

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Podmínky připojitelnosti obnovitelných zdrojů do distribuční  
elektroenergetické soustavy**

**Bc. KSENIIA PECHERITCA**

**2021**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pecheritca** Jméno: **Kseniia** Osobní číslo: **469912**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Podmínky připojitelnosti obnovitelných zdrojů do distribuční elektroenergetické soustavy**

Název diplomové práce anglicky:

**Conditions for connectivity of renewable sources to the electricity distribution system**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Technické principy připojitelnosti OZE do distribuční soustavy.
- 2) Vliv jednotlivých zdrojů a konfigurace distribuční sítě pro připojení OZE.
- 3) Náklady vyvolané připojením obnovitelných zdrojů do distribuční soustavy.
- 4) Modelové příklady připojení obnovitelných zdrojů do distribuční soustavy a ekonomické aspekty připojení OZE.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČEZ Distribuce, a.s.: Pravidla provozování distribučních soustav včetně příloh; 2016, dostupné on line.
- 2) ČEZ Distribuce, a.s.: Připojovací podmínky pro výrobní elektřiny pro připojení k distribuční soustavě ČEZ Distribuce, a.s., Děčín, 2020, dostupné on line.
- 3) MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.01.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2022**

\_\_\_\_\_  
Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů přípravy vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2021

Bc. Kseniia Pecheritca

## **Poděkování**

Děkuji panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za jeho vstřícnost, pomoc a připomínky při vypracování moje diplomové práci. Děkuji také za jeho čas, který mě věnoval, a inspiraci učit se novým věcem. Dále děkuji společnosti EnerGoConsult ČB s.r.o. za poskytování programu DNCalc, který jsem použila jako důležitý nástroj pro vypracování této práci. V neposlední řadě děkuji své rodině za morální podporu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce je věnována tématu obnovitelných zdrojů energie. Řeší se problém připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. Diplomová práce popisuje podmínky připojitelnosti zdrojů do elektrizační sítě a zpětné vlivy tímto vzniklé. Autorka práce také zkoumá ekonomické aspekty a náklady na připojení obnovitelných zdrojů do distribuční soustavy.

Součástí diplomové práce je studie modelového příkladu, která je vyjádřena výpočtem podmínek připojitelnosti vybraných zdrojů. Autorka práce také uvádí způsoby připojení obnovitelných zdrojů energie do sítě.

Součástí diplomové práce je také popis konfigurace distribuční sítě po připojení obnovitelných zdrojů.

Na závěr práce jsou uvedeny způsoby státní podpory zdrojů na bázi obnovitelné energie.

## **Klíčová slova**

Obnovitelné zdroje energie, distribuční síť, připojitelnost, změny napětí.

## **Abstract**

This diploma thesis is devoted to the topic of renewable energy sources. It solves the problem of connecting renewable sources to the distribution network. The diploma thesis describes the conditions of connection of sources to the electricity network and the feedback effects created by this. The author also examines the economic aspects and costs of connecting renewable sources to the distribution system.

Part of the diploma thesis is a study of a model example, which is expressed by calculating the conditions of connectivity of selected sources. The author also presents ways of connecting renewable energy sources to the network.

Part of the diploma thesis is also a description of the configuration of the distribution network after the connection of renewable sources.

At the end of the thesis, the methods of state support of renewable energy sources are presented.

## **Key words**

Renewable energy sources, distribution network, connectivity, voltage changes.

## Obsah

|                                                                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Seznam obrázků .....                                                                                      | viii |
| Seznam tabulek .....                                                                                      | ix   |
| Seznam zkratk .....                                                                                       | x    |
| Úvod.....                                                                                                 | 1    |
| 1 Technické principy připojitelnosti obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy .....           | 2    |
| 1.1 Elektřina z obnovitelných zdrojů energie.....                                                         | 2    |
| 1.2 Distribuční soustava ČR.....                                                                          | 4    |
| 1.3 Obecné podmínky připojení zdroje energie do distribuční sítě.....                                     | 6    |
| 1.4 Technické požadavky na zdroje energie připojené do distribuční sítě.....                              | 8    |
| 1.4.1 Všeobecné požadavky na výrobní elektřiny .....                                                      | 9    |
| 1.4.2 Požadavky na výrobní podle výkonu .....                                                             | 9    |
| 1.4.3 Doplnující požadavky .....                                                                          | 10   |
| 1.5 Podmínky připojení nových výroben do distribuční sítě.....                                            | 11   |
| 1.5.1 Zvýšení napětí .....                                                                                | 11   |
| 1.5.2 Napěťová nesymetrie v sítích nízkého napětí .....                                                   | 12   |
| 1.5.3 Změna napětí při spínání.....                                                                       | 12   |
| 1.5.4 Podmínky připojení vybraných zařízení.....                                                          | 12   |
| 2 Teoretický rozbor .....                                                                                 | 14   |
| 2.1 Větrná elektrárna .....                                                                               | 14   |
| 2.2 Fotovoltaická elektrárna .....                                                                        | 16   |
| 2.3 Malá vodní elektrárna.....                                                                            | 20   |
| 2.4 Elektrárny na biomasu a bioplyn.....                                                                  | 22   |
| 3 Vliv jednotlivých zdrojů a konfigurace distribuční sítě pro připojení obnovitelných zdrojů energie..... | 26   |
| 3.1 Zpětné vlivy obnovitelných zdrojů na distribuční soustavu.....                                        | 26   |
| 3.1.1 Změny napětí.....                                                                                   | 26   |
| 3.1.2 Kolísání napětí.....                                                                                | 27   |
| 3.1.3 Harmonické proudy.....                                                                              | 28   |
| 3.1.4 Ovlivnění signálu HDO.....                                                                          | 30   |
| 3.2 Potlačení zpětných vlivů obnovitelných zdrojů energie.....                                            | 30   |
| 3.2.1 Regulace napětí v síti .....                                                                        | 30   |
| 3.2.2 Potlačení flickru .....                                                                             | 32   |
| 3.2.3 Omezení vyšších harmonických.....                                                                   | 33   |
| 3.2.4 Potlačení zpětných vlivů na signál HDO .....                                                        | 34   |
| 3.3 Konfigurace distribuční soustavy .....                                                                | 35   |
| 3.3.1 Akumulace elektrické energie .....                                                                  | 37   |
| 4 Náklady vyvolané připojením obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy .....                  | 41   |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Legislativa .....                                                                       | 41 |
| 4.2   | Náklady na připojení vybraného obnovitelného zdroje energie.....                        | 43 |
| 4.2.1 | Náklady na vypracování projektové dokumentace a studie připojitelnosti .....            | 44 |
| 4.2.2 | Náklady na vyvedení elektrického výkonu .....                                           | 44 |
| 4.2.3 | Náklady na měřicí a ochranné přístroje.....                                             | 44 |
| 4.2.4 | Náklady na pořízení transformátoru.....                                                 | 44 |
| 5     | Modelové příklady připojení obnovitelného zdroje energie do distribuční soustavy .....  | 45 |
| 5.1   | Teoretický rozbor .....                                                                 | 45 |
| 5.2   | Výpočet připojitelnosti modelového příkladu .....                                       | 46 |
| 5.2.1 | Schéma modelu .....                                                                     | 46 |
| 5.2.2 | Vstupní parametry .....                                                                 | 47 |
| 5.2.3 | Výstupní hodnoty .....                                                                  | 49 |
| 5.3   | Možnosti připojení obnovitelného zdroje energie do distribuční sítě .....               | 52 |
| 5.3.1 | Připojení větrných elektráren .....                                                     | 52 |
| 5.3.2 | Připojení fotovoltaických elektráren .....                                              | 56 |
| 5.3.3 | Připojení malých vodních elektráren.....                                                | 58 |
| 6     | Ekonomické aspekty připojení obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy ..... | 62 |
| 6.1   | Výkupní ceny .....                                                                      | 62 |
| 6.2   | Zelené bonusy .....                                                                     | 63 |
| 6.3   | Národní klimaticko-energetický plán.....                                                | 64 |
|       | Závěr .....                                                                             | 68 |
|       | Literatura .....                                                                        | 69 |
|       | Seznam příloh.....                                                                      | 73 |



## Seznam obrázků

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1.1.1 Výroba elektřiny brutto z OZE v ČR .....                      | 3  |
| Obr. 1.1.2 Podíl OZE na spotřebě brutto v ČR .....                       | 3  |
| Obr. 1.2.1 Schéma distribuční soustavy .....                             | 4  |
| Obr. 1.2.2 Paprsková DS .....                                            | 5  |
| Obr. 1.2.3 Okružní DS .....                                              | 6  |
| Obr. 1.2.4 Mřížová DS .....                                              | 6  |
| Obr. 1.4.1 Schéma zapojení výrobní do DS .....                           | 8  |
| Obr. 2.1.1 Konstrukce větrné elektrárny .....                            | 15 |
| Obr. 2.2.1 Princip fotoelektrického jevu .....                           | 16 |
| Obr. 2.2.2 Náhradní schéma FV článku .....                               | 17 |
| Obr. 2.2.3 Voltampérová charakteristika FV článku.....                   | 18 |
| Obr. 2.2.4 Schéma fotovoltaické elektrárny .....                         | 19 |
| Obr. 2.4.1 Konstrukce elektrárny na biomasu.....                         | 24 |
| Obr. 3.2.1 Regulační charakteristika regulátoru činného výkonu .....     | 31 |
| Obr. 3.2.2 Regulace $Q = f(U)$ .....                                     | 32 |
| Obr. 3.2.3 Schéma podpůrné impedance.....                                | 34 |
| Obr. 3.2.4 Schéma hradícího členu .....                                  | 35 |
| Obr. 3.3.1 Schéma stávající DS.....                                      | 35 |
| Obr. 3.3.2 Schéma decentralizované DS .....                              | 36 |
| Obr. 3.3.3 Rozdělení akumulčních technologií .....                       | 38 |
| Obr. 5.2.5.2.1 Schéma výpočetního modelu .....                           | 47 |
| Obr. 5.2.2 Program DNCalc.....                                           | 49 |
| Obr.5.2.3 Porovnání připojitelnosti vybraných OZE .....                  | 52 |
| Obr. 5.3.1 Schéma připojení VTE přímým vedením do DS .....               | 53 |
| Obr.5.3.2 Schéma připojení VTE do DS. Dálkově ovládaný dělicí bod.....   | 54 |
| Obr.5.3.3 Schéma připojení VTE do DS. Dělicí bod je ve stanici VTE ..... | 55 |
| Obr.5.3.4 Schéma připojení VTE s akumulátory. Vlastní úprava.....        | 56 |
| Obr. 5.3.5 Schéma připojení FVE do DS.....                               | 56 |
| Obr. 5.3.6 Zapojení centrálního měniče FVE .....                         | 57 |
| Obr. 5.3.7 Zapojení řetězového měniče FVE.....                           | 57 |
| Obr. 5.3.8 Zapojení modulového měniče FVE .....                          | 58 |
| Obr. 5.3.9 Schéma připojení MVE do DS.....                               | 59 |
| Obr. 5.3.10 Blokové zapojení MVE do DS.....                              | 60 |
| Obr. 5.3.11 Zapojení MVE do DS se společným transformátorem .....        | 61 |
| Obr. 6.3.1 Výše podpory stávajících OZE podle NKEP .....                 | 66 |
| Obr. 6.3.2 Výše podpory nových OZE podle NKEP .....                      | 67 |

## Seznam tabulek

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 4.1.1 Podíl na oprávněných nákladech za rezervaci příkonu ..... | 42 |
| Tab. 4.1.2 Podíl na oprávněných nákladech za rezervaci výkonu.....   | 42 |
| Tab. 5.1.1 Parametry sítě.....                                       | 47 |
| Tab. 5.1.2 Parametry OZE .....                                       | 47 |
| Tab. 5.1.3 Parametry odběrových míst .....                           | 48 |
| Tab. 5.1.4 Parametry vedení.....                                     | 48 |
| Tab. 5.1.5 Změny napětí. Větrná elektrárna.....                      | 50 |
| Tab. 5.1.6 Flikr. Větrná elektrárna .....                            | 50 |
| Tab. 5.1.7 Útlum HDO. Větrná elektrárna.....                         | 50 |
| Tab. 5.1.8 Změny napětí. Fotovoltaická elektrárna.....               | 51 |
| Tab. 6.1.1 Velikost výkupních cen.....                               | 63 |
| Tab. 6.2.1 Velikost zelených bonusů .....                            | 64 |

## Seznam zkratek

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| DS   | Distribuční síť                      |
| ERÚ  | Energetický regulační úřad           |
| FVE  | Fotovoltaická elektrárna             |
| HDO  | Hromadné dálkové ovládání            |
| KVET | Kombinovaná výroba elektřiny a tepla |
| MVE  | Malá vodní elektrárna                |
| NKEP | Národní klimaticko-energetický plán  |
| NN   | Nízké napětí                         |
| OZE  | Obnovitelný zdroj energie            |
| PDS  | Provozovatel distribuční sítě        |
| PS   | Přenosová soustava                   |
| PWM  | Pulzně šířková modulace              |
| VE   | Vodní elektrárna                     |
| VTE  | Větrná elektrárna                    |
| VH   | Vyšší harmonická                     |
| VN   | Vysoké napětí                        |
| VVN  | Velmi vysoké napětí                  |

## Úvod

Tato diplomová práce je věnována připojitelnosti obnovitelných zdrojů energie do distribuční sítě. Cílem práce je získat poznatky z oblasti obnovitelných zdrojů energie a prozkoumat jejich vliv na elektrizační soustavu.

Obnovitelná energie je předmětem široké diskuse jak z energetického hlediska, tak i z ekologického a ekonomického pohledu. V současné době vzhledem k postupnému vyčerpání zásob tradičních energetických paliv existuje potřeba rozvíjet energetiku obnovitelných zdrojů energie. Podmínkou je efektivní výroba elektrické energie, která je zároveň nenáročná na životní prostředí. Kromě jaderných elektráren těmto požadavkům vyhovují elektrárny na bázi obnovitelných zdrojů. V této diplomové práci budou zkoumány čtyři druhy elektráren: větrné, fotovoltaické, vodní a elektrárny na biomasu a bioplyn.

Moje práce bude rozdělena do šesti kapitol. První kapitola se zabývá technickými podmínkami pro připojení nových OZE do distribuční sítě. Popisuje postup připojení nového zdroje elektřiny do elektrizační soustavy. Na konci kapitoly pojednává o technických požadavcích na nové výrobní elektrické energie, kterým musejí vyhovovat.

Druhá kapitola diplomové práce je věnována teoretickému rozboru elektráren na bázi obnovitelných zdrojů energie. Popisuje princip výroby elektřiny u každé elektrárny a popsána jejich konstrukce. Část této kapitoly je věnována regulaci výkonu jednotlivých elektráren.

Ve třetí kapitole jsou prozkoumány negativní vlivy obnovitelných zdrojů energie na elektroenergetickou soustavu. Tato kapitola také řeší problematiku potlačení jednotlivých zpětných vlivů. Na závěr popisuje konfiguraci distribuční sítě v souvislosti s připojením nových obnovitelných zdrojů energie.

Čtvrtá kapitola je věnována nákladům spojeným s připojením OZE do distribuční sítě. Převážně popisuje legislativně stanovené náklady. Část této kapitoly se zabývá konkrétními náklady na připojení vybraného obnovitelného zdroje energie do distribuční sítě.

V páté kapitole jsou uvedeny výpočty stavu elektrické sítě po připojení vybraného zdroje, čímž bude ověřeno, zda jsou splněny podmínky připojení popsané v předchozích kapitolách. Dále budou uvedeny způsoby připojení elektráren na obnovitelné zdroje energie do distribuční soustavy.

Na závěr jsou rozebrány ekonomické aspekty spojené s připojováním obnovitelných zdrojů do elektroenergetické soustavy.

# 1 Technické principy připojitelnosti obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy

## 1.1 Elektřina z obnovitelných zdrojů energie

Podle české legislativy se obnovitelným zdrojům energie (dále také „OZE“) rozumí: „... obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu“<sup>1</sup>.

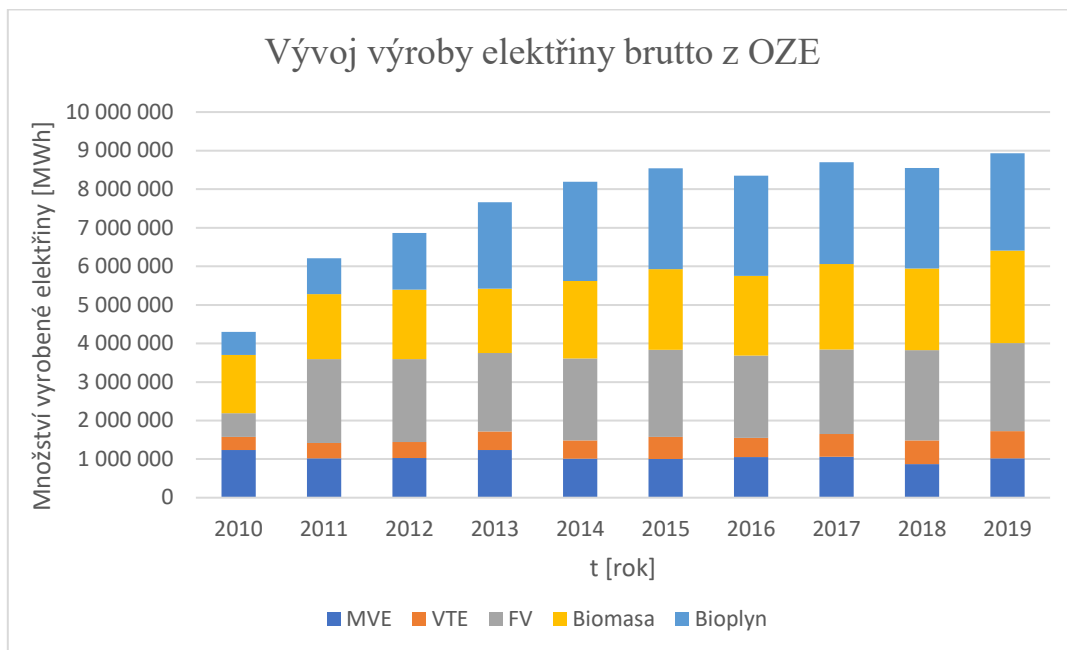
Pochopitelně podle toho, z jakého druhu OZE vyrábíme elektřinu, rozlišujeme elektrárny na větrné, vodní, solární, elektrárny na biomasu a tak dále. Samozřejmě všechny elektrárny mají odlišný princip výroby elektrické energie, nicméně podle zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů je výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie určena jednoznačně: „...se za elektřinu z obnovitelných zdrojů považuje elektřina vyrobená využitím obnovitelných zdrojů naměřená v předávacím místě výroby elektřiny a distribuční soustavy nebo přenosové soustavy, nebo naměřená na svorkách generátoru a snižená o technologickou vlastní spotřebu elektřiny, anebo poměrná část elektřiny pocházející z obnovitelného zdroje v případě společného spalování obnovitelného zdroje a druhotného zdroje nebo neobnovitelného zdroje.“<sup>2</sup>

S rozvojem OZE pochopitelně stoupá množství elektřiny vyrobené z těchto zdrojů. Vývoj výroby elektřiny brutto v posledních deseti letech je vidět na obrázku č. 1.1.1.

---

<sup>1</sup> Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů

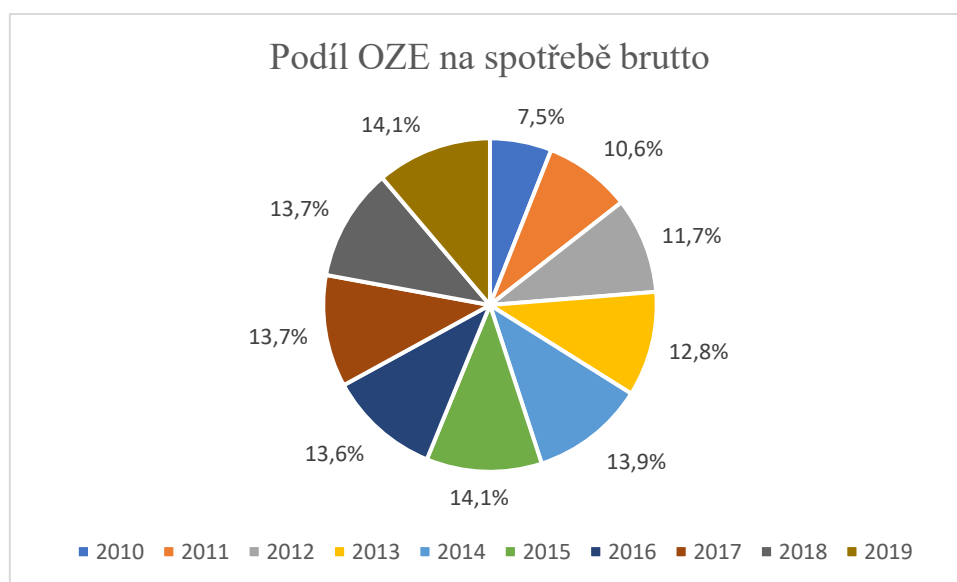
<sup>2</sup> Tamtéž.



Obr. 1.1.1 Výroba elektřiny brutto z OZE v ČR<sup>3</sup>

Během tohoto období se nejvíce zvětšilo množství elektřiny vyrobené fotovoltaickými elektrárnami a elektrárnami na bioplyn. Takový markantní růst je především spojen se zájmem investorů a státní podporou zejména fotovoltaických elektráren pro domácnosti.

S rozvojem obnovitelných zdrojů energie roste i jejich podíl na spotřebě v ČR. Vývoj od roku 2010 až do roku 2019 představuje následující obrázek č. 1.1.2.



Obr. 1.1.2 Podíl OZE na spotřebě brutto v ČR<sup>4</sup>

3 ERÚ. Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc](http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc)

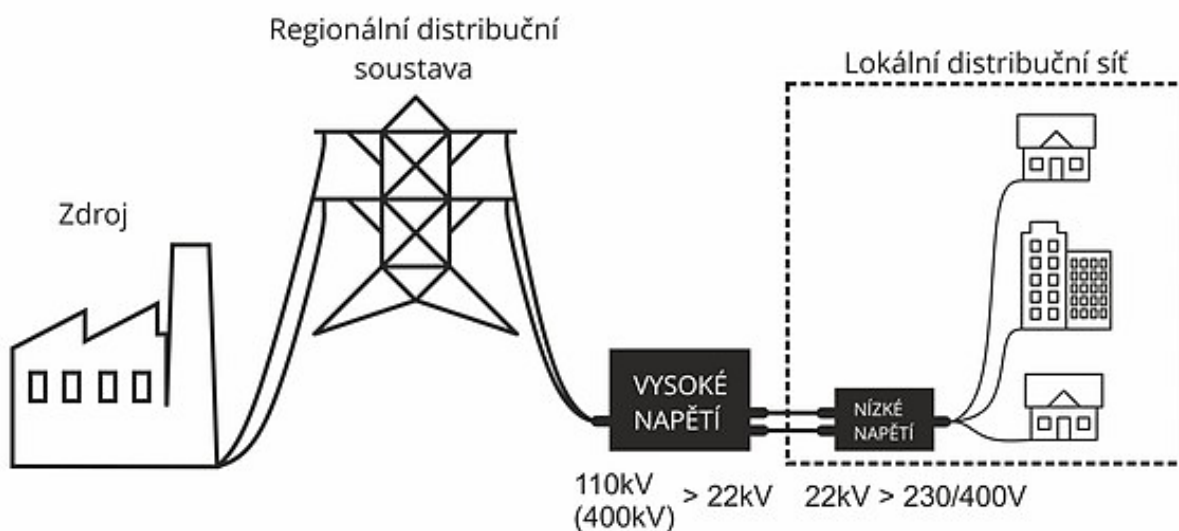
4 MPO. Vývoj podílu obnovitelné energie. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/vyvoj-podilu-obnovitelne-energie--258215/>

Vzhledem k tomu, že se v nejbližší budoucnosti předpokládá další růst celkového instalovaného výkonu OZE a s tím i růst jejich podílu na výrobě elektrické energie, je velmi důležité prostudovat vliv nových výroben na elektrizační soustavu.

## 1.2 Distribuční soustava ČR

Elektrinu vyrobenou jak pomocí OZE, tak i z neobnovitelných zdrojů je stále potřeba dodat konečnému zákazníkovi. Přenos a dodávku elektrické energie zajišťují přenosová a distribuční soustava.

ČEZ Distribuce, a.s., vymezuje pojem **distribuční soustava** (dále také „DS“) jako: „Vzájemně propojený soubor vedení a zařízení o napětí 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV nebo 35 kV sloužící k zajištění distribuce elektriny na vymezeném území České republiky, včetně systému měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky vč. elektrických přípojek ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy. Distribuční soustava je zřizována a provozována ve veřejném zájmu.“<sup>5</sup>



Obr. 1.2.1 Schéma distribuční soustavy<sup>6</sup>

V České republice distribuční soustava elektřiny je spravována třemi distribučními společnostmi ČEZ Distribuce, a.s., PREdistribuce, a.s., EG.D, a.s. Podle energetického zákona provozatel distribuční soustavy mimo jiné vykonává následující úkoly:

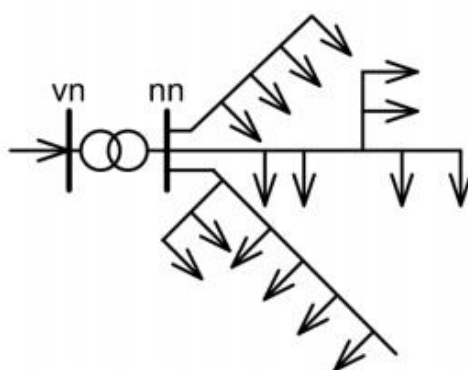
<sup>5</sup> ČEZ Distribuce, a.s. Připojovací podmínky pro výroby elektřiny. str. 3. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/eede/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobny.pdf>

<sup>6</sup> FRANK BOLD Advokáti. Lokální distribuční soustava. [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/sluzby/2525-lokalni-distribucni-soustava>

- „zajišťuje spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj distribuční soustavy na území vymezeném licenci,
- poskytuje služby distribuční soustavy,
- řídí toky elektřiny v distribuční soustavě při respektování přenosů elektřiny mezi ostatními distribučními soustavami a přenosovou soustavou ve spolupráci s provozovateli ostatních distribučních soustav a provozovatelem přenosové soustavy.“<sup>7</sup>

Podle topologie distribuční sít' dělíme na tři typy<sup>8</sup>:

### 1. Paprsková DS



Obr. 1.2.2 Paprsková DS<sup>9</sup>

Nejjednodušší typ DS, většinou se používá k napájení maloodběratelů. Od jednoho zdroje jsou vedeny paprsky, na které jsou napájeny jednotlivé spotřebiče. Nevýhodou této topologie je nízká provozní spolehlivost, jelikož při poruše na paprsku dojde ke ztrátě napájení připojených spotřebičů.

