

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Zapojení farmy VTE do ASRU DS**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš JIRÁNEK**  
Osobní číslo: **E12N0010K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Zapojení farmy VTE do ASRU DS**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište regulaci U a Q v ČR.
2. Charakterizujte farmu VTE.
3. Analyzujte chování SRU VTE.
4. Provedte obecné závěry.



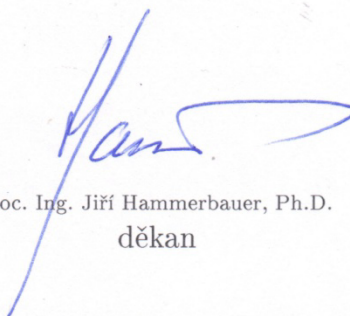


Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zapojením farmy větrných elektráren do automatického systému regulace napětí a jejich vlivem na elektrizační soustavu.

V úvodní části je vysvětlen obecně princip regulace, regulace se zápornou zpětnou vazbou a její využití v energetice obohacené praktickými ukázkami v provozu klasické elektrárny. První část dále obsahuje strukturu organizace regulace v elektrizační soustavě České republiky, vysvětlení fyzikální vazby napětí s jalovým výkonem a jeho možnosti řízení.

Druhá část vysvětluje základní principy vzniku výkonu větrné elektrárny, rozbor nejužívanějších typů větrných elektráren České republiky, z něhož vyplynul i další popis nejvíce užívaného typu.

Třetí část charakterizuje farmu větrných elektráren, jejich připojení a možnosti regulace v distribuční soustavě.

V poslední části je provedena analýza průběhů systému regulace napětí při provozu větrného parku a jeho vliv na elektrizační soustavu. V závěru jsou zhodnoceny výsledky provedené analýzy průběhů a splnění cílů práce.

## Klíčová slova

Regulace, regulace se zápornou zpětnou vazbou (ZZV), fyzikální vazba U a Q, organice služeb, větrné elektrárny, podmínky připojení VTE, charakteristika větrné farmy, analýza chování SRU.



## **Abstract**

The thesis deals with the involvement of wind power plants into automatic voltage regulation system and their impact on the electricity grid.

The introductory part is about the general principle of regulation, the regulation with feedback and its use in energetics plus practical using in regular traffic of power plant. This part further comprises the structure of organization of regulation in electricity system in the Czech republic and the explanation of physical custody of voltage and reactive power and its options of control.

There are well explained basic principles of power creation in power plants and analysis of the most widely used types of wind power plants, which led to another description of frequently used type, in the other part.

The third part describes the form of wind turbines, their connectivity and regulation options in the distribution.

Last part obtains the analysis of process of control system voltage during working of the wind park and its influence on the electricity grid. The analysis of waveforms and the objectives of work are evaluated at the end of the thesis.

## **Key words**

Regulation, Regulation with negative feedback, physical custody U and Q, organization of services, wind power plants, Conditions of connections VTE, Characteristic of wind farm, Analysis of behavior SRU.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

.....  
podpis

V Plzni dne 29.4.2015

Tomáš Jiránek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. a konzultantovi z firmy Orgrez a.s. Ing. Richardovi Habrychovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, metodické vedení a poskytnutí materiálů k diplomové práci.



# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....                                 | <b>9</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1 REGULACE</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1 REGULÁTOR SE ZÁPORNOU ZPĚTNOU VAZBOU (ZZV).....                   | 13        |
| 1.2 VYUŽITÍ REGULACE SE ZZV V ENERGETICE .....                        | 14        |
| 1.3 FYZIKÁLNÍ VAZBA MEZI U A Q .....                                  | 16        |
| 1.3.1 Provozní podmínky řízení Q.....                                 | 17        |
| 1.3.2 Způsoby řízení Q.....   | 18        |
| 1.4 ORGANIZACE A SLUŽBY REGULACE V ES ČR.....                         | 19        |
| <b>2 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY</b> .....                                      | <b>21</b> |
| 2.1 VÝPOČTY ENERGIE A VÝKONU VĚTRU .....                              | 22        |
| 2.2 VÝPOČET VÝKONU VTE .....  | 24        |
| 2.2.1 Rozbor parametrů z výpočtu P ViE.....                           | 25        |
| 2.2.2 Problémy v provozu ViE .....                                    | 27        |
| 2.2.3 Možnosti eliminace provozních problémů VtE.....                 | 30        |
| 2.3 VTE ČESKÉ REPUBLIKY .....   | 31        |
| 2.4 VESTAS V90-2MW.....   | 32        |
| 2.5 PODMÍNKY PŘIPOJENÍ VTE DO ES ČR.....                              | 34        |
| <b>3 CHARAKTERISTIKA FARMY VTE</b> .....                              | <b>36</b> |
| 3.1 POPIS VĚTRNÉ FARMY .....  | 36        |
| 3.2 ZPŮSOB PŘIPOJENÍ DO DS .....                                      | 37        |
| 3.3 REGULACE NAPĚTÍ VĚTRNÉ FARMY .....                                | 38        |
| <b>4 ANALÝZA CHOVÁNÍ SRU VĚTRNÉ FARMY</b> .....                       | <b>41</b> |
| 4.1 UKÁZKOVÁ REGULACE U ROZVODNY 110KV .....                          | 41        |
| 4.2 PŘEKRAČOVÁNÍ TOLERANČNÍCH MEZÍ NAPĚTÍ VLIVEM VĚTRNÉ FARMY .....   | 43        |
| 4.3 ZMĚNA HRANIC VYUŽITELNÉHO PÁSMU Q PŘI ZMĚNÁCH VÝROBY P .....      | 45        |
| 4.4 NESPRÁVNĚ ZADANÁ HODNOTA NAPĚTÍ .....                             | 46        |
| <b>ZÁVĚR</b> .....  | <b>48</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....                  | <b>50</b> |
| <b>PŘÍLOHY</b> .....  | <b>1</b>  |
| PŘÍLOHA A: PRŮBĚHY REGULACE TEPLoty PE PÁRY VT VSTRÍKOVOU VODOU ..... | 1         |
| PŘÍLOHA B: UKÁZKA AUTOMATU ERV VT VSTRÍKOVÉ VODY .....                | 2         |
| PŘÍLOHA C: REGULACE P GENERÁTORU KE .....                             | 3         |
| PŘÍLOHA D: REGULACE U PILOTNÍHO UZLU .....                            | 4         |
| PŘÍLOHA E: NAPĚŤOVÉ ZMĚNY VLIVEM VĚTRNÉ FARMY .....                   | 5         |
| PŘÍLOHA F: ASRU VĚTRNÉ FARMY .....                                    | 6         |
| PŘÍLOHA G: ANALÝZA VTE ČR .....                                       | 7         |

## Seznam symbolů a zkratek

|                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| ES.....                   | elektrizační soustava              |
| U.....                    | napětí                             |
| Q.....                    | jalový výkon                       |
| VtE.....                  | větrná elektrárna                  |
| DS.....                   | distribuční soustava               |
| y.....                    | regulovaná veličina                |
| d.....                    | poruchová veličina                 |
| S.....                    | regulovaná soustava                |
| R.....                    | regulátor                          |
| e.....                    | regulační odchylka                 |
| w.....                    | žádaná hodnota                     |
| ZZV.....                  | záporná zpětná vazba               |
| ASRU.....                 | automatický systém regulace napětí |
| u.....                    | akční veličina                     |
| KE.....                   | klasická elektrárna                |
| PE.....                   | přehřátá pára                      |
| P.....                    | činný výkon                        |
| ERV.....                  | elektrický regulační ventil        |
| VT.....                   | vysokotlaký                        |
| PG.....                   | parogenerátor                      |
| RV.....                   | regulační ventil                   |
| TBN.....                  | turbonapájecí čerpadlo             |
| NV.....                   | napájecí voda                      |
| VTRZV.....                | vysokotlaké rychlozávěrné ventily  |
| KO.....                   | kotel                              |
| f.....                    | frekvence                          |
| Q <sub>G</sub> .....      | jalový výkon generátoru            |
| U <sub>Q</sub> .....      | napětí generátoru                  |
| U <sub>Budící</sub> ..... | napětí budící                      |
| I <sub>Budící</sub> ..... | proud budící                       |
| U <sub>i</sub> .....      | napětí v uzlu i                    |

|                |  |
|----------------|--|
| $a_{ij}$       | konstanta citlivosti                           |
| $Q_j$          | jalový výkon výroby $j$                        |
| $nn$           | nízké napětí                                   |
| $vn$           | vysoké napětí                                  |
| HDO            | hromadné dálkové ovládání                      |
| SyS            | systemové služby                               |
| PpS            | podpůrné služby                                |
| ERÚ            | energetický regulační ústav                    |
| UCTE           | evropská síť provozovatelů přenosových soustav |
| E              | energie  |
| $m$            | hmotnost                                       |
| $v$            | rychlost proudění větru                        |
| $\rho$         | hustota vzduchu                                |
| $P_v$          | výkon větru                                    |
| $t$            | čas  |
| $C_p$          | účinnost                                       |
| $S$            | plocha rotoru                                  |
| FM             | frekvenční měnič                               |
| AG             | asynchronní generátor                          |
| V598           | vedení   |
| TL             | tlumivka                                       |
| TR             | transformátor                                  |
| TRN            | terciální regulace napětí                      |
| SRU            | sekundární regulace napětí                     |
| $\cos \varphi$ | účinník  |



## Úvod

Cílem této práce je čtenáři přiblížit, na jakém principu pracuje automatický systém regulace napětí. V tomto případě se bude jednat o systém regulace napětí v pilotních uzlech Elektrizací soustava ČR (dále jen „ES ČR“), kde lokálním parametrem regulace je napětí (dále jen „U“). Jedná se tedy o udržení napěťové stability pilotních uzlů za pomoci akčních členů v podobě energetických výroben, rozvodů a možných kompenzací. Pro udržení zadaného U v tolerančních mezích lze využít i výroby z obnovitelných zdrojů, jako jsou např. větrné elektrárny, které jsou schopny určitými prostředky pomoci udržet rovnováhu sítě konkrétně dané oblasti.

Princip regulace by měl vysvětlit a prezentovat prvky, díky kterým tento typ řízení funguje. V kapitole budou vysvětleny pojmy regulace se zápornou zpětnou vazbou s následnými praktickými ukázkami z provozu klasické elektrárny, přehled regulačních možností ES a fyzikální vazby mezi U/Q pomocí statické charakteristiky zátěže.

Obnovitelné zdroje se v dnešní době využívají ve značné míře. Mezi jedny nejvíce rozšířené zdroje patří i větrné elektrárny, jejichž problematika je obsahem této práce. Proto je ve druhé kapitole vysvětleno, na čem závisí výkon větrných elektráren a jak ho lze vypočítat. Následně bude proveden rozbor nejvíce využívaných typů VtE ČR. Na základě výsledků rozborů budou vysvětleny analýzy chování systému regulace, týkající se větrné farmy s typem VtE Vestas. Dalším bodem následuje informace o připojovacích podmínkách stanovených provozovateli DS, díky kterým lze výroby připojovat k síti.

Ve třetí části je věnována pozornost charakteristice typové farmy větrných elektráren, kde budou zmíněny prvky podporující provoz farmy VtE s potřebnou regulací napětí a způsob provedení. Dále budou popsány jednotlivé prvky připojovací cesty do pilotního uzlu, systém komunikace s dispečinkem a struktura funkce regulace napětí.

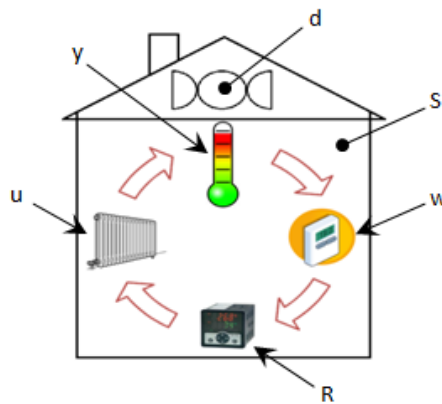
V poslední řadě se provede analýza průběhů provozu větrné farmy, jeho působení na danou DS, a to jak z pozitivního tak i negativního hlediska. Analytická část se týká čtyř typických provozních stavů větší větrné farmy, do které bude zařazena ukázková regulace U, nežádoucí překročení tolerančních mezí U vlivem farmy VtE, změny využitelné regulační rezervy Q vlivem působení provozu farmy VtE a nesprávné zadání hodnoty U pilotního uzlu.

# 1 Regulace

Obecný princip regulace je popsán a vysvětlen dle materiálu [1].

Již od dávných dob se lidé snažili vykonávat činnosti s vynaložením co nejmenší námahy, a proto se začali vymýšlet postupy, které měly řízeně využívat energii pro ulehčení práce. Tyto vize se snažili lidé již využívat v dávném starověku například v hodinářství, zavlažování a rozvodu vody. Velké nároky začaly být kladeny na regulaci až v druhé polovině 20. století, která měla zajišťovat hladký, či klidný chod čím dál konstrukčně a provozně složitějších zařízení.

Regulaci je možné využít v různých formách nejen v technice, ale i v jiných vědních oborech, ovšem v principu se znění nemění. Zjednodušeně se jedná o udržení zvolené neboli nastavené hodnoty za předpokladu, že se může měnit daná regulovaná hodnota. K docílení požadované hodnoty nám pomohou regulační prvky, které mají zavedené značení bez ohledu na skutečnou fyzikální podstatu.



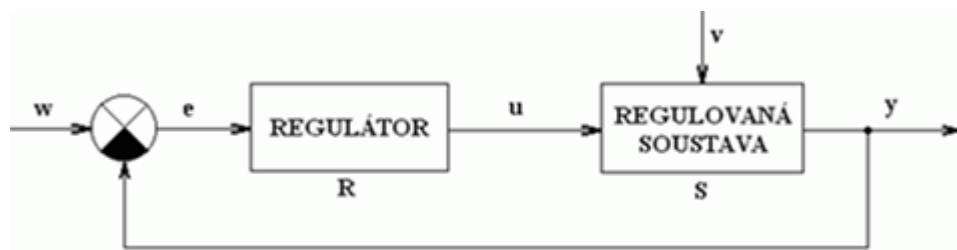
Obrázek č. 1 Regulace teploty [1]

Pro názornou ukázkou nám poslouží obrázek č. 1, kde je znázorněno, jakým způsobem se reguluje teplota v místnosti. Hodnotou, kterou chceme regulovat, je teplota v místnosti. Nazýváme jí regulovanou veličinou  $y$  tj. teploměr. Na teplotu působí nežádoucí vlivy, které nazýváme poruchové veličiny  $d$ , v našem obrázku tomu odpovídá otevřené okno. Pro vyvážení těchto nežádoucích vlivů na regulovanou hodnotu slouží tzv. akční zásahy, které ovlivňují regulovanou veličinu a tou je akční veličina  $u$ , v obrázku znázorněn jako radiátor. Nastavení tzv. žádané hodnoty  $w$  se provádí pomocí termostatu, kde se nastaví teplota, kterou v místnosti chceme. Mezi hlavní systémy v daném příkladu patří regulovaná soustava  $S$ ,

tj. místnost, ve které chceme udržet žádanou teplotu. Regulátor  $R$  pracuje na určitém technickém řešení, ve kterém porovnává žádanou a skutečnou teplotu v místnosti. Na základě tohoto porovnání zjišťuje regulační odchylku  $e$ , díky které regulace probíhá.

## 1.1 Regulátor se zápornou zpětnou vazbou (ZZV)

Pro potřeby této diplomové práce je v kapitole 1.1 vysvětlen princip regulátoru se zápornou zpětnou vazbou (ZZV). Na tomto principu pracuje i automatický systém regulace napětí (ASRU), a proto se budeme zabývat tímto typem regulace. Blokové schéma je znázorněno na obrázku č. 2.



Obrázek č. 2 Regulátor se ZZV [7]

Tento regulační obvod obsahuje mimo standardních prvků, které byly zmíněny výše, další dva členy obvodu, tj. zpětná vazba a tzv. součtový člen. Do součtového členu mohou být zavedeny až tři vstupy. Dva vstupy znamenají součet (tj. nevyčerněná část) a jeden vstup znamená rozdíl (tj. vyčerněná část). Na výstupu ze součtového členu získáme regulační odchylku  $e$ . Matematické vyjádření výstupu součtového členu vypadá následovně:

$$e = w - y$$

Regulační odchylka  $e$  je rovna rozdílu žádané hodnoty  $w$  a skutečné hodnoty  $y$ . Na základě regulační odchylky  $e$  a technického nastavení regulátoru  $R$  se následně automaticky generují tzv. akční zásahy, aby se skutečná hodnota  $y$  blížila požadované hodnotě  $w$ . Počty akčních zásahů jsou generovány dle nastavení tolerančních mezí v regulačním obvodu  $R$ .

Proč je vysvětlen zrovna tento druh regulace? Důvod je jediný, v této práci se zabýváme automatickým systémem regulace napětí tzv. ASRU, který pracuje na stejném principu, jako je výše uvedená regulace se ZZV.



