době neobnoví. Nevyčerpatelnými zdroji pak rozumíme takové zdroje, které po přeměně v jinou formu energie se vlivem přírodních zákonů samovolně obnoví a je možné je znovu využít (např. energie vodních toků, energie větru aj.).

Neobnovitelné zdroje energie jsou reprezentovány především fosilními (předvěkými) palivy, tj. černým a hnědým uhlím, lignitem, rašelinou, ropou a zemním plynem. Ložiska uhlí, ropy a zemního plynu jsou obrovské zásobárny energie, které se tvořily miliony let. Tyto suroviny v sobě skrývají poměrně snadno uvolnitelnou energii. Mezi neobnovitelné zdroje počítáme i jaderná paliva nacházející se v přírodě, tj. uran a thorium.

Skutečnost, že zásoby fosilních paliv jsou konečné, vede v současné době k intenzivnímu hledání možností využití jiných primárních zdrojů energie, zejména těch, které jsou nevyčerpatelné (obnovitelné). Obnovitelné zdroje energie jsou vesměs úzce spjaté s existencí Slunce, které je vlastně prapůvodním zdrojem veškeré energie vyskytující se na Zemi. Energie obnovitelných primárních zdrojů není, ve formě v jaké se nachází, schopna přepravy do místa spotřeby, a proto využití energie obnovitelných zdrojů je zpravidla úzce vázáno na místo výskytu (např. energie vodního toku, energie moře aj.). V místě výskytu této energie musí dojít k její přeměně na jinou, ušlechtlejší formu vhodnou k přepravě (např. na energii elektrickou). Využití obnovitelných zdrojů energie není ničím novým. Některé z těchto zdrojů se využívají v různé podobě již tisíce let (dřevo, voda, vítr). Mezi obnovitelné zdroje energie patří: energie vodních toků, energie větru, energie moří, sluneční energie, energie živé hmoty, geotermální energie^[2].

Podrobné dělení zdrojů energie je vidět následujícím obrázkem^[1].

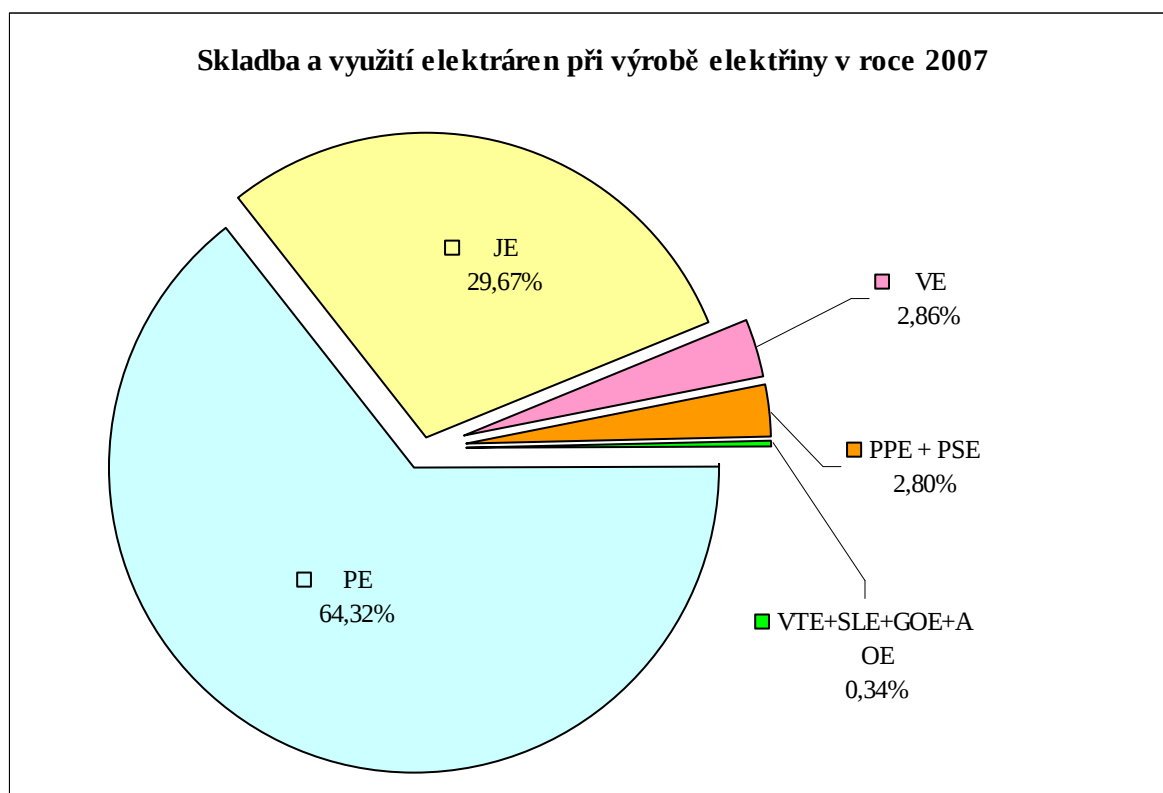


Obr. 2-1 Dělení zdrojů energie^[1]

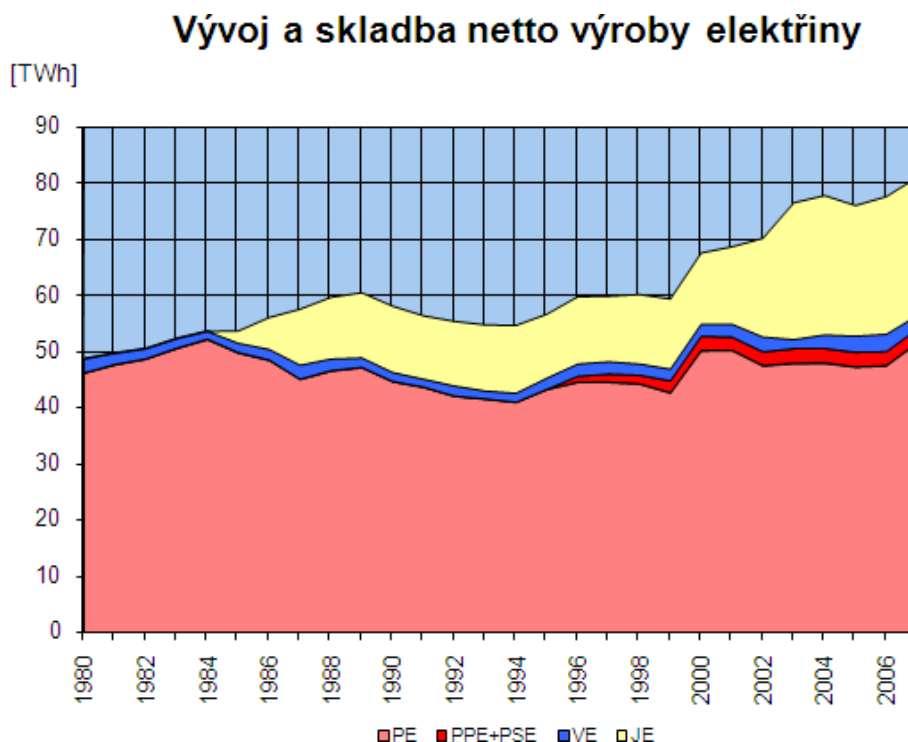
Skladba využití energetických zdrojů a elektráren při výrobě elektřiny v ČR v roce 2007 je uvedena v následující tabulce a grafu^[3]. Všimněme si, že obnovitelné zdroje zaujímají jen velmi malý podíl v celkově vyráběné elektřině.

Tab. 2-1 Skladba využití energetických zdrojů^[3]

položka	celkem [GWh]
výroba elektřiny brutto celkem	88 198,30
PE+PPE+PSE - parní, paroplynová, plynová a spalovací elektrárna	59 201,10
spalováním ČU	7 846,30
spalováním HU	46 200,80
spalováním cíleně pěstované biomasy	26,7
spalováním hnědé (lesní) biomasy	679,2
spalováním bílé a odpadní biomasy	279,3
spalováním olejů (mazut, nafta, LTO)	175,3
spalováním ZP	950,9
spalováním bioplynu	6,9
spalováním skládkového plynu	25,6
spalováním ostatních plynů	2 890,00
spalováním ostatních pevných paliv	35,3
spalováním ostatních kapalných paliv	22,1
bez specifikace paliva	62,7
z toho výroba elektřiny na KVET - kombinovaná výroba elektřiny a tepla	8 187,70
VE - vodní elektrárna	2 523,70
JE - jaderná elektrárna	26 172,10
VTE - větrná elektrárna	125,1
SLE - solární elektrárna	1,8
GOE - geotermální elektrárna	0
AOE - jiná alternativní elektrárna	174,6

Obr. 2-2 Skladba a využití elektráren při výrobě elektřiny^[3]

Dalším zajímavým grafem je vývoj a skladba výroby elektřiny v ČR od roku 1980 až do roku 2007.



Obr. 2-3 Vývoj a skladba výroby elektřiny^[3]

2.2 Malé zdroje elektrické energie

Pod pojmem rozptýlená výroba rozumíme zdroje menších výkonů využívajících převážně obnovitelných zdrojů energie. Tyto zdroje, můžeme jim říkat též malé zdroje elektrické energie, jsou připojovány do sítě provozovatele distribuční soustavy a patří mezi ně zejména: malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, sluneční elektrárny a kogenerační jednotky^[1].

2.2.1 Malé vodní elektrárny

2.2.1.1 Energie vody

Jak již bylo řečeno, energie vody patří mezi obnovitelné zdroje. Energie vody je historicky nejstarším využívaným zdrojem energie a je nositelem mechanické, tepelné a chemické energie. Pro výrobu elektrické energie má v současnosti z technického hlediska největší význam mechanická energie vody. Energii vody je možno získat využitím kinetické (pohybové) energie nebo tlakové (potenciální) energie.

Kinetická energie je představována rychlostí proudění, rychlost proudění je závislá na spádu toku a pro získání této energie se používají především turbíny Peltonova a Bánkiho.

Tlaková energie se získává přehrazením vodního toku splavem, jezem, přehradou nebo derivačním kanálem. Turbína je umístěna níže než je hladina přehrazeného toku a pro získání této energie se využívají turbíny zejména Kaplanova a Francisova^[1].

2.2.1.2 Využití vodních toků

Z hlediska využití hydroenergetického potenciálu vodních toků je poloha ČR nevýhodná, protože řeky v ČR převážně pramení a energie je rozptýlena do malých toků. Další nevýhodou je značné kolísání průtoku a malé spády. Pro doplnění: spád je výškový rozdíl hladin ve vtokové části nad vodní elektrárnou a v odpadu pod ní, průtok je množství vody protékající určitým

profilem toku za jednu sekundu. Vodní elektrárny představují levný zdroj elektrické energie, který se využívá zejména v období špičkové spotřeby. Přečerpávací vodní elektrárny navíc umožňují i účelné využití elektriny produkované méně flexibilními energetickými zdroji v období nízké spotřeby. Vodní elektrárny mají i vodohospodářský význam^[1,2].

2.2.1.3 Princip MVE

Principem MVE je, že na vodní tok navazuje vtokový objekt (jez, přehrada), který soustřeďuje průtok a zvyšuje spád vodního toku. Voda je přivedena přivaděčem přes česle (hrubé a jemné), které zadržují mechanické nečistoty, do strojovny. Tam se hydraulická energie vody v turbíně mění na mechanickou. Mechanická energie z turbíny je přes hřídel přenášena do generátoru, kde se mění na elektrickou energii, která se transformuje a odvádí do míst spotřeby^[1].

2.2.1.4 Rozdělení malých vodních elektráren

Malé vodní elektrárny (MVE) můžeme rozdělit podle různých kategorií: podle koncepce řešení projektu využití energie vodního toku, podle dosažitelného výkonu, podle jednotkového výkonu, podle velikosti spádu a z hlediska zapojení.

- Podle koncepce řešení projektu využití energie vodního toku se dělí vodní elektrárny:
 - na přehradní a jezové, které využívají vzdouvacího zařízení (jez, přehrada),
 - na derivační, které odvádí vodu z původního koryta přivaděčem a opět ji přivádí do koryta,
 - na přehradně derivační, kde je vzdouvacím zařízením přehrada, která soustřeďuje spád i průtok, voda je přivaděčem vedena k turbínám,
 - na přečerpávací, která má horní a dolní nádrž. V době nedostatku elektrické energie je voda pouštěna z horní nádrže do spodní a dodává elektrickou energii do rozvodné sítě. V době přebytku elektrické energie přečerpává zpět vodu z dolní nádrže do horní, k tomu využívá elektrickou energii odebranou ze sítě.

- Podle dosažitelného výkonu se malé vodní elektrárny dělí do čtyř kategorií, které uvádí následující tabulka.

Tab. 2-2 Rozdělení MVE dle dosažitelného výkonu^[1]

Kategorie MVE	Výkon MVE (kW)
Ia	nad 1000
Ib	nad 500 do 1000
II	nad 100 do 500
III	nad 35 do 100
IV	do 35

- Podle jednotkového výkonu soustrojí se dělí do třech tříd, které uvádí následující tabulka.

Tab. 2-3 Rozdělení MVE dle jednotkového výkonu^[1]

třída A	nad 520 kW
třída B	nad 100 do 520 kW
třída C	do 100 kW

- Další kategorie MVE se dělí podle velikosti spádu, které uvádí následující tabulka.

Tab. 2-4 Rozdělení MVE dle velikosti spádu^[1]

třída	velikost spádu (m)
nízkotlaké	do 20
středotlaké	nad 20 do 100
vysokotlaké	nad 100

- MVE se též dělí z hlediska zapojení:

- které jsou zapojené do energetické soustavy. Jsou vybaveny asynchronními alternátory, nemají regulaci výkonu a frekvence. Jsou tvořeny jednoduchými vodními systémy bez akumulčních nádrží.
- které jsou schopné pracovat odděleně od elektrizační soustavy, mají synchronní alternátory. Jsou vybaveny automatickým ovládáním, regulací frekvence i výkonu. Používají se jako záložní zdroje elektrické energie v případě přerušení dodávky elektrické energie z rozvodné sítě.
- které pracují i s nenormalizovaným napětím, i se stejnosměrným proudem (mikrozdroje a mobilní zdroje). Používají se pro spotřebiče na ohřev vody, vytápění rodinných domků, rekreačních objektů atd.^[1].

2.2.2 Sluneční elektrárny

2.2.2.1 Energie slunečního záření

Tato energie přichází na povrch Země, jak již název říká, ze Slunce. Z celkového množství dopadajícího záření využíváme jen malý zlomek v hodnotách okolo promile. Na povrch území České republiky dopadá sluneční záření s průměrnou intenzitou 800 W/m^2 v závislosti na lokalitě a klimatických podmínkách. Ročně tak dopadne na naše území energie $1000\text{--}1250 \text{ kWh/m}^2$ (průměr pro ČR činí 1081 kWh/m^2). Sluneční energie je dostupná kdekoli na Zemi a proto neexistuje ani preference lokalit. Díky tomu a také vlivem relativně malé energetické hustoty je fotovoltaika předurčena spíše pro výrobu elektřiny v decentralizovaných zdrojích. Navíc umožňuje výrobu elektrické energie přímo v místě spotřeby, a to i bez nutnosti připojení k rozvodné síti. V našich podmínkách je fotovoltaický systém s výkonem 1 kW schopen vyrobit $900\text{--}1000 \text{ kWh}$ elektrické energie za rok. Jedná se o nejčistší a nejšetrnější způsob získávání energie vzhledem k životnímu prostředí^[4].

2.2.2.2 Využití sluneční energie

Sluneční energie je využívána třemi základními způsoby přeměny na tepelnou, chemickou a elektrickou energii. Všechny transformace mají problém s malou plošnou koncentrací, proměnlivou intenzitou a nestejnoměrným rozložením slunečního záření. U přeměny na tepelnou energii se využívá slunečních kolektorů pro vytápění a ohřev vody. U přeměny na chemickou energii dochází k chemickým procesům. U přeměny na elektrickou energii, což nás zajímá nejvíce, je využito přímé přeměny pomocí fotovoltaických článků^[1].

2.2.2.3 Princip solárního článku

K přímé přeměně světelné energie na elektrickou se využívají polovodičové prvky, tedy fotovoltaické články, někdy také nazývány solární články. Solární článek je velkoplošná dioda s jedním PN přechodem.

Přeměna sluneční energie na elektrickou ve fotovoltaickém článku probíhá ve třech krocích:

- Dopadající foton slunečního záření je pohlcen valenčním elektronem, čímž elektron získá dostatečnou energii pro přechod z valenčního pásu do vodivostního. Excitací elektronu vzniká pár elektron – díra (tzv. generace). Podmínkou pro překonání zakázaného pásu elektronem je, aby energie zachyceného fotonu $h\nu$ byla větší než je energie zakázaného pásu E_g .
- Samotná generace páru elektron – díra však nestačí, je nutné tento pár rozdělit potenciálovou bariérou - separovat, jinak elektron po určité době přejde zpět do valenčního pásu a obsadí volnou díru tzv. rekombinuje. Při rekombinaci elektron zpětně vyzaří pohlcený foton. Vhodným prostředkem pro separaci elektronů a děr je potenciál PN přechodu.
- Po separaci elektronů a děr je nutné je odvést z oblasti PN přechodu tzn. odvést oddělené náboje ke spotřebiči^[1].

2.2.2.4 Rozdělení fotovoltaických systémů

Systémy se skládají ze sestav fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebičů a dalších prvků jako jsou akumulátorové baterie, regulátoru dobíjení, napěťového střídače, indikačních a měřících přístrojů. Fotovoltaické systémy jsou, co se týče výkonu, široce variabilní od jednotek wattů až po stovky či tisíce kilowatt. Systém můžeme rozdělit na systémy nezávislé na rozvodné síti, tedy ostrovní systémy (grid-off) což jsou systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie, a na síťové fotovoltaické systémy (grid-on).

- Aplikace nezávislé na rozvodné síti, tedy ostrovní systémy (grid-off) - výkony těchto systémů se pohybují v rozmezí 1 W až 10 kW, je kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky méně náročných spotřebičů, budují se v lokalitách, kde není účelné budovat elektrickou přípojku.
- Aplikace s přímým napájením (ostrovní systémy) - využití tam, kde nevadí, že el. zařízení je funkční pouze po omezenou dobu, jde o prosté propojení solárního panelu a spotřebiče využívajícího například k čerpání vody pro závlahu nebo k napájení oběhového čerpadla pro přípravu teplé užitkové vody.
- Systémy s akumulací elektrické energie (ostrovní systémy) - jsou využívány i v době nedostatku sluneční energie, součástí systému jsou akumulátorové baterie, lze provozovat spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (12 a 24 V), ale také střídavým proudem (230 V/ 50HZ) napájené přes střídač.
- Síťové fotovoltaické systémy (grid-on) - elektrická energie je dodávána přes síťový střídač do rozvodné sítě, fotovoltaické panely těchto systémů jsou řazeny do velkých ploch (elektrárny) nebo integrovány do pláštíků budov^[4].

2.2.3 Kogenerační jednotky

2.2.3.1 Energie a kogenerační jednotky

U kogeneračních jednotek se jedná o současnou výrobu více druhů energie. Obecně bývá uváděno, že jde o kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Kogenerace ušetří asi 40% primárního paliva na stejné množství vyrobené elektrické energie a tepla oproti oddělené výrobě. Dále

společnou produkcí tepelné a elektrické energie v kogeneraci zvyšujeme účinnost využití primárního paliva s možností umístit výrobu do místa spotřeby, která snižuje ztráty vzniklé přenosem. Tím se omezuje využívání primárních energetických zdrojů a zvyšuje se podíl obnovitelných zdrojů^[1].

2.2.3.2 Využití kogeneračních jednotek

Systém zajišťující výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie v požadovaných parametrech spotřeby se nazývá kogenerační systém. Dále jako nový trend ve využití kogeneračních jednotek se v současné době objevuje pojem trigenerace tedy kombinovaná výroba elektřiny, tepla a chladu, který je využíván pro účely klimatizace komerčních budov. Kogenerační jednotka se může skládat ze zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (paliva), primární jednotky (primárního motoru), zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie, zařízení pro rekuperaci tepelné energie^[1].

2.2.3.3 Rozdělení kogeneračních systémů

Kogenerační systémy v základu dělíme podle pořadí využívání produkovaných energií na horní kogenerační systémy a dolní kogenerační systémy. Kogenerační technologie lze dále dělit z fyzikálního hlediska na technologii s nepřímým způsobem přeměny energie a s přímým způsobem přeměny energie. Dále lze kogenerační technologie dělit podle použitého primárního paliva, maximálního dosažitelného výkonu, účelu využití, samotné technologie a efektivnosti nasazení kogenerační jednotky.

U horního kogeneračního systému nejdříve dochází k získání energie v energetickém systému, následně teplo v energetickém systému je využíváno pro technologické procesy a následně je odvedeno do energetického zařízení, tedy tepelného motoru a nakonec získaná mechanická energie se transformuje na elektrickou v elektrickém generátoru.

U dolního kogeneračního systému nejdříve dochází k výrobě elektrické energie, pak se užitečná tepelná energie získává z odváděného tepla z tepelného oběhu. Dolní kogenerační systémy se využívají více než horní, protože u horního kogeneračního systému je nutná poměrně velká vstupní teplota do tepelného oběhu.

Podle primárního paliva dělíme kogenerační jednotky na pracující s obnovitelnými zdroji, tedy sluneční energií, energií okolního prostředí, geotermální energií a biomasou. Dále na pracující s neobnovitelnými zdroji, tedy fosilními palivy.

