

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra výkonové elektroniky a strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě

Autor práce: **Dominik Mencl**
Vedoucí práce: **Doc.Ing. Lucie Noháčová Ph.D.**

2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominik MENCL**
Osobní číslo: **E19B0151P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Problematika připojování obnovitelných zdrojů energie do distribuční sítě**
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

1. Proveďte rozbor zákona o řízení P, Q u zdrojů nad 200 kW.
2. Zhodnoťte stávající stav připojování obnovitelných zdrojů menších výkonů v České republice.
3. Zpracujte informace o možnostech řízení jalového výkonu a jeho vlivu na změnu napětí.
4. Porovnejte informace z hlediska vlastností, ztrát a ekonomiky provozu na konkrétním případě zvolené sítě.



Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Skripta a přednášky z předmětu Elektroenergetika I, II.
2. Internetové podklady. Legislativní předpisy o řízení P,Q u zdrojů nad 200 kW.
3. Student si další vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího a konzultanta práce, včetně internetových podkladů.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**




Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tématem připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. Jsou zde rozebrány zákony a vyhlášky pojednávající o požadavcích na připojované zdroje. V případě větších zdrojů se jedná především o povinnosti týkající se řízení jalového a činného výkonu. U zdrojů menších výkonů se zaměřuje na mikrozdroje a jejich zjednodušené připojení do distribuční sítě. Dále je v práci rozebrán jalový výkon, způsoby jeho řízení a jeho vliv na velikost napětí. V závěrečné praktické části je na příkladu konkrétní sítě popsáno, jakým způsobem ovlivňuje připojený zdroj napěťové poměry sítě v závislosti na jalovém, popřípadě činném výkonu.

Klíčová slova

Elektrizační soustava, distribuční síť, obnovitelné zdroje, jalový výkon, napětí

Abstract

This bachelor thesis deals with connecting of renewable sources to the distribution grid. Laws and ordinances dealing with requirements for connected sources are described here. For sources of bigger powers are analysed especially requirements for regulation of active and reactive power. In case of smaller power sources the thesis is focused on micro sources and their simplified connection to the distribution grid. In the next part, the reactive power is analyzed, especially its compensation and influences on the voltage magnitude. In the final practical part is on the example of specific grid described, how the connected source could effect voltage rations depending on the supplied reactive or active power.

Key Words

Electricity grid, distribution grid, renewable power sources, reactive power, active power, voltage

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské, je legální.

V Plzni dne 24.5.2022

Dominik Mencl

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí této bakalářské práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. a konzultantovi Ing. Františku Žákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, a především za věnovaný čas.

Obsah

Úvod.....	1
1 Elektrizáční soustava	2
1.1 Přenosová soustava	2
1.2 Distribuční soustava	3
1.3 Topologie distribučních sítí.....	3
2 Obnovitelné zdroje v České republice	6
2.1 Fotovoltaické elektrárny.....	6
2.2 Vodní elektrárny.....	7
2.3 Větrné elektrárny.....	8
2.4 Elektrárny využívající spalování biomasy	10
2.5 Bioplynové stanice	11
3 Připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě.....	13
3.1 Energetický zákon o řízení zdrojů.....	13
3.2 Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele DS	13
3.3 Požadavky pro připojování zdrojů menších výkonů do distribuční sítě	18
4 Způsoby připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě	21
4.1 Distribuční transformátory	22
4.2 Vedení	22
4.3 Střídače.....	24
4.4 Stejnoseměrný přenos elektrické energie.....	25
5 Řízení jalového výkonu	26
5.1 Druhy výkonů.....	26
5.2 Kompenzace jalového výkonu	27
5.3 Kompenzační prostředky.....	28
5.4 Vliv jalového výkonu na změnu napětí.....	30
6 Konkrétní případ sítě s vnořeným zdrojem.....	33
6.1 Výpočet sítě	35
6.2 Vliv jalového výkonu vnořeného zdroje na napětí sítě.....	38

6.3 Závislost ztrát na velikosti dodávaného činného výkonu.....	40
6.4 Ekonomičnost provozu.....	42
Závěr	46
Literatura.....	49
Přílohy.....	I

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Popisek	Jednotka
<i>ES</i>	Elektrizační soustava	
<i>PS</i>	Přenosová soustava	
<i>DS</i>	Distribuční soustava	
<i>OZE</i>	Obnovitelný zdroj energie	
<i>FVE</i>	Fotovoltaická elektrárna	
<i>VE</i>	Vodní elektrárna	
<i>VTE</i>	Větrná elektrárna	
<i>PPDS</i>	Pravidla provozování distribuční sítě	
<i>PDS</i>	Provozovatel distribuční sítě	
<i>I</i>	Elektrický proud	(A)
<i>U</i>	Elektrické napětí	(V)
<i>P</i>	Činný výkon	(W)
<i>Q</i>	Jalový výkon	(Var)
<i>S</i>	Zdánlivý výkon	(VA)
<i>cos φ</i>	Účinitík	(-)
<i>I_c</i>	Nabíjecí proud	(A)
<i>Q_c</i>	Nabíjecí jalový výkon	(Var)
<i>U_f</i>	Fázové napětí	(V)
<i>U_n</i>	Jmenovité sdružené napětí	(V)
<i>HVDC</i>	Přenos stejnosměrné elektrické energie	
<i>RfG</i>	Nařízení komise EU 2016/631	
<i>R</i>	Elektrický odpor	(Ω)
<i>X</i>	Reaktance	(Ω)
<i>L</i>	Indukčnost	(H)
<i>C</i>	Kapacita	(F)
<i>ω</i>	Úhlová rychlost	(rad/s)
<i>Z</i>	Impedance	(Ω)
<i>ΔP</i>	Činné ztráty	

Úvod

Obnovitelné zdroje v posledních letech nabývají na popularitě nejen u nás, ale po celém světě. Ačkoliv většina obnovitelných zdrojů nemá úplně ideální vlastnosti z hlediska stálosti a spolehlivosti výroby elektrické energie, stávají se čím dál více součástí elektrizačních soustav. Začleňování obnovitelných zdrojů do distribučních sítí s sebou ale přináší řadu komplikací, se kterými se musí provozovatelé distribučních sítí vypořádávat.

V této práci se budu zabývat připojováním obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. V první řadě zhodnotím obnovitelné zdroje v České republice z hlediska jejich četnosti a instalovaného výkonu. Dále se budu věnovat potenciálu obnovitelných zdrojů na našem území. Z hlediska potenciálu zhodnotím stávající stav jednotlivých zdrojů a uvedu, zda jsou na našem území ještě prostory pro rozšíření, nebo zda je potenciál daného zdroje pro naše území plně vyčerpán.