Nyní si převedeme prvky regulačního obvodu do ASRU, abychom pochopili funkci regulátoru v ES a samotnou podstatu regulace. V první řadě si musíme uvědomit, co budeme regulovat a proč. Regulovanou soustavou  $S$  v tomto případě je pilotní uzel DS 110kV, ve kterém požadujeme udržet nastavenou hodnotu napětí za pomoci akční veličiny  $u$ , tj. změna dodávky  $Q$  akčního členu např. větrná farma. Výstupem z regulované soustavy  $S$  je regulovaná veličina  $y$ , kterou je měřené napětí v pilotním uzlu. Odtud je též vyvedena zpětná vazba pro součtový bod, která je zavedena do rozdílové části (vyčerněná). Do součtového bodu je zavedena i žádaná veličina  $w$ , kterou je zadaná hodnota napětí (např. dispečerem nebo místně) a má vlastnost součtovou (nevyčerněna). Výsledkem rozdílu žádané veličiny  $w$  a skutečné hodnoty  $y$  je regulační odchylka  $e$ , která působí na samotný regulátor a tím i na jeho akční zásahy. Poslední veličina, která však negativně ovlivňuje regulovanou soustavu  $S$ , je poruchová veličina  $v$  tj. napěťové změny ES.

## 1.2 Využití regulace se ZZV v energetice

V kapitole jsou uvedeny a popsány regulační stavy regulátorů se ZZV v provozu elektrárenského BLOKU. Ukázky regulace budou tři, aby bylo dokázáno, že i provoz KE, se neobejde bez regulace se zápornou zpětnou vazbou. Jedná se tedy o regulaci teploty přehřáté páry (PE), dodávky  $P$  generátoru a reakce regulace na změnu zadání napětí v pilotním uzlu rozvodny.

### Regulace teploty PE

V příloze A je ukázka regulace teploty PE (tmavě modrá křivka) za pomoci otevření ERV s VT vstříkovou vodou (světle modrá a hnědá křivka). Nutnost regulace nastala díky změně  $P$  generátoru (červená křivka), kdy PG byl náhle přetopený a teplota se zvýšila nad teplotu zadanou a vznikla tím regulační odchylka. Regulovala se tedy teplota PE za výstupním přehřívákem, kde je stále zadaná teplota na 575°C.

V 18:00 hodin dispečer začal snižovat  $P$  generátoru, čímž se začala zvyšovat teplota nad hodnotu zadanou  $w$  (575°C). V návaznosti na tuto regulační (teplotní) odchylku  $e$  zareagoval regulátor  $R$  a začal otevírat ERV VT vstříkové vody, dokud se teplota nezačala snižovat. Při snižování teploty, ERV opět zareagoval a začal přivírat. Tento stav setrval do té doby, dokud se teplota neustálila a zároveň regulační odchylka se nedostala do tolerančního pásma (záleží na technickém nastavení regulátoru  $R$ ). V příloze B je dále zařazena ukázka regulátoru

ERV v řídicím systému, kde bod A ukazuje regulační odchylku a bod B procentuální nastavení ventilu za regulátorem.

### Regulace P generátoru

Příloha C ukazuje, jakým způsobem se provádí regulace P bloku KE. V tomto případě se regulace provádí pomocí RV a následně s menším zpožděním i klouzavě reguluje celé energetické zařízení bloku.

Regulovaná hodnota P generátoru  $y$  je zpětnovazebně odebrána pro součtový člen. Jelikož dispečer zadal sjíždění s výkonem z původních 200MW na konečných 110MW  $w$ , kdy výsledkem byla výstupní regulační odchylka  $e$ , která nastartovala regulátor  $R$ . Po zásahu regulátoru vzniká součinnost RV VT dílu turbíny (tmavě modrá křivka) a následně začne klouzavé sjíždění z parametrů bloku (tj. snižování tlaku PE) pro potřebu nově zadané hodnoty P. Důvod proč musí tyto dvě regulace pracovat společně je, že se parametry páry mohou měnit určitým trendem kvůli teplotnímu namáhání kovu potrubí a možných vzniků rázů. Aby byl zachován trend sjíždění P, tj. 4MW/min, zahájí VTRV přivírání, a tím dojde ke škrcení páry. Škrcením páry dochází ke ztrátě energie, čímž se snižuje účinnost turbosoustrojí. Následným sjížděním TBN se změní tlaky PE, pro znázornění jsou v příloze C uvedeny křivky otáček TBN (černá křivka), tlak NV (zelená křivka) a tlak PE před VTRZV (hnědá křivka). Teplota PE (červená křivka) by se měnit neměla, ovšem při odtápění či natápění KO se teplota přirozeně zhoupne, dokud se neustálí.

### Regulace U na rozvodně z pohledu bloku KE

V příloze D je k dispozici graf regulace U v pilotním uzlu za podpory akčního členu, kterým v tomto případě byla KE, u které se nezměnila dodávka P generátoru. Důkaz o součinnosti prvků pro regulaci znázorňují  $Q_G$ ,  $U_G$ ,  $U_{\text{Budící}}$  a  $I_{\text{Budící}}$ .

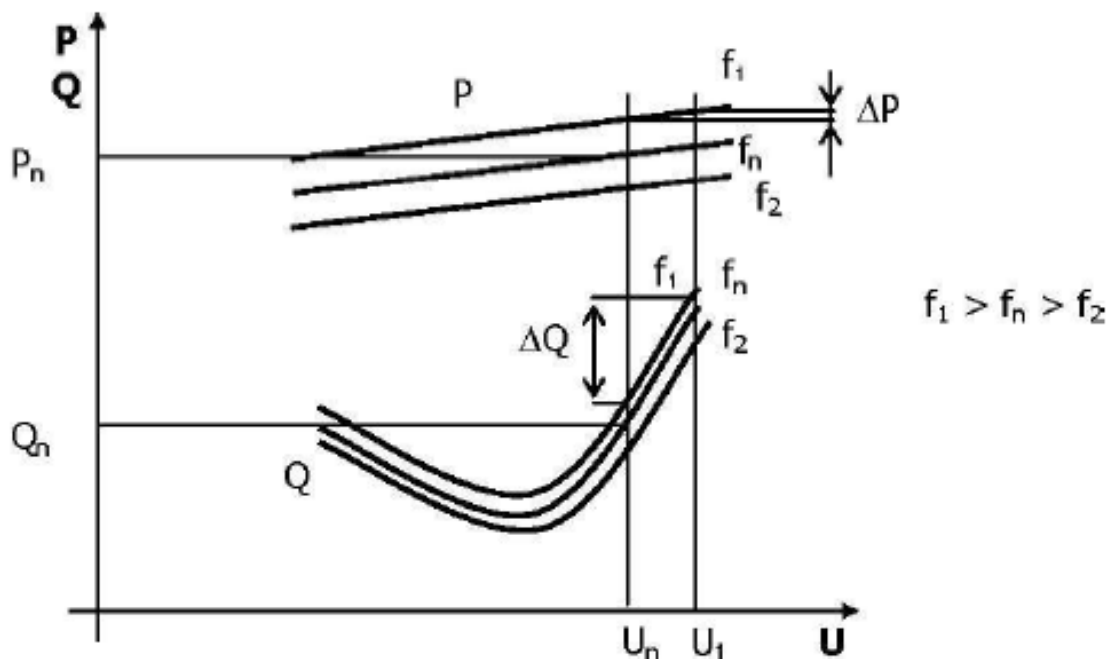
Největší regulační změna nastala v 09:00 hodin, kdy dispečer zadal vyšší hodnotu napětí v pilotním uzlu, čímž se zvýšila regulační odchylka  $e$ , díky níž reaguje regulátor  $R$ . Na základě činnosti regulátoru budících prvků  $u$  tj.  $U_{\text{Budící}}$  (modrá křivka) a  $I_{\text{Budící}}$  (hnědá křivka) bude přibuzeno. Tímto dojde ke zvýšení dodávky  $Q_G$  (fialová křivka) a  $U_G$  (zelená křivka). Touto činností se docílí zadané hodnoty U v pilotním uzlu  $w$  a regulační odchylka  $e$  bude

snížena do tolerance dle nastavených technických parametrů regulátoru. Z tohoto popisu regulace napětí  $U$  pilotního uzlu je patrná regulace se ZZV.

### 1.3 Fyzikální vazba mezi $U$ a $Q$

Mezi hlavní parametry sítě patří  $U$  a  $f$ , které ovlivňují spotřebiče koncových odběratelů. Jako globální parametr, který ovlivňuje celou ES je brána frekvence, která je závislá na měnícím se  $P$ . Lokální parametr tzn.  $U$  v pilotních uzlech, ovlivňovaný  $Q$ , dodávaný či odebíraný výrobními a regulujícími napětí koncových odběratelů, pro které je kolísání  $U$  nežádoucím stavem. Cílem regulace těchto dvou parametrů je zamezení nežádoucích kolísání a stabilizace v tolerančních mezích dle legislativy.

V této práci je zohledněn automatický systém regulace napětí, díky níž se na statické charakteristice zátěže ukáže rozdíl mezi závislostí  $P$  a  $Q$  na napětí (obrázek č. 3).



Obrázek č. 3 Statická charakteristika zátěže [7]

Na obrázku č. 3 jsou znázorněny průběhy frekvenčních charakteristik ( $f_1 > f_n > f_2$ )  $P$  a  $Q$  v závislosti na změně  $U$ . Z charakteristik lze vidět, že frekvenční charakteristiky  $P$  jsou od sebe vzdáleny více než charakteristiky  $Q$ . Dalším rozdílem jsou průběhy jednotlivých frekvenčních charakteristik, kde  $P$  je lineárně narůstající, ovšem  $Q$  se průběhem blíží parabole. Lze tedy vidět, že při zvýšení, či snížení zadaného napětí se změna u frekvenční

charakteristiky P nijak výrazně neprojeví. V případě charakteristik Q je změna celkem znatelná. Tímto ověřením dle obrázku č. 3 můžeme říci, že se U v pilotních uzlech řídí Q [7].

Následující vztah vyjadřuje výše uvedená tvrzení:

$$U_i = a_{ij} \cdot Q_j$$

Změna U v uzlu  $i$  je závislá na aktuální velikosti dodávaného Q z výroby  $j$  při konstantě citlivosti v uzlu  $i$  a výrobny  $j$ . Konstanta citlivosti je závislá na druhu propojení soustav a jiných technických parametrech, které mohou ovlivnit dodávku Q a tím i U v uzlu [7].

### 1.3.1 Provozní podmínky řízení Q

Provozní podmínky řízení Q jsou stanoveny dle materiálu [5]. Řízení Q souvisí s konkrétně danou DS. Je zadáván provozovatelem DS po domluvě s výrobcem.

#### a) Zdroje připojené do sítí nn

Tyto podmínky platí pro zdroje do 16A/fázi včetně i pro ostatní zdroje nn.

Za normálních provozních podmínek se musí udržovat účinník na hodnotách 0,9 kapacitní a 0,9 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu se pohybuje nad 20% jmenovitého výkonu zdroje. Při snížení činného výkonu pod 20% jmenovitého výkonu se musí Q tekoucí z (do) zdroje pohybovat pod 10% jmenovitého výkonu. Hodnotu účinníku předávacího místa DS stanovuje provozovatel DS.

#### b) Zdroje v sítích vn a 110kV

Při normálním provozu, ovšem za předpokladu, že se hodnota jmenovitého napětí pohybuje v toleranci, musí být účinník mezi 0,95 kapacitní 0,95 induktivní a činná složka výkonu nad 10% jmenovitého výkonu.

### 1.3.2 Způsoby řízení Q

Způsoby řízení Q jsou stanoveny dle materiálu [5]. Jalový výkon musí být od 100kVA říditelný. Splnění domluveného rozmezí by mělo být použitelné do několika minut a jakkoli často. Při odběru P si Q pevně nastaví provozovatel DS, ovšem když se žádá změna nastavení, tak je žádaná hodnota nastavena dálkově.

#### Žádaná hodnota:

Pevná hodnota Q.....Q fix

Hodnota Q závislá na U.....Q (U)

Hodnota Q závislá na P.....Q (P)

Pevná hodnota  $\cos \varphi$ ..... $\cos \varphi$  fix

Hodnota  $\cos \varphi$  závislá na U.....Q (U)

Hodnota  $\cos \varphi$  závislá na P.....Q (P)

#### Když provozovatel DS zvolí charakteristiku, je nutné nastavit i odpovídající Q:

- pro charakteristiku  $\cos \varphi = f(P)$  do 10s,
- pro charakteristiku Q (U) nastavení mezi 10s a 1min, kterou zadá provozovatel DS.

Provozovatel DS udává, jakým způsobem se budou řídit žádané hodnoty, podle potřeby sítě a technických možností výroby. Zadaná hodnota je buď nastavená dohodou, harmonogramem, nebo On-line zadáváním. U varianty On-line vyžaduje provozovatel DS nový pracovní bod Q po novém zadání nejpozději do 1 minuty.

U zařízení, která pracují s kompenzačními prvky je nutné sledovat zpětné vlivy na síťové napětí. Například u VtE, kde se mění výroba P, musí být kompenzační prvky Q automaticky a

maximálně rychle regulovány. Jedna z možných kompenzací je díky kondenzátorům, které se připojují až po najetí výroby a odpojení probíhá současně s generátorem.

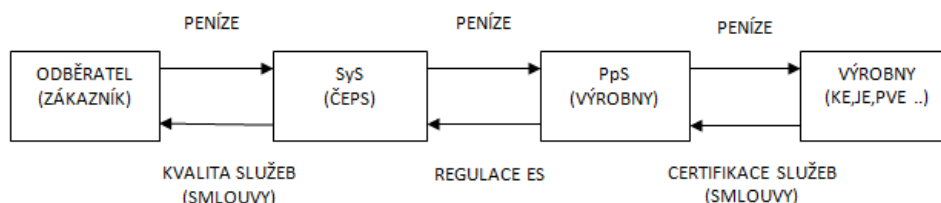
Díky možnému ovlivnění sítě se musí odsouhlasit daný výkon, zapojení a způsob kompenzace, které povoluje provozovatel DS. K této činnosti se přistupuje kvůli omezení napěťových harmonických a zpětného ovlivnění HDO. Znázornění účinků je v tabulce č. 1.

| Příklad               | Zdrojová orientace                                     | Spotřebičová orientace                                 |
|-----------------------|--|--|
| Synchronní generátor  | $P > 0$ a $Q > 0$<br>$0^\circ < \varphi < 90^\circ$    | $P < 0$ a $Q < 0$<br>$180^\circ < \varphi < 270^\circ$ |
| Asynchronní generátor | $P > 0$ a $Q < 0$<br>$270^\circ < \varphi < 360^\circ$ | $P < 0$ a $Q > 0$<br>$90^\circ < \varphi < 180^\circ$  |
| Synchronní motor      | $P < 0$ a $Q > 0$<br>$90^\circ < \varphi < 180^\circ$  | $P > 0$ a $Q < 0$<br>$270^\circ < \varphi < 360^\circ$ |
| Asynchronní motor     | $P < 0$ a $Q < 0$<br>$180^\circ < \varphi < 270^\circ$ | $P > 0$ a $Q > 0$<br>$0^\circ < \varphi < 90^\circ$    |

Tabulka č. 1 Přiřazení pásem účinnků [5]

## 1.4 Organizace a služby regulace v ES ČR

Řízení či provoz ES je nesmírně složitá záležitost. Pro potřeby této práce je proveden základní rozbor služeb dle materiálu [3], kterými se řídí provozovatelé i uživatelé sítě. Zároveň je blíže vysvětlena regulace U a Q v ČR.



Obrázek č. 4 Blokové schéma organizace služeb ES ČR

Provoz PS zajišťuje ČEPS, dále jen provozovatel, který byl určen Ministerstvem průmyslu. Povinností provozovatele je řízení, zpravování PS dle platných norem a energetických zákonů, které udává ERÚ. Na základě těchto legislativ zodpovídá provozovatel za bezproblémový chod PS celé ČR. Dále dochází ke spolupráci s propojenými systémy v rámci Evropské unie a dalšími propojenými zeměmi v rámci UCTE.

Pro zajištění chodu PS slouží tzv. Systémové služby (SyS), které zpravuje a řídí dispečink provozovatele. Chod SyS obstarávají tzv. Podpůrné služby (PpS) zajištěné

energetickými výrobny s potřebnou certifikací služeb, za niž jsou náležitě finančně ohodnoceny. Proto, aby výroby mohly získat potřebnou certifikaci PpS, je nutné vyplnit žádost na určitou službu a zkoušením provozu se tak ověřuje, že dané zařízení je schopné PpS poskytovat. Přehled SyS a PpS je uveden v tabulce č. 2.