Podle dosažitelného výkonu dělíme kogenerační jednotky na mikro-kogenerace do výkonu 50 kW_E, mini-kogenerace do výkonu 500 kW_E, kogenerace malého výkonu do 1 MW_E, kogenerace středního výkonu do 50 MW_E a kogenerace velkého výkonu nad 50 MW_E.

Podle účelu využití dělíme kogenerační jednotky na základní, špičkové, záložní, rezervní a specifické.

Podle druhu spotřeby je možno dělit kogenerační výrobu na centralizované zásobování teplem, průmyslové kogenerace, kogenerace pro komerční sféru, kogenerace pro komunální sféru a kogenerace pro bytovou sféru.

Podle efektivnosti nasazení, které jsou srovnatelné s oddělenou výrobou, dělíme kogenerační technologie na kombinovaný cyklus s rekuperací tepla, parní protitlaká turbína, kondenzační turbína s odběrem páry, plynová turbína s rekuperací tepla, motor s vnitřním spalováním, mikroturbíny, motory Stirling, palivové články, parní turbíny a organické Rankinovy cykly^[1].

2.2.3.4 Princip kogenerační jednotky

V kogenerační jednotce dolních kogeneračních systémů se provádí plynulá přeměna primární energie obsažené v palivu na elektrickou energii. Tepelnou energii, kterou nelze přeměnit na elektrickou, lze využít na dodávku tepla.

U nepřímého způsobu transformace energie je přeměna energií prováděna prostřednictvím více energetických transformací. Nejvíce využívaný způsob zahrnuje tři transformace. Uvolnění tepelné energie obsažené v palivu nebo regenerace tepelné energie z primárního zdroje, je získávána technická práce, která je využívána pro mechanický pohon spotřebičů a mechanická energie se transformuje na elektrickou.

U přímého způsobu transformace energie se provádí přeměna energie paliva přímo na elektrickou energii, která může být dále upravována například parametry napětí a proudu^[1].

2.2.4 Větrné elektrárny

2.2.4.1 Energie větru

Vítr je pohyb vzduchu způsobený rozdíly atmosférického tlaku a jeho rychlost závisí na velikosti rozdílu atmosférického tlaku. V blízkosti zemského povrchu (výška 30 – 60 m) je vítr ovlivňován především topografií oblasti a kvalitou zemského povrchu. Při využívání energie větru je jeho rychlost nejdůležitějším údajem. V následující tabulce je uvedeno rozdělení větrů dle rychlostí s přiřazením projevu v přírodě^[1].

Tab. 2-5 Rozdělení větru dle rychlosti^[1]

Rychlost od do (m.s ⁻¹)	Stupeň Beauforta	Označení síly větru	Projev v přírodě
0 0,2	0	bezvětrí	kouř stoupá kolmo
0,3 1,5	1	vánek	kouř stoupá podle větru, větrná směrovka se nepohne
1,6 3,3	2	slabý vítr	vítr je cítit na tváři, šelestí listů stromů, větrná směrovka se začne pohybovat
3,4 5,4	3	mírný vítr	listy a větvičky stromů se pohybují, pohybuje praporekem, slabě čeří hladinu stojaté vody
5,5 7,9	4	dost čerstvý vítr	pohybuje slabšími větvemi, zvedá prach a papíry, napíná praporek
8,0 10,7	5	čerstvý vítr	napíná větší prapory, pohybuje většími bezlistými větvemi, na stojatých vodách tvoří menší vlny, pro cit je již nepříjemný
10,8 13,8	6	silný vítr	pohybuje silnějšími větvemi a slabšími stromy, hučí v listnatých lesích, sviští dráty, použití deštníku je nesnadné, na vodě tvoří vlny s ojediněle zpěněnými vrcholky
13,9 17,1	7	prudký vítr	pohybuje bezlistými stromy střední tloušťky, vlny na stojaté vodě mají četné pěnivé vrcholky, chůze proti větru je namáhavá
17,2 20,7	8	bouřlivý vítr	vítr láme větve stromů, chůze proti větru značně obtížná, pohybuje silnějšími stromy
20,8 24,4	9	vichřice	působí menší škody na střechách, ulamuje bezlisté větve a menší stromy
24,5 28,4	10	silná vichřice	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
28,5 32,6	11	mohutná vichřice	působí velké škody na domech i v lesích, poráží chodce
32,7 a více	12	orkán	ničivé účinky

2.2.4.2 Využití větrných motorů

V současnosti je větrných motorů nejčastěji využíváno k výrobě elektrické energie, kde větrné motory pohánějí elektrické asynchronní nebo synchronní třífázové generátory. Malé větrné elektrárny se využívají na nabíjení baterií, čerpání nebo ohřev vody, které pracují samostatně, jako jediný zdroj. Větrné elektrárny od výkonu nad 50 kW jsou převážně začleněny do distribuční sítě. Vyrobenou elektřinu vlastník sítě, tedy distributor, vykupuje.

Další využití větrných motorů je například k čerpání vody pro potřeby zavlažování a dříve jako mechanické pohony k mletí obilí, pohon pil a dalších pracovních strojů^[1].

2.2.4.3 Princip větrné elektrárny

Větrné motory se využívají k přeměně kinetické energie větru na mechanickou práci. Vrtule zpomalují proud vzduchu, který protéká jejich pracovní plochou a tím odnímají část jeho energie. Mechanická energie je přes hřídel přenášena do generátoru, kde se mění na elektrickou energii, která se transformuje a odvádí do míst spotřeby.

Rotory větrných elektráren jsou ve většině případů navrhovány s vodorovnou osou jako rychloběžné třílisté vrtule umístěné před stožárem, kde natáčení rotoru proti větru se provádí pomocí elektrických nebo hydraulických motorů.

Aby bylo možné dodávat elektřinu z elektrárny do sítě je nutná rychlost větru 3 až 5,5 m.s⁻¹, přičemž jmenovitého výkonu se obvykle dosahuje při rychlostech větru 13 až 15 m.s⁻¹ a naopak při rychlosti větru nad 25 m.s⁻¹ se větrné motory odstavují. Stojící větrná elektrárna musí odolat větru o rychlosti 60 m.s⁻¹, tedy síle orkánu.

Omezení výkonu větrného motoru při vysoké rychlosti větru se dosahuje natáčením listů rotoru okolo jejich podélné osy nebo u pevných listů regulací na odtržení proudu vzduchu. Proti mechanickému přetížení rotoru jsou větrné elektrárny vybaveny mechanickou brzdou umístěnou za převodovkou na straně generátoru. Brzda je disková a spouští se pružinou při poklesu hydraulického tlaku a při nárůstu otáček vlivem velké rychlosti větru se používají aerodynamické brzdy^[1].

2.2.4.4 Rozdělení větrných motorů

Základní dělení motorů je podle aerodynamického principu na motory odporové a motory vztahové. Motory odporové patří mezi nejstarší a mohou mít vodorovnou i svislou osu otáčení. Motory vztahové mají vrtule a větrná kola s vodorovnou osou, kde rovina otáčení je orientována kolmo ke směru větru.

Další způsob jak rozděluje větrné elektrárny je podle jejich výkonu a to na malé, střední a velké.

- Malé větrné elektrárny o výkonech do 10 kW, ale někdy až do 60 kW jsou dostatečně rychloběžné a používají se v nich vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety. Používají se k nabíjení akumulátorů, pohonu čerpadel a též pro dodávku elektřiny autonomním spotřebitelům.
- Střední větrné elektrárny v rozsahu 60 až 750 kW kde se k výrobě elektrické energie nejčastěji používají asynchronní motory s kotvou nakrátko, pracující v generátorickém chodu a převážně dodávají vyrobenou elektřinu do sítě distributora.
- Velké větrné elektrárny v rozsahu 750 až 6400 kW (v ČR je v současnosti největší 3000 kW) kde se k výrobě elektrické energie nejčastěji používají synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru. Zpravidla dodávají vyrobenou elektřinu do sítě distributora^{[1][4]}.

2.2.4.5 Regulace VTE

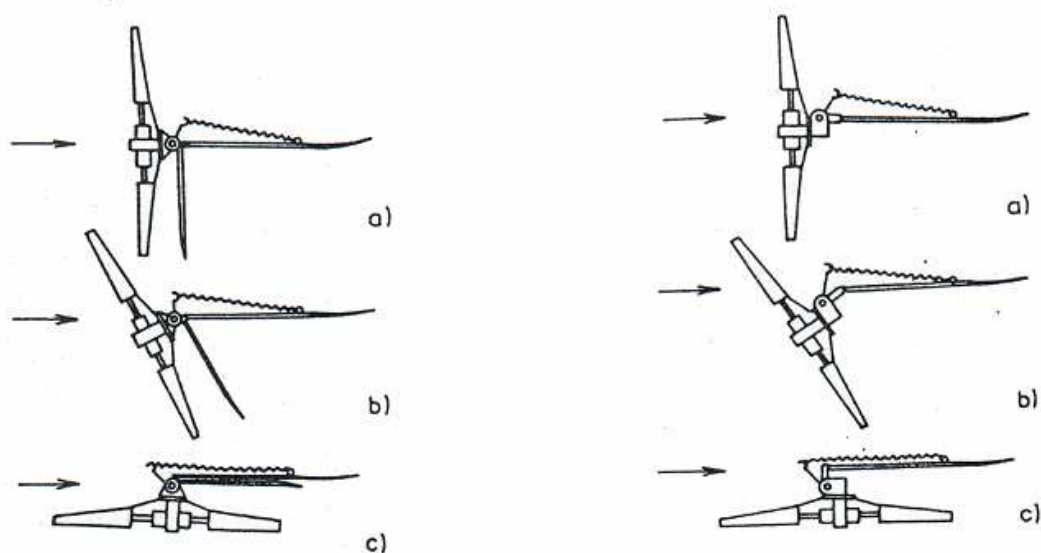
Vzhledem k nutnosti ochrany proti překročení maximálních bezpečných otáček rotoru a nutnosti omezení otáček i výkon pracovního stroje se větrné motory také regulují.

Podle provedení rotorů existují dvě základní skupiny regulačních principů a to pro rotory s pevnými lopatkami nebo listy nebo pro vrtule s natáčivými listy.

Regulace STALL

Rotory s pevnými lopatkami nebo listy u malých větrných elektráren se regulace provádí pomocí čepu, který dovoluje nastavení roviny rotoru do směru rovnoběžného s osou kormidla. Při normálním chodu brání natočení rotoru pružina nebo závaží, ale u novějších typů VTE se využívá hydraulické natáčení rotoru. Působením velké rychlosti větru je vyvolána síla, která sílu pružiny překoná.

Principy jsou zobrazeny na následujícím obrázku. Na levé části obrázku je vidět zařízení pro omezení maximálního výkonu a zabezpečení proti extrémním rychlostem větru s boční deskou a na pravé části obrázku je vidět zařízení pro omezení maximálního výkonu s vyoseným rotorem: a) normální poloha, b) omezení výkonu, c) zastavení rotoru při extrémních rychlostech větru.



Obr. 2-4 Zařízení pro omezení maximálního výkonu a zabezpečení proti extrémním rychlostem větru ^[7]

Rotory s pevnými lopatkami nebo listy u velké větrné elektrárny s asynchronním motorem s málo proměnlivými otáčkami se využívá změny rychlostního poměru, kde se mění úhel náběhu na profil, proud větru se odtrhává na podtlakové straně profilu. Rotory jsou též vybaveny aerodynamickou brzdou.

Regulaci u rotorů s pevnými lopatkami nebo listy se říká STALL. Tato regulace má několik výhod. Má jednoduchou konstrukci, s ohledem na menší počet pohyblivých částí je nenáročná údržba a touto regulací je docílena vysoká spolehlivost regulace výkonu.

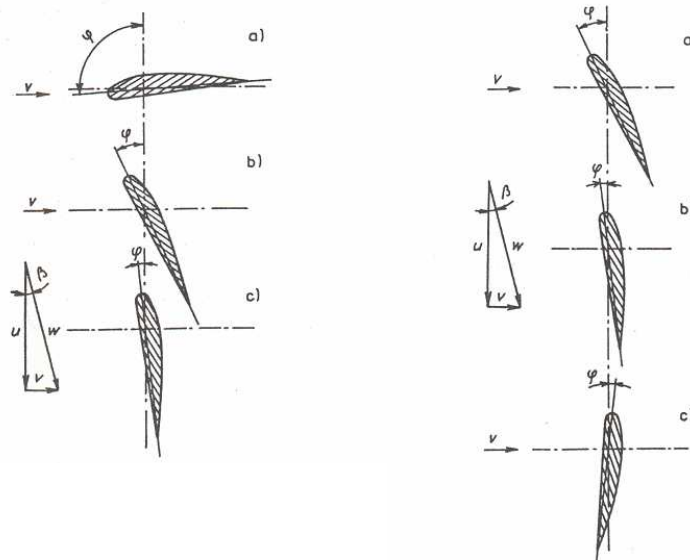
Regulace PITCH

Druhou skupinou regulačních principů je regulace PITCH. Tento způsob je založen na natáčení listů rotoru. Tento princip zajišťuje chod větrného motoru při konstantních nebo málo proměnlivých otáčkách v relativně velkém rozsahu rychlostí větru, aniž by se výrazně měnila jeho účinnost. Jedná se o aktivní systém, který pracuje se vstupním signálem o výkonu generátoru a při překročení nominální rychlosti větru se mění nastavení listů vrtule.

Podle způsobu natáčení vrtulových listů existují dva způsoby, které lze na první pohled rozeznat na stojícím větrném motoru.

První způsob nastavuje při zastaveném větrném motoru vrtulové listy do praporu tj. náběžnou hranou proti směru větru tak, aby kladly větru listy minimální odpor a nevznikla na nich síla, která by roztáčela rotor. Výhodou systému je, že při zastavení rotoru nevznikají velké síly na vrtulových listech a na celé konstrukci větrného motoru, což má právě význam při extrémních větrných podmínkách. Nevýhodou je velký regulační rozsah. Tento způsob je zobrazen na následujícím obrázku vlevo: a) stojící rotor, b) nastavení listu pro rozběh, c) pracovní režim rotoru.

Druhý způsob nevýhodu prvního odstraňuje, kdy po dosažení jmenovitých otáček vrtulový list nemění svůj smysl natáčení, ale při vzrůstu rychlosti větru se natáčí dále ve stejném směru až do polohy, kdy tětíva profilu zaujme polohu prakticky rovnoběžně s rovinou vrtule (pracovní režim rotoru). Při zvětšujícím se úhly náběhu roste vztlaková síla i odpor profilu. Změnou směru výsledné síly na vrtulovém listu se udržuje přibližně konstantní nebo mírně klesající moment síly na rotoru. Na hřbetu profilu narůstá mezní vrstva, odtrhává se proud a vznikají široké úplavy, takže v krajní poloze (brzdící režim rotoru a poloha při stojícím rotoru) při zastaveném rotoru se nevytváří moment síly, který by roztáčel rotor. Při otáčejícím se rotoru vzniká v této poloze vrtulového listu moment síly proti směru otáčení, který usnadňuje zastavení rotoru při extrémních rychlostech větru. Rozsah úhlu natáčení vrtulového listu je proti předchozímu způsobu přibližně třetinová. Princip regulace natáčením listů rotoru na odtržení je vyobrazen na následujícím obrázku vpravo: a) nastavení listu pro rozběh, b) pracovní režim rotoru, c) brzdící režim rotoru a poloha při stojícím rotoru.



Obr. 2-5 Princip regulace u rotoru s natáčivými list "na prapor(vlevo) a na odtržení(vpravo)" [7]

Systém regulace PITCH poskytuje souhrnně několik výhod. Je zde aktivní kontrola výkonu v celém rozsahu rychlosti větru, poskytuje vyšší produkci energie oproti regulaci stall, má jednoduchý start turbíny změnou nastavení úhlu náběhu, dále nepotřebuje silné brzdy pro okamžité zastavení rotoru, regulací snižuje zatížení listů rotoru a též umožňuje nižší hmotnost rotorových listů^[7].

3 LEGISLATIVA PRO VÝROBNY

3.1 Seznam legislativy

Problematicky výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů se týká mnoho legislativních dokumentů jako jsou zákony, vyhlášky, pravidla a předpisy. Uvádím zde alespoň ty nejdůležitější^[5].

- Zákon č. 458/2000 Sb. - o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) - Tento zákon upravuje v souladu s právem Evropských společenství podmínky podnikání, výkon státní správy a nediskriminační regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené.
- Zákon č. 180/2005 Sb. - o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie - Tento zákon upravuje v souladu s právem Evropských společenství způsob podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a z důlního plynu z uzavřených dolů a výkon státní správy a práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené.
- Vyhláška č. 540/2005 Sb. - o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice - Tato vyhláška stanoví požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, lhůt pro uplatnění nároku na náhradu, a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb.
- Vyhláška č. 541/2005 Sb. - o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona - Tato vyhláška stanoví Pravidla trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou, způsoby jejich účtování a úhrad jednotlivými účastníky trhu s elektřinou, pravidla tvorby, přiřazování a užití typových diagramů dodávek elektřiny a podmínky dodávek elektřiny dodavatelem poslední instance.
- Vyhláška č. 51/2006 Sb. - o podmínkách připojení k elektrizační soustavě orgány provádějícími výkon státní správy v energetických odvětvích podle § 15 energetického zákona a sjednotit postup provozovatele přenosové soustavy, provozovatelů regionálních distribučních soustav a provozovatelů lokálních distribučních soustav při aplikaci zásad vyhlášky do vztahů s výrobcí a konečnými zákazníky.
- Vyhláška č. 218/2001 Sb. - kterou se stanoví podrobnosti měření elektřiny a předávání technických údajů - Tato vyhláška stanoví podrobnosti zajišťování měření v PS a DS včetně jeho vyhodnocování a předávání výsledků měření a dalších nezbytných informací pro zúčtování elektřiny a dále stanoví podrobnosti způsobu předávání technických údajů ze smluv o dodávce elektřiny a naměřených a vyhodnocených údajů o skutečných dodávkách elektřiny.
- Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu pro rok č. 7/2007 ze dne 20. listopadu 2007, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů (toto rozhodnutí ERÚ každoročně vydává nové).

- PPDS - Pravidla provozování distribučních soustav - Cílem tohoto dokumentu je vypracovat a zveřejnit předpisy, které stanoví minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k DS a pro její užívání. Tento dokument je platný pro celé území ČR a dohodli se na něm všichni distributoři ČEZ Distribuce, a. s., E.ON Distribuce, a. s. a PREdistribuce, a. s..
- Připojovací podmínky ČEZ Distribuce, a. s. - dokument je úvodem do problematiky technických podmínek provozu výroben elektřiny. Detailní a právně závazné informace jsou specifikovány v PPDS popisujících připojování zdrojů elektrické energie, jimiž jsou např. vodní elektrárny, větrné elektrárny, fotočláňková zařízení atp. (každý distributor si vydává své připojovací podmínky a pro potřeby této práce jsou použity pouze podmínky ČEZ Distribuce, a. s.).

3.2 Připojovací podmínky ČEZ Distribuce, a. s.

3.2.1 Úvod

Následující informace jsou pouze úvodem do problematiky technických podmínek provozu výroben elektřiny (dále jen VEE). Detailní a právně závazné informace jsou specifikovány v PPDS popisujících připojování zdrojů elektrické energie, jimiž jsou např. vodní elektrárny, větrné elektrárny, fotočláňková zařízení atp. Tyto informace jsou určeny pro VEE, jejichž provozovatelem jsou právnické nebo fyzické osoby, které mají uzavřenou smlouvu na dodávku elektrické energie z výroby (dále jen smlouvu) a jsou připojeny na síť ČEZ Distribuce, a. s. Provozovatel VE může dodávat do sítě ČEZ Distribuce, a. s. veškerou vyrobenou elektřinu, její přebytky (část spotřebuje) nebo spotřebovat veškerou vyrobenou elektřinu pro vlastní účely.

3.2.2 Všeobecné podmínky^[5]

Nově zřizovat, podstatně rozšiřovat a upravovat VEE připojovanou k DS je možno jen se souhlasným stanoviskem ČEZ Distribuce, a. s., které je vydáváno pouze na základě vyplněné „Žádosti výrobce elektřiny o připojení k DS“ a „Dotazníku pro vlastní výrobu“ včetně povinných příloh z těchto formulářů. O způsobu připojení VEE k DS a dodržení podmínek stanovených v příloze č. 4 PPDS rozhoduje oddělení Poskytování sítí. Volba konkrétního způsobu připojení, t.j. síť nn, vlastní trafostanice či samostatný vývod vn se provádí na základě výpočtu, které zohledňují výkon a druh VEE i parametry místní sítě a její zatížení ostatními odběrateli. Obchodní podmínky provozu VEE stanovuje oddělení Poskytování sítí, o způsobu provedení obchodního měření rozhoduje oddělení Rozvoj sítí na základě stanoviska ČEZ Měření s.r.o.. Při zřizování nebo podstatném rozšiřování VEE je nutno dodržet podmínky stanovené stavebním Zákonem č. 50/1976 Sb. U vodních elektráren je nezbytné věnovat pozornost Zákonu o vodním hospodářství č. 138/1973 Sb., včetně prováděcích pokynů k uvedeným zákonům. Dále je investor povinen již v průběhu zpracování přípravné a projektové dokumentace požádat ČEZ Distribuce, a. s. o vyjádření. Vztahy mezi provozovatelem VEE a provozovatelem DS se řídí oboustranně potvrzenou smlouvou o připojení zařízení k DS v souladu s vyhláškou MPO č. 18/2002 Sb. Před uzavřením smlouvy o dodávce a odběru elektřiny na nově zřízenou nebo podstatně rozšířenou VEE musí jejich provozovatel předložit následující dokumenty:

- Návrh smlouvy o dodávce elektřiny z VEE do DS ČEZ Distribuce, a. s.
- Výchozí revizní zprávu a technickou dokumentaci.
- Potvrzené technické podmínky pro provoz a obsluhu VEE (vyjádření provozovatele DS k provozním a obchodním otázkám výroby).
- Veřejnoprávní povolení potřebná pro zřízení a provozování VE (kolační rozhodnutí, žádost o připojení VEE pro vlastní spotřebu).
- Provozní rád VEE musí kromě provozně manipulačních údajů obsahovat i telefonní spojení na provozovatele VEE.