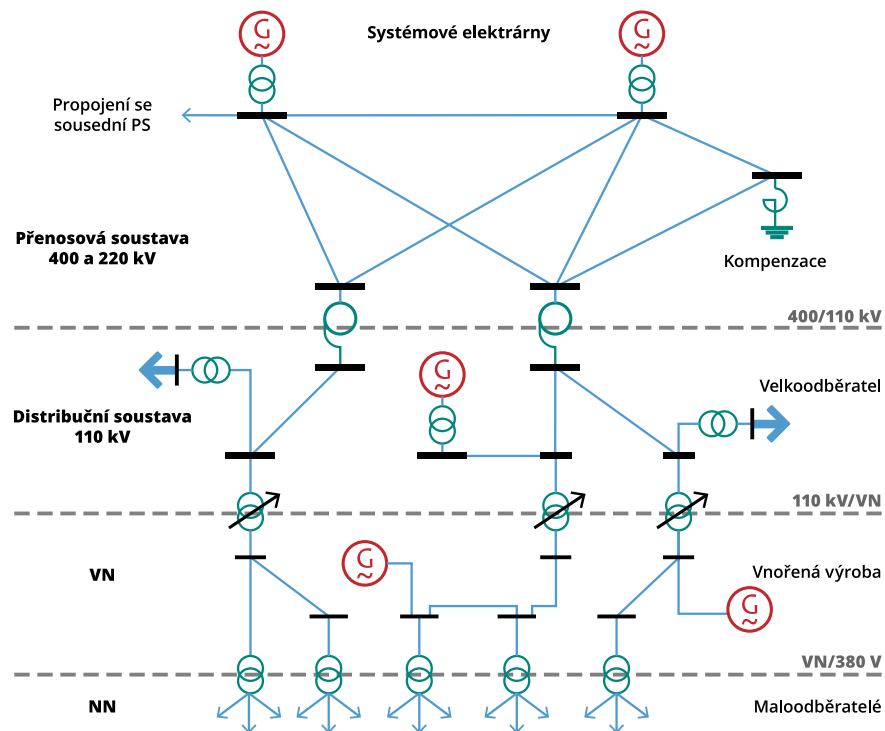
V další části práce se budu zabývat zákony a vyhláškami, které se zabývají obnovitelnými zdroji připojenými do distribuční sítě. Rozbor zákonů provedu pro zdroje větších výkonů, kde budou uvedeny konkrétní požadavky, které musí výrobní elektrické energie splňovat. Dále zhodnotím připojování menších zdrojů, kterých se tyto požadavky od roku 2016 také týkají. Zdroji menších výkonů mohou být například rodinné domy s fotovoltaickými panely na střeše. V tomto případě hovoříme o instalovaných výkonech do 10kW, které jsou při splnění určitých podmínek nazývány mikrozdroji. Na poznatky o obnovitelných zdrojích navážu způsoby, kterými lze obnovitelné zdroje připojovat do distribuční sítě.

V následující části se budu zabývat jalovým výkonem, a to především jeho kompenzací a vlivem na velikost napětí. Rozeberu zde jednotlivé možnosti kompenzace jalového výkonu a prostředky používané pro kompenzaci. Vlivy jalového výkonu popíši na fázorových diagramech, ze kterých odvodím vztahy pro úbytky napětí.

V poslední části využiji znalostí z předešlé kapitoly a pomocí odvozených vztahů pro úbytky napětí popíši na konkrétním případu zvolené sítě vliv připojeného zdroje na distribuční síť. Zhodnotím, jakým způsobem je zdroj připojený do distribuční sítě schopen podílet se na regulaci velikosti napětí pomocí řízení jalového výkonu. Dále uvedu vliv dodávaného činného výkonu zdrojem do sítě na velikost ztrát a v poslední části zhodnotím finanční náklady pro připojení do distribuční sítě.

1 Elektrizace soustava

Elektrizace soustava (ES) je komplexní celek veškerých zařízení, která jsou potřebná pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektrické energie. ES dále tvoří také ochranné, měřicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační systémy. Cílem ES je zabezpečit dodávku elektrické energie spotřebiteli v požadované kvalitě, čase a množství. Podle charakteru provozu dělíme ES na dva druhy, a to přenosovou a distribuční soustavu. [2]



Obr.1.1 - Zjednodušené schéma ES [1]

1.1 Přenosová soustava

Přenosová soustava (PS) je jakousi páteří ES, která slouží k přenášení velkých výkonů na dlouhé vzdálenosti. PS se skládá převážně z dlouhých nadzemních vedení, která spojují velké - tzv. systémové elektrárny (nejčastěji tepelné, v některých případech i vodní s velkými výkony) s uzly neboli rozvodnami. V české PS je nejčastěji zastoupena hladina 400kV nebo 220kV. Velmi malou část pak tvoří hladina 110kV. Mimo přenosu elektrické energie slouží PS také ke spojení se zahraničními elektrizačními soustavami. Tato evropská síť provozovatelů elektroenergetických přenosových soustav se nazývá ENTSO-E a je asociací 43 evropských provozovatelů soustav z celkem 36 evropských zemí. [3] V České republice spadá správa celé přenosové soustavy pod společnost ČEPS a.s.

1.2 Distribuční soustava

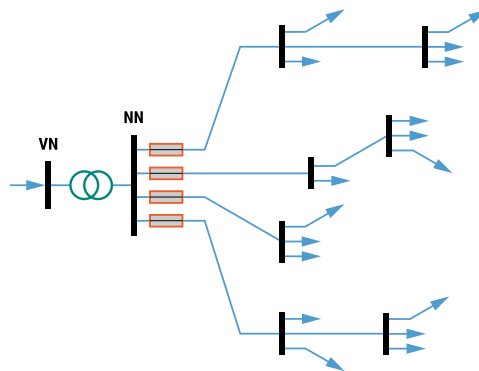
Distribuční soustava (DS) tvoří propojovací článek mezi PS a koncovými odběrateli. Do této soustavy jsou vyvedeny výkony menších zdrojů do desítek MW, jako jsou například vodní elektrárny, fotovoltaické elektrárny, či větší teplárny s přidruženou výrobou elektřiny. DS v ČR je složena ze sítí VVN, VN i NN a mezi její nejvýznamnější provozovatele patří společnosti ČEZ Distribuce, a. s., EG. D Distribuce, a.s. a PRE distribuce, a. s.

1.3 Topologie distribučních sítí

Každá síť distribuční soustavy má svá specifika, podle kterých je určeno její zapojení a provozování. Mezi hlavní aspekty při určování topologie sítě patří vzdálenost odběrů mezi sebou, jejich rozmístění a velikost odběrů. Jedním z nejdůležitějších faktorů je také spolehlivost dodávky elektrické energie.

1.3.1 Paprsková síť

V paprskové síti jsou jednotlivé paprsky napájeny jedním zdrojem, přičemž v každém paprsku se může nacházet několik odběrných míst. Jedná se o nejjednodušší síť s nejmenšími náklady. Na úkor ceny však klesá spolehlivost dodávky elektrické energie. Nízká spolehlivost je dána napájením jednotlivých paprsků pouze z jednoho zdroje, tudíž v případě poruchy jsou odštěpeny všechny odběry v postiženém paprsku. Tento typ sítě se v sítích NN používá k napájení tam, kde není vysoký požadavek spolehlivosti.

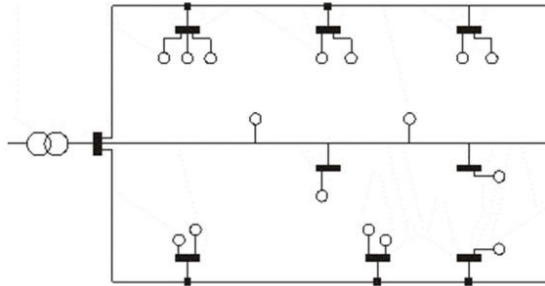


Obr.1.2 – paprsková síť [7]

1.3.2 Průběžná síť

Spolehlivost průběžného rozvodu je stejně nízká jako v případě paprskového. Je charakterizován dlouhým průběžným vedením, na kterém jsou odbočky k jednotlivým

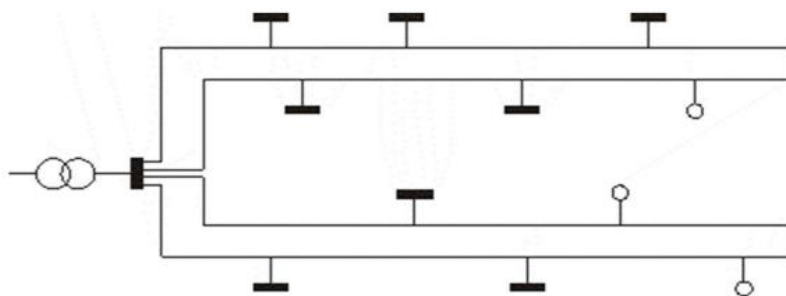
odběrům. Z důvodu dlouhých vedení je nutné provádět kontrolu na úbytek napětí. Průběžný rozvod nachází využití v průmyslových objektech, osvětlení komunikací nebo v distribučních rozvodech mimo městskou zástavbu.