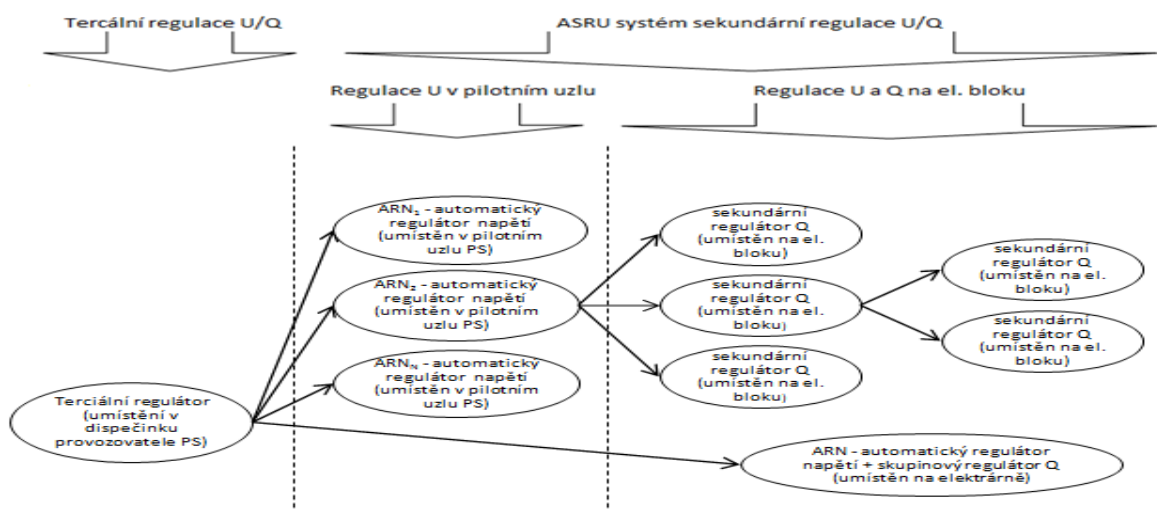
| SYSTÉMOVÁ SLUŽBA   | KATEGORIE  |  | I<br>PROVOZOVATELÉ<br>ELEKTRÁRENSKÝCH BLOKŮ | IIA<br>PROVOZOVATELÉ<br>Z PS | IIB<br>UŽIVATELÉ<br>Z PS | III<br>SOUSEDNÍ<br>PS |
|--------------------|--|--|---|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
|                    | TECHNICKO-<br>ORGANIZAČNÍ PROSTŘEDEK                     |  |   |                              |                          |                       |
| UDRŽOVÁNÍ KVALITY  | udržování souhrnné výkonové zálohy pro PRIMÁRNÍ REGULACI |  | Primární regulace f bloku                   |                              |                          |                       |
| ELEKTRINY          | FREKVENCE  |  | sekundární regulace U/Q                     |                              |                          |                       |
|                    | sekundární regulace napětí                               |  | sekundární regulace P bloku                 |                              |                          |                       |
| UDRŽOVÁNÍ VÝKONOVÉ | sekundární regulace f a P                                |  | Rychle startující 10 minutová záloha        | změna zatížení               | změna zatížení           |                       |
| ROVNOVÁHY          | terciální regulace výkonu                                |  | Vltava                                      |                              |                          |                       |
|                    | zajištění dispečerské zálohy                             |  | terciální regulace P bloku                  |                              |                          |                       |
| OBNOVOVÁNÍ PROVOZU |  |  | Rychle startující 30 minutová záloha        | změna zatížení               | změna zatížení           |                       |
|                    |  |  | Snížení výkonu Vltava                       |                              |                          |                       |
|                    |  |  | Dispečerská záloha                          | změna zatížení               | změna zatížení           |                       |
|                    |  |  | schopnost ostrovního provozu                |                              |                          |                       |
|                    |  |  | schopnost startu ze tmy                     |                              |                          |                       |

Tabulka č. 2 Přehled SyS a PpS [3]

Regulace U v SyS se provádí za pomoci sekundární regulace a terciální regulace napětí. Sekundární regulace (ASRU) řídí U v pilotních uzlech pomocí automatické regulace napětí, díky níž se udržují zadané hodnoty napětí. Terciální regulace řídí zadaná napětí pilotních uzlů tak, aby provoz ES byl co nejvíce bezpečný a ekonomický.

Regulace U/Q v PpS se řídí na základě certifikovaného regulačního rozsahu pro udržení zadané hodnoty napětí v pilotním uzlu a také rozděluje dodávku Q na jednotlivé výroby.

Pro znázornění regulace U ES uvádím obrázek č. 5.



Obrázek č. 5 Organizace regulace U a Q PS [3]

## 2 Větrné elektrárny

Prvotní využití větru jako zdroje energie bylo použito již ve třetím století před Kristem v Egyptě. První provoz v Evropě byl zaznamenán až ve 13. století. Ve 14. století bylo Holandsko zemí, která nejvíce využívala větrnou energii pro potřeby mletí obilí, zpracování dřeva (obrázek č. 6) a čerpání vody (odvodnění nebo zavlažování zemědělských oblastí Archimédovým šroubem viz. obrázek č. 7) [3].



Obrázek č. 6 Větrný mlýn – pila [3]



Obrázek č. 7 Archimédův šroub [3]



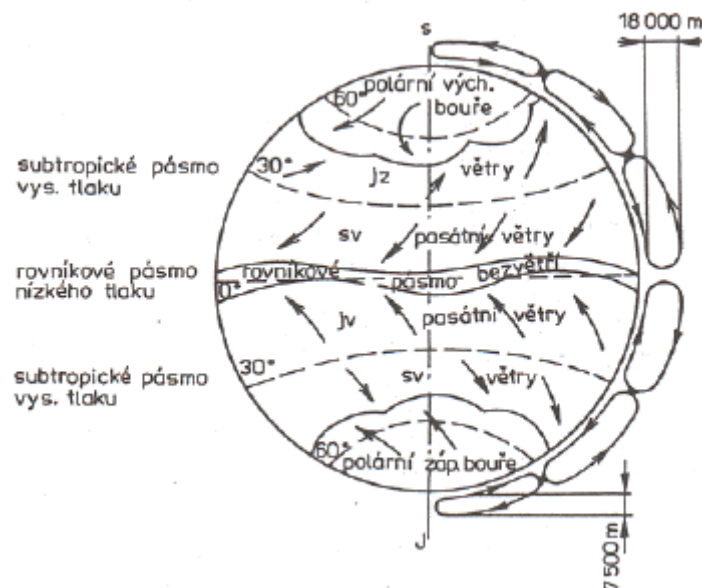
Počátkem 19. století docházelo k velkému rozmachu a vývoji větrné energetiky na výrobu elektrické energie, kterou zapříčinil dánský fyzik Poul la Cour. Avšak na konci téhož století tento prudký rozmach zastavuje vynález parního stroje. Současná snaha opětovného využití větrné energie na výrobu elektrické energie je odůvodněna snížením emisních limitů a využití jednoho z mnoha obnovitelných zdrojů energie [3].

## 2.1 Výpočty energie a výkonu větru

Princip vzniku větru a jeho energie [3]:

- Zemský povrch je nerovnoměrně oteplován slunečními paprsky, od kterého se následně otepluje i vrstva vzduchu a stoupá vzhůru.
- Faktory ovlivňující proudění vzduchu mají na svědomí otáčení zeměkoule, střídání dne a noci, které následně ovlivňují tlakové poměry v atmosféře.
- Při snaze o vyrovnání takových poměrů vzniká **vítr**. Proudění větru je tedy od tlaku vyššího k nižšímu.

Pro znázornění proudění větru poslouží následující obrázek č. 8.



Obrázek č. 8 Princip vzniku větru [3]

Na obrázku č. 8 je zakreslen směr proudění vzduchu na severní a jižní polokouli. Na severní polokouli je proudění vzduchu v pásmu s nižším tlakem (tj. polární a rovníkové pásmo) proti směru točení hodinových ručiček, ale v pásmu s vyšším tlakem (tj. subtropické pásmo) je proudění vzduchu ve směru točení hodinových ručiček. Na jižní polokouli Země je tomu přesně naopak [3].

Jedním z hlavních ukazatelů využitelnosti energie a výkonu větru je jeho rychlost, která je ovlivněna terénním profilem povrchu. Čím je povrch členitější, tím se horší proudění vzduchu, a dochází tak ke vzniku větrných vírů. Nelze tedy využít maximální možnou energii vzduchu. Rychlost proudění vzduchu směrem od povrchu roste [3].

Vztahy pro výpočet energie větru:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2,$$

kdy hmotu  $m$  vyjádříme,

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s,$$

kde

A.....plocha, kterou protéká určitý objem vzduchu,

s.....dráha, kterou vzduch pohybem překoná.

Výkon větru lze odvodit z předchozích vztahů, kde dostaneme:

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2$$

Pro zjednodušení použijeme vztah pro výpočet rychlosti:

$$v = \frac{s}{t}$$

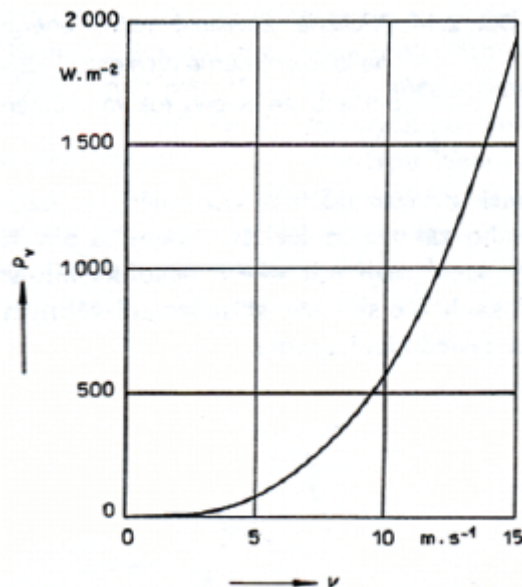
Dosažením vzorce pro rychlost ( $v$ ) do výpočtu výkonu větru ( $P_v$ ) se docílí zjednodušení vztahu a zároveň vytvoří základ pro výpočet výkonu VtE.

Získáme tedy

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 ,$$

která je již zjednodušenou verzí výpočtu výkonu větru.

Pro znázornění závislosti  $P_v$  na rychlosti jeho proudění nám poslouží graf č. 1, který znázorňuje závislost  $P_v$  na rychlosti proudění větru plochou o velikosti  $1 \text{ m}^2$ .



Graf č. 1 Závislost  $P_v$  na rychlosti větru plochou  $1 \text{ m}^2$  [3]

## 2.2 Výpočet výkonu VtE

V návaznosti na předchozí kapitolu se dále uvádí vztah pro výpočet činného výkonu VtE. Jako porovnávací činitelé byly použity pro výpočet výkonu VtE, rychlost větru a výkon větru, které jsou znázorněny v grafu č. 1.

Činný výkon VtE lze vypočítat podle vztahu:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S$$

P..... výkon VtE [W]

$\rho$ ..... hustota vzduchu [kg.m<sup>-3</sup>]

v..... rychlost proudění vzduchu [m.s<sup>-1</sup>]

$c_p$ ..... účinnost stroje [%]

S..... plocha rotoru [m<sup>2</sup>]

### 2.2.1 Rozbor parametrů z výpočtu P VtE

Rozbor parametrů P VtE:

a)  $\rho$  - hustota vzduchu

Jak je již známo ze základní školy, se zvyšující se nadmořskou výškou se snižuje hustota vzduchu. Z této úvahy plyne, že nejideálnějším místem pro stavbu VtE je místo s co nejnižší nadmořskou výškou. V ČR se ovšem staví VtE především na vrcholcích hor. Důvodem je snaha o minimalizaci omezení proudění větru překážkami.

b) v - rychlost proudění vzduchu

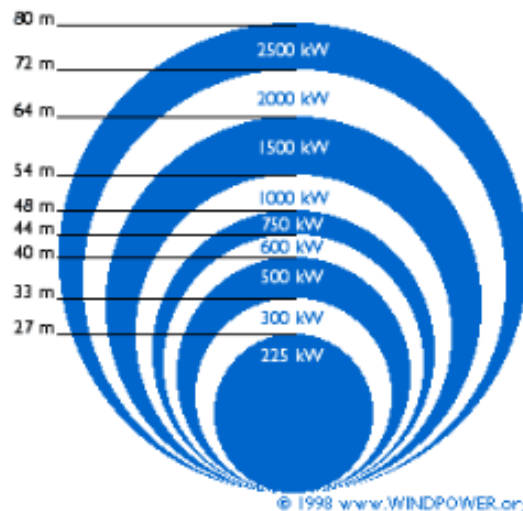
Rychlost proudění vzduchu je parametrem, který největší měrou ovlivňuje aktuální výrobu a účinnost stroje. Podrobnější popis závislosti výroby P na rychlosti větru je uveden v grafu č. 5. Již nyní lze říci dle výše odvozeného vzorce, že tento parametr, který je umocněn na třetí, nejvíce ovlivní P VtE (odvození viz kapitola 2.1).

c)  $c_p$  – účinnost stroje

Účinnost stroje  $c_p$  byl vysvětlen výše v rozboru parametru rychlosti, vysvětlení uvedeno v grafu č. 5.

d)  $S$  – plocha rotoru

Posledním parametrem pro výpočet  $P$  VtE je plocha rotoru. Tento parametr se liší dle potřeby vyráběného výkonu od různých výrobců. Co se týče plochy rotorů, jsou lepší plochy větší než menší, jelikož i stožáry jsou vysoké a vynesou tak rotory na pozice, kde je proudění větru efektivnější pro výrobu  $P$ . Proto je účinnější mít méně VtE s velkým průměrem rotoru z důvodu větších lopatek, které mají větší pracovní plochu. Pro představu velikosti  $P$  na ploše rotoru je uveden obrázek č. 9.



Obrázek č. 9 Závislost  $P$  na průměru rotoru [5]

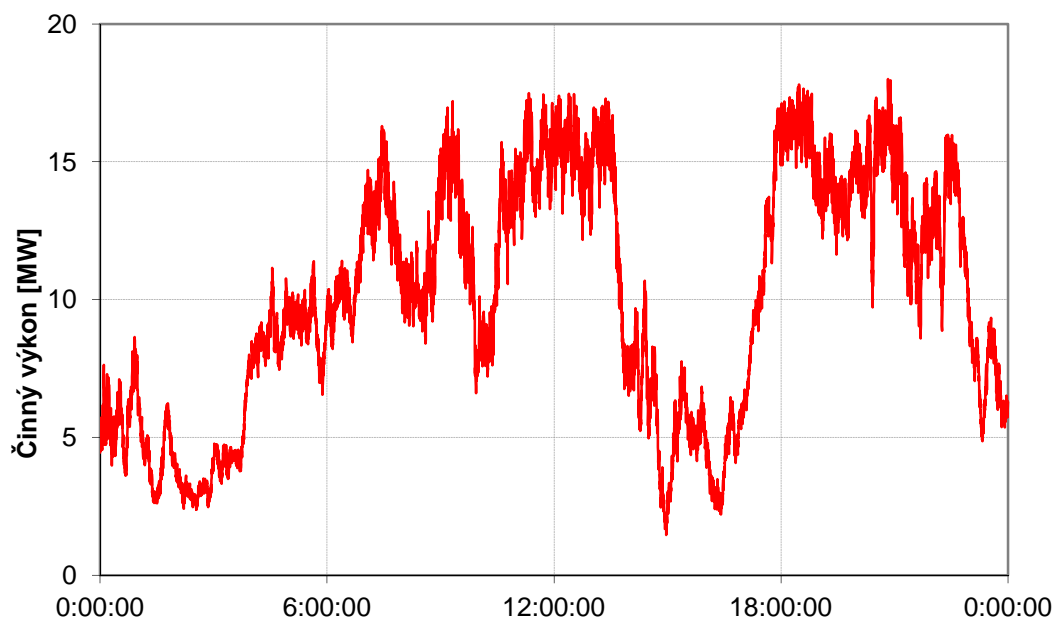
Dále ve vztahu  $P$  VtE jde vidět, proč je výše provedeno odvození výpočtu výkonu větru. Tyto vztahy se příliš v principu neliší, ovšem ve vztahu pro výpočet výkonu VtE se počítá ještě navíc s účinností stroje a plochou rotoru.

Z výše uvedeného vzorce plyne návaznost vyrobeného činného výkonu na rychlosti větru. Tato hodnota je neovlivnitelná a časově se mění. Z tohoto důvodu je problematičtější připojení VtE do PS a DS než u klasických a jaderných elektráren, kde je činný výkon oproti

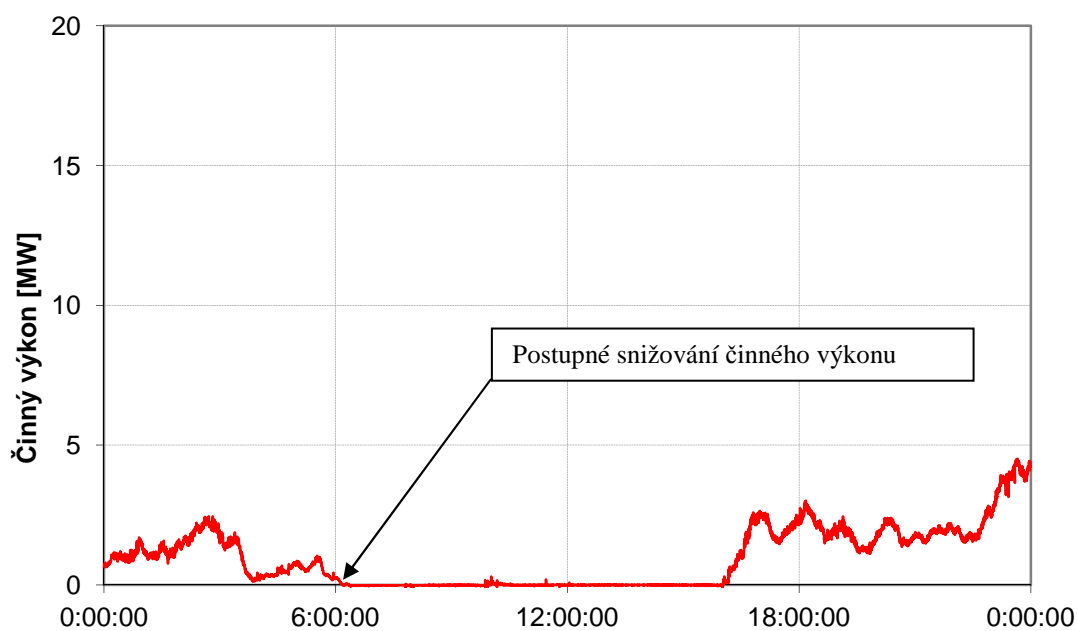
VtE lehce regulovatelný. Je zapotřebí, aby se v budoucnu s tímto problémem provozovatelé co možno nejlépe vypořádali [2].