### 2. Okružní DS

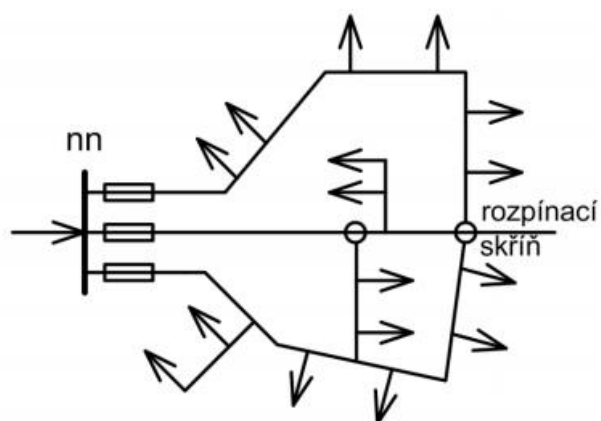
Vzniká připojením volného konce paprsku na přípojnici, z které je napájen. Výhodami zapojení je větší spolehlivost dodávky elektřiny v porovnání s paprskovou sítí, menší kolísání napětí, možnost napájení odběrných míst ze dvou stran. Používá se v sítích velmi vysokého napětí (dále také „vvn“) 100 kV.

<sup>7</sup> Zákon č. 458/200 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

<sup>8</sup> Volně z: SVĚT ENERGIE. Topologie distribučních sítí. [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobně/topologie-distribucních-sítí/vyklad>

<sup>9</sup> PROCHÁZKA, Radek: Přednášky z předmětu Elektroenergetika 2 (B1B15EN2), ČVUT FEL v Praze, 2018

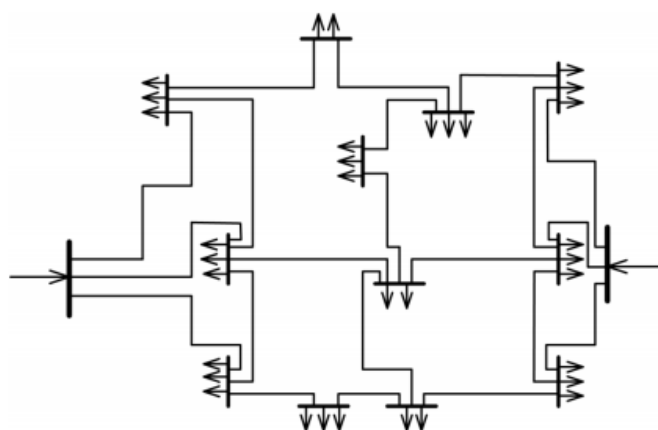




Obr. 1.2.3 Okružní DS<sup>10</sup>

### 3. Mřížová DS

Vzniká vzájemným propojením rozvaděčů, které jsou zároveň připojeny na minimálně dva napájecích zdroje pomocí distribučních transformátorů. Mřížová DS se vyznačuje vysokou spolehlivostí a nejmenším kolísáním napětí. Nevýhodou této topologie jsou velké zkratové poměry a finanční náročnost.



Obr. 1.2.4 Mřížová DS<sup>11</sup>

### 1.3 Obecné podmínky připojení zdroje energie do distribuční sítě

Dle Vyhlášky č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů<sup>12</sup> pro připojení zařízení do distribuční soustavy musí být splněny následující podmínky:

1. podání žádosti o připojení žadatelem,

<sup>10</sup> PROCHÁZKA, Radek: Přednášky z předmětu Elektroenergetika 2 (B1B15EN2), ČVUT FEL v Praze, 2018

<sup>11</sup> Tamtéž

<sup>12</sup> Volně z: Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů

2. vypracování studie připojitelnosti (za určitých podmínek) žadatelem,
3. uzavření smlouvy o připojení mezi žadatelem a provozovatelem distribuční sítě (dále také „PDS“).

**Žádost o připojení** se podává v následujících případech:

- *„před výstavbou nebo připojením nového zařízení...“*,
- *„před změnou rezervovaného příkonu nebo výkonu stávajícího...“*,
- *„před změnou charakteru odběru“*
- *„v případě změny druhu výroby“*,
- *„v případě změny místa připojení k přenosové soustavě nebo distribuční soustavě“*,
- *„v případě zvýšení instalovaného výkonu výroby připojené k distribuční soustavě.“*<sup>13</sup>

V případě, že nová výrobní elektrická energie má instalovaný výkon větší než 0,5 MW, musí žadatel o připojení také vypracovat harmonogram přípravy výstavby výroby. *„Harmonogram přípravy výstavby výroby obsahuje seznam rozhodnutí, stanovisek a vyjádření orgánů veřejné správy a předpokládané termíny jejich vydání...“*<sup>14</sup>

Vypracování **studie připojitelnosti** je vyžadováno provozovatelem distribuční soustavy ve dvou případech:

- bude-li nové zařízení, o které se jedná, mít vliv na provoz distribuční soustavy,
- bude-li nové zařízení připojováno na hladinu vysokého napětí (dále také „vn“) a vyšších napětí.

V takové situaci lze říct, že pokud se žádá o připojení OZE, bude od žadatele skoro vždy vyžadováno vypracování dané studie. Některé obnovitelné zdroje nemají stálý výkon, čímž je ve výsledku negativně ovlivněna elektrická síť.

Žádost o připojení nového zařízení je posuzována provozovatelem přenosové nebo distribuční soustavy podle následujících kritérií:

- *„místo a způsob požadovaného připojení“*,
- *„velikost požadovaného rezervovaného příkonu nebo výkonu a časový průběh zatížení“*,
- *„spolehlivost dodávky elektřiny“*,
- *„charakter zpětného působení zařízení žadatele na přenosovou nebo distribuční soustavu“*,

---

<sup>13</sup> Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů

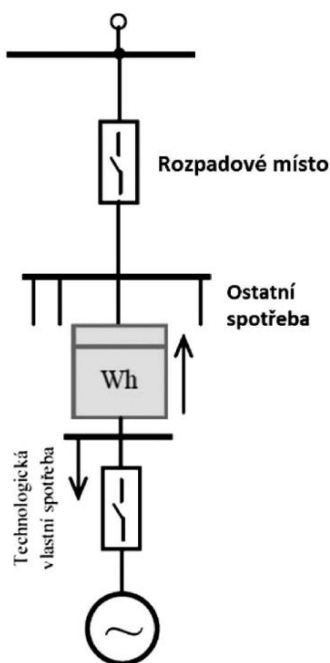
<sup>14</sup> Tamtéž

- *plánovaný rozvoj soustavy,*
- *pořadí podaných žádostí,*
- *limity připojitelného výkonu do elektrizační soustavy stanovené provozovatelem přenosové soustavy,*
- *velikost instalovaného výkonu výroby a*
- *povinnost přednostně připojit výrobu elektřiny z podporovaného zdroje k přenosové nebo distribuční soustavě podle zákona o podporovaných zdrojích energie“<sup>15</sup>*

V případě splnění všech podmínek připojitelnosti předloží provozovatel DS žadateli návrh **smlouvy o připojení** nebo návrh smlouvy o smlouvě budoucí o připojení.

#### 1.4 Technické požadavky na zdroje energie připojené do distribuční sítě

Dále popsané technické požadavky se vztahují na výrobní elektrické energie. Je potřeba podotknout, že ne všechna zařízení připojována do DS jsou výrobními. Charakter připojovaného zařízení se určí podle jeho zapojení, konkrétně podle umístění rozpadového místa výrobní ve vztahu k zapojení připojovaného zařízení.<sup>16</sup> Pokud při připojení nového zařízení do distribuční sítě jeho rozpadové místo umožňuje ostrovní provoz alespoň částečně, jedná se o výrobní elektrický. Schéma ilustrující daný případ je na obrázku č. 1.4.1. V opačném případě mluvíme o připojení odběrného místa.



Obr. 1.4.1 Schéma zapojení výrobní do DS<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů

<sup>16</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>17</sup> Tamtéž

#### 1.4.1 Všeobecné požadavky na výrobní elektrárny

Uvádění do provozu nové výrobní elektrárny nebo rekonstrukce stávající musí být provedeno se souhlasem provozovatele distribuční soustavy, k němuž podle lokality patří daná elektrárna. PDS v této souvislosti má na starosti také<sup>18</sup>:

- rozhodování o způsobu připojení elektrárny: na hladinu nízkého napětí (dále také „nn“), na hladinu vysokého napětí (dále také „vn“) pomocí samostatného vývodu nebo jiné,
- určení podmínek provozu výrobní v souladu s platnou legislativou.

Výrobní elektrické energie musí vyhovovat následujícím požadavkům:

- *„Všechny výrobní (kromě zjednodušeně připojených mikrozdrojů bez přetoku výkonu do DS) musí být schopny operativního odpojení od DS při stavech nouze nebo předcházení stavu nouze.*
- *Nově připojované výrobní musí umožňovat regulaci činného a jalového výkonu dle požadavků PDS.*
- *Provoz výrobní nesmí v místě připojení zhoršit parametry kvality elektrické energie dle aktuálně platné verze ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“ a způsobovat nedovolené změny napětí v DS.*
- *V případě výrobní s přetokem výkonu do DS je povinností výrobce zajistit obchodní zúčtování dodávky výroby do DS se svým obchodníkem.*
- *Provozovatel výrobní je povinen nepřekračovat sjednanou hodnotu rezervovaného výkonu a zajistit, že ani maximální okamžité hodnoty výkonu dodávaného do DS nepřekročí hodnotu odpovídající hodnotě rezervovaného výkonu.“<sup>19</sup>*

#### 1.4.2 Požadavky na výrobní podle výkonu

Technické požadavky na vybavení výroben se stanovují s ohledem na možnost řízení činného výkonu elektrárny při stavu nouze a paralelní připojení výrobní do distribuční soustavy.

Dále uvedený text je volnou parafrází z Připojovacích podmínek pro výrobní elektrárny společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

#### **Výrobní s instalovaným výkonem do 11 kW včetně<sup>20</sup>**

- Není požadován přenos měření a signalizace na dispečink.

---

<sup>18</sup> Volně z: ČEZ Distribuce, a.s. Připojovací podmínky pro výrobní elektrárny. str. 5. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/eede/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobny.pdf>

<sup>19</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>20</sup> Volně z: Tamtéž.

- Schopnost úrovnového řízení činného výkonu pomocí relé přijímače HDO.
- Regulace dodávaného výkonu se musí provádět na úrovních 0 % a 100 % instalovaného výkonu.
- U jednofázových výroben musí být přípojka nízkého napětí a přívodní vedení nn provedeno k prvnímu jisticímu bodu v plném počtu vodičů.

#### **Výrobní s instalovaným výkonem od 11 kW do 100 kW včetně<sup>21</sup>**

- Není požadován přenos měření a signalizace na dispečink.
- Schopnost úrovnového řízení činného výkonu pomocí relé přijímače HDO. Řízení výkonu může být také zajištěno pomocí řídicí jednotky.
- Regulace dodávaného výkonu se musí provádět na úrovních 0 % a 100 % instalovaného výkonu.

#### **Výrobní s instalovaným výkonem nad 100 kW včetně<sup>22</sup>**

- Musí být zajištěn přenos měření a signalizace na dispečink PDS.
- Schopnost víceúrovnového řízení činného výkonu pomocí relé přijímače HDO nebo řídicí jednotky.
- V případě, že výrobní je připojována na hladinu nn, je požadována autonomní funkce Q(U).
- U výroben připojených do sítě vn nebo vvn může být zvolena buď autonomní funkce Q(U) nebo plynulá regulace na požadovanou hodnotu napětí U/Q.

### **1.4.3 Doplnující požadavky**

#### **Fotovoltaické a větrné elektrárny<sup>23</sup>:**

- Regulace dodávaného výkonu se musí provádět současně ve všech fázích na 0, 30, 60 a 100 % jmenovitého výkonu. Při regulaci mezi jednotlivými stupni nesmí dojít k přechodu na 0 % nebo 100 %.
- Připojované větrné elektrárny s výkonem nad 400 kW včetně a fotovoltaické elektrárny s výkonem nad 2 MW včetně musí mít předem specifikované opatření k zamezení nežádoucích vlivů vyšších harmonických na kvalitu elektřiny a signál HDO.

<sup>21</sup> ČEZ Distribuce, a.s. Přípojovací podmínky pro výrobní elektřiny. str. 7. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/ecee/distribuce/pripojovacicpodminkyvyrobny.pdf>

<sup>22</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>23</sup> Volně z: Tamtéž

## Kogenerační jednotky, KVET, malé vodní elektrárny, bioplyn a biomasa<sup>24</sup>:

- Regulace dodávaného výkonu se musí provádět současně ve všech fázích na 0, 50, 75 a 100 % jmenovitého výkonu. Při regulaci mezi jednotlivými stupni nesmí dojít k přechodu na 0 % nebo 100 %.
- Připojované výrobní, jejichž výkon je větší než 400 kW včetně, musí mít předem specifikované opatření k zamezení nežádoucích vlivů na signál HDO

### 1.5 Podmínky připojení nových výroben do distribuční sítě

Připojení jakékoliv výrobní elektrické energie do distribuční sítě musí probíhat za přítomnosti napětí na všech fázích sítě. Současně musejí být nastaveny všechny potřebné ochrany. Spínání elektrárny probíhá pomocí spínače, který je blokován po dobu, než budou splněny tyto podmínky. Doporučuje se nastavit časové zpoždění připojování výrobních modulů a blokových transformátorů.

#### 1.5.1 Zvýšení napětí

Odchylka napětí vyvolaná připojením nového výrobního zařízení do sítě se posuzuje s ohledem na úroveň napětí v předávacím bodě. Hlavní podmínkou je dodržování odchylky napětí  $\Delta u$  v přípojném bodě v určitých mezích.

Pro hladinu vn a vvn platí<sup>25</sup>:

$$\Delta u \leq 2 \%,$$

Pro hladinu nízkého napětí tato hodnota nesmí přesáhnout 3 %.

Pro sítě s jedním přípojným bodem se pro posuzování odchylky napětí používá zkratový poměr výkonů, který se vypočte ze zkratového výkonu v přípojném bodě  $S_{kV}$  a sumy maximálních zdánlivých výkonů připojených či plánovaných elektráren  $\sum S_{Amax}$ <sup>26</sup>:

$$k_1 \leq \frac{S_{kV}}{\sum S_{Amax}} \quad [-, VA, VA] \quad (1.1)$$

V sítích s jedním přípojným bodem zkratový poměr  $k_1$  nesmí přesáhnout pro hladinu vn hodnotu 50 a pro hladinu nn hodnotu 33.

<sup>24</sup> Volně z: ČEZ Distribuce, a.s. Připojovací podmínky pro výrobní elektrárny. str. 8. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobny.pdf>

<sup>25</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 54. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

<sup>26</sup> Tamtéž

Posuzování připojitelnosti na základě zkratového poměru výkonů ale neplatí pro silně induktivní síť. Pro takové síť se používá výpočet komplexní hodnoty impedance sítě, hlavním parametrem je její fázový úhel  $\psi_{kV}$ . Cílem je vypočítat maximální připojitelný výkon elektrárny a na jeho základě potom i způsobenou odchylku napětí.

Pro maximální připojitelný výkon elektrárny  $S_{Amax}$  platí následující zobecněný vztah<sup>27</sup>:

$$S_{Amax} \leq \frac{\Delta u_{dov} * S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} - \varphi)|} \quad [VA; \%, VA, -, -] \quad (1.2)$$

kde  $\varphi$  je úhel mezi napětím a proudem výroby při výkonu  $S_{Amax}$ .

Součástí posuzování připojitelnosti výroby je podmínka dodržování účinníku výroby  $\cos \varphi = 1$  (pokud není stanoveno jinak). Účinník lze regulovat pomocí funkcí  $PF = f(U)$ ,  $P = f(U)$  a  $Q = f(U)$  a to pouze u výroben vybavených těmito funkcemi. Regulace účinníku a výkonů výroby je podrobněji popsána v kapitole 3.2.

### 1.5.2 Napěťová nesymetrie v sítích nízkého napětí

V sítích nn jednofázová zařízení přispívají k napěťové nesymetrii. Podle normy ČSN EN 50160 Ed.3 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“ nesmí dovolená hodnota nesymetrie přesáhnout 2 % jmenovitého napětí sítě. Nejčastěji symetrie napětí je ovlivněna fotovoltaickými elektrárnami. Tyto zpětné vlivy se vypočítávají předem pomocí výpočetních programů.

### 1.5.3 Změna napětí při spínání

Spínání či odpojení zařízení nesmí vyvolat nepřipustné změny napětí ve společném napájecím bodě popsané v podkapitole 1.5.1. Současně také platí podmínka dodržení limity napětí v předávacím místě elektrárny  $\pm 10$  % jmenovitého napětí. Podrobněji o změnách napětí je popsáno v podkapitole 3.1.1.

### 1.5.4 Podmínky připojení vybraných zařízení

- Synchronní generátory

Pro synchronizaci na síť generátory musejí mít takové synchronizační zařízení, které umožní dodržovat následující podmínky:

<sup>27</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 55. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

1. „Rozdíl napětí  $\Delta U < \pm 10 \% U_n$ .
2. Rozdíl frekvence  $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$ .
3. Rozdíl fáze  $< \pm 10^\circ$ <sup>28</sup>.

- Asynchronní generátory

Připojování asynchronních generátorů musí probíhat bez napětí „...při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček“<sup>29</sup>. Pro asynchronní generátory připojované bez napětí v ostrovním provozu platí stejné podmínky jako pro synchronní generátory.

- Střídače a měniče kmitočtu

Pro výrobní se střídači platí podmínka spínání střídačů bez napětí na jejich střídavé straně. Pokud je výrobní se střídačem schopná pracovat v ostrovním režimu, platí stejné podmínky připojování jako pro synchronní generátory.

---

<sup>28</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 58. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

<sup>29</sup> Tamtéž



## 2 Teoretický rozbor

### 2.1 Větrná elektrárna

Princip fungování větrných elektráren (dále také „VTE“) se dá docela snadno vysvětlit. Pro výrobu elektrické energie se využívá kinetické energie větru. Aerodynamické síly působí na listy rotoru, čímž ho roztočí. Rotor přes hřídel pohání generátor elektrické energie. Tímto způsobem je vyráběna elektrická energie.

Výkon VTE lze vypočítat podle následujícího vzorce:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \eta \cdot S \quad (2.1)$$

kde:

- $P$  – výkon [W],
- $\rho$  – hustota vzduchu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],
- $V$  – rychlost proudění vzduchu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $\eta$  – účinnost stroje [-],
- $S$  – plocha rotoru [ $\text{m}^2$ ].

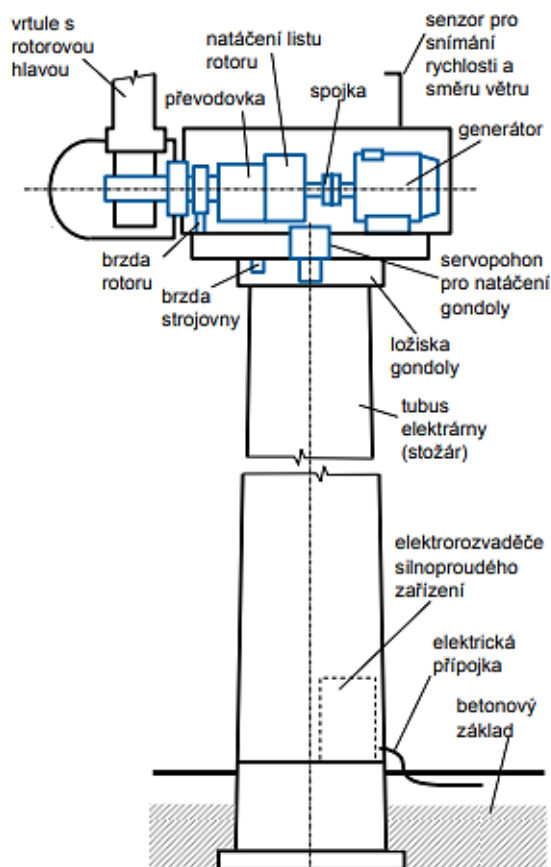
Z výše uvedeného vzorce je vidět, že výkon elektrárny závisí převážně na třetí mocnině rychlosti větru. To znamená, že i malý pokles rychlosti proudění vzduchu se projeví na okamžitém výkonu dodávaném VTE do sítě a celkové účinnosti elektrárny. Minimální rychlost potřebná pro provoz VTE se pohybuje v rozmezí 3 - 5,5  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Maximální rychlost činí zhruba 25  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , přičemž při vyšších rychlostech je rotor zabrzděn a elektrárna je odstavována z důvodu možného poškození vrtule odstředivou silou.

Na obrázku č. 2.1.1 je zobrazena konstrukce typické větrné elektrárny. Konstrukci lze pomyslně rozdělit na dvě části: stožár a strojovna. Stožár je nejčastěji tvořen ocelovými tubusy či železobetonovým dílem, jelikož musí vyhovovat požadavkům na vysokou pevnost a tuhost. Uvnitř stožáru je vedena kabeláž, která je připojena k elektrorozvaděčům silnoproudého zařízení. Větrná elektrárna je pak připojena na síť pomocí elektrické přípojky.

Na vrcholu stožáru VTE je uložena strojovna neboli také gondola. Gondola elektrárny obsahuje:

- vrtuli,
- převodovku, která se používá pro převod proměnlivých otáček rotoru na konstantní otáčky,

- brzdu rotoru – pro odstavení elektrárny při velkých rychlostech proudění vzduchu,
- zařízení pro natáčení gondoly a listů,
- synchronní či asynchronní generátor,
- systém měření rychlosti a směru proudění vzduchu.



Obr. 2.1.1 Konstrukce větrné elektrárny<sup>30</sup>

Jelikož je proudění vzduchu neovlivnitelným parametrem, výkon VTE regulujeme změnou plochy rotoru neboli pomocí listů. V současné době se používají tři metody<sup>31</sup>:

1. Regulace STALL – využitím vztakových vlastností profilu. V případě příliš velké rychlosti větru dochází na sací straně listu k odtržení proudu. Tím je výkon elektrárny snižován a po dosažení maxima i při rostoucích otáčkách se nemění nebo mírně klesá.
2. Regulace PITCH – natáčením listů. Výkon je průběžně měřen elektronickým regulátorem. Pokud je výkon příliš velký, natočí se listy z větru a naopak.
3. Aktivní regulace STALL – natočením listů a odtržením proudu. Při dosažení jmenovitého výkonu se listy otočí do protilehlého směru, čímž se zesílí odtržení proudu.

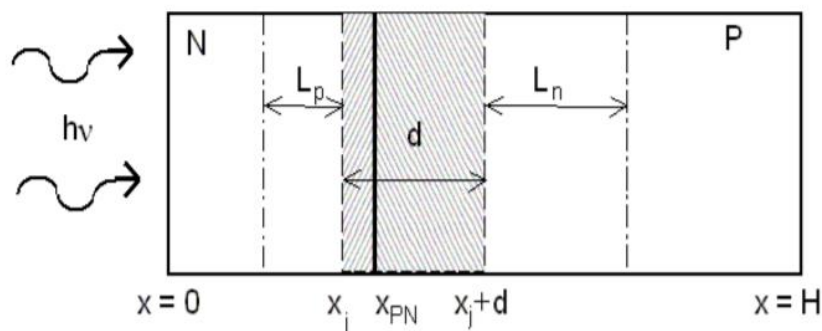
<sup>30</sup> KOČÁRNÍK, Petr: Přednášky z předmětu Strojní struktury elektráren (B1M14SSE), ČVUT FEL v Praze, 2019

<sup>31</sup> Volně z: W.E.B. Větrná energie. Systémy regulace. [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: [https://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie\\_9/systemy-regulace\\_27](https://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie_9/systemy-regulace_27)

## 2.2 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaické elektrárny (dále také „FVE“) jsou v současné době nejrozšířenějším obnovitelným zdrojem energie. Jejich nejmenší a zároveň nejzásadnější součástí jsou fotovoltaické články, jejichž principem je fotoelektrický jev. Fotoelektrický jev lze vysvětlit následovně: elektrony jsou uvolňovány z povrchu materiálu v důsledku interakce světelných částic (fotonů) s krystalovou mřížkou látky. V důsledku absorbování fotonu částicemi hmoty se uvolní elektron a vznikne pár elektron - díra. Cílem je zabránit rekombinaci elektronů a děr, proto se v materiálu vytváří vnitřní elektrické pole, nejčastěji tvořené PN přechodem.

Obrázek č. 2.2.1 znázorňuje princip fotoelektrického jevu. „V ozářené oblasti jsou generovány nerovnovážné nosiče, které difundují směrem k přechodu PN. Hustota proudu je tvořena nosiči, které byly zachyceny oblastí prostorového náboje“<sup>32</sup>. Vestavením elektrického pole tím pádem vznikl rozdíl potenciálu.



Obr. 2.2.1 Princip fotoelektrického jevu<sup>33</sup>

Hustotu elektrického proudu lze popsat vztahem<sup>34</sup>:

$$J_{PV}(\lambda) = J_{PVN}(\lambda) + J_{PVP}(\lambda) + J_{OPN}(\lambda) \quad (2.2)$$

kde:

$J_{PV}$  – celková proudová hustota [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$J_{PVN}$  – proudová hustota v oblasti typu N [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$J_{PVP}$  – proudová hustota v oblasti P [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$J_{OPN}$  – proudová hustota v oblasti prostorového náboje [ $A \cdot m^{-2}$ ],

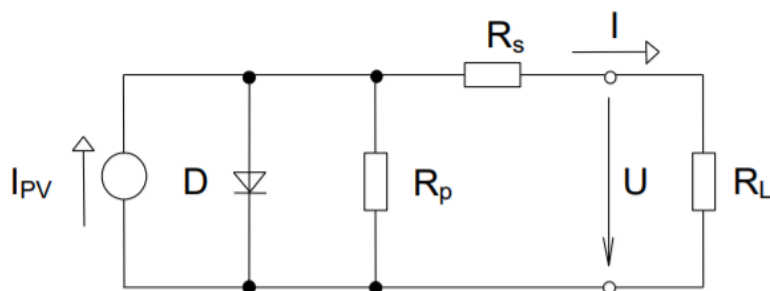
$\lambda$  – vlnová délka [m].

32 BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

33 Tamtéž

34 Tamtéž

Fotovoltaický článek je možné představit pomocí náhradního elektrického schématu.



Obr. 2.2.2 Náhradní schéma FV článku<sup>35</sup>

Ozářený PN přechod je polarizován v propustném směru. Generovaný elektrický proud poteče do zátěže  $R_L$ , přičemž část proudu teče zpět diodou. Paralelní odpor  $R_p$  představuje technologické nedokonalosti, sériový odpor  $R_s$  odpovídá ztrátám v materiálu. Elektrický proud je vyjádřen vztahem<sup>36</sup>:

$$I = A_{ill} \cdot J_{PV} - A \cdot J_{01} \cdot \left( \exp^{e \cdot \frac{U + R_s \cdot I}{k \cdot T}} - 1 \right) - A \cdot J_{02} \cdot \left( \exp^{e \cdot \frac{U + R_s \cdot I}{2 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{U + R_s \cdot I}{R_p} \quad (2.3)$$

Kde:

$U$  – napětí článku [V],

$I$  – proud článku [A],

$A_{ill}$  – ozářená plocha [ $m^2$ ],

$A$  – celková plocha [ $m^2$ ],

$J_{PV}$  – proudová hustota [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$J_{01}$  – proudová hustota v klidovém stavu [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$J_{02}$  – proudová hustota majoritních nosičů [ $A \cdot m^{-2}$ ],

$e$  – náboj elektronu [C],

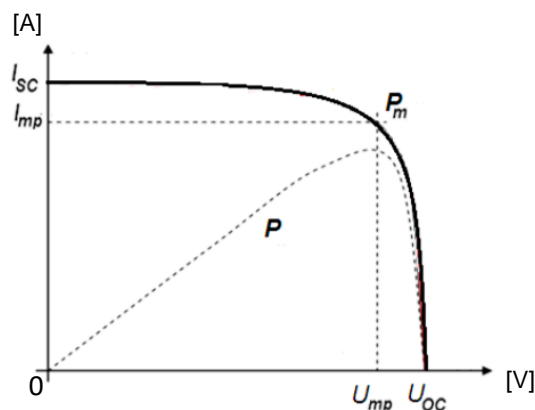
$k$  – Boltzmannova konstanta [ $J \cdot K^{-1}$ ],

$T$  – teplota [K].