Obr.1.3 – průběžná síť [2]

1.3.3 Okružní síť

Okružní rozvod je tvořen z jednotlivých uzavřených okruhů, ze kterých jsou napájeny jednotlivé odběry. Oproti paprskovému a průběžnému rozvodu poskytuje velikou výhodu napájení i v případě poruchy, kdy dojde k přerušení okruhu a síť je provozována se dvěma paprsky po dobu nutnou k opravě porušené části. Dochází zde ke zvýšení spolehlivosti, a proto je tato síť vhodná pro náročnější spotřebiče, větší průmyslové objekty nebo pro městské obytné zástavby.

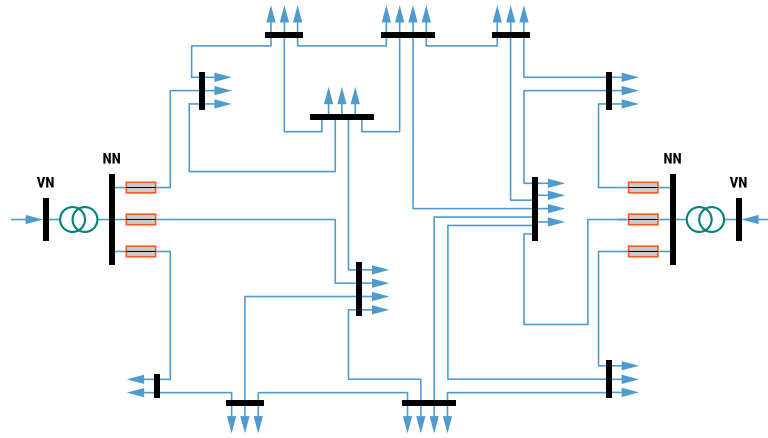


Obr.1.4 – okružní síť [2]

1.3.4 Mřížová síť

Rozvod mřížového typu vzniká propojením minimálně dvou napájecích zdrojů a hustou sítí vzájemně propojených podružných rozvaděčů. Vlivem hustého propojení jednotlivých odběrů dochází ke zvýšení pořizovacích nákladů, horší využitelnosti jednotlivých spojovacích cest a ke zhoršení zkratových poměrů. Mřížová síť je charakterizována vysokou spolehlivostí dodávky elektrické energie a nejmenším kolísáním napětí ze všech výše uvedených rozvodů. Na druhou stranu je ovšem nejnáročnější z hlediska údržby

a vyhledávání vzniklých poruch. Tato síť je nejčastěji používána v hustých městských zástavbách nebo objektech rozsáhlých průmyslových závodů.



Obr.1.5 – mřížová síť [7]

2 Obnovitelné zdroje v České republice

Jelikož se má práce zabývat problematikou připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě, považují za stěžejní provést rozbor těchto zdrojů a jejich potenciálu v České republice.

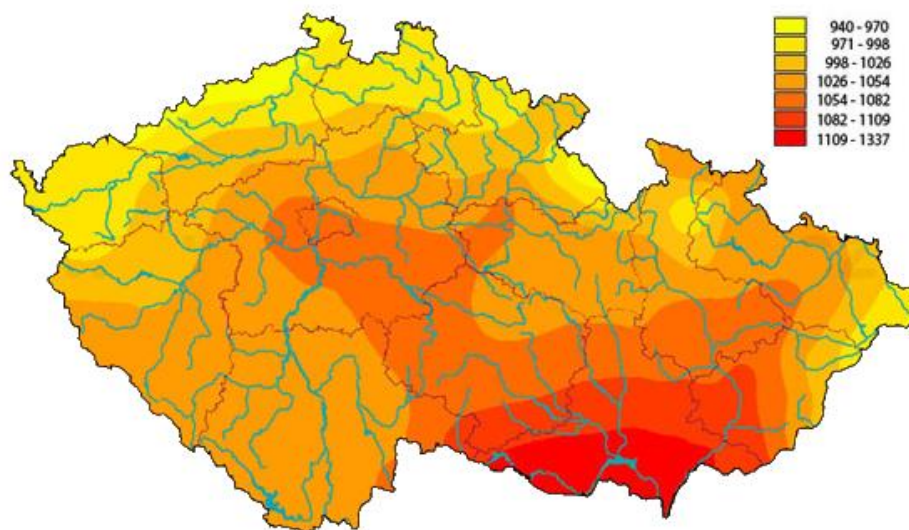
Do kategorie obnovitelných zdrojů energie (OZE) v ČR lze zařadit využívání energie vody, větru, slunečního záření, bioplynu, biomasy a geotermální energie. Nejčastějším OZE v ČR jsou fotovoltaické elektrárny malých výkonů, kterých bylo v roce 2020 registrováno 28 961 ks s celkovým instalovaným výkonem 2 085MW. Druhým nejčastějším zdrojem jsou malé vodní elektrárny do 10MW, kterých bylo k roku 2020 registrováno celkem 2 269 ks s instalovaným výkonem 354MW. Přestože jsou tyto dva zdroje nejčetnějšími OZE v České republice, podíl ze všech OZE na celkové vyrobené energii nemají nejvyšší. Z hlediska podílu na celkové vyrobené energii jsou nejvýše postavené elektrárny využívající spalování biomasy s podílem 3,40 %. [5] [6]

2.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny (FVE) využívají k přeměně sluneční energie na elektrickou fotovoltaický jev v polovodičích. Při fotovoltaickém jevu se světlo, které dopadá na fotovoltaický článek, přeměňuje na stejnosměrné napětí, které je úměrné intenzitě dopadajícího světla. Protože napětí jednoho článku je příliš malé na to, aby se dalo přímo využít, propojují se fotovoltaické články do větších celků, jež jsou nazývané jako solární panely. Spojením více solárních panelů vzniká zdroj energie, který má na výstupu stejnosměrné napětí. Z tohoto důvodu je pro připojení FVE do distribuční sítě nutné vybavení vhodným napěťovým střídačem.

2.1.1 Fotovoltaické elektrárny v ČR

Množství vyrobené energie FVE je nejvíce závislé na intenzitě slunečního záření dopadajícího na fotovoltaické panely. V České republice dopadá na 1 m² 950 - 1340kWh sluneční energie, přičemž zhruba 75 % této energie dopadne na naše území v letních měsících. Z ročního úhrnu slunečního záření v ČR (viz. Obr.2.1) je patrné, že nejvhodnější lokalitou pro umístění FVE je jižní Morava.