### 2.2.2 Problémy v provozu VtE

Proměnná výroba činného a jalového výkonu – pro znázornění lze vidět v grafech č. 2 a č. 3, jakým způsobem se mění průběh činného výkonu během dne.



Graf č. 2 Průběh činného výkonu větrné farmy

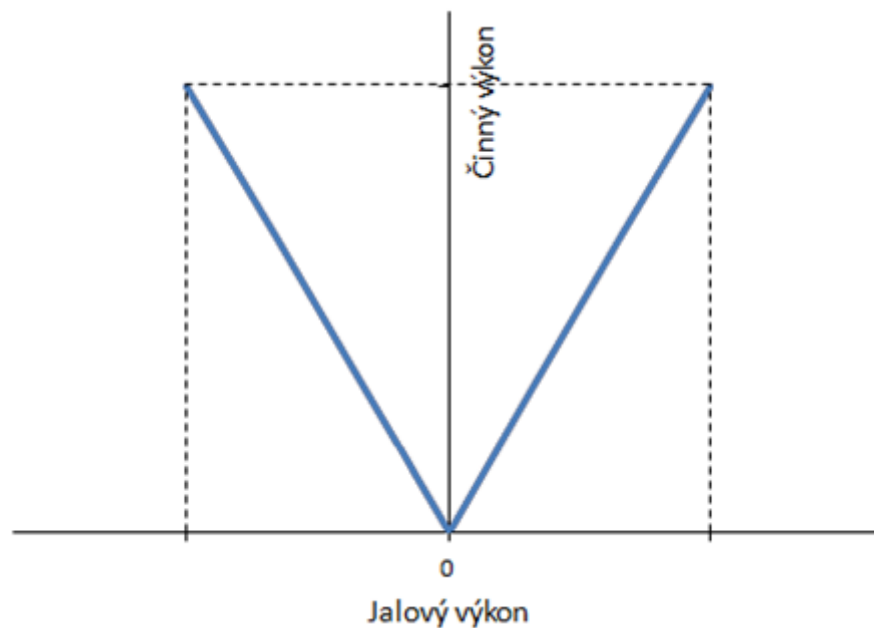


Graf č. 3 Průběh činného výkonu větrné farmy

Ve výše použitých grafech lze pozorovat, jak může být rozdílná výroba činného výkonu větrné farmy. Graf č. 2 znázorňuje výkonové kolísání, ale se stálou dodávkou výkonu. Graf č. 3 ukazuje i možný výpadek dodávky činného výkonu vlivem nadměrného nebo nedostatečného proudění vzduchu.

Na proměnné výrobě činného výkonu a na jeho velikosti se závisle mění i výkon jalový, který může výrazně ovlivňovat napěťové poměry sítě. Pro znázornění změn jsou uvedeny grafy v příloze E.

V grafu č. 4 je uveden obecný provozní diagram VtE, ve kterém jde vidět závislost Q na P. Provozní diagramy VtE se mohou lišit dle konstrukčního provedení a výrobce. Cílem výrobců je především to, aby provozní diagramy VtE, se co nejvíce blížily obdélníkovému tvaru pro lepší regulaci Q.



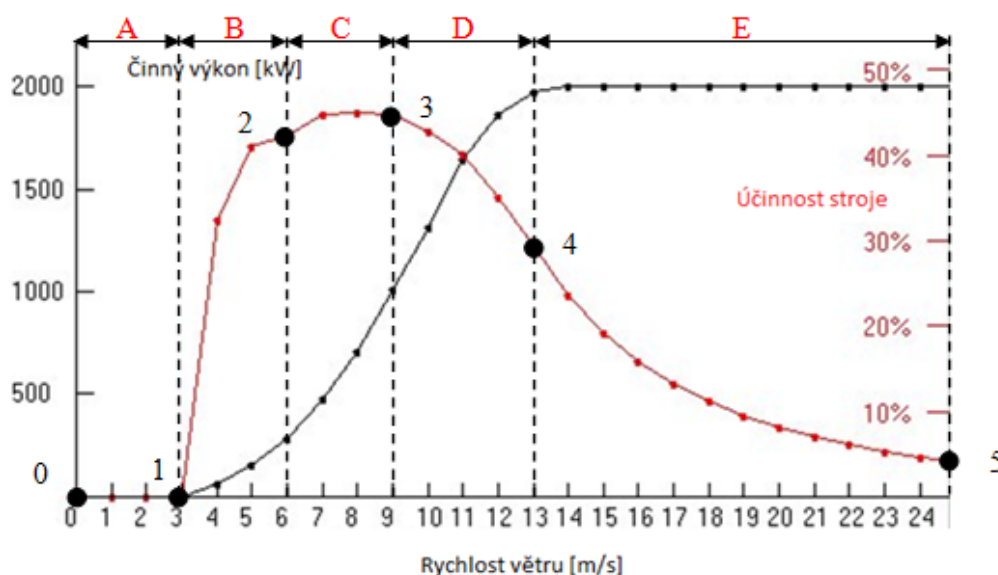
Graf č. 4 Obecný provozní diagram VtE

**Skokové změny výroby energie** – mezi dva hlavní atributy patří minimální a maximální rychlost větru.

Minimální tj. 3-5 m/s – při této rychlosti je již VtE schopna vyrábět energii, ale při podkročení této hranice výroba končí pro nedostatečnou rychlost větru.

Maximální tj. 25 m/s – překročením této rychlosti následuje odstavení VtE, jelikož by mohlo dojít ke zničení technologického zařízení.

Pro znázornění průběhu výroby energie při maximální účinnosti stroje, které jsou vztahované k ideálnímu proudění vzduchu, poslouží graf č. 5.



Graf č. 5 Výkonová křivka a křivka účinnosti typické VtE [7]

#### Popis grafu č. 5:

Mezi body 0 – 1 se zvýšilo proudění větru z 0m/s na 3m/s při nulové účinnosti stroje.

Mezi body 1 – 2 se zvýšila rychlost větru ze 3m/s na 6m/s, díky níž došlo ke zvýšení účinnosti stroje cca o 45%. Zatímco u P nebylo zvýšení nijak závratné, jednalo se cca o 250kW.

Mezi body 2 – 3 byl nárůst rychlosti větru z 6m/s na 9m/s, kdy účinnost stroje se pohybovala v rozmezí cca 45 – 48%. Můžeme tedy říci, že účinnost stroje se začala utlumovat, ale výroba P vzrostla cca z 250kW na 1000kW.

Mezi body 3 – 4 se rychlost větru opět zvýšila z 9m/s na 13m/s. Účinnost stroje se začala snižovat cca ze 48 na 28%. Při nárůstu rychlosti větru došlo ke zvýšení P z původních 1000kW na maximální výrobu, která činila 2000kW.



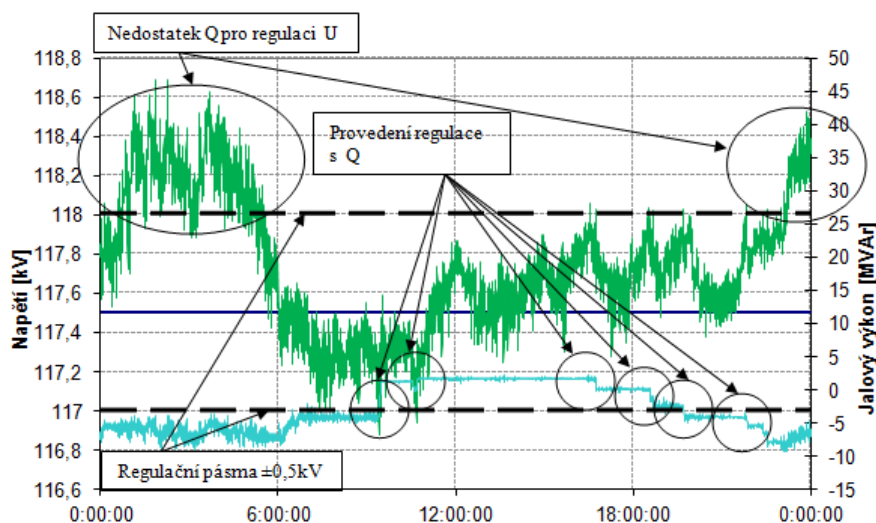
Mezi body 4 – 5 se zvýšila rychlost větru ze 13m/s na maximum 25m/s, kdy dojde k odstavení VtE z důvodu bezpečného provozu. Účinnost stroje se dále snižovala a P se stal konstantním na maximální hodnotě. Při dosažení maximální rychlosti větru se stávají účinnost stroje a P nulovými, jelikož je VtE odstavena.

Po provedeném rozboru grafu č. 5 a jeho jednotlivých úseků je evidentní, že ideálním pro provoz VtE je úsek D, kde se pohybuje rychlost větru v rozmezí 9 – 13m/s. VtE v úseku D dosahují maximální účinnosti i maxima P.

### 2.2.3 Možnosti eliminace provozních problémů VtE

**Činný výkon** – pro případné zmírnění dopadu skokové změny činného výkonu VtE na PS slouží systém Storm control. Tento systém začne pracovat při dosažení maximální rychlosti větru. Při přesažení této rychlosti se postupně snižuje výkon VtE, znázorněno na grafu č. 3. Storm control zamezuje skokovým změnám výkonu a chrání tím zařízení před nadměrným opotřebením a předchází poškození [2].

**Jalový výkon** – řízení jalového výkonu je důležitou činností pro udržení stabilizovaného napětí sítě a jalové složky energie. V dnešní době musí VtE obsahovat vhodný provozní diagram (konstruktéři chtějí ideálně tvar obdélníku), řízení výroby jalového výkonu při nulové výrobě činného výkonu (Systém WindFREE<sup>TM</sup> Reactive Power) a možnost komunikace s nadřazeným regulátorem (napětí, jalový výkon tzv. regulace a komunikace pomocí ASRU/Q viz fotografie řídicí jednotky Příloha F a graf č. 6) [2].

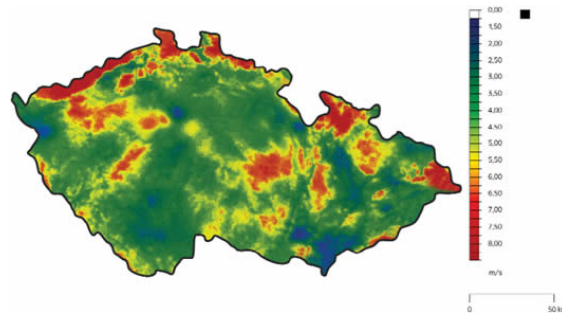


Graf č. 6 Průběh napětí zadaného a regulovaného v závislosti na jalovém výkonu

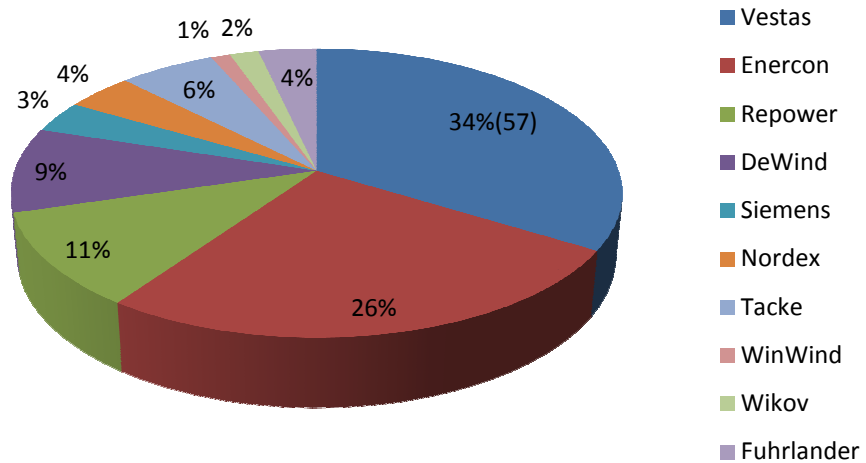
V grafu č. 6 je ukázka regulace napětí rozvodny v tolerančním pásmu  $\pm 0,5\text{kV}$  ze zadaného napětí  $117,5\text{kV}$ . Na tomto grafu je dále viditelné, kdy se použila regulace napětí jalovým výkonem dodávaného z větrné farmy a zároveň i vyčerpání regulační rezervy  $Q$  pro regulaci napětí.

### 2.3 VtE České republiky

Tato kapitola je zaměřena na ukázkou typů VtE a typové rozšířené na území ČR. Analýza je vyhotovena dle materiálu [5] jak v instalovaném výkonu viz. graf č. 7, tak i v počtech VtE viz. graf č. 8 (tabulky k těmto grafům jsou k dispozici v příloze C).

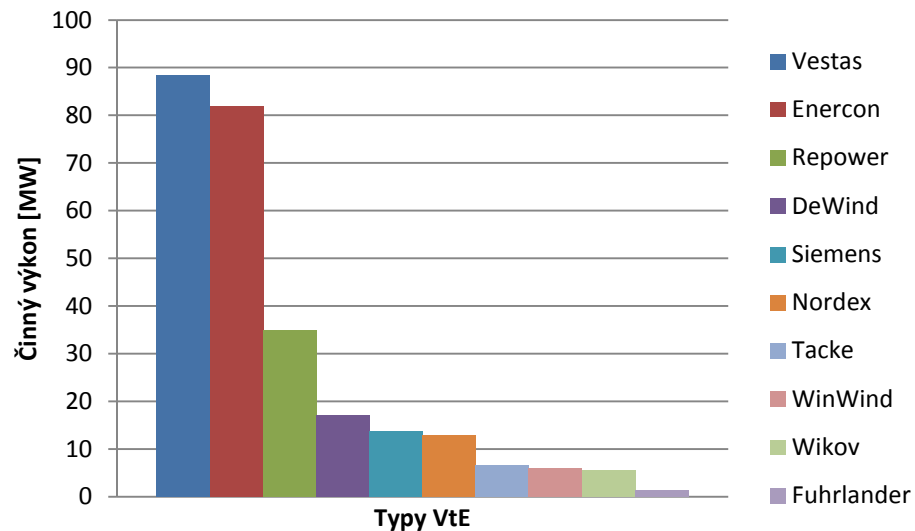


Obrázek č. 10 Větrný atlas ČR [5]



Graf č. 7 Počty VtE v ČR

Na grafu č. 7 lze vidět, že mezi dva nejrozšířenější typy VtE, co se týče do počtu, patří Vestas s 34% (57) a Enercon 26% (44) z celkového počtu 169 VtE ČR.



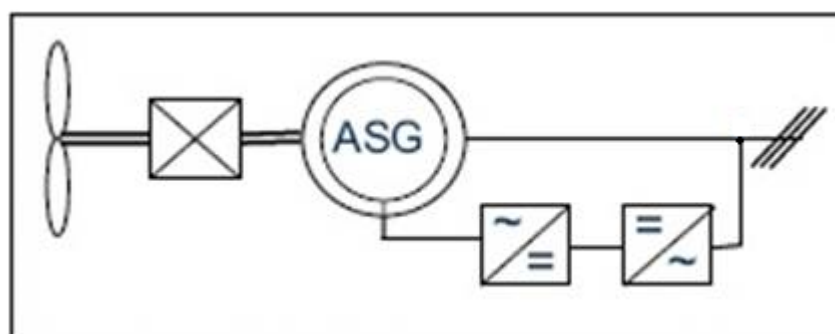
Graf č. 8 Typy VtE podle instalovaného výkonu v ČR

Na grafu č. 8 je dělení VtE ČR podle velikosti instalovaného výkonu jednotlivých typů. Jednoznačně převažují VtE typu Vestas (88,4 MW) a Enercon (81,9MW).

Na základě výše provedené analýzy jsou v další kapitole 2.4 přiblíženy technické parametry VtE typu Vestas. VtE Vestas jsou instalovány i ve větrné farmě, u níž bude provedena analýza průběhů chování ASRU [5].

## 2.4 Vestas V90-2MW

VtE typu Vestas se řadí mezi nejvíce rozšířené v ES ČR dle provedené analýzy v kapitole 2.3. Tento typ VtE je v kategorii elektráren, které využívají převodovku s asynchronním generátorem. Pro znázornění částí této VtE poslouží blokové schéma na obrázku č. 11 [5].