<sup>35</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>36</sup> Tamtéž

Voltampérová a zatěžovací charakteristika FV článků je zobrazena na obrázku č. 2.2.3.



Obr. 2.2.3 Voltampérová charakteristika FV článku<sup>37</sup>

Charakteristika obsahuje několik důležitých bodů:  $I_{sc}$  – proud nakrátko, maximální proud dodávaný článkem,  $U_{oc}$  – napětí naprázdno, maximální napětí schopné se objevit na nezátženém článku,  $P_m$  je bod maximálního výkonu FV článku. Výkon fotovoltaického článku je součinem napětí a proudu na článku.

Účinnost FV článků lze vyjádřit rovnicí<sup>38</sup>:

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad [-; V; A; W] \quad (2.4)$$

Všechny charakteristické parametry se určují za standardních testovacích podmínek. Účinnost článku klesá s rostoucím sériovým odporem  $R_s$  a s rostoucí teplotou.

Sériové nebo paralelní zapojení FV článků tvoří FV panely, které jsou následně zapojovány do FV modulů. Fotovoltaická elektrárna, neboli také fotovoltaické pole, je tvořena souborem FV modulů.

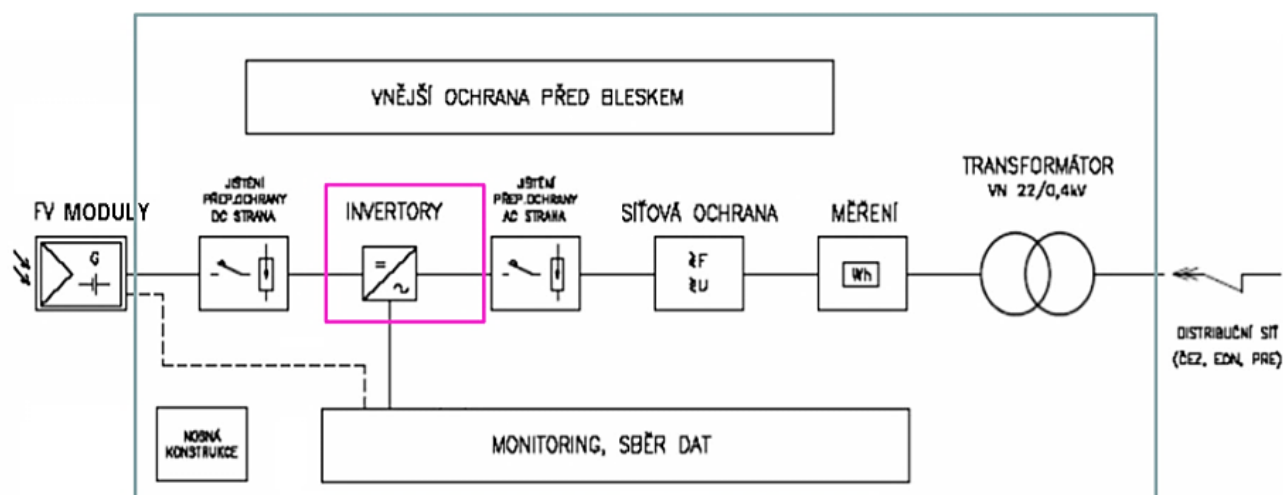
Konstrukce FV elektrárny zahrnuje<sup>39</sup>:

- FV moduly,
- nosnou konstrukci,
- střídače,
- přepěťové, síťové ochrany a ochrany proti blesku,
- AC a DC kabeláž, konektory, měřicí a jistící přístroje,
- transformátor,
- DC regulátor, umožňující sledovat bod maximálního elektrického výkonu článků.

<sup>37</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>38</sup> Tamtéž

<sup>39</sup> Volně z: Tamtéž



Obr. 2.2.4 Schéma fotovoltaiické elektrárny<sup>40</sup>

Podle pravidel připojování zdrojů do DS každá FV elektrárna až na určité výjimky musí být vybavena systémem monitoringu a sběru dat. V doplnění FV elektrárny mohou mít systém akumulace vyrobené elektřiny.

Fotovoltaiické moduly podle jejich konstrukce dělíme na dvě skupiny<sup>41</sup>:

1. s pevnou konstrukcí

Orientace a sklon těchto modulů se určují před montáží konstrukce a jsou konstantní. Regulace výkonu systému s pevnou konstrukcí je velmi omezená.

2. se sledovačem Slunce

Systémy se sledovačem Slunce (neboli také trackery) umožňují rotaci modulů buď kolem jedné osy, nebo kolem dvou os. Takové systémy jsou dražší a složitější, jejich výhodou ale je kvůli natáčení modulů zvýšení absorbovaného množství záření a tím i účinnosti celé FV elektrárny.

Výkon FV systému se spočte podle následující rovnice<sup>42</sup>:

$$P_{AC} = P_{DC} \cdot A_{pole} \cdot G \cdot \eta_{mod} \cdot \eta_{inv} \quad (2.5)$$

kde:  $P_{AC}$  – výkon střídavé strany [W],

$P_{DC}$  – výkon stejnosměrné strany [W],

<sup>40</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>41</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>42</sup> Tamtéž

$A_{\text{pole}}$  – plocha FV pole [ $\text{m}^2$ ],

$G$  – ozáření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],

$\eta_{\text{mod}}$  – účinnost modulů [-],

$\eta_{\text{inv}}$  – účinnost střídače [-].

Energii dodanou FV elektrárnou za jednotku času spočteme jako<sup>43</sup>:

$$W_{AC\Delta t} = \int_{t_1}^{t_2} P_{AC}(t) \cdot \Delta t \quad [\text{Wh}; \text{W}; \text{h}] \quad (2.6)$$

Vzhledem k častým stochastickým změnám výkonu FV elektrárny, které jsou dány proměnlivými klimatickými a jinými podmínkami, jsou solární elektrárny považovány za krajně nestabilní OZE a tím pádem i velmi nebezpečné pro elektroenergetickou soustavu. Je dobré ale uvažovat skutečnost, že většina FV elektráren nemá velký instalovaný výkon, v důsledku čehož nenesou tak velká rizika pro elektrickou síť.

### 2.3 Malá vodní elektrárna

Vodní elektrárny (dále také „VE“) jsou založeny na principu přeměny mechanické energie vodních toků na elektrickou energii. Dříve se pro přeměnu energii využívaly vodní kola, v současné době jsou vodní kola ve většině případů nahrazeny vodními turbínami. Vodní elektrárny se podle velikosti instalovaného výkonu dělí na:

- velké – nad 200 MW,
- střední – 10 MW až 200 MW,
- malé – do 10 MW.

V této diplomové práci se zaměřím na malé vodní elektrárny (dále také „MVE“), jejichž výstavba a následné připojení do elektroenergetické sítě je méně náročné ve srovnání s většími VE jak z energetického hlediska, tak i ze stavebního. MVE se dále dělí na:

- průmyslové – 1 MW až 10 MW,
- minielektrárny – 100 kW až 1 MW,
- mikroelektrárny – 35 kW až 100 kW,
- domácí – do 35 kW.

Podle způsobu přívodu vody dělíme vodní elektrárny na<sup>44</sup>:

- akumulární – spád je zajištěn přehradou,

<sup>43</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>44</sup> KOČÁRNÍK, Petr: Přednášky z předmětu Strojní struktury elektráren (B1M14SSE), ČVUT FEL v Praze, 2019

- derivační – voda je uměle vedena mimo vodní tok pomocí přivaděče,
- přečerpávací – voda se přečerpává z dolní do horní nádrže a naopak.

Přečerpávací elektrárny se výhradně používají pro akumulaci elektrické energie a zejména na pokrytí špičkového zatížení. V době, kdy je energii v síti přebytek, voda je čerpána z dolní nádrže do horní, čímž se spotřebovává elektrická energie a zároveň se akumuluje potenciální energie vody. Naopak v situaci, kdy je potřeba dodat elektrickou energii do sítě, voda se pouští z horní nádrže do dolní přes turbínu, čímž je získána elektřina a je vrácena zpět do sítě. Většina průmyslových MVE je právě přečerpávací.

Výkon vodních elektráren závisí na průtoku vody a měrné energii turbíny. Platí následující vztah:

$$P = g \cdot \rho \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad (2.7)$$

kde:

- P – výkon [W],
- g – tíhové zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ],
- $\rho$  – hustota vody [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ],
- H – užitný spad [m],
- Q – průtok vody [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ],
- $\eta$  – celková účinnost systému [-].

Celková účinnost systému zohledňuje veškeré ztráty procesu přeměny mechanické energie vody na elektrickou energii. Výsledná účinnost zahrnuje účinnost turbíny, generátoru, převodu a někdy i transformátoru.

Z rovnice (2.7) lze odvodit, že okamžitou regulaci výkonu MVE lze provést pouze změnou průtoku. Tato záležitost se realizuje natočením oběžných lopatek turbíny, pomocí rozvaděčů, dýzou anebo klapkou. Poslední dva způsoby se používají u rovnotlakých turbín.

Konstrukce vodní elektrárny se sestává z těchto částí:

- potrubí a přivaděče,
- čisticí stroj a česle (hrubé a jemné),
- turbína (rovnotlaká nebo přetlaková),
- generátor (synchronní nebo asynchronní),
- převodovka,



- stavidlo (regulace průtoku),
- sací roura (zejména u přetlakových turbín),
- řídicí systém turbosoustrojí.

Z hlediska „stálosti“ vody jako zdroje energie a poměrně jednoduché regulace výkonu patří vodní elektrárny mezi „bezproblémové“ OZE. Jejich určitou výhodou je schopnost dodávat konstantní výkon do elektroenergetické sítě. Na druhou stranu je samozřejmě omezena výstavba vodních elektráren z geografických důvodů. Účinnost VE a využití jejich potenciálu v plné míře je velmi závislé na lokalitě elektrárny. K tomu je také potřeba zmínit problém přenosu a distribuce vyrobené elektřiny na velké vzdálenosti. Malé vodní elektrárny z toho důvodu přijdou jako optimální varianta, jelikož mohou být provozovány na husté říční síti menších vodních toků. Také MVE posilují energetickou soustavu, než aby produkovaly nepřijatelné zpětné vlivy.

## 2.4 Elektrárny na biomasu a bioplyn

Dalším důležitým obnovitelným zdrojem energie je biomasa. Obecně řečeno biomasa je organický nefosilní zdroj, do kterého zahrnujeme rostlinné materiály, organický komunální a průmyslový odpad a také odpad živočišné výroby.<sup>45</sup>

Biomasu se podle původu lze rozdělit na dvě skupiny: biomasa pěstovaná záměrně pro energetické účely a biomasa vzniklá jako odpad průmyslové nebo jiné činnosti<sup>46</sup>.

### 1. Pěstovaná biomasa.

Do této skupiny patří rychle rostoucí dřeviny a rostliny bylinného charakteru, jako jsou topol, olše, líska a konopí, ostřík, šťovík. Také se pro energetické účely pěstují olejnaté rostliny jako například len, řepka olejná a slunečnice. Pro výrobu etanolu se používají škrobo-cukernaté rostliny, což jsou cukrová řepa, brambory a jiné.

### 2. Odpadní biomasa.

Tato skupina obsahuje hlavně odpady zemědělského průmyslu z rostlinné výroby a těžby a výroby dřeva. Pro výrobu elektrické energie se používají větve, kořeny, kůra, kukuřičná a řepková sláma a jiné. Také lze omezeně využít již zmíněný komunální odpad, například papírové obaly a zbytky potravin.

<sup>45</sup> Volně z: SVĚT ENERGIE. Spalování biomasy. [online]. [cit. 2021-4-15]. Dostupné z:

<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/spalovani-biomasy/vyklad>

<sup>46</sup> Volně z: VOBOŘIL, David. Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>

Pro energetické účely se biomasa – jak pěstovaná, tak odpadní – musí mechanicky upravit. Tuhá paliva se upravují řezáním, následně drcením. V případě dřevěné biomasy se štěpováním a lisováním vytvářejí brikety. Lisováním jsou také upravovány olejninny.

Volba mechanické úpravy paliva a následný způsob výroby energie v tomto případě závisí na vlastnostech biomasy, kterou můžeme rozdělit do těchto skupin:<sup>47</sup>

1. suchá biomasa – malá vlhkost paliva, lze spalovat přímo.
2. Vlhká biomasa – palivo je potřeba zpracovávat určitým způsobem, nelze spalovat přímo. Vlhká biomasa se používá pro výrobu bioplynu.
3. Speciální biomasa – používá se pro výrobu bionafty a lihu. Do této skupiny patří olejnaté a cukernaté produkty.

Technologie používané pro výrobu energie z biomasy lze rozdělit do tří skupin<sup>48</sup>:

#### 1. Termochemické.

- Spalování. Tento proces se hodí jen pro suchá paliva. Spalování probíhá při teplotách vyšších než 660 °C, výsledkem spalovacího procesu je menší popílek, kvůli kterému je potřeba používat filtry a odlučovače.
- Zplyňování. Proces zplyňování probíhá pyrolýzou, vzduchem, kyslíkem, vodíkem anebo vodní párou. Nejúčinnější z těchto způsobů je proces zplyňování vodíkem, jelikož vzniklý plyn má největší výhřevnost.

#### 2. Biochemické.

Biochemické technologie se používají pro výrobu bioplynu a etanolu.

- Metanové kvašení. Tento proces se spočívá v anaerobní fermentaci organických odpadů. Vzniklý bioplyn má nízkou výhřevnost kvůli velkému obsahu sirovodíku. Pro zlepšení vlastností bioplynu se provádí odsířování.
- Alkoholové kvašení. Alkoholickým kvašením cukrových produktů se získá etanol, který je po fermentaci oddělován destilací.

#### 3. Chemické.

K chemickým procesům patří proces esterifikace. Z řepkového či jiného oleje se vyrobí bionafta. Výhodou tohoto paliva je jeho podobnost klasickým naftovým produktům z hlediska

---

<sup>47</sup> Volně z: VOBOŘIL, David. Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>

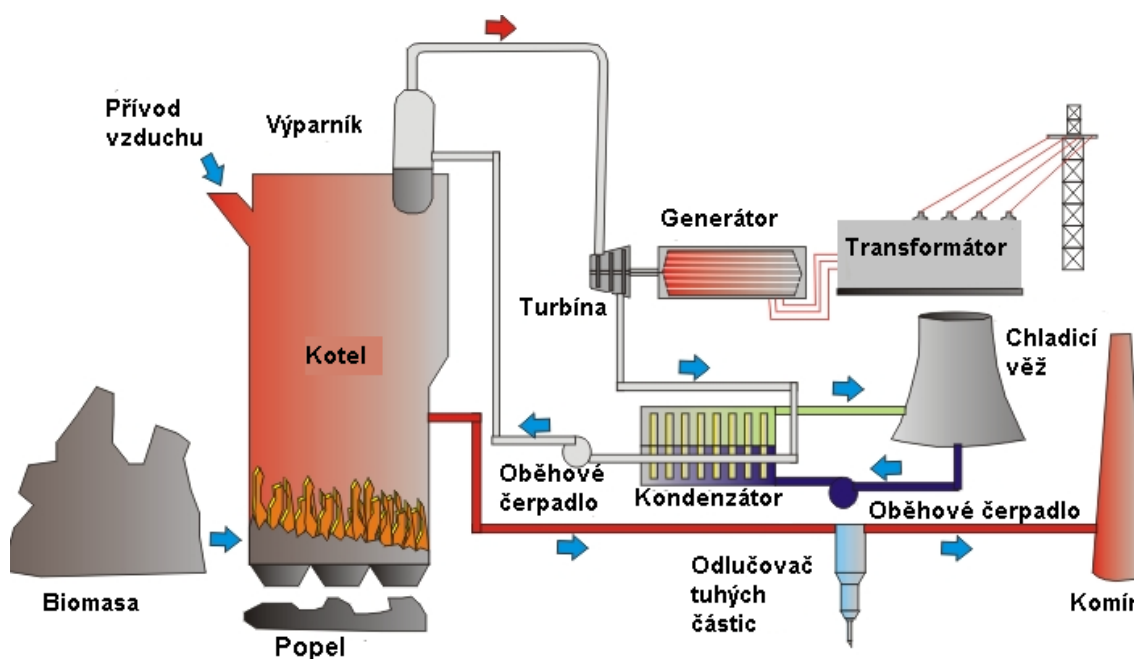
<sup>48</sup> Volně z: MOUDRÝ, J., KALINOVÁ J. Pěstování speciálních plodin. Energetické využití biomasy. [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/>

viskozity, hustoty a výhřevnosti. Pro použití bionafty proto není potřeba provádět konstrukční změny motorů, které byly navrhovány pro motorovou naftu.

Zjednodušený princip elektrárny na biomasu je zobrazen na obrázku č. 2.4.1. Konstrukce elektrárny se sestává z těchto zařízení:

- kotel, kde se biomasa nebo bioplyn spaluje,
- výparník, přes který vzniklý plyn vstupuje do turbíny,
- turbína,
- generátor,
- transformátor,
- kondenzátor, kterým prochází zbytky plynu,
- chladičí věž a komín.

Součástí elektrárny také bývá odlučovač tuhých částic.



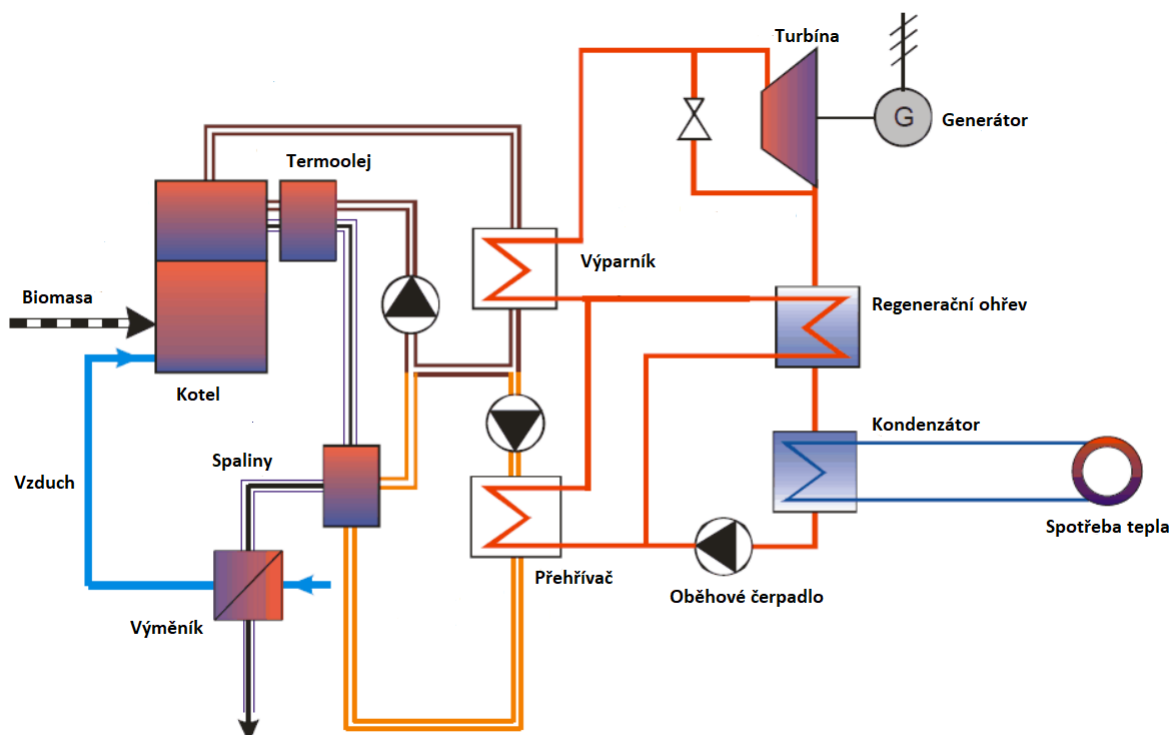
Obr. 2.4.1 Konstrukce elektrárny na biomasu<sup>49</sup>

V souvislosti s využitím biomasy a bioplynu pro energetické účely mluvíme nejen o výrobě elektrické energie, ale také i tepelné energie. Nejčastěji se setkáme s tímto palivem u kombinované výroby elektřiny a tepla (dále také „KVET“), kde je docíleno nejen vysoké účinnosti využití energie biomasy, ale zároveň není výroba energie náročná na životní prostředí

<sup>49</sup> ELEKTRARNE.UNAS.CZ. Elektrárny na biomasu. [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <http://elektrarne.unas.cz/subory/biomasa.htm>

a její dodávka zákazníkovi je stabilní. Jeden z nejpoužívanějších procesů je kogenerační proces s ORC cyklem. Jeho princip je vidět na obrázku č. 2.4.2.

ORC, neboli také organický Rankinův cyklus, je podobný kondenzačnímu cyklu, zásadní rozdíl se spočívá ve skutečnosti, že místo vodní páry jako pracovní látka se používá termoolej. Termoolej jako teplonosná látka předává své teplo ve výparníku pracovní látce sekundárního okruhu cyklu. Pracovní látka se vypařuje ve výparníku a je dále vedena do turbíny, kde se expanduje. Nevýhodou kogenerace s ORC cyklem je složitý technologický proces, nicméně dovoluje dosáhnout celkové účinnosti přeměny energie až 85 %.



Obr. 2.4.2. Kogenerace s ORC cyklem<sup>50</sup>. Vlastní úprava

Elektrárny a teplárny na biomasu jsou z energetického hlediska považovány za spolehlivý OZE. Kvůli tomu, že dodávka paliva je konstantní a jednoduše regulovatelná, nevzniká problém regulace výkonu dodávaného elektrárnou do sítě. Výhodou elektráren na biomasu a bioplyn je také jejich CO<sub>2</sub> neutralita, jelikož spalováním biomasy se uvolní stejné množství CO<sub>2</sub> jako bylo přijato rostlinou během jejího životního cyklu. Oproti ostatním OZE elektrárny na biomasu mají určitou nevýhodou, a tou je potřeba dovážení paliva do výroby energie. Také je nutné zmínit nutnost úpravy paliva před jeho následným zpracováním, což u slunečních, vodních a větrných elektráren není ani možné.

<sup>50</sup> BUDÍN, Jan. Kogenerace – princip, technologie a výhody. [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>

### 3 Vliv jednotlivých zdrojů a konfigurace distribuční sítě pro připojení obnovitelných zdrojů energie

#### 3.1 Zpětné vlivy obnovitelných zdrojů na distribuční soustavu

Obnovitelné zdroje energie v teorii mají řadu výhod oproti klasickým zdrojům elektrické energie<sup>51</sup>:

- výroba elektřiny je mnohem ekologičtější,
- elektřina z OZE je poskytována za nižší cenu,
- celkové náklady na přenos a distribuci elektřiny jsou také menší,
- možnost využití lokálních zdrojů.

Nicméně ve mnoha případech má výroba elektrické energie z OZE negativní vliv na elektrizační soustavu, což je jejich nejvýznamnější nevýhodou. Je potřeba dodat, že jednotlivé OZE mají různě velký vliv na soustavu, záleží totiž na charakteru výrobního procesu. Například biomasa anebo geotermální energie je považována za spolehlivý a stabilní zdroj elektrické energie, jelikož množství produkované elektřiny lze snadno předpovědět. Naopak tomu u větrných a solárních elektráren, kde proces výroby je závislý jak na ročních či denních cyklech, tak i na náhodných změnách počasí. V tomto případě může dojít ke vlivům na napětí či frekvenci v síti, celkovou kvalitu dodávané elektřiny, spolehlivost a bezpečnost soustavy a tak dále.

Obecně hovoříme o následujících nejvýznamnějších vlivech OZE na distribuční soustavu: změny napětí, kolísání napětí, harmonické proudy a ovlivnění signálu HDO.

##### 3.1.1 Změny napětí

Změnám napětí se rozumí jako odchylce mezi napětím v síti a jmenovitým napětím. Může se jednat jak o přepětí, tak i o podpětí. Tyto stavy jsou nežádoucí, jelikož se kvůli nim může dojít k nadproudům nebo zkratům a následnému poškození izolace vedení.

Daný zpětný vliv se nejčastěji projevuje u VTE a FVE v situaci, když je na jednom rozvodu elektřiny připojeno hodně elektráren tohoto typu a vyrobená elektrická energie není spotřebována. V tomto případě stoupá napětí a dochází k odchylce. Daný problém se řeší pomocí napěťových ochran přímo na elektrárně.

---

<sup>51</sup> Volně z: MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2

Horší situace nastává při připojení či odpojení OZE do distribuční soustavy. Tyto rychlé změny mohou způsobit odchylku napětí  $\Delta u$  mimo dovolenou mez. Pro hladinu nn  $\Delta u \leq 3 \%$  jmenovitého napětí, pro hladinu vysokého napětí  $\Delta u \leq 2 \%$  jmenovitého napětí.

Maximálně možná změna napětí, kterou způsobí připojení nového zařízení do DS, závisí převážně na zkratovém výkonu v síti a jmenovitém zdánlivém výkonu zařízení. Vzniklý úbytek napětí  $\Delta u_{max}$  lze vypočítat následovně<sup>52</sup>:

$$\Delta u_{max} = k_{i\ max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad [-] \quad (3.1)$$

kde:  $S_{nE}$  – jmenovitý zdánlivý výkon zařízení [VA],  
 $S_{kV}$  – zkratový výkon v síti [VA],  
 $k_{i\ max}$  – „největší spínací raz“ [-]

Činitel  $k_{i\ max}$  udává poměr největšího rázového proudu během spínacího děje  $I_a$  ku jmenovitému proudu zařízení  $I_{nG}$ <sup>53</sup>.

Činitel  $k_{i\ max}$  se liší podle druhu připojovaného zařízení. V literatuře se uvádí následující rozdělení:

- „ $k_{i\ max} = 1$  synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače,
- $k_{i\ max} = 4$  asynchronní generátory, připojované s 95 až 105 % synchronních otáček, pokud nejsou k dispozici přesnější údaje o způsobu omezení proudu. S ohledem na krátkodobost přechodového jevu musí přitom být dodržena dále uvedená podmínka pro velmi krátké poklesy napětí,
- $k_{i\ max} = I_a / I_{nG}$  asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě,
- $k_{i\ max} = 8$  pokud není známo  $I_a$ .“<sup>54</sup>

### 3.1.2 Kolísání napětí

Kolísání napětí neboli flickr vzniká působením velké zátěže, jejíž činný a jalový výkon se rychle mění. Taková proměnlivost výkonů je charakteristická pro větrné elektrárny. U VTE jsou dvě základní příčiny vzniku flickru: vliv poryvů větru na listy elektrárny a vliv tubusu VTE. Kolísání napětí je posuzováno pomocí dlouhodobé míry vjemu blikání  $Plt$ , „která ve společném napájecím bodě nn a vn musí dodržet hodnotu  $Plt \leq 0,46$  a ve společném bodě 110 kV mezní hodnotu  $Plt \leq 0,37$ .“<sup>55</sup>

<sup>52</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 57. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

<sup>53</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>54</sup> Tamtéž

<sup>55</sup> Tamtéž

Dlouhodobou míru vjemu flickru lze zjistit dvěma způsoby: buď měřením ve vlastním napájecím bodě, nebo výpočtem. Pro výpočet  $P_{lt}$  použijeme následující vztah<sup>56</sup>:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{rA}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi_{kV} + \varphi_i) \quad [-] \quad (3.2)$$

kde:  $c$  – činitel flickru zařízení [-],

$S_{rA}$  – jmenovitý zdánlivý výkon zařízení (např. generátoru) [VA],

$S_{kV}$  – zkratový výkon napájecího bodu [VA],

$\psi_{kV}$  – fázový úhel zkratové impedance [°],

$\varphi_i$  – fázový úhel [°].

