

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Obnovitelné zdroje a jejich začlenění do distribuční
soustavy

Renewable Power Sources in Distribution Network

2018

Adam Běťák

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Běťák**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Obnovitelné zdroje a jejich začlenění do distribuční soustavy.
Renewable Power Sources in Distribution Network.**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn
2. Obnovitelné zdroje v distribuční síti – druhy, parametry, umístění .
3. Zpětné vlivy - změny napětí, flikru, ovlivnění signálu HDO, příspěvek ke zkratovým poměrům a příspěvky k úrovni harmonických proudů
4. Limity připojitelnosti.
5. Příklad výpočtu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
2. Hodinka, M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
3. Trojánek, Z.: Přechnodné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL 1987
4. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1991
5. Normy, firemní literatura, předpisy a směrnice ČEZu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 26. dubna 2018


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Zaměřením bakalářské práce je problematika obnovitelných zdrojů elektrické energie připojených do distribuční soustavy. Práce obsahuje teoretický rozbor distribučních sítí nízkého a vysokého napětí. Seznámení s nejčastěji využívanými obnovitelnými zdroji v České republice a jejich princip činnosti. V následující části jsou rozepsány zpětné vlivy, jako jsou změny napětí, ovlivnění zařízení hromadného dálkového ovládání a zkratové poměry, které obnovitelné zdroje elektrické energie mohou vyvolat. Část této bakalářské práce se věnuje limitům připojitelnosti, z hlediska změny napětí při spínání a vyšších harmonických. Důležitou součástí je praktický výpočet posouzení připojení fotovoltaické nebo větrné elektrárny do sítě, a to z hlediska úbytku napětí a změny napětí při spínání. Bakalářská práce si stanovuje za cíl přiblížit problematiku čím dál více se rozšiřovaných obnovitelných zdrojů elektrické energie v České republice.

Klíčová slova

Distribuční síť; obnovitelné zdroje; větrné elektrárny; vodní elektrárny; fotovoltaické elektrárny; zpětné vlivy; flikr; harmonické; připojení; změny napětí; limity připojitelnosti

Abstract

The focus of the bachelor thesis is the issues of renewable energy sources connected to the distribution system. The thesis contains theoretical analysis of low and high voltage distribution networks. Introduction to the most commonly used renewable resources in the Czech Republic and their principle of operation. In the following section, feedback influences such as voltage changes, impacts on mass remote control devices, and short-circuit conditions that renewable energy sources can cause are described. Part of this bachelor thesis deals with the limits of connectivity, in terms of voltage changes at switching and higher harmonics. An important part is the practical calculation of the assessment of the connection of a photovoltaic or wind power plant to the grid in terms of voltage drop and voltage changes during switching. The bachelor thesis sets the goal of approaching the issue of more and more distributed renewable energy sources in the Czech Republic.

Key words

Distribution network; renewable resources; wind power plant; hydropower plants; photovoltaic power plants; feedback effects; power station; flicker; harmonic; connection; voltage changes; limits of connectivity

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
OZE	Obnovitelný zdroj elektrické energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí
ČEZ	České energetické závody
FVE	Fotovoltaická elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
ČR	Česká republika
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
STC	Standard Test Conditions (Standartní zkušební podmínky)
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
I	A	Proud
P	W	Výkon
v	m/s	Rychlost
H	m	Výška
Q	m ³ /s	Průtok
f	Hz	Frekvence
ΔU	V	Úbytek
l	m	Vzdálenost
cosφ	-	Účinník
P_{It}	-	Hodnota dlouhodobé míry vjemu flikru
Am	-	Průzračnost atmosféry
Δf	Hz	Rozdíl frekvence
T	°C	Teplota
X_v	Ω.km ⁻¹	Reaktance vedení

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Teoretický rozbor distribuční sítě	13
2.1	Distribuční sítě NN.....	13
2.1.1	Paprsková distribuční síť	13
2.1.2	Okružní distribuční síť	13
2.1.3	Klasická mřížová síť	14
2.2	Distribuční sítě VN.....	15
3	Obnovitelné zdroje v distribučních sítích – druhy, parametry, umístění.....	17
3.1	Umístění fotovoltaických a větrných elektráren v České republice	17
3.2	Podíl výroben na výrobě elektrické energie	18
3.3	Větrné elektrárny.....	19
3.3.1	Základní části větrné elektrárny	19
3.3.2	Větrné elektrárny a jejich vliv na elektrizační soustavu.....	22
3.4	Vodní elektrárny.....	23
3.4.1	Vodní elektrárny v České republice	23
3.4.2	Princip činnosti.....	23
3.4.3	Průtočné vodní elektrárny	23
3.4.4	Přečerpávací vodní elektrárny	24
3.4.5	Vodní turbíny	24
3.4.6	Grafické znázornění využití vodních turbín	25
3.5	Solární elektrárny	25
3.6	Solární elektrárny v České republice.....	26
3.6.1	Princip funkce fotovoltaického článku.....	26
3.6.2	Základní typy fotovoltaických článků	27
3.6.3	Rozdělení dle velikosti a typu instalace:	27
3.6.4	Solární elektrárny a jejich připojení k distribuční soustavě	28
4	Zpětné vlivy-změny napětí, flikru, ovlivnění signálu HDO, příspěvek ke zkratovým poměrům a příspěvky k úrovni harmonických proudů	29
4.1	Zpětné vlivy.....	29
4.2	Změny napětí.....	29
4.2.1	Přerušování napětí a krátkodobý pokles napětí	29
4.3	Flikr	30

4.4	HDO (Hromadné dálkové ovládání)	31
4.5	Příspěvek ke zkratovým poměrům	31
4.6	Příspěvky k úrovni harmonických proudů	32
5	Limity připojitelnosti.....	33
5.1	Změny napětí při spínání.....	33
5.2	Připojení synchronních generátorů.....	34
5.3	Připojení asynchronních generátorů	34
5.4	HDO	34
5.5	Zpětné vlivy.....	35
5.5.1	Změna napětí	35
5.5.2	Flikr	35
5.6	Výrobní připojené k distribuční síti NN z hlediska harmonických	35
5.7	Výrobní připojené k distribuční síti VN z hlediska harmonických	36
6	Praktická část	38
6.1	Výpočet elektrického vedení s větrnou a fotovoltaickou elektrárnou	38
6.2	Výpočet vedení bez připojení obnovitelného zdroje (FVE/VTE)	39
6.3	Výpočet vedení se zapojením obnovitelného zdroje elektrické energie.....	42
6.4	Vyhodnocení připojení FVE do sítě.....	45
6.5	Vyhodnocení připojení VTE do sítě.....	45
7	Závěr	46

Seznam ilustrací

Obrázek 2.1.1. Schéma paprskové sítě	13
Obrázek 2.1.2 . Schéma okružní sítě.....	14
Obrázek 2.1.3 Schéma klasické mřížové sítě.....	14
Obrázek 2.1.4 Schéma klasické mřížové sítě při poruše.....	15
Obrázek 3.1.1 Slunečná mapa České republiky.....	17
Obrázek 3.1.2 Větrná mapa České republiky.....	18
Obrázek 3.2.1 Grafické znázornění podílu výroben na výrobě elektrické energie	18
Obrázek 3.3.1 Strojovna větrné elektrárny firmy Siemens	20
Obrázek 3.4.1 Grafické znázornění využití vodních turbín	25
Obrázek 3.6.1 Princip činnosti fotovoltaického článku	26
Obrázek 6.1.1 Schéma modelu vedení s OZE.....	38
Obrázek 6.2.1 Schéma modelu vedení bez připojeného OZE.....	39
Obrázek 6.2.2 Schéma modelu vedení s vypočtenými proudy jednotlivých úseků bez OZE.....	40
Obrázek 6.3.1 Schéma modelu vedení s připojeným OZE	42
Obrázek 6.3.2 Schéma modelu vedení s vypočtenými proudy jednotlivých úseků s OZE.....	43

Seznam tabulek

Tabulka 3.3.1 Instalovaný výkon větrných elektráren.....	19
Tabulka 5.6.1 Vztažné proudy	36
Tabulka 5.7.1 Vztažné proudy	37
Tabulka 6.2.1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů bez OZE.....	39
Tabulka 6.3.1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů s OZE.....	42

1 Úvod

Životní prostředí, ve kterém žijeme, je velmi znečištěné. Potřeba snížení emisí je v dnešní době velmi důležitá, a proto se klade důraz na výrobu elektrické energie, při které je vznik škodlivých látek vypouštěných do ovzduší minimální. Obnovitelné zdroje jsou pro nás perspektivní i z hlediska samostatnosti jednotlivých států, které si díky nim mohou zajistit soběstačnost ve výrobě elektrické energie, a to z toho důvodu, že celosvětově dochází k úbytku fosilních paliv a spotřeba elektrické energie stále roste. Cílem bakalářské práce je přiblížení problematiky obnovitelných zdrojů v distribuční soustavě. V této práci jsou popsány hlavní obnovitelné zdroje, které se v České republice používají pro výrobu elektrické energie a jejich problematika. Tu ovlivňuje řada velice důležitých faktorů, například u větrných elektráren značný vliv rychlosti větru na jejich funkčnost. S trendem, kdy obnovitelných zdrojů neustále přibývá, dochází k tomu, že tyto zdroje vlivem své nestálosti mají neblahý vliv na distribuční soustavu, a to z hlediska zpětných vlivů, které mohou zdroje energie na síť vyvolat. Mezi zpětné vlivy patří rychlé změny napětí, ať už jsou to poklesy nebo zvýšení napětí. Dále míra vjemu flikru, který může způsobovat blikání zářivek, což je nepříjemné a ruší člověka u jeho činnosti, ovlivnění signálu HDO, vyšší harmonické a příspěvky ke zkratovým poměrům v síti. Pro připojení nové výroby elektrické energie k síti paralelně jsou stanovena pravidla, která udávají podmínky připojení tak, aby nedošlo například ke zhoršení kvality napětí. V praktické části této bakalářské práce je výpočet, který ověřuje, zda může být výroba elektrické energie do sítě připojena z hlediska úbytku napětí.

2 Teoretický rozbor distribuční sítě

Systém zařízení, která zajišťují přenos elektrické energie od elektráren k velkým rozvodnám se nazývá přenosová soustava. Část této soustavy, která zajišťuje přenos od rozvodu k odběratelům se nazývá distribuční soustava (sít'). [1]

Od elektráren pomocí přenosové soustavy dochází k přenosu elektrické energie velmi vysokého napětí na elektrické stanice, kde dochází k transformaci. Po transformaci velmi vysokého napětí z přenosové sítě na vysoké napětí 110 KV se část elektrické energie přivádí do velkých podniků těžkého průmyslu a do měníren. Část elektrické energie, která zbyde se distribuuje k dalším spotřebitelům (města, obce, lehký průmysl), kde se napětí transformuje na 22 kV. V posledním kroku dochází k transformaci na napětí nízké 230 V nebo 400 V. K této transformaci dochází v obcích, městských čtvrtích, ale i v samotných podnicích. [1]

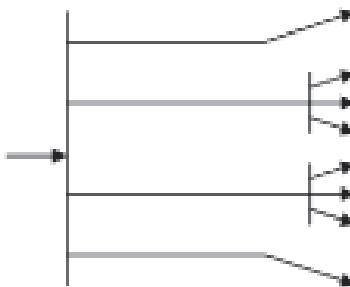
Provozovatelem přenosové soustavy v České republice je firma ČEPS. O provoz distribuční soustavy v České Republice dbají dle územního rozdělení tyto tři společnosti: ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce a.s. a PRE Distribuce, a.s., protože získaly licenci ERÚ, pro distribuci elektrické energie. [1]

2.1 Distribuční sítě NN

Při návrhu distribuční sítě nízkého napětí je brán ohled na charakter napájeného objektu a na oblast, ve které napájený objekt leží. Tyto oblasti se vyznačují svou rozdílnou velikostí požadovaných výkonů a stupněm důležitosti zajištění dodávky elektrické energie. Předepsané parametry pak rozhodují o dimenzování jednotlivých částí sítě, ale i o konfiguraci a způsobu připojení odběru. [2]

2.1.1 Paprsková distribuční sít'

Vycházející vedení z místa napájení, většinou ze spínací stanice, ale také z transformovny zásobují jednotlivé odběry. Vývody nebo-li paprsky jsou samostatné a nelze je mezi sebou vzájemně spojit. Tato sít' se obvykle používá v obcích, ale i v malých městech a v průmyslu. Výhodou takovéto sítě je nízká cena, však jistota zásobování je nejmenší. [2]

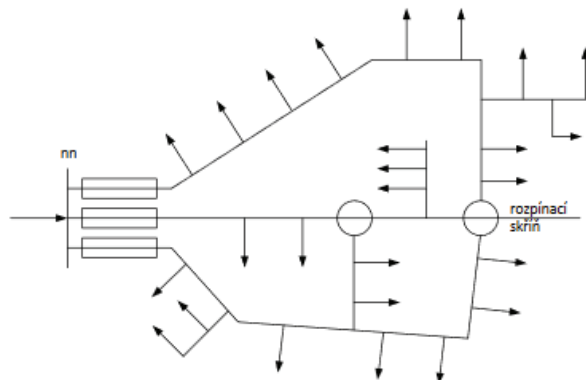


Obrázek 2.1.1. Schéma paprskové sítě [2]

2.1.2 Okružní distribuční sít'

Tuto sít' můžeme provozovat v rozepnutém nebo sepnutém stavu. Jednotlivé vývody (paprsky) nebo polosmyčky jsou navrženy tak, aby se jejich spínání dalo provádět do uzavřených smyček. Za obvyklého provozního stavu můžeme říci, že se jedná o sít' paprskové. Výhodou je, že při poruše lze zasáhnout