Obrázek č. 11 Blokové schéma VtE Vestas [5]

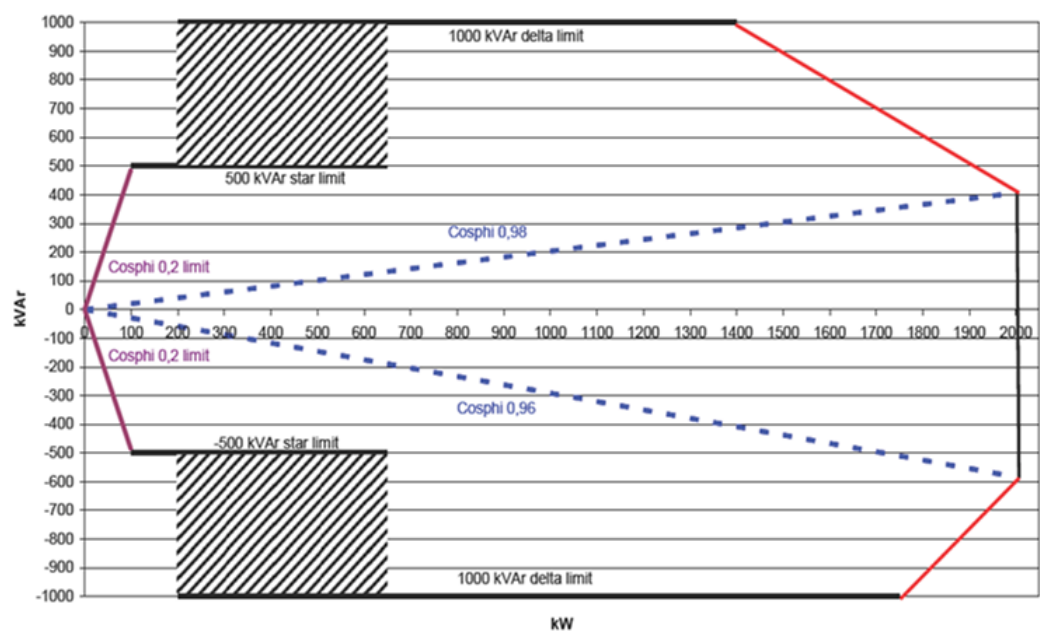
|                          |                   |       |
|--------------------------|-------------------|-------|
| Instalovaný výkon        | [MW]              | 2     |
| Jmenovitá rychlost větru | [m/s]             | 12    |
| Min. rychlost větru      | [m/s]             | 4     |
| Max. rychlost větru      | [m/s]             | 25    |
| Typ generátoru           |                   | AG    |
| Napětí                   | [V]               | 690   |
| Průměr rotoru            | [m]               | 90    |
| Plocha rotoru            | [m <sup>2</sup> ] | 6,362 |
| Výška stožáru            | [m]               | 105   |

Tabulka č. 3 Technické parametry VtE Vestas V90 - 2MW [7]

Z blokového schématu obrázku č. 11 je jasná spolupráce AG s kroužkovou kotvou a FM. Systém je zapojen v kaskádě, tzn. pokud je systém v kaskádě, rotor AG je napájen FM a stator je přímo připojen do ES přes transformátor (nn/vn). Vinutí rotoru se zapojuje přes kroužky a napájí se z FM. Aby bylo možné omezit proudové rázy, je umožněno přepínání generátoru mezi zapojeními Y/D [7].

Systém se řídí multiprocessorově s maximálním využitím větrné energie, ovšem při minimalizaci nepříjemných vlivů na DS [7].

### Provozní diagram VtE Vestas a jeho popis:



Graf č. 9 Provozní diagram VtE Vestas [7]

Provoz s pevně stanoveným účinníkem v mezích od 0,98 (-Q) do 0,96 (+Q) (tj. modrá čárkovaná čára), lze využít maximální činný výkon 2MW. Provozem při jiném účinníku se snižuje možnost využití maxima činného výkonu.

Provozní režim jalového výkonu při zapojení statoru do hvězdy dává možnost využít až 1000kVAr, ale při přibližování k maximu činného výkonu se tato možnost opět omezuje (tj. červené zkosené čáry).

Při změně P se systém automaticky přepíná Y/D a naopak. Tyto stavy nastávají při překročení nebo podkročení hranice 200kW a 650kW dle nastavení potřebného Q, který řídicí systém nastavuje. Podle aktuální potřeby velikosti Q může být aktuální zapojení Y/D (tj. vyšrafované části grafu č. 9) [7].

## 2.5 Podmínky připojení VtE do ES ČR

Podmínky připojení VtE do ES ČR jsou stanoveny dle materiálu [6]. Požadavkem na nové zdroje je nutnost obsahovat příslušenství pro možné připojení dálkového řízení (ovládací obvod, komunikační trasy mezi elektroměrovými rozvaděči a novými zdroji). V předávacím místě s oddělovací funkcí probíhá připojení s provozovnou DS, která musí být přístupná pracovníkům bez omezení.

Aby bylo možné splnit požadavky připojení systému pro jednofázové do 3,7kV a třífázové do 30kV, musí výrobná obsahovat vybavení, které je schopné sledovat stav sítě s přiřazenými spínacími prvky. Spínací prvky mohou být umístěny samostatně nebo jako součást střídače. Pro sledování chování systému lze využít tří vyhodnocení, kterými jsou sledování změny impedance, fází U nebo změny fázoru U. Sledují se U fází, které jsou připojeny k síti a nejsou schopny ostrovního provozu. Pokud ovšem výrobná disponuje možností ostrovního provozu, je zapotřebí, aby při ztrátě síťového U DS okamžitě byla výrobná odpojena. Ověřování této funkce zastřešuje akreditovaná zkušebna, která vydává protokol o ověření. Povinností výrobce je předložení akreditačního protokolu provozovateli DS.

Výrobný o instalovaném výkonu 100kVA a více musí obsahovat spínač s oddělovací funkcí a vzdálené ovládání se stavovou signalizací. Výrobný, jako jsou např. VtE, nejsou

vázány připojitelností k síti, ale neměly by negativně ovlivňovat chod DS. U těchto výroben lze použít zjednodušené připojení k síti. Povinností výroben je neohrožovat provoz ES.

Připojení větrné farmy do sítě 110kV je možno pomocí zasmyčkování vlastního vedení výrobce a transformátorem umístěným přímo v rozvodně. Pro paralelní provoz DS s výrobny, případně zařízeními odběratelů s vlastními výrobny, je potřeba nalézt vhodné předávací místo. Provozovatel DS rozhodne s ohledem na síťové poměry, požadovaný výkon a způsob provozu výroby, jakým způsobem se provede připojení a určí jeho místo. Díky stanoveným podmínkám by mělo být zajištěno, aby nedocházelo k rušivým účinkům, které mohou ohrozit odběratele nebo dodávky ostatních výroben.

Posuzování připojení na základě zpětných vlivů na síť se provádí pomocí kritérií a to impedance ve společném napájecím místě, připojeného výkonu, způsobu provozu výroby, údajů o ostatních výrobnách a jejich vlivů na napětí v DS. Pro správné posouzení musí být k dispozici skutečně naměřené hodnoty z té oblasti DS, které se to aktuálně týká.

#### **Možnosti připojení výroben:**

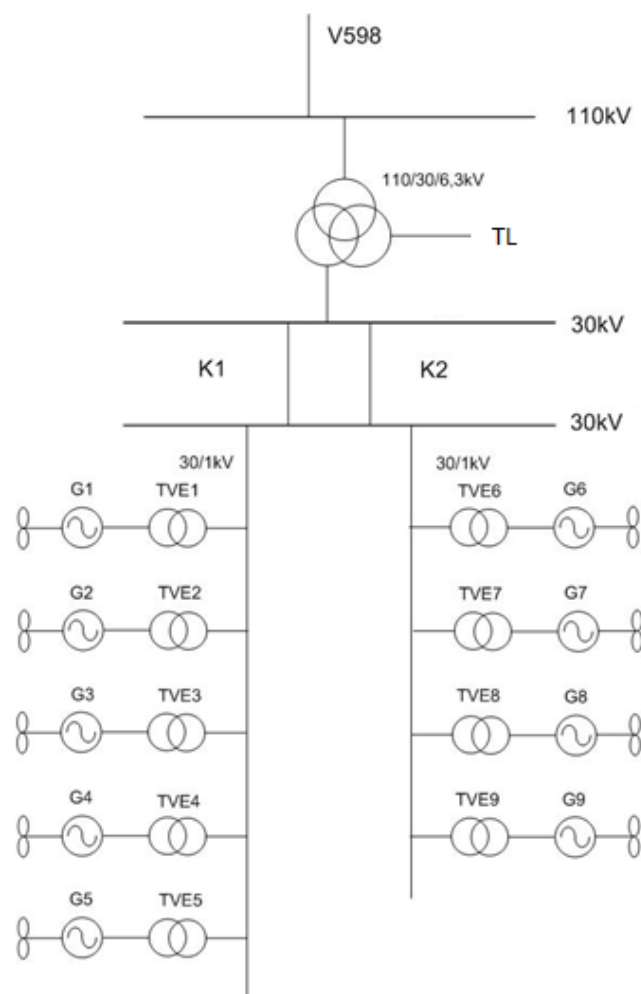
- Přímo k DS,
- v odběrném místě (žádá již připojený),
- v předávacím místě jiné výroby (žádá již připojený).

### 3 Charakteristika farmy VtE

V této kapitole se seznámíme s popisem, způsobem připojení k DS a regulací větrné farmy. Důvodem, proč byla vybrána větrná farma s typem VtE Vestas je, že máme k dispozici ASRU a měření P, Q, U s reakcí transformátoru při napěťových změnách vyvolané farmou VtE.

#### 3.1 Popis větrné farmy

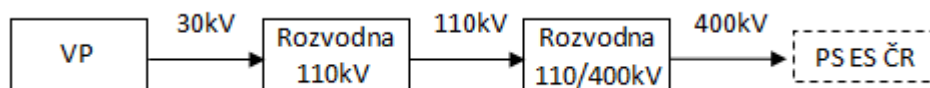
Větrná farma je typově obsazena VtE Vestas V90-2. AG produkuje maximální výkon o hodnotě 2MW. Dále je zde transformátor 1/30kV, který je spojen s rozvodnou farmy VtE 30kV. Z rozvodny větrné farmy je vyvedena energie do TR110/30/6,3kV v rozvodně 110kV. Rozvodna 110kV je vzdálena od farmy VtE přibližně 13km. Schematické znázornění je uvedeno na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12 Farma VtE [7]

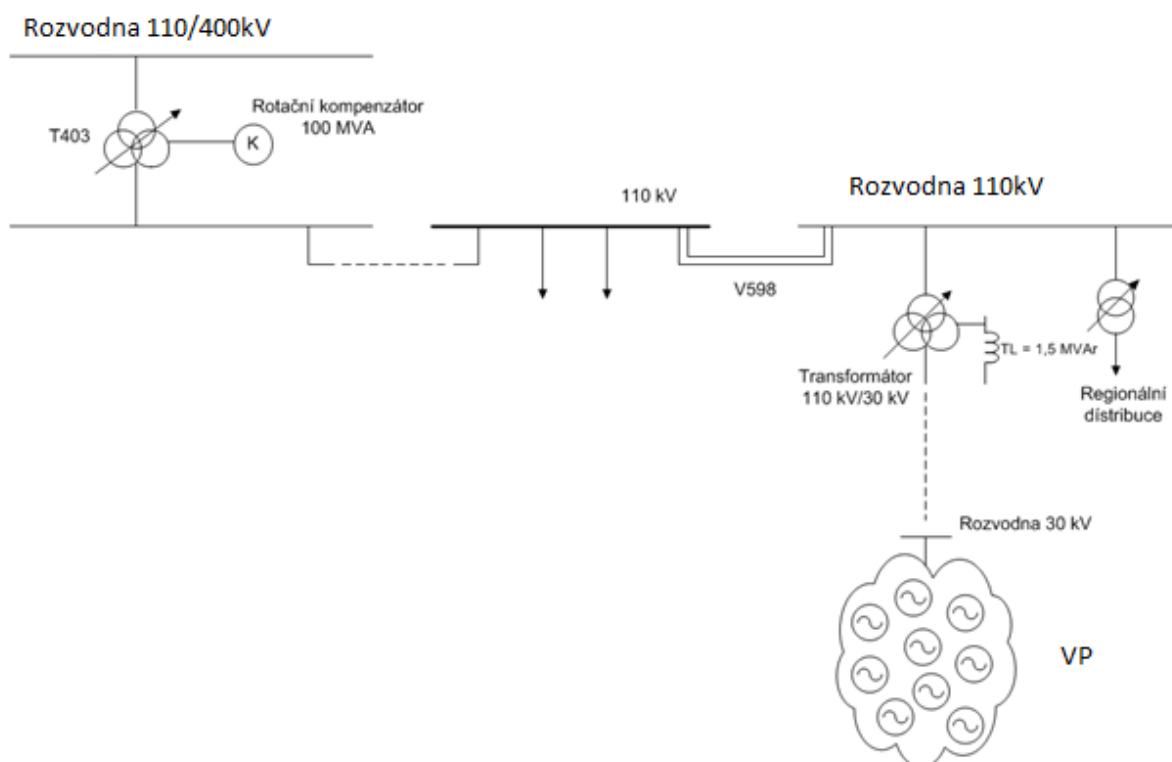
### 3.2 Způsob připojení do DS

Farma VtE je připojena do rozvodny 110kV, odkud je propojena s rozvodnou 110/400kV (T403), která disponuje rotačním kompenzátorem 100MVA. Toto zapojení znázorňuje blokové schéma na obrázku č. 13.



Obrázek č. 13 Blokové schéma připojení větrné farmy do DS

V oblasti rozvodny 110/400kV se předpokládá, že není příliš velký počet průmyslových závodů a je pouze připojena na vedení V598. Můžeme tedy o této rozvodně říci, že má nižší napěťovou stabilitu. Pro možné zapojení farmy VtE z hlediska zvýšení napěťové stability se musely použít 3.vinuťové transformátory 400/110kV, které mají na terciální straně připojen rotační kompenzátor 100MVA. Schéma zapojení je uvedeno v obrázku č. 14.

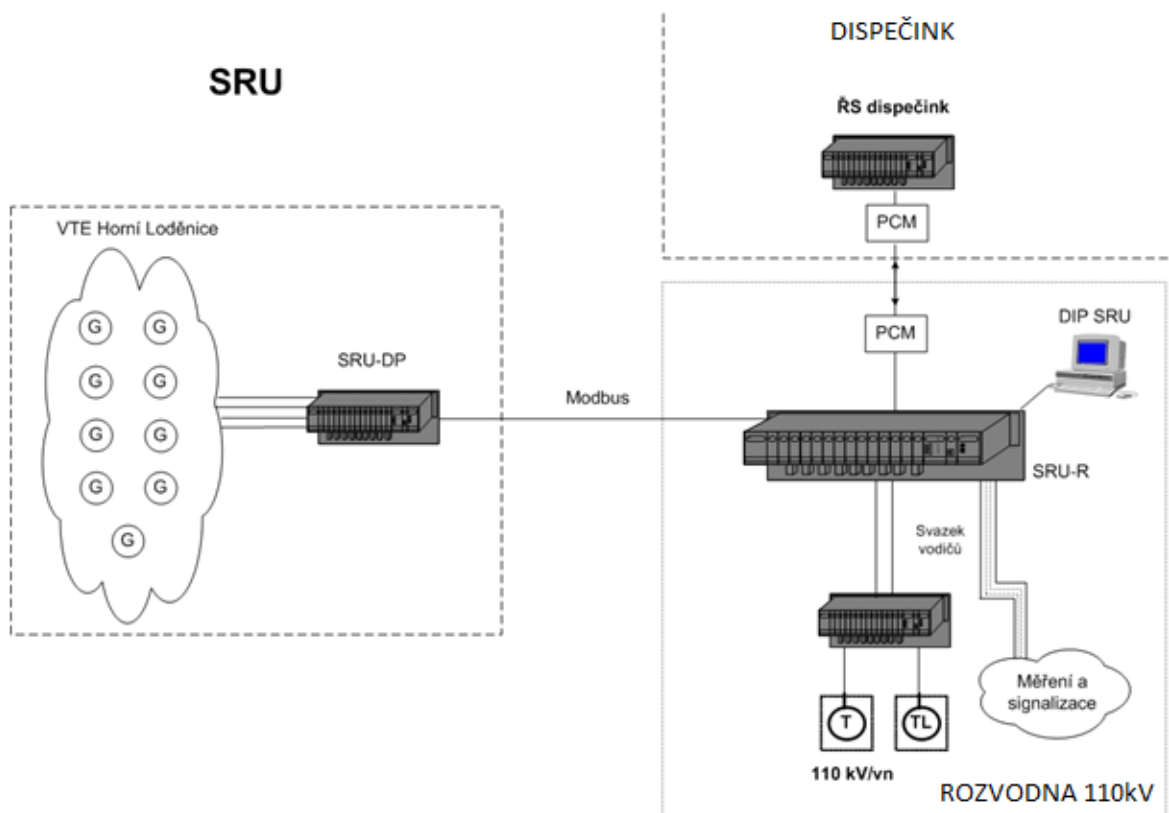


Obrázek č. 14 Schéma zapojení farmy VtE do DS [7]



### 3.3 Regulace napětí větrné farmy

V kapitole o regulaci byla vysvětlena fyzikální podstata Q a U odkud je zřejmé, že v závislosti na těchto parametrech se tedy reguluje i napětí v DS. Aby vůbec měl význam využít Q pro regulaci napětí v ES je zapotřebí větrnou farmu brát jako jeden celek. Do této regulace jsou započteny nejen VtE dané farmy, ale i ostatní příslušenství pro rozvod a regulaci energie, jako jsou např. TL, kabely atd.. Schéma znázorňující regulaci je uveden na obrázku č. 15.



Obrázek č. 15 Schéma regulace farmy VtE [7]

Popis ASRU větrné farmy: Tento systém regulace se skládá ze dvou základních regulátorů.