V případě několika stejných zařízení, například u větrné farmy, se celková míra vjemu blikání  $P_{lt\ res}$  spočte dle vztahu:

$$P_{lt\ res} = \sqrt{n} \cdot P_{lt} \quad [-; -; -] \quad (3.3)$$

kde  $n$  – počet stejných zařízení (generátorů).

### 3.1.3 Harmonické proudy

Elektrizační soustava pracuje s proudy a napětí střídavého charakteru. VTE a FVE vyrábějí stejnosměrnou elektřinu, která pak za účelem distribuce musí být převedena na střídavou. Proto výkon z těchto elektráren je vždy vyveden pomocí měničů a střídačů. Tyto spotřebiče zatěžují síť zkresleným jalovým výkonem, což má za následek vznik meziprocentových v soustavě.

Také je potřeba dodat, že připojením generátorů přes výkonové měniče do sítě či přímým připojením generátorů nevhodné konstrukce můžou vzniknout proudy obdélníkového průběhu, které budou dále přenášeny elektrizační soustavou, což způsobuje následné zkreslení napětí v síti.

Pro eliminaci výše popsaných nežádoucích vlivů se využívá kombinace systému na principu pulzně-šířkové modulace (PWM) a LC filtrů.

*„Vznikem, šířením a regulací nízkofrekvenčního rušení šířeného po vedení se zabývá soubor mezinárodních harmonizovaných standardů ČSN EN 61000-X-Y, který rovněž řeší či předkládá kompatibilní úrovně určující přípustnou míru rušení v napětí, pro koordinaci elektromagnetické kompatibility ve veřejných distribučních soustavách i průmyslových sítích.“<sup>57</sup> V případě, že*

<sup>56</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 59. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

<sup>57</sup> MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2

maximální emise harmonických proudů elektrárny je v mezích dovolených těmito normami, je vliv připojení OZE do DS přijatelný.

Pro posouzení přípustnosti maximální emise vyšších harmonických proudů se používá činitel harmonického zkreslení THD (Total Harmonic Distortion). Tato hodnota udává poměr efektivní hodnoty všech vyšších harmonických ku efektivní hodnotě základní harmonické.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \quad [-; A; A] \quad (3.4)$$

Také při připojování OZE do distribuční sítě se zvláště zkoumá velikost jednotlivých vyšších harmonických (dále také „VH“). Podmínkou je, aby vypočtená nebo naměřená hodnota VH nepřesahovala dovolenou hodnotu danou PDS. V první řadě se posuzují vyšší harmonické proudy a následně, pokud je některá VH proudů větší než dovolená hodnota, se vypočte napětí vyvolané touto harmonickou. Napětí VH také nesmí přesáhnout dovolené meze.

Pro distribuční soustavu na hladině vn platí hodnoty přípustného vztažného proudu harmonické  $I_{v \text{ příp}}$  dle následující tabulky:

| Řad harmonické $\mu$ | Přípustný vztažný proud harmonické $I_{v \text{ příp}}$ [ $A \cdot MVA^{-1}$ ] |             |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                      | síť 10 kV                                                                      | síť 22 kV   |
| 5                    | 0,115                                                                          | 0,058       |
| 7                    | 0,082                                                                          | 0,041       |
| 11                   | 0,052                                                                          | 0,026       |
| 13                   | 0,038                                                                          | 0,019       |
| 17                   | 0,022                                                                          | 0,011       |
| 19                   | 0,016                                                                          | 0,009       |
| 23                   | 0,012                                                                          | 0,006       |
| $\mu < 40$           | 0,06/ $\mu$                                                                    | 0,03/ $\mu$ |
| $\mu > 40$           | 0,16/ $\mu$                                                                    | 0,09/ $\mu$ |

3.1.1. Přípustné vztažné hodnoty vyšších harmonických<sup>58</sup>

<sup>58</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 60. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/eede/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/eede/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)



Pokud je v síti připojeno více zařízení na jeden napájecí bod, jednotlivé proudy VH se pro každé zařízení určí podle následujícího vztahu<sup>59</sup>:

$$I_{\mu \text{ příp}} = i_{\mu \text{ příp}} \cdot S_k \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad [A] \quad (3.5)$$

kde  $I_{\mu \text{ příp}}$  – maximálně přípustný proud  $\mu$ -té harmonické [A],

$S_k$  – zkratový výkon v síti [VA],

$S_A$  – zdánlivý výkon zařízení [VA],

$S_{AV}$  – celkový připojitelný výkon [VA].

### 3.1.4 Ovlivnění signálu HDO

HDO, neboli hromadné dálkové ovládání, je řídicí systém, sloužící k dálkovému zapínání, či vypínání elektrických zařízení a přepínání tarifů. Tento systém je v ČR provozován na frekvencích v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz, přičemž vysílací úroveň bývá obvykle v mezích 1,6 % až 2,5 % jmenovitého napětí.<sup>60</sup>

Soubor zařízení HDO je převážně ovlivněn výrobkami a zařízení pro kompenzaci účinníku. „Výrobní (případně KZ) smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % za předpokladu, že i po tomto snížení bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO.“<sup>61</sup> Největší vliv na signál HDO z hlediska impedance mají zařízení točivého charakteru jako například turbogenerátory a větrné elektrárny.

Vliv OZE na distribuční soustavu je považován za přijatelný, pokud připojené výrobní způsobují pokles hladiny HDO v dovolených mezích a také nejsou výrobkami produkujícími nežádoucí rušivá napětí. Vyvolaná napětí nesmí překročit 0,1 % či 0,3 % jmenovitého napětí v závislosti na místní frekvenci HDO.

## 3.2 Potlačení zpětných vlivů obnovitelných zdrojů energie

### 3.2.1 Regulace napětí v síti

Jak již bylo naznačeno připojením a provozem obnovitelných zdrojů energie se změní napěťové poměry síti. Způsobené změny napětí je potřeba dodržovat v dovolených mezích. Elektrárny z toho důvodu zajišťují regulaci dodávaného výkonu v závislosti na napětí v síti.

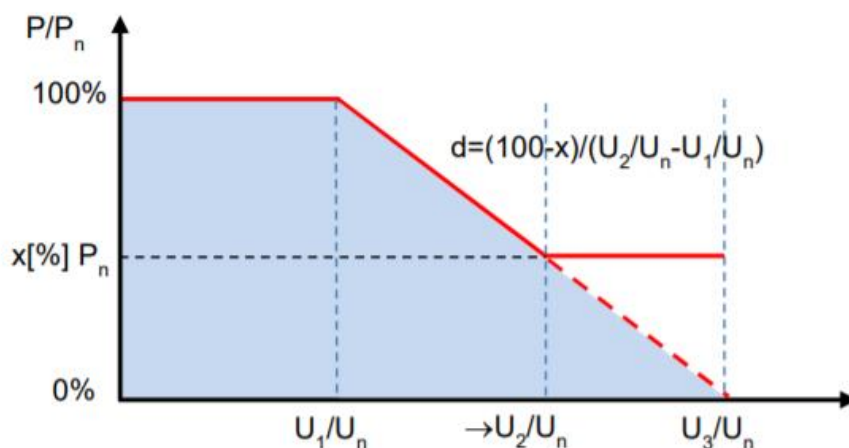
<sup>59</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. str. 60. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)

<sup>60</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>61</sup> Tamtéž

## 1. Regulace činného výkonu $P = f(U)$

Zásadou regulace činného výkonu elektrárny v závislosti na napětí je zajištění regulace výkonu tak, aby ve výsledku byla změna výstupního výkonu elektrárny spojitá a zároveň nedocházelo ke kmitání výkonu generátoru. Regulace činného výkonu OZE se používá pro zajištění spolehlivého a bezpečného provozu OZE v povoleném rozmezí změn výstupního elektrického napětí elektrárny, které vstupuje do DS. Regulační charakteristika regulátoru činného výkonu je na obrázku č. 3.2.1.



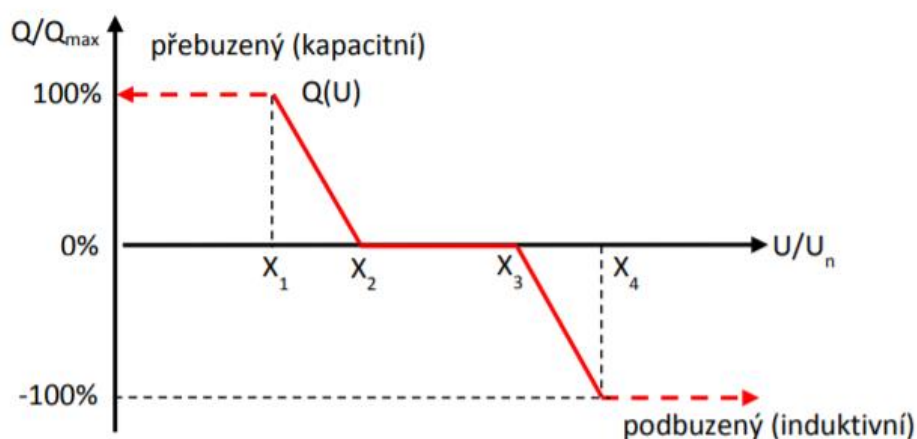
Obr. 3.2.1 Regulační charakteristika regulátoru činného výkonu<sup>62</sup>

Regulační body charakteristiky jsou určeny provozovatelem DS.

## 2. Regulace jalového výkonu $Q = f(U)$

Potlačení nepříznivých vlivů OZE lze také provést regulací jalového výkonu v závislosti na napětí v síti. Příslušná charakteristika regulace jalového výkonu je zobrazena na obrázku č. 3.2.2, je nastavována podle požadavků PDS nebo studie připojitelnosti.

<sup>62</sup> ČEZ Distribuce, a.s. Připojovací podmínky pro výrobní elektrárny. str. 11. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobnny.pdf>



Obr. 3.2.2 Regulace  $Q = f(U)$ <sup>63</sup>

Tvar charakteristiky je určen čtyřmi body:

- „Bod X1: Hodnota poměru  $U/U_n$  menší než 1, které odpovídá maximální dodávaný jalový výkon výroby, pro zvýšení hodnoty napětí v místě připojení.
- Bod X2: Hodnota poměru  $U/U_n$  menší než 1, která je počáteční hodnotou pro dodávku jalového výkonu pro zvýšení napětí v místě připojení.
- Bod X3: Hodnota poměru  $U/U_n$  větší než 1, která je počáteční hodnotou odběru jalového výkonu pro snížení napětí v místě připojení.
- Bod X4: Hodnota poměru  $U/U_n$  větší než 1, které odpovídá maximální odebíraný jalový výkon výroby, pro snížení hodnoty napětí v místě připojení.“<sup>64</sup>

Řízením jalového výkonu také ovlivníme účinník elektrárny, který za normálních podmínek musí být roven  $\cos \varphi = 1$ .

### 3.2.2 Potlačení flickru

Zmírnění kolísání napětí lze docílit několika způsoby:

1. Připojení výroby do sítě s větším zkratovým výkonem.

Jak již bylo naznačeno flickr je závislý na zkratovém výkonu napájecího bodu. Obecně řečeno, čím je zkratový výkon menší, tím větší bude kolísání napětí, proto se flickr šíří směrem ke hladinám menšího napětí. Připojením zdroje flickru do sítě s větším zkratovým výkonem se docílíme snížení kolísání napětí.

<sup>63</sup> ČEZ Distribuce, a.s. Připojovací podmínky pro výroby elektřiny. str. 10. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobny.pdf>

<sup>64</sup> Tamtéž

## 2. Zvýšení zkratového výkonu.

Zkratový výkon lze zvýšit následujícími způsoby:

- „zvětšením průřezu napájecího vedení,
  - připojením synchronního generátoru nebo kompenzátoru,
  - snížením spotřeby jalového výkonu.“<sup>65</sup>
3. Kompenzace aktivními filtry.
  4. Omezení souběhu provozu více kolísajících zařízení.

### 3.2.3 Omezení vyšších harmonických

Šíření vyšších harmonických lze primárně omezit následujícími způsoby:

1. Zvětšením zkratového výkonu sítě.
2. Použitím vícepulzních měničů.

Pro usměrňovače platí Amplitudový zákon<sup>66</sup>, který udává poměr n-té harmonické ku základní harmonické v závislosti na počtu pulzů.

$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{1}{n} \quad [A; A; -] \quad \text{pro } n = 6k \pm 1. \quad (3.6)$$

kde:  $I_n$  – proud n-té harmonické [A],

$I_1$  – proud první harmonické [A],

$n$  – počet pulzů usměrňovače [-].

Ze vztahu (3.6) vyplývá, že použitím měniče s větším počtem pulzů je možné snížit poměr vyšších harmonických.

### 3. Použitím filtrů

Pro omezení emise VH se používají pasivní a aktivní filtry. Pasivní filtry fungují na principu sériového LC obvodu naladěného na vlastní frekvenci. Připojují se paralelně ke zdroji vyšších harmonických. Aktivní filtry fungují na principu injekce proudu nebo napětí do obvodu se zdrojem VH. Paralelní aktivní filtry se používají pro filtraci harmonických proudu, sériové aktivní filtry filtrují harmonické napětí.

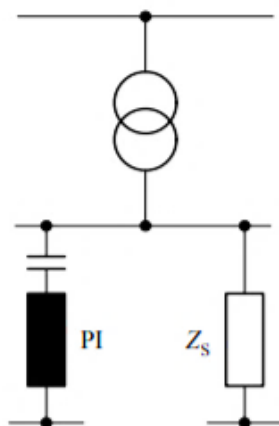
---

<sup>65</sup> MULLER, Zdeněk: Přednášky z předmětu Distribuce elektrické energie (B1M15DEE), ČVUT v Praze, 2020

<sup>66</sup> Tamtéž

### 3.2.4 Potlačení zpětných vlivů na signál HDO

1. Konstrukce vysílače signálu HDO obsahuje dva vazební členy, jejichž účelem je zlepšení šíření signálu.
  - Vazební kondenzátor C1, jehož naladěním snížíme úroveň přeslechu v nadřazené síti<sup>67</sup>.
  - Vazební kondenzátor C2 a cívka L2, které mají za účel filtrovat vyšší harmonické.
2. Dalším řešením pro zkvalitnění signálu HDO je zapojení podpůrné impedance. Čím nižší je impedance konkrétního uzlu sítě, tím menší bude úroveň signálu HDO. Cílem zapojení podpůrné impedance je upravit impedanční poměry v uzlu a tím zlepšit šíření signálu.

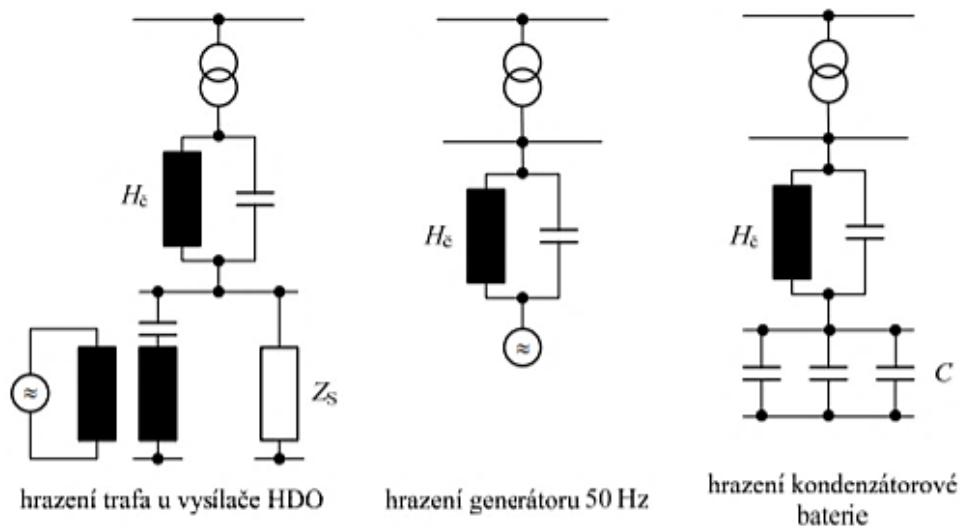


Obr. 3.2.3 Schéma podpůrné impedance<sup>68</sup>

3. Zkvalitnění signálu HDO se také provádí zapojením hradícího členu, který kombinuje výhody vazebních kondenzátorů a podpůrné impedance. Je určen pro omezení nežádoucího šíření signálu, úpravu impedančních poměrů, úpravu kmitočtu HDO.

<sup>67</sup> MULLER, Zdeněk: Přednášky z předmětu Distribuce elektrické energie (B1M15DEE), ČVUT v Praze, 2020

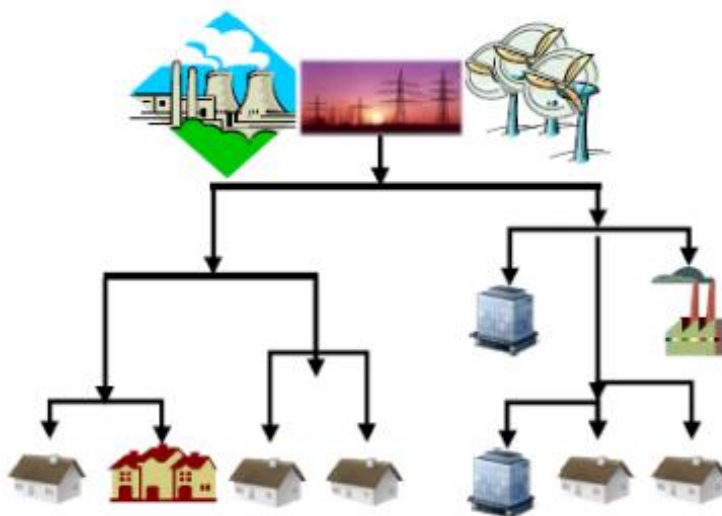
<sup>68</sup> Tamtéž



Obr. 3.2.4 Schéma hradícího členu<sup>69</sup>

### 3.3 Konfigurace distribuční soustavy

V současné době z hlediska výroby elektřiny převládá centralizovaná výroba, což jsou uhelné elektrárny, jaderné a velké vodní elektrárny. Na obrázku č. 3.3.1 je schematicky představeno uspořádání takového systému.



Obr. 3.3.1 Schéma stávající DS<sup>70</sup>

Elektřina se vyrábí z velkých, většinou neobnovitelných, zdrojů energie a dále je přenášena a distribuována zákazníkům. Vyrobená elektrická energie je přenášena na velké vzdálenosti, což způsobuje větší ztráty. Současná distribuční síť je většinou paprsková, tok energie je

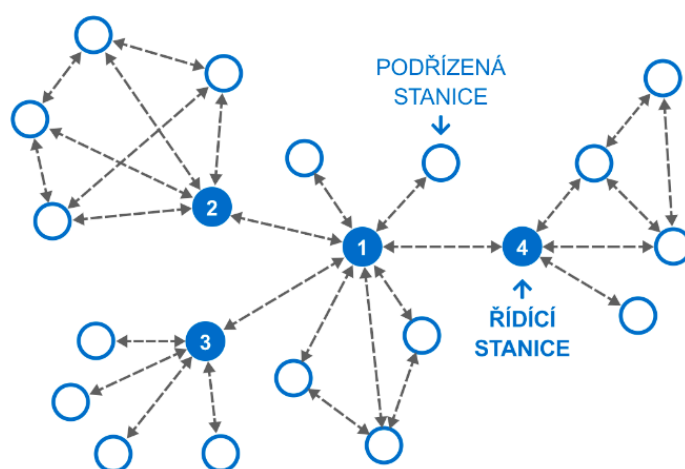
<sup>69</sup> MULLER, Zdeněk: Přednášky z předmětu Distribuce elektrické energie (B1M15DEE), ČVUT v Praze, 2020

<sup>70</sup> Tamtéž

jednosměrný. To má za následek nebezpečí výpadku centrálního zdroje energie z důvodu závislosti na něm podřazených prvků.

Avšak v posledních letech vznikla snaha přejít do decentralizované výroby elektřiny s implementací inteligentních sítí. Decentralizovaná výroba se vyznačuje připojením velkého množství menších výroben elektrické energie zejména obnovitelných. Místní výroba elektřiny bude schopna efektivně pokrýt odchylky spotřeby energie a tím i odlehčit celou elektroenergetickou soustavu. Tok energie již nebude jednosměrný.

Na obrázku č. 3.3.2 je zobrazen koncept decentralizované inteligentní distribuční sítě.



Obr. 3.3.2 Schéma decentralizované DS<sup>71</sup>

Připojení OZE do DS však klade větší požadavky na spolehlivost a regulaci sítě. Tento problém se řeší pomocí technologie inteligentních sítí neboli smart grids. Inteligentní sítě obsahují čtyři základní komponenty:

- **„rozhodovací intelligence** – vrstva tvořena ze všech programů, které běží v inteligentních elektronických zařízeních (IED), automatizační systém, řídicí centrum a systémy informačních technologií. Tyto programy zpracovávají informace z čidel apod. a vytvářejí buď kontrolní směrnice nebo informace pro podporu rozhodování obchodních procesů.
- **komunikační vrstva** – spolehlivý, okamžitý a bezpečný přenos informací tam, kde je potřeba nebo kde jsou požadovány.

<sup>71</sup> SVĚT ENERGIE. Decentralizovaná energetika. [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/decentralizovana-energetika/vyklad>

- **senzory/aktory** – přístroje reagující na změnu fyzikální veličiny/prvky systému zajišťující vykonání určité operace jako důsledek této změny
- **výroba, přenos, spotřeba** – monitorovaná a řízená vrstva, kde probíhá optimalizovaná výroba, přenos a spotřeba elektrické energie“<sup>72</sup>

Implementací smart-grids získáme řadu výhod:

- zvyšování spolehlivosti dodávek elektřiny,
- rychlejší detekce poruch a zabránění jim,
- lepší diagnostika a monitoring zařízení v síti,
- spolehlivější a efektivnější provoz elektrizační sítě.

Z výše uvedených informací lze říct, že pro připojení OZE do DS bude potřeba zajistit instalaci chytrého měřicího zařízení, optickou kabeláž pro rychlý a spolehlivý přenos informací, regulační prvky soustavy a jiné. Zjednodušeně řečeno bude nutné modernizovat a posílit stávající distribuční síť. Nesmíme také zapomenout na instalaci akumulčního zařízení.

### 3.3.1 Akumulace elektrické energie

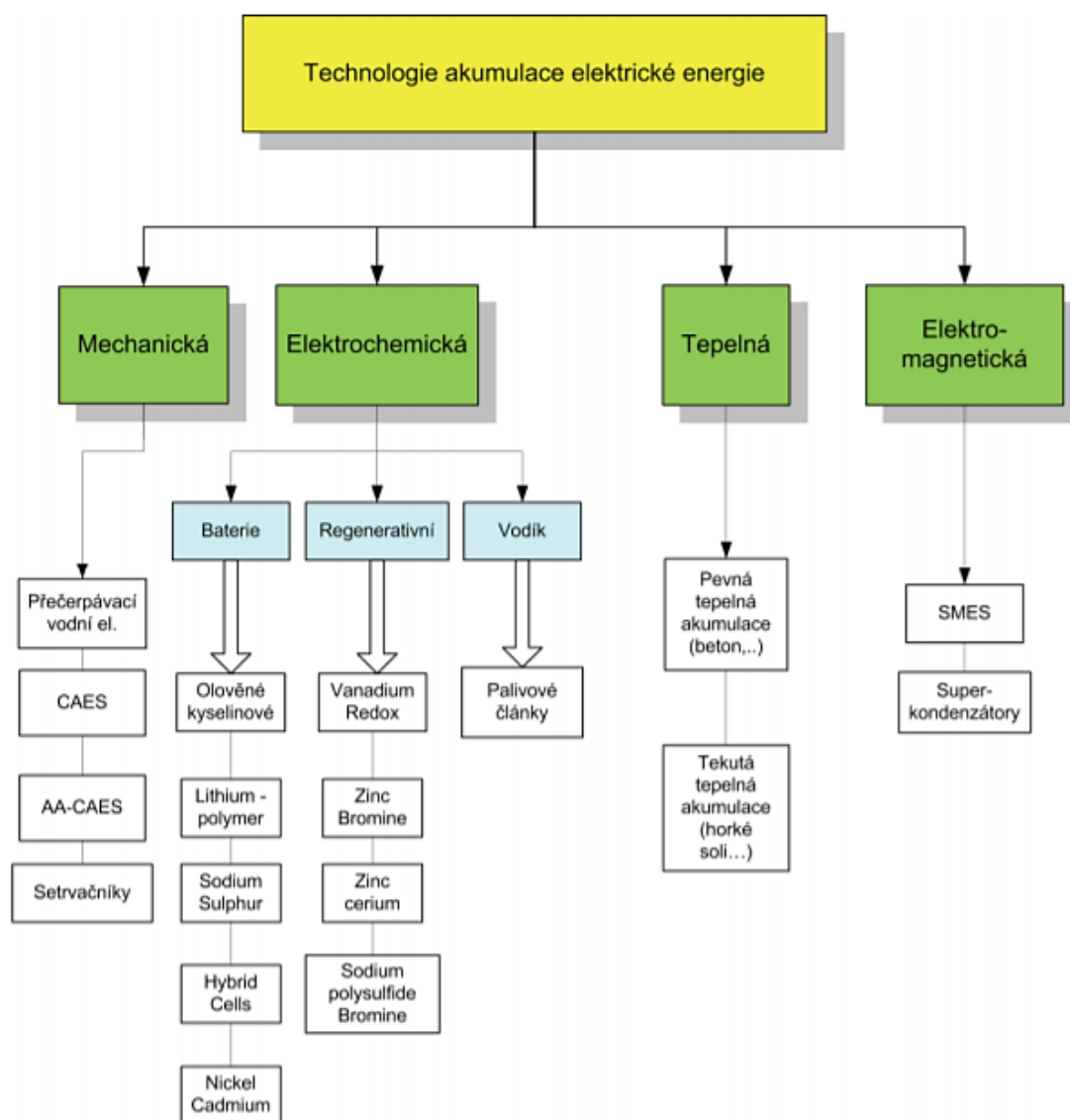
V souvislosti s výrobou elektrické energie z OZE nelze nezmínit způsoby akumulace vyrobené elektřiny.

Existuje hodně způsobů akumulace elektrické energie. Schéma rozdělení akumulčních technologií je na obrázku č. 3.3.3.

Obecně technologie akumulace dělíme do čtyř skupin. Mechanická akumulace zahrnuje přečerpávací vodní elektrárny, akumulaci stlačeným vzduchem a setrvačníky. Tento způsob je pochopitelně založen na principu přeměny elektrické energie na energii mechanickou a naopak. Princip elektrochemické akumulace se spočívá v ukládání elektřiny ve formě chemické energie a její následné přeměně. Elektrochemická akumulace se primárně využívá v bateriích, ale také i v regenerativních (průtočných) bateriích a akumulaci elektřiny do vodíku pomocí palivových článků. Třetí technologie skladování vyrobené elektrické energie je tepelná akumulace, která umožňuje uchovat elektřinu v betonu nebo roztavených solích. Poslední technologie je elektromagnetická akumulace elektřiny. Do této skupiny patří supravodivé indukční akumulátory a superkondenzátory. Princip akumulace je založen na ukládání elektrické energie v magnetickém poli.