- Kopii živnostenského oprávnění nebo výpis z obchodního rejstříku.

3.2.3 Podmínky pro provoz VEE

Za škody vzniklé provozem VEE odpovídá její vlastník. Pokud bude prokázáno, že škody na zařízení ČEZ Distribuce, a. s. nebo jejich odběratelů byly způsobeny provozem VEE, bude ČEZ Distribuce, a. s. požadovat náhradu vzniklých škod na vlastníkově VEE, jehož VEE škodu způsobila.

3.2.4 Kontrola napěťových poměrů v síti

Dle odst. 10 přílohy č. 4 PPDS zvýšení napětí vyvolané provozem připojených VEE nesmí v nejnepríznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro VEE s přípojným místem v síti vn (v síti nn nesmí překročit 3 %) ve srovnání s napětím bez jejich připojení.

3.2.5 Vybavení rozpojovacího místa mezi VEE a DS

Rozpojovací místo VEE musí obsahovat technické vybavení, musí být přístupné pro pracovníky ČEZ Distribuce, a. s. a musí umožnit zajištění spínače generátoru v poloze „VYPNUTO“. Musí být zajištěno spolehlivé a bezpečné odpojení VEE od DS ČEZ Distribuce, a. s..

3.2.6 Posouzení nutnosti kompenzace

O nutnosti kompenzace jalového výkonu VEE rozhodne vždy oddělení Poskytování sítí s ohledem na dodávku energie s účinníkem splňujícím hodnoty dle odst. 9 přílohy č. 4 PPDS v pásmu 0,95 – 0,98 induktivní. V případě instalace kompenzačních kondenzátorů je nutné postupovat tak, aby bylo možné odpojit automaticky nejen při odstavení generátoru, ale v případě potřeby i při generátorovém chodu s maximálním výkonem (t.j. v případě nízkého zatížení v síti, kdy bude nutné vyřadit je s ohledem na napěťové poměry). Umístění kompenzace bude individuální, zpravidla u generátoru. Výše uvedený rozsah účinníku může být na základě provozních požadavků a výsledků měření upraven. Zvýšené ztráty při přenosu elektřiny vlivem dlouhého přívodního vedení lze respektovat vhodnou volbou místa osazení elektroměru.

3.2.7 Ochrany VEE

U VEE musí být podle druhu generátoru a velikosti výkonu použity ochrany dle odst. 8 přílohy č. 4 PPDS včetně funkcí a rozsahu nastavení. Regulaci turbíny a regulaci napětí výroby zajišťuje provozovatel VEE.

3.2.8 Provozní předpisy

Provozovatel VEE ve spolupráci s ČEZ Distribuce, a. s. a příslušným rajónním dispečinkem zpracuje místní provozní předpisy pro provoz VEE. Jejich součástí bude omezení provozu VEE s ohledem na napěťové poměry v síti (např. automaticky přepětovou ochranou v rozpojovacím místě). Dále budou obsahovat telefonní spojení a adresy provozovatele a obsluhy VEE.

3.2.9 Ostatní VEE

Pokud majitel VEE vyrábí elektrickou energii pouze pro vlastní spotřebu tedy nejsou dodavatelem elektřiny do DS ČEZ Distribuce, a. s., musí tyto zdroje splňovat podmínku bezpečného galvanického oddělení sítě napájené touto VE od sítě ČEZ Distribuce, a. s.

3.2.10 Závěrečná ustanovení

ČEZ Distribuce, a. s. si vyhrazuje právo požadavku na předložení potřebných měření VEE:

- v rámci studie připojení VEE

- před uvedením do provozu, t.j. v rámci zkušebního provozu VEE
- za provozu výrobný, t.j. po skončení zkušebního provozu VEE

Pokud se prokáží nepříznivé zpětné vlivy na síť ČEZ Distribuce, a. s. dle odst. 11 přílohy č. 4 PPDS, budou uplatněna dodatečná technická opatření vůči provozovateli VEE, nebo omezení dodávaného výkonu dle napětových a zatěžovacích poměrů v síti. Konečné vyjádření k provozním a obchodním požadavkům, potřebným pro připojení VEE k DS ČEZ Distribuce, a. s., zapíše provozovatel DS do technických podmínek pro provoz a obsluhu VEE, které jsou součástí smlouvy.

3.2.11 Měření VEE

3.2.11.1 Dodávka do sítě ČEZ Distribuce, a. s.

Dodávka se měří zpravidla v místě, kde elektřina přechází ze zařízení provozovatele VEE do sítě ČEZ Distribuce, a.s. Měřicí zařízení je v majetku ČEZ Distribuce, a. s.. Umístění a způsob měření určují pracovníci oddělení Poskytování sítí na základě stanoviska pracovníku ČEZ Měření, s.r.o.. Montáž měřících souprav pro dodávku do sítí vn a nn zajišťují pracovníci ČEZ Měření s.r.o.. Provozovatel VEE je povinen pečovat o měřicí přístroje a zajistit je proti poškození, případně zcizení. Sleduje jejich funkčnost a po zjištění závady nejpozději do 3 dnů vyrozumí kompetentní pracovníky ČEZ Distribuce, a. s.

3.2.11.2 Dodávka a odběr VEE

Měření činné a jalové energie je prováděno vícekvadrantními měřicími soupravami. Podle druhu generátoru se z měřících souprav vyhodnocuje:

- Asynchronní generátor s výkonem do 25 kW - měření odběru a dodávky činné energie
- Asynchronní a synchronní generátor s výkonem nad 25 kW - měření odběru a dodávky činné energie, měření odběru a dodávky jalové energie v závislosti na směru toku činné energie.

Požadavky na měřicí soupravy u měření dodávek do sítí nn jsou totožné s požadavky na měření odběratelů kategorie C a D s osazením čtyřkvadrantní měřicí soupravy. U přímého měření lze použít zapojovací schéma č.1 těchto podmínek. U nepřímého měření lze použít schéma č.1 připojovacích podmínek odběratelů kategorie A a B. U dodávek do sítí vn a vvn jsou požadavky na měřicí soupravy shodné s požadavky kategorie A a B včetně zapojovacích schémat.

Dodávka a odběr se jmenovitým výkonem nad 65 kW musí být měřena nepřímým měřením (tj. přes měřicí transformátory proudu). Požadavky na měřicí soupravy u měření dodávek do sítí vn jsou totožné s požadavky na měření kategorie A a B. Velikost měřících transformátorů musí odpovídat výkonu zdroje, měřicí transformátory proudu a napětí musí být ověřeny autorizovanou státní zkušebnou (Metrologickým střediskem).

3.2.12 Podmínky pro obsluhu VEE a práce na el. zařízení VEE

Provozovatel odpovídá za dodržení podmínek stanovených v místních provozních předpisech VEE, za dodržení podmínek bezpečnosti při obsluze VEE a práci na elektrickém zařízení VEE ve smyslu ČSN vyhlášky č. 50/1978 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Dále odpovídá za dodržování všech dalších předpisů a norem souvisejících s provozem VEE.

3.3 Výkup elektřiny z obnovitelných zdrojů

Výrobce má dle zákona č.180/2005 Sb. , o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů, právo si vybrat formu podpory, tedy jestli elektřinu nabídne

k výkupu provozovateli DS za výkupní regulovanou cenu nebo za ni bude požadovat zelený bonus.

V případě podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů ve formě výkupních cen má provozovatel regionální distribuční soustavy povinnost od výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů vykoupit veškerý objem vyrobené elektřiny z daného zdroje. Při podpoře formou zelených bonusů si musí výrobce najít sám svého odběratele elektrické energie (konečný zákazník nebo obchodník). Tržní cena, za kterou výrobce elektřinu prodá svému odběrateli, je dána dohodou mezi výrobcem a odběratelem, a není tedy stanovena Energetickým regulačním úřadem. Výkupní ceny i zelené bonusy výrobcí vždy hradí provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy podle toho, ke které soustavě je připojen. Výkupní ceny elektřiny a výše zelených bonusů jsou stanoveny pro příslušné období platným Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu.

Dále dle vyhláška ERÚ č. 541/2005 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou..., ve znění novelizace č. 365/2007 Sb. ze dne 28.12.2007 musí výrobce elektřiny pravidelně dodávat měsíční výkaz o výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů^[5].

3.4 Cenové rozhodnutí ERÚ

Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2007 ze dne 20. listopadu 2007, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

Energetický regulační úřad podle § 2c zákona č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, ve znění pozdějších předpisů, § 17 odst. 6 písm. e) a § 32 odst. 4 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a § 6 zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), vydává cenové rozhodnutí o cenách elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů. Ceny uvedené v tabulkách nezahrnují daň z přidané hodnoty. K uvedeným cenám je připočítávána daň z přidané hodnoty podle zvláštního právního předpisu. Přehled základních výkupních cen je uveden v příloze A^[3].

4 VLIV VÝROBEN NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ

4.1 Připojení výrobní k síti

4.1.1 Podmínky k připojování

Vlastní výrobní, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě. Způsob a místo připojení na síť stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozu vlastní výrobní, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce. Tím má být zajištěno, že vlastní výrobní bude provozována bez rušivých účinků a neohrozí napájení dalších odběratelů.

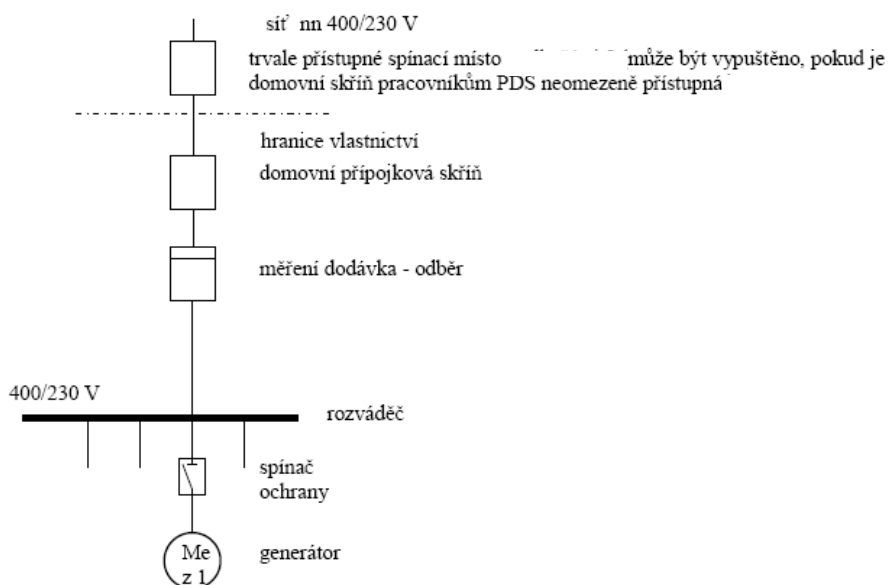
Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu), připojovaného výkonu, stejně jako druhu a způsobu provozu vlastní výrobní.

Připojení k síti PDS se děje v předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupném kdykoliv personálu PDS. Požadavek na kdykoliv přístupné spínací místo s oddělovací funkcí je u jednofázových zdrojů do 4,6 kVA a trojfázových do 30 kVA splněn, pokud jsou tyto zdroje vybaveny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem. Spínací prvek může být samostatný nebo může být součástí střídače. Princip může být sledování impedance a vyhodnocování její změny, trojfázové sledování napětí či změna fázoru napětí. Toto zařízení musí být ověřeno akreditovanou zkušebnou.

Pro zdroje s nízkou dobou využití, na jejichž provoz není vázána výrobní technologie a výrobce nepožaduje obvyklou zabezpečenost připojení k soustavě (např. pro větrné elektrárny), lze připustit zjednodušená připojení k soustavě, pokud splňují ostatní požadavky na bezpečný provoz soustavy (např. selektivita ochrany a u venkovních vedení provoz s OZ)^[6].

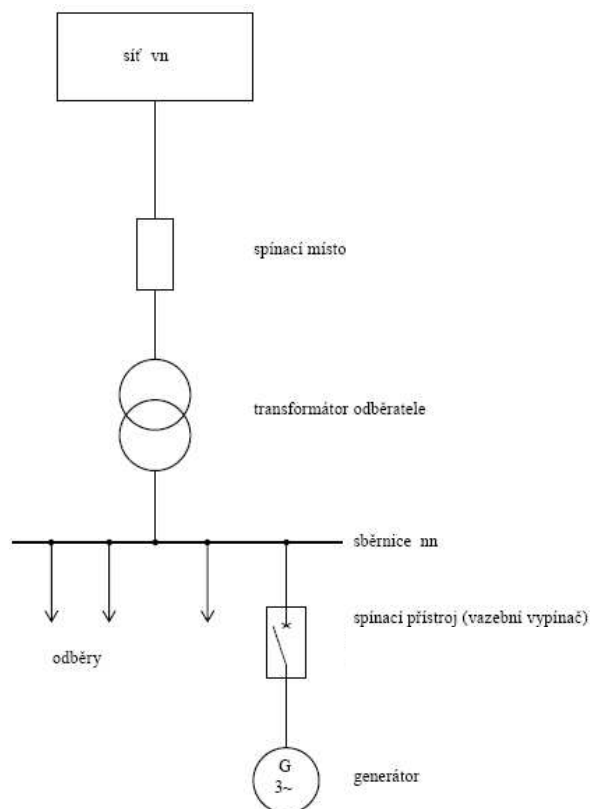
4.1.2 Způsoby připojení výroben

Následující obrázek naznačuje možný způsob připojení výrobní bez možnosti ostrovního provozu na straně nn tedy 0,4kV, včetně popisu jednotlivých prvků.

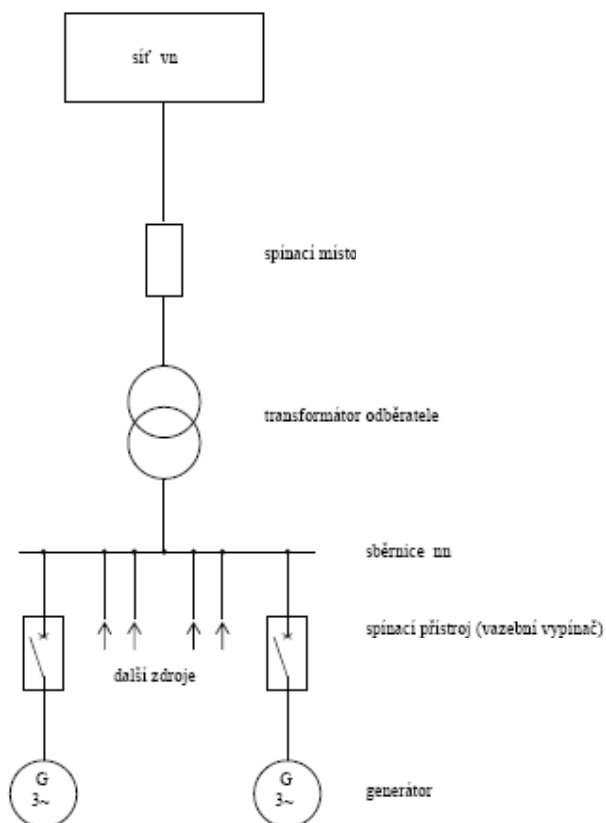


Obr. 4-1 Schéma připojení výrobní do nn ^[6]

Další obrázky naznačují možný způsob připojení výroben bez možnosti ostrovního provozu na straně vn tedy 22kV včetně popisu jednotlivých prvků.

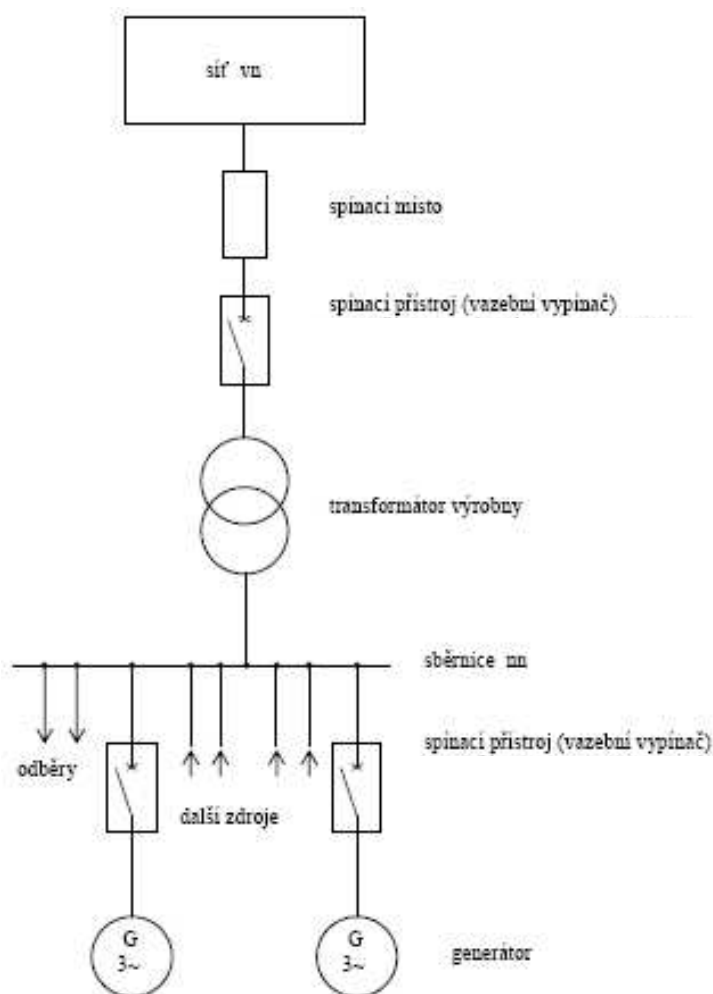


Obr. 4-2 Schéma připojení jedné výroby do vn bez možnosti ostrovního provozu ^[6]



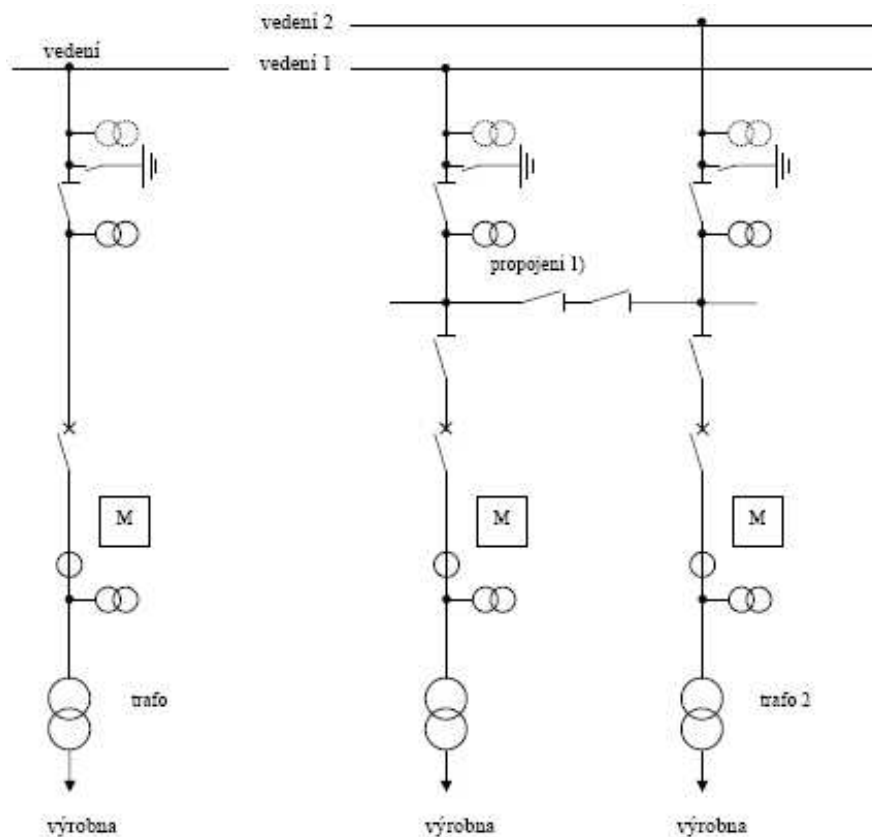
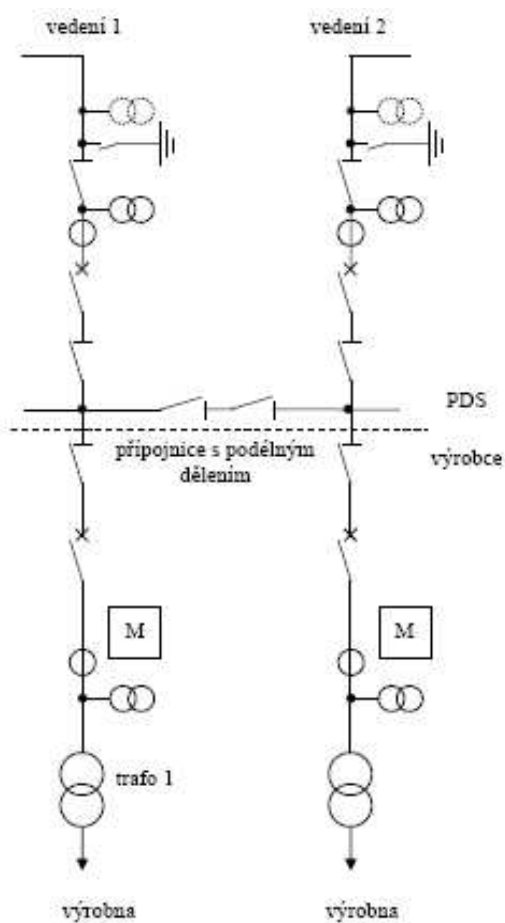
Obr. 4-3 Schéma připojení dvou výroben do vn bez možnosti ostrovního provozu ^[6]

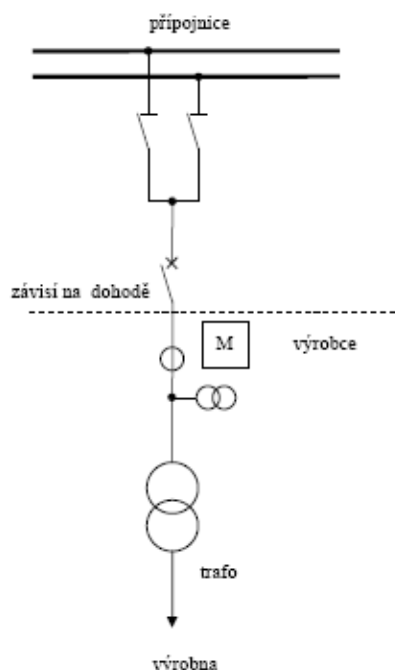
Dalším způsobem připojení výroben do sítě je s možností ostrovního provozu.