**SRU-R** – systém regulace rozvodny (tzv. hlavní regulátor):

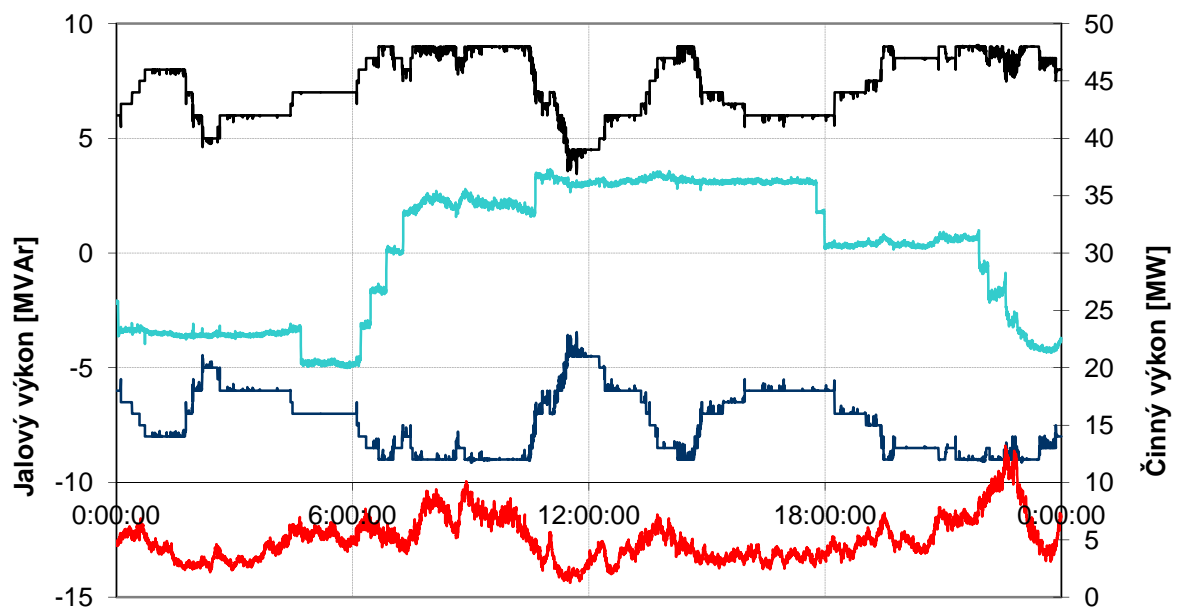
- Komunikuje s dispečinkem,
- připojené pracoviště pro diagnostiku,
- provádí se nezávislá měření,
- ovládá vypínač TL,
- ovládá přepínač odboček na TR 110/30kV,
- řídí připojení farmy VtE.

**SRU-DP** – regulace činného výkonu větrné farmy umístěn v konzole VtE č. 1:

- Komunikuje s nadřazeným regulátorem, tj. SRU-R (modbusu),
- provádí regulaci farmy VtE.

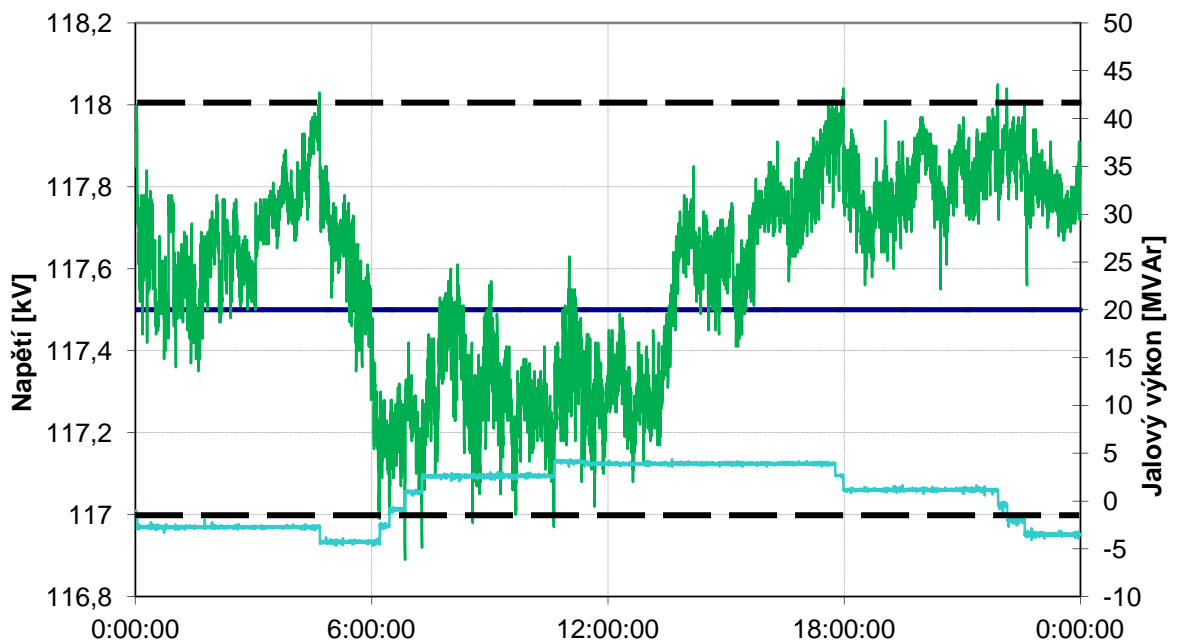
V rozvodně 110kV je umístěno měření napětí (regulovaná veličina) a dále nastaveno napětí na 117,5kV s tolerancí  $\pm 0,5\text{kV}$ . Časová konstanta mezi dvěma regulacemi je nadefinována na 20s. Při déle trvajícím přesažení tolerančního pásma má regulátor možnost připojení TL [7].

Pro znázornění těchto vlastností systému regulace poslouží grafy č. 10 a č. 11, viz níže.



Graf č. 10 Průběhy výkonů farmy VtE

V grafu č. 10 jsou znázorněny pro ukázkou průběhy výkonů, které byly dodávány farmou VtE. Hranice jalového výkonu, který aktuálně mohla farma VtE dodávat do sítě, jsou znázorněny černou a tmavě modrou barvou. Tyto hranice jsou stanoveny z výpočtu podle aktivních VtE Vestas. Na základě rozsahu regulační rezervy Q se dala využít na možnou regulaci napětí pilotního uzlu. Využitý Q je znázorněn světle modrou barvou a lze i pozorovat regulační skoky při aktuální potřebě zvýšení/snížení hodnoty napětí. Poslední křivka zakreslena červenou barvou ukazuje průběh P farmy VtE.



Graf č. 11 Regulační U na rozvodně 110kV

V grafu č. 11 jsou zakresleny průběhy zadané hodnoty napětí (tmavě modrá barva), tj. 117,5kV, regulované napětí (zelená barva) a jalový výkon (světle modrá barva), díky kterému se reguluje. Při každém překročení tolerančních mezí regulátor zareaguje a hodnotu Q upraví pro dodržení tolerančních mezí (čárkované černé čáry).

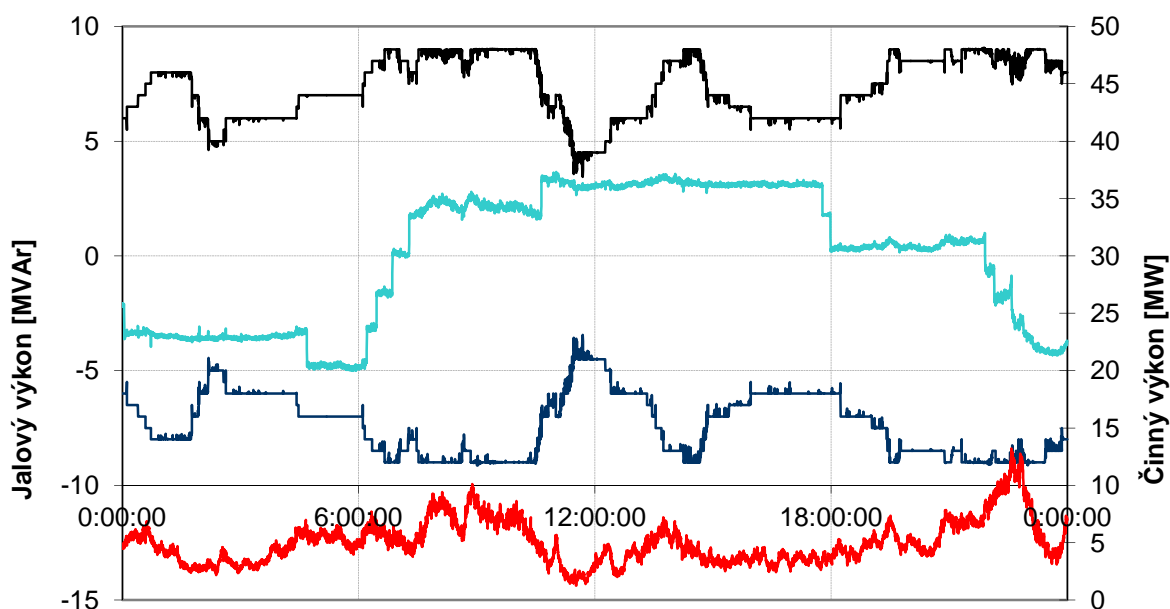
Z výše popsaných grafu č. 10 a č. 11 je zřejmé využití toku Q z/do farmy VtE, dle potřeb sítě pro regulaci U. Změny velikosti dodávaného Q z farmy VtE se projevují v průbězích na rozvodně 110kV.

## 4 Analýza chování SRU větrné farmy

Tato kapitola uvádí nejčastější typové průběhy napětí a jalového výkonu při provozu farmy VtE získané dle materiálu [7]. Využitím ASRU DS je možné za určitých podmínek využít Q pro stabilizaci napětí. Jednotlivé podkapitoly jsou nazvány podle druhu analýzy, co popisují za stav farmy VtE při aktuální situaci.

### 4.1 Ukázková regulace U rozvodny 110kV

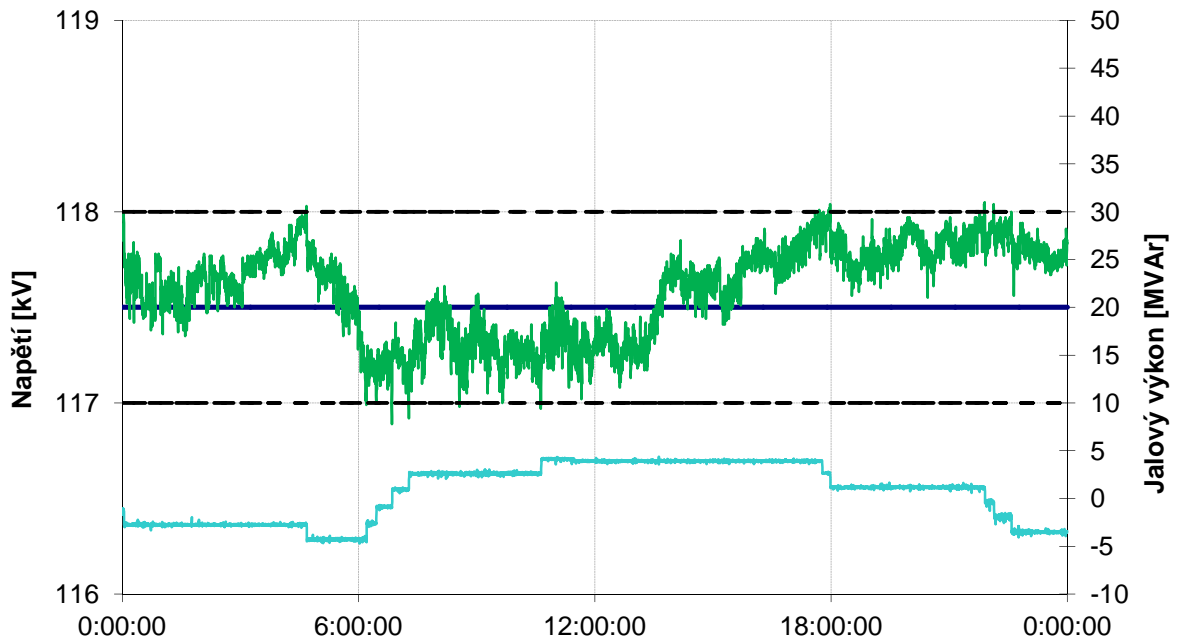
Graf č. 12 ukazuje, jaká byla v tento den regulační rezerva Q a její využití pro regulaci U v závislosti na aktuálním počtu provozuschopných výroben.



Graf č. 12 Využití regulační rezervy Q

V grafu č. 12 lze vidět proměnnost výroby činného výkonu (červená křivka) a také hranic Q (černá a tmavě modrá křivka). Kolem 12:00 hodiny se výroba P natolik snížila, že se tato změna projevila i na hranicích Q, a to snížením cca z  $\pm 9$  MVAR na  $\pm 3$  MVAR. Zúžení regulačního pásma nemělo v danou dobu vliv na regulující hodnotu Q (světle modrá křivka) větrné farmy.

Graf č. 13 zobrazuje, jak bylo po celý den v pilotním uzlu udržováno regulované napětí (zelená křivka) v tolerančních mezích  $\pm 0,5\text{kV}$  (117-118kV). V tento den je evidentní, že nebyl žádný problém s regulací. Hlavními příčinami bezproblémové regulace byly především dobré povětrnostní podmínky a nulová poruchovost v rozvodech ES.



Graf č. 13 Regulace U v rozvodně 110kV

Zadaná hodnota napětí byla nastavená na 117,5kV (tmavě modrá křivka) s tolerancí (čárkované křivky)  $\pm 0,5\text{kV}$  (tj. 117-118kV). Každé překročení tolerančních mezí zaznamenalo ASRU, které na základě zpětnovazebního vyhodnocení zareagovalo ubráním, či přidáním Q (světle modrá křivka).

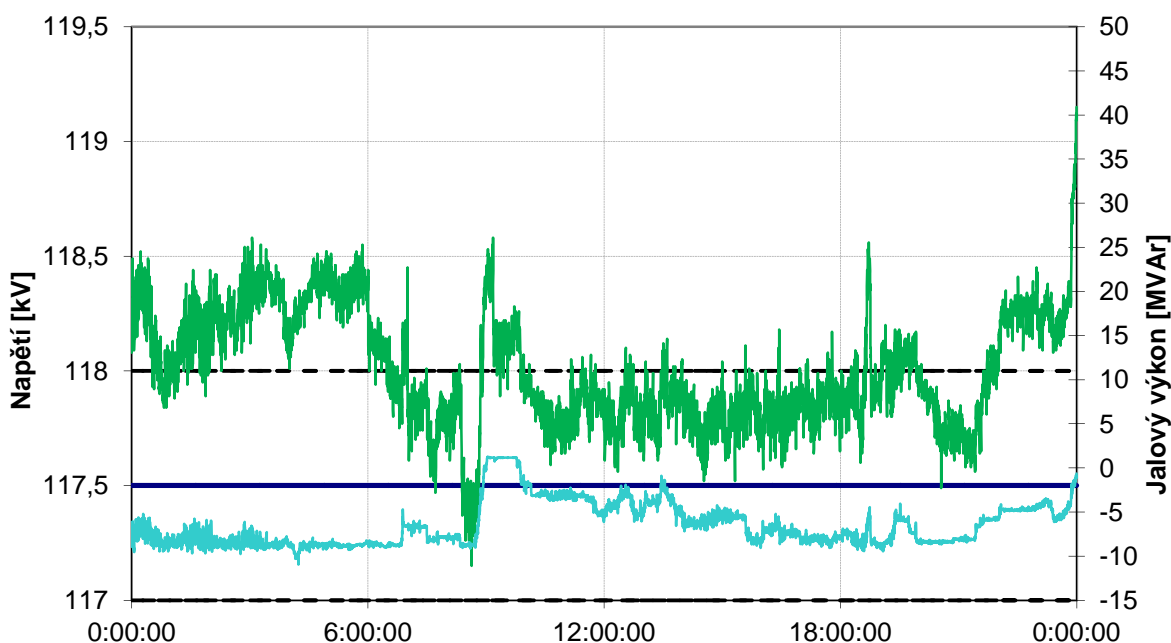
V grafech č. 12 a č. 13 lze vyzorovat shodnost tvarů průběhů Q (světle modré křivky) a dostatečnou rezervu Q větrné farmy pro regulaci U (zelená křivka) v pilotním uzlu rozvodny 110kV.

V čase od 00:00 do 06:00 hodin byla dodávka Q o záporné hodnotě pro udržení U pod horní toleranční křivkou (tj. 118kV). Po 06:00 hodině pozvolně rostla až do kladných hodnot pro udržení U nad spodní toleranční mezí (tj. 117kV), tento stav setrval přibližně do 18:00 hodin. Po 18:00 hodině opět začalo U v pilotním uzlu překmitávat horní toleranční mez

(tj. 118kV), čímž ASRU zareagoval postupným snižováním Q, až do záporné hodnoty za účelem udržení U v tolerančních mezích.

## 4.2 Překračování tolerančních mezí napětí vlivem větrné farmy

Grafy č. 14 a č. 15 znázorňují, z jakých důvodů se dějí náhle změny napětí a proč je nelze uregulovat v pilotním uzlu. Jedním z důvodů, proč se dějí náhlé změny (skoky), jsou neočekávané zastavení provozu větrné farmy, a tím i toku Q. Další důvod, proč nelze dosáhnout regulované hodnoty napětí, aby se pohybovala v tolerančních mezích, je úplné vyčerpání regulační rezervy Q větrné farmy.