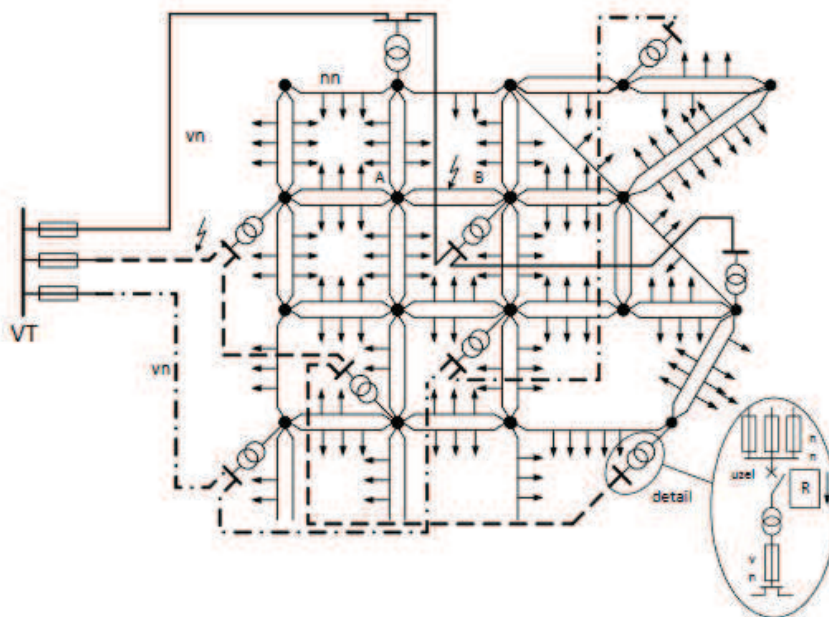
obvod přepnout na vývod sousední. Toto přepnutí se může provést ručně, ale i automaticky. Nevýhodou je vyšší cena, než je cena u sítí paprskových, protože pro vzájemné spojení potřebujeme několikanásobně větší délku vedení. [2]



Obrázek 2.1.2 . Schéma okružní sítě [2]

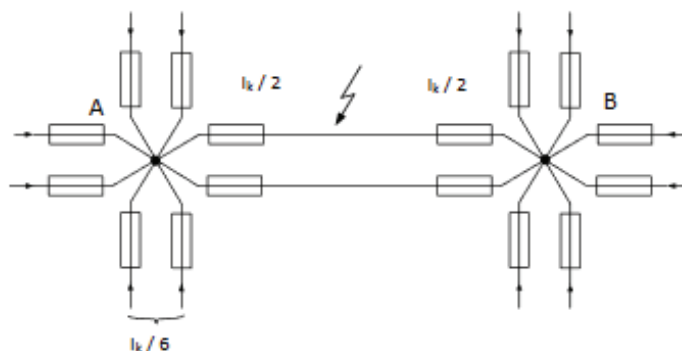
2.1.3 Klasická mřížová síť

Tato síť se používá ve městech, kde se několik transformoven napájí nejméně dvěma, někdy třemi či pěti napájecí vysokého napětí. Nízkonapěťové kabelové vedení je spojeno na křižovatkách ulic do uzlů. Tyto uzly jsou skříně s pojistkami, které jsou zazděné na vhodných místech v domovních zdech, ale také se mohou umístit do samostatných pilířů. Nízkonapěťové pojistky mají ve všech skříních stejnou jmenovitou hodnotu a pomalou charakteristiku. [2]



Obrázek 2.1.3 Schéma klasické mřížové sítě [2]

Při poruše mezi dvěma skříněmi v úseku nízkonapěťové sítě se proud rozdělí (dle obrázku). Z charakteristiky pojistek víme, že se pojistky na porušeném vývodu přetaví za kratší čas, přetavení proběhne tak rychle, že se ostatní pojistky neporuší. Tímto dějem se nám z provozu vyřadí pouze úsek A-B. [2]



Obrázek 2.1.4 Schéma klasické mřížové sítě při poruše [2]

2.2 Distribuční síť VN

Distribuční vysokonapěťové soustavy v České Republice je možné rozdělit s ohledem na charakter jejich provozu, dle napěťových hladin na síť 10 kV, 22 kV, 35 kV, následně na soustavy elektrárenských, průmyslových a také důlních provozů s hladinou napětí 6kV a 10kV. Možnosti provozu a základní parametry distribučních soustav vysokého napětí jsou určeny systémem uzemnění transformátoru VVN/VN, tedy spojením nulového bodu vysokonapěťového vinutí napájecího transformátoru se zemnicí soustavou. Volba systému uzemnění určuje možnost, jak provozovat soustavu, s ohledem na bezpečnost, dimenzování, chránění a na nepřetržitost dodávky elektrické energie. [2]

Při bezporuchovém stavu symetrické sítě se způsob uzemnění nijak neprojeví na jejím provozu. Při poruše uvnitř sítě účinně uzemněné či uzemněné přes uzlový odpor vlivem spojení jedné fáze se zemí, nastane jednofázový zkrat. Poruchový proud dosahuje úrovně, která nedovoluje další provoz postižené soustavy. Když nastane tento stav, musí se v nejkratším čase odpojit postižené vedení, a dochází k následnému přerušení dodávky elektrické energie. U sítí, které jsou neúčinně uzemněny nebo izolovány se jedná o zemní spojení, hodnota poruchového proudu zemního spojení v tomto případě nedosahuje tak vysoké úrovně, není tedy bezpodmínečně nutné ihned vypnout postižený vývod. Úroveň poruchového proudu ovlivňuje systém uzemnění, který se použije, a proto je tento systém směrodatný pro určení rizika úrazu elektrickým proudem, dimenzování či pro zhodnocení mechanických následků, které způsobí porucha. [2]

Z důvodu velké rozlohy a členitosti jsou vysokonapěťové distribuční soustavy, které protínají velkou část našeho území vystavovány značným nepříznivým vlivům, jako jsou atmosférické podmínky (např. námraza). Tyto podmínky mají za následek velké množství přechodných zemních spojení, která v krátkém čase odezní bez přerušení dodávky elektrické energie. Dnes vysokonapěťové soustavy provozujeme s ohledem na způsob uzemnění jako soustavy:

- Izolované s izolovaným uzlem

Při provozu těchto sítí nulový bod transformátoru není spojen se zemnicí soustavou, nýbrž je od ní izolován, proto je tento systém uzemnění nejčastěji používán zejména u menších distribučních sítí, u kterých hodnota celkového kapacitního proudu není větší než 20 A. Kapacitní zemní proud je určen fázorovým sečtením kapacitních proudů, převážně nepostižených fází celé sítě, uzavírajících se přes místo zemního spojení a je úměrný velikosti takto provozované sítě. Díky velké rozloze sítě, však může dojít k překročení hodnoty 20 A, proto musíme provést kompenzaci kapacitního proudu. [2]

- Nepřímo uzemněné přes uzlový odporník
- Nepřímo uzemněné přes zhašecí tlumivku

Tento typ soustavy v České republice využívá dvě největší úpravy. První úpravou je laděná zhašecí tlumivka, která dokáže připínáním přídavného odporníku navýšit činnou složku poruchového proudu na sekundární straně, případně i na straně primární. Při druhé úpravě se zhašecí tlumivka vybavuje automatikou pro přizemnění postižené fáze v napájecí soustavě. [2]

3 Obnovitelné zdroje v distribučních sítích – druhy, parametry, umístění

Z důvodu neustálého růstu populace na naší planetě jsme nuceni vyrábět více a více elektrické energie. Protože zásoby fosilních paliv jsou omezené, tak mnohem častěji slyšíme o obnovitelných zdrojích elektrické energie. [3]

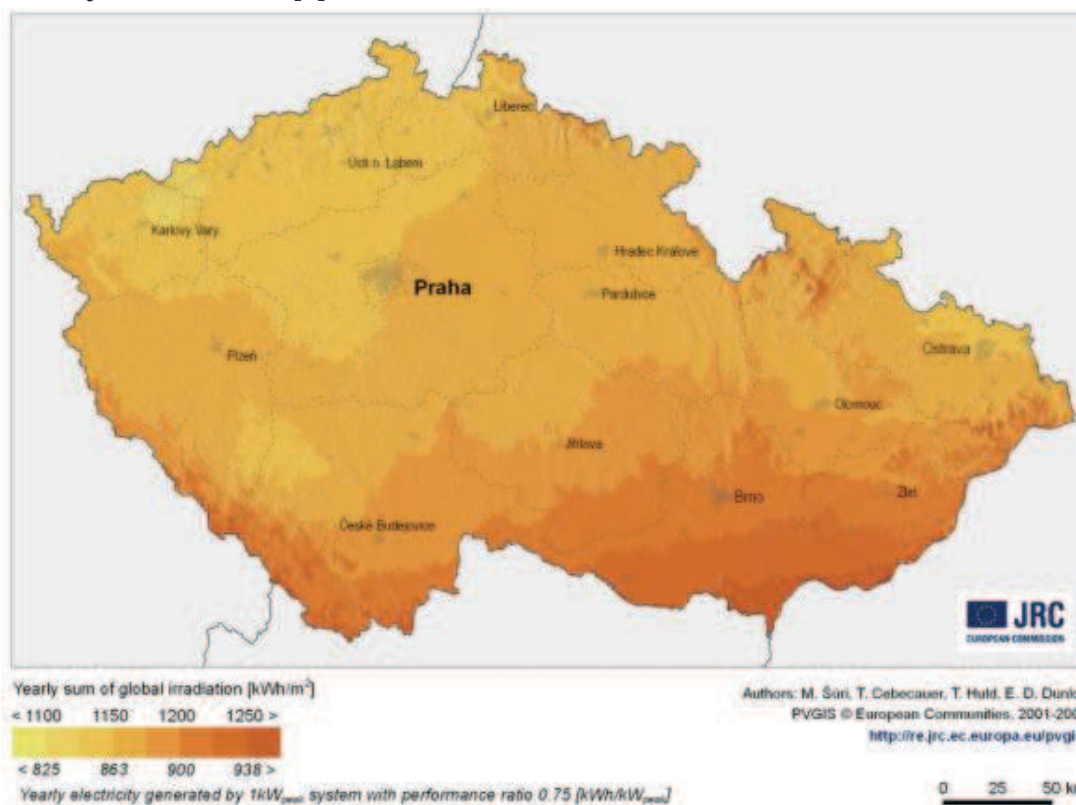
V současné době se velmi dbá na ekologii a ochranu životního prostředí, proto se ve velké míře elektrická energie vyrábí přeměnou jiných přírodních energií, které na naší planetě máme. Přírodní podmínky v naší krajině nám umožňují elektrickou energii vyrábět nejčastěji přeměnou energie vody, slunce, větru, biomasy, ale i geotermální energie. [3]

Obnovitelné zdroje elektrické energie, jak již z názvu vyplývá, mají obrovskou výhodu ve svém dlouhodobém potenciálu využití. Jejich podstata spočívá v teoretické nevyčerpatelnosti, protože dochází k jejich neustálému obnovování, například u energie biomasy nebo u energií, které jsou součástí koloběhu energie v přírodě, jako je například větrná energie, sluneční energie a energie vody. Využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie má také výhodu pro jednotlivé státy. Ty díky těmto zdrojům mohou zvýšit svou energetickou soběstačnost. [3]

3.1 Umístění fotovoltaických a větrných elektráren v České republice

- Fotovoltaické elektrárny

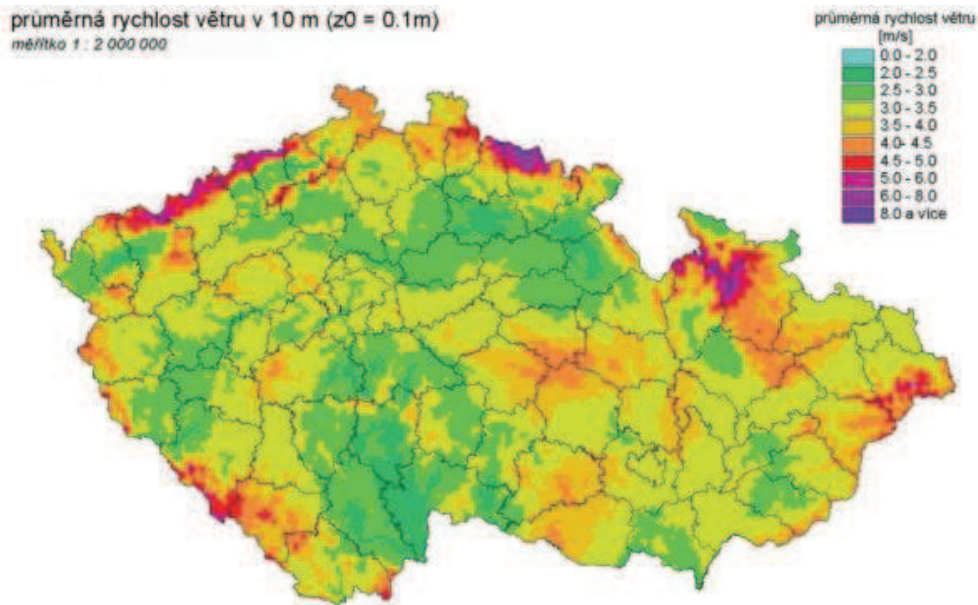
V české republice se nachází fotovoltaické elektrárny nejvíce na jihu naší republiky, a to na jižní Moravě a v jižních Čechách. [3]



Obrázek 3.1.1 Slunečná mapa České republiky [3]

- Větrné elektrárny

V České republice se nachází větrné elektrárny nejvíce na severu naší republiky, a to v horských oblastech. Největší rychlost větru je v Krušných horách, Krkonoších, Jeseníkách a na Šumavě. Proto jsou tyto oblasti pro výstavbu větrných elektráren nejprůzračnější, neboť větrné elektrárny fungují od rychlosti větru od 4 m/s do 25 m/s. [3]

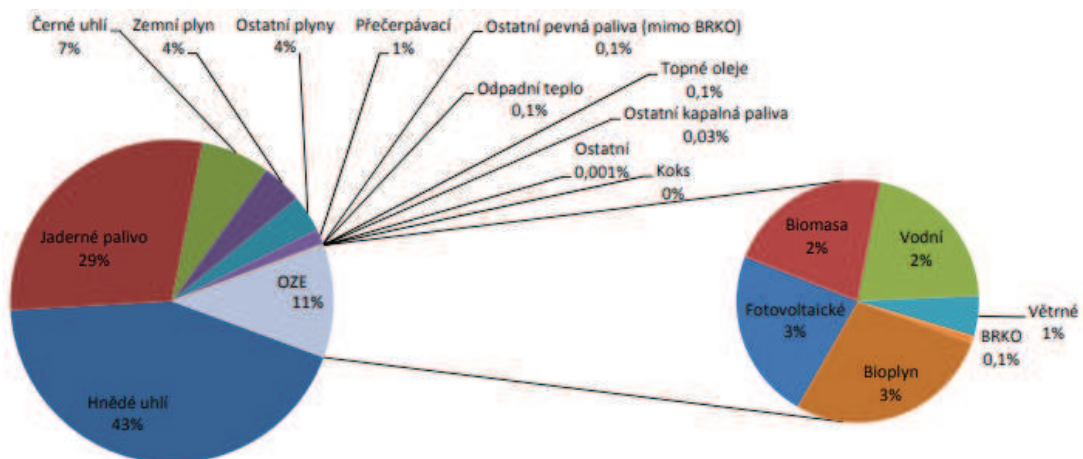


Obrázek 3.1.2 Větrná mapa České republiky [3]

3.2 Podíl výroben na výrobě elektrické energie

Na následujícím výšečovém grafu dle ERU k roku 2016 je znázorněno, jak se jednotlivé zdroje elektrické energie podílí na celkové výrobě elektrické energie v ČR. Je patrné, že největší produkce elektrické energie je z uhelných a jaderných elektráren, celkem se tyto výrobní podílí na výrobě 72 %.