Obr.2.1. Roční úhrn slunečního záření v ČR [9]

Jak jsem již zmínil výše, v České republice instalovaný výkon FVE k roku 2020 byl 2 085MW. Podle teoretického potenciálu by mělo být v ČR možné dosáhnout instalovaného výkonu až 39GW, jak uvádí studie společnosti EGÚ Brno. [8] Jedná se však pouze o teoretický předpoklad, kterého by bylo možné dosáhnout při využití všech vhodných ploch. Plochami pro umístění fotovoltaických panelů jsou uvažovány střechy rezidenčních a nerezidenčních budov, jejich fasády a také tzv. brownfieldy. Mezi brownfieldy řadíme nemovitosti, které jsou nevyužívané, zanedbané nebo kontaminované. Teoretický předpoklad dosažitelného výkonu z těchto ploch dosahuje hodnoty 15GW. [8]

Dosažení výše uvedených teoretických předpokladů je ovšem omezeno několika faktory, přičemž tím nejdůležitějším je faktor ekonomický. Instalace FVE v takovém počtu je v tomto případě značným nákladem. Nárůst instalovaného výkonu FVE můžeme podle studie společnosti EGÚ Brno očekávat na 3,5GW v roce 2030 a 5,5GW v roce 2040. [8]

2.2 Vodní elektrárny

Vodní elektrárna (VE) je zdrojem energie, využívajícím akumulovanou energii vody k přeměně na energii elektrickou. Voda vykonává práci na turbíně, která roztáčí generátor připojený na společné hřídeli. Výkon turbíny závisí na velikosti spádu, průtoku vody a účinnosti turbíny. VE dělíme do tří skupin, a to akumuláční, průtočné a přečerpávací.

2.2.1 Akumulační vodní elektrárny

Akumulační elektrárny využívají vodu akumulovanou v přehradních nádržích. U těchto elektráren tedy můžeme ovlivnit množství vody proudící na turbínu, a tím regulovat množství vyráběné energie. Z tohoto důvodu jsou využívány jako špičkové, či pološpičkové elektrárny pro pokrývání špiček denního diagramu zatížení.

2.2.2 Průtočné vodní elektrárny

Průtočné vodní elektrárny využívají přirozený průtok řeky bez možnosti akumulace. Pokud dojde ke zvýšení průtoku nad hodnotu, na kterou je elektrárna dimenzována, musí být přebytečná voda odvedena jinou cestou bez využití. Pro nemožnost regulace výkonu jsou tyto elektrárny využívány pro pokrytí základního zatížení.

2.2.3 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací elektrárny slouží pro pokrývání špičkového zatížení. Využívají akumulace vody ve dvou různě výškově položených nádržích, které jsou spojeny tlakovým potrubím. Při nízkém odběru elektrické energie je voda čerpána z níže položené nádrže do horní. V době největšího odběru je pouštěna voda z horní nádrže na turbínu a generátor dodává energii do sítě.

2.2.4 Vodní elektrárny v ČR

V České republice mají VE malý podíl na celkové vyrobené energii, a to z důvodu nízkého spádu našich toků a nedostatečného množství vody pro budování velkých elektráren. Přesto jsou VE důležitou součástí zdrojů elektrické energie v ČR, a to pro jejich schopnost rychlého naježení plného výkonu. Využíváme je tedy převážně pro pokrývání špiček denního diagramu zatížení.

2.3 Větrné elektrárny

Větrné elektrárny (VTE) využívají kinetické energie proudícího vzduchu k přeměně na elektrickou energii. Síla proudícího vzduchu působící na listy rotoru je převáděna pomocí větrné turbíny na rotační mechanickou energii, která pohání generátor. Výroba elektrické energie ve VTE je silně závislá na síle a rychlosti větru. Z toho důvodu není možné zajistit konstantní dodávku elektrické energie do distribuční sítě. Tato proměnlivost dodávky může mít hned několik negativních dopadů na síť:

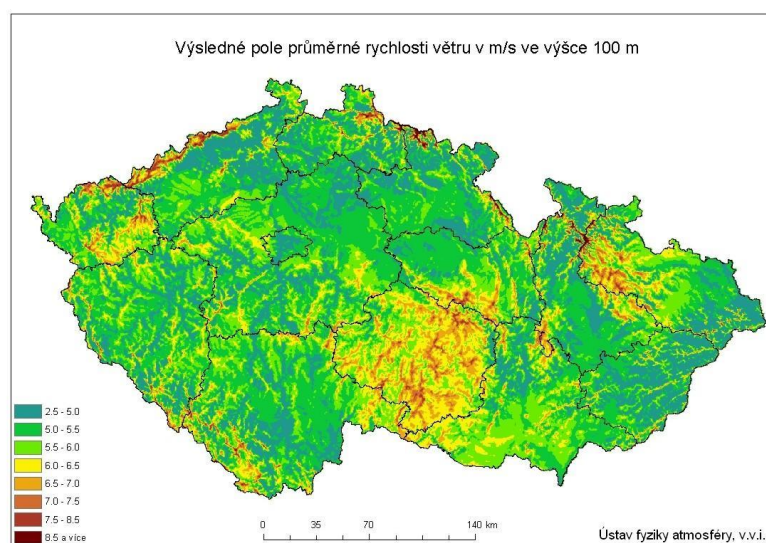
- snížení spolehlivosti dodávky elektrické energie,

- přetěžování sítě – síť musí být tedy dostatečně dimenzována,
- při pokrývání diagramu zatížení VTE musí být počítáno s proměnlivostí dodávky a je nutné zajistit dostatek regulačního výkonu.

2.3.1 Větrné elektrárny v ČR

V České republice bylo k roku 2020 registrováno celkem 230ks VTE s instalovaným výkonem 339,5MW. Jak uvádí studie připravená Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR, tento instalovaný výkon z daleka neodpovídá výkonu, kterého by bylo možné na území České republiky dosahovat. V optimistickém předpokladu by bylo možné do roku 2040 očekávat výstavbu 1400 VTE s instalovaným výkonem 7000MW. Tento scénář je však omezen mnoha faktory a studie uvádí konzervativní případ, při kterém je odhadována výstavba přibližně 800 nových VTE o výkonu 2500MW. [10]

V ideální lokalitě pro umístění VTE by měla průměrná roční rychlost větru dosahovat minimálně 5 m/s. Podle větrné mapy (Obr.2.2) je patrné, že vhodných lokalit pro umístění VTE je na území České republiky omezené množství. Při umisťování VTE je ale zapotřebí zohlednit i další aspekty. Dalšími parametry ovlivňujícími umístění VTE jsou například pevnost podloží, která je důležitá pro bezpečné ukotvení stožárů. Nejen pro stavbu, ale i pro údržbu je důležitá dopravní přístupnost k VTE. Také přístupnost k elektrizační soustavě je neméně důležitou součástí, která musí být zohledněna. V neposlední řadě musí být brán zřetel na zásah do životního prostředí, jelikož větrné farmy velkých výkonů mohou mít rozlohu stovek km².



Obr.2.2 Větrná mapa ČR [11]

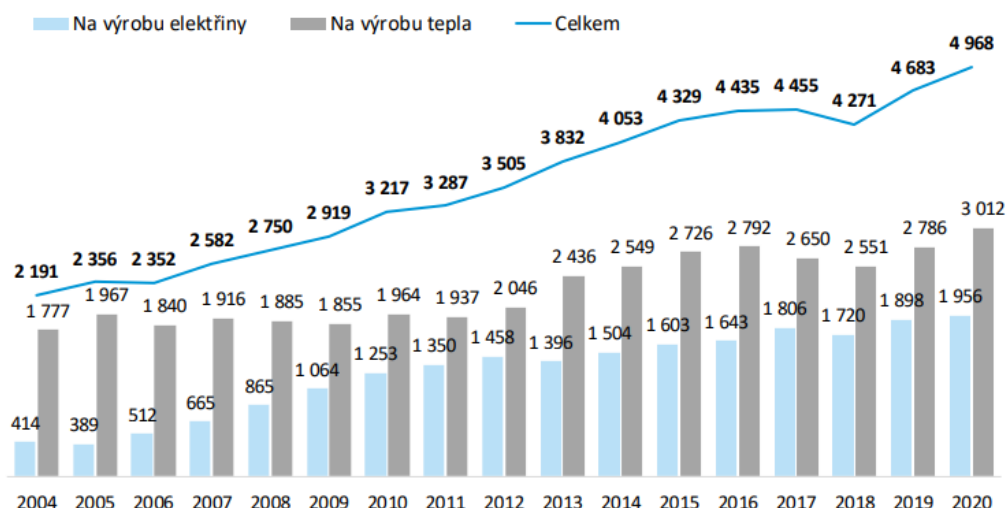
2.4 Elektrárny využívající spalování biomasy

Biomasa je veškerá organická hmota, jež se účastní na koloběhu živin v atmosféře. Pojem biomasa zahrnuje těla všech organismů, jimiž mohou být živočichové, rostliny, bakterie, houby či sinice. Pro energetický účel je však důležitá pouze biomasa, kterou lze energeticky využít. Za energeticky využitelnou biomasu považujeme převážně rostliny. Spalování biomasy má v podstatě nulovou produkci CO_2 , protože množství plynu uvolněného do atmosféry při spalování je přibližně stejně velké jako množství plynu, které rostliny absorbují v průběhu života při fotosyntéze.