Obr. 4-4 Schéma připojení dvou výroben do vn s možností ostrovního provozu ^[6]

VTE respektive větrné farmy je možné připojovat i sítě vvn, tedy do 110kV. Těchto způsobů je několik, jako například jednoduchým či dvojitým T odbočením, zasmyčkováním nebo také napojením přímo do rozvodny. A na dalších obrázcích jsou tyto možné způsoby vyobrazeny.

Obr. 4-5 Schéma připojení VTE do vvn tzv. T odbočením^[6]Obr. 4-6 Schéma připojení VTE do vvn tzv. zasmyčkováním^[6]



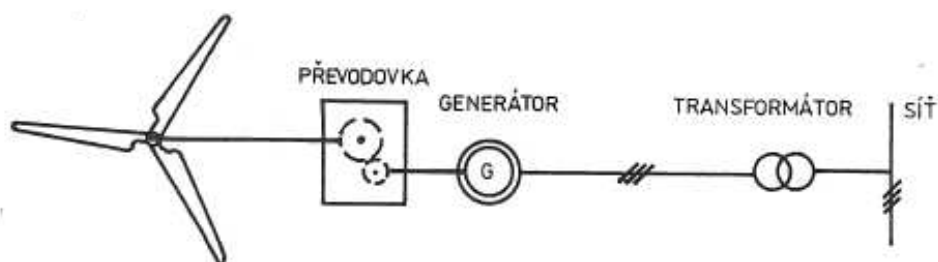
Obr. 4-7 Schéma připojení VTE do vn rozvodny^[6]

4.1.3 Připojení VTE k síti

Vzhledem k tomu, že součástí práce je i posouzení vlivu VTE na DS věnuji připojení VTE samostatnou kapitolu.

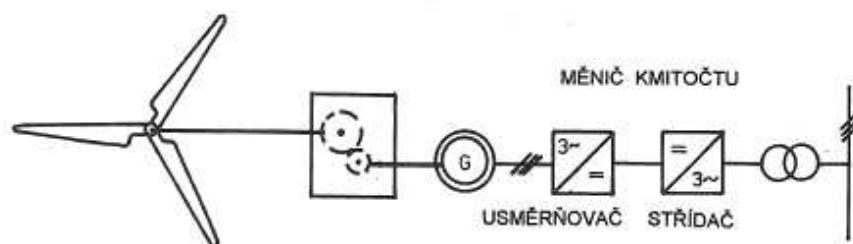
Ve VTE středních a velkých výkonů se k výrobě elektrické energie nejčastěji používají běžné asynchronní motory s kotvou nakrátko, pracující v generátorickém chodu. Pro VTE velkých výkonů se používají synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru.

VTE lze k síti připojovat opět několika způsoby: přímo nebo přes měnič kmitočtu nebo také přes tyristorový spouštěč. Tyto způsoby jsou uvedeny na následujících obrázcích.



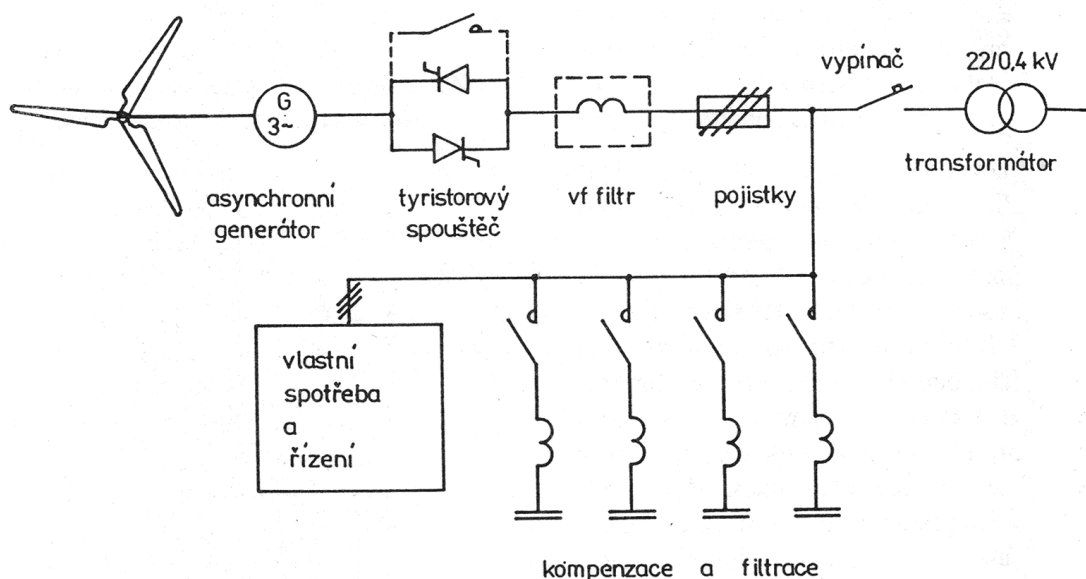
Obr. 4-8 Schéma připojení VTE přímo do sítě^[6]

Změnu otáček, potřebnou k využití maximálního výkonu větru při všech jeho rychlostech, umožní vložení elektronického měniče kmitočtu mezi svorky generátoru a síť.



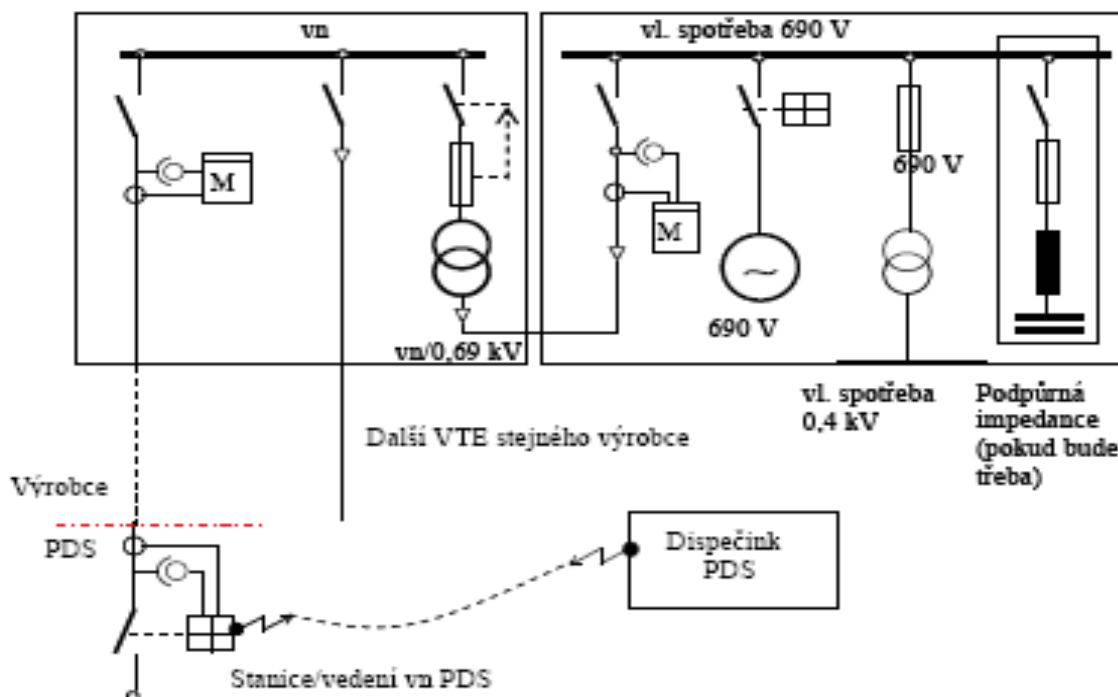
Obr. 4-9 Schéma připojení VTE přes měnič kmitočtu do sítě^[6]

VTE jsou též připojené na síť s generátory, které jsou doplňovány tyristorovým spouštěčem (omezuje proudový náraz), po ukončení rozběhu bývá tyristorový spouštěč přemostěn, pokud zůstává zapojen je využíván pro omezení proudových špiček způsobených vlivem výkyvů větru.



Obr. 4-10 Schéma připojení VTE přes tyristorový spouštěč do sítě^[6]

Další z obrázků naznačuje již reálný možný způsob připojení VTE do sítě s dálkovým ovládáním z dispečinku PDS.



Obr. 4-11 Schéma připojení VTE do vn^[6]

4.2 Vliv výroben na síť

Zpětné vlivy na DS se u vlastních výroben projevují především jako změny napětí a harmonické. Bezprostředně pozorovatelné účinky jsou např.:

- kolísání jasu žárovek a zářivek (flikr)
- ovlivnění zařízení dálkové signalizace a ovládání, zařízení výpočetní techniky, ochranných a měřicích zařízení, elektroakustických přístrojů a televizorů
- kývání momentu u strojů
- přidavné oteplení kondenzátorů, motorů, filtračních obvodů, hradicích tlumivek a transformátorů
- vadná činnost přijímačů HDO a elektronického řízení.

Zpětné vlivy na DS se mohou projevovat následujícím způsobem:

- zhoršením účinníku
- zvýšením přenosových ztrát
- ovlivněním zhášení zemních spojení.

4.2.1 Změny napětí

Změna jmenovitého napětí v DS vn po připojení výrobní elektrárny v přípojném bodě nesmí přesáhnout

$$\Delta u_{vn} \leq 2 \% \quad [V; \%] \quad (4.1)$$

kde Δu_{vn} je změna jmenovitého napětí.

Změna jmenovitého napětí v DS nn po připojení výrobní elektrárny v přípojném bodě nesmí přesáhnout

$$\Delta u_{nn} \leq 3 \% \quad [V; \%]. \quad (4.2)$$

Maximální přípustné změny napětí jsou závislé na četnosti jejich výskytu (křivka flikru). Měřítkem a kritériem pro posuzování je míra vjemu flikru P_{lt} . Ten se zjišťuje buď měřením skutečného zařízení ve společném napájecím bodu, nebo předběžnými výpočty. Flikr je závislý na zkratovém výkonu, úhlu zkratové impedance, jmenovitém výkonu generátoru, činiteli flikru zařízení a při podrobnějším vyšetřování i na jalovém výkonu zařízení, vyjádřeném fázovým úhlem.

Činitel flikru c zařízení charakterizuje spolu s fázovým úhlem i specifické schopnosti příslušného zařízení produkovat flikr. Obě hodnoty udává buď výrobce zařízení nebo nezávislý institut a mají význam především u větrných elektráren. Činitel flikru zařízení s generátorem může být stanoven měřením flikru za reálných provozních podmínek, ze kterých jsou vyloučeny spínací pochody. Je účelné takové měření provádět v síti s odporově-induktivní zkratovou impedancí, ve které vlastní výrobní nevyvolává větší změny napětí než 3 až 5 %, jak se to doporučuje pro měření zpětných vlivů. Činitel flikru c získáme z měření rušivého činitele flikru

P_{lt} s uvažováním výkonu generátoru S_{rG} a fázového úhlu generátorového proudu. Činitel flikru zařízení c je závislý především na stejnoměrnosti chodu daného zařízení, na kterou opět mají vliv další parametry:

- turbinami poháněné generátory (např. vodními, parními nebo plynovými) mají obecně hodnoty c menší než 20 a nejsou proto, pokud jde o flikr, kritické
- u pístových motorů má na hodnotu c vliv počet válců
- čím větší je rotující hmota, tím menší je činitel flikru
- u fotočládkových zařízení nejsou k dispozici naměřené hodnoty c , žádné kritické působení flikru se však neočekává.

Při posuzování flikru bývají kritické větrné elektrárny, protože podle zkušeností jsou jejich činitele flikru c až 40. Pro větrné elektrárny platí:

- čím je větší počet rotujících listů, tím menší je činitel flikru c
- u zařízení se střídači je tendence k nižším hodnotám c , než u zařízení s přímo připojenými asynchronními resp. synchronními generátory.

4.2.2 Harmonické

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

4.2.2.1 Výrobní v síti nn

Pokud je v zařízení se střídači použit šestipulzní usměrňovač s induktivním vyhlazováním bez zvláštních opatření ke snížení vyšších harmonických (jednoduché trojfázové můstkové zapojení), přípustné velikosti harmonických nebudou překročeny, pokud je splněna následující podmínka:

$$\frac{S_{rA}}{S_{kV}} < \frac{1}{120} \quad [VA, VA; -] \quad (4.3)$$

kde S_{rA} je součet jmenovitých výkonů těchto zařízení, S_{kV} je zkratový výkon.

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

$$I_n = I_v \frac{S_{kV}}{\sin \Psi_{kV}} \quad [A; A, VA, ^\circ] \quad (4.4)$$

kde I_n je přípustný proud

I_v je vztažný proud

S_{kV} je zkratový výkon DS

$$\sin \Psi_{KV} = \frac{X_k}{Z_k} \quad [^\circ; \Omega, \Omega] \quad (4.5)$$

kde X_k je reaktance sítě.

Z_k je impedance sítě, a pokud je předávací místo blízko transformátoru vn/nn je tento poměr roven přibližně jedné.

Tento výpočetní postup nemůže být použit, pokud je společný napájecí bod v síti vn (např. větrná elektrárna)^[6].

Tab. 4-1 Vztažné hodnoty vyšších harmonických proudů v systému nn^[6]

Řád harmonické	Vztažný proud [A/MVA]
5	3,0
7	2,5
11	1,5
13	1

4.2.2.2 Výrobní v síti vn

Zkratové výkony používané k výpočtu přípustných proudů harmonických v sítích vn mohou ležet v rozsahu 20 až 500 MVA. Je zapotřebí dávat pozor, aby se nepoužívala jmenovitá zkratová odolnost zařízení vn, ale skutečný zkratový výkon ve společném napájecím bodě. Očekávané proudy vyšších harmonických mohou být zjištěny např. v rámci měření slučitelnosti se sítí.

Napětí harmonických 5. řádu vyvolané vlastním zdrojem mohou být maximálně 0,2 % U_n a pro ostatní harmonické nesmějí být větší než 0,1 % U_n .

Přípustné vyšší harmonické proudy z jednoho zařízení mohou být určeny podle následujícího výrazu:

$$I_{\mu p\check{r}} = I_{\text{vad}} \frac{S_A}{S_V} = i_{\text{vad}} S_{KV} \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (4.6)$$

kde S_A je zdánlivý výkon jednoho zařízení [MVA]

S_{AV} je celkový připojený výkon [MVA]

$I_{\mu p\check{r}}$ je vztažný proud [A/MVA]

S_{KV} je zkratový výkon DS [MVA]

$I_{vp\check{r}}$ jsou dovolené hodnoty vyšších harmonických proudů [A]

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

Tab. 4-2 Vztažné hodnoty vyšších harmonických proudů v systému vn 22 kV^[6]

Řád harmonické	Vztažný proud [A/MVA]
5	0,058
7	0,041
11	0,026
13	0,019
17	0,011
19	0,09
23	0,006
25	0,005

Pokud jsou proudy harmonických zařízení nižší než přípustné proudy, pak je zajištěno, že jimi vyvolaná napětí harmonických v síti nejsou větší, než v předchozím uvedené hodnoty. To platí za předpokladu induktivní impedance sítě, která znamená, že u žádné z harmonických uvedených v předešlé tabulce nenastává rezonance.

Při překročení přípustných proudů je zapotřebí nejprve vypočítat vyvolaná napětí harmonických při uvažování skutečné impedance sítě. Protože mnoho sítí vn vykazuje již pro harmonické poměrně nízkých řádů kapacitní impedanci, jsou výše uvedené přípustné hodnoty napětí harmonických 0,1 % U_n dosaženy teprve při vyšších proudech, než vypočtených podle předešlé tabulky.

Pouze tehdy, když jsou vypočtená napětí harmonických vyšší než výše uvedené meze, přicházejí mj. v úvahu následující opatření:

- zabudování filtrů harmonických
- připojení v místě s nižší impedancí sítě (vyšším zkratovým výkonem).

Dále je zapotřebí doporučit a v jednotlivých případech přezkušovat, zda mají být použity u zařízení se střídači od cca 100 kVA (jmenovitý výkon) dvanáctipulzní a u zařízení nad 2 MVA (jmenovitý výkon) dvacetitřipulzní usměrňovače. Tím se snižují proudy harmonických a návazně i náklady na kompenzační zařízení. Údaje o proudech harmonických má dodávat výrobce zařízení.

U zařízení se střídači s modulací šířky pulsu ve frekvenčním rozsahu nad 1 kHz je zapotřebí předložit protokoly o analýze maximálních proudů harmonických při různých výkonech.

Harmonické vyšších frekvencí, tzn. v rozsahu nad 1 250 Hz, mohou vystupovat za určitých okolností, např. při slabě tlumených rezonancích částí sítě, vyvolaných při komutacích. V těchto případech musí být přijata zvláštní opatření^[6].

4.2.3 Zpětné vlivy na zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencí mezi cca 180 až 1050 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je zapotřebí zjistit u PDS. Vysílací úroveň je obvykle mezi 1 % až 4 % U_n . Zařízení HDO jsou dimenzována na zatížení, které odpovídá 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem.

Výrobní ovlivňují HDO přidavným zatížením vysílačů HDO:

- vlastním zařízením výroby
- příp. zvýšeným zatížením části sítě, do které pracuje výroba.

Tento vliv může způsobit nepřijatelné změny hladiny signálu HDO ve společném napájecím bodu, kterým je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, která musí být odsouhlasena mezi provozovatelem výroby a PDS. Přitom je zapotřebí vycházet z toho, že hladina signálu HDO v žádném bodu sítě nesmí klesnout o více než 10 až 20 % pod požadovanou hladinu (v závislosti na podmínkách, jako jsou frekvence HDO, druh sítě, druhy přijímačů apod.), přičemž je zapotřebí uvažovat odpovídající impedance odběrů i výroben.

U poklesů hladiny signálu HDO výrobny je zapotřebí uvažovat následující hlediska:

- Zdroje připojené statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondenzátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výroby.
- Zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě.

V některých případech může být nutná instalace zádrže pro tónovou frekvenci.

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí. Obecně platí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit $0.1 \% U_n$
- napětí produkováná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit $0.3 \% U_n$

Výše uvedené hodnoty $0.1 \% U_n$ resp. $0.3 \% U_n$ vycházejí z předpokladu, že v síti nn nejsou připojeny více než dvě vlastní výroby. Jinak jsou zapotřebí zvláštní výpočty.

Pokud vlastní výroba nepřijatelně ovlivňuje provoz zařízení HDO, je zapotřebí, aby její provozovatel učinil opatření potřebná k odstranění ovlivnění, a to i když ovlivnění je zjištěno v pozdějším čase.

Sací obvody pro snížení harmonických nebo kompenzační kondenzátory vyvolávají často snížení hladin signálů HDO pod dovolenou mez. V těchto případech může pomoci vhodné provedení sacích obvodů nebo - u vyšších frekvencí HDO - zahrazení kondenzátorů. Případně musí být použity hradící členy pro tónovou frekvenci.

Generátory a motory zatěžují napětí tónové frekvence subtransientní reaktancí a mohou tak rovněž vyvolat nepřijatelné snížení hladiny signálu. I zde jsou podle okolností potřebné hradící členy nebo podpurné vysílače HDO. Z těchto důvodů může PDS požadovat i dodatečně u kompenzačního zařízení zahrazení kondenzátorů nebo jiné technické opatření, která musí provozovatel vlastní výroby zabudovat^[6].

4.3 Vliv VTE na síť

A opět nechávám samostatnou kapitolu specifickým vlivům VTE na DS.

Vzhledem k tomu, že výkon u VTE roste se třetí mocninou rychlosti větru, největší problémy souvisí z vyvedením výkonu VTE, protože je obtížné zajistit konstantní dodávku do místa spotřeby. Tento stav ovlivňují dvě limity:

- při rychlosti větru kolem 3 m.s^{-1} nejsou VTE schopny vyrábět el. energii
- při rychlosti nad 20 m.s^{-1} jsou VTE odpojovány od sítě.

VTE ovlivňují provoz soustavy dvěma základními vlivy:

- lokální
- systémové^[1].

4.3.1 Lokální vlivy

Mezi lokální vlivy patří přetěžování sítí, což je prvním kritériem pro vyvedení výkonu z VTE do sítě dostatečně dimenzované.