Obnovitelné zdroje celkem vyrábí 11 % z celkové produkce elektrické energie u nás. Z grafu obnovitelných zdrojů, je patrné, že se v roce 2016 nejvíce podílely na výrobě elektrické energie fotovoltaické a bioplynové elektrárny, u kterých výroba dosahuje 3 % z celkové výroby. Vodní elektrárny dosahovaly 2 % a větrné 1 %. Nejméně elektrické energie do sítě dodaly výrobní, které využívají biologicky rozložitelného komunálního odpadu.



Obrázek 3.2.1 Grafické znázornění podílu výroben na výrobě elektrické energie [6]

3.3 Větrné elektrárny

Již v dávných dobách lidé dokázali používat energii větru k různým činnostem, ať k pohánění plachetnic, mletí obilí nebo ke zpracování dřeva. V České republice se poprvé využily větrné elektrárny pro výrobu elektrické energie v 80tých letech 20. století. V letech 1990-1995 došlo k poměrně velkému rozvoji výstavby větrných elektráren. Ten však trval krátce, neboť třetina z 24 vystavených větrných elektráren byla zařazena do skupiny s vysokou poruchovostí nebo nevyhovující, především z důvodu postavení v místech, kde byla nízká zásoba větrné energie. V současné době máme v České republice 73 větrných elektráren s instalovaným výkonem 308 MW a celkově jsme za rok 2017 vyrobili 591 GWh. [4]

Tabulka 3.3.1 Instalovaný výkon větrných elektráren. [4]

Funkční větrné elektrárny-instalovaný výkon a výroba v jednotlivých letech											
Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Výkon (MW)	116	148	192	215	217	260	269	283	283	283	308
Výroba (GWh)	125	245	290	336	397	416	479	472,4	573	496,9	591

Z tabulky instalovaného výkonu a výroby v jednotlivých letech můžeme vidět, že za posledních 12 let se zvýšil výkon větrných elektráren o 291 MW. [4]

Větrné elektrárny jsou dnes spolehlivým zdrojem elektrické energie, která je ekologicky čistá, neboť při její výrobě nezatěžujeme životní prostředí žádnými emisemi či odpady. Pro co nejvyšší využití větrného potenciálu daných lokalit se snažíme stavět co největší větrné elektrárny. Čím je větší výška stožáru a průměr rotoru, tím se zvětšuje i výkon generátorů, protože větší rotor je schopen pojmout více energie z větrného proudění. S vyšší výškou stožáru je větrná elektrárna schopna využít klidnějšího a silnějšího větru. Větrné elektrárny začínají vyrábět elektrickou energii při rychlosti větru 4 m/s a přestávají při rychlostech 25-30 m/s dle typu stroje. Z toho vyplývá, že jejich výkon kolísá dle rychlosti větru. [4]

Rychlost větru je hlavním faktorem pro využívání větrné energie, neboť má největší vliv na celkový i využitelný výkon výroby. Členitost povrchu ovlivňuje rychlost větru. Platí, že čím blíže k povrchu, tím nižší bude rychlost větru. [4]

3.3.1 Základní části větrné elektrárny

Rotor

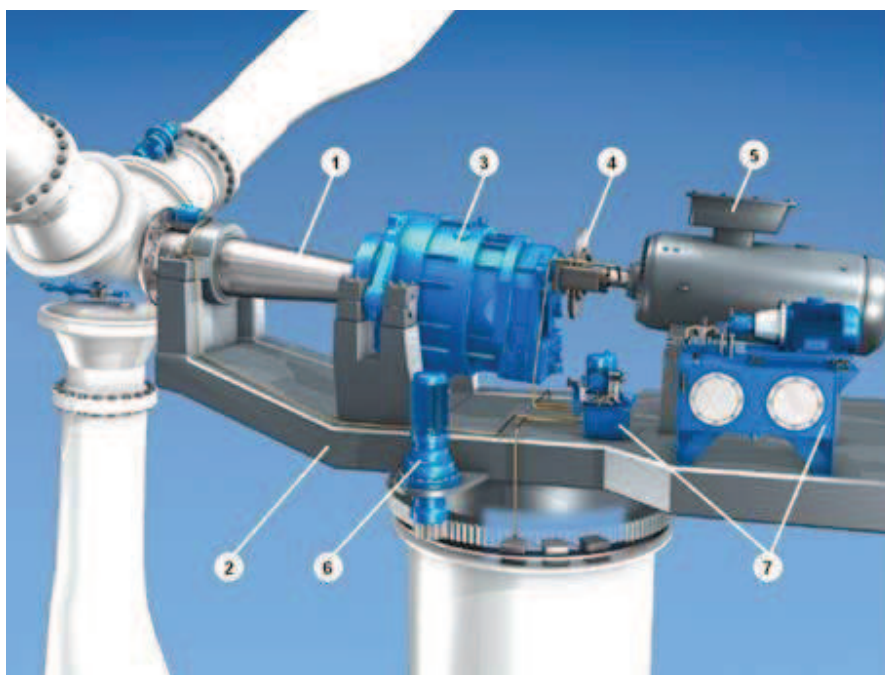
Základním principem rotoru větrné elektrárny je přeměna proudění větru na otáčivý pohyb. Pro uvedení lopatky do pohybu musí mít lopatka speciální aerodynamický profil. Prouděním vzduchu na lopatku rotoru vzniká vztlačková síla, která má za následek roztočení rotoru. Problematickou záležitostí je proudění větru, které v čase neustále kolísá. Pro maximální využití větru o nízkých, ale i vysokých rychlostech se mohou lopatky natáčet kolem jejich podélné osy. Aktuální poloha lopatek se může nastavovat v průběhu každé otáčky motoru. Důsledkem tohoto je, že dochází k ideálnímu proudění větru kolem lopatek a energii větru větrná elektrárna využívá maximálně. V dnešní době se budují rotory velikosti 90–100 m. [4]

Lopatky rotoru se vyrábí ze sklolaminátu, který je uvnitř vyztužen nosníkem, ten má za úkol přenést hlavní zatížení a dodat listu pevnost. Do listů jsou následně přidány i bleskosvodné pásky, různé provozní senzory, ale i vytápění, které by mělo zabraňovat tvorbě námrazy. Rotorové listy jsou nejčastěji

přípevněny k rotorové hlavě šrouby, které jsou umístěny vně sklolaminátu lopatky a následně přišroubovány k rotorové hlavě. [4]

Strojovna

Nejdůležitější částí a hlavním prvkem celé větrné elektrárny je strojovna. Celá strojovna je umístěna ve sklolaminátovém boxu, který se nazývá gondola. Gondolu jako takovou má každý výrobce mírně odlišnou, ale v principu je funkčnost velmi podobná. Nejčastějším případem spojení rotoru a generátoru je připojení rotorové vrtule přímo na hřídel, která dále pokračuje na převodovku a generátor. Z důvodu bezpečnosti se mezi převodovku a generátor zařazuje třecí kotoučová brzda, která umožňuje velmi rychlé zastavení rotoru. Mezi převodovkou a generátorem není zařazena jen třecí brzda, ale i spojka, ta má za úkol optimalizování větrných rázů, které vznikají při nečekaných porывech větru. [4]



Obrázek 3.3.1 Strojovna větrné elektrárny firmy Siemens [4]

Popis strojovny větrné elektrárny firmy Siemens:

1– hlavní hřídel 2– nosný rám, 3– převodové ústrojí, 4– spojení generátoru a převodovky, 5– generátor, 6- systém zajišťující natáčení strojovny, 7–hydraulické systémy [4]

Generátor

Generátor je zařízení, které slouží pro převedení mechanické energie na energii elektrickou. U větrných elektráren, které dosahují středních až vyšších výkonů, se používají nejčastěji asynchronní a synchronní generátory, u těch nejmenších elektráren mohou být použity i generátory stejnosměrné, či generátory synchronní s permanentními magnety. [3,4]

U synchronních generátorů v poslední době dochází k častému použití více pólového synchronního generátoru, který je poháněn bez převodovky. Takové pohony jsou navrhovány jako synchronní generátory, které mají budící vinutí přímo na rotoru. U tohoto konstrukčního řešení je největší výhodou snížení hmotnosti celé gondoly. Aby větrná elektrárna mohla pracovat, pokud možno s co největším

rozpětím otáček, je k synchronnímu generátoru připojen frekvenční měnič, to má za následek regulaci celého výkonu synchronního stroje. [3]

Při využití generátorů asynchronních se využívá stavu nakrátko v generátorickém režimu. Mezi největší přednosti asynchronního stroje se bezpochyby řadí jeho velice dobrá spolehlivost, nízké nároky na provoz a v neposlední řadě i nízké pořizovací náklady. Nevýhodou u takového stroje je však nízké rozpětí regulace otáček. Tato nevýhoda se do jisté míry může potlačit vhodným použitím asynchronního generátoru s napájeným rotorem, neboli podsynchronní kaskádou. [3]

Převodovka

Pro různé typy větrných elektráren se mohou používat různé typy převodovek. Převodové ústrojí je velmi namáhaná část větrných elektráren, neboť zatížení, které na ní přenáší hřídel, může kolísat a při velkých poryvech větru mohou mít rázy proudícího vzduchu několikanásobně větší hodnotu, než je hodnota standartního provozního zatížení. Při návrhu převodového ústrojí je důležité pracovat s rozmezím teplot, při kterých může převodovka správně plnit svou funkci, standartní rozmezí teploty se uvádí mezi $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším charakteristickým prvkem je její hluk. Pro dosažení co nejnižší funkce se kola převodového ústrojí kalí, cementují a nitridují, následně se povrch zubů převodovky zbrousí. [4]

U převodovek s výkony do 50 kW mohou lopatky rotoru dosahovat 40-80 ot/min. Následně se podle použitého generátoru stanoví převodový poměr, který obvykle bývá v rozmezí 1:12 až 1:25. Pro výkony do 50 kW se používají dva typy převodovek, a to převodovka s čelním převodem a s šikmými zuby, ale také i převodovka planetová. Planetová převodovka se zde využívá jen velmi zřídka, protože při jejím provozu se poměrně hodně zahřívá a u větrných elektráren s takto malými výkony by se velká část vyrobené elektrické energie spotřebovávala na chod ventilátorů. [4]

U převodovek s výkony nad 500 kW se otáčky lopatek mohou pohybovat mezi 5-20 ot/min. Každý generátor má jiné pracovní otáčky 1000, 1500, 3000 ot/min, pro tyto pracovní otáčky pak jsou převodové poměry mezi 1:70 až 1:200. Pro přenášení těchto velkých výkonů opět máme dva typy převodovek, a to převodovku planetovou nebo kombinovanou několikastupňovou převodovku. [4]

Systém natáčení strojovny

Celá gondola včetně rotoru je na stožáru usazena na otočném kuličkovém ložisku. Dle toho, jakým směrem fouká vítr, se natáčí celá strojovna. Vnitřní klec kluzného ložiska je připevněna k nosnému rámu gondoly a vnější klec je za pomoci šroubů přichycena ke konstrukci stožáru a na vnějším povrchu stožáru je přímé ozubení. K nosnému rámu strojovny je připevněn elektropohon. Ten podle instrukce z řídicího systému otáčí se strojovnou požadovaným směrem. [4]

Stožár

V dnešní době se staví stožáry o velikosti 80-125 m. Hmotnost takto vysokých stožárů je od 150 do 225 tun. Ve stožáru musí být nějakým způsobem zpřístupněna cesta ke strojovně. Obvykle buďto žebříkem, výtahem, to vše závisí na velikosti stožáru a strojovny. Dalším vybavením stožáru jsou různé řídicí prvky, ale také kabeláž, kterou je vedena vyrobená elektřina ze strojovny. V dnešní době se používají 3 druhy stožárů a to:

- Ocelový tubusový stožár, příhradový stožár, prefabrikovaný betonový stožár. [4]

Základ

Základ větrné elektrárny je jedním z elementárních prvků celé větrné elektrárny. Větrná elektrárna má nejen velkou výšku, ale i hmotnost, proto zde hraje velkou roli její stabilita, na kterou mohou mít vliv i spodní zeminy. Před samotnou výstavbou základu se musí nejprve provést geologický průzkum. Za podmínky, že dané místo vyhovuje, může dojít k samotné výstavbě. Nejprve se provede zhutnění zeminy a následně se vylije vrstva betonu, do této vrstvy se umístí první díl stožáru. Po ustavení prvního dílu se celá plocha zabezdí a armovacími výztužemi zpevní, na závěr je základ vyléván betonem, který musí zrát po dobu 5 týdnů. Následně dojde k penetraci asfaltovým nátěrem a místo styku prvního dílu stožáru se natře plastickým nátěrem. [4]

3.3.2 Větrné elektrárny a jejich vliv na elektrizační soustavu

Hlavním problémem u větrných elektráren je pravidelnost foukání větru a také špatné předvídání jeho směru a síly. To má za následek poměrně malé rozmezí, kdy můžeme větrné elektrárny používat. V podnebních podmínkách České republiky jsme schopni využívat větrné energie zhruba 20 % ročně. Vliv toho, že nedokážeme dokonale využít vystavěné kapacity, způsobuje ekonomické ztráty ve výrobě elektrické energie, ale přináší i značné problémy s regulací v elektrizační soustavě. Ekonomické problémy jako jsou vysoké náklady na výrobu elektřiny, způsobené vlivem nízké účinnosti větrné elektrárny, pokrývá stát, a to formou státní podpory obnovy obnovitelných zdrojů. Technické problémy s regulací soustavy musí řešit provozovatel soustavy. Větrné elektrárny mohou mít velmi nepříznivý vliv na elektrizační soustavu, vlivem špatné regulace výkonu. Proto tyto vlivy dělíme do dvou skupin. První z nich jsou lokální vlivy a druhou skupinou jsou vlivy systémové. [3]

Lokální vliv na provoz elektrizační soustavy:

Provozovatel distribuční soustavy si podle výkonu, síťových poměrů a způsobu provozu vlastní výroby určí způsob připojení větrné elektrárny do soustavy. Provozovatel se snaží při připojení větrné elektrárny do sítě dosáhnout co nejlepšího odstranění nežádoucích jevů na distribuční soustavu, neboť každý zdroj zapojený do sítě jí ovlivňuje. Připojení větrných elektráren větších výkonů do distribuční soustavy může mít značný dopad na celou síť, proto se sledují tyto základní lokální vlivy:

- Přetěžování sítě
- Kolísání napětí
- Zvýšení zkratových poměrů
- Kvalita dodávky energie

Základní veličinou pro připojování větrných elektráren je činitel proudového rázu, který se udává jako poměr zapínacího rázu ku jmenovitému proudu generátoru. [3]

Systémové vlivy větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy:

V elektrizační soustavě se nejčastěji systémové vlivy projevují při připojení většího množství větrných elektráren v síti, to může mít za následek snížení přenosové schopnosti. Při monitorování systémových vlivů klademe důraz na tyto vlastnosti:

- Začlenění větrných elektráren do pokrývání diagramu zatížení.
- Princip funkce větrných elektráren při velkých poruchách nebo zkratech v elektrizační soustavě.
- Vliv na stabilitu elektrizační soustavy. [3]

3.4 Vodní elektrárny

Pro svou činnost vodní elektrárny využívají neustálého koloběhu vody na Zemi. Z historického hlediska jde o jednu z nejdéle využívaných energií na světě, neboť už první civilizace jí používaly na velkou škálu aplikací. V moderní době, kdy se snažíme vyprodukovávat co nejnižší množství emisí, je použití vodních elektráren velmi výhodné, neboť při výrobě elektrické energie nevznikají žádné emise a můžeme konstruovat nejen malé vodní elektrárny o výkonu několik desítek kW, ale i velká vodní díla, u kterých může výkon dosahovat několik tisíců MW. Výstavba vodních elektráren je však perspektivní pouze v místech, kde se nachází prudké toky s vysokým spádem a co nejvyšší vodní kapacitou. V České republice však nejsou přírodní podmínky pro budování vodních elektráren příliš vhodné, neboť naše vodní toky nemají dostatečný spád ani dostatečné množství vody, ale i přesto vodní elektrárny hrají ve výrobě elektrické energie v České republice velmi významnou roli, a to díky jejich rychlému nájezdu na velký výkon. Tím mohou pokrývat špičky ve výrobě elektrické energie a mají velmi příznivý vliv na regulaci elektrizační soustavy. [3,5]

3.4.1 Vodní elektrárny v České republice

K roku 2016 je podle ERÚ v České republice celkový instalovaný výkon vodních elektráren 1090,2 MW a přečerpávacích vodních elektráren 1171,5 MW. Celkově tyto zdroje do sítě dodaly 3112,3 GWh. Vodní elektrárny se na celkové výrobě elektrické energie podílely za rok 2016 2 %. [6]

3.4.2 Princip činnosti

Ve vodních elektrárnách voda předává turbíně svou kinetickou, popřípadě potenciální energii, která roztočí generátor. Zapojení turbíny na společné hřídeli s generátorem se nazývá turbogenerátor. V generátoru dochází pomocí elektromagnetické indukce změny energie mechanické na energii elektrickou. Takto vyrobená elektrická energie je transformována a pomocí elektrizační soustavy dále odváděna do míst spotřeby. Důležitým prvkem vodní elektrárny je česlo, které má za úkol zabránění průniku naplavenin či odpadků k turbíně. [3,5]

3.4.3 Průtočné vodní elektrárny

Průtočné elektrárny využívají přirozený proud řeky, ten však nelze ovlivňovat, proto průtočné vodní elektrárny pracují v základním pásmu trvalého zatížení, neboť pro generaci výkonu využívají aktuální hodnotu průtoku vody řečištěm. Při překročení průtoku vody, na který je vodní elektrárna dimenzována, dochází k jejímu nevyužití. U průtočných elektráren, které mají malý spád, může nastat stav, kdy se spád mění právě s průtokem. K tomuto stavu může docházet například při povodních, kdy se spodní hladina vyrovná té horní a spád je nulový. Průtočné vodní elektrárny můžeme v našich podmínkách dělit:

- Jezové vodní elektrárny, které využívají jezu pro vzednutí hladiny a soustředění spádu, který se pohybuje mezi 10- 20 m, z čehož vyplývá, že se jedná o nízkotlaké vodní elektrárny.
- Derivační vodní elektrárny využívají derivačního přivaděče, kterým může být například potrubí, kanál či štola. Tento derivační přivaděč odvádí vodu z koryta řeky k turbíně vodní elektrárny. Od turbíny je voda odpadním kanálem vrácena zpět do řečiště. Důvodem využití derivačního kanálu je zkrácení řeky a tím zvýšení vodního spádu. [3,5]

3.4.4 Přečerpávací vodní elektrárny

Tato vodní díla jsou nezastupitelným členem při pokrývání špičkových zatížení a rychlých výkonových změn, jedná se tedy o regulační elektrárny. Jejich princip spočívá v tom, že mají dvě nádrže, jedna se nachází nad vodní elektrárnou a druhá pod ní. Tyto dvě nádrže jsou spojeny tlakovým potrubím. V případě špičky či výkonové změny, se voda umístěná v horní nádrži používá pro výrobu elektrické energie. V případě nízkého zatížení například v noci, dochází k přečerpávání vody zpět do nádrže horní. V dnešní době se využívají nejčastěji pouze dvě základní uspořádání přečerpávacích elektráren a to:

- Dvoustrojové uspořádání se skládá z reverzní turbíny a alternátoru. To má za následek, že reverzní turbína může pracovat jako čerpadlo a alternátor jako motor.
- Třístrojové uspořádání se skládá z turbíny, alternátoru a čerpadla, tyto tři základní stroje jsou uspořádány vertikálně. Díky tomu, že alternátor může pracovat jako motor, může opět docházet k čerpání vody zpět do nádrže. [3,5]

3.4.5 Vodní turbíny

Zvolení turbíny je závislé na účelu vodní elektrárny. Mezi základní typy vodních turbín patří:

- Kaplanova

Byla sestrojena v roce 1918. Jde o vylepšení vrtulové turbíny profesora Kaplana a je konstrukčně složitější než turbína Francisova. Jedná se o přetlakovou axiální turbínu, kterou lze regulovat hydraulicky, případně u menších turbín i mechanicky. Nejčastěji se v České republice používají pro velké průtoky, ale mále spády v rozmezí 1-70 m. [5]

- Francisova

Tato turbína byla sestrojena v roce 1847 a patří mezi nejstarší a zároveň nepoužívanější turbíny. Jde o reakční přetlakovou turbínu a nejčastěji se používá ve dvou konstrukčních provedeních, buďto s vertikální nebo s horizontální uloženou hřídelí. Její použití je pro střední průtoky a spády obvykle u přečerpávacích vodních elektráren. [5]

- Peltonova

Používá se v místech, kde je vysoký spád vody a malý průtok. Jde o rovnotlakou turbínu, u které je jako rozváděcí zařízení použita dýza, která je na přívodním potrubí, voda z ní vstupuje kruhovým paprskem a dopadá na lopatky lžičkovitého tvaru. Regulaci zajišťuje změna výtokového otvoru dýzy. [5]

- Bankiho

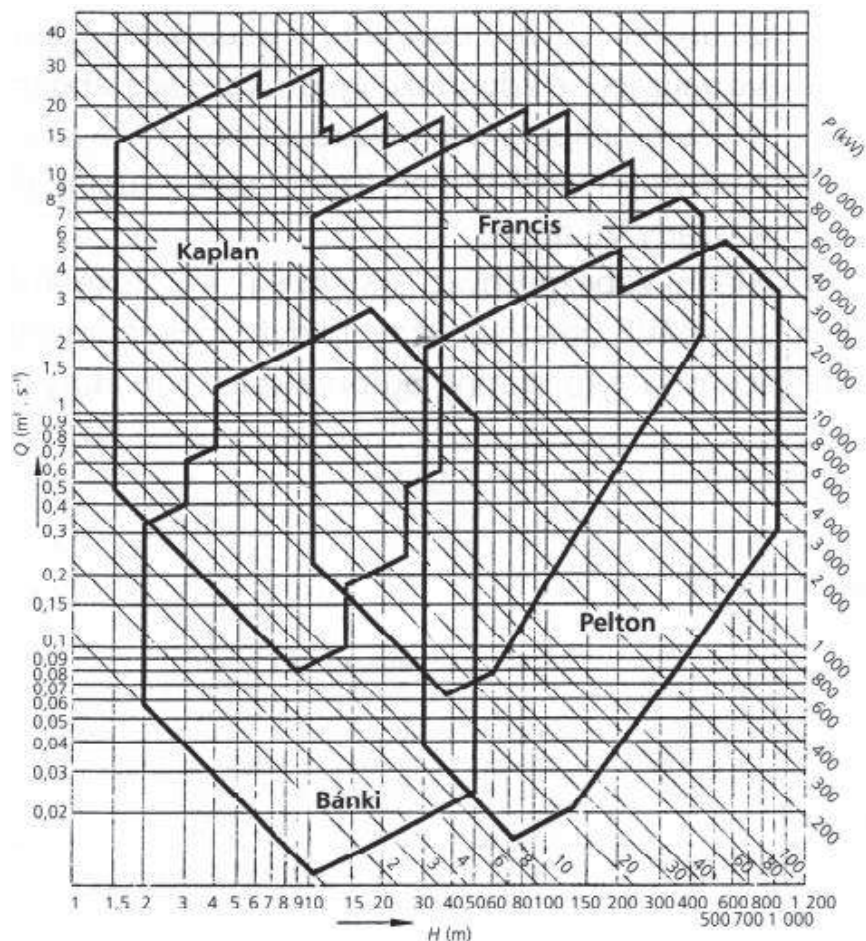
Jedná se o typ akční rovnotlaké radiální turbíny, která má dvojnásobný průtok. Voda prochází přes lopatky při vstupu do oběžného kola a následně i při jeho opuštění. Používá se pro malé a střední spády. [5]

Další dělení turbín:

- Dle přenosu energie na rovnotlaké a přetlakové
- Podle polohy hřídele na vertikální horizontální a šikmé [5]

3.4.6 Grafické znázornění využití vodních turbín

Graf zachycuje závislost výšky na průtoku vody, udává, pro jakou výšku a průtok je vhodné využít daný typ vodní turbíny.



Obrázek 3.4.1 Grafické znázornění využití vodních turbín [3]

3.5 Solární elektrárny

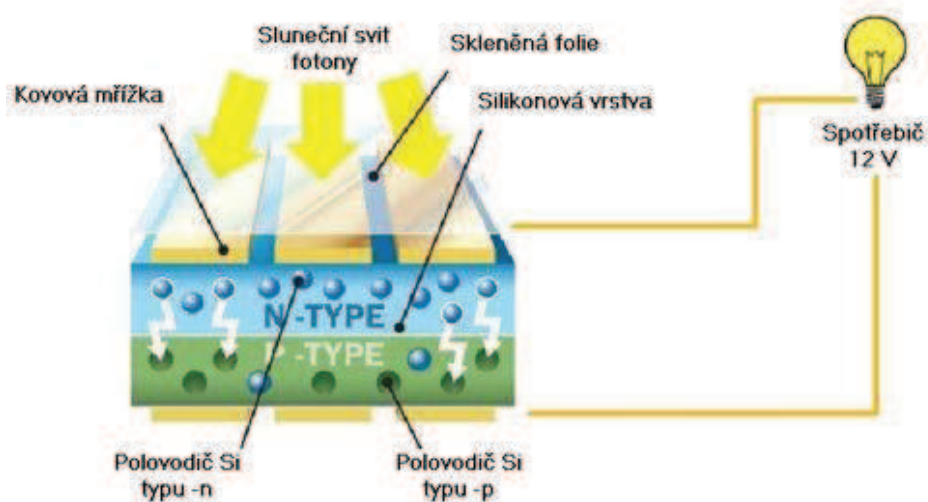
Počátek využití světla pro výrobu elektrické energie, sahá do roku 1839, kdy Alexandr Becquerel ponořil dvě elektrody do elektrolytu, při jejich osvětlení začal mezi elektrodami procházet proud. Však první sestavený fotovoltaický článek již bez elektrolytu, který je podobný článkům, které se používají dnes, má na svědomí Charles Fritts v roce 1883, velikost těchto článků byla cca 30 cm s účinností okolo 1 %. K velkému rozvoji fotovoltaických článků, ale nedošlo, a to z důvodu jejich nízké účinnosti. Úplně první fotovoltaický článek, který měl účinnost okolo 6 %, byl vyroben v Bellových laboratořích roku 1954 z krystalického křemíku. K masovému rozvoji fotovoltaických článků došlo v sedmdesátých letech 20. století, z důvodu ropné krize, státy začaly poměrně přispívat na rozvoj elektrotechniky a došlo k velkému rozvoji polovodičových součástek a tím se snížily náklady na výrobu křemíku, tedy i pořizovací náklady na výrobu fotovoltaických panelů klesly. Dnes jsou fotovoltaické elektrárny nejen v České republice hojně využívaným obnovitelným zdrojem elektrické energie. Jelikož při přeměně energie ze Slunce na energii elektrickou nevznikají žádné emise, proto jsou v dnešní době, kdy se klade důraz na životní prostředí, velmi oblíbeným zdrojem elektrické energie. [7]

3.6 Solární elektrárny v České republice

Dle Energetického regulačního úřadu se v České republice nachází k roku 2017 28 315 solárních elektráren, u kterých dosahuje instalovaný výkon cca 2 110 MW. Skoro polovina uvedeného instalovaného výkonu je tvořena elektrárnami, které mají instalovaný výkon od 1 MW do 5 MW. Největší fotovoltaickou elektrárnou v České republice je FVE Ralsko, která zahrnuje solární elektrárny v oblastech Ralsko a Mimoň. Provozovatelem FVE Ralsko je společnost ČEZ Obnovitelné zdroje s.r.o. a do provozu byla uvedena v roce 2010, dnes je celkový instalovaný výkon této fotovoltaické elektrárny 55,76 MW. [6,8]