Biomasu pro energetické účely můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, a to na biomasu pěstovanou přímo pro energetické využití a odpadní biomasu. V případě biomasy pěstované přímo pro energetické účely se jedná převážně o rychle rostoucí dřeviny nebo rostliny bylinného charakteru. Vyznačují se krátkým vegetačním obdobím, mají snadný výsev a jsou použitelné i pro neenergetické účely. Do odpadní biomasy lze zařadit například zbytky z rostlinné či živočišné výroby, odpad z těžby a zpracování dřeva nebo biologicky rozložitelný komunální odpad.

Biomasa je poměrně složité palivo, jehož spalování vyžaduje vysokou teplotu a účinné promísení se vzduchem. Nejvyšší účinnost má spalování biomasy při výrobě tepla, kdy dosahuje až 90 %. Velmi často je využívána jako palivo v kogenerační výrobě, kdy je získaná tepelná energie využita pro výrobu elektrické energie v parním cyklu a zbylá tepelná energie je dále distribuována odběratelům ve formě tepla. Při kogenerační výrobě dosahujeme účinnosti využití paliva v rozsahu 50–90 %. Další možností využití biomasy je přímá výroba elektrické energie, při které ale dosahujeme značně nižší účinnosti oproti kogenerační výrobě. V posledních letech ale také dochází v elektrárnách využívajících fosilních paliv k úpravám kotlů na kombinaci fosilního paliva a biomasy. Výsledkem kombinovaného spalování je menší spotřeba fosilního paliva a nižší množství produkovaného CO_2 při zachování potřebného výkonu.

V České republice bylo v roce 2020 registrováno celkem 137 zdrojů využívajících spalování biomasy s celkovým instalovaným výkonem 2 675MW. Jak jsem již uvedl na začátku kapitoly obnovitelných zdrojů, elektrárny využívající biomasu nejsou nejčastěji zastoupeným OZE v ČR, ale podíl na celkové vyrobené energii mají nejvyšší. Využití spalování biomasy zaznamenává na našem území v posledních letech rostoucí trend (viz. Obr.2.3).

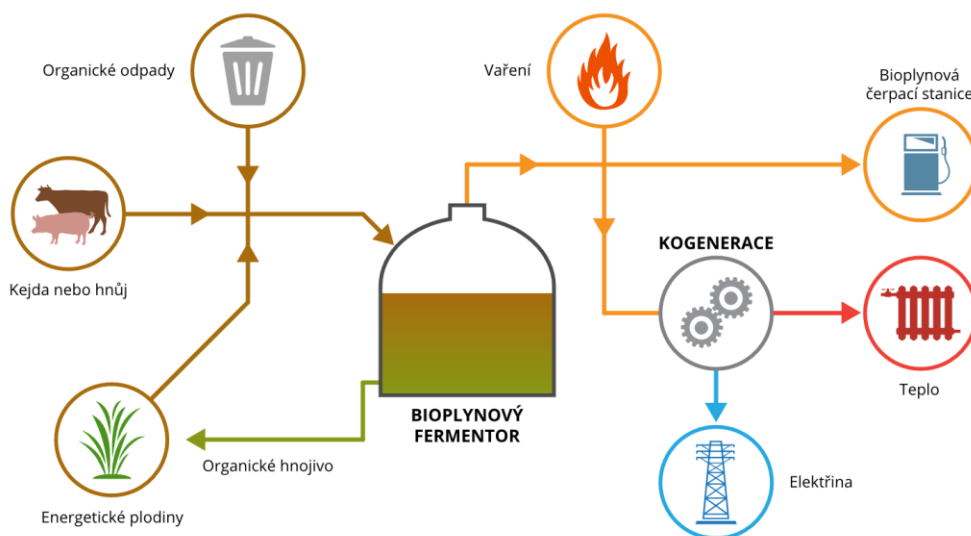


Obr.2.3 Vývoj energetického využití biomasy v letech 2004-2020 [12]

2.5 Bioplynové stanice

Bioplyn vzniká během procesu tzv. anaerobní digesce přírodních materiálů, kdy mikroorganismy rozkládají organický materiál bez přístupu vzduchu. Hlavní složkou bioplynu je methan s obsahem 50-80 %. Při procesu anaerobní digesce vznikají mimo bioplynu také tzv. digestát a fugát. Digestát je tuhý zbytek po vyhnutí, nebo může být dále využit jako hnojivo, přídavek do kompostu nebo může sloužit k úpravě povrchu terénu. Fugát je tekutým zbytkem s charakterem odpaní vody a je nejčastěji odváděn do čističky odpadních vod. [13]

Biomasa využívaná pro výrobu bioplynu může mít více podob (viz.Obr.2.4). Jedním z typů stanic jsou stanice zemědělské, zpracovávající především statková hnojiva a energetické plodiny. Dále může být bioplyn vyráběn v průmyslových stanicích, které využívají například odpady z potravinářské či živočišné výroby, nebo kaly z čističek odpadních vod. Posledním typem stanic využívající komunální bioodpady nebo odpady z domácností nazýváme komunálními bioplynovými stanicemi.



Obr.2.4. vstupy a výstupy procesu bioplynové stanice [13]

Bioplynová stanice nemusí být využívána jen pro výrobu elektřiny. Nejčastěji je ale využívána v kogenerační výrobě elektřiny a tepla, kde dosahuje vyšší účinnosti. Bioplynové stanice v České republice zaznamenaly největší nárůst v letech 2007–2013. V těchto letech vzrostl instalovaný výkon z 49MW na 360MW. V dalších letech se rozvoj bioplynových stanic ustálil a v roce 2020 byl celkový instalovaný výkon 366MW. [12]

3 Připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě

3.1 Energetický zákon o řízení zdrojů

Ačkoliv v zadání mé práce je úkolem provést rozbor zákona o řízení P a Q u zdrojů nad 200kW, Energetický zákon č. 458/2000 Sb. hovoří o zdrojích s výkonem od 100kW. Přesněji se jedná o §23, odstavec 3, písmeno p, který říká: „*Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobnu elektřiny s instalovaným výkonem 100kW a více zařízením umožňujícím dispečerské řízení výroby elektřiny a udržovat toto zařízení v provozuschopném stavu; tato povinnost se nevztahuje na výrobní elektřiny využívající obnovitelné zdroje elektřiny poprvé uvedené do provozu do roku 2000 o instalovaném výkonu do 10MW včetně a na průtočné malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10MW včetně*“. [21] Tento zákon tedy udává povinnost řízení provozovatelům výroben s výkonem od 100kW a výše. Co se týče výroben s výkonem pod 100kW, o těch už se tento zákon nezmiňuje. Jelikož v posledních letech výrazně přibýval počet malých výroben, na které se zákon o řízení nevztahoval, mohly se do DS připojit zdroje menších výkonů, které nemusely být řízeny, což by mohlo být problémem z hlediska regulace sítě.