<sup>72</sup> TZB-INFO.CZ. Inteligentní rozvodné sítě. [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7864-inteligentni-rozvodne-site>





Obr. 3.3.3 Rozdělení akumulčních technologií<sup>73</sup>

Dále budou podrobněji popsány některé akumulční technologie.

### 1. CAES – akumulace stlačeným vzduchem.

Technologii CAES (Compressed Air Energy Storage) lze popsat následovně: v případě přebytku elektrické energie v síti OZE napájí motor, který pohání akumulční kompresor. Kompresor stlačuje odebíraný vzduch do tlakovzdušného zásobníku, čímž se akumuluje elektrická energie. Opačná přeměna energie se spočívá ve spalování zemního plynu spolu se stlačeným vzduchem ve spalovací komoře. Vzniklé spaliny pohání turbínu spojenou na hřídeli s generátorem. Tím je akumulovaná elektřina vracena zpět do sítě.

<sup>73</sup> MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S. a kol. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2, str.212

Akumulaci do stlačeného vzduchu lze použít i samostatně bez OZE pro vyrovnání výkonové bilance sítě. Jedním ze zajímavějších řešení hlavně pro decentralizované zdroje je kombinace kogenerační jednotky se spalovacím motorem a CAES akumulace. Tento systém umožňuje například vyrábět elektrickou a tepelnou energii z biomasy, ale i zároveň akumulovat elektřinu například z větrné nebo FV elektrárny.

## 2. Baterie.

Akumulace elektřiny do baterií je nejrozšířenější technologie v současné době. Bateriové systémy umožňují ukládat až desítky megawatt elektrické energie. Jejich velkou výhodou je spolehlivost, vysoká účinnost a mobilnost. Nejpoužívanější typy baterií jsou nikel-metalhydridové (NiMH), které nahradily zastaralé NiCd akumulátory, a lithium-iontové (Li-Ion) baterie. Každá baterie je tvořena hermeticky uzavřenou schránkou. Na povrch schránky jsou vyvedeny kontakty galvanického článku, který je tvořen zápornou anodou a kladnou katodou. Tyto elektrody se společně nedotýkají a jsou od sebe rozděleny separátorem. Všechny tyto součásti jsou v nádobě baterie obklopeny elektrolytem, tuhým, nebo kapalným, který vede elektrický proud. Napětí baterie je dáno rozdílem potenciálů obou elektrod. Ten vzniká díky chemické reakci mezi elektrodou a elektrolytem v baterii. Z tohoto důvodu je galvanický článek (tedy i baterie) zdrojem stejnosměrného napětí. Nejčastěji se setkáme s akumulací do baterií u FV elektráren, jelikož produkují stejnosměrnou elektřinu. Nicméně to neznamená, že baterie nemůžeme použít například u větrných nebo vodních elektráren, stačí pouze zapojit měnič napětí. Pro akumulaci elektřiny z velkých elektráren se používají bateriové systémy sestavené z jednotlivých akumulátorů.

## 3. Akumulace elektrické energie do vodíku

Princip akumulace elektřiny do vodíku je založen na procesu elektrolýzy. Obecně řečeno, elektrolýza vody je děj, při kterém se na katodě uvolňuje vodík, na anodě kyslík, spotřebovává se voda a elektrická energie. Elektrolytický děj probíhá při průchodu stejnosměrného proudu vodou. Rozlišujeme tři typy elektrolýzy vody: alkalická, PEM elektrolýza a vysokoteplotní parní elektrolýza. V případě alkalické elektrolýzy se používá kapalný alkalický elektrolyt. PEM elektrolýza se vyznačuje použitím pevného elektrolytu ve formě membrány. Tato technologie je nejpoužívanější v současné době, jelikož má řadu výhod jako jsou vysoká účinnost, flexibilita a vysoká čistota vyrobeného vodíku. Vysokoteplotní elektrolýza probíhá při teplotě větší než 700 °C, na katodu se přivádí voda ve formě vodní páry. Proces přeměny vodíku na elektrickou energii probíhá v palivových člancích, jejichž princip je opačný k principu elektrolýzy. Existuje také řada palivových článků, které se liší použitým elektrolytem.

#### 4. Tepelná akumulace

Elektrickou energii lze uložit ve formě tepla několika způsoby. První způsob je tepelná akumulace do vodních zásobníků. Vyrobená elektrická energie je spotřebována na ohřev vody například v bojleru. Druhý způsob je akumulace do roztavených solí, kde energie se spotřebovává na roztavení solí a jejich ohřev. Teplo lze následně využít pro pohon turbíny. S takovou technologií se nejčastěji setkáme u FV tepelných elektráren.

#### 5. Elektromagnetická akumulace

Elektromagnetická akumulace elektřiny je představena hlavně dvěma technologiemi: SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) a superkondenzátory. Technologie SMES je založena na průchodu stejnosměrného proudu supravodivou cívkou, čímž je elektrická energie uložena do magnetického pole cívky. Akumulovaná elektřina může bezetrátově zůstat v cívce neomezeně dlouho. Princip superkondenzátorů je obdobný jako u konvenčních kondenzátorů, elektrický náboj se nashromažďuje na povrchu elektrod. Rozdíl se spočívá ve větší ploše elektrod superkondenzátorů a menší tloušťce dielektrika, čímž je umožněno ukládat větší množství elektrické energie.

Použití akumulčních zařízení je nezbytné pro spolehlivý provoz decentralizovaných zdrojů energie a dodržování kvality elektřiny v síti. Nejčastěji s akumulací vyrobené elektřiny se setkáme u větrných a fotovoltaických elektráren. Tyto elektrárny se vyznačují proměnnou dodávkou elektrické energie v reálném čase. Spolehlivost a bezpečnost provozu elektrizační soustavy je zajištěna konstantními dodávkami elektrické energie, z toho důvodu je elektřina z VTE a FVE akumulována a následně dodána do sítě.

## 4 Náklady vyvolané připojením obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy

### 4.1 Legislativa

Jak již bylo naznačeno, připojení nového zdroje do elektrizační sítě je spojeno se zesílením sítě, instalací měřicích a ochranných zařízení, výstavbou transformačních stanic a vedení. Energetický zákon stanovuje, že žadatel o připojení musí na své náklady zajistit připojení výrobní k distribuční síti a také instalaci potřebného měřicího zařízení.

Podle §11 vyhlášky č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů:

- „Náklady spojené s připojením a se zajištěním požadovaného příkonu nebo výkonu zahrnují nezbytně nutné vynaložené oprávněné náklady související s pořízením, výstavbou nebo úpravami přenosové soustavy nebo distribuční soustavy, které byly vyvolány požadavkem žadatele v souvislosti s místem a způsobem připojení jeho zařízení. Pořízení, výstavba nebo úpravy přenosové soustavy nebo distribuční soustavy jsou zajišťovány v nezbytně nutném rozsahu odpovídajícím hodnotě příkonu nebo výkonu, požadovaného žadatelem, a místu a způsobu připojení jeho zařízení.
- Do nákladů spojených s připojením a se zajištěním požadovaného příkonu nebo výkonu se zahrnují náklady na pořízení projektové dokumentace, geodetická zaměření, věcná břemena a ostatní bezprostředně související investiční náklady a poplatky na výstavbu, úpravu nebo pořízení přenosové soustavy nebo distribuční soustavy.
- Do nákladů spojených s připojením a se zajištěním požadovaného příkonu nebo výkonu se nezahrnují náklady související s pořízením, výstavbou nebo úpravami přenosové soustavy nebo distribuční soustavy, které svým rozsahem přesahují nezbytně nutnou míru odpovídající hodnotě příkonu nebo výkonu, požadovaného žadatelem, a místu a způsobu připojení jeho zařízení.“<sup>74</sup>

Je nutné podotknout, že v případě připojení výrobní do DS jsou náklady na přípojné vedení do místa připojení hrazeny výrobcem elektřiny v plné výši. Jinak je tomu u nákladů spojených se zajištěním požadovaného výkonu a příkonu, kde provozovatel elektrárny hradí jen část celkových nákladů. Výše podílu nákladů žadatele na celkových nákladech je stanovena Vyhláškou č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších

---

<sup>74</sup> Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů

předpisů, a vypočítá se jako součin měrného podílu na nákladech žadatele a velikosti požadovaného příkonu, resp. výkonu.

1. Výše podílu na nákladech za rezervaci příkonu pro odběratele elektrické energie z DS.

| Místo připojení k napěťové hladině | Způsob připojení  | Měrný podíl žadatele        |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| distribuční soustava VVN           | Typ A             | 600 000 Kč·MW <sup>-1</sup> |
| distribuční soustava VVN           | Typ B             | 150 000 Kč·MW <sup>-1</sup> |
| distribuční soustava VN            |                   | 800 000 Kč·MW <sup>-1</sup> |
| distribuční soustava VN            | Typ B1            | 200 000 Kč·MW <sup>-1</sup> |
| distribuční soustava NN            | 3fázové připojení | 500 Kč·A <sup>-1</sup>      |
| distribuční soustava NN            | 1fázové připojení | 200 Kč·A <sup>-1</sup>      |

Tab. 4.1.1 Podíl na oprávněných nákladech za rezervaci příkonu<sup>75</sup>

2. Výše podílu na nákladech za rezervaci výkonu pro provozovatele OZE.

| Místo připojení k napěťové hladině | Způsob připojení  | Měrný podíl žadatele          |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| distribuční soustava VVN           | Typ A             | 1 200 000 Kč·MW <sup>-1</sup> |
| distribuční soustava VVN           | Typ B             | 150 000 Kč·MW <sup>-1</sup>   |
| distribuční soustava VN            | Typ A             | 640 000 Kč·MW <sup>-1</sup>   |
| distribuční soustava VN            | Typ B             | 150 000 Kč·MW <sup>-1</sup>   |
| distribuční soustava NN            | 3fázové připojení | 500 Kč·A <sup>-1</sup>        |
| distribuční soustava NN            | 1fázové připojení | 200 Kč·A <sup>-1</sup>        |

Tab. 4.1.2 Podíl na oprávněných nákladech za rezervaci výkonu<sup>76</sup>

Poznámka:

- „Připojení Typu A je takové připojení, kdy provozovatel distribuční soustavy rozšíří distribuční soustavu až do předávacího místa, kterým je např. trafostanice nebo rozvodna žadatele o připojení.
- Připojení Typu B je takové připojení, které nesplňuje podmínky připojení typu A.
- Připojení Typu B1 je takové připojení kdy se žadatel připojuje přímo do rozvodny provozovatele distribuční soustavy a není přitom nutná výstavba nové kobky a přípojnic a jsou pouze nutné úpravy technického rázu (např. doplnění vyzbrojení kobky)“<sup>77</sup>

<sup>75</sup> Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů

<sup>76</sup> Tamtéž

<sup>77</sup> Tamtéž

Připojením OZE do distribuční soustavy také vzrostou náklady na udržování výkonové rovnováhy v elektrizační síti. Jak již bylo naznačeno, větrné a fotovoltaické elektrárny se vyznačují nepravidelnou dodávkou elektrické energie. Z toho důvodu jejich připojení do DS zvýší nároky na velikost výkonové rezervy a její čerpání. Nicméně tyto náklady nejsou hrazeny provozovatelem DS ani výrobcem elektřiny, jejich velikost je promítnuta do regulované složky celkové ceny elektřiny, kterou zaplatí konečný zákazník.

Růst počtu připojovaných OZE zvýší velikost následujících regulovaných cen elektrické energie:

- cena za systémové služby,
- cena za zúčtování odchylek,
- cena na podporu obnovitelných zdrojů energie (POZE).

#### **4.2 Náklady na připojení vybraného obnovitelného zdroje energie**

Tato podkapitola je věnována nákladům vznikajícím při připojení OZE do distribuční sítě. Jako obnovitelný zdroj byla zvolena větrná elektrárna. Dále popsané náklady lze očekávat u všech typů OZE, rozdíl nastane jen v jejich velikosti. Situace bude zanalyzována z pohledu provozovatele zkoumané elektrárny. Jelikož se jedná pouze o náklady spojené s připojením zdroje do sítě, do výpočtu nebudou zahrnovány investiční náklady na pořízení větrné turbíny a generátoru, výstavbu stožáru a provedení vlastní kabeláže elektrárny.

Obecně náklady vznikající připojením jakéhokoliv obnovitelného zdroje energie do DS lze rozdělit na<sup>78</sup>:

- náklady na vypracování projektové dokumentace a studie připojitelnosti,
- náklady na měřicí a ochranné přístroje,
- náklady na vývodové vedení,
- náklady na pořízení transformátoru,
- náklady na posílení DS, udržování výkonové rovnováhy a rezervaci příkonu či výkonu viz. kapitola 4.1.

Jak již bylo zmíněno výše, náklady spojené s výkonovou rovnováhou a rezervací příkonu nejsou hrazeny provozovatelem elektrárny, tím pádem se nepromítnou do výsledků.

---

<sup>78</sup> Volně z: WINDUSTRY.ORG. *Community Wind Toolbox. Chapter 8: Costs.* [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: [https://www.windustry.org/community\\_wind\\_toolbox\\_8\\_costs](https://www.windustry.org/community_wind_toolbox_8_costs)

#### 4.2.1 Náklady na vypracování projektové dokumentace a studie připojitelnosti

Tato kategorie nákladů zahrnuje přípravu nejen technické dokumentace, ale také i vypracování investičního hodnocení, nejčastěji na základě kritérií ekonomické efektivity, jako jsou čistá současná hodnota investice, doba splacení a jiné. Cena přípravy veškeré potřebné dokumentace se pohybuje v rozmezí **500 tis. až 900 tis. Kč<sup>79</sup>**. Samozřejmě, jsou způsoby, jak tuto částku snížit, při větším počtu zdrojů klesá průměrná cena návrhu dokumentace potřebné pro posouzení výstavby OZE.

#### 4.2.2 Náklady na vyvedení elektrického výkonu

OZE jsou součástí již zmíněné decentralizované výroby elektřiny. Jejich hlavní výhodou je možnost spotřeby vyrobené energie „na místě“, proto není potřeba stavět dlouhá přenosová příp. distribuční vedení. Vzhledem ale k velikosti ceny jednoho kilometru venkovního vedení, která činí **200 tis. až 350 tis. Kč<sup>80</sup>**, musíme tyto náklady brát v úvahu.

#### 4.2.3 Náklady na měřicí a ochranné přístroje

Povinností dodavatele elektřiny je zajistit měření, regulaci a ochranu provozované elektrárny. Konkrétní velikost nákladů na tyto přístroje je těžko odhadnout, jelikož náklady jsou přímo závislé na velikosti instalovaného výkonu elektrárny, jejím umístění, zkratových poměrech sítě a jiné.

Cena jednoho měřicího přístroje se může pohybovat v rozmezí **30 tis. až 150 tis. Kč**. Měřicím přístrojům se rozumí zařízení pro měření elektrických parametrů elektrárny, teploty, sledovače otáček generátorů a turbín a jiné.

Ochrana OZE zahrnuje nadproudovou a přepětíovou ochranu, ochranu proti zkratu a nebezpečnému dotyku. Náklady na ochranné přístroje bývají obvykle menší než náklady na měřicí a regulační zařízení.

#### 4.2.4 Náklady na pořízení transformátoru

Jednou z nejdůležitějších součástí připojení obnovitelného zdroje do DS je blokový transformátor. Jen zdroje o malém výkonu řádově desítky kV se dají připojit do sítě pouze za pomoci měniče. Náklady na pořízení blokového transformátoru jsou ovšem závislé na požadovaných parametrech a pohybují se v rozmezí **300 tis. Kč až 1 mil Kč<sup>81</sup>**. Volba vhodného transformátoru je velmi důležitá jak z technického, tak i z ekonomického hlediska.

---

<sup>79</sup> Volně z: WINDUSTRY.ORG. *Community Wind Toolbox. Chapter 8: Costs*. [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: [https://www.windustry.org/community\\_wind\\_toolbox\\_8\\_costs](https://www.windustry.org/community_wind_toolbox_8_costs)

<sup>80</sup> Volně z: Tamtéž

<sup>81</sup> Volně z: Tamtéž

## 5 Modelové příklady připojení obnovitelného zdroje energie do distribuční soustavy

### 5.1 Teoretický rozbor

Pro vyšetřování vlivů připojení OZE do elektrizační soustavy se používá výpočet ustáleného stavu sítě. Ustálený stav se vyznačuje rovnováhou proudů, napětí a výkonů v systému, neprobíhají žádné rychlé změny, jako jsou například zapínání a vypínání zdrojů, zkratů a podobné.

Ustálený stav sítě lze popsat pomocí metody uzlových napětí. Pro výpočet se uvažuje síť o  $n$  uzlech a admitanční matice, která je inverzní k matici impedanční. Matice proudů reprezentuje proudové odběry v jednotlivých uzlech, napěťová matice je sestavena z uzlových napětí.

$$(\hat{I}) = (\hat{Y}) \cdot (\hat{U}) \quad (5.1)$$

Diagonální prvky admitanční matice jsou dány součtem všech admitancí v daném uzlu, nediagonální prvky reprezentují admitanci mezi uzly.

$$(\hat{Y}) = \begin{pmatrix} \widehat{Y}_{11} & \cdots & \widehat{Y}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widehat{Y}_{n1} & \cdots & \widehat{Y}_{nn} \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

Zdánlivý výkon  $i$ -tého uzlu dále popíšeme:

$$\widehat{S}_i = \widehat{P}_i + j \cdot \widehat{Q}_i = \widehat{U}_i \cdot \widehat{I}_i^* \quad \text{pro } i = 1, \dots, n \quad (5.3)$$

Uzlový proud vyjádříme pomocí admitanční matice:

$$\widehat{S}_i = \widehat{P}_i + j \cdot \widehat{Q}_i = \widehat{U}_i \cdot (\sum_{j=1}^n \widehat{Y}_{ij} \cdot \widehat{U}_j)^* \quad \text{pro } i, j = 1, \dots, n \quad (5.4)$$

Pokud rozepíšeme rovnici (5.4) do exponenciálního tvaru a dále použijeme Eulerův vztah dostaneme:

$$\widehat{S}_i = \sum_{j=1}^n |\widehat{U}_i| \cdot |\widehat{U}_j| \cdot [\cos(\delta_i - \delta_j) + j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j)] \cdot (G_{ij} - j \cdot B_{ij}) \quad (5.5)$$

kde  $\delta$  – fázový úhel napětí,

$G$  – konduktance,  $G = \text{Re}\{Y\}$ ,

$B$  – susceptance,  $B = \text{Im}\{Y\}$ .

Vyjádřením reálné a imaginární složky z rovnice (5.5) dostaneme činný a jalový výkon:



$$\hat{P}_i = \sum_{j=1}^n |\hat{U}_i| \cdot |\hat{U}_j| \cdot [G_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j)] \quad (5.6)$$

$$\hat{Q}_i = \sum_{j=1}^n |\hat{U}_i| \cdot |\hat{U}_j| \cdot [G_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (5.7)$$

Výsledná soustava rovnic je nelineární, pro její řešení se primárně používají dvě iterační metody: Newton-Raphsonova a Gauss-Seidlova.

Postup řešení závisí na tom, jaké veličiny jsou nám známe, proto je potřeba předem definovat, s jakým typem uzlu se pracuje. Rozlišujeme tři uzly:

1. „*U $\delta$  (Slack) – Slack uzel představuje místo v síti, kde je známá velikost i fáze napětí (např. mohutná soustava). V tomto bodě jsou neznámé uzlové výkony  $P$  a  $Q$ .*
2. *PQ – známe odběry (dodávky) činného i jalového výkonu. Neznámé hodnoty jsou velikost napětí  $U$  a jeho fáze  $\delta$ .*
3. *PU – je známý činný výkon a velikost napětí (např. elektrárna regulující napětí). Hledané veličiny jsou jalový výkon  $Q$  a fáze napětí  $\delta$ .“<sup>82</sup>*

## 5.2 Výpočet připojitelnosti modelového příkladu

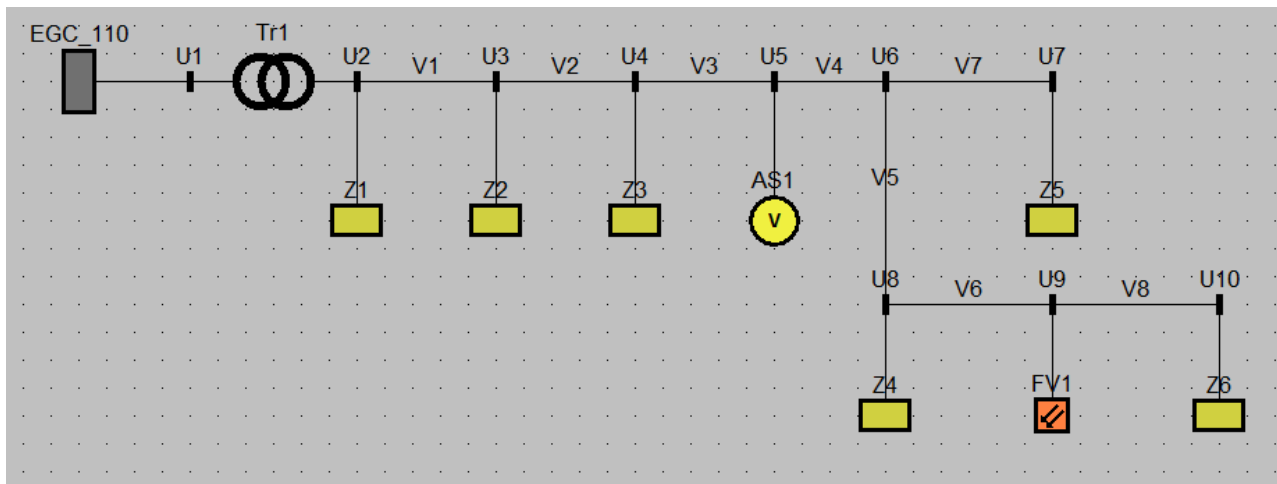
Pro ověření připojitelnosti OZE byl použit program DNCalc (také nazývaný E-Vlivy) společnosti EGC – EnerGoConsult ČB s.r.o. Tento program dovoluje namodelovat část elektrizační sítě podle zadaných parametrů spolu s potřebnými odběry a zdroje elektrické energie. Pomocí programu budou vypočítány parametry připojitelnosti popsané v předchozích kapitolách, konkrétně – změny napětí vyvolané připojením OZE, flickr a útlum signálu HDO.

Rozhodla jsem prozkoumat připojení dvou OZE současně – větrné a fotovoltaické elektrárny. Zdroje jsou připojovány do DS o napětí 22 kV.

### 5.2.1 Schéma modelu

Na obrázku č. 5.2.1 je zobrazeno schéma výpočetního modelu. Prvky Z1 až Z6 reprezentují odběrová místa sítě. Větrná elektrárna je vyznačena jako AS1 a je připojena pomocí asynchronního generátoru. Fotovoltaická elektrárna je připojena k odbočce hlavní větve sítě a má značení FV1. Vedení sítě je reprezentováno prvky V1 až V8, jednotlivé uzly mají značení U1 až U10. Všechny prvky modelu jsou napájeny ze sítě vysokého napětí 22 kV, zkoumaná část je potom připojena přes transformátor Tr1 na hladinu napětí 110 kV.

<sup>82</sup> MUSIL, Ladislav: Cvičení z předmětu Přenos a rozvod elektrické energie (B1M15PRE1), ČVUT v Praze, 2020



Obr. 5.22.5.2.1 Schéma výpočetního modelu

## 5.2.2 Vstupní parametry

V první řadě byly zadány parametry zkoumané sítě EGC\_110 o napětí 110 kV a transformátoru Tr1 s napěťovým poměrem 110/23 kV.

|                   |                        |                          |
|-------------------|------------------------|--------------------------|
| Sít' EGC_110      | $U_n = 110 \text{ kV}$ | $S_k = 1200 \text{ MVA}$ |
| Transformátor Tr1 | 110/23kV               | $S = 63 \text{ MVA}$     |

Tab. 5.2.1 Parametry sítě

Tabulka č. 5.1.2 obsahuje parametry připojených OZE. Jak VTE, tak i FVE mají jmenovité napětí  $U_n$  22 kV a účinník  $\cos \varphi = 1$ . Zvolený zdánlivý výkon  $S_n$  VTE činí 1 MVA, zdánlivý výkon FVE je roven 0,55 MVA.

| Zdroj | $U_n$ [kV] | $S_n$ [kVA] | $\cos \varphi_n$ [-] | Flikr c [-] |
|-------|------------|-------------|----------------------|-------------|
| VTE   | 22         | 1000        | 1                    | 1,1         |
| FVE   | 22         | 550         | 1                    |             |

Tab. 5.2.2 Parametry OZE

Všechny odběrové prvky sítě mají jmenovité napětí  $U_n$  rovné 22 kV. Dále byly zadány jmenovité zdánlivé výkony  $S_n$  a hodnoty jmenovitého účinníku  $\cos \varphi_n$ .

| Zátěž | $U_n$ [kV] | $S_n$ [kVA] | $\cos \varphi_n$ [-] |
|-------|------------|-------------|----------------------|
| Z1    | 22         | 1100        | 0,98                 |
| Z2    | 22         | 750         | 0,92                 |

|    |    |     |      |
|----|----|-----|------|
| Z3 | 22 | 560 | 0,95 |
| Z4 | 22 | 580 | 0,96 |
| Z5 | 22 | 800 | 0,97 |
| Z6 | 22 | 360 | 0,94 |

Tab. 5.2.3 Parametry odběrových míst

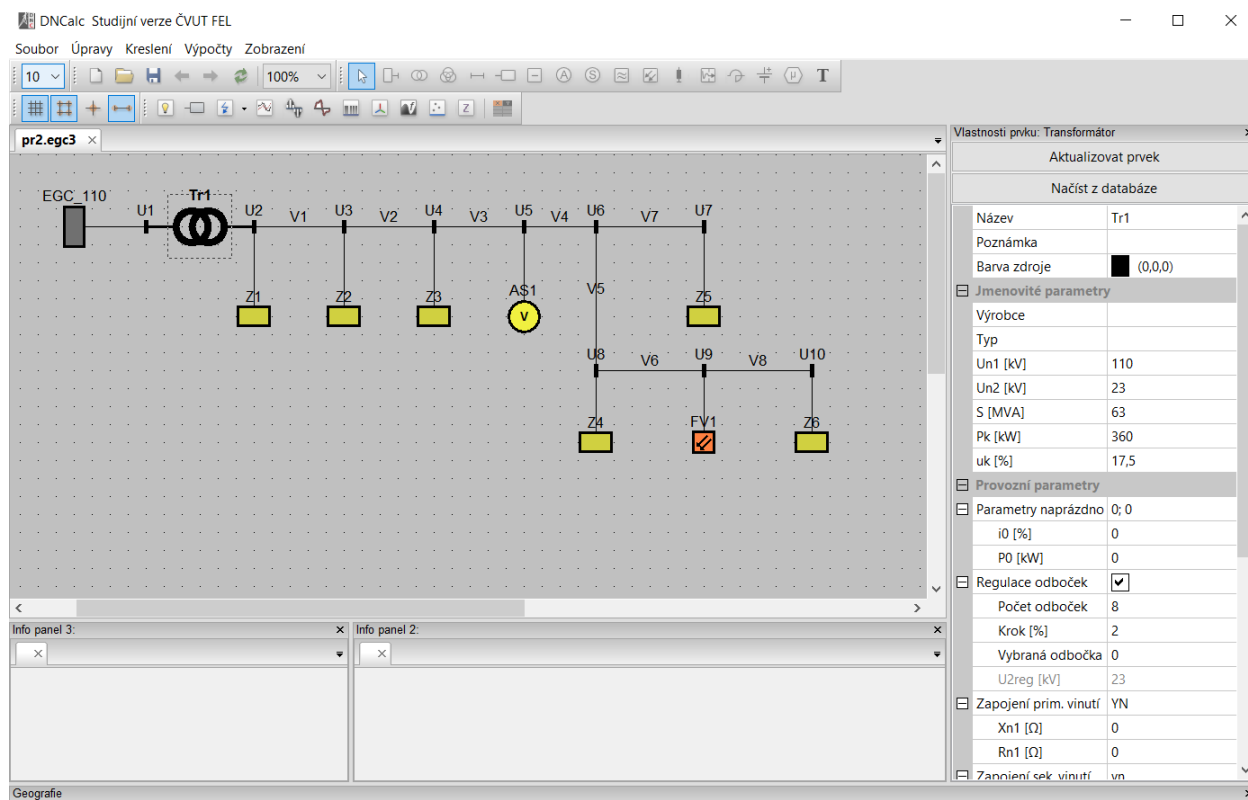
Při tvorbě modelu jsem uvažovala venkovní třífázové vedení AlFe6. Průměr vedení se liší a činí buď 95 mm<sup>2</sup>, nebo 70 mm<sup>2</sup>. V závislosti na velikosti průřezu byly dále zadány primární parametry vedení na jednotku délky – měrný odpor R, měrná podélná reaktance X a měrná příčná susceptance B.

| Vedení AlFe6 | Průřez [mm <sup>2</sup> ] | R [Ω/km] | X [Ω/km] | B [μS/km] | l [km] |
|--------------|---------------------------|----------|----------|-----------|--------|
| V1           | 95                        | 0,301    | 0,414    | 1,4       | 9      |
| V2           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 11     |
| V3           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 6      |
| V4           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 7      |
| V5           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 8      |
| V6           | 95                        | 0,301    | 0,414    | 1,4       | 5      |
| V7           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 12     |
| V8           | 70                        | 0,432    | 0,416    | 1,4       | 7      |

Tab. 5.2.4 Parametry vedení

Všechna vstupní a výstupní data výpočtu lze najít v příloze 1.