3.6.1 Princip funkce fotovoltaického článku

Fotovoltaický panel je zařízení umožňující přeměnu slunečního záření na elektrický proud. Celý fotovoltaický panel se skládá z jednotlivých článků, základem tohoto článku je dioda, která obsahuje dvě vrstvy příměsových polovodičů, a to polovodiče typu P a N. Rozdíl mezi polovodičovou vrstvou N a P je takový, že v polovodičové vrstvě typu N je přebytek elektronů, mezitím ve vrstvě P je přebytek kladně nabitých děr. Rozhraní těchto dvou polovodičů se nazývá PN přechod, ten ideálně propouští elektrický proud jen jedním směrem. K rekombinaci u polovodičů s PN přechodem nemůže dojít, protože jsou elektrony a díry separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Základním principem přeměny slunečního záření na elektrický proud je fotoelektrický jev, při kterém jsou z krystalové mřížky obou vrstev uvolňovány elektrony, které se hromadí v polovodičové vrstvě typu N a mezi vrstvami vzniká elektrické napětí, které má hodnotu cca 0,5-0,6 V. Výstupní elektrické napětí fotovoltaického článku se dá zvýšit propojením jednotlivých článků do série. Navýšení výstupního elektrického proudu jde naopak zvýšit paralelním řazením jednotlivých článků, nejčastěji se však používá řazení sério-paralelní. [3,8]



Obrázek 3.6.1 Princip činnosti fotovoltaického článku [9]

Výkon fotovoltaických panelů je udáván v jednotkách Watt peak (Wp). Tato hodnota se určuje v standardních laboratorních podmínkách (STC-Standard Test Conditions), těmi se myslí: nestíněné světelné záření směřující kolmo na panel s energií 1 kW/m^2 , teplota článků $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$, průhlednost atmosféry $A_m= 1,5$ a panel bez nečistot. Při polojasné obloze klesá výkon cca na 35 % a při zatažené obloze na 10 % maximálního výkonu. [7]

3.6.2 Základní typy fotovoltaických článků

Fotovoltaické články mají za sebou velmi dlouhou dobu vývoje, proto se pro přehlednost rozdělují fotovoltaické elektrárny do následujících skupin:

- Fotovoltaický článek první generace:

Tyto články se nejčastěji vyrábějí z desek monokrystalického křemíku, které společně tvoří jeden velkoplošný PN přechod. Tento typ článku je v současné době jedním z nejpoužívanějším, a to z důvodu jeho velmi dobré životnosti při zachování účinnosti. Používá se primárně na velké instalace. Účinnost se pohybuje mezi 14 až 17 %, však pro některé laboratorní účely dosahuje až 25 %. Nevýhodou je, že na výrobu se spotřebuje velké množství velmi čistého křemíku a je poměrně náročná. [3,7]

- Fotovoltaický článek druhé generace:

U těchto článků, se výrobci snaží snížit náklady na jejich výrobní cenu, proto se snižuje podíl čistého křemíku a nahrazuje se jinými prvky, dále se používají tenkovrstvé články, které mohou být užší až 100krát než u první generace. Nejčastěji se tyto články vyrábí z polykrystalického, mikrokrystalického či amorfního křemíku. Však důraz na snížení podílu čistého křemíku se negativně projevuje i na účinnosti těchto článků, jejich účinnost je znatelně nižší a časem dále klesá. Tyto články se nejčastěji používají tam, kde je požadována elastičnost, proto se uplatňují například v armádě, kde se mohou stát součástí oblečení, například na batohu. [3,7]

- Fotovoltaický článek třetí generace:

U těchto článků dochází k co možná nejdokonalejšímu využití energie fotonů slunečního záření. Nejčastěji se pro tuto aplikaci využívají desky s několikanásobnými přechodovými vrstvami, které jsou velmi tenké. Dále u této generace dochází ke snaze využít jinou metodu pro oddělování nábojů než při PN přechodu, a to například za pomoci fotoelektro-chemických článků, nanostruktur nebo kvantových teček, které se nanáší na vhodné podložky. Na fotovoltaických člancích třetí generace se neustále provádí výzkumná činnost a neustále se zdokonalují. [3,7]

- Fotovoltaický článek čtvrté generace

V dnešní době se jedná o poslední vývojovou fázi, u které se využívají vícevrstvé profily, tyto profily jsou schopny využít široké spektrum slunečního záření. Tato vlastnost je dána tím, že každá vrstva využije světlo jen v určité oblasti vlnových délek. Oblast vlnových délek, kterou daná vrstva nevyužije, je propuštěna dále do vrstev hlubších, v nich je sluneční záření s vhodnými vlnovými délkami pro danou vrstvu dokonale využito. [3]

3.6.3 Rozdělení dle velikosti a typu instalace:

- Malé střešní instalace

Jedná se o zařízení, která jsou nejčastěji aplikovaná na střechy rodinných domů. Jejich výkon bývá zpravidla jen několik kWp. Nejčastěji bývají umístěna v rovině střechy na nosné konstrukci, ale mohou být i integrovaná do střešní krytiny. [10]

- Velké střešní instalace

Tyto instalace se mohou nacházet na střechách firem, velkých průmyslových objektech, halách či logistických centrech. Jejich výkon přesahuje 30 kWp. [10]

- Volně stojící instalace

Jde o elektrárny, které se nachází na volných prostranstvích, které mohou dosahovat výkony v řádech stovek kWp až řády MWp. [10]

3.6.4 Solární elektrárny a jejich připojení k distribuční soustavě

- Přímé připojení na síť (Grid-on)

Přímé připojení solární elektrárny na síť znamená, že fotovoltaickou elektrárnu připojíme přímo na síť a prodáváme veškerou vyrobenou elektrickou energii provozovateli distribuční sítě za předem stanovenou cenu. Návrh investice do solární elektrárny zaručuje garantovaná výkupní cena elektrické energie. Toto připojení se nejčastěji používá při výstavbě velkých solárních elektráren. [3]

- Přímé připojení na síť, za pomoci Zeleného bonusu

Tohoto způsobu se využívá při aplikaci fotovoltaických článků pro rodinné domy. Princip tohoto způsobu připojení spočívá v tom, že podstatnou část produkce je možné spotřebovat přímo v objektu a případné přebytky jsou prodávány distribučním společností. Toto připojení je nejjednodušší z důvodu toho, že není nutné zřizovat nové odběrné místo a tím pádem i novou přípojku elektrické energie, na kterou jsou poměrně velké pořizovací náklady. [10]

- Autonomní systém (Grid-off)

Tento systém se nejčastěji využívá v oblastech, kde není možnost připojení solárních elektráren na distribuční soustavu. Tyto lokality se mohou nacházet, například na velmi odlehlých místech, jako jsou hory, chaty, ale i pro různé aplikace, například pro napájení dopravní signalizace či telekomunikačních zařízení. Při aplikaci ostrovního systému je nutné vyrobenou elektrickou energii ihned spotřebovat, nebo uložit do akumulátorů. [3]

Ostrovní systémy se skládají z těchto základních částí: fotovoltaický modul, akumulátorové baterie, ochranný modul chránící baterii před nadměrným vybitím či přebitím. Dále pro větší aplikace může být využit měnič napětí. Akumulátorová baterie se nejčastěji konstruuje tak, aby její vybíjení a nabíjení bylo pomalé, optimální provoz baterie zajišťuje regulátor dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče, které jsou napájeny stejnosměrným napětím 12 V nebo 24 V, ale i spotřebiče, které jsou napájeny napětím střídavým 230V/50Hz za pomoci napěťového střídače. [3]

- Hybridní systém

Hybridní systém kombinuje klasické síťové elektrárny a ostrovní systém. Oproti systémům, kdy máme fotovoltaickou elektrárnu připojenou přímo na síť, je hybridní systém výhodnější z důvodu maximálního využití vyrobené elektrické energie přímo v místě výroby. [3]

4 Zpětné vlivy-změny napětí, flikru, ovlivnění signálu HDO, příspěvek ke zkratovým poměrům a příspěvky k úrovni harmonických proudů

4.1 Zpětné vlivy

Obnovitelné zdroje elektrické energie připojené k distribuční soustavě mohou mít značný vliv na tok výkonu, stabilitu napětí, kvalitu elektrické energie, chránění, spolehlivost a bezpečnost sítě. Tento vliv může být někdy pozitivní, ale nejčastěji jde o vlivy negativní, to závisí na provedení a parametru zdroje, jenž je do soustavy zapojen. Zpětné vlivy se vztahují k připojení a provozu obnovitelných zdrojů a mají tak vliv na kvalitu elektrické energie v distribuční síti, tím pádem i na zařízení sítě, či na elektrické zařízení odběratelů. Všechny elektrické zdroje energie, které jsou k distribuční soustavě připojeny, mohou mít za následek (v závislosti na svém výkonu) změnu velikosti napětí v místech, kde jsou připojeny a tím měnit i rozložení velikosti napětí v jednotlivých uzlech sítě. Zapojení zdroje k distribuční síti je velmi často doprovázeno přechodným dějem se skokovou změnou napětí. Jeho velikost je dána provedením a řízením generátoru elektrické energie. [3]

4.2 Změny napětí

4.2.1 Přerušování napětí a krátkodobý pokles napětí

Tyto dva stavy jsou naprosto nepředvídatelné, nejčastěji se téměř vždy jedná o jevy, které jsou zcela náhodné. Krátkodobý pokles napětí je v podstatě snížení napětí v bodě elektrické sítě, toto napětí je po krátkém časovém intervalu obnoveno na napětí jmenovité. Časový interval se nejčastěji pohybuje od poloviny periody sítě do několika sekund. Nejčastěji se jedná o krátké přerušování napětí, kdy zaniknutí napájecího napětí nepřekračuje dobu jedné minuty. Krátké přerušování napětí lze považovat za pokles napětí, který má hloubku poklesu 100 %. To, jak hluboko napětí poklesne, je definováno rozdílem mezi napětím během poklesu a jmenovitým napětím sítě, hloubka poklesu se udává v procentech jmenovitého napětí. [3]

- Nejčastější příčiny poklesu a přerušování napětí mohou být způsobeny:
 - a) Spínacími činnostmi, které mohou spínat zařízení velkých výkonů
 - b) Různými poruchami, ale nejčastěji však zkratovými poruchami, které mají za následek častou funkci ochran, obvykle se může jednat o opakované zapínání. Tyto poruchy mohou být zapříčiněny atmosférickými vlivy, ale poměrně často pochází z odběratelských sítí nebo ze sítí veřejných.
 - c) Vlivem změn činného a jalového proudu, jenž je odebírán ze sítě zátěží, proto způsobuje změny úbytku napětí na impedanci sítě.
 - d) Vlivem změny zkratového výkonu sítě, která je zapříčiněna změnou nastavení sítě nebo změnou struktury generátorů.

- Nepříznivé vlivy poklesů napětí a krátkých přerušování napětí:
 - a) Zhášení výbojek
 - b) Narušení funkce regulačních přístrojů
 - c) Změny rychlosti nebo zastavování motorů
 - d) Vypínání stykačů
 - e) Ztráta synchronismu u synchronních generátorů
 - f) Výpočetní chyby a ztráty dat v pamětech

- Přetížení

K přetížení dochází, když jsou vodiče elektrických zařízení v síti napájeny proudem, který přesahuje hodnotu proudu jmenovitého. Vlivem přetížení může dojít k většímu tepelnému namáhání elektrických spotřebičů, různých rozvodných zařízení a vedení. Přetížení může mít velmi negativní vliv na dobu stárnutí izolace, vlivem zvýšeného tepelného namáhání urychluje její dobu stárnutí. K přetížení může dojít při připojení do elektrické sítě velkého počtu spotřebičů, ale i při připojení elektrických zařízení s velkým odběrem. Přetížení dělíme na dva základní druhy, tím prvním je přetížení krátkodobé, které nemusí být vždy nebezpečné. Dalším přetížením je přetížení dlouhodobé, které je velmi nebezpečné, a to z toho důvodu, že vedením může procházet mnohonásobně větší proud, ten v krajním případě může vyvolat zničení izolace a následný vznik požáru.

- Přepětí

Jedná se o napětí, které mezi jednotlivými fázemi, ale i mezi fází a zemí má hodnotu, která je vyšší, než je amplituda nejvyššího napětí sítě. Následky přepětí jsou vždy velmi nebezpečné, neboť dochází k poškození, stárnutí izolace a hlavně k zvýšenému nebezpečí zkratu. Přepětí lze dělit do tří základních skupin:

a) Dle velikosti

b) Dle časového průběhu:

Trvalé přepětí

Dočasné přepětí

Přechodná přepětí: trvají několik milisekund a jsou nepředvídatelná (atmosférická přepětí)

Kombinované přepětí: v jeden moment se v síti vyskytne více přepětí

c) Dle příčiny vzniku dělíme přepětí na atmosférická a provozní. Atmosférické přepětí může vzniknout při úderu blesku do vedení nebo do různých částí elektrických zařízení, ale i indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů. Provozní přepětí je vyvoláno různými spínacími procesy v obvodech s indukčností nebo kapacitou.

- Podpětí

Pokud je ze sítě odebírán konstantní výkon, může vlivem podpětí dojít k přetížení, podpětí je nejčastěji zapříčiněno nedokonalou kompenzací nebo poruchou regulace napětí. Následkem podpětí je nejčastěji proudové přetížení.