V roce 2016 bylo vydáno „Nařízení komise EU (RfG) 2016/631“, které obsahuje požadavky na výrobní moduly připojované do DS. Toto nařízení už udává povinnost o určitém řízení i pro zdroje menších výkonů připojovaných do DS.

Požadavky na připojování výroben do DS z RfG a Energetického zákona jsou průběžně implementovány do Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS), přesněji do přílohy č.4 „PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUTUČNÍ SOUSTAVY.“ [14]

3.2 Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele DS

V této části provedu rozbor několika požadavků na řízení výroben, které udává PPDS. Tato pravidla jsou v platnosti pro plánování, zřizování a úpravy výroben elektrické energie připojených do sítí NN, VN a 110kV provozovatele distribuční soustavy (PDS) a jejich provoz. Požadavky na řízení výroben se odvíjí od velikosti jejich instalovaného výkonu. Jednotlivé výkonové kategorie uvádím v tabulce, viz. Tab3.1.

Tab3.1. Výkonové kategorie výrobních modulů [14]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky
A	800 W	A1	$\geq 800 \text{ W};$ $\leq 11 \text{ kW}$	podle čl. 13 pro výrobní moduly A
		A2	$> 11 \text{ kW};$ $< 100 \text{ kW}$	podle čl. 13 pro výrobní moduly A a čl. 14.2, 14.3, 14.4, 14.5 pro výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
B	1 MW	B1	$\geq 100 \text{ kW};$ $< 1 \text{ MW}$	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
		B2	$\geq 1 \text{ MW};$ $< 30 \text{ MW}$	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 15.2, 15.3, 15.4, 15.5a, 15.5b, 15.5c, 15.6a, 15.6b, 15.6c pro výrobní moduly C, podle čl. 18 pro synchronní výrobní moduly C a podle čl. 21 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie C
C	50 MW	C	$\geq 30 \text{ MW}$ $< 75 \text{ MW}$	podle čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	$\geq 75 \text{ MW}$	podle čl. 16, čl. 19 a čl. 22

Synchronními moduly jsou rozuměny výrobní moduly bez výkonové elektroniky na výstupu, např. parní, vodní, větrné, bioplynové elektrárny se synchronním generátorem. V případě nesynchronních modulů se jedná o fotovoltaické elektrárny s výkonovou elektronikou na výstupu nebo například vodní či větrné elektrárny s asynchronními generátory nebo výkonovou elektronikou na výstupu.

3.2.1 Připojení k síti

Připojení výroby k síti PDS se děje v místě připojení s oddělovací funkcí, které musí být neustále přístupné personálu PDS. V případě výroben, které spadají do kategorie s instalovaným výkonem 100kVA a výše, musí být oddělovací spínač vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu.

Důležitým faktorem připojení k síti PDS je připojení ve vhodném místě. PDS stanovuje způsob a místo připojení, ale také napětíovou hladinu a výši rezervovaného výkonu po zhodnocení poměrů dané sítě, způsobu provozu výroby a požadovaného výkonu. [14]

3.2.2 Dálkové řízení

V případě zdrojů o výkonech 100kW a výše musí být výrobní vybaveny logickým rozhraním, které umožňuje začlenit výrobu do systémů dálkového řízení PDS. Jedná se především o:

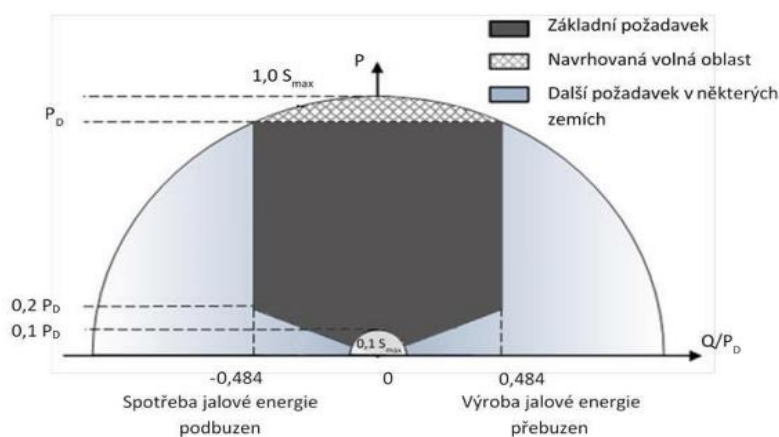
- Řízení spínače s oddělovací funkcí (především vypnutí při kritických stavech v síti – „dálkově VYP“/ZAP).
- Omezení dodávaného činného výkonu.
- Regulovatelnost činného výkonu.
- Řízení jalového výkonu a napětí.
- Rozhraní pro přenos dat. [14]

3.2.3 Zásady podpory sítě

Výrobní elektrické energie se musí při výrobě podílet na udržování napětí v předem stanovených mezích. Hodnoty a požadavky pro podporu sítě udává PDS. Na dodržování uvedených mezí se podílí automatické řízení ve výrobě. Podpora sítě je dělena na statickou a dynamickou.

3.2.4 Statická podpora sítě

Statická podpora sítě je založena na udržování napětí v určených mezích za normálního provozu a při pomalých změnách napětí. Výkyvy napětí musí zůstat v dovolených mezích a výrobní jsou povinny přispívat k požadavkům na řízení napětí při normálním provozu. Jako příklad požadavků na řízení napětí uvádím požadavky na výrobu/odběr jalového výkonu pro synchronní moduly kategorie A2, B1, B2, C a D připojené do sítí VN a 110kV na Obr.3.1. [14]

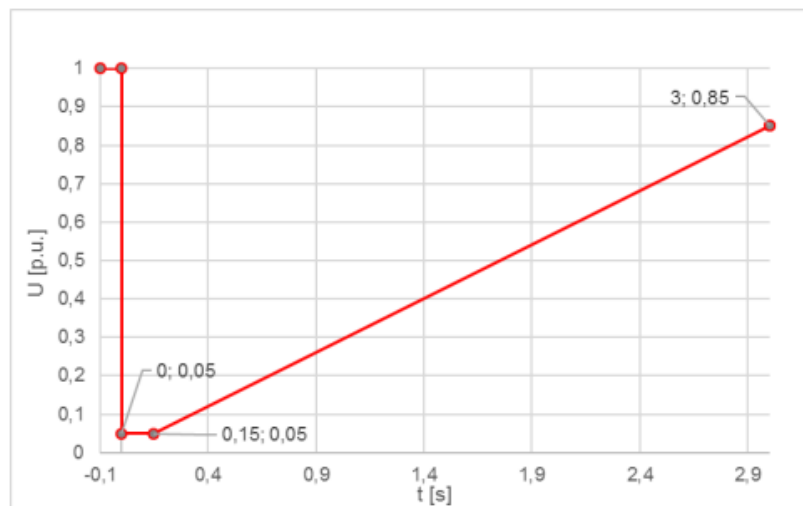


Obr.3.1. Požadavky na výrobu/odběr jalového výkonu [14]

3.2.5 Dynamická podpora sítě

Dynamickou podporou sítě je udržování napětí při poklesech v sítích VNN a ZVN. Všechny výrobní připojené do sítí NN, VN a 110kV musí být schopné zůstat připojeny při poruchách v síti, v jejichž důsledku dochází k poklesu napětí. Těmito poruchami jsou všechny druhy zkratů, tedy jednopólové, dvou i třípólové.