Dalšími podstatnými vlivy jsou:

- kolísání napětí
- zvýšení zkratových poměrů, VTE se chová jako jakákoliv jiná elektrárna vyvedená do jednoho bodu sítě, takže je potřeba počítat se změnou zkratových poměrů
- kvalita dodávky, výkonová elektronika ve VTE může být rušivým zdrojem, v síti je nutno sledovat vyšší harmonické, dlouhodobý flicker a případné rušení HDO^[1].

4.3.2 Systémové vlivy

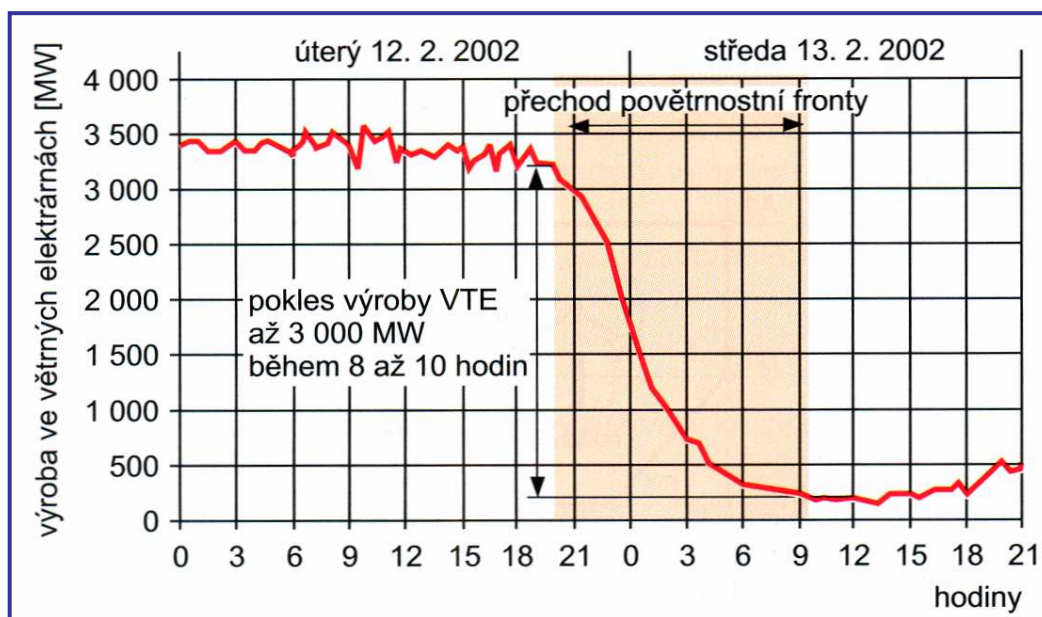
Prvním ze systémových vlivů je začlenění VTE do pokrývání diagramu zatížení. Dodávka z VTE je nestabilní a závislá na povětrnostních podmínkách a při vyšším počtu VTE v síti se zvyšuje požadavek na velikost regulačního výkonu.

Dalším systémovým vlivem je chování VTE v blízkých zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách. Hrozí tu nebezpečí plošných výpadků VTE připojených do přenosové soustavy.

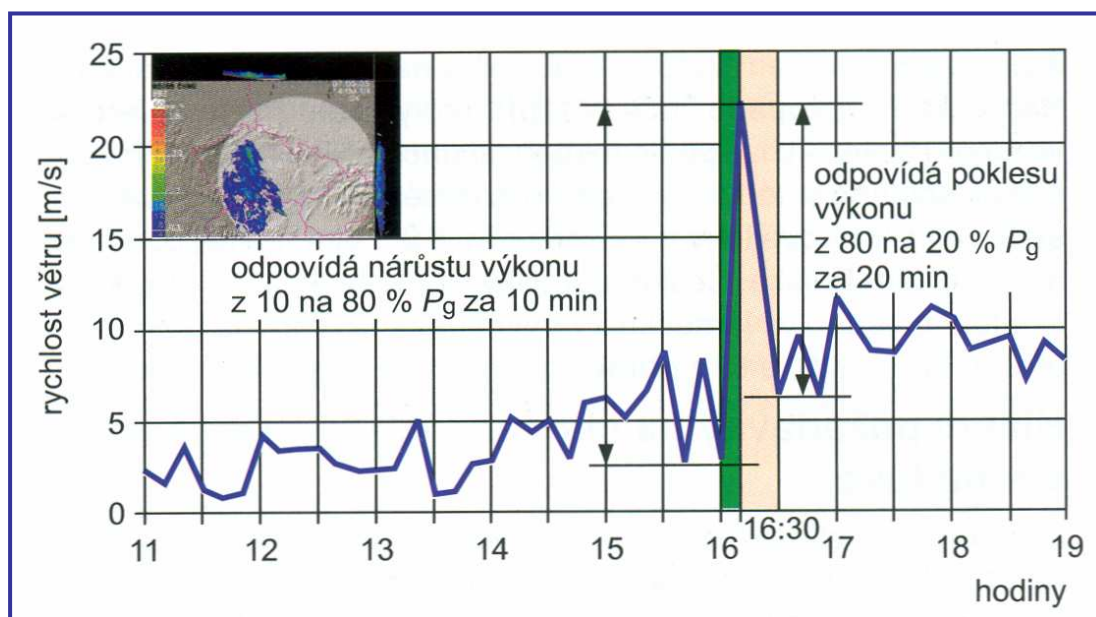
Dalším systémovým vlivem je dopad na stabilitu elektrizační soustavy, protože větrné parky mohou mít výrazný dopad na stabilitu chodu sítě v případě poruch a nárazových větrů.

Mezi systémové vlivy patří i snížení přenosové schopnosti na mezistátních profilech např. vliv větrných parků ze zahraničí, protože systémové vlivy se projevují při větším výskytu VTE v elektrizační soustavě.

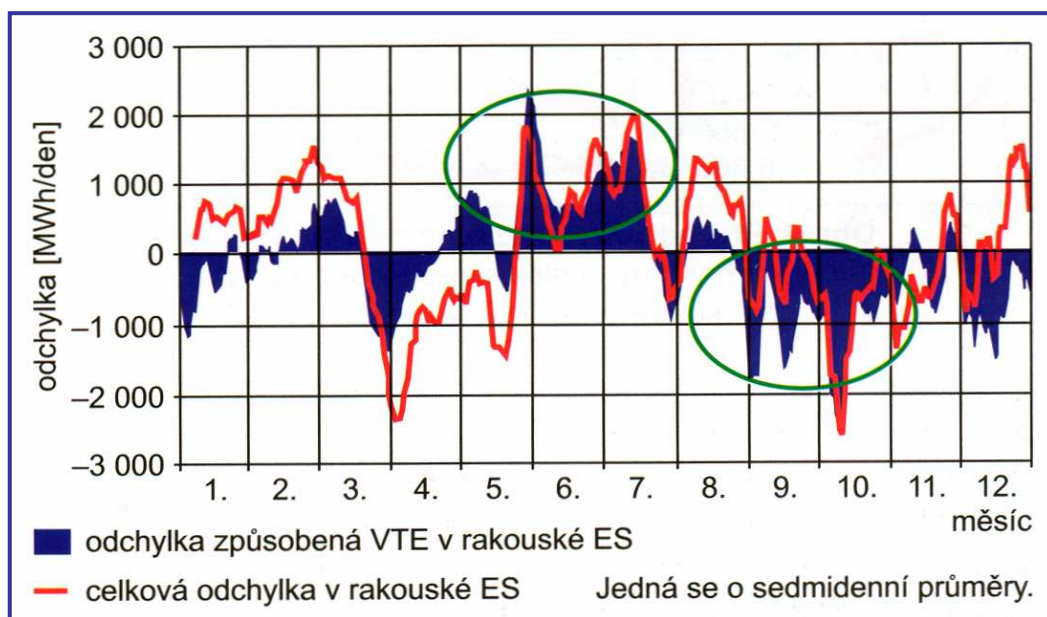
Náhlé změny výroby VTE, tedy při prudké změně počasí může dojít k výrazné změně výroby ve VTE. Změna může být vyvolána jak poklesem tak nárůstem rychlosti větru a snížení výroby ve VTE je většinou plošné, což dokazuje následující obrázek.

Obr. 4-12 Vliv počasí na výrobu z VTE^[1]

V současné době změny výroby jsou patrné hlavně v Německu, ale tyto změny mají vliv i na naši ES v ČR, vzhledem k tomu, že počet instalací VTE není velký, je zatím tento vliv minimální, což je vidět na dalším obrázku přechodu bouřkové fronty.

Obr. 4-13 Vliv přechodu bouřkové fronty výrobu z VTE^[1]

Dalším vlivem je kolísání výroby VTE na regulační odchylku. V rámci mezinárodní spolupráce je třeba dodržovat regulační odchylku. Začlenění VTE do diagramu pokrývání zatížení je s ohledem na nestálost dodávky obtížný úkol, protože větší počet VTE v ES zhoršuje regulační odchylku, což dokazuje následující obrázek regulační odchylky elektrizační soustavy Rakouska.



Obr. 4-14 Vliv VTE na regulační odchylku v Rakousku^[1]

Neposledním vliv je zvýšení výroby VTE na mezistátní přenos elektřiny. Při podmínkách umožňující chod VTE na nominálních hodnotách dochází k velkému zvýšení výroby větrných farem a tím jsou zvýšeny požadavky na přenos výkonu z oblasti VTE do oblastí spotřeby, tedy je nutné posilovat přenosové sítě, a to v přímé vazbě na velikost výroby ve VTE^[1].

4.3.3 Systémové požadavky na chování VTE

Systémové požadavky jsou dány tzv. kodexem sítí jako základní pravidla pro provoz sítí a v současné době jsou kodexy rozšiřovány o požadavky na provoz větrných elektráren v elektrizační soustavě. Tyto požadavky jsou:

- požadavky na chování VTE při zkratech
- požadavky chování VTE při změnách frekvence
- požadavky na chování VTE při regulaci účinníku.

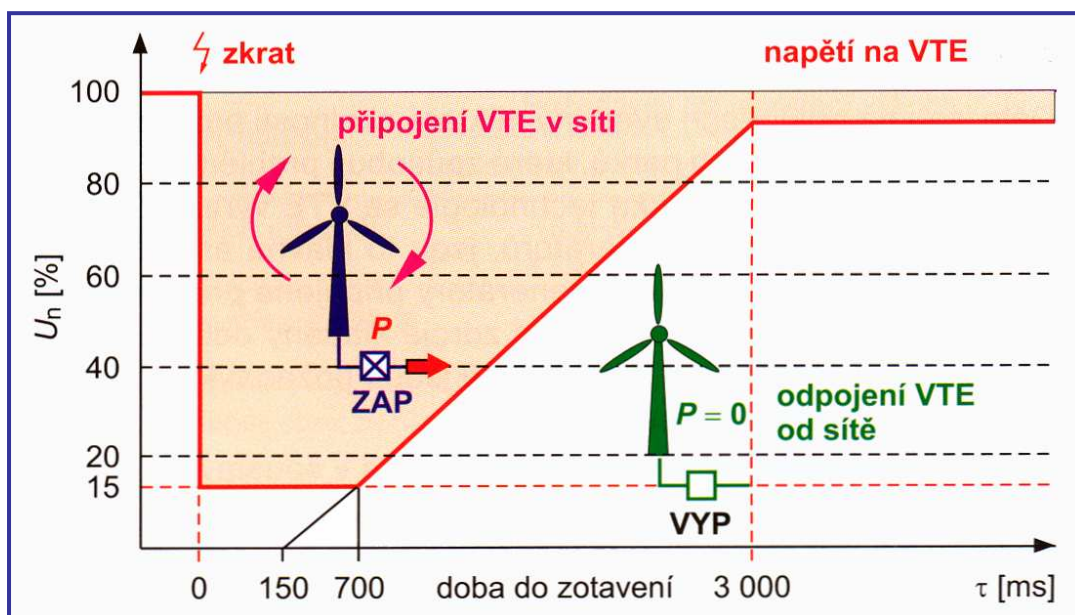
4.3.3.1 Požadavky na chování VTE při zkratech

Při připojování VTE do sítí vn je požadavek na jejich co nejrychlejší odpojení v případě zkratu. Cílem je omezit zkratové poměry a tím zabránit poškození zařízení.

Okamžité odpojování však není vhodné v případech vyššího zastoupení VTE v síti 110 kV a v přenosové síti z důvodu velkého odpadlého výkonu.

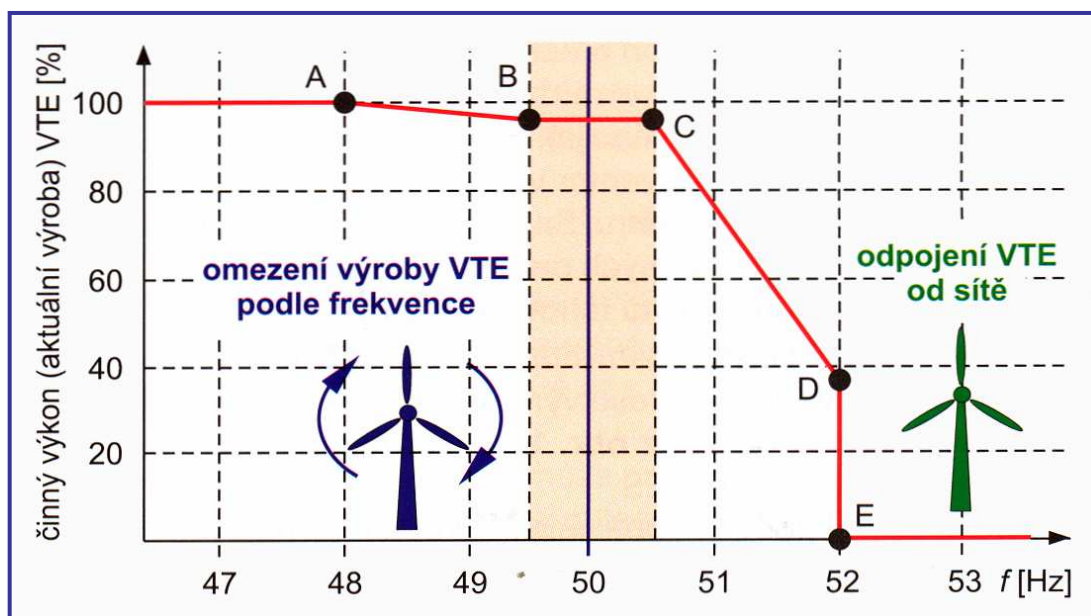
Na VTE připojované do přenosové sítě je kladen požadavek odolnosti proti odpojení při vzdálených zkratech.

Dále při poklesu napětí v místě VTE po zkratu poklesne do 15% U_n a po cca 0,7 s se začne zotavovat, nesmí být další VTE odpojeny. Tento požadavek je vidět na následujícím obrázku.

Obr. 4-15 Požadavek na odpojení či neodpojení VTE při zkratu^[1]

4.3.3.2 Požadavky na chování VTE při změnách frekvence v síti

Z hlediska změny frekvence je důležité, aby i při kolísající frekvenci zůstaly VTE připojeny do soustavy a pomáhaly vyrovnávat bilanci výkonů. Dále při rozsahu frekvence 49,5 až 50,5 se nepředpokládá změna výroby ve VTE. A při frekvencích vyšších než 52 Hz se požaduje odpojení VTE. Dále při frekvenci nižší než 49,5 Hz je požadavek na zachování zapojení VTE do sítě, pokud možno zvýšené výroby^[1].

Obr. 4-16 Požadavek na odpojení či neodpojení VTE při změně frekvence^[1]

4.3.4 Mezinárodní doporučení pro integraci VTE

Tyto doporučení lze shrnout do několika bodů:

-
- urychlení autorizačních procesů pro výstavbu nových síťových prvků v souvislosti s rozšiřováním obnovitelných zdrojů
 - zabezpečení aktivních příspěvků výkonu VTE pro udržení stability provozu
 - stanovení pravidel pro současné využívání klasických a obnovitelných zdrojů v ES
 - zabezpečení dostatečné výkonové bilance a rezerv zdrojů v ES s vysokým využitím VTE
 - analýza budoucích scénářů rozvoje VTE v Evropě a jejich vlivů
 - podpora výzkumu a rozvoje nových technologií pro integraci VTE
 - dosažení vyšší spolehlivosti provozu ES s využitím řízení kapacit VTE^[1].

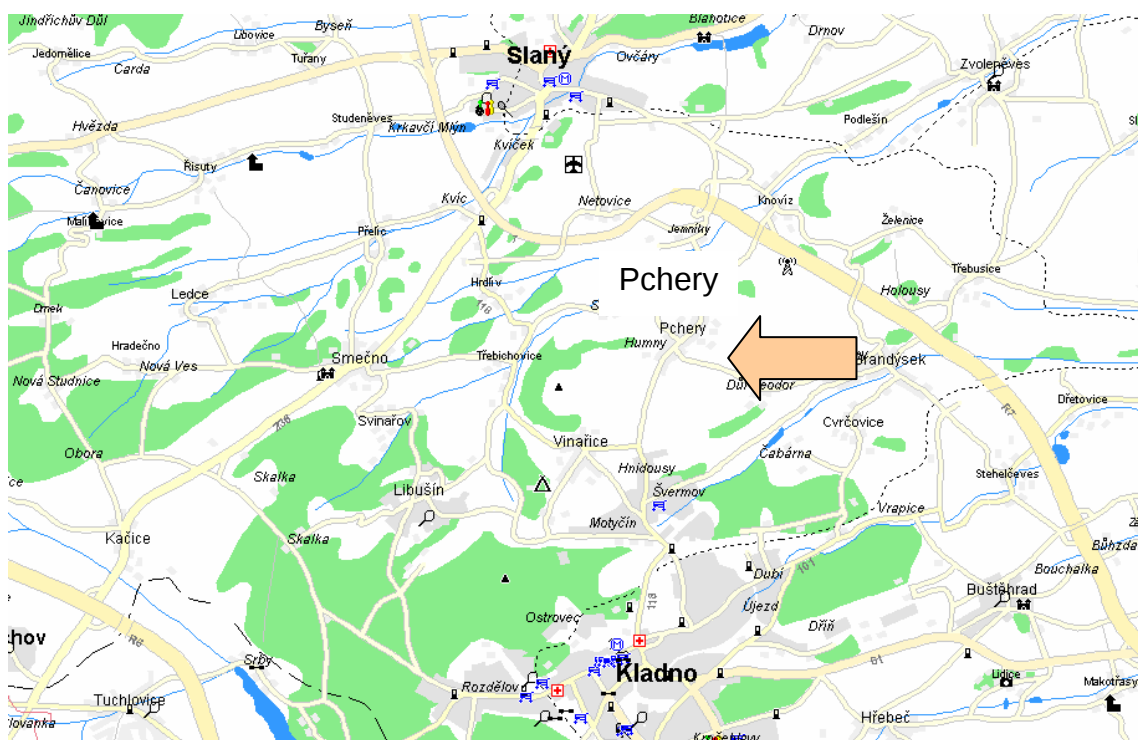
5 OVĚŘENÍ VLIVU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ

V této části práce jsem se zabýval vlivem nově vybudované VTE Pchery na síť a to pomocí výpočtů chodu sítě a měřením veličin v předávacím místě.

5.1 Parametry VTE Pchery

5.1.1 Umístění VTE

Elektrárna se nachází v katastru obce Pchery nedaleko měst Kladno a Slaný, severozápadně od Prahy ve Středočeském kraji, což nejlépe vystihuje následující snímek mapy, kde šipka ukazuje na přesnější umístění VTE.



Obr. 5-1 Umístění VTE v lokalitě

5.1.2 Technická data VTE Pchery

Projekt větrné elektrárny Pchery je se svými 3 MW jednotkového instalovaného výkonu největší doposud instalovanou větrnou elektrárnou v České republice a přesněji jsou zde vybudovány dvě stejné elektrárny, tedy 2x3 MW.

Jak uvádí majitel VTE, lokalita Pchery splňuje podmínky potřebné pro úspěšnou realizaci projektu větrné elektrárny. Tato lokalita jednak vykazuje dobré výsledky z hlediska větrných podmínek. Dále, v této lokalitě neexistují žádné environmentální překážky pro stavbu a provoz. Velmi důležitý byl a je pozitivní postoj obce k projektu. Podstatným faktorem pro výběr lokality bylo také bezproblémové vyvedení výkonu z větrné elektrárny do distribuční sítě.

Pro pohon turbín jsou použity rotory s průměrem 100 m, které nabízí finská firma WinWinD. Turbíny s rotorem D100 jsou vhodné zejména pro projekty ve vnitrozemí s nižší průměrnou rychlostí větru. Použita je zde tzv. regulace PITCH, tedy optimalizace výkonu pomocí natáčení listů rotoru a on-line komunikace se servisním střediskem. Tento systém sledování je kompatibilní se systémy SCADA.

Následující tabulky shrnují základní technická data elektrárny.