Vlivem podpětí, může dojít k poruše na asynchronním motoru, proto je nutné při podpětí motor odstavit. U velkých asynchronních motorů, se proti podpětí používá podpět'ová ochrana, která může být podle provozních podmínek zpožděná nebo nezpožděná. U malých asynchronních motorů se používá stykač, je napájen ze stejného napětí a v případě podpětí odpadne. [11]

4.3 Flickr

Rychlé periodické změny, hlavně poklesy napětí, které způsobují lidským okem vnímatelné kolísání světelného toku svítidel, se mohou projevovat, jako blikání zářivek. Tyto rychlé změny jsou zapříčiněné změnami zatížení u odběratelů nebo změnami při výrobě elektrické energie. Možnost vzniku flickru, například u větrných elektráren, může být při poryvech větru. Dalšími prvky, které způsobují

flikr, mohou být spotřebiče, ale i různé provozní stavy, jako spínání velké zátěže, proměnlivá zátěž, rozběh velkých motorů, ale i elektrické obloukové pece. [3]

Jako vyhodnocovací kritérium, které určuje flikr se nevyužívá úbytek napětí, který je flikrem způsoben, ale veličina nazývaná se emise flikru nebo míra vjemu flikru. Míra vjemu flikru se rozlišuje na dva základní parametry:

- Krátkodobá emise flikru, která se měří nebo počítá v časovém intervalu deseti minut.
- Dlouhodobá emise flikru, ta se určuje v časovém úseku dvou hodin. [3]

4.4 HDO (Hromadné dálkové ovládání)

Protože elektrickou energii nelze dobře skladovat, musí být zajištěna v elektrické soustavě rovnováha mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií. Spotřeba elektrické energie se neustále v čase mění. a to poměrně ve velkém rozmezí a se značnou dynamikou. Z tohoto důvodu jsme nuceni zajistit rovnováhu mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií v daném čase. To zajišťují různá technická a organizační opatření, která se nachází buď ve výrobní nebo ve spotřební oblasti. [12]

- Princip řízení HDO

Informace se přenáší ve formě signálu od vysílače HDO k jednotlivým přijímačům. Přenos je proveden kódovanými impulzy, které mají vyšší frekvenci 183,3 Hz až 283,3 Hz s hladinou napětí 1,6 až 2,5 % U_n . Na frekvenci sítí jsou poté superponovány. Systém HDO se skládá z těchto základních prvků: vysílač, přijímač a přenosová síť. [13]

- Vlivy ovlivňující signál HDO

Spolehlivost celého zařízení HDO je závislá na jeho jednotlivých základních částech. Vysílač je nejčastěji řízen z ústředního centra, například krajského dispečinku, tedy spolehlivost vysílače je dána přenosem řídicí informace a spolehlivostí vlastního vypínače. Pro zvýšení spolehlivosti vlastního vysílače dochází k jejich zdvojení, když dojde k poruše jednoho, druhý ho může zastoupit. Pokud dojde k poruše přenosové informační cesty, můžeme vysílače ovládat místní automatikou, ale i ručně. Nesprávná funkce přijímače může nastat při nevyhovující úrovni signálu, vlivem rušení napětí například impulzní rušení vyšších harmonických, ale i při poruše samotného přijímače. Samotné ovlivnění systému HDO je způsobeno připojením výrobních zařízení, ale i zařízení pro kompenzaci účinníku k přípojnicí, do které se vysílá signál HDO. [12]

4.5 Příspěvek ke zkratovým poměrům

Zkrat se řadí mezi nejčastější příčiny, proč v elektrizační soustavě vznikají elektromagnetické přechodné jevy. Při zkratu dochází k nahodilému, či úmyslnému spojení fázových vodičů, ale také ke spojení fázového vodiče se zemí. To má za následek, že rozdíl elektrických potenciálů je mezi body styku v ideálním případě roven nule, nebo alespoň hodnotu k nule jdoucí. Proud, který protéká fázovými vodiči nabývá několikanásobku hodnoty proudu jmenovitého, protože dochází k výraznému snížení impedance v místech obvodu mezi místem zkratu a elektrickými zdroji napětí.

Vlivem zkratu může dojít k vyššímu tepelnému, ale i silovému namáhání elektrického vedení, různých rozvodných zařízení a spotřebičů. Na vedení mohou vznikat poklesy napětí, které jsou nepřímo úměrné elektrickým vzdálenostem od místa zkratu, a také při zkratu může docházet k narušení stability

chodu paralelně zapojených alternátorů, což je jeden z nejnebezpečnějších následků zkratu, protože postihuje provoz celé sítě. [11]

Zkraty rozdělujeme na dvě základní skupiny na zkraty souměrné a zkraty nesouměrné. Souměrné zkraty mohou nastat ve dvou případech, při spojení všech tří fází navzájem a se zemí, tomuto zkratu se říká trojfázový zemní zkrat, nebo pouze při styku všech tří fází elektrizační soustavy v jednom místě, tento typ zkratu se poté nazývá trojpólový zkrat. Další skupinou jsou nesouměrné zkraty. Ty mohou nastat ve třech krajních případech, a to při dvojpólovém zkratu, dvojpólovém zemním zkratu a jednofázovém zkratu. Dvojpólový zkrat vzniká při spojení jakýchkoliv dvou fází v jednom bodě. Dvojpólový zemní vzniká při současném spojení dvou fází v jednom místě se zemí. Jednofázový zkrat nastává při spojení jednoho fázového vodiče se zemí v soustavě s uzemněným uzlem.

Obnovitelné zdroje elektrické energie při vzniku zkratu musí být co nejrychleji odpojeny, pokud možno okamžitě od distribuční soustavy, aby nedošlo k jejich poškození vlivem zkratu.

4.6 Příspěvky k úrovni harmonických proudů

Vyšší harmonické jsou úplné násobky základního síťového kmitočtu, v České republice 50 Hz a jsou jedním z ukazatelů kvality elektrické energie. [3,13]

Zdroje vyšších harmonických a meziharmonických proudů mohou být:

- Usměrňovače
- Pohony s frekvenčními měniči
- Pulzní zdroje
- Středofrekvenční obloukové pece
- Indukční stroje
- Zářivky

Harmonické, které tyto prvky vyvolávají, musí předem uvést výrobce. Harmonické v síti mohou způsobit celou řadu problémů, jako přehřívání a přetěžování síťových prvků, chybnou funkci ochran a také špatnou činnost řídicích obvodů různých elektronických zařízení. [3,13]

- Vyhodnocování harmonických napětí

K vyhodnocování zkraslení průběhu napětí jsou uvedeny tabulky s úrovněmi jednotlivých harmonických složek vyjádřených v procentech základní harmonické, které nesmí být překročeny v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot. [13]

5 Limity připojitelnosti

Pro připojení obnovitelných zdrojů k distribuční soustavě je nutné splnit podmínky a pravidla provozovatele distribuční soustavy, aby mohl být obnovitelný zdroj k distribuční soustavě připojen, musí žadatel nejprve požádat o schválení, které se podává pro každé místo připojení zvlášť. Tato žádost se předkládá před samotnou výstavbou nebo připojením nového zařízení pro výrobu elektrické energie. K tomu, aby provozovatel distribuční soustavy mohl návrh žádosti lépe vyhodnotit, si může vyžádat od zadavatele studii připojitelnosti. Ta se zabývá posouzením očekávaných vlivů připojeného zařízení a spolehlivostí provozu distribuční sítě. Pokud ve studii připojitelnosti chybí nějaké informace, může provozovatel požádat o jejich doplnění. Poté dochází k vyhodnocení žádosti o připojení zařízení k distribuční soustavě. Posouzení je závislé na těchto aspektech:

- Místo a způsob požadovaného připojení
- Velikost požadovaného rezervovaného příkonu nebo výkonu a časový průběh zatížení
- Spolehlivost dodávky elektřiny
- Charakter zpětného působení zařízení žadatele na distribuční soustavu
- Plánovaný rozvoj soustavy
- Limity připojitelného výkonu do elektrizační soustavy stanovených provozovatelem přenosové soustavy. [13,14]

Samotné připojení výrobního zařízení k distribuční soustavě se uskutečňuje za pomoci smlouvy o připojení, ta může obsahovat více odběrných nebo předávacích míst, ale každé místo musí být ve smlouvě uvedeno. [13,14]

Zařízení pro výrobu elektrické energie musí umožnit podílet se na udržování napětí při dodávce energie do sítě. Podpora udržování sítě může být, jak statická, tak i dynamická. Provozovatel distribuční sítě udává požadované hodnoty a charakteristiky, však o dodržení těchto hodnot se stará automatické řízení ve výrobě, podrobnosti o funkci tohoto zařízení jsou uvedeny ve smlouvě o připojení. [3]

Statická podpora sítě udržuje napětí v síti podle smluvně stanovených mezí, při normálním provozu sítě, pokud dochází k pomalým změnám napětí. Výrobní zařízení se musí na statickém udržování sítě podílet, jestliže si to podmínky v síti vyžadují. [3]

Při podpoře dynamické jde o to, aby se v sítích VVN a ZVN udržovalo napětí při jeho poklesech, a tím se zamezilo nežádoucímu odpojení výkonu napájecí sítě a jejímu následnému rozpadu. To má za následek, že zařízení připojené k soustavě musí mít technické vlastnosti takové, aby mohlo zůstat k síti připojené i při poruchách, nejčastěji při zkratu. Pro správnou činnost dynamické podpory je nutné řídit se následujícími podmínkami:

- Výrobna musí zůstat připojená k síti při poklesu napájecího napětí na hodnotu 70-100 % v přípojném bodě po dobu trvání 0,7 s. [3]
- Pokud dojde k poklesu napětí pod hodnotu 30 % s dobou trvání do 150 ms, tak výrobna musí zůstat připojená na síť. Není-li tento úkon možný, po následné domluvě s provozovatelem distribuční soustavy, je možné nezpožděně odpojení výroby od sítě. [3]

5.1 Změny napětí při spínání

Připojení jednotlivých výroben nesmí ve společném napájecím bodě vyvolat změny napětí, které jsou způsobeny připojováním a odpojováním jednotlivých výroben, pokud nejvyšší změna napětí v síti NN dosahuje hodnot $\Delta U_{max,nn} \leq 3\%$ a v síti VN $\Delta U_{max,nn} \leq 2\%$. Tyto hodnoty platí, když spínání

není častější než jednou za 1,5 minuty. Pokud je četnost velmi malá, například jednou za den, tak provozovatel distribuční soustavy smí připustit vyšší změny napětí, ale tyto změny musí povolit poměry v síti. [13]

V síti 110 kV pro výrobní platí pro redukcí změny napětí, kterou vyvolá spínání.

- Při provozu normálním se spínáním jedné výrobní jednotky, například jednoho generátoru větrné turbíny, platí: $\Delta U_{max,110kV} \leq 0,5\%$.
- Při provozu normálním se spínáním celku zařízení, například celého větrného parku platí: $\Delta U_{max,110kV} \leq 2\%$.
- Při provozu poruchovém, pro změnu napětí při spínání celku zařízení, platí: $\Delta U_{max,110kV} \leq 5\%$. [13]

5.2 Připojení synchronních generátorů

Pro připojení synchronních generátorů potřebujeme takové synchronizační zařízení, díky kterému mohou být tyto podmínky pro synchronizaci dodrženy:

- Rozdíl napětí musí být v mezích: $\Delta U < \pm 10\% U_n$.
- Rozdíl frekvence musí být v mezích: $\Delta f < \pm 0,5Hz$.
- Rozdíl fáze musí být: $< \pm 10\%$. [13]

5.3 Připojení asynchronních generátorů

Pokud asynchronní motory rozeběhá pohon, tak musí být připojeny bez napětí při otáčkách, které jsou v mezích 95 až 105 % synchronních otáček. Pokud jde o asynchronní generátory schopné ostrovních provozů, které jsou připojovány bez napětí, nastává nutnost dodržet podmínky jako při spínání synchronních generátorů. [13]

5.4 HDO

Jak již bylo uvedeno největší vliv na zařízení HDO mají nejčastěji výrobní a zařízení pro kompenzaci účinníku, tato zařízení, která jsou připojena k přípojnicí, do níž se vysílá signál HDO ovlivňují přidavným zatížením vysílače. To vyplývá z vlastního zařízení výrobní nebo ze zvýšeného zatížení sítě, které vznikne v důsledku výroby a je k síti připojeno. Při takových případech lze posuzovat vliv výrobní na zatížení příslušného vysílače HDO. Základem je informace o zatížení příslušného vysílače, kterou poskytne provozovatel distribuční soustavy. Zda je tato informace blízká maximu, připojení bez přípojnice, nelze realizovat, pokud tomu tak ale není, je přípustné zvýšit zatížení vysílače, a to u sítě vysokého napětí do 2 A a u sítě do 110 kV do 5 A. [13]

Mimo snížení hladiny signálu HDO je nežádoucí, aby byla produkována nežádoucí rušivá napětí. Pro tato napětí obecně platí, že výrobou vyvolané rušivé napětí s frekvencí odpovídající místně frekvenci HDO, nebo je tato frekvence v její těsné blízkosti, nesmí překročit hodnotu 0,1 % jmenovitého napětí. Pokud je frekvence o 100 Hz pod nebo nad hodnotou místně použitou pro frekvenci HDO, nesmějí rušivá napětí překročit hodnotu 0,3 % jmenovitého napětí. Tyto procentuální hodnoty 0,3 % a 0,1 % jmenovitého napětí platí pro nízkonapěťovou síť, ve které jsou umístěny maximálně dvě vlastní výrobní elektrické energie, při více výrobních je zapotřebí výpočtu. [13]

Pro připojení zařízení určených pro výrobu elektrické energie, která mají z hlediska impedancí na frekvenci HDO povahu točivých strojů a jsou připojována k vysokonapěťovým sítím distribuční soustavy, musí být vybavena od 1 MW hradícím členem. [13]

5.5 Zpětné vlivy

Z důvodu toho, aby se nešířilo rušení mezi zařízeními odběratelů a dalšími zařízeními distribuční soustavy, je nutné omezit zpětné vlivy výroben. Na zpětné vlivy výroben nemusíme brát zřetel, pokud je poměr zkratového výkonu k výkonu jmenovitému celého zařízení větší než 500. [13]

5.5.1 Změna napětí

Přípustná změna napětí pro společný napájecí bod v síti nízkého napětí je $\Delta U_{max,nn} \leq 3\%$ a pro společný napájecí bod v síti vysokého napětí je $\Delta U_{max,vn} \leq 2\%$. [13]

5.5.2 Flickr

Když srovnáváme jednu nebo více výroben v jednom předávacím bodě, je nutné brát ohled na kolísání napětí, které vyvolává flickr. Hodnota dlouhodobé míry vjemu blikání musí dosahovat ve společném napájecím bodě v síti NN a VN $P_{lt} \leq 0,46$. [13]

5.6 Výrobní připojené k distribuční síti NN z hlediska harmonických

Zda zdroje elektrické energie splňují podmínky plynoucí z norem, na velikosti emisí harmonických proudů, lze považovat vliv emitovaných harmonických proudů na distribuční síť za dovolený. Zda nejsou meze norem dodrženy, je možné pro posouzení připojitelnosti použít následující vztah, pro mezní hodnoty harmonických proudů. [13]

$$I_{vnn} = i_{vnn} \frac{S_{kV}}{\sin \Psi_{kV}} \quad (5.1)$$

Ze vzorce: i_{vnn} je proud vztažený, který je uvedený v tabulce (5.6.1), $\sin \Psi_{kV}$ je sinus úhlu impedance soustavy v místě připojení. Výše uvedený výpočetní vztah nelze použít pro výpočet v síti vysokého napětí se společným napájecím bodem. [13]

Tabulka 5.6.1 Vztažné proudy [13]

Řád harmonické $\mu \cdot v$	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu, \text{vpř}} [\text{A/MVA}]$
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < v < 40$	$0,15 \cdot 20/v$
$\mu < 40^a$	$0,15 \cdot 20/v$
Sudé	$1,5/v$
$\mu < 40$	$1,5/v$
$40 < \mu, v < 178^b$	$4,5/v$
a) liché. b) Celočíslné a neceločíslné v pásmu šířky 200 Hz od střední frekvence v Měření podle ČSN EN 61000-4-7	

5.7 Výrobní připojené k distribuční síti VN z hlediska harmonických

Z hlediska připojení výroben k distribuční síti vysokého napětí dělíme na dva základní stavy, pro připojení jediného zařízení a pokud bude v síti připojeno více zařízení. [13]