Jako příklad dynamické podpory sítě uvádím požadavky na nesynchronní výrobní moduly kategorií A1, A2, B1, B2 a C při krátkodobém poklesu napětí viz. Obr.3.2. Tento požadavek udává, že se výrobní nesmí odpojit v případě poklesu napětí, který je definovaný křivkou na Obr.3.2. Pokud se ale hodnota napětí dostane pod mez, kterou křivka stanovuje, může se modul od sítě odpojit. [14]



Obr.3.2. Časový průběh napětí v místě připojení za podmínek poruchy [14]

3.2.6 Přizpůsobení činného výkonu

Všechny zdroje připojené do DS musí mít schopnost automatické regulace činného výkonu v závislosti na aktuální kmitočtu či stavu sítě. Také musí být schopny regulovat činný výkon na základě povelů z řídicího dispečinku PDS, nebo se automaticky odpojit od DS.

3.2.7 Řízení činného výkonu při nadfrekvenci

V případě nárůstu frekvence v síti musí být výrobní modul schopen frekvenční odezvy činného výkonu při prahové hodnotě a nastavené statice. Přičemž v ČR je stanovena prahová hodnota frekvence 50,2 Hz a statika 5 %. Jestliže tedy frekvence v síti překročí hodnotu 50,2 Hz, musí výrobní snížit dodávaný činný výkon dle vztahu (2.1). Výrobně je povoleno

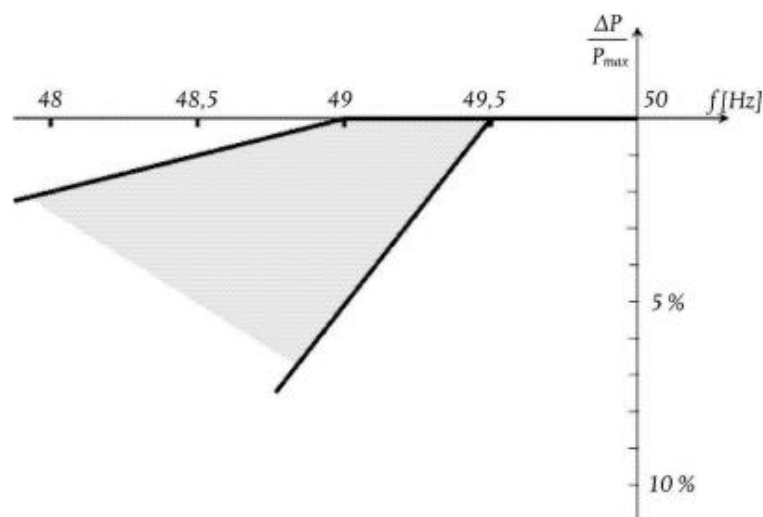
navýšení činného výkonu až při poklesu frekvence na hodnotu $f \leq 50,05 \text{ Hz}$, nebo po povolení dispečinku PDS.

$$\Delta P = 100 \times \frac{|\Delta f| - |\Delta f_1|}{f_N} \times \frac{P}{s_2} \quad (3.1.)$$

kde Δf je odchylka frekvence v soustavě, Δf_1 je prahová frekvence, f_N je jmenovitá frekvence (50 Hz) a s_2 je statika (5 %). [14]

3.2.8 Řízení činného výkonu při podfrekvenci

Při poklesu síťové frekvence udává provozovatel PS dovolené snížení dodávaného činného výkonu. Příslušné meze, ve kterých se může výrobní modul pohybovat, jsou dány v rozsahu mezi plnými čarami viz. Obr.3.3.



Obr.3.3. maximální možné snížení činného výkonu při podfrekvenci [14]

3.2.9 Řízení činného výkonu v závislosti na provozních podmínkách

Výrobní elektrické energie musí být schopny provozu při sníženém činném výkonu. PDS může vyžadovat změnu činného výkonu v případě:

- potenciálního ohrožení bezpečného provozu,
- stavu blackoutu nebo stavu obnovy,
- nutné provozní práce,
- vzrůst frekvence ohrožující systém,
- ohrožení statické nebo dynamické stability,
- údržba nebo provádění stavebních prací na zařízení DS nebo v jeho blízkosti,
- nebezpečí vzniku ostrovního provozu.

Při požadavku na snížení výkonu (např. na 60, 30 nebo 0 %) musí dojít ke snížení výkonu maximálně do jedné minuty. Zároveň musí být technicky možné snížení výkonu na 0 %, aniž by byl zdroj odpojen od sítě. [14]

3.2.10 Řízení jalového výkonu

Způsob řízení jalového výkonu závisí především na místě připojení do sítě a určuje ho PDS. Výrobní modul se musí podílet na tzv. statickém udržování napětí za normálního provozu, které je dáno ve smluvních podmínkách. Výrobní, které mají výkon vyšší než 100kVA, musí být schopné řídit jalový výkon tak, aby v místě připojení byl účinník v rozsahu minimálně 0,9 kapacitního a 0,9 induktivního charakteru. V případě silně kolísající výroby elektrické energie, ke které dochází především u větrných elektráren, musí být kompenzace jalového výkonu dostatečně rychlá a automatizovaná. Nastavení jalového výkonu je zadáváno PDS, a to buď pevnou hodnotou, nebo dálkově nastavitelnou hodnotou.

Požadované hodnoty mohou být:

- pevná hodnota jalového výkonu,
- hodnota jalového výkonu závislá na napětí,
- hodnota jalového výkonu závislá na činném výkonu,
- pevná hodnota účinníku,
- hodnota účinníku závislá na napětí,
- hodnota účinníku závislá na činném výkonu,
- zadaná hodnota napětí. [14]

3.3 Požadavky pro připojování zdrojů menších výkonů do distribuční sítě

Od počátku roku 2016 mohou všichni zákazníci provozovat výrobu elektrické energie do 10kW ve svém místě připojení, aniž by jim musela být vydána licence Energetickým regulačním úřadem. Provozování výrobní o výkonu do 10kW včetně je možné provozovat pouze na základě smlouvy o připojení. Jsou ovšem stanovena určitá práva a povinnosti, které zákazník má. Tato práva a povinnosti jsou uvedena v Energetickém zákoně č.458/2000 Sb. konkrétně §5, odstavec 5: *„Zákazník může provozovat výrobu elektřiny s instalovaným výkonem do 10kW, pokud je propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou a pokud není ve stejném odběrném místě připojena jiná výrobní elektřiny, pouze na základě uzavřené smlouvy o připojení, která zahrnuje i připojení výrobní elektřiny. V tomto případě*

se na zákazníka dále vztahují práva podle § 23 odst. 1 písm. a) a povinnosti podle § 23 odst. 3 písm. a), c), e), i) a j).“ [21]

Dále považuji za důležité zmínit další povinnosti, které udává odstavec 6 téhož paragrafu, který říká: „V případě provozování výroby elektřiny podle odstavce 5 je zákazník dále povinen:

a) zajistit, aby k výrobě elektřiny byla používána technická zařízení, která splňují požadavky bezpečnosti a spolehlivosti stanovené právními předpisy a technickými normami,

b) zajistit, aby práce spojené s instalací a provozem výroby elektřiny byly prováděny osobami s odbornou způsobilostí,

c) vyrábět elektřinu tak, aby nedošlo k ohrožení života a zdraví osob, majetku nebo zájmu na ochranu životního prostředí.“ [21]

Pro úplnost uvádím také znění §3, který pojednává o podnikání v energetických odvětvích, přesněji jeho 3. odstavec: „Podnikat v energetických odvětvích na území České republiky mohou za podmínek stanovených tímto zákonem osoby pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem. Licence se dále vyžaduje na výrobu elektřiny ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem nad 10kW určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je výroba elektřiny propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou, nebo na výrobu elektřiny vyrobenou ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem do 10 kW včetně, určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je ve stejném odběrném místě připojena jiná výroba elektřiny držitele licence.“ [21] Z tohoto zákona je patrné, že provozovat výrobu o výkonu do 10kW včetně je možné bez licence pouze v případě, že výroba slouží k vlastní spotřebě, a že v místě připojení není připojena další výroba držitele licence.