Pro příklad uvádím snímek obrazovky během práci v programu DNCalc.



Obr. 5.2.2 Program DNCalc

### 5.2.3 Výstupní hodnoty

#### 1. Připojitelnost VTE k DS.

Připojitelnost zvolené větrné elektrárny byla ověřena na základě způsobované připojením odchylky napětí, krátkodobé míry vjemu flikru a útlumu signálu HDO. Program DNCalc automaticky vyhodnocuje, zda jsou tyto parametry v dovolených mezích.

- Změny napětí.

Změny napětí vyvolané připojením OZE jsou reprezentovány hodnotou  $\Delta dU$  [%]. Výstupem také je velikost odchylky vypočteného napětí vůči jmenovité hodnotě napětí před připojením OZE –  $dU$  před [%] a velikost odchylky vypočteného napětí vůči jmenovité hodnotě napětí po připojení elektrárny –  $dU$  po [%]. V tabulce č. 5.1.5 jsou zobrazeny výsledky výpočtu změn napětí vyvolaných připojením VTE do DS.

| Uzel | dU před [%] | dU po [%] | $\Delta dU$ [%] |
|------|-------------|-----------|-----------------|
| U1   | -4,377      | -4,4      | 0,023           |
| U2   | -8,818      | -8,863    | 0,046           |

|     |        |        |       |
|-----|--------|--------|-------|
| U3  | -6,985 | -7,549 | 0,565 |
| U4  | -4,988 | -6,438 | 1,45  |
| U5  | -4,248 | -6,174 | 1,926 |
| U6  | -3,38  | -5,296 | 1,916 |
| U7  | -2,308 | -4,204 | 1,896 |
| U8  | -3,1   | -5,017 | 1,917 |
| U9  | -3,182 | -5,096 | 1,914 |
| U10 | -3,088 | -5,001 | 1,912 |

Tab. 5.2.5 Změny napětí. Větrná elektrárna

Vypočtené odchylky napětí  $\Delta dU$  nepřesahují dovolenou hranici. Nicméně můžeme pozorovat, že některé hodnoty jsou těsně pod hranici přípustnosti. V takovém případě pro spolehlivější provoz elektrárny je dobré zvětšit zkratový výkon sítě. Čím bude síť tvrdší, tím menší odchylky napětí bude způsobovat připojení OZE.

- Flickr.

Jedním ze zpětných vlivů připojení větrných elektráren je šíření flickru. V tomto kroku posuzování připoutelnosti VTE se vypočítá krátkodobá míra vjemu flickru Pst.

| Uzel    | U1    | U2    | U3    | U4    | U5    | U6    | U7    | U8    | U9    | U10   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pst [-] | 0,001 | 0,005 | 0,014 | 0,028 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 |

Tab. 5.2.6 Flickr. Větrná elektrárna

Připojení VTE nezpůsobí nepřijatelné hodnoty krátkodobé míry vjemu flickru Pst.

- Útlum HDO.

Výstupem zhodnocení útlumu HDO je relativní změna signálu HDO vůči jmenovitému napětí základní harmonické dU [%]. Vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce č. 5.1.7.

| Uzel   | U1 | U2    | U3    | U4    | U5    | U6    | U7    | U8    | U9    | U10   |
|--------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| dU [%] | 0  | 0,311 | 1,148 | 2,274 | 2,906 | 2,906 | 2,906 | 2,906 | 2,906 | 2,906 |

Tab. 5.2.7 Útlum HDO. Větrná elektrárna

Vypočtená relativní změna signálu HDO leží v dovolených mezích. Vliv připojení VTE je přijatelný.

## 2. Připojitelnost FVE k DS.

Připojitelnost fotovoltaické elektrárny bylo možné ověřit jen podle parametru změn napětí. Odchylka napětí způsobená připojením OZE je opět vyjádřena hodnotou  $\Delta dU$  [%]. Vypočtené velikosti vyvolaných změn napětí jsou zobrazeny v následující tabulce.

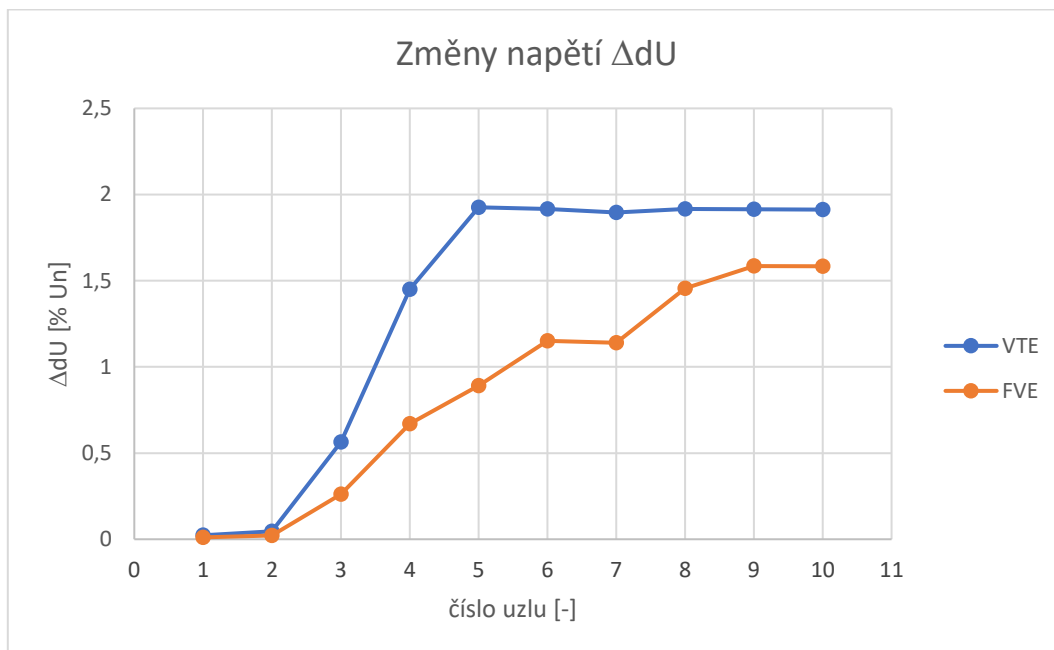
| Uzel | dU před [%] | dU po [%] | $\Delta dU$ [%] |
|------|-------------|-----------|-----------------|
| U1   | -4,389      | -4,4      | 0,011           |
| U2   | -8,842      | -8,863    | 0,022           |
| U3   | -7,288      | -7,549    | 0,261           |
| U4   | -5,768      | -6,438    | 0,67            |
| U5   | -5,283      | -6,174    | 0,891           |
| U6   | -4,145      | -5,296    | 1,152           |
| U7   | -3,065      | -4,204    | 1,14            |
| U8   | -3,561      | -5,017    | 1,456           |
| U9   | -3,511      | -5,096    | 1,585           |
| U10  | -3,417      | -5,001    | 1,584           |

Tab. 5.2.8 Změny napětí. Fotovoltaická elektrárna

Vypočtené změny napětí nepřesahují dovolené meze.

## 3. Závěrečné vyhodnocení

Na grafu č. 5.2.2 jsou zobrazeny dva průběhy, které reprezentují změny napětí způsobené zkoumanými OZE. Je vidět, že připojení větrné elektrárny vyvolá větší odchylky napětí od jmenovité hodnoty v jednotlivých uzlech. To je dáno větším instalovaným výkonem elektrárny. Nicméně jak v případě VTE, tak v případě FVE vypočtené hodnoty nepřesáhnou dovolenou hranici 2 % jmenovitého napětí. Také můžeme pozorovat, že největší napěťové změny nastávají právě v uzlech připojení OZE, což je očekávaná záležitost.



Obr.5.2.3 Porovnání připojitelnosti vybraných OZE

Výpočet ukázal, že obě elektrárny vyhovují požadavkům na připojení do distribuční sítě. Je ale vidět, že změny napětí vyvolané připojením VTE jsou těsně pod hranici dovolené hodnoty. To znamená, že zvolený výkon elektrárny, což je  $S_{VTE} = 1 \text{ MVA}$ , je maximálně možným výkonem pro bezproblémové připojení do dané sítě. Pokud žadatel o připojení potřebuje připojit OZE většího výkonu, bude potřeba provést úpravy sítě. V případě fotovoltaické elektrárny ale existuje prostor na zvýšení instalovaného výkonu.

### 5.3 Možnosti připojení obnovitelného zdroje energie do distribuční sítě

V této podkapitole budou uvedeny způsoby připojení větrných, fotovoltaických a malých vodních elektráren do distribuční sítě vysokého napětí. Vzhledem k tomu, že vyvedení výkonu z elektráren na biomasu se prakticky neliší od klasických uhelných nebo plynových elektráren, způsob jejich připojení do DS nebude v textu uveden.

#### 5.3.1 Připojení větrných elektráren

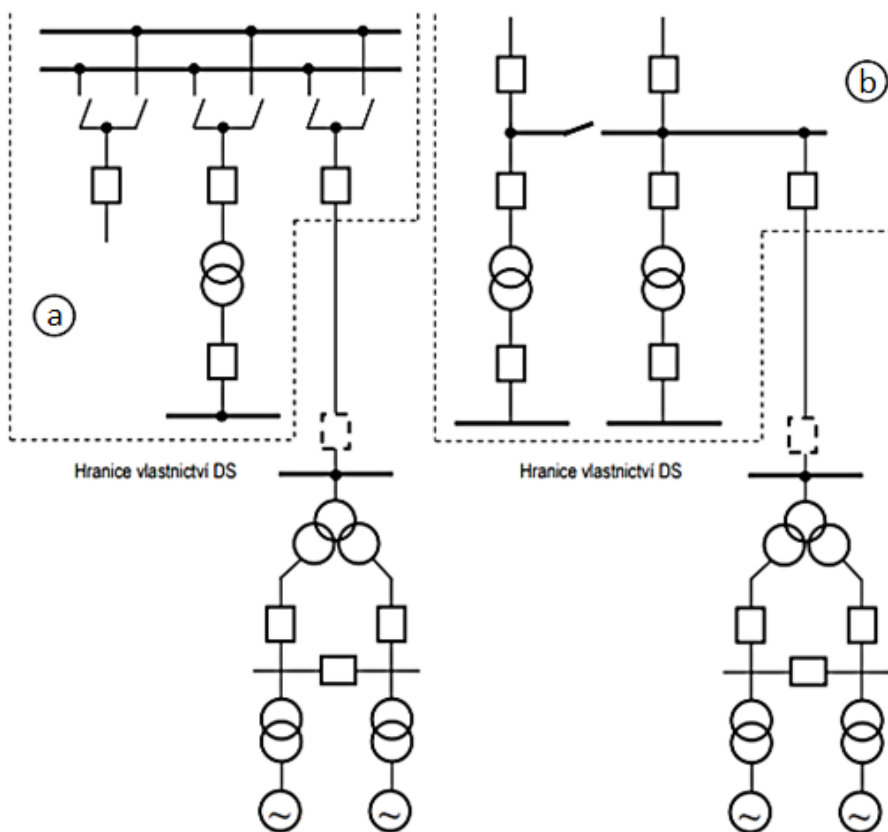
Existuje několik možností připojení větrných elektráren do distribuční sítě vn. Společnost ČEZ Distribuce, a.s., uvádí v literatuře<sup>83</sup> několik možných způsobů připojení VTE do sítě:

1. Přímým vedením do rozvodné stanice DS

Na obrázku č. 5.3.1 je zobrazen právě tento způsob připojení. V části a) je větrná elektrárna připojena k rozvodně se dvěma přípojnými prostředky přes trojvintuřový transformátor a vypínače. Toto

<sup>83</sup> ČEZ Distribuce, a.s. Pravidla provozování DS – 2005: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY. [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-4-priloha.pdf>

zapojení se hodí pro výrobní větších výkonu a zajišťuje spolehlivější dodávku elektrické energie. V případě poruchy lze odpojovačem přepnout elektrárnu na nepostiženou instalaci a tím pádem zachovat napájení. V části b) je VTE připojena na jednoduchý systém přípojnic. Takové zapojení se hodí pro výrobní malých výkonů, kde výpadek elektrárny nezpůsobí velké nebezpečí.

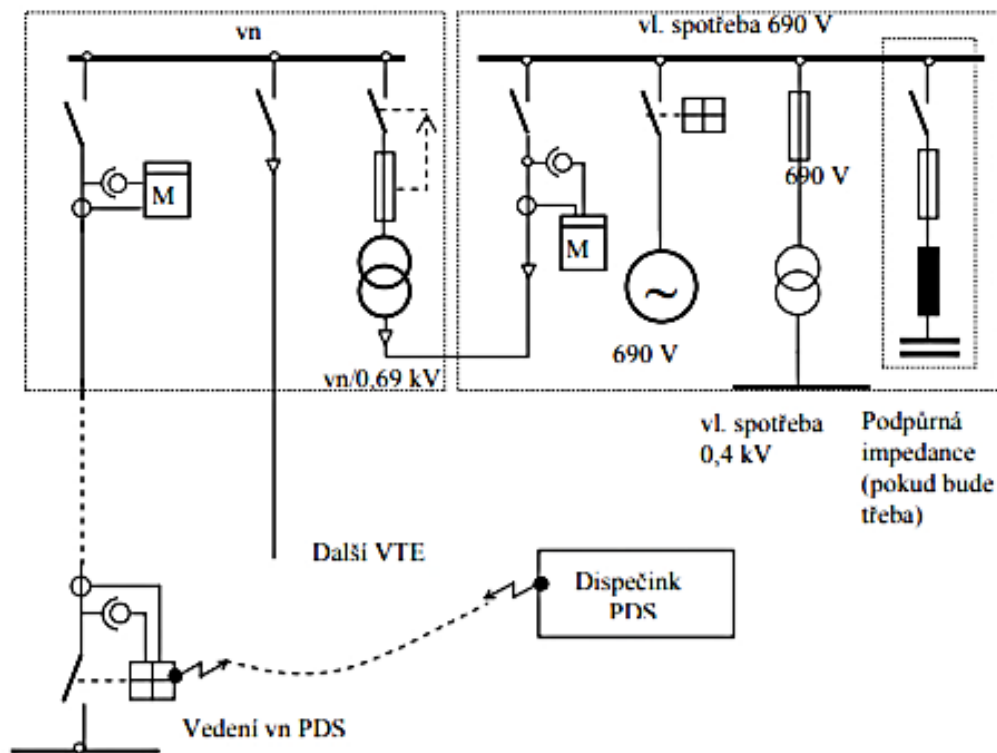


Obr. 5.3.1 Schéma připojení VTE přímým vedením do DS<sup>84</sup>

<sup>84</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS – 2005: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY.* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileothertext/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-4-priloha.pdf>



## 2. Připojení VTE do DS, dělicí bod dálkově ovládaný úsečník

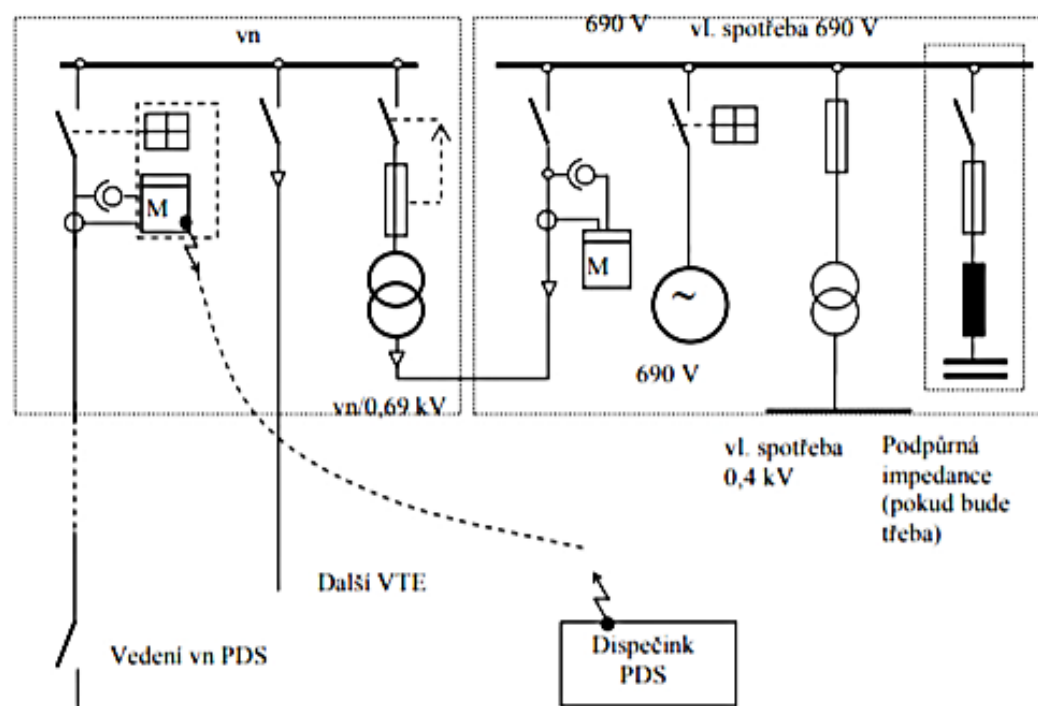


Obr..5.3.2 Schéma připojení VTE do DS. Dálkově ovládaný dělicí bod<sup>85</sup>

Na obrázku č. 5.3.2 je zobrazeno připojení farmy VTE do vedení vn, přičemž je dělicí bod vyveden mimo elektrárnu a je dálkově ovládán dispečinkem. Vlastní spotřeba elektrárny je napájena přes odbočkový transformátor. Schéma je vybaveno také potřebnými ochranami, vypínači a měřicími transformátory. Zapojení podpůrné impedance se používá pro zvýšení signálu HDO. V případě OZE je zapojení podpůrné impedance skoro vždy vyžádáno.

<sup>85</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS – 2005: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY.* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-4-priloha.pdf>

### 3. Připojení VTE do DS, dělicí bod vn ve stanici VTE



Obr.5.3.3 Schéma připojení VTE do DS. Dělicí bod je ve stanici VTE<sup>86</sup>

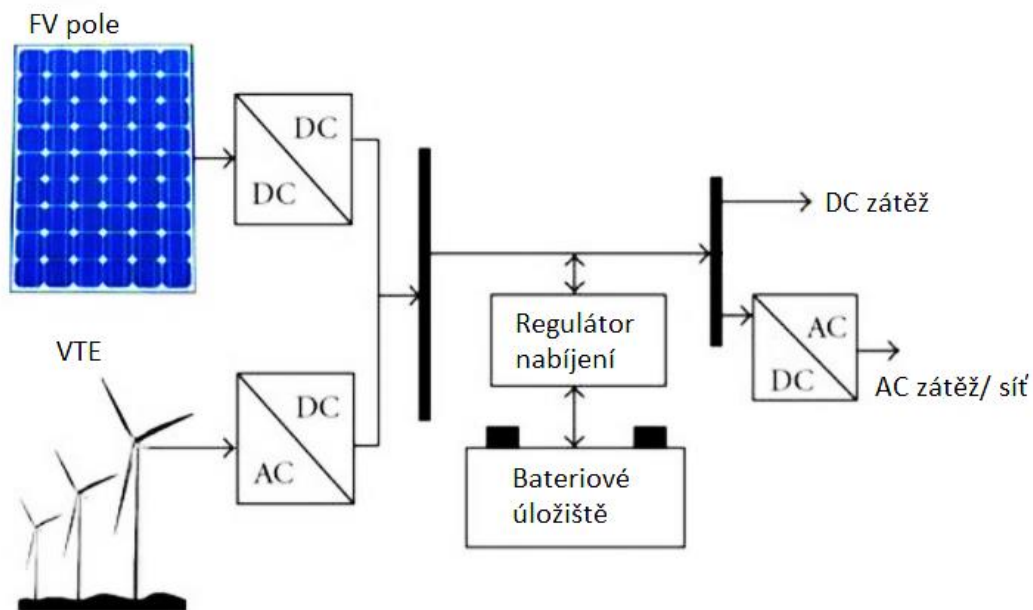
Schéma je podobné předchozímu příkladu, jediný rozdíl je v umístění dělicího bodu. Z bezpečnostního hlediska dělicí bod ve stanici VTE je spolehlivějším řešením, jelikož v případě poruchy nebo vzniku nežádoucích jevů dispečinkové řízení odpojí elektrárnu od sítě, než by se porucha šířila dále.

V současné době již zřídka uvidíme obnovitelný zdroj energie bez zajištění akumulace vyrobené elektřiny. Tento způsob připojení VTE se více hodí pro elektrárny malých výkonů, které nemají velký vliv na kvalitu a spolehlivost distribuované elektřiny. Tím, že elektrárna nemá, kam skladovat vyrobenou elektrickou energii, se výrazně zhoršuje její schopnost regulovat výkon dodávaný do DS.

Na obrázku č. 5.3.4 je vidět klasické zapojení větrné elektrárny do DS. Energie vyrobená VTE je buď skladována v bateriových člancích, anebo dodána přímo do distribuční soustavy přes výkonový měnič a měřící zařízení. Také si můžeme všimnout, že spolu s větrnými elektrárnami

<sup>86</sup> ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS – 2005: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-4-priloha.pdf>

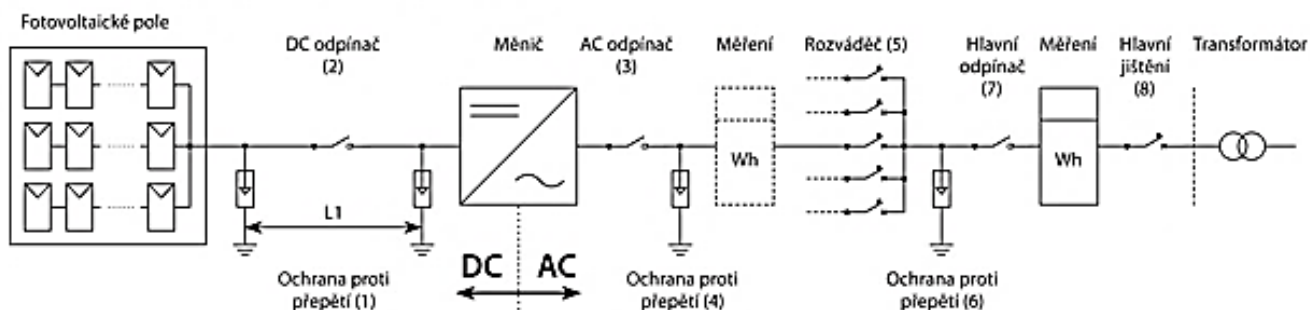
jsou často připojeny FVE. Tyto dva obnovitelné zdroje se velice dobře navzájem doplňují, a proto jsou budovány vedle sebe a mají společný vývod do DS.



Obr.5.3.4 Schéma připojení VTE s akumulátory<sup>87</sup>. Vlastní úprava.

### 5.3.2 Připojení fotovoltaických elektráren

Schéma připojení FV elektrárny pracující paralelně k distribuční síti je zobrazeno na obrázku č. 5.3.5. Schéma lze pomyslně rozdělit do dvou částí: stejnosměrnou (DC) a střídavou (AC). DC část je tvořena FV polem, stejnosměrným odpínačem a ochranou proti přepětí. Do zapojení lze také doplnit nadproudovou ochranu kabelů a ochranu proti zpětným proudům. Na rozhraní DC a AC části je připojen měnič. Střídavá část je tvořena AC odpínačem, ochranami proti přepětí, místním měřením vyrobené elektrické energie, které je pak připojeno k rozvaděči. Celé zapojení je chráněno hlavním jisticím přístrojem. Součástí schématu je také transformátor.



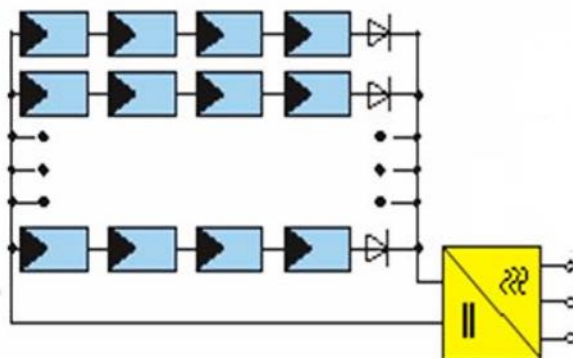
Obr. 5.3.5 Schéma připojení FVE do DS<sup>88</sup>

<sup>87</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>88</sup> Tamtéž

Umístění měniče se může lišit. V závislosti na výkonu elektrárny lze invertor umístit třemi způsoby:

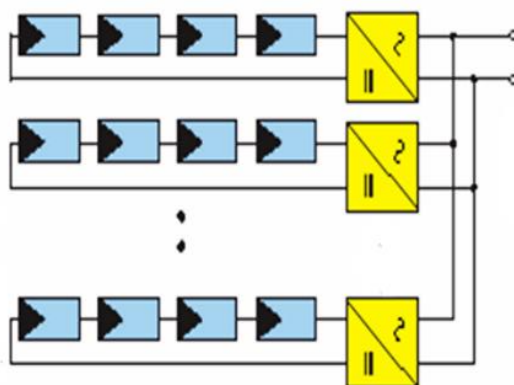
### 1. Centrální měnič.