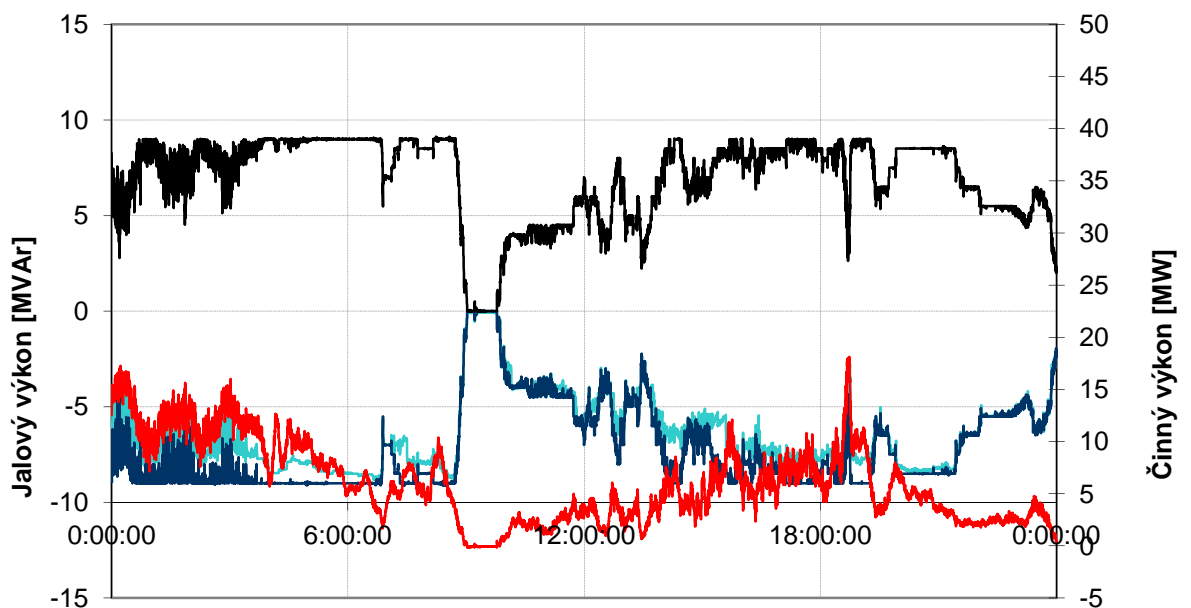


Graf č. 14 Regule U v rozvodně 110kV

Napěťové změny vyvolané větrnou farmou, nikterak zásadně neovlivňují provoz ES, ovšem kdyby se přidalo větší množství těchto výroben, pak by mohlo dojít k ohrožení napěťové stability ES. Při navrhování regulace je vhodné počítat s těmito přirozenými stavy a vykrýt je tak PpS.

V grafu č. 14 je vidět, že od 00:00 do přibližně 06:00 hodin nebyla schopna větrná farma uregulovat napětí (zelená křivka) v tolerančních mezích  $\pm 0,5\text{kV}$  (tj. 117-118kV) v pilotním uzlu z důvodu vyčerpání regulační rezervy Q větrné farmy (světle modrá křivka). Po 06:00

hodině, kdy se U postupně dostávalo do tolerančních mezí, nastal náhlý výpadek provozu větrné farmy, čímž došlo k opětovnému odskočení mimo toleranční meze. Po najetí farmy VtE přibližně v 10:00 hodin se napětí dostalo opět do tolerančních mezí, ovšem lze vidět drobné překmity, které byly zapříčiněny vyčerpáním regulační rezervy Q větrné farmy. Tento stav se opakoval i v časovém intervalu od 22:00 do 24:00 hodin. Jev, který byl již vysvětlen a stal se po 06:00 hodině, se opakoval ještě jednou přibližně v 19:00 hodin, kde příčinou byl nárůst P větrné farmy do hodnoty, která zároveň zúžila pásmo dodávky Q natolik, že se tímto snížila využitelná regulační rezerva Q větrné farmy.



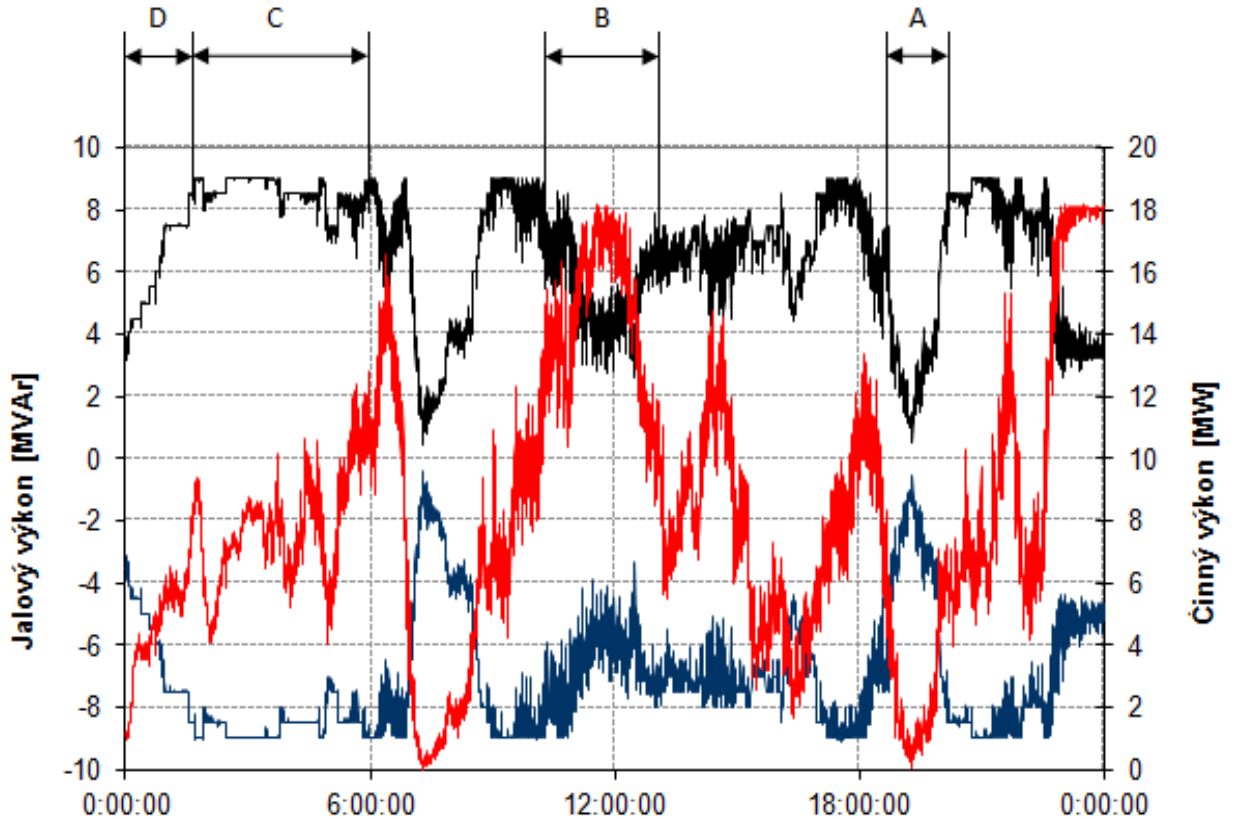
Graf č. 15 Využití regulační rezervy Q

Graf č. 15 ukazuje výpadky provozu větrné farmy (tj. po 06:00 hodině) a změny ve výrobě P (červená křivka), tím i využitelnosti pásma Q (tj. černá a tmavě modrá křivka), pro regulaci napětí pilotního uzlu (projevení je popsáno v analýze grafu č. 14). Regulační hodnota Q (světle modrá křivka) se po celý den pohybovala na spodní hranici regulační rezervy Q.

Rizikový provoz větrné farmy je registrován, když se rychlost větru pohybuje na minimální hranici pro provoz VtE tj. 4 m/s, anebo na maximální hranici, tj. 25 m/s, kdy hrozí výpadek dodávky regulační rezervy Q větrné farmy.

### 4.3 Změna hranic využitelného pásma Q při změnách výroby P

Graf č. 16 ověřuje závislost změny velikosti hranic využitelného regulačního pásma Q pro potřeby pilotního uzlu na aktuálně provozuschopných VtE větrné farmy.



Graf č. 16 Vliv provozuschopných VtE na regulační pásmo Q

V grafu č. 16 jsou znázorněny hranice regulačního pásma, tj. horní mez regulačního pásma značí černá křivka a dolní mez vykresluje modrá křivka. Pro názornou ukázkou výroby P větrné farmy slouží červená křivka. Dále jsou uvedené intervaly A, B, C, D, které vyznačují změny v provozu větrné farmy a regulačních hranic Q. Vyznačení intervalu je záměrně vybráno tak, aby byla změna dobře znatelná.

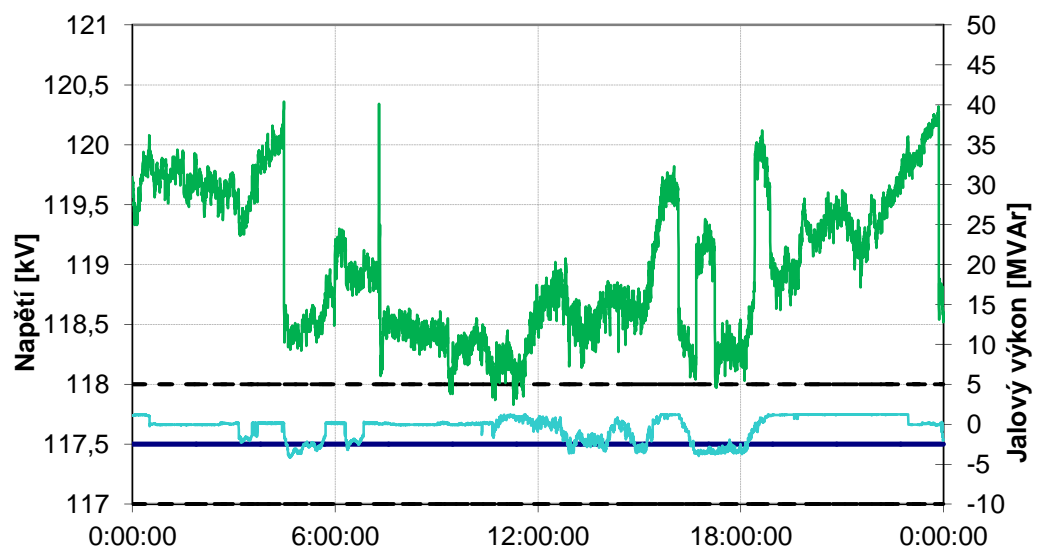


### Popis intervalů:

- A** - rapidní zúžení využitelného regulačního pásma Q vlivem snížení výroby větrné farmy až na téměř nulovou hodnotu.
- B** - opětovné zúžení regulačního pásma Q, vlivem maximální výroby větrné farmy.
- C** - relativně normální provoz a využití maximálního regulačního pásma Q, kdy se větrná farma pohybuje přibližně v polovině výroby (musíme vzít ale na vědomí, že hranice regulačního pásma Q VtE nikdy nebudou rovné křivky z důvodu nestálé výroby větrné farmy).
- D** - postupné najíždění farmy VtE a s tím i související rozšiřování využitelného regulačního pásma Q.

## 4.4 Nesprávně zadaná hodnota napětí

Graf č. 17 znázorňuje průběhy U a Q rozvodny 110kV, kde vlivem nestabilní či nedostačující regulační rezervy pásma Q nebylo možné docílit, aby regulované U se pohybovalo v tolerančním pásmu  $\pm 0,5\text{kV}$  (tj. 117-118kV). Důvodem tohoto negativního vlivu byla přílišná odchylka regulovaného U od hodnoty zadané, kterou ASRU nebylo schopno uregulovat.



Graf č. 17 Průběhy U a Q při neschopnosti uregulování ASRU

Jedním z důvodů, proč nebylo možné uregulovat  $U$  v pilotním uzlu, byla špatně zadaná hodnota  $U$  nebo poruchy v komunikaci s TR 110kV. Vznikla neschopnost regulace  $U$  v tolerančním pásmu.

Při neustálém odebírání  $Q$  na horní či spodní regulační rezervě hrozí vznik přepětí nebo naopak podpětí v síti 30kV, či případný výpadek některé z pracujících VtE nebo celé větrné farmy. K tomuto stavu by však nemělo dojít při zapojení větrné farmy do ASRU a nastavením hodnoty zadaného  $U$  pomocí TRN DS.

## Závěr

V závěru této práce bude provedeno zhodnocení cílů, na kterých byla založena celá problematika využití v provozu obnovitelných zdrojů s konkrétním zaměřením na farmu VtE, která využívá ASRU DS. Na základě zjištěných poznatků o regulaci, provozní technologii VtE, fyzikální vazbě mezi U a Q budou provedeny obecné závěry, které lze rozdělit do tří skupin.

Za regulaci a chod ES ČR zodpovídá ČEPS, který udržuje rovnováhu v zatížení soustavy dle platných zákonů. Z hlediska řízení ES ČR se jedná o plnění určitých služeb, kterými jsou SyS a PpS. Vzhledem k tomu, že se v diplomové práci zabýváme regulací U, se u SyS konkrétně jedná o SRU, která je schopna regulovat pomocí ARN zadané U v pilotních uzlech pomocí výroben Q. Fyzikální vazba U a Q byla ověřena na základě statické charakteristiky zátěže. Další nadřazenou regulací je tzv. terciální, která reguluje U pilotních uzlů. Tuto funkci zajišťuje dispečink. PpS jsou služby placené, certifikované a smluvně ošetřené. Do této služby je zahrnuta sekundární regulace U/Q díky níž fungují SyS.

Charakteristika farmy VtE zahrnuje popis veškerého příslušenství, které slouží k provozu větrné farmy. Tyká se to především vývodové cesty, komunikačního a regulačního systému. Dále jsou uvedeny připojovací podmínky nastavené provozovatelem DS, které by se měly dodržovat, ovšem po prokonzultování s výrobcem.

Úkolem analýzy chování SRU VtE bylo zanalyzovat přirozené stavy chování větrné farmy jako celku a jeho ovlivnění U v pilotním uzlu.

První analýza uvedená v kapitole 4.1 znázorňuje provoz farmy VtE, kdy rychlost větru se pohybovala kolem 12m/s a regulační rezerva Q byla na maximálně využitelných hodnotách. ASRU mohl využít hodnoty Q pro regulaci U v pilotním uzlu. Tento stav nebyl zaručen, jelikož rychlost proudění větru se dynamicky měnil a tím i regulační rezerva Q v závislosti na aktuálním provozuschopném počtu VtE. Není tedy možné tyto výroby certifikovat pro potřeby PpS.

Druhá analýza uvedená v kapitole 4.2 ukazuje možné výpadky provozu větrné farmy vlivem nízkého proudění větru tj. méně jak 5m/s anebo vysokého proudění větru, tj. více jak

25m/s. U vysoké rychlosti větru se farma VtE odpojuje z důvodu bezpečnosti jak lidí, tak zařízení. V průběhu regulace napětí jsou tyto stavy typické tím, že regulovaná hodnota  $U$  může náhle překmitnout mimo toleranční meze, čímž vznikne přepětí/podpětí. Dalším stavem může být absolutní vyčerpání regulační rezervy  $Q$  a neschopnost tak uregulovat žádanou hodnotu  $U$ . Při tomto stavu může dojít k výpadku některé z VtE větrné farmy, jako následek přepětí či podpětí 30kV vedení.

Třetí analýza uvedená v kapitole 4.3 dokazuje změny hranic využitelného regulačního pásma  $Q$  vlivem nadměrné, nebo nedostačující výroby větrné farmy, která je závislá na rychlosti větru. Zde je použita aplikace provozního diagramu VtE typu VESTAS, na základě kterého se regulační rezerva mění.

Čtvrtá analýza, která je obsahem kapitoly 4.4, znázorňuje nesprávně zadanou hodnotu napětí v pilotním uzlu, kdy po celý den nebylo možné dostat regulující napětí do tolerančních mezí. Při tomto stavu by bylo nejideálnější, změnit zadanou hodnotu, ale pro větrnou farmu by tím vznikly určité komplikace dodávky  $Q$ , proto se zadaná hodnota nemění.