Tab. 5-1 Základní technická data VTE mechanické součásti^[8,9,11]

Mechanické součásti	
Technologie	WinWinD-WWD-3
Klasifikace stroje	IEC 3A
Věž - kónická trubková	ocel
Průměr věže min.	3 m
Průměr věže max.	4,5 m
Výška věže	88 m
Průměr rotoru	100 m
Plocha rotoru	7854 m ²
Jmenovitý výkon	3 MW
Počet lopatek	3
Zapínací rychlost větru	3 m.s ⁻¹
Vypínací rychlost větru	20 m.s ⁻¹
Směr otáčení	doprava

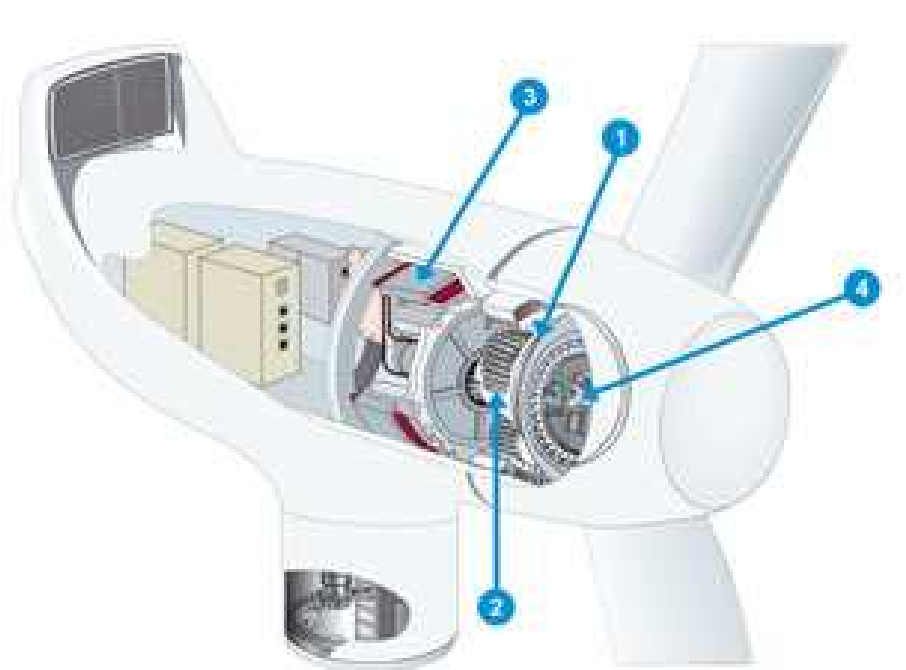
Tab. 5-2 Základní technická data VTE elektrické součásti^[8,9]

Elektrické součásti	
Generátor	synchrónní motor
Počet pólů	14
Pólové kolo	trvalé buzení
Chlazení	vodním pláštěm kolem statoru vzduchové s tepelným výměníkem (vzduch/voda)
Omezovač točivého momentu	kluzná spojka 1,6x jmenovitý točivý moment
Jmenovité otáčky	420 ot./min
Jmenovité napětí	660 V
Jmenovitá frekvence	49,2 Hz
Frekvenční měnič	můstky IGBT na straně generátoru i sítě
Filtr na straně generátoru	filtru dU/dt a filtr součtového napětí
Filtr na straně sítě	filtr LCL
Transformátor	3x 1,1 MVA v gondole
Rozsah účinníku	± 0,95 ÷ 1 na straně vn
Činitel flikru	2,3-2,9

5.1.3 Popis technologie VTE Pchery

Instalované elektrárny využívají technologii finského výrobce Winwind Oy, která je založena na patentovaném systému Multibrid® a ten je popsán v následující části včetně názorného obrázku.

Náboj rotoru je připojen k rámu převodovky za použití volně uloženého ložiska (1 viz obrázek). Ložisko přenáší zatížení rotoru přímo na rám (těleso) a udržuje celý pohon v chodu bez deformací a bez zatížení od rotoru. Planetová převodovka (2) zvyšuje mírně rychlost otáček a přenáší kroutící moment na nízko-otáčkový generátor s permanentními magnety (3). Všechny spojovací příruby jsou kruhové a souosé. Tento systém konstrukčně usnadňuje montáž a přesně definované rozložení zatížení. Frekvenční měnič přenáší plný výkon generátoru. Výsledkem je možnost využití nízkých rychlostí větru s optimální nízkou rychlostí otáček bez potřeby sběrných kroužků, tak jako při použití řešení s dvojitě napájeným generátorem. Rychlost otáčení rotoru je řízena třemi nezávislými pohony úhlu sklonu listů (4).



Obr. 5-2 Technologie VTE Multibrid®^[8]

Výroba elektřiny je řízená 2-cestným IGBT střídavým měničem, který dodává přes transformátor napětí potřebné k připojení do rozvodné sítě. Pokud je rychlost větru větší než jmenovitá, turbína produkuje konstantní výkon. Kolísání výkonu je nízké i v případě částečného výkonu VTE.

Pro optimální výrobu energie je elektrárna vybavena automatickým řídicím systémem, který kontroluje generátor a síť a optimalizuje výrobu energie dle převládajících větrných podmínek. S pomocí systému dálkové kontroly je možno ovládat turbínu větrné elektrárny a přijímat využitelné informace přes internet.

Technologie byla navržena pro extrémní podmínky a umožňuje provoz v těch nejnáročnějších podmínkách.

Dodavatelem planetové převodovky je firma Moventas Wind Oy. Generátor je vyroben firmou ABB - jedním z předních světových výrobců generátorů.

Generálním dodavatelem stavby VTE Pchery je firma ČKD Blansko Wind, a. s.

Projekt zastřešuje skupina J&T s celkovou investicí 190 milionů korun^[8].

Určitě je vhodné zde zobrazit i některé pohledy na VTE přímo v místě stavby včetně některých detailů části VTE.



Obr. 5-3 Pohled na obě VTE^[8]



Obr. 5-4 Pohled na detail gondoly a hlavy rotoru VTE^[9]



Obr. 5-5 Pohled na detail hlavy rotoru VTE před montáží^[10]

O velikosti rotoru větrných elektráren svědčí snímek z montáže a porovnání velikosti postav s rotorem, připraveným k montáži na osu generátoru.

5.2 Provozní stav DS

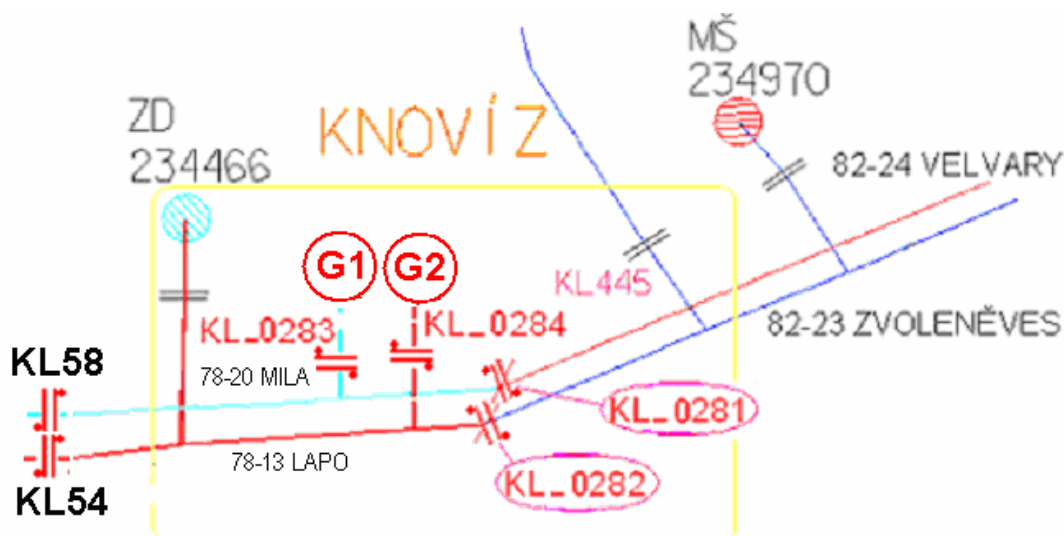
Ve středočeském kraji je provozovatelem distribuční soustavy již zmiňovaná společnost ČEZ Distribuce, a. s. a v této kapitole nastíním přesný provozní stav DS od transformovny až k předávacímu místu větrných elektráren.

5.2.1 Provozní schéma DS

Elektrárny mají vyvedený výkon do DS vn respektive 22 kV. VTE byly připojeny k DS na základě provozní instrukce č. 30-988-017-08 vydané PDS dne 11.3.2008. Celé znění provozní instrukce je v příloze B této práce.

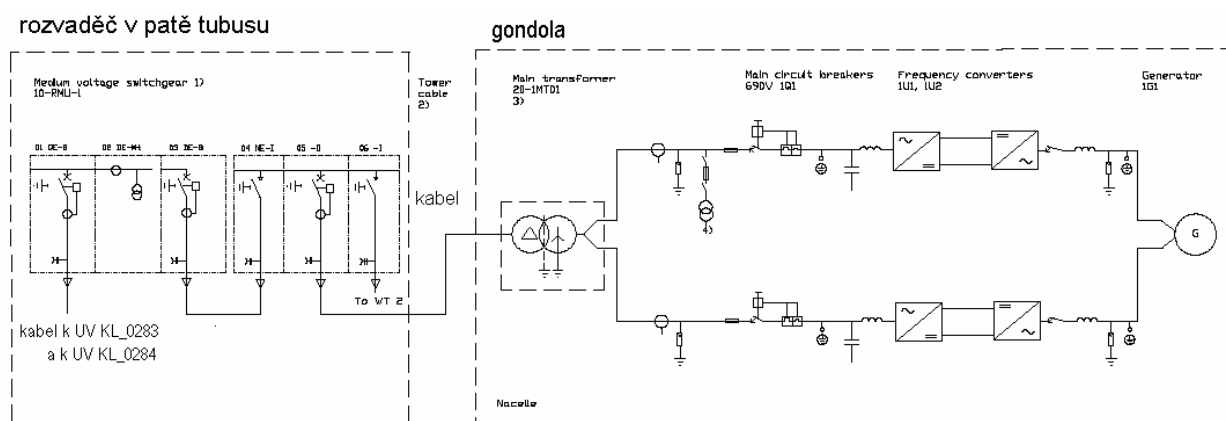
Každá z elektráren je připojena do jiného vedení vn. VTE označena jako VTE1(G1) je připojena kabelovým vývodem přes dálkově ovládaný odpínač č. KL0283 do vedení pod názvem MILA č. 78-20 a druhá elektrárna VTE2(G2) je připojena přes dálkově ovládaný odpínač č. KL0284 do vedení LAPO č. 78-13. Tyto hlavní vedení procházejí od transformovny v souběhu jako dvojvedení až za místo vyvedení výkonu VTE, kde jsou obě hlavní vedení provozně odepnuta dálkově ovládanými úsekovými odpínači KL0281(MILA) a KL0282(LAPO). Za odepnutými odpínači hlavní vedení pokračují až do další transformovny Kralupy, ale vzhledem k tomu, že za normálního provozního stavu do této rozvodny nejsou VTE připojeny, není součástí práce výpočet této části vedení. Napájecí transformovnou 110/22 kV je transformovna Tuchlovice a je asi 15 km vzdálená od Pcher.

Na následujícím obrázku je vidět výřez provozní mapy místa vyvedení výkonu obou VTE.



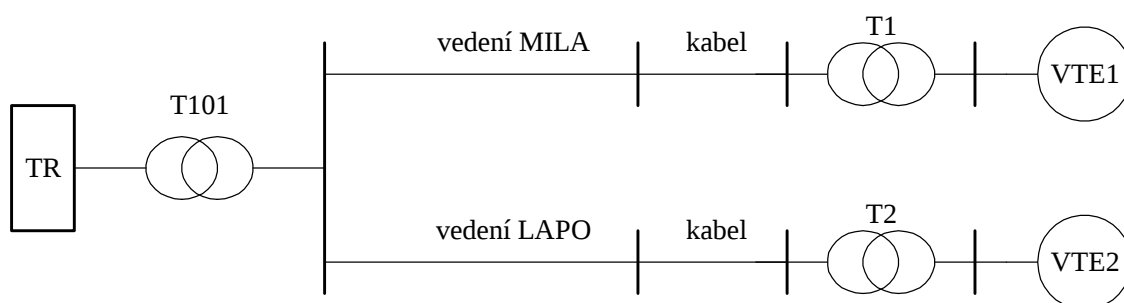
Obr. 5-6 Výřez provozní mapy místa vyvedení výkonu obou VTE^[11]

Další obrázek je jednopólové schéma VTE Pchery a ukazuje jakým způsobem je vyveden výkon z generátoru až ke kabelovému vývodu směrem do hlavního vedení.



Obr. 5-7 Jednopólové schéma VTE Pchery^[11]

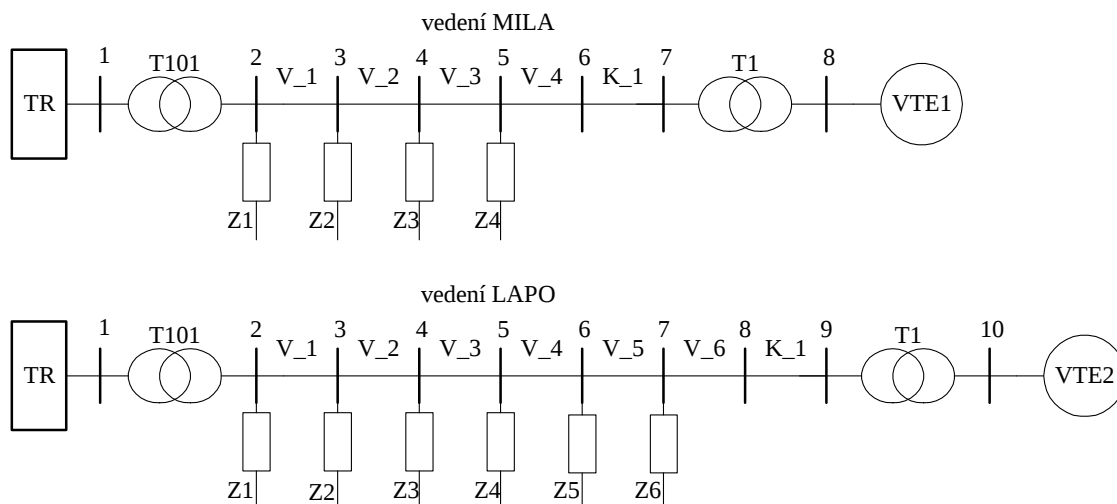
Nyní je nutné zde zobrazit i zjednodušené provozní schéma samotné DS bez dalších odboček s připojeními VTE.



Obr. 5-8 Zjednodušené provozní schéma DS^[12]

5.2.2 Parametry prvků DS

Pro pozdější výpočet je nutné DS uvažovat s jednotlivými uzly sítě a tedy i s jednotlivými částmi vedení. Následující obrázek popisuje vyznačení částí DS, kde transformovna je značena jako TR, transformátor je značen písmenem T a číslem transformátoru, vedení mezi uzly písmenem V s číslem úseku vedení, kabelová část vedení je značena písmenem K s číslem, uzly samotné číslem, včetně značení odboček s odběry, písmenem Z s číslem odběru a připojené VTE.



Obr. 5-9 Podrobné provozní schéma DS^[12]

V následujících částech jsou uvedeny parametry prvků DS které byly dodány PDS. Pro upřesnění, předávací místo pro VTE1 je uzel č.6 a pro VTE2 č.8.

5.2.2.1 Napájecí soustava

Tab. 5-3 Parametry napájecí soustavy^[12]

Název	Un [kV]	Uprv [kV]	Izkr [kA]	Szkr [MVA]	Zo/Z1	R/X
TR	110	110	13	2476,8	1	0
Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	uk [%]	Zo/Z1 [-]
T101	110	22	40	220	11	1

Vysvětlivky:

U_{prv} [kV]	provozní napětí napájecí soustavy
U_n [kV]	jmenovité napětí napájecí soustavy
Szkr [MVA]	zkratový výkon
Izkr [kA]	zkratový proud
R/X	poměr činné a jalové složky vnitřní impedance napájecího uzlu
R_0/R_1	poměr netočivé a sousledné složky rezistance
X_0/X_1	poměr netočivé a sousledné složky reaktance
$Z_0/Z1$	poměr netočivé a sousledné impedance
U1 [kV]	primární napětí
U2 [kV]	sekundární napětí
St [MVA]	jmenovitý výkon
Pk [kW]	ztráty nakrátko
uk [%]	napětí nakrátko

5.2.2.2 Vedení MILA

Tab. 5-4 Parametry vedení MILA^[12]

Vedení	Druh	Typ	R/km [Ω/km]	X/km [Ω/km]	B/km [μS/km]	Délka [km]	I _{max} [A]	R ₀ /R ₁ [-]	X ₀ /X ₁ [-]
V_1	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	10	318	1	1
V_2	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	2,3	318	1	1
V_3	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	1,9	318	1	1
V_4	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	1,6	318	1	1
K_1	kabel	70AXEKC	0,443	0,182	63	1,6	263	1	1

Vysvětlivky:

R/km [Ω/km]	podélný odpor vedení na 1 km
X/km [Ω/km]	podélná reaktance vedení na 1 km
B/km [μS/km]	příčná susceptance na 1 km
I _{max} [A]	maximální zatěžovací proud
Délka [km]	délka vedení

Tab. 5-5 Parametry transformátoru a generátoru VTE1^[12]

Transformátor	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	uk [%]	Z ₀ /Z ₁ [-]
T1	22	0,69	3,3	25	6	1
Generátor	U [kV]	S [kVA]	cos φ			
VTE	0,69	3100	0,98			

Vysvětlivky:

U [kV]	sdružené napětí
S [kVA]	provozní výkon
cos φ	provozní účinník

Tab. 5-6 Parametry zátěží na vedení MILA^[12]

Zátěž	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Z1	22	393,65	0,95	14250	4683,75	15000
Z2	22	7,87	0,95	285	93,67	300
Z3	22	15,75	0,95	570	187,35	600
Z4	22	2,62	0,95	95	31,22	100

Vysvětlivky:

I [A]	proud
P [kW]	činný výkon
Q [kVAr]	jalový výkon
Z_1	zátěž přímo v transformovně ze společné přípojnice, ostatní jsou odběry z odboček vedení

5.2.2.3 Vedení LAPO

Tab. 5-7 Parametry vedení LAPO^[12]

Vedení	Druh	Typ	R/km [Ω/km]	X/km [Ω/km]	B/km [μS/km]	Délka [km]	I _{max} [A]	Ro/R1 [-]	Xo/X1 [-]
V_1	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	2,9	318	1	1
V_2	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	4,8	318	1	1
V_3	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	2,3	318	1	1
V_4	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	2,3	318	1	1
V_5	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	1,9	318	1	1
V_6	venk.	110/22AlFe	0,259	0,368	1,46	1,6	318	1	1
K_2	kabel	70AXEKCY	0,443	0,182	63	1	263	1	1

Tab. 5-8 Parametry transformátoru a generátoru VTE2^[12]

Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	uk [%]	Zo/Z1 [-]
T1	22	0,69	3,3	25	6	1
Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ			
VTE 2	22	3100	0,98			

Tab. 5-9 Parametry odběrů na zátěží LAPO^[12]

Zátěže	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Qk [kVAr]
Z1	22	393,65	0,95	14250	4683,75	15000	0
Z2	22	10,5	0,95	380	124,9	400	0
Z3	22	7,87	0,95	285	93,67	300	0
Z4	22	7,87	0,95	285	93,67	300	0
Z5	22	10,5	0,95	380	124,9	400	0
Z6	22	26,24	0,95	950	312,25	1000	0

5.3 Výpočet chodu sítě

Výpočet chodu sítě byl proveden pomocí programu E-Vlivy firmy EnerGoConsult ČB, s.r.o.. Tento program slouží pro výpočet a simulaci zpětných vlivů odběratelů a zdrojů v distribučních sítích. Výpočetní metody vycházejí z norem ČSN IEC 1000-2-2, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 50160 a souboru norem PNE 33 3430.

Výpočet chodu sítě je založen na metodě uzlových napětí a principu superpozice. Ze vstupních dat parametrů prvků sítě pro základní harmonickou program nejprve sestavuje jednopólový matematický model sítě. Síť je podle metody uzlových napětí popsána soustavou lineárních rovnic s komplexními koeficienty. K jejímu řešení je v programu použita Gaussova eliminační metoda^[13]. Výsledky výpočtu chodu sítě jsou uvedeny v následujících kapitolách.