Obr. 5.3.6 Zapojení centrálního měniče FVE<sup>89</sup>

Zapojení obsahuje pouze jeden společný měnič pro všechny FV panely. Centrální měnič se používá obvykle pro větší elektrárny s instalovaným výkonem větším než 10 kW. Výhodou takového zapojení je vysoká účinnost přeměny energie a dobrá kvalita dodávané elektřiny. Nevýhodou je horší schopnost regulace bodu maximálního výkonu jednotlivých panelů, potřeba delší DC kabeláže a DC rozváděčů. Také je nutné brát v úvahu skutečnost, že při poruše měniče dodávka elektřiny do sítě se zastaví.

### 2. Řetězový měnič



Obr. 5.3.7 Zapojení řetězového měniče FVE<sup>90</sup>

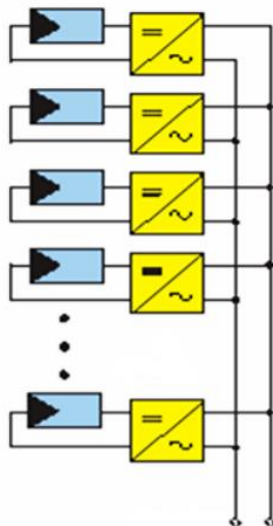
Řetězové měniče se používají pro elektrárny o výkonu v rozmezí 1 kW až 15 kW. Jak lze pochopit z názvu, každý řetězec FV modulů má svůj vlastní invertor. Takové zapojení

<sup>89</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020

<sup>90</sup> Tamtéž

zjednodušuje regulaci účinnosti elektrárny, také jsou menší nároky na DC vedení. V případě poruchy jednoho z měničů není potřeba odstavovat celou elektrárnu. Na druhou stranu se zvyšuje cena elektrárny.

### 3. Modulový měnič



Obr. 5.3.8 Zapojení modulového měniče FVE<sup>91</sup>

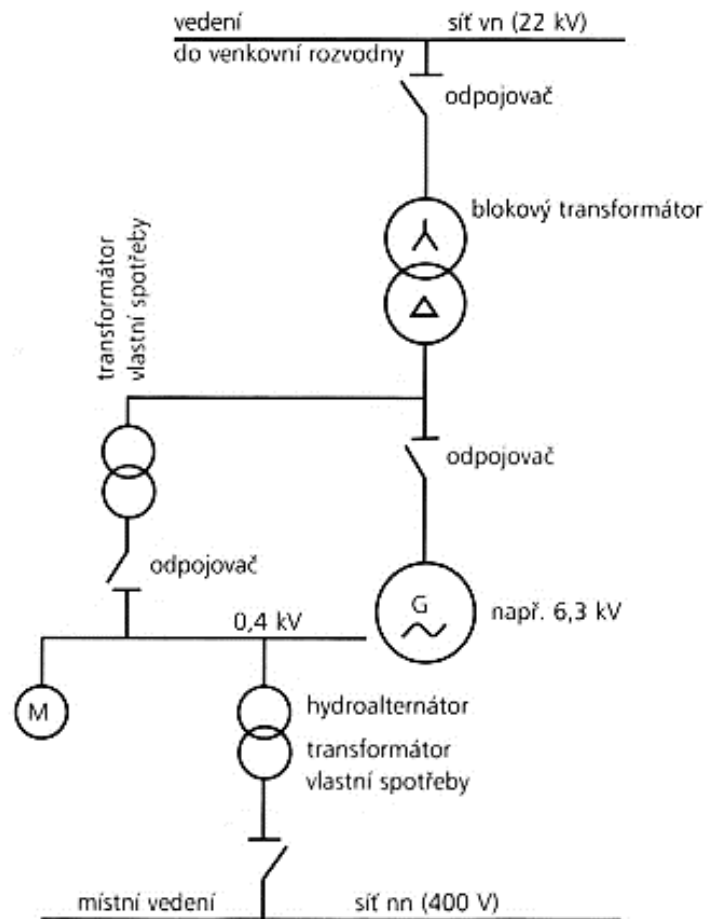
Zapojení měničů zvláště ke každému modulů se používá pouze u elektráren o malém instalovaném výkonu. Použitím modulového měniče se zbavíme nutnosti mít DC vedení. Na opačnou stranu ale celý systém se stává hůře říditelným vzhledem k velkému počtu komponentů.

#### 5.3.3 Připojení malých vodních elektráren

Malé vodní elektrárny vzhledem k jejich instalovanému výkonu jsou obvykle připojovány k síti nízkého anebo vysokého napětí. Připojení MVE také nevyžaduje přenos měření a signalizace na dispečink. Vzhledem k tomu, že vodní elektrárny jsou schopny dodávat konstantní elektrický výkon do DS, na jejich připojení jsou kladeny méně přísné požadavky nežli například na elektrárny větrné anebo fotovoltaické.

Na obrázku č. 5.3.9 je vidět jednoduché schéma připojení MVE do elektroenergetické sítě. Generátor vodní elektrárny je připojen k síti 22 kV pomocí blokového transformátoru, který je v zapojení hvězda – trojúhelník. Takové zapojení se používá pro omezení třetí harmonické. Na schématu je také vidět napájení vlastní spotřeby elektrárny jak ze strany vysokého napětí přes odbočku, tak i ze strany nízkého napětí.

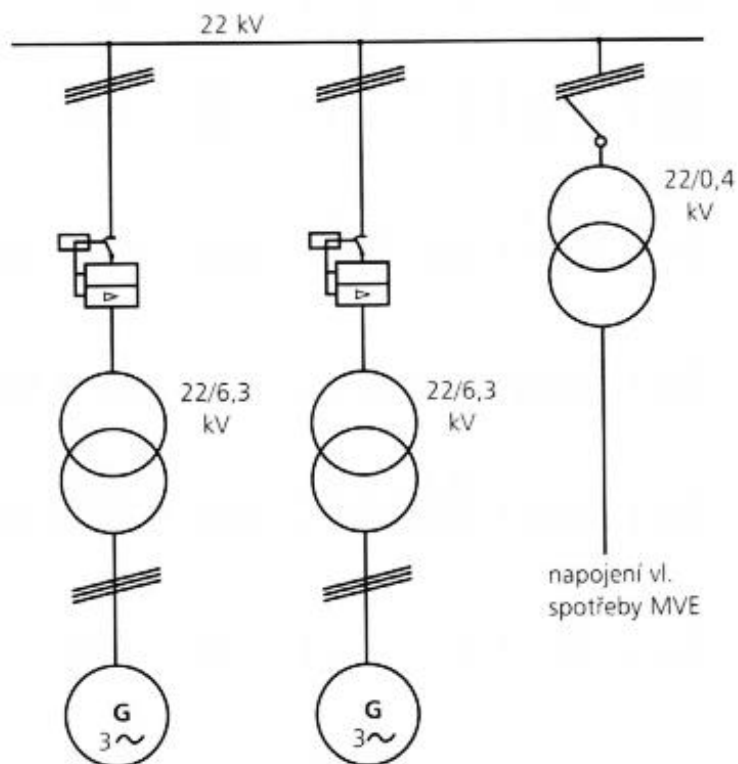
<sup>91</sup> BENDA, Vítězslav: Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (B1M13ASS), ČVUT v Praze, 2020



Obr. 5.3.9 Schéma připojení MVE do DS<sup>92</sup>

Detailnější náhled zapojení MVE je vidět na následujících dvou obrázcích. Generátory lze připojit buď blokově, nebo přes společný transformátor.

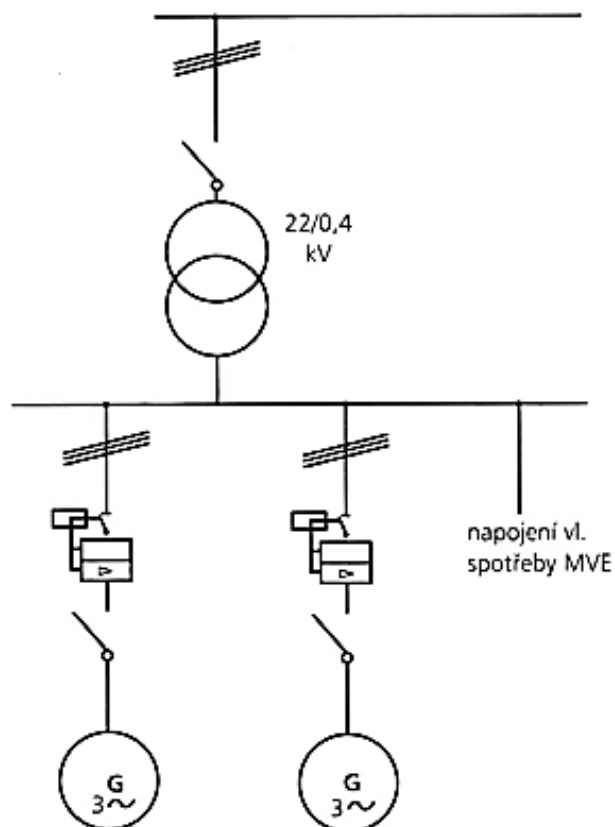
<sup>92</sup> VACEK, Jáchym: Kurz Využití energie vody. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ\\_vodni\\_elektramy.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ_vodni_elektramy.pdf)



Obr. 5.3.10 Blokové zapojení MVE do DS<sup>93</sup>

Blokové zapojení se spočívá ve vyhrazení jednotlivých větví pro každý generátor elektrárny. Výhodou takového zapojení je nezávislost generátorů a tím i větší spolehlivost dodávky elektrické energie. Nevýhodou jsou větší náklady na pořízení transformátorů.

<sup>93</sup> VACEK, Jáchym: Kurz Využití energie vody. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ\\_vodni\\_elektrarny.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ_vodni_elektrarny.pdf)



Obr. 5.3.11 Zapojení MVE do DS se společným transformátorem<sup>94</sup>

Zapojení se společným transformátorem je jednodušším řešením. Má ale velkou nevýhodou v tom, že pokud dojde k poruše na blokovém transformátoru, celá elektrárny se odstaví. Oproti předchozímu schématu každý generátor musí být vybaven generátorovým vypínačem, aby byla zajištěna jejich samostatná práce. Výhodou zapojení se společným transformátorem je jeho nižší cena, ale je nutné brát v úvahu, že použitý transformátor musí mít dvojnásobný zdánlivý výkon oproti případu blokového zapojení.

<sup>94</sup> VACEK, Jáchym: Kurz Využití energie vody. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ\\_vodni\\_elektrany.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ_vodni_elektrany.pdf)



## 6 Ekonomické aspekty připojení obnovitelných zdrojů energie do distribuční soustavy

Připojení nových obnovitelných zdrojů do elektrizační sítě způsobí řadu nejen technických změn, ale také i ekonomických. Jednou z významných položek v tomto smyslu je státní podpora elektřiny a tepla z OZE. Připojení nového zdroje do distribuční soustavy vyvolává nejen jednorázové náklady, zároveň vzniká potřeba zvětšit podíl státního rozpočtu určený na podporu OZE.

Stát podporuje výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů následujícími způsoby<sup>95</sup>:

- Povinný výkup elektřiny.
- Hrazení nákladů na systémové služby.
- Hrazení nákladů na přírůstek instalovaného výkonu.
- Úhradou části investic pro zajištění instalovaného výkonu.

Náklady na podporu jsou hrazeny státem a operátorem trhu OTE, a.s., (dále také „OTE“). Je nutné dodat, že velikost nákladů zaplacených OTE se promítne do ceny elektřiny pro konečného zákazníka. Tuto částku představuje položka POZE – podpora obnovitelných zdrojů energie.

Pravidelná podpora elektřiny neboli povinný výkup elektřiny se uskutečňuje formou buď zelených bonusů, nebo výkupních cen.

### 6.1 Výkupní ceny

Pokud výrobce elektřiny zvolí tuto formu podpory, prodá veškerý objem elektřiny naměřený v předávacím místě výroby a distribuční nebo přenosové soustavy povinně vykupujícímu. Výkupní ceny elektřiny jsou stanoveny Energetickým regulačním úřadem (dále také „ERÚ“) pro jednotlivé OZE.

| OZE                           | Datum uvedení do provozu |              | Výkupní cena<br>[Kč·MWh <sup>-1</sup> ] |
|-------------------------------|--------------------------|--------------|-----------------------------------------|
|                               | od                       | do           |                                         |
| MVE ve stávajících lokalitách | 1. 1. 2019               | 31. 12. 2019 | 2 303                                   |
|                               | 1. 1. 2020               | 31. 12. 2020 | 2 258                                   |

<sup>95</sup> Volně z: MPO. Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2006. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/34085/38234/438586/priloha001.doc>

|                                       |            |              |            |
|---------------------------------------|------------|--------------|------------|
|                                       | 1. 1. 2021 | 31. 12. 2021 | 2 214      |
| MVE v nových lokalitách               | 1. 1. 2019 | 31. 12. 2019 | 2 852      |
|                                       | 1. 1. 2020 | 31. 12. 2020 | 2 796      |
|                                       | 1. 1. 2021 | 31. 12. 2021 | 2 741      |
| VTE                                   | 1. 1. 2019 | 31. 12. 2019 | 2 008      |
|                                       | 1. 1. 2020 | 31. 12. 2020 | 1 969      |
|                                       | 1. 1. 2021 | 31. 12. 2021 | 1 930      |
| Nové výrobní spalující čistou biomasu | 1. 1. 2015 | 31. 12. 2021 | 3 263 (O1) |
|                                       | 1. 1. 2015 | 31. 12. 2021 | 2 251 (O2) |
|                                       | 1. 1. 2015 | 31. 12. 2021 | 1 245 (O3) |

Tab. 6.1.1 Velikost výkupních cen<sup>96</sup>

Poznámka: v tabulce jsou uvedeny jen aktuální hodnoty za předpokladu podpory jen nově připojených OZE. Uvedené ceny jsou bez DPH.

Poznámka: Značení O1 až O3 jsou kategorie spalované biomasy, kde O1 je cíleně pěstovaná biomasa, O2 a O3 je odpadní biomasa.

## 6.2 Zelené bonusy

Podle zákona 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů: „Zelený bonus na elektřinu je stanoven v Kč/MWh a poskytován v ročním nebo hodinovém režimu“<sup>97</sup>. Zelený bonus je vyplacen výrobcí elektřiny společnostmi OTE za veškerou vyrobenou z OZE elektřinu s výjimkou vlastní spotřeby. Pokud provozovatel elektrárny zvolí tuto formu podpory, musí najít sám svého odběratele elektřiny. Výši zeleného bonusu stanoví také ERÚ.

<sup>96</sup> ERÚ. Cenové rozhodnutí č. 7/2020, ze dne 30. září 2020, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. [2020.09.30]. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5\\_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d](https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d)

<sup>97</sup> Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů.

| OZE                                   | Datum uvedení do provozu |              | Zelené bonusy<br>[Kč·MWh <sup>-1</sup> ] |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------------------|
|                                       | od                       | do           |                                          |
| MVE ve stávajících lokalitách         | 1. 1. 2019               | 31. 12. 2019 | 1 461                                    |
|                                       | 1. 1. 2020               | 31. 12. 2020 | 1 416                                    |
|                                       | 1. 1. 2021               | 31. 12. 2021 | 1 372                                    |
| MVE v nových lokalitách               | 1. 1. 2019               | 31. 12. 2019 | 2 010                                    |
|                                       | 1. 1. 2020               | 31. 12. 2020 | 1 954                                    |
|                                       | 1. 1. 2021               | 31. 12. 2021 | 1 899                                    |
| VTE                                   | 1. 1. 2019               | 31. 12. 2019 | 1 166                                    |
|                                       | 1. 1. 2020               | 31. 12. 2020 | 1 126                                    |
|                                       | 1. 1. 2021               | 31. 12. 2021 | 1 088                                    |
| Nové výrobní spalující čistou biomasu | 1. 1. 2015               | 31. 12. 2021 | 2 284 (O1)                               |
|                                       | 1. 1. 2015               | 31. 12. 2021 | 1 272 (O2)                               |
|                                       | 1. 1. 2015               | 31. 12. 2021 | 266 (O3)                                 |

Tab. 6.2.1 Velikost zelených bonusů<sup>98</sup>

### 6.3 Národní klimaticko-energetický plán

NKEP, neboli Národní klimaticko-energetický plán, je program, kterým se řídí všechny členské státy Evropské unie. Podle NKEP mají jednotlivé státy naplánovat svoji politiku v oblasti energetiky a klimatu, zejména se to týká obnovitelných zdrojů energie. Česká republika si podle tohoto plánu stanovila cíl zvýšit podíl OZE na spotřebě energie do roku 2030 na 20,8 % ze současných 14,6 %<sup>99</sup>.

<sup>98</sup> ERÚ. Cenové rozhodnutí č. 7/2020, ze dne 30. září 2020, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. [2020.09.30]. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z:

[https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5\\_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d](https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d)

<sup>99</sup> MPO. Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP). [2019-3-11]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>

Součástí plnění plánu a zvýšení celkového instalovaného výkonu OZE je podpora obnovitelné energie. Podpora se vztahuje jak na stávající OZE, tak i na nové výrobní, zdrojem financování jsou státní rozpočet, soukromé investice a evropské fondy. V oblasti výroby elektrické energie se podpora vztahuje na malé vodní a větrné elektrárny, KVET a elektrárny na biomasu a bioplyn.

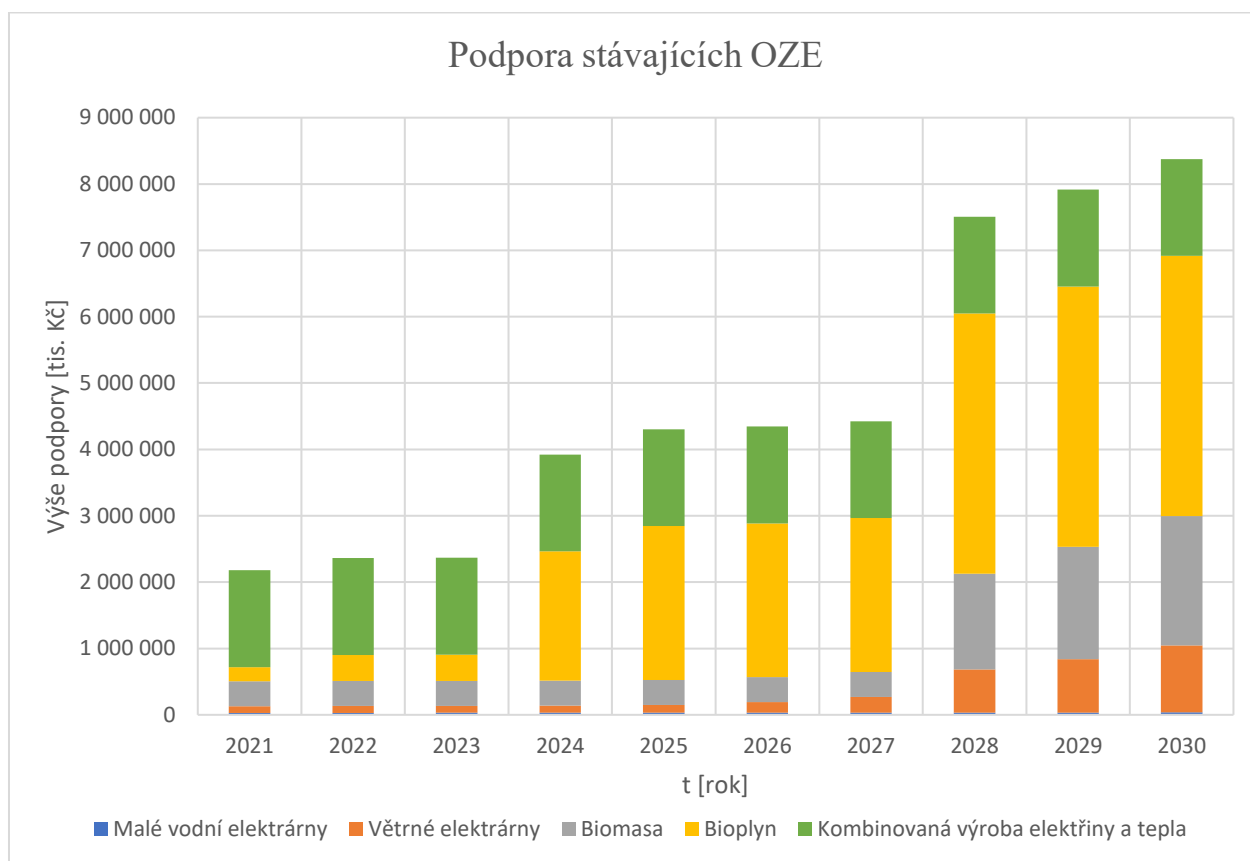
Celková částka na podporu OZE již v provozu zahrnuje investiční a provozní podporu a činí zhruba 47 mld. Kč

| rok         | Výše podpory stávajících OZE [tis. Kč] |                   |           |           |           |
|-------------|----------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|             | Malé vodní elektrárny                  | Větrné elektrárny | Biomasa   | Bioplyn   | KVET      |
| <b>2021</b> | 30 000                                 | 100 000           | 375 663   | 213 509   | 1 461 000 |
| <b>2022</b> | 30 600                                 | 102 000           | 375 663   | 394 805   | 1 461 000 |
| <b>2023</b> | 31 212                                 | 104 040           | 375 663   | 394 805   | 1 461 000 |
| <b>2024</b> | 31 836                                 | 108 374           | 375 663   | 1 946 819 | 1 461 000 |
| <b>2025</b> | 32 473                                 | 118 171           | 375 663   | 2 317 520 | 1 461 000 |
| <b>2026</b> | 33 122                                 | 158 912           | 375 663   | 2 317 520 | 1 461 000 |
| <b>2027</b> | 33 785                                 | 237 652           | 375 663   | 2 317 520 | 1 461 000 |
| <b>2028</b> | 34 461                                 | 650 214           | 1 442 285 | 3 920 080 | 1 461 000 |
| <b>2029</b> | 35 150                                 | 802 120           | 1 696 177 | 3 920 080 | 1 461 000 |
| <b>2030</b> | 35 853                                 | 1 009 949         | 1 950 068 | 3 920 080 | 1 461 000 |

Tab. 6.1.3 Podpora stávajících OZE podle NKEP<sup>100</sup>

Tabulka je graficky reprezentována obrázkem č. 6.3.1. Je vidět, že největší podporu získají výrobce elektřiny z biomasy a provozovatele kogeneračních jednotek. Takový rozdíl je dán celkovým instalovaným výkonem všech elektráren daného druhu.

<sup>100</sup> MPO. Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP). str. 189. [2019-3-11]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>



Obr. 6.3.1 Výše podpory stávajících OZE podle NKEP<sup>101</sup>

Nově připojené OZE a KVET jsou také podporovány státem. Je ale vidět, že samotné elektrárny na biomasu a bioplyn nejsou do toho seznamu zahrnuty.

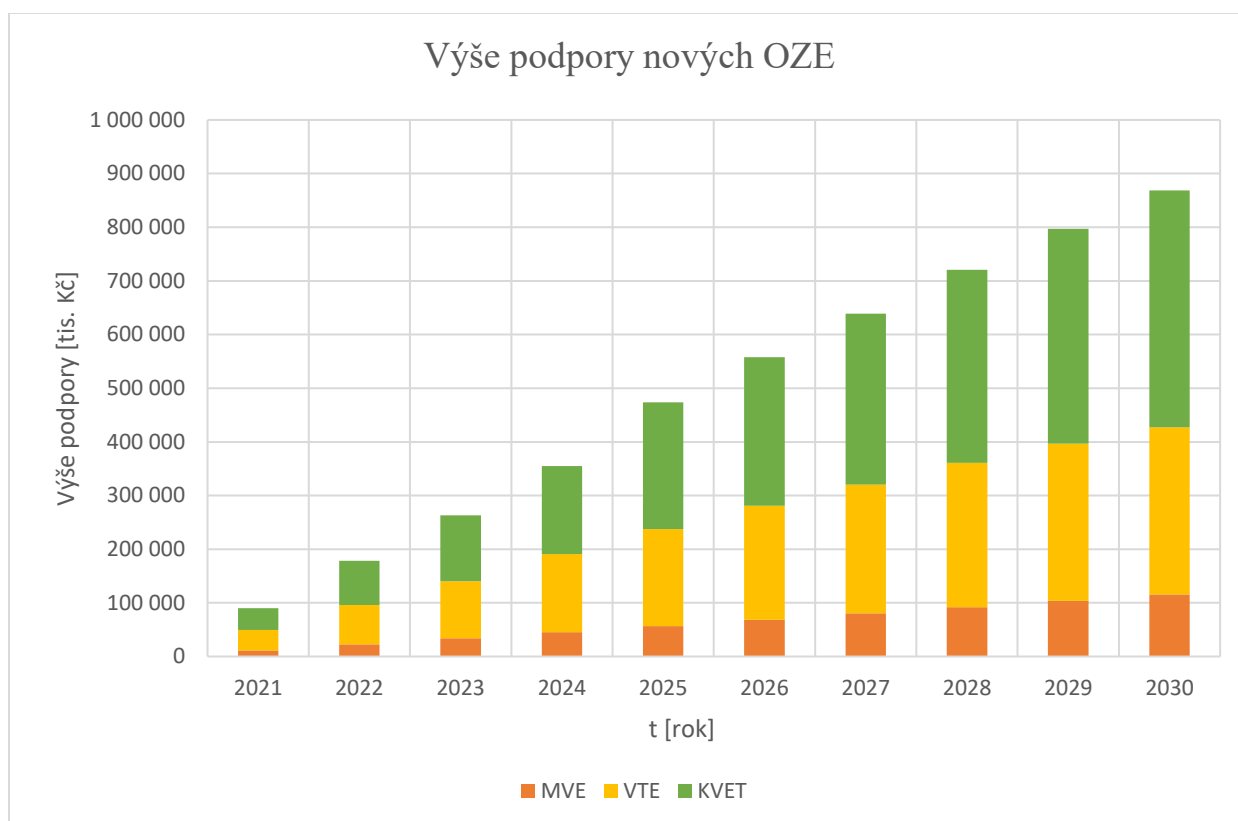
| rok         | Výše podpory nových OZE [tis. Kč] |         |         |
|-------------|-----------------------------------|---------|---------|
|             | MVE                               | VTE     | KVET    |
| <b>2021</b> | 11 221                            | 38 007  | 41 132  |
| <b>2022</b> | 22 529                            | 73 365  | 82 265  |
| <b>2023</b> | 33 922                            | 106 032 | 123 397 |
| <b>2024</b> | 45 399                            | 145 237 | 164 529 |
| <b>2025</b> | 56 960                            | 180 725 | 235 929 |
| <b>2026</b> | 68 601                            | 212 431 | 277 061 |
| <b>2027</b> | 80 324                            | 240 290 | 318 194 |

<sup>101</sup> MPO. Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP). str. 189. [2019-3-11]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>

|             |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|
| <b>2028</b> | 92 125  | 269 017 | 359 326 |
| <b>2029</b> | 104 004 | 292 734 | 400 459 |
| <b>2030</b> | 115 958 | 311 345 | 441 591 |

Tab. 6.1.4 Podpora nových OZE podle NKEP<sup>102</sup>

Podle NKEP je plánována stále vzrůstající hodnota roční podpory nových OZE. Celková hodnota investice činí necelých pět miliard Kč. Cílem je samozřejmě splnit plán a tím pádem zapojit co nejvíce OZE do elektrizační sítě.



Obr. 6.3.2 Výše podpory nových OZE podle NKEP<sup>103</sup>

Ekonomické aspekty připojení obnovitelných zdrojů energie nejsou ohraničeny pouze státní podporou. Výstavba a provoz elektráren ovlivní také i makroekonomické parametry, například růst HDP státu, pokles úrovně nezaměstnanosti, přítok zahraničních investic a jiné.