- Připojení zařízení v jednom předávacím místě v síti. Lze určit celkové přípustné harmonické proudy za pomoci vztažných proudů, které jsou násobeny zkratovým výkonem ve společném bodu sítě, platí dle PPDS4 [13]:

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot S_{kV} \quad (5.2)$$

- Zda napájíme společný bod několika zařízeními, tak se přípustné harmonické proudy určí pro jednotlivá zařízení za pomoci násobení poměru zdánlivého výkonu zařízení k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu ve společném napájecím uzlu, platí vztah dle PPDS4 [13]:

$$I_{vvn} = i_{vvn} \cdot S_{kV} \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (5.3)$$

V následující tabulce (5.7.1.) jsou uvedeny celkově přípustné harmonické proudy pro síť vysokého napětí, které jsou vztažné ke zkratovému výkonu. Tyto proudy jsou vyvolané zařízením přímo připojeným k síti. Tabulka platí pro hodnoty harmonických s jejich násobkem tří, pro nejbližší řád, a to pouze zda se nulová složka proudů neuzavírá do distribuční soustavy. Jestliže početní analýzou dojde k překročení přípustných harmonických proudů, tak připojení zařízení k síti není možno realizovat. [13]

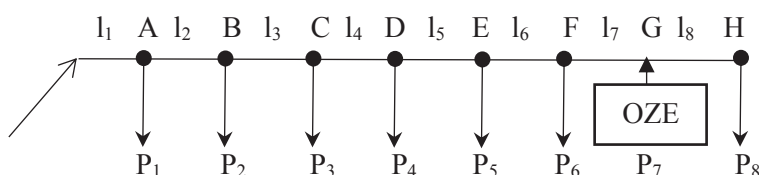
Tabulka 5.7.1 Vztažné proudy [13]

Řád harmonické μ . v	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu, \text{vpr}}$ [A/MVA]		
	Síť 10 kV	Síť 22kV	Síť 35kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,11
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,001	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/v	0,03/v	0,017/v
$\mu < 40$	0,06/v	0,03/v	0,017/v
$\mu > 40$	0,016/v	0,09/v	0,046/v

6 Praktická část

6.1 Výpočet elektrického vedení s větrnou a fotovoltaickou elektrárnou

V následujícím modelovém příkladu, bude naznačeno řešení vedení s napětovou hladinou 22 kV, do kterého se v jednom místě připojí fotovoltaická elektrárna nebo větrná elektrárna. Cílem praktického výpočtu bude vyhodnotit studii připojitelnosti, zda lze výrobu do sítě připojit z hlediska úbytku napětí a chování jednotlivých zdrojů elektrické energie, tedy velikost napětí a stav napěťových poměrů, když nebude výroba zapnutá a stav, když se výroba zapne. Schéma distribuční sítě, do které je výroba připojena je na obrázku (6.1.1.).



Obrázek 6.1.1 Schéma modelu vedení s OZE

Model vedení má tyto zadané parametry:

Vedení s hladinou napětí 22kV, je tvořeno z hliníkových lan s ocelovou duší AlFe 6, s danými parametry:

Jmenovitý průřez: 70 mm²

Průměr lana: 11,55 mm

Hmotnost na 1 km délky: 277,1 kg

Největší odpor na 1 km délky: 0,434 Ω

Reaktance: 0,35 Ω.km⁻¹

Parametry výroby:

$P_7 = 0,5$ MW; $\cos\varphi_7 = 1$

Parametry jednotlivých odběrů a délek:

$P_1 = 0,750$ MW

$\cos\varphi_1 = 0,91$

$l_1 = 1,5$ km

$P_2 = 0,525$ MW

$\cos\varphi_2 = 0,92$

$l_2 = 1$ km

$P_3 = 0,650$ MW

$\cos\varphi_3 = 0,89$

$l_3 = 1,5$ km

$P_4 = 0,725$ MW

$\cos\varphi_4 = 0,9$

$l_4 = 0,5$ km

$P_5 = 0,550$ MW

$\cos\varphi_5 = 0,95$

$l_5 = 1,5$ km

$P_6 = 0,640$ MW

$\cos\varphi_6 = 0,94$

$l_6 = 1$ km

$P_7 = 0,500$ MW

$\cos\varphi_7 = 1$

$l_7 = 1,75$ km

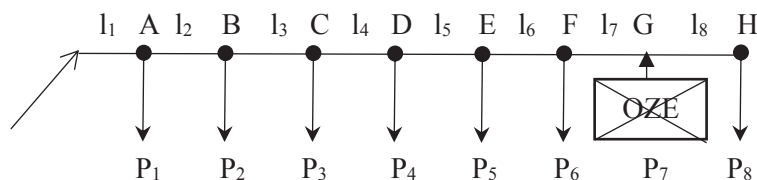
$P_8 = 0,660$ MW

$\cos\varphi_8 = 0,93$

$l_8 = 1,25$ km

6.2 Výpočet vedení bez připojení obnovitelného zdroje (FVE/VTE)

Pro výpočet tohoto modelového příkladu je nutné nejprve vypočítat síť bez připojeného OZE. Schéma této sítě je na obrázku (6.2.1.).



Obrázek 6.2.1 Schéma modelu vedení bez připojeného OZE

Dosazením hodnot do obecných rovnic (6.1) a (6.2), jsou vypočteny hodnoty činné a jalové složky proudu.

$$I_{\check{c}} = \frac{P_x}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6.1)$$

$$I_j = I_{\check{c}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (A) \quad (6.2)$$

$$I_{\check{c}1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{0,750 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 19,68A \quad (6.3)$$

$$I_{j1} = I_{\check{c}1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 19,68 \cdot \operatorname{tg}(24,50) = 8,97A \quad (6.4)$$

Hodnoty proudů jednotlivých odběrů jsou uvedeny v následující tabulce (6.2.1).

Tabulka 6.2.1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů bez OZE

$I_{\check{c}1} (A)$	$I_{\check{c}2} (A)$	$I_{\check{c}3} (A)$	$I_{\check{c}4} (A)$	$I_{\check{c}5} (A)$	$I_{\check{c}6} (A)$	$I_{\check{c}7} (A)$	$I_{\check{c}8} (A)$
19,68	13,78	17,06	19,0	14,43	16,8	0	17,32
$I_{j1} (A)$	$I_{j2} (A)$	$I_{j3} (A)$	$I_{j4} (A)$	$I_{j5} (A)$	$I_{j6} (A)$	$I_{j7} (A)$	$I_{j8} (A)$
8,97	5,87	8,74	9,21	4,74	6,1	0	6,85

Z tabulky je patrné, že uzel, do kterého je připojen obnovitelný zdroj energie, nebude mít žádný odběr, neboť výrobná do sítě pouze dodává elektrickou energii.

Následujícím krokem výpočtu je určení proudů, které protékají jednotlivými úseky vedení. Protože výrobná elektrické energie do tohoto výpočtu není zahrnuta, máme jednoduché vedení napájeno pouze z jedné strany a výpočet proudů v jednotlivých úsecích se provádí od konce vedení součtem proudů jednotlivých odběrů.

$$I_{l8} = I_{\check{c}8} - jI_{j8} = 17,32 - j6,85A \quad (6.5)$$

$$I_{l7} = I_{l8} + (I_{\check{c}7} - jI_{j7}) = (17,32 - j6,85) + (0 - j0) = (17,32 - j6,85)A \quad (6.6.)$$

$$I_{l6} = I_{l7} + (I_{\check{c}6} - jI_{j6}) = (17,32 - j6,85) + (16,8 - j6,1) = (34,12 - j12,95)A \quad (6.7.)$$

$$I_{l5} = I_{l6} + (I_{\check{c}5} - jI_{j5}) = (34,12 - j12,95) + (14,43 - j4,74) = (48,55 - j17,69)A \quad (6.8.)$$

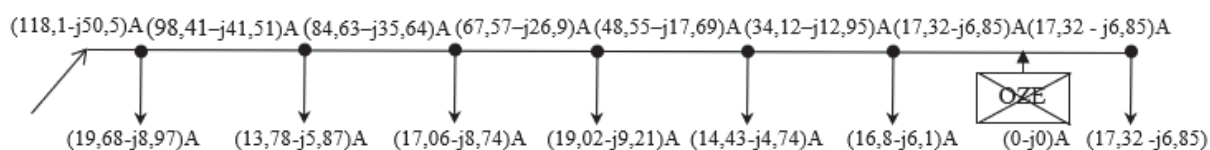
$$I_{l4} = I_{l5} + (I_{\check{c}4} - jI_{j4}) = (48,55 - j17,69) + (19,02 - j9,21) = (67,57 - j26,9)A \quad (6.9.)$$

$$I_{l3} = I_{l4} + (I_{\check{c}3} - jI_{j3}) = (67,57 - j26,9) + (17,06 - j8,74) = (84,63 - j35,64)A \quad (6.10.)$$

$$I_{l2} = I_{l3} + (I_{\check{c}2} - jI_{j2}) = (84,63 - j35,64) + (13,78 - j5,87) = (98,41 - j41,51)A \quad (6.11.)$$

$$I_{l1} = I_{l2} + (I_{\check{c}1} - jI_{j1}) = (98,41 - j41,51) + (19,68 - j8,97) = (118,1 - j50,48)A \quad (6.12.)$$

Na obrázku (6.2.2) jsou naznačeny proudy, jednotlivých odběrů a také proudy, které protékají jednotlivými úseky vedení.



Obrázek 6.2.2 Schéma modelu vedení s vypočtenými proudy jednotlivých úseků bez OZE

Pro další výpočty je důležité vyhodnotit velikost celkového úbytku napětí bez připojeného obnovitelného zdroje elektrické energie. Výpočet je proveden dle vzorce (6.13.).

$$\Delta U_{cel.bezOZ} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{S} \cdot \sum (l \cdot I_{\check{c}}) + \sqrt{3} \cdot X_V \cdot \sum (l \cdot I_j) \quad (6.13.)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{cel.bezOZ} = \frac{\sqrt{3}}{33 \cdot 70} \cdot ((118,09 \cdot 1500) + (98,41 \cdot 1000) + (84,63 \cdot 1500) \\ + (67,57 \cdot 500) + (48,55 \cdot 1500) + (34,12 \cdot 1000) + (17,32 \cdot 1750) \\ + (17,32 \cdot 1250)) + \sqrt{3} \cdot 0,35((50,48 \cdot 1,5) + (41,51 \cdot 1) \\ + (35,64 \cdot 1,5) + (26,9 \cdot 0,5) + (17,69 \cdot 1,5) + (12,95 \cdot 1) \\ + (6,85 \cdot 1,75) + (6,85 \cdot 1,25)) \end{aligned} \quad (6.14.)$$

$$\Delta U_{cel.bezOZ} = 594,3V \quad (6.15.)$$

Dle pravidel provozování distribuční soustavy (PPDS) 2017, je dovolená hodnota úbytku napětí v síti s hladinou 22kV 5 %. Hodnotu dovoleného úbytku napětí je možné určit ze vztahu (6.16.)

$$\Delta U_{dov} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{100} \quad (6.16.)$$

$$\Delta U_{dov} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{100} = 635,1V \quad (6.17.)$$

Hodnota dovoleného úbytku napětí je 635,1V, celková hodnota úbytku napětí bez připojeného obnovitelného zdroje elektrické energie vyšla 594,5V, což znamená, že úbytek napětí celého vedení nepřekračuje dovolenou hodnotu úbytku napětí (je splněna podmínka $\Delta U_{dov} > \Delta U_{cel.bezOZ}$).

Pro následující výpočty je nutné znát, hodnotu úbytku napětí v bodě, do kterého bude připojena výrobní elektrické energie, tudíž hodnotu úbytku napětí v místě odběru, který si označíme písmenem G. Výpočet je proveden podle vzorce (6.18.)

$$\Delta U_{GbezOZ} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{S} \cdot \sum (l \cdot I_{\xi}) + \sqrt{3} \cdot X_V \cdot \sum (l \cdot I_j) \quad (6.18.)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{GbezOZ} = \frac{\sqrt{3}}{33 \cdot 70} \cdot ((118,09 \cdot 1500) + (98,41 \cdot 1000) + (84,63 \cdot 1500) \\ + (67,57 \cdot 500) + (48,55 \cdot 1500) + (34,12 \cdot 1000) + (17,32 \cdot 1750)) \\ + \sqrt{3} \cdot 0,35((50,48 \cdot 1,5) + (41,51 \cdot 1) + (35,64 \cdot 1,5) + (26,9 \cdot 0,5) \\ + (17,69 \cdot 1,5) + (12,95 \cdot 1) + (6,85 \cdot 1,75)) \end{aligned} \quad (6.19.)$$

$$\Delta U_{GbezOZ} = 572,9V \quad (6.20.)$$

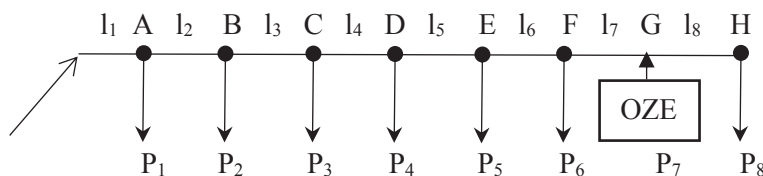
Pro připojení výrobní do sítě je nutné vypočítat hodnotu napětí v uzlu, do kterého bude připojena. Výpočet je proveden dle rovnice (6.21.), dosazením hodnot získáme hodnotu, napětí v uzlu G.

$$\Delta U_{GbezOZ} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{GbezOZ} (V) \quad (6.21.)$$

$$\Delta U_{GbezOZ} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 572,9 = 12128,8V \quad (6.22.)$$

6.3 Výpočet vedení se zapojením obnovitelného zdroje elektrické energie

V následující části, je proveden výpočet s připojeným obnovitelným zdrojem elektrické energie. Výpočet je podobný jako v předchozí části, jen se do uzlu G připojí výrobná, která má následující parametry: $P=0,5\text{MW}$ a $\cos\varphi=1$.



Obrázek 6.3.1 Schéma modelu vedení s připojeným OZE

Podobně jako při výpočtu bez výrobný, je proveden výpočet proudů všech jednotlivých odběrů se zapojenou výrobnou elektrické energie. Tento výpočet je proveden podle rovnic (6.1.) a (6.2.). Výsledné hodnoty proudů jednotlivých odběrů, jsou uvedeny v tabulce (6.3.1.).