5.3.1 Chod sítě bez připojené VTE

5.3.1.1 Napětí v uzlech sítě

Tab. 5-10 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,69	-0,413	-4,264	5,971	90,000	2229,079
2	23,594	-2,729	-7,245	1,592	87,712	334,400
3	23,429	-3,061	-6,495	5,901	63,240	90,229
4	23,403	-3,116	-6,377	6,926	61,982	76,865
5	23,401	-3,125	-6,369	7,776	61,192	68,468
6	23,403	-3,127	-6,376	8,492	60,650	62,692
7	23,403	-3,130	-6,377	9,107	57,657	58,464
8	0,734	-3,130	-6,377	0,017	69,983	30,459

Vysvětlivky:

ΔU [%] změna napětí vztahovaná k provozované úrovni napětí

Zk [Ω] zkratové impedance

Sk [MVA] zkratový výkon

Tab. 5-11 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,658	-0,447	-4,235	5,971	90,000	2229,101
2	23,550	-2,957	-7,047	1,592	87,713	334,420
3	23,431	-3,176	-6,505	2,779	72,948	191,567
4	23,268	-3,481	-5,763	4,878	65,029	109,143
5	23,202	-3,607	-5,462	5,899	63,246	90,247
6	23,147	-3,711	-5,215	6,925	61,989	76,883
7	23,116	-3,773	-5,071	7,774	61,201	68,485
8	23,117	-3,775	-5,075	8,490	60,659	62,710
9	23,117	-3,776	-5,076	8,871	58,739	60,016
10	0,725	-3,776	-5,076	0,013	64,237	40,495

5.3.1.2 Proudý a výkony ve větvích

Tab. 5-12 Proudý a výkony ve větvích vedení MILA^[13]

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ω]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
TR	1	94,003	159,256	5,428	90,000	-17510,302	-6487,943	18673,620
T101	1	94,003	159,256	1,273	87,264	-17510,297	-6487,911	18673,604
T101	2	449,580	159,256	1,273	87,264	17471,779	5681,758	18372,409
V_1	2	27,448	162,031	4,496	54,831	-1082,254	-294,859	1121,702
V_1	3	27,501	161,632	4,496	54,831	1076,389	294,610	1115,979
V_2	3	19,133	162,896	1,034	54,830	-753,200	-188,386	776,402
V_2	4	19,144	162,764	1,034	54,830	752,546	189,300	775,989
V_3	4	2,710	-171,189	0,854	54,830	-107,488	22,704	109,860
V_3	5	2,703	-171,967	0,854	54,830	107,477	-21,199	109,548

V_4	5	1,394	-93,122	0,719	54,830	0,003	56,495	56,495
V_4	6	1,362	-93,122	0,719	54,830	-0,005	-55,218	55,218
K_1	6	1,362	-93,130	0,766	22,359	-0,002	55,209	55,209
K_1	7	0,000	176,493	0,766	22,359	0,001	0,000	0,001
T1	7	0,000	90,000	0,009	82,746	0,000	0,000	0,000
T1	8	0,000	90,000	0,009	82,746	0,000	0,000	0,000
Z1	2	422,166	-20,924	32,267	18,195	16389,525	5386,921	17252,115
Z2	3	8,385	-21,261	1613,291	18,199	323,222	106,266	340,243
Z3	4	16,750	-21,306	806,688	18,190	645,013	211,949	678,943
Z4	5	2,791	-21,306	4840,377	18,181	107,487	35,301	113,136

Tab. 5-13 Proudý a výkony ve větvích vedení LAPO^[13]

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ω]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
TR	1	101,925	158,889	5,428	90,000	-18939,412	-7142,969	20241,624
T101	1	101,925	158,889	1,273	87,264	-18939,411	-7143,010	20241,637
T101	2	487,466	158,889	1,273	87,264	18894,124	6195,263	19883,894
V_1	2	66,079	159,149	1,304	54,830	-2565,009	-828,209	2695,404
V_1	3	66,097	159,101	1,304	54,830	2555,167	816,579	2682,477
V_2	3	54,918	159,197	2,158	54,830	-2124,126	-674,908	2228,769
V_2	4	54,946	159,103	2,158	54,830	2112,872	662,759	2214,380
V_3	4	46,620	159,244	1,034	54,830	-1794,069	-557,934	1878,822
V_3	5	46,633	159,191	1,034	54,830	1790,184	554,234	1874,015
V_4	5	38,331	159,407	1,034	54,830	-1473,186	-450,004	1540,384
V_4	6	38,344	159,343	1,034	54,830	1470,560	448,081	1537,310
V_5	6	27,304	159,847	0,854	54,830	-1049,906	-309,834	1094,669
V_5	7	27,314	159,773	0,854	54,830	1048,805	309,757	1093,591
V_6	7	0,873	-93,748	0,719	54,830	0,015	34,935	34,935
V_6	8	0,841	-93,747	0,719	54,830	-0,016	-33,687	33,687
K_1	8	0,841	-93,788	0,479	22,358	-0,008	33,658	33,658
K_1	9	0,000	127,009	0,479	22,358	0,007	0,008	0,011
T1	9	0,000	90,000	0,004	75,373	0,000	0,000	0,000
T1	10	0,000	90,000	0,004	75,373	0,000	0,000	0,000
Z1	2	421,387	-21,151	32,267	18,195	16329,120	5367,067	17188,530
Z2	3	11,180	-21,371	1210,000	18,195	431,047	141,678	453,734
Z3	4	8,327	-21,681	1613,291	18,199	318,794	104,811	335,581
Z4	5	8,303	-21,806	1613,291	18,199	316,983	104,215	333,675
Z5	6	11,045	-21,906	1210,000	18,195	420,671	138,268	442,812
Z6	7	27,574	-21,966	484,008	18,192	1048,802	344,669	1103,985

5.3.2 Chod sítě s připojenou VTE s účínkem 0,98

VTE jsou připojeny do sítě dodávají konstantní výkon z generátorů s účínkem 0,98. Zde již nebudu uvádět tabulky proudů a výkonů ve větvích.

5.3.2.1 Napětí v uzlech sítě

Tab. 5-14 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účinníkem 0,98^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,767	-0,289	-4,333	5,971	90,000	2229,079
2	23,702	-1,897	-7,736	1,592	87,712	334,400
3	23,951	-1,195	-8,867	5,901	63,240	90,229
4	24,019	-1,017	-9,176	6,926	61,982	76,865
5	24,092	-0,841	-9,510	7,776	61,192	68,468
6	24,157	-0,688	-9,803	8,492	60,650	62,692
7	24,251	-0,638	-10,231	9,107	57,657	58,464
8	0,771	1,841	-11,744	0,017	69,983	30,459

Tab. 5-15 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účinníkem 0,98^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,745	-0,319	-4,314	5,971	90,000	2229,101
2	23,671	-2,103	-7,596	1,592	87,713	334,420
3	23,685	-2,011	-7,661	2,779	72,948	191,567
4	23,738	-1,807	-7,902	4,878	65,029	109,143
5	23,774	-1,690	-8,065	5,899	63,246	90,247
6	23,821	-1,555	-8,276	6,925	61,989	76,883
7	23,871	-1,424	-8,502	7,774	61,201	68,485
8	23,937	-1,270	-8,804	8,490	60,659	62,710
9	23,997	-1,240	-9,077	8,871	58,739	60,016
10	0,760	-0,034	-10,177	0,013	64,237	40,495

5.3.2.2 Úbytky napětí v uzlech

Nyní je nutné porovnat stav v uzlech sítě před připojením VTE a po jejím připojení. Jak uvádí PPDS příloha č.4, nesmí zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben v nejnejpříznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro výrobní s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení.

Tab. 5-16 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účinníkem 0,98^[13]

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	změna [%]
1	-4,305	-4,333	0,028
2	-7,535	-7,736	0,201
3	-6,881	-8,867	1,986
4	-6,779	-9,176	2,398
5	-6,773	-9,510	2,737
6	-6,779	-9,803	3,023
7	-6,781	-10,231	3,450
8	-6,781	-11,744	4,963

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.6 před a po připojení VTE je 3,023%. Je tedy překročena hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účinníku tedy nevyhovuje. Bude nutno provést další výpočty pro nalezení hodnoty účinníku, při kterém nebude tato mez překročena a to vzhledem k tomu, že VTE může dodávat do sítě účinník v rozsahu $\pm 0,95 \div 1$ na straně transformátoru vn.

Tab. 5-17 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účinníkem 0,98^[13]

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	změna [%]
1	-4,283	-4,314	0,031
2	-7,378	-7,596	0,217
3	-6,897	-7,661	0,764
4	-6,233	-7,902	1,668
5	-5,964	-8,065	2,101
6	-5,743	-8,276	2,533
7	-5,613	-8,502	2,889
8	-5,617	-8,804	3,186
9	-5,618	-9,077	3,459
10	-5,618	-10,177	4,559

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.8 před a po připojení VTE je 3,186%. Je tedy překročena hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účinníku tedy nevyhovuje. Bude rovněž nutno provést další výpočty pro nalezení hodnoty účinníku, při kterém nebude tato mez překročena.

5.3.3 Chod sítě s připojenou VTE s účinníkem -0,98

VTE jsou připojeny do sítě dodávají konstantní výkon z generátorů s účinníkem -0,98.

5.3.3.1 Napětí v uzlech sítě

Tab. 5-18 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účinníkem -0,98^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,706	-0,289	-4,278	5,971	90,000	2229,079
2	23,617	-1,897	-7,352	1,592	87,712	334,400
3	23,674	-0,853	-7,607	5,901	63,240	90,229
4	23,698	-0,594	-7,718	6,926	61,982	76,865
5	23,736	-0,350	-7,890	7,776	61,192	68,468
6	23,770	-0,141	-8,047	8,492	60,650	62,692
7	23,851	0,001	-8,413	9,107	57,657	58,464
8	0,745	2,753	-7,904	0,017	69,983	30,459

Tab. 5-19 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účinníkem -0,98^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,684	-0,320	-4,258	5,971	90,000	2229,101
2	23,586	-2,104	-7,211	1,592	87,713	334,420
3	23,544	-1,916	-7,018	2,779	72,948	191,567
4	23,504	-1,549	-6,834	4,878	65,029	109,143
5	23,495	-1,353	-6,795	5,899	63,246	90,247
6	23,497	-1,138	-6,806	6,925	61,989	76,883
7	23,511	-0,940	-6,868	7,774	61,201	68,485
8	23,547	-0,728	-7,034	8,490	60,659	62,710
9	23,599	-0,641	-7,268	8,871	58,739	60,016
10	0,741	0,758	-7,380	0,013	64,237	40,495

5.3.3.2 Úbytky napětí v uzlech

Nyní je nutné porovnat stav v uzlech sítě před připojením VTE a po jejím připojení.

Tab. 5-20 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účinníkem -0,98^[13]

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	změna [%]
1	-4,305	-4,278	0,027
2	-7,535	-7,352	0,183
3	-6,881	-7,607	-0,726
4	-6,779	-7,718	-0,939
5	-6,773	-7,890	-1,117
6	-6,779	-8,047	-1,268
7	-6,781	-8,413	-1,632
8	-6,781	-7,904	-1,123

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.6 před a po připojení VTE je -1,268 %. Je tedy dodržena hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účinníku tedy vyhovuje.

Tab. 5-21 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účinníkem -0,98^[13]

Uzel	dU před [%]	dU po [%]	změna [%]
1	-4,283	-4,258	0,025
2	-7,378	-7,211	0,167
3	-6,897	-7,018	-0,121
4	-6,233	-6,834	-0,601
5	-5,964	-6,795	-0,831
6	-5,743	-6,806	-1,063
7	-5,613	-6,868	-1,255
8	-5,617	-7,034	-1,417
9	-5,618	-7,268	-1,65
10	-5,618	-7,380	-1,762

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.8 před a po připojení VTE je -1,417 %. Je tedy dodržena hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účínku tedy vyhovuje.

5.3.4 Chod sítě s připojenou VTE s účínkem -0,998

Ale protože potřebujeme znát určitý rozsah účínku, při kterém provoz VTE vyhovuje, bylo nutné provést další výpočty pro nalezení hraniční hodnoty účínku, při kterém nebude stanovená mez překročena, a to vzhledem k tomu, že VTE může dodávat do sítě účínky v rozsahu $\pm 0,95 \div 1$ na straně transformátoru vn. Postupnou změnou velikosti účínku byla výpočtem nalezena hranice, při níž účínky vyhovuje hodnotě 2 % danou Přílohou č. 4 PPDS.

Tato hranice je účínky o velikosti -0,998.

Tedy následující hodnoty jsou vypočteny kdy VTE jsou připojeny do sítě a dodávají konstantní výkon z generátorů s účínkem -0,998.

5.3.4.1 Napětí v uzlech sítě

Tab. 5-22 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení MILA s připojenou VTE s účínkem -0,998^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,727	-0,287	-4,297	5,971	90,000	2229,079
2	23,647	-1,887	-7,485	1,592	87,712	334,400
3	23,775	-0,941	-8,070	5,901	63,240	90,229
4	23,816	-0,705	-8,256	6,926	61,982	76,865
5	23,868	-0,481	-8,489	7,776	61,192	68,468
6	23,913	-0,288	-8,697	8,492	60,650	62,692
7	24,000	-0,177	-9,092	9,107	57,657	58,464
8	0,754	2,525	-9,297	0,017	69,983	30,459

Tab. 5-23 Vypočtené hodnoty v uzlech vedení LAPO s připojenou VTE s účínkem -0,998^[13]

Uzel	U [kV]	úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ω]	úhel [°]	Sk [MVA]
1	114,705	-0,318	-4,277	5,971	90,000	2229,101
2	23,616	-2,094	-7,345	1,592	87,713	334,420
3	23,595	-1,933	-7,249	2,779	72,948	191,567
4	23,589	-1,612	-7,225	4,878	65,029	109,143
5	23,598	-1,439	-7,262	5,899	63,246	90,247
6	23,616	-1,247	-7,348	6,925	61,989	76,883
7	23,644	-1,068	-7,472	7,774	61,201	68,485
8	23,692	-0,874	-7,689	8,490	60,659	62,710
9	23,747	-0,805	-7,941	8,871	58,739	60,016
10	0,748	0,549	-8,406	0,013	64,237	40,495

5.3.4.2 Úbytky napětí v uzlech

Nyní je nutné porovnat stav v uzlech sítě před připojením VTE a po jejím připojení.

Tab. 5-24 Napěťová změna v uzlech vedení MILA s účínkem -0,998^[13]

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	změna [%]
1	-4,305	-4,297	0,008
2	-7,535	-7,485	0,049
3	-6,881	-8,070	1,189
4	-6,779	-8,256	1,477
5	-6,773	-8,489	1,716
6	-6,779	-8,697	1,918
7	-6,781	-9,092	2,311
8	-6,781	-9,297	2,516

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.6 před a po připojení VTE je 1,918 %. Je tedy dodržena hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účínku tedy vyhovuje.

Tab. 5-25 Napěťová změna v uzlech vedení LAPO s účínkem -0,998^[13]

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	změna [%]
1	-4,283	-4,277	0,006
2	-7,378	-7,345	0,034
3	-6,897	-7,249	0,352
4	-6,233	-7,225	0,991
5	-5,964	-7,262	1,298
6	-5,743	-7,348	1,605
7	-5,613	-7,472	1,859
8	-5,617	-7,689	2,071
9	-5,618	-7,941	2,323
10	-5,618	-8,406	2,788

Změna napětí v předávacím místě tedy uzlu č.8 před a po připojení VTE je 2,071 %. I když je hodnota 2 % daná Přílohou č. 4 PPDS drobně překročena, provoz při tomto účínku vyhovuje.

5.4 Útlum signálu HDO

Protože generátory WinWinD WWD 3MW jsou synchronní stroje se střídačem na výstupu, nemají prakticky vliv na úroveň signálu HDO, což potvrzuje i protokol z naměřených dat dle ČSN EN 50160 v následujících kapitolách.

5.5 Měření v předávacím místě VTE dle ČSN EN 50160

Měření veličin bylo provedeno v předávacích místech VTE pomocí Monitoru PQ (Power Quality monitor) od firmy MEG A - Měřicí energetické aparáty, s.r.o..

5.5.1 Monitor PQ

Monitor PQ je měřící přístroje pro monitoring parametrů kvality napětí v nn, vn i vvn sítích dle ČSN EN 50160 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě) a jim odpovídajících charakteristik proudů. Měří napětí, proudy, činné a jalové výkony, energii. Umožňují měření časových průběhů, registrují události - tj. poklesy, zvýšení a přerušení napětí včetně počátečních a koncových detailů. Naměřené hodnoty analyzují v souladu se standardem ČSN EN 61000-4-30 i dle konkrétních potřeb uživatele. Data dlouhodobě zaznamenávají do vlastní paměti.

5.5.2 Charakteristiky napětí dle ČSN EN 50160

Tab. 5-26 Tabulka vybraných charakteristik napětí^[15]

délka měření	1 týden
interval záznamu	10 minut
Kmitočet sítě	NN,VN: střední hodnota základní harmonické měřená každých 10 s +1% (49,5% - 50,5 Hz) pro 95% týdne -6% / +4% (47 - 52 Hz) pro 100% týdne
Odchylky napájecího napětí	NN, VN: +10% pro 95% týdne střední 10 minutové efektivní hodnoty
Rychlé změny napětí	NN: 5% obecně, 10% výjimečně $Plt < 1$ pro 95% týdne VN: 4% běžně, 6% výjimečně $Plt < 1$ pro 95% týdne
Nesymetrie napájecího napětí	NN, VN: až 2% pro 95% týdne, střední 10 minutové efektivní hodnoty až 3% v některých lokalitách
Harmonické napětí	NN, VN: viz následující tabulka

Tab. 5-27 Tabulka charakteristik harmonických napětí^[15]

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád h	Harm. napětí (%)	Řád h	Harm. napětí (%)	Řád h	Harm. napětí (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

5.5.3 Vstupní hodnoty měření

Pro měření dle ČSN EN 50160 v předávacím místě byly zadány následující parametry.

Tab. 5-28 Tabulka vstupních hodnot pro měření^[14]

Měřené vstupy, rozsah U1,U2,U3,I1,I2,I3	U1,U2,U3 100V/22kV , I1,I2,I3 5A/100A , P zapojení 3
Měřené vstupy, rozsah U4,I4/T	U4 Neměřeno, I4/T Neměřeno
Měřená frekvence HDO	f HDO=217Hz
Sledované frekvence	U,I: 150,250,350,450,550 (3.h, 5.h, 7.h, 9.h, 11.h)
Meze pro události	Přerušení 5% Pokles 90% Přepětí 110%
Interval záznamu pro záznamník,Paměť	15s, Lineární
Ovládání relé a externí vstup	Relé:Nic, EXT:Vzestupná
Meze U pro příznaky (flag)	90% a 110%

5.5.4 Naměřená data z monitoru PQ

V průběhu měření se hodnoty veličin mění a proto považují za důležité zde uvést minimální a maximální hodnoty vybraných veličin v předávacím místě.

Tab. 5-29 Tabulka minim a maxim měření VTE1^[14]

DOBA	Od	Do	
Doba zpracování	24.9.2008 17:04	3.10.2008 16:04	
NAPĚTÍ	L 1 [kV]	L 2 [kV]	L 3 [kV]
Průměr	23	23	23
Maximum	23,9	23,9	23,9
Kdy	1.10.2008 15:01	1.10.2008 15:01	1.10.2008 15:01
Minimum	22,4	22,3	22,4
Kdy	26.9.2008 7:16	26.9.2008 7:16	26.9.2008 7:16
VÝKON	Činný	Jalový	Účinník cos φ
maximum	3,04 MW	-0,39 MVar	0,9918 ind.

Tab. 5-30 Tabulka minim a maxim měření VTE2^[14]

DOBA	Od	Do	
Doba zpracování	24.9.2008 17:38	3.10.2008 15:45	
NAPĚTÍ	L 1 [kV]	L 2 [kV]	L 3 [kV]
Průměr	22,7	22,6	22,7
Maximum	23,4	23,3	23,3
Kdy	1.10.2008 13:49	1.10.2008 13:49	1.10.2008 13:49
Minimum	22,1	22	22,1
Kdy	26.9.2008 7:19	26.9.2008 8:11	26.9.2008 8:11
VÝKON	Činný	Jalový	Účinník cos φ
maximum	0,56 MW	-0,06 MVar	0,9943 ind.

Za pomoci programu dodávaného k PQ - monitoru jsem vygeneroval protokoly o měření dle ČSN EN 50160 (Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě), který přehledně zobrazují hodnoty sledovaných veličin.

Tab. 5-31 Protokol o měření dle ČSN EN 50160 v předávacím místě VTE1^[14]

PROTOKOL DLE EN 50160				PQ MEg 31
	Název: Pchery VTE1	Vč.: 324	Měření č.: 1	Měří:
	Soubor: F:\10.SE...moje\PcheryVTE1.PQ1	Měření: Od 24.9.2008 do 3.10.2008	Firma:	
	Poznámka: 3MW			
DOBA	Od	Do		
Doba zpracování	24.9.2008 17:10:00	3.10.2008 16:00:00		
VELIČINA	EN 50160	HODN.(/ Mimo mez)		
Délka měření	1 týden	8d 22:50:00		
Interval záznamu	10 minut	10 min		
Frekvence 99.5 %roku	50 Hz +1%-1%	49,94 - 50,06 / 0%		
Frekvence 100 %roku	50 Hz +4%-6%	49,94 - 50,09 / 0%		
Nesymetrie 95 %	2,0%	0,00 - 0,24 / 0%		
VELIČINA	EN 50160	L1	L2	L3
Napětí 95 %	22 kV 10%-10%	22,5 - 23,4 / 0%	22,4 - 23,4 / 0%	22,4 - 23,4 / 0%
Flicker Plt 95 %	1,0	0,04 - 0,18 / 0%	0,08 - 0,23 / 0%	0,06 - 0,23 / 0%
THD 95 %	8,0 %	0,82 - 1,73 / 0%	1,02 - 1,81 / 0%	0,69 - 1,57 / 0%
2.harmonická 95 %	2,0 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,15 / 0%
3.harmonická 95 %	5,0 %	0,15 - 0,45 / 0%	0,10 - 0,35 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%
4.harmonická 95 %	1,0 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
5.harmonická 95 %	6,0 %	0,50 - 1,15 / 0%	0,65 - 1,40 / 0%	0,50 - 1,05 / 0%
6.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
7.harmonická 95 %	5,0 %	0,05 - 1,00 / 0%	0,10 - 1,00 / 0%	0,10 - 0,95 / 0%
8.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
9.harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,15 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
10.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%
11.harmonická 95 %	3,5 %	0,05 - 0,55 / 0%	0,00 - 0,35 / 0%	0,05 - 0,30 / 0%
12.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
13.harmonická 95 %	3,0 %	0,00 - 0,35 / 0%	0,00 - 0,40 / 0%	0,00 - 0,45 / 0%
14.harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
15.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,15 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
16.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
17.harmonická 95 %	2,0 %	0,00 - 0,20 / 0%	0,00 - 0,20 / 0%	0,05 - 0,20 / 0%
18.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
19.harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,20 / 0%	0,00 - 0,20 / 0%	0,05 - 0,15 / 0%
20.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
21.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
22.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
23.harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,30 / 0%	0,00 - 0,30 / 0%	0,05 - 0,25 / 0%
24.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
25.harmonická 95 %	1,5 %	0,00 - 0,20 / 0%	0,00 - 0,25 / 0%	0,05 - 0,35 / 0%
HDO_217 99% dne	9,0 %	0,1 - 0,7	0,1 - 0,7	0,1 - 0,7

MEgA Měřicí energetické aparáty Letovická 1412/4 621 00 BRNO | tel. 541225007 | fax 541225015 | e-mail mega@e-mega.cz | http://www.e-mega.cz
Monitor PQ (3 v 1 - záznamník, monitor kvality, sledovač událostí) - vyhodnotí kvalitu a zjistí příčiny nekvality

Z protokolu vyplývá, že všechny hodnoty po celou dobu měření byly dle ČSN EN 50160 dodrženy.