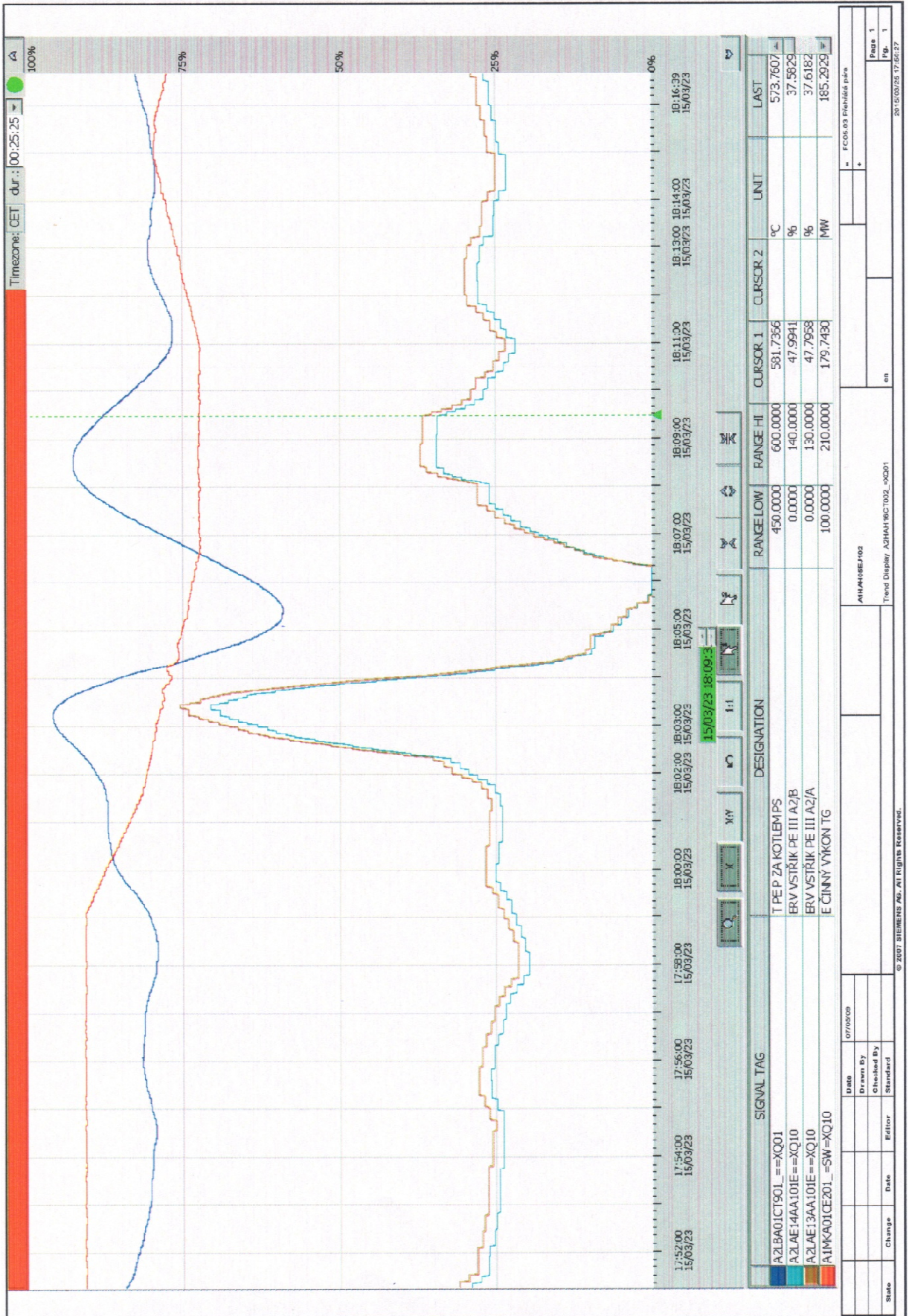
Podle výše vypracovaných cílů je zřejmé, že větrná farma ve spolupráci s ASRU DS je schopným akčním členem v regulaci  $U$ . Tímto můžeme potvrdit, že v současné době nemůžeme nahradit klasickou výrobu obnovitelnými zdroji pro nestálou výrobu energie. Pomocí obnovitelných zdrojů lze pouze odlehčit ekologickému zatížení Země, a proto je zapotřebí se této problematice věnovat i nadále.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2012-2014, 2 sv. (217; 241 s.). ISBN 978-80-251-4106-9
- [2] ING. RICHARD, Habrych Ph.D. *Energie 21: časopis obnovitelných zdrojů energie / . Moderní větrné elektrárny nabízejí nová řešení*. 2013, VI, s. 28-31. DOI: 1803-0394.
- [3] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] KUBÍN, Miroslav. *Přenosy elektrické energie ČR: v kontextu evropského vývoje*. Praha: ČEPS, [2006], 567 s. ISBN 80-239-7272-3.
- [5] Internetová stránka, [www.ČSVE.cz](http://www.ČSVE.cz)
- [6] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy: Příloha 4*. 2014.
- [7] Ing. Richard Habrych Ph.D. ZÁPADOČESKÁ UNIVERSITA V PLZNI. *Systém regulace napětí a jalového výkonu v DS*. Plzeň. 2012. Sys.č. 000185006.

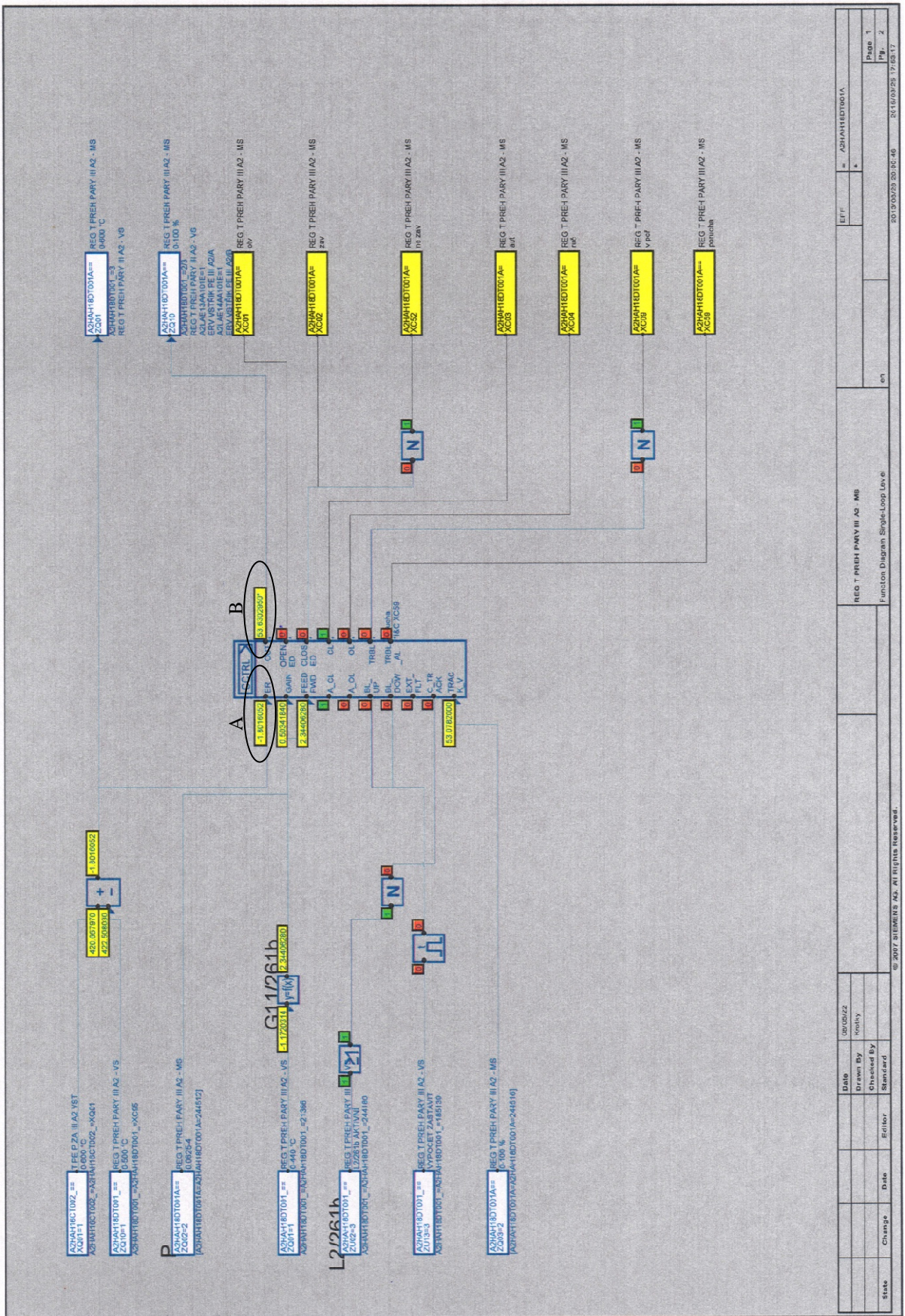
# Přílohy

## Příloha A: Průběhy regulace teploty PE páry VT vstřikovou vodou





Příloha B: Ukázka automatu ERV VT vstříkové vody



| State | Change | Date | Editor | Standard | Checked By | Drawn By | UD/05/22 |
|-------|--------|------|--------|----------|------------|----------|----------|
|       |        |      |        |          |            |          | ivonky   |

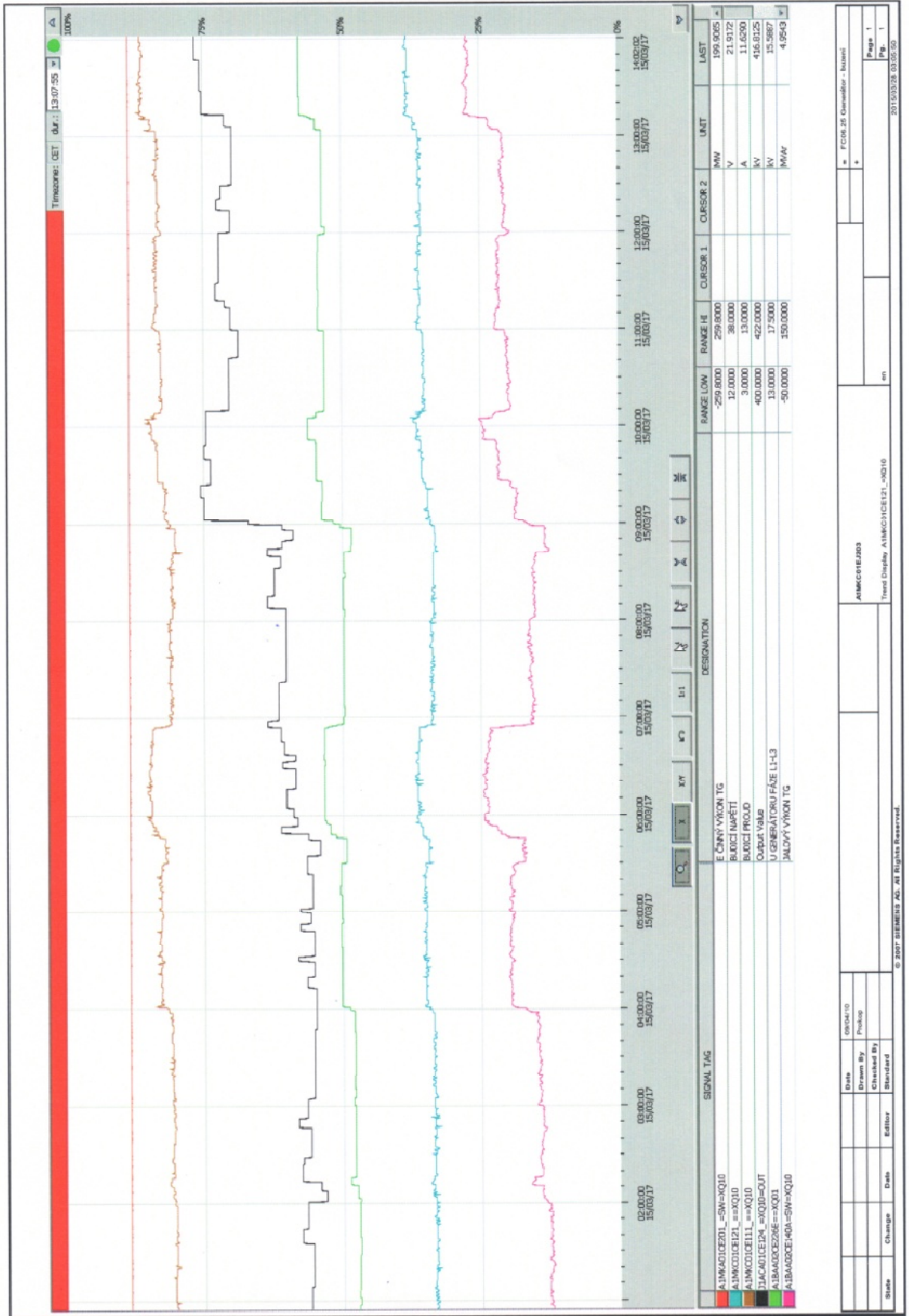
|   |              |    |    |
|---|--------------|----|----|
| REG T PŘEH PARY III A2 -MS              |              | en | en |
| Function Diagram Single-Loop Level      |              |    |    |
| EFF                                     | AZAH18D1001A |    |    |
| Page                                    | 1            |    |    |
| Pg.                                     | 2            |    |    |
| © 2017 SIEMENS AG. All Rights Reserved. |              |    |    |
| 2013/03/29 20:06:46                     |              |    |    |

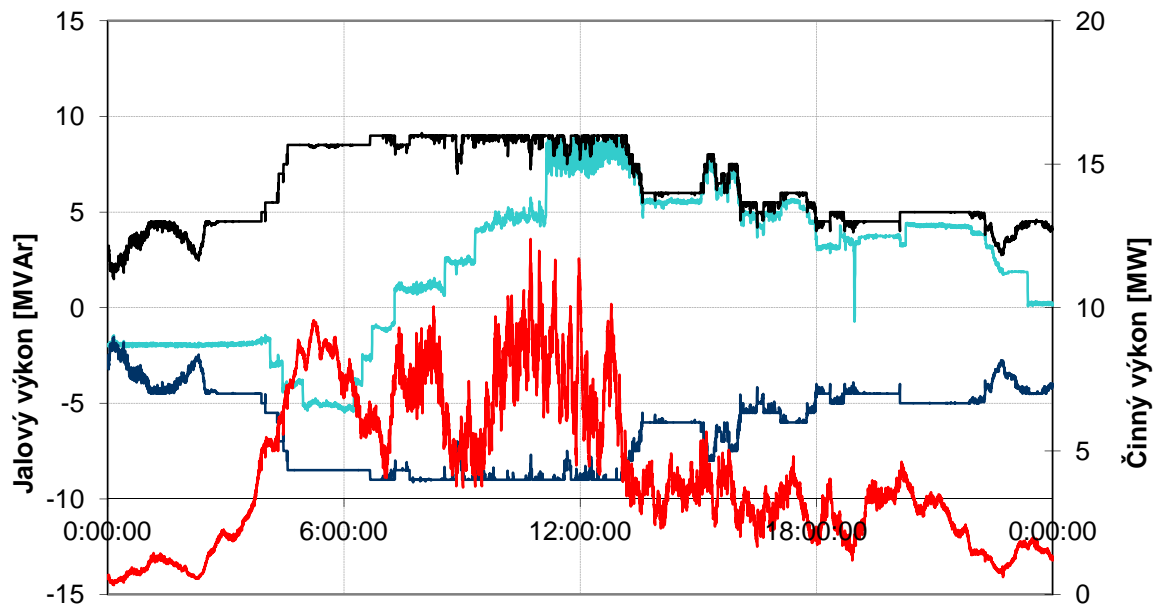
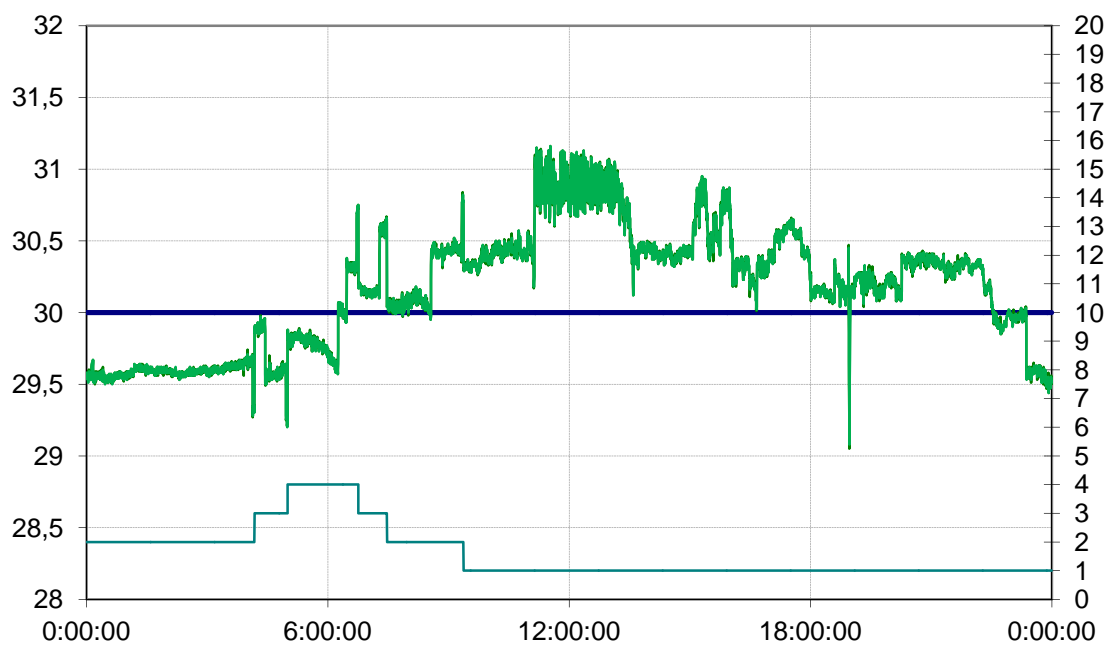






**Příloha D: Regulace U pilotního uzlu**



**Příloha E: Napěťové změny vlivem větrné farmy****Průběh výkonů****Napětí 30 kV**

## Příloha F: ASRU větrné farmy



**Příloha G: Analýza VtE ČR**

| <b>Typ</b>        | <b>Počty VtE [ks]</b> | <b>Počty VtE [%]</b> |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| <i>Vestas</i>     | 57                    | 34                   |
| <i>Enercon</i>    | 44                    | 26                   |
| <i>Repower</i>    | 18                    | 11                   |
| <i>DeWind</i>     | 16                    | 9                    |
| <i>Siemens</i>    | 6                     | 4                    |
| <i>Nordex</i>     | 7                     | 4                    |
| <i>Tacke</i>      | 10                    | 6                    |
| <i>WinWind</i>    | 2                     | 1                    |
| <i>Wikov</i>      | 3                     | 2                    |
| <i>Fuhrlander</i> | 6                     | 4                    |

| <b>Typ</b>        | <b>Inst. Výkon [MW]</b> |
|-------------------|-------------------------|
| <i>Vestas</i>     | 88,4                    |
| <i>Enercon</i>    | 81,9                    |
| <i>Repower</i>    | 34,8                    |
| <i>DeWind</i>     | 17,0                    |
| <i>Siemens</i>    | 13,8                    |
| <i>Nordex</i>     | 12,8                    |
| <i>Tacke</i>      | 6,6                     |
| <i>WinWind</i>    | 6,0                     |
| <i>Wikov</i>      | 5,5                     |
| <i>Fuhrlander</i> | 1,3                     |