Tabulka 6.3.1 Hodnoty činných a jalových proudů jednotlivých odběrů s OZE

$I_{\check{c}1}$ (A)	$I_{\check{c}2}$ (A)	$I_{\check{c}3}$ (A)	$I_{\check{c}4}$ (A)	$I_{\check{c}5}$ (A)	$I_{\check{c}6}$ (A)	$I_{\check{c}7}$ (A)	$I_{\check{c}8}$ (A)
19,68	13,78	17,06	19,02	14,43	16,8	13,12	17,32
I_{j1} (A)	I_{j2} (A)	I_{j3} (A)	I_{j4} (A)	I_{j5} (A)	I_{j6} (A)	I_{j7} (A)	I_{j8} (A)
8,97	5,87	8,74	9,21	4,74	6,1	0	6,85

Následuje výpočet rozložení proudů, který je opět proveden od konce vedení součtem jednotlivých odběrů. Na rozdíl od předchozího výpočtu, je nutné uvažovat, že je již výrobná připojená k síti.

$$I_{l8} = I_{\check{c}8} - jI_{j8} = 17,32 - j6,85A \quad (6.23.)$$

$$I_{l7} = I_{l8} + (I_{\check{c}7} - jI_{j7}) = (17,32 - j6,85) + (-13,12 - j0) = (4,2 - j6,85)A \quad (6.24.)$$

$$I_{l6} = I_{l7} + (I_{\check{c}6} - jI_{j6}) = (4,2 - j6,85) + (16,8 - j6,1) = (21 - j12,95)A \quad (6.26.)$$

$$I_{l5} = I_{l6} + (I_{\check{c}5} - jI_{j5}) = (21 - j12,95) + (14,43 - j4,74) = (35,43 - j17,69)A \quad (6.27.)$$

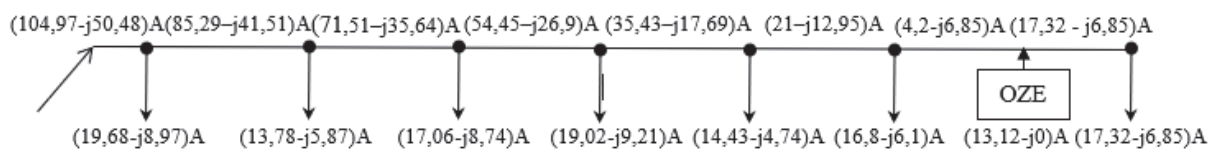
$$I_{l4} = I_{l5} + (I_{\check{c}4} - jI_{j4}) = (35,43 - j17,69) + (19,02 - j9,21) = (54,45 - j26,9)A \quad (6.28.)$$

$$I_{l3} = I_{l4} + (I_{\check{c}3} - jI_{j3}) = (54,45 - j26,9) + (17,06 - j8,74) = (71,51 - j35,64)A \quad (6.29.)$$

$$I_{l2} = I_{l3} + (I_{\check{c}2} - jI_{j2}) = (71,51 - j35,64) + (13,78 - j5,87) = (85,29 - j41,51)A \quad (6.30.)$$

$$I_{l1} = I_{l2} + (I_{\xi 1} - jI_{j1}) = (85,3 - j41,51) + (19,68 - j8,97) = (104,97 - j50,48)A \quad (6.31)$$

Na obrázku (6.3.2.) jsou zaznačeny proudy, jednotlivých odběrů a také proudy, které protékají jednotlivými úseky vedení.



Obrázek 6.3.2 Schéma modelu vedení s vypočtenými proudy jednotlivých úseků s OZE

Podobně, jako v předchozím výpočtu je proveden výpočet celkového úbytku napětí. V tomto kroku výpočtu, je uvažováno, že je již výrobná připojená k síti. Tento výpočet je proveden dle vztahu (6.32.).

$$\Delta U_{cel.OZ} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{S} \cdot \sum (l \cdot I_{\xi}) + \sqrt{3} \cdot X_V \cdot \sum (l \cdot I_j) \quad (6.32.)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{cel.OZ} &= \frac{\sqrt{3}}{33 \cdot 70} \cdot ((104,97 \cdot 1500) + (85,29 \cdot 1000) + (71,51 \cdot 1500) \\ &\quad + (54,45 \cdot 500) + (35,43 \cdot 1500) + (21 \cdot 1000) + (4,2 \cdot 1750) \\ &\quad + (17,32 \cdot 1250)) + \sqrt{3} \cdot 0,35 \cdot ((50,48 \cdot 1,5) + (41,51 \cdot 1) \\ &\quad + (35,64 \cdot 1,5) + (26,9 \cdot 0,5) + (17,69 \cdot 1,5) + (12,95 \cdot 1) \\ &\quad + (6,85 \cdot 1,75) + (6,85 \cdot 1,25)) \end{aligned} \quad (6.33.)$$

$$\Delta U_{cel.OZ} = 508,2V \quad (6.34.)$$

Dalším krokem je výpočet úbytku napětí v místě G s připojenou výrobnou elektrické energie, tento výpočet je proveden dle rovnice (6.35.)

$$\Delta U_{GOZ} = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho}{S} \cdot \sum (l \cdot I_{\xi}) + \sqrt{3} \cdot X_V \cdot \sum (l \cdot I_j) \quad (6.35.)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{GOZ} &= \frac{\sqrt{3}}{33 \cdot 70} \cdot ((104,97 \cdot 1500) + (85,29 \cdot 1000) + (71,51 \cdot 1500) + (54,45 \cdot 500) \\ &\quad + (35,43 \cdot 1500) + (21 \cdot 1000) + (4,2 \cdot 1750)) + \sqrt{3} \cdot 0,35 \\ &\quad \cdot ((50,48 \cdot 1,5) + (41,51 \cdot 1) + (35,64 \cdot 1,5) + (26,9 \cdot 0,5) \\ &\quad + (17,69 \cdot 1,5) + (12,95 \cdot 1) + (6,85 \cdot 1,75)) \end{aligned} \quad (6.36.)$$

$$\Delta U_{GOZ} = 486,8V \quad (6.37.)$$

Výsledek po připojení výrobný vyšel nižší než při výpočtu, kde nebyla výrobná uvažována, tím splňuje podmínku dovoleného úbytku maximálně 5%.

Pro připojení výrobní do sítě je nutné vypočítat hodnotu napětí v uzlu G, do kterého bude připojena. Hodnota úbytku napětí je vypočtena pomocí vzorce (6.38.).

$$\Delta U_{GOZ} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} - \Delta U_{GbezOZ} \quad (6.38.)$$

$$\Delta U_{GOZ} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 486,8 = 12214,9V \quad (6.39.)$$

Nová výrobní elektrické energie do sítě může být připojena, pokud splňuje předpoklad, že se v místě připojení nezvýší úbytek napětí více než o 2 %. Z tohoto faktu lze následně určit, pomocí rovnice (6.40.), zda může být obnovitelný zdroj elektrické energie do sítě připojen.

$$\Delta U_{dov.2\%} = \frac{\Delta U_{GbezOZ}}{100} \cdot 102 \quad (6.40.)$$

$$\Delta U_{dov.2\%} = \frac{12128,838}{100} \cdot 102 = 12371,4V \quad (6.41.)$$

Hodnota úbytku napětí v bodě G bez připojené výrobní elektrické energie je 12128,8V. Úbytek napětí v bodě G s připojenou výrobní elektrické energie je 12214,9V. Dovoleno úbytek napětí, který připojením může vzniknout, maximálně 2 % z úbytku napětí bez připojené výrobní je 12371,4V. Připojením obnovitelného zdroje do sítě, úbytek napětí nepřekročí dovolenou mez a to 2 %, vyplývá ze vztahu $\Delta U_{dov.2\%} > \Delta U_{GOZ}$, ($12371,4V > 12214,9V$). Podmínka je splněna a výrobní může být připojena do sítě.

6.4 Vyhodnocení připojení FVE do sítě

Do sítě 22kV, jako obnovitelný zdroj elektrické energie, je připojena fotovoltaická elektrárna, která má výkon 0,5MW a účinník roven 1. Z uvedeného výpočtu bylo zjištěno, že může být výrobná do sítě připojena z hlediska úbytku napětí, který nesmí být vyšší než 2 % při připojení nového zařízení do sítě 22kV. Fotovoltaická elektrárna, která se připojí do sítě má i příznivý vliv na napěťové poměry, protože při jejím připojení do sítě dochází ke snížení úbytku napětí o 86,1V.

Fotovoltaická elektrárna je typ zdroje, pro který jsou typické rychlé změny napětí, z důvodu rychle měnící se oblačnosti, ale i denního období, což může vyvolat změny výkonu v rádech desítek procent, v čase několika minut. U fotovoltaických panelů, které se umísťují na střechy rodinných domů, ale i firem a různých logistických center, nedochází k ovlivnění sítě téměř vůbec, protože se většinová část elektrické energie spotřebuje přímo v místě dané spotřeby. Problém může však nastat, když jsou tyto malé zdroje připojeny na síť nízkého napětí například na vesnici. Může docházet k tomu, že při přímém slunečním záření budou tyto malé zdroje vytvářet velké množství elektrické energie a za předpokladu nižší spotřeby rodinných domů bude docházet k přetoku elektrické energie do sítě s vyšší hladinou napětí. Následkem toho může dojít k chybnému vyhodnocení ochrany. Při připojení fotovoltaické elektrárny o výkonu 0,5MW do sítě vysokého napětí může docházet k velmi značným změnám výkonu, které způsobují změny napětí v místě připojení, proto je nutné dbát na velikost hodnoty míry vjemu dlouhodobého flikru, aby nepřekročila podmínku ($P_{lt} \leq 0,46$) a také na hodnoty vyšších harmonických, které vznikají například za použití střídače.

6.5 Vyhodnocení připojení VTE do sítě

Při připojení větrné elektrárny zůstává stejný výkon i účinník, proto bude stejný i návrh připojení z hlediska úbytku napětí, který nepřekračuje 2 % a naprosto shodné bude i zlepšení napěťových poměrů z důvodu snížení úbytku napětí o 86,1V. Na rozdíl od fotovoltaické elektrárny je u větrných elektráren rozdílný denní diagram výroby, neboť vítr fouká i v noci na rozdíl od slunečního záření. Při provozu větrných elektráren se využívá předpovědi větru, která je na jeden den dopředu. Dnešní metody předpovědi jsou vcelku spolehlivé, ale i tak se mohou vyskytovat odchylky až desítky procent.

Při připojení však musíme brát v potaz, že větrná elektrárna má synchronní generátor, u kterého je nutné takové synchronizační zařízení, aby byly dodrženy podmínky pro synchronizaci. Co se týče ovlivnění zařízení HDO, tak synchronní zdroje vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru, čím je vyšší zkratový výkon sítě a čím je vyšší frekvence HDO. Dále je důležitý příspěvek synchronního generátoru ke zkratovým poměrům, protože při zkratu může dojít k odlehčování synchronního stroje a může vznikat urychlující výkon, v tom nejhorším případě může dojít až ke ztrátě stability soustavy.

Větrná elektrárna taktéž nepříznivě přispívá velikosti hodnoty flikru, z důvodu poryvů větrů a hodnota flikru musí být nižší než hodnota 0,46.

7 Závěr

Z důvodu snížení emisí, obnovitelných zdrojů v poslední době neustále přibývá. V České republice však nejsou příliš vhodné podmínky pro jejich další rozvoj, protože řeky nemají dostatečný průtok a spád. Rychlost větru se slunečním zářením nemají vhodné parametry například, větrné podmínky jsou vhodné jen v horských oblastech a na vrchovinách. V místech naší republiky, kde jsou tyto podmínky vhodné, již došlo k téměř úplnému naplnění výrobního potenciálu. Z těchto důvodů je patrné, že jsou obnovitelné zdroje energie v České republice pouze doplňkovým zdrojem elektrické energie, k elektrárnám jaderným a uhelným. Nepostradatelným obnovitelným zdrojem se v dnešní době staly přečerpávací elektrárny, z důvodu velmi rychlého nájezdu na plný výkon, čímž velmi dobře dokáží vykrývat špičkové zatížení. Vlivem nestálosti zejména fotovoltaických a větrných elektráren je důležité, aby nedošlo k nepříznivému působení zpětnými vlivy na distribuční soustavu a nedošlo ke zhoršení kvality napětí. Důležitou částí této práce jsou limity připojitelnosti, které vycházejí z pravidel pro provozování distribučních soustav. Tato pravidla například udávají, jak velké mohou být změny napětí v bodě připojení nového zdroje.

V praktické části bakalářské práce je uveden modelový příklad vedení s napětíovou hladinou 22kV, které má 7 odběrů a jedno místo, kde se připojují výroby elektrické energie. Výroby uvažujeme dvě, a to fotovoltaickou elektrárnu a větrnou elektrárnu. Cílem výpočtu je vyhodnocení, zda lze výroby z hlediska úbytku napětí připojit k síti a jak se chová jednotlivá výroba z hlediska zpětných vlivů na napájecí soustavu. Výpočtem bylo zjištěno, že výroby z hlediska úbytku napětí lze k síti připojit, protože při jejich připojení k síti nedochází k zvýšení úbytku nad 2 %.

Vypracování této bakalářské práce je pro mne přínosem, protože jsem nabyl nových znalostí, a také jsem si rozšířil obzory o obnovitelných zdrojích elektrické energie, jejich zpětných vlivech na napájecí síť a o distribučních soustavách. Tuto bakalářskou práci bych v budoucnu rád rozvíjel a doufám, že se stane podkladem k práci diplomové.

Použitá literatura

- [1] *Miniencyklopedie Elektrina: Z elektrárny do zásuvky* [online]. 2003 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/elektr.htm>
- [2] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [3] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] *ČSVE: Česká společnost pro větrnou energii* [online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, 2013 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/>
- [5] STUDENÍK, Ing. Martin a Mgr. Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy* [online]. 1. Brno: Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2015 [cit. 2018-04-22]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>
- [6] *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: ERÚ, 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/>
- [7] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMĚŠ. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-01-3.
- [8] *Skupina ČEZ: Výroba elektřiny* [online]. Plzeň: ČEZ, 2018 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce/provozovane-fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaicka-elektrarna-ralsko.html>
- [9] *Sdružení techniků a inženýrů ve stavebnictví a energetice: Fotovoltaika* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [10] *CNE Czech Nature Energy: Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [11] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1978.
- [12] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1990. ISBN 80-7078-032-0.
- [13] *Skupina ČEZ: Pravidla provozování DS - 2017* [online]. Plzeň: ČEZ, 2017 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2017.html>
- [14] ČESKÁ REPUBLIKA. *Sbírka zákonů*. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra, 2010, ročník 2010, částka 29, číslo 81.