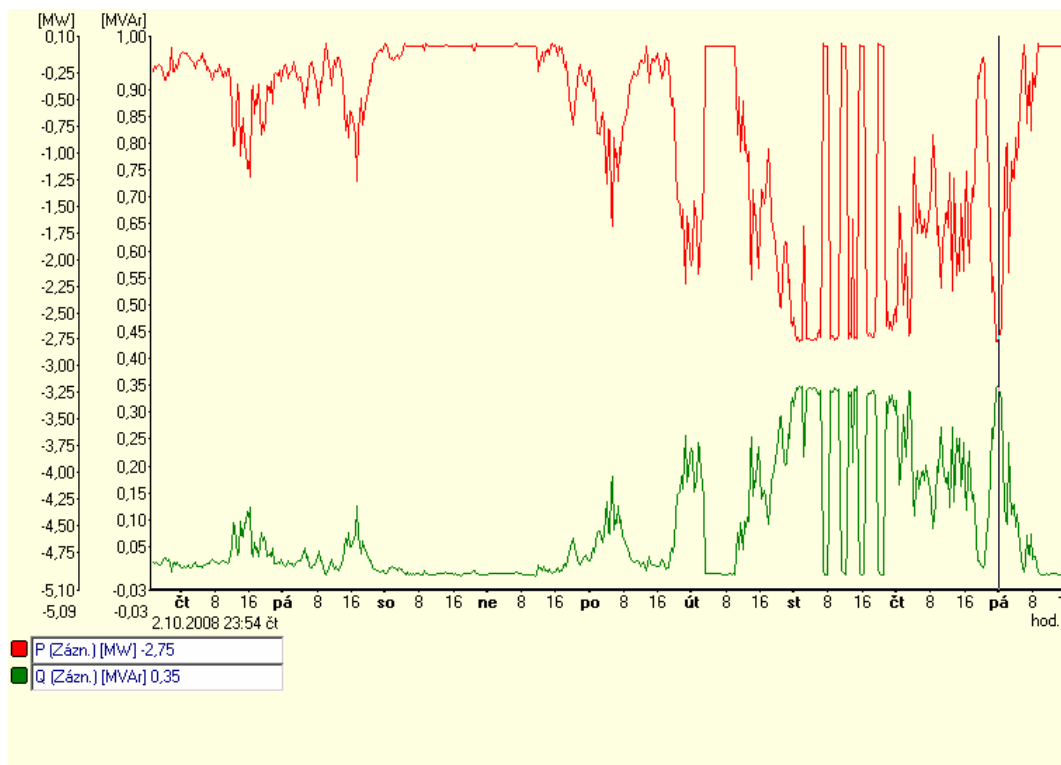
Tab. 5-32 Protokol o měření dle ČSN EN 50160 v předávacím místě VTE2^[14]

PROTOKOL DLE EN 50160				PQ MEg 31
	Název : Pchery VTE2	V.č. : 306	Měření č. : 1	Měři :
	Soubor : F:\10.SE...moje\PcheryVTE2.PQ1	Měření : Od 24.9.2008 do 3.10.2008	Firma :	
	Poznámka : 3MW			
DOBA	Od	Do		
Doba zpracování	24.9.2008 17:40:00	3.10.2008 15:40:00		
VELIČINA	EN 50160	HODN. (/ Mimo mez)		
Délka měření	1 týden	8d 22:00:00		
Interval záznamu	10 minut	10 min		
Frekvence 99,5 %/roku	50 Hz +1%-1%	49,94 - 50,06 / 0%		
Frekvence 100 %/roku	50 Hz +4%-6%	49,94 - 50,09 / 0%		
Nesymetrie 95 %	2,0%	0,00 - 0,33 / 0%		
VELIČINA	EN 50160	L1	L2	L3
Napětí 95 %	22 kV 10%-10%	22,2 - 22,9 / 0%	22,1 - 22,9 / 0%	22,1 - 22,9 / 0%
Flicker Plt 95 %	1,0	0,04 - 0,53 / 0%	0,08 - 0,88 / 0,6%	0,05 - 0,70 / 0%
THD 95 %	8,0 %	0,83 - 1,66 / 0%	1,03 - 1,83 / 0%	0,75 - 1,51 / 0%
2.harmonická 95 %	2,0 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,10 - 0,10 / 0%
3.harmonická 95 %	5,0 %	0,15 - 0,50 / 0%	0,20 - 0,40 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%
4.harmonická 95 %	1,0 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
5.harmonická 95 %	6,0 %	0,50 - 1,45 / 0%	0,70 - 1,60 / 0%	0,45 - 1,35 / 0%
6.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
7.harmonická 95 %	5,0 %	0,10 - 0,75 / 0%	0,25 - 0,90 / 0%	0,10 - 0,70 / 0%
8.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
9.harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%
10.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%
11.harmonická 95 %	3,5 %	0,10 - 0,30 / 0%	0,00 - 0,25 / 0%	0,05 - 0,25 / 0%
12.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
13.harmonická 95 %	3,0 %	0,00 - 0,35 / 0%	0,05 - 0,45 / 0%	0,00 - 0,40 / 0%
14.harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
15.harmonická 95 %	0,5 %	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
16.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
17.harmonická 95 %	2,0 %	0,00 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,10 / 0%
18.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
19.harmonická 95 %	1,5 %	0,00 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,25 / 0%
20.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
21.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
22.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
23.harmonická 95 %	1,5 %	0,05 - 0,15 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,10 / 0%
24.harmonická 95 %	0,5 %	0,05 - 0,05 / 0%	0,00 - 0,05 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
25.harmonická 95 %	1,5 %	0,00 - 0,10 / 0%	0,00 - 0,15 / 0%	0,05 - 0,05 / 0%
HDO_217 99% dne	9,0 %	0,1 - 0,7	0,1 - 0,7	0,1 - 0,7

MEGA Měřicí energetické aparáty Letovická 1412/4 621 00 BRNO tel. 541225007 fax 541225015 e-mail mega@e-mega.cz http://www.e-mega.cz
Monitor PQ (3 v 1 - záznamník, monitor kvality, sledovač událostí) - vyhodnotí kvalitu a zjistí příčiny nekvality

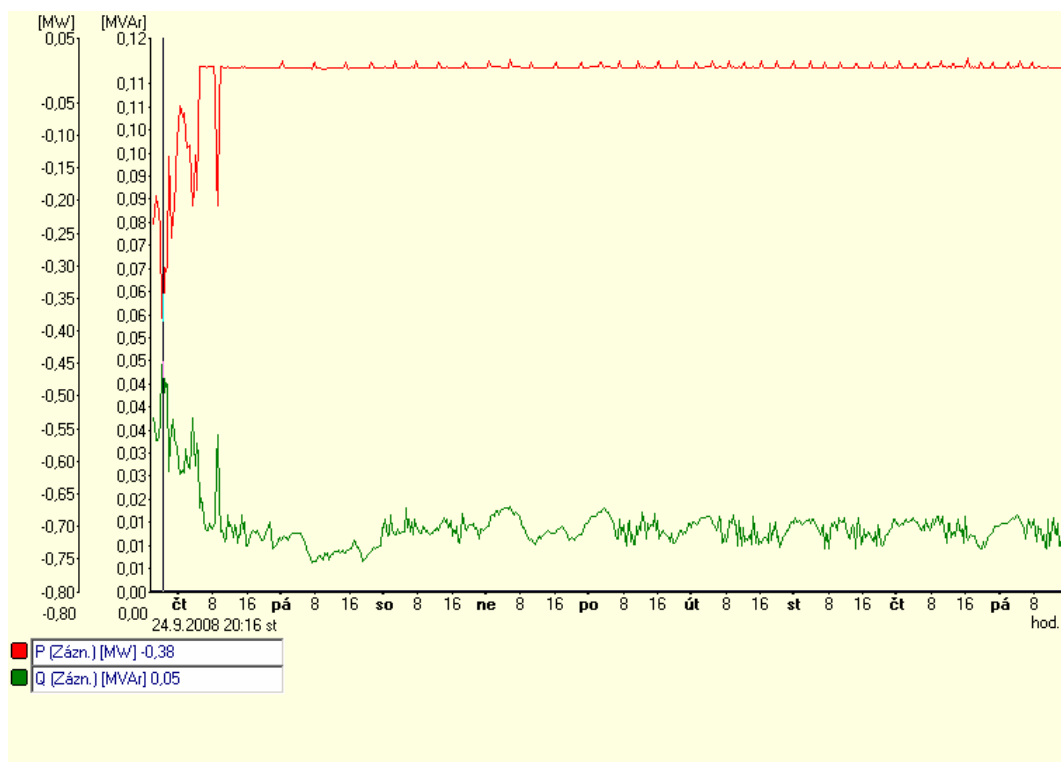
Z protokolu vyplývá, že všechny hodnoty po celou dobu měření byly dle ČSN EN 50160 dodrženy.

Na následujícím grafu je vidět průběh činného a jalového výkonu po dobu měření PQ monitorem. Je zde vidět, jak velký výkonový rozdíl v čase, je při dodávce do sítě z VTE1.



Obr. 5-10 Graf průběhu činného a jalového výkonu VTE1 po dobu měření^[14]

Na následujícím grafu je vidět rovněž průběh činného a jalového výkonu po dobu měření PQ monitorem. Je zde vidět, že v průběhu měření VTE2 nedodávala do sítě skoro žádný výkon (dle provozovatele z důvodu závady).



Obr. 5-11 Graf průběhu činného a jalového výkonu VTE2 po dobu měření^[14]

5.5.5 Napět'ová změna v předávacím místě dle naměřených dat

V předávacím místě byly hodnoceny veličiny jen dle ČSN EN 50160, ale pokusím se v předávacím místě zhodnotit i napět'ovou změnu (2 % daných Přílohou č. 4 PPDS), tedy tak jako u výpočtu chodu sítě.

Vzhledem k tomu, že nemám z předávacího místa k dispozici hodnoty napětí ještě před připojením VTE, využiji naměřených dat z doby, kdy byla VTE již připojena.

Z naměřených dat jsem našel velikost napětí právě ze chvíle, kdy VTE nedodávala žádný výkon, tedy neovlivňuje síť v předávacím místě a prohlásil jsem tuto hodnotu za napětí před připojením VTE. Dále jsem našel velikost napětí v předávacím místě ze chvíle, kdy VTE dodávala plný výkon 3 MW, a to byla hodnota kterou jsem porovnal s hodnotou napětí před připojením VTE.

Tab. 5-33 Tabulka naměřených hodnot napětí a napět'ová změna VTE1^[14]

	před		po		rozdíl
Fáze	datum čas	U před[kV]	datum čas	U po[kV]	změna[%]
L1	27.9.2008 15:04	22,66	1.10.2008 8:29	23,52	3,80
L2	27.9.2008 15:04	22,55	1.10.2008 8:29	23,52	4,30
L2	27.9.2008 15:04	22,58	1.10.2008 8:29	23,46	3,90

Změna napětí v předávacím místě před a po připojení VTE překračuje 2 %, což je hodnota daná Přílohou č. 4 PPDS. Provoz při tomto účínku tedy nevyhovuje.

Bude nutno doporučit (provozovateli DS) hodnoty účínku při kterém nebude tato mez překročena a to vzhledem k tomu, že VTE může dodávat do sítě účíník v rozsahu $\pm 0,95 \div 1$ na straně transformátoru vn.

U VTE2 nemá smysl hodnotit napět'ovou změnu z naměřených dat, protože po dobu měření elektrárna nedosahovala zdaleka maximálního výkonu který je pro tento výpočet potřebný.

6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU S OHLEDEM NA KONKRÉTNÍ SITUACI

6.1 Shrnutí výsledků výpočtů a měření

Vyvolaná změna napětí v předávacím místě po připojení větrné elektrárny ověřená výpočtem chodu sítě za pomoci patřičného počítačového programu, při účinníku 0,98 s kterým dodává větrná elektrárna výkon do sítě, překračuje povolenou mez danou přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě.

Vyvolaná změna napětí v předávacím místě po připojení větrné elektrárny ověřená výpočtem chodu sítě za pomoci patřičného počítačového programu, při účinníku -0,98 s kterým dodává větrná elektrárna výkon do sítě, nepřekračuje povolenou mez danou přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě.

Vypočtená hraniční hodnota účinníku, při které ještě není překračována povolená mez daná přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě, je -0,998 (tedy kapacitní). Pokud se hodnota účinníku dostane nad tuto hranici nebude provoz větrných elektráren vyhovovat dle podmínky dané přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční. Tedy hodnota účinníku od 0,95 do -0,997 je nevyhovující a to vzhledem k tomu, že VTE může dodávat do sítě účinník v rozsahu $\pm 0,95 \pm 1$ na straně transformátoru vn..

Vyvolaná změna napětí v předávacím místě po připojení větrné elektrárny ověřená měřením na již připojené větrné elektrárně, rovněž překračuje povolenou mez danou přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě, což ověřilo také správnost výpočtů chodu sítě.

Přestože je limit pro změnu napětí daný přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě je dle skutečného měření v předávacím místě překračován, z hlediska ČSN EN 50160, která stanovuje charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, byly všechny stanovené limity dodrženy.

6.2 Závěry práce a její přínos

Posouzení vlivu konkrétní větrné elektrárny bylo provedeno z hlediska vyvolané změny napětí v předávacím místě po připojení větrné elektrárny výpočtem chodu sítě za pomoci patřičného počítačového programu, ale i aktuálním měřením na již připojené větrné elektrárně.

Dalším hlediskem bylo dodržení ČSN EN 50160, která stanovuje charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.

Za pomoci výpočtového programu bylo zjištěno, že v případě nevhodně nastaveného účinníku při dodávce elektřiny z větrné elektrárny je překračován limit pro změnu napětí daný přílohou č.4 PPDS v předávacím místě, což se stejným negativním výsledkem potvrdil i výsledek výpočtu napěťové změny ze skutečně naměřených dat.

Přestože je limit pro změnu napětí daný přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě dle skutečného měření v předávacím místě překračován, z hlediska ČSN EN 50160 byly všechny stanovené limity dodrženy.

6.3 Význam a využití dosažených výsledků

Byla ověřena teorie v podobě výpočtu chodu sítě a praxe v podobě měření veličin, která ukazuje jak je problematické připojování větrných elektráren do distribuční sítě, a to nejen pro jejich nestabilní dodávku výkonu do sítě. V našem případě se jednalo pouze o dva zdroje, a to i u

malého počtu takový zdrojů je vidět, jak skutečně ovlivňují nebo mohou ovlivňovat distribuční síť. Je tedy otázkou jaký skutečný vliv na distribuční síť, potažmo na přenosovou soustavu, by měla velká větrná farma.

6.4 Návrh dalšího postupu

Byť se jedná o obnovitelný zdroj energie je nutné klást veliký důraz ze strany provozovatele distribuční soustavy na ověřování možnosti připojení větrných zdrojů a hlavně větrných parků již před vydáním souhlasného stanoviska o možnosti připojení takového zdroje. Předejde se tak pozdějším problémům se změnou napětí v předávacím místě vyvolanou připojením nového zdroje energie.

Dále je zapotřebí aby provozovatel distribuční soustavy smluvně zajistit s výrobcem energie z větrné elektrárny dodávku s určitou hodnotou účinníku, dle výpočtů v rozsahu od -0,998 do -0,95, tak aby nedocházelo k překračování povolených limitů změny napětí daných přílohou č.4 Pravidla provozování distribuční sítě.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Mastný, P.: *Malé zdroje elektrické energie*, přednášky - učební texty .pdf , .ppt - FEKT VUT Brno 2007
- [2] Matoušek, A.: *Výroba elektrické energie.*, FEKT VUT Brno 2007, ISBN 80-214-3317-5
- [3] ERÚ - Energetický regulační úřad: *Roční zpráva o provozu ES ČR 2007, Cenové rozhodnutí č.7/2007*, <http://www.eru.cz/>
- [4] Kolektiv autorů: *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR*, ČEZ a. s. Praha 2007
- [5] Legislativa problematiky obnovitelných zdrojů, <http://www.CEZdistribuce.cz/>
- [6] ČEZ Distribuce, a. s.: *Pravidla provozování distribuční soustavy, příloha č.4 - Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí nn a vn PDS*, 12/2007
- [7] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: *Větrné motory a elektrárny.*, ČVUT Praha 1997, ISBN 80-01-01563-7
- [8] <http://www.vtepchery.cz> : *Informace o projektu stavby VTE.*
- [9] <http://www.winnind.fi> : *Technická data.*
- [10] <http://energie.tzb-info.cz> : *foto den otevřených dveří větrných elektráren*
- [11] ČEZ Distribuce, a. s. : *provozní instrukce č. 30-988-017-08*
- [12] ČEZ Distribuce, a. s. : *Technická data DS*
- [13] ČEZ Distribuce, a. s. , Program E-Vlivy firmy EnerGoConsult ČB, s.r.o.: *výpočet a simulaci zpětných vlivů*
- [14] ČEZ Distribuce, a. s. , Program PQ-monitor firmy MEgA - Měřicí energetické aparáty, s.r.o. : *měření dle ČSN EN 50160*
- [15] ČSN EN 50160: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*

Příloha A Přehled výkupních cen elektřiny

Výkupní ceny a zelené bonusy pro malé vodní elektrárny

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	2600	1400
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	2450	1250
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2005 včetně a rekonstruovaná malá vodní elektrárna	2220	1020
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2005	1730	530

Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	4210	2930
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	3270	1990
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 v nových lokalitách po 1.1.2008 včetně	2520	1240
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 před 1.1.2008	3540	2260
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 před 1.1.2008	2940	1660
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 před 1.1.2008	2430	1150
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S1 a fosilních paliv	-	1390
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S2 a fosilních paliv	-	790
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S3 a fosilních paliv	-	240
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P1 a fosilních paliv	-	1650
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P2 a fosilních paliv	-	1050
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P3 a fosilních paliv	-	500

Výkupní ceny a zelené bonusy pro spalování bioplynu, skládkového plynu a důlního plynu z uzavřených dolů

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny spalováním bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 včetně využívající určenou biomasu	3900	2620
Výroba elektřiny spalováním bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 včetně využívající ostatní biomasu	3300	2020
Výroba elektřiny spalováním bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	3300	2020
Výroba elektřiny spalováním bioplynu ve výrobně uvedených do provozu od 1. ledna 2004 do 31. prosince 2005	2630	1350

Výroba elektřiny spalováním bioplynu ve výrobně uvedené do provozu před 1. lednem 2004	2740	1460
Výroba elektřiny spalováním skládkového plynu pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2006 včetně	2330	1050
Výroba elektřiny spalováním kalového plynu pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2006 včetně	2330	1050
Výroba elektřiny spalováním důlního plynu z uzavřených	2330	1050

Výkupní ceny a zelené bonusy pro větrné elektrárny

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Větrná elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2008 včetně	2460	1870
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2007 do 31. prosince 2007	2520	1930
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2006	2570	1980
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2005 do 31. prosince 2005	2820	2230
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2004 do 31. prosince 2004	2960	2370
Větrná elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2004	3280	2690

Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využití geotermální energie

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím geotermální energie	4500	3370

Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního zařízení

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 včetně	13460	12650
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31.12.2007	13800	12990
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	6570	5760

Příloha B Provozní instrukce č. 30-988-017-08**Provozní instrukce č.30-988-017-08****Pchery – Rovina, malá větrná farma****Napáječ VN: 78-20 MILA, 78-13 LAPO****0. Úvod**

V obci Pchery dochází k připojení dvou větrných elektráren. Jedna bude připojena k vedení MILA V78-20 přes US_KL_0283 a druhá bude připojena k vedení LAPO V78-13 přes US_KL0284. Typ osazení těchto ÚS řeší PI 30-988-080-07 ze dne 12.11.2007

1. Základní technická data VtE Pchery :

instalovaný výkon – 3 MW
max. rychlost větru – 20 m/sec
min. rychlost větru – 3 m/sec
výška hlavy – 88 m

2. Úsekové vypínače :

Provozní číslo:	KL_0283
Majitel zařízení:	ČEZ Distribuce a.s.
Zařízení provozuje:	ČEZ Distribuční služby, s.r.o.

Provozní číslo:	KL_0284
Majitel zařízení:	ČEZ Distribuce a.s.
Zařízení provozuje:	ČEZ Distribuční služby, s.r.o.

3. Provoz a obsluhu VtE Pchery zajišťuje :

ČKD Blansko Wind, a.s. Gellhornova 2228/1, Blansko
Jaroslav Bíro, tel.: 603 111 170

4. Pravidelnou údržbu a servis VtE Pchery při poruchách a haváriích zajišťuje :

ČKD Blansko Wind, a.s. Gellhornova 2228/1, Blansko
Ing. Ladislav Mítura, tel.: 724 790 102

Vypracoval:
Dne 10.3.2008

Jung René
ČEZ Distribuce a.s.

Schválil:
Dne 11.3.2008

Ing. Kuna Jiří
ČEZ Distribuce a.s.