<sup>102</sup> MPO. Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP). str. 191. [2019-3-11]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>

<sup>103</sup> Tamtéž

## Závěr

Diplomová práce byla věnována tématu připojitelnosti obnovitelných zdrojů energie do distribuční energetické soustavy. Cílem práce bylo prostudovat obnovitelné zdroje energie a způsoby jejich připojení do elektrizační sítě, odhalit zpětné vlivy obnovitelných zdrojů a zjistit způsoby potlačení těchto vlivů. Součástí práce bylo také naznačit konfiguraci distribuční sítě pro decentralizovanou výrobu elektrické energie a náklady s tímto spojené.

Připojení obnovitelných zdrojů energie způsobuje změny napětí v síti, napěťovou nesymetrii, útlum signálu HDO, vyšší harmonické a flickr. Je nutné dodržovat tyto parametry v mezích stanovených českou legislativou a technickými normami.

Nejmenší vliv na elektrizační síť mají vodní elektrárny a elektrárny na biomasu a bioplyn, jelikož jsou schopné dodávat výkon nezávisle na čase a klimatických podmínkách. Jedním ze způsobů potlačení zpětných vlivů obnovitelných zdrojů je zvyšování zkratového výkonu sítě. Také se využívá funkce regulace výkonu na napětí v síti, použití filtračních zařízení a hradících členů.

Růst podílu OZE na celkové výrobě elektrické energie vyvolá určité náklady spojené se zajištěním požadovaného příkonu a výkonu, výstavbou přípojného vedení, instalací potřebných ochranných a měřicích zařízení. Také vzroste podíl státního rozpočtu určený pro podporu stávajících a nových OZE.

Připojení OZE je přímo spojeno s přechodem do decentralizované výroby elektrické energie. To se projeví zavedením smart-grids, které umožní bezproblémově provozovat hodně menších zdrojů elektřiny, sledovat stav elektroenergetické sítě, lépe vyhovovat požadavkům výrobců a zákazníků

V této diplomové práci byl proveden výpočet parametrů připojitelnosti větrné a fotovoltaické elektrárny. Pomocí výpočetního programu bylo zjištěno, že připojení vybraných OZE nevyvolá nepřijatelné odchylky napětí, šíření flickru a útlum signálu HDO. Podobné výpočty se provádějí v praxi jako součást technické dokumentace nové výroby elektrické energie.

Podle názoru autorky diplomové práce všechny cíle stanovené na začátku práce byly splněny. Existuje také prostor pro další diskusi zejména v oblasti efektivního a spolehlivého provozu obnovitelných zdrojů energie a elektrizační soustavy celkově.

## Literatura

- [1] BENDA, Vítězslav: *Přednášky z předmětu Aplikace solárních systémů (BIM13ASS)*, ČVUT v Praze, 2020
- [2] BUDÍN, Jan. *Kogenerace – princip, technologie a výhody*. [online]. [cit. 2021-4-12].  
Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 16/2016 Sb., *Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě*. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2016, ročník 2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16>
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 165/2012 Sb., *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2012, ročník 2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165#cast1>
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb., *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2001, ročník 2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [6] ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS – 2005: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-4-priloha.pdf>
- [7] ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování DS - 2020: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020\\_priloha-4.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-4.pdf)
- [8] ČEZ Distribuce, a.s. *Připojovací podmínky pro výrobní elektřiny*. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvyrobnypdf>
- [9] ČEZ, a.s. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich využití v ČR*. [online]. [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne\\_zdoje\\_energie\\_a\\_moznosti\\_jejich\\_vyuziti\\_pro\\_cr.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_moznosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf)



- [10] ELEKTRARNE.UNAS.CZ. *Elektrárne na biomasu*. [online]. [cit. 2021-4-12].  
Dostupné z: <http://elektrarne.unas.cz/subory/biomasa.htm>
- [11] ERÚ. *Cenové rozhodnutí č. 7/2020, ze dne 30. září 2020, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie*. [2020.09.30]. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5\\_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d](https://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d)
- [12] ERÚ. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc](http://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc)
- [13] FRANK BOLD Advokáti. *Lokální distribuční soustava*. [online]. [cit. 2021-3-22].  
Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/sluzby/2525-lokalni-distribucni-soustava>
- [14] HÁJEK, Jan. Bakalářská práce. *Efektivnost instalace a provozu malé větrné elektrárny pro rodinný domek*. Praha, 2017. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69964/F3-BP-2017-Hajek-Jan-Efektivnost%20instalace%20a%20provozu%20male%20vetrne%20elektrarny%20pro%20rodinny%20domek.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/225442/mod\\_resource/content/1/SSE20%20V%C4%9Btrn%C3%A9%20elektr%C3%A1rny.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/225442/mod_resource/content/1/SSE20%20V%C4%9Btrn%C3%A9%20elektr%C3%A1rny.pdf)
- [16] KOČÁRNÍK, Petr: *Přednášky z předmětu Strojní struktury elektráren (B1M14SSE)*, ČVUT FEL v Praze, 2019
- [17] KULVEIT, Martin. Bakalářská práce. *Obnovitelné zdroje a jejich začlenění do distribuční soustavy*. Ostrava, 2020. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/140459/KUL0099\\_FEI\\_B2649\\_3907R001\\_2020.pdf?sequence=1](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/140459/KUL0099_FEI_B2649_3907R001_2020.pdf?sequence=1)
- [18] LUKÁŠEL, Kamil. Bakalářská práce. *Bariéry rozvoje obnovitelných zdrojů v ČR*. Brno, 2010. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30281287.pdf>
- [19] MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-2-oze.pdf?fbclid=IwAR39j112j33FGZ7C\\_azj39dIv8aFhN8sfcHQbS1JUwv-9T8aBNi7ufaXjc0](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-2-oze.pdf?fbclid=IwAR39j112j33FGZ7C_azj39dIv8aFhN8sfcHQbS1JUwv-9T8aBNi7ufaXjc0)

- [20] MOUDRÝ, J., KALINOVÁ J. *Pěstování speciálních plodin*. Energetické využití biomasy. [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/>
- [21] MPO. *Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP)*. [2019-3-11]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/](https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/)
- [22] MPO. *Vývoj podílu obnovitelné energie*. [2020-12-1]. [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/vyvoj-podilu-obnovitelne-energie--258215/>
- [23] MPO. *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2006*. [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/34085/38234/438586/priloha001.doc>
- [24] MULLER, Zdeněk: *Přednášky z předmětu Distribuce elektrické energie (B1M15DEE)*, ČVUT v Praze, 2020
- [25] MUSIL, Ladislav: *Cvičení z předmětu Přenos a rozvod elektrické energie (B1M15PRE1)*, ČVUT v Praze, 2020
- [26] OEZ.CZ. *Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje*. [online]. [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>
- [27] PROCHÁZKA, Radek: *Přednášky z předmětu Elektroenergetika 2 (B1B15EN2)*, ČVUT FEL v Praze, 2018
- [28] ROZSYPAL, Daniel. Diplomová práce. *Vliv zařízení FACTS na ztráty v elektrizačních soustavách*. Praha, 2015. [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61148/F3-DP-2015-Rozsypal-Daniel-DP%20Daniel\\_Rozsypal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61148/F3-DP-2015-Rozsypal-Daniel-DP%20Daniel_Rozsypal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [29] SVĚT ENERGIE. *Decentralizovaná energetika*. [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika/decentralizovane-energeticke-zdroje-podrobne/decentralizovana-energetika/vyklad>
- [30] SVĚT ENERGIE. *Spalování biomasy*. [online]. [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/spalovani-biomasy/vyklad>
- [31] SVĚT ENERGIE. *Topologie distribučních sítí*. [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny/distribuce-elektricke-energie-podrobne/topologie-distribucnich-siti/vyklad>

- [32] TZB-INFO.CZ. *Inteligentní rozvodné sítě*. [online]. [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7864-inteligentni-rozvodne-site>
- [33] VACEK, Jáchym: *Kurz Využití energie vody*. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ\\_vodni\\_elektrarny.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/315/OEZ_vodni_elektrarny.pdf)
- [34] VAŠÍČEK, Jiří: *Přednášky z předmětu Ekonomika elektroenergetiky (B1B16EKE1)*, ČVUT FEL v Praze, 2021
- [35] VOBOŘIL, David. *Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR*. [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [36] VYSOUDIL, Martin. *Bakalářská práce. Návrh malé vodní elektrárny*. Brno, 2009. [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18464](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464)
- [37] W.E.B. *Větrná energie. Systémy regulace*. [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: [https://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie\\_9/systemy-regulace\\_27](https://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie_9/systemy-regulace_27)
- [38] WINDUSTRY.ORG. *Community Wind Toolbox. Chapter 8: Costs*. [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: [https://www.windustry.org/community\\_wind\\_toolbox\\_8\\_costs](https://www.windustry.org/community_wind_toolbox_8_costs)

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Fotogalerie snímků obrazovky výpočetního programu

Příloha 2: Výpočetní program

## Příloha 1 Fotogalerie snímků obrazovky výpočetního programu

### Vstupní hodnoty

#### Parametry sítě EGC\_10

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Název                 | EGC_110                  |
| Poznámka              |                          |
| Barva zdroje          | ■ (0,0,0)                |
| ☐ Jmenovité parametry |                          |
| Un [kV]               | 110                      |
| ☐ Skmax               |                          |
| Uprov AB [kV]         | 115                      |
| Úhel Uab [°]          | 30                       |
| Uprov BC [kV]         | 115                      |
| Uprov CA [kV]         | 115                      |
| Us [kV]               | 0                        |
| Úhel Us [°]           | 0                        |
| Zadat Izkr            | <input type="checkbox"/> |
| Izkr [kA]             | 6,298367                 |
| Szkr [MVA]            | 1200                     |
| Rn [Ω]                | 0                        |
| Xn [Ω]                | 0                        |
| R0/R1 [-]             | 1                        |
| X0/X1 [-]             | 1                        |
| R/X [-]               | 0,15                     |
| ☐ Skmin               |                          |
| Uprov AB [kV]         | 115                      |
| Úhel Uab [°]          | 30                       |
| Uprov BC [kV]         | 115                      |
| Uprov CA [kV]         | 115                      |
| Us [kV]               | 0                        |
| Úhel Us [°]           | 0                        |
| Zadat Izkr            | <input type="checkbox"/> |

#### Parametry transformátoru Tr1

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| Název                                                  | Tr1       |
| Poznámka                                               |           |
| Barva zdroje                                           | ■ (0,0,0) |
| ☐ Jmenovité parametry                                  |           |
| Výrobce                                                |           |
| Typ                                                    |           |
| Un1 [kV]                                               | 110       |
| Un2 [kV]                                               | 23        |
| S [MVA]                                                | 63        |
| Pk [kW]                                                | 360       |
| uk [%]                                                 | 17,5      |
| ☐ Provozní parametry                                   |           |
| ☐ Parametry naprázdno 0; 0                             |           |
| i0 [%]                                                 | 0         |
| P0 [kW]                                                | 0         |
| ☐ Regulace odboček <input checked="" type="checkbox"/> |           |
| Počet odboček                                          | 8         |
| Krok [%]                                               | 2         |
| Vybraná odbočka                                        | 0         |
| U2reg [kV]                                             | 23        |
| ☐ Zapojení prim. vinutí YN                             |           |
| Xn1 [Ω]                                                | 0         |
| Rn1 [Ω]                                                | 0         |
| ☐ Zapojení sek. vinutí yn                              |           |
| Xn2 [Ω]                                                | 0         |
| Rn2 [Ω]                                                | 0         |
| Hod. úhel [-]                                          | 0         |
| In1 [A]                                                | 330       |

## Parametry odběru Z1

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z1                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, S, cos $\varphi$                 |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Sn [kVA]                       | 1100                                |
| cos $\varphi_n$                | 0,98                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| S [kVA]                        | 1050                                |
| cos $\varphi$                  | 0,98                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| A                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | Y                                   |
| Konstantní impedance           | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry odběru Z3

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z3                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, S, cos $\varphi$                 |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Sn [kVA]                       | 560                                 |
| cos $\varphi_n$                | 0,95                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| S [kVA]                        | 545                                 |
| cos $\varphi$                  | 0,95                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| A                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | Yn                                  |
| Konstantní impedance           | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry odběru Z2

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z2                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, S, cos $\varphi$                 |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Sn [kVA]                       | 750                                 |
| cos $\varphi_n$                | 0,92                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| S [kVA]                        | 740                                 |
| cos $\varphi$                  | 0,92                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| A                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | Yn                                  |
| Konstantní impedance           | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry odběru Z4

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z4                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, S, cos $\varphi$                 |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Sn [kVA]                       | 580                                 |
| cos $\varphi_n$                | 0,96                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| S [kVA]                        | 568                                 |
| cos $\varphi$                  | 0,96                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| AB                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| BC                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CA                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | D                                   |
| Konstantní impedance           | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry odběru Z5

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z5                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, P, cos φ                         |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Pn [kW]                        | 800                                 |
| cos φn                         | 0,97                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| P [kW]                         | 790                                 |
| cos φ                          | 0,97                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| AB                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| BC                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CA                             | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | D                                   |
| Konstantní impedance           | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry odběru Z6

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Název                          | Z6                                  |
| Poznámka                       |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b>     |                                     |
| Druh                           | Obecná                              |
| Typ                            | U, S, cos φ                         |
| Un [kV]                        | 22                                  |
| Sn [kVA]                       | 360                                 |
| cos φn                         | 0,94                                |
| Qk [kVAr]                      | 0                                   |
| <b>Provozní parametry</b>      |                                     |
| S [kVA]                        | 350                                 |
| cos φ                          | 0,94                                |
| <b>Připojeno na fáze</b>       |                                     |
| A                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                              | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                       | Yn                                  |
| Konstantní impedance           | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Režim: Odběr P, Odběr Q</b> |                                     |
| Dodávka P                      | <input type="checkbox"/>            |
| Dodávka Q                      | <input type="checkbox"/>            |

## Parametry vedení V1

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Název                      | V1                                  |
| Poznámka                   |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b> |                                     |
| Druh                       | Venkovní                            |
| Typ                        |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ]  | 95                                  |
| Un [kV]                    | 22                                  |
| R [Ω/km]                   | 0,301                               |
| Zadat L                    | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                   | 0,414                               |
| L [mH/km]                  | 0                                   |
| Zadat C                    | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                  | 1,4                                 |
| C [μF/km]                  | 0                                   |
| Délka [km]                 | 9                                   |
| Imax [A]                   | 0                                   |
| R0/R1 [-]                  | 1                                   |
| X0/X1 [-]                  | 1                                   |
| <b>Připojeno na fáze</b>   |                                     |
| A                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                          | <input checked="" type="checkbox"/> |

## Parametry vedení V2

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Název                      | V2                                  |
| Poznámka                   |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b> |                                     |
| Druh                       | Venkovní                            |
| Typ                        |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ]  | 70                                  |
| Un [kV]                    | 22                                  |
| R [Ω/km]                   | 0,432                               |
| Zadat L                    | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                   | 0,416                               |
| L [mH/km]                  | 0                                   |
| Zadat C                    | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                  | 1,4                                 |
| C [μF/km]                  | 0                                   |
| Délka [km]                 | 11                                  |
| Imax [A]                   | 0                                   |
| R0/R1 [-]                  | 1                                   |
| X0/X1 [-]                  | 1                                   |
| <b>Připojeno na fáze</b>   |                                     |
| A                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                          | <input checked="" type="checkbox"/> |

### Parametry vedení V3

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Název                     | V3                                  |
| Poznámka                  |                                     |
| Jmenovité parametry       |                                     |
| Druh                      | Venkovní                            |
| Typ                       |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ] | 70                                  |
| Un [kV]                   | 22                                  |
| R [Ω/km]                  | 0,432                               |
| Zadat L                   | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                  | 0,4116                              |
| L [mH/km]                 | 0                                   |
| Zadat C                   | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                 | 1,4                                 |
| C [μF/km]                 | 0                                   |
| Délka [km]                | 6                                   |
| Imax [A]                  | 0                                   |
| R0/R1 [-]                 | 1                                   |
| X0/X1 [-]                 | 1                                   |
| Připojeno na fáze         |                                     |
| A                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                         | <input checked="" type="checkbox"/> |

### Parametry vedení V5

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Název                     | V5                                  |
| Poznámka                  |                                     |
| Jmenovité parametry       |                                     |
| Druh                      | Venkovní                            |
| Typ                       |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ] | 70                                  |
| Un [kV]                   | 22                                  |
| R [Ω/km]                  | 0,432                               |
| Zadat L                   | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                  | 0,416                               |
| L [mH/km]                 | 0                                   |
| Zadat C                   | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                 | 1,4                                 |
| C [μF/km]                 | 0                                   |
| Délka [km]                | 8                                   |
| Imax [A]                  | 0                                   |
| R0/R1 [-]                 | 1                                   |
| X0/X1 [-]                 | 1                                   |
| Připojeno na fáze         |                                     |
| A                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                         | <input checked="" type="checkbox"/> |

### Parametry vedení V4

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Název                     | V4                                  |
| Poznámka                  |                                     |
| Jmenovité parametry       |                                     |
| Druh                      | Venkovní                            |
| Typ                       |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ] | 70                                  |
| Un [kV]                   | 22                                  |
| R [Ω/km]                  | 0,432                               |
| Zadat L                   | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                  | 0,416                               |
| L [mH/km]                 | 0                                   |
| Zadat C                   | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                 | 1,4                                 |
| C [μF/km]                 | 0                                   |
| Délka [km]                | 7                                   |
| Imax [A]                  | 0                                   |
| R0/R1 [-]                 | 1                                   |
| X0/X1 [-]                 | 1                                   |
| Připojeno na fáze         |                                     |
| A                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                         | <input checked="" type="checkbox"/> |

### Parametry vedení V6

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Název                     | V6                                  |
| Poznámka                  |                                     |
| Jmenovité parametry       |                                     |
| Druh                      | Venkovní                            |
| Typ                       |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ] | 95                                  |
| Un [kV]                   | 22                                  |
| R [Ω/km]                  | 0,301                               |
| Zadat L                   | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                  | 0,414                               |
| L [mH/km]                 | 0                                   |
| Zadat C                   | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                 | 1,4                                 |
| C [μF/km]                 | 0                                   |
| Délka [km]                | 5                                   |
| Imax [A]                  | 0                                   |
| R0/R1 [-]                 | 1                                   |
| X0/X1 [-]                 | 1                                   |
| Připojeno na fáze         |                                     |
| A                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                         | <input checked="" type="checkbox"/> |



## Parametry vedení V7

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Název                      | V7                                  |
| Poznámka                   |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b> |                                     |
| Druh                       | Venkovní                            |
| Typ                        |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ]  | 70                                  |
| Un [kV]                    | 22                                  |
| R [Ω/km]                   | 0,432                               |
| Zadat L                    | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                   | 0,416                               |
| L [mH/km]                  | 0                                   |
| Zadat C                    | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                  | 1,4                                 |
| C [μF/km]                  | 0                                   |
| Délka [km]                 | 12                                  |
| Imax [A]                   | 0                                   |
| R0/R1 [-]                  | 1                                   |
| X0/X1 [-]                  | 1                                   |
| <b>Připojeno na fáze</b>   |                                     |
| A                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                          | <input checked="" type="checkbox"/> |

## Parametry vedení V8

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Název                      | V8                                  |
| Poznámka                   |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b> |                                     |
| Druh                       | Venkovní                            |
| Typ                        |                                     |
| Průřez [mm <sup>2</sup> ]  | 70                                  |
| Un [kV]                    | 22                                  |
| R [Ω/km]                   | 0,432                               |
| Zadat L                    | <input type="checkbox"/>            |
| X [Ω/km]                   | 0,416                               |
| L [mH/km]                  | 0                                   |
| Zadat C                    | <input type="checkbox"/>            |
| B [μS/km]                  | 1,4                                 |
| C [μF/km]                  | 0                                   |
| Délka [km]                 | 7                                   |
| Imax [A]                   | 0                                   |
| R0/R1 [-]                  | 1                                   |
| X0/X1 [-]                  | 1                                   |
| <b>Připojeno na fáze</b>   |                                     |
| A                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                          | <input checked="" type="checkbox"/> |

## Parametry VTE

|                                               |                                     |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| Název                                         | AS1                                 |
| Poznámka                                      |                                     |
| Typ                                           | Větrná elektrárna                   |
| Příspěvek k Sk                                | <input checked="" type="checkbox"/> |
| S měničem                                     | <input type="checkbox"/>            |
| <b>Jmenovité parametry</b>                    |                                     |
| Un [kV]                                       | 22                                  |
| Zadat Sn                                      | <input type="checkbox"/>            |
| Sn [kVA]                                      | 1000                                |
| Pn [kW]                                       | 1000                                |
| cos φn                                        | 1                                   |
| R/X [-]                                       | 1                                   |
| k                                             | 1                                   |
| cos φk                                        | 1                                   |
| Kompensace                                    | <input type="checkbox"/>            |
| Jmen. účinnost                                | 1                                   |
| <b>Rozšířené zadání jmenovitých parametrů</b> |                                     |
| <b>Provozní parametry</b>                     |                                     |
| Pprovo [kW]                                   | 960                                 |
| Zadat Qprovo                                  | <input type="checkbox"/>            |
| Qprovo [kVAr]                                 | 0                                   |
| cos φprovo                                    | 1                                   |
| Rozběh                                        | <input type="checkbox"/>            |
| Zapojení                                      | D                                   |
| <b>Parametry pro flickr větrné elektrárny</b> |                                     |
| c                                             | 1,1                                 |

## Parametry FVE

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Název                      | FV1                                 |
| Poznámka                   |                                     |
| <b>Jmenovité parametry</b> |                                     |
| Un [kV]                    | 22                                  |
| Zadat Sn                   | <input type="checkbox"/>            |
| Sn [kVA]                   | 550                                 |
| Pn [kW]                    | 550                                 |
| cos φn                     | 1                                   |
| k                          | 1                                   |
| cos φk                     | 1                                   |
| <b>Provozní parametry</b>  |                                     |
| Pprovo [kW]                | 440                                 |
| Zadat Qprovo               | <input type="checkbox"/>            |
| Qprovo [kVAr]              | 0                                   |
| cos φprovo                 | 1                                   |
| <b>Připojeno na fáze</b>   |                                     |
| A                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| B                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| C                          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Zapojení                   | Yn                                  |

## Výstupní hodnoty. Připojitelnost VTE

### Změny napětí VTE

| Rozdíl dU × |             |           |       |             |           |       |             |           |       |
|-------------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|-------|
|             | dUa před[%] | dUa po[%] | Δ dUa | dUb před[%] | dUb po[%] | Δ dUb | dUc před[%] | dUc po[%] | Δ dUc |
| <b>U1</b>   | -4,377      | -4,400    | 0,023 | -4,377      | -4,400    | 0,023 | -4,377      | -4,400    | 0,023 |
| <b>U2</b>   | -8,818      | -8,863    | 0,046 | -8,818      | -8,863    | 0,046 | -8,818      | -8,863    | 0,046 |
| <b>U3</b>   | -6,985      | -7,549    | 0,565 | -6,985      | -7,549    | 0,565 | -6,985      | -7,549    | 0,565 |
| <b>U4</b>   | -4,988      | -6,438    | 1,450 | -4,988      | -6,438    | 1,450 | -4,988      | -6,438    | 1,450 |
| <b>U5</b>   | -4,248      | -6,174    | 1,926 | -4,248      | -6,174    | 1,926 | -4,248      | -6,174    | 1,926 |
| <b>U6</b>   | -3,380      | -5,296    | 1,916 | -3,380      | -5,296    | 1,916 | -3,380      | -5,296    | 1,916 |
| <b>U8</b>   | -3,100      | -5,017    | 1,917 | -3,100      | -5,017    | 1,917 | -3,100      | -5,017    | 1,917 |
| <b>U9</b>   | -3,182      | -5,096    | 1,914 | -3,182      | -5,096    | 1,914 | -3,182      | -5,096    | 1,914 |
| <b>U7</b>   | -2,308      | -4,204    | 1,896 | -2,308      | -4,204    | 1,896 | -2,308      | -4,204    | 1,896 |
| <b>U10</b>  | -3,088      | -5,001    | 1,912 | -3,088      | -5,001    | 1,912 | -3,088      | -5,001    | 1,912 |

### Flikr VTE

| Flikr ×    |       |
|------------|-------|
|            | Pst   |
| <b>U1</b>  | 0,001 |
| <b>U2</b>  | 0,005 |
| <b>U3</b>  | 0,014 |
| <b>U4</b>  | 0,028 |
| <b>U5</b>  | 0,035 |
| <b>U6</b>  | 0,035 |
| <b>U8</b>  | 0,035 |
| <b>U9</b>  | 0,035 |
| <b>U7</b>  | 0,035 |
| <b>U10</b> | 0,035 |

### Útlum signálu HDO

| Útlum HDO × |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|
|             | dUa [%] | dUb [%] | dUc [%] |
| <b>U1</b>   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| <b>U2</b>   | 0,311   | 0,311   | 0,311   |
| <b>U3</b>   | 1,148   | 1,148   | 1,148   |
| <b>U4</b>   | 2,274   | 2,274   | 2,274   |
| <b>U5</b>   | 2,906   | 2,906   | 2,906   |
| <b>U6</b>   | 2,906   | 2,906   | 2,906   |
| <b>U8</b>   | 2,906   | 2,906   | 2,906   |
| <b>U9</b>   | 2,906   | 2,906   | 2,906   |
| <b>U7</b>   | 2,906   | 2,906   | 2,906   |
| <b>U10</b>  | 2,906   | 2,906   | 2,906   |

## Výstupní hodnoty. Připojitelnost FVE

### Změny napětí

| Rozdíl dU × |             |           |       |             |           |       |             |           |       |
|-------------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|-------|
|             | dUa před[%] | dUa po[%] | Δ dUa | dUb před[%] | dUb po[%] | Δ dUb | dUc před[%] | dUc po[%] | Δ dUc |
| <b>U1</b>   | -4,389      | -4,400    | 0,011 | -4,389      | -4,400    | 0,011 | -4,389      | -4,400    | 0,011 |
| <b>U2</b>   | -8,842      | -8,863    | 0,022 | -8,842      | -8,863    | 0,022 | -8,842      | -8,863    | 0,022 |
| <b>U3</b>   | -7,288      | -7,549    | 0,261 | -7,288      | -7,549    | 0,261 | -7,288      | -7,549    | 0,261 |
| <b>U4</b>   | -5,768      | -6,438    | 0,670 | -5,768      | -6,438    | 0,670 | -5,768      | -6,438    | 0,670 |
| <b>U5</b>   | -5,283      | -6,174    | 0,891 | -5,283      | -6,174    | 0,891 | -5,283      | -6,174    | 0,891 |
| <b>U6</b>   | -4,145      | -5,296    | 1,152 | -4,145      | -5,296    | 1,152 | -4,145      | -5,296    | 1,152 |
| <b>U8</b>   | -3,561      | -5,017    | 1,456 | -3,561      | -5,017    | 1,456 | -3,561      | -5,017    | 1,456 |
| <b>U9</b>   | -3,511      | -5,096    | 1,585 | -3,511      | -5,096    | 1,585 | -3,511      | -5,096    | 1,585 |
| <b>U7</b>   | -3,065      | -4,204    | 1,140 | -3,065      | -4,204    | 1,140 | -3,065      | -4,204    | 1,140 |
| <b>U10</b>  | -3,417      | -5,001    | 1,584 | -3,417      | -5,001    | 1,584 | -3,417      | -5,001    | 1,584 |