V návaznosti na výše uvedená ustanovení byla v únoru 2016 uvedena v platnost vyhláška Energetického regulačního úřadu č.16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Tato vyhláška definuje pojem mikrozdroj v §2, písmeno d: „mikrozdrojem je zdroj elektrické energie a všechna související zařízení pro výrobu elektřiny, určený pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16A na fázi včetně a celkovým maximálním instalovaným výkonem do 10kW včetně,“ [22] Dále pak tato vyhláška udává podmínky pro zjednodušené připojení mikrozdrojů v §16.

3.3.1 Zjednodušené připojení mikrozdrojů

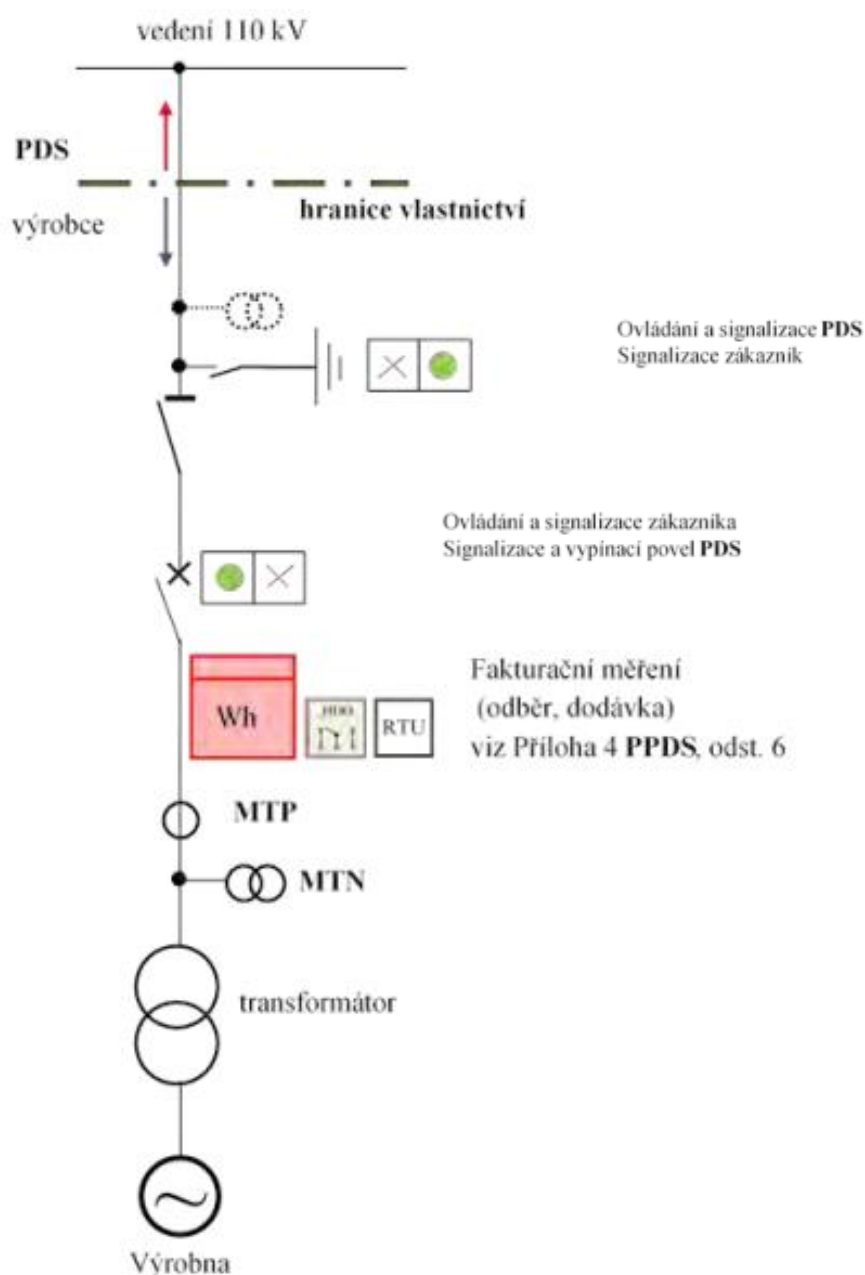
Zjednodušené připojení v podstatě znamená minimální kontakt s PDS. Splňuje-li totiž výroba parametry mikrozdroje definované ve vyhlášce o podmínkách připojení

k elektrizační soustavě a jsou splněny podmínky pro zjednodušené připojení mikrozdrojů, udávané v §16 téže vyhlášky, není provozovatel takové výroby povinen žádat PDS o připojení a může výrobu v odběrném místě instalovat. Jedinou technickou podmínkou, která může instalaci mikrozdroje přerušit, je hodnota limitní impedance v místě připojení. V případě, že součet instalovaných výkonů mikrozdrojů připojených v jednom odběrném místě přesáhne hodnotu 800W, je žadatel povinen zajistit změření impedance proudové smyčky. Toto měření musí provádět osoba s odbornou způsobilostí podle vyhlášky č.50/1978 Sb. §9 a postup měření musí být proveden v souladu s harmonizovanou technickou normou o měření impedance. Hodnota impedance proudové smyčky pro zdroje do 16A na fázi nesmí být vyšší než $0,47\Omega$ a pro zdroje do 10A na fázi nesmí impedance překročit hodnotu $0,75\Omega$. V případě překročení limitní hodnoty impedance nelze využít zjednodušeného připojení a žadatel může připojit mikrozdvoj pouze za dodržení podmínek udávaných §3 odst.1. Další technickou podmínkou je technické řešení mikrozdroje, které zamezuje dodávce elektřiny do DS, a to s výjimkou krátkodobých přetoků, které nezvýší hodnotu napětí v místě připojení. Po splnění těchto technických podmínek musí být před uvedením do provozu také provedeno uzavření smlouvy o připojení mikrozdroje mezi žadatelem a PDS, či úprava stávající smlouvy o připojení. [22]

Situace připojování zdrojů menších výkonů do DS je tedy taková, že pokud výroba spadá do kategorie mikrozdroje, její provozovatel není povinen žádat o vydání licence Energetickým regulačním úřadem. Provozování mikrozdroje bez licence je ovšem možné pouze v tom případě, není-li v místě připojení instalován další mikrozdvoj a zároveň musí mikrozdvoj sloužit pouze pro vlastní spotřebu. Pokud jsou splněny podmínky zjednodušeného připojení a jsou uzavřeny smlouvy o připojení, může být zahájen provoz. Zároveň je zcela lhostejné, o jaký typ zdroje se jedná. PDS neposuzuje podmínky připojitelnosti, ale zabývá se pouze uzavřením smlouvy o připojení. V případě, že by nedošlo k dodržení podmínek zjednodušeného připojení, je žadatel oprávněn požádat PDS o připojení standardním způsobem, kdy bude posouzena připojitelnost mikrozdroje. V tomto případě opět nezáleží, o jaký typ zdroje se jedná a stejně tak nezáleží na tom, zda má žadatel licenci k provozování.

4 Způsoby připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě

Způsobů, jakými lze připojit výrobu elektrické energie do distribuční sítě, se nabízí celá řada. Při návrhu připojení musí být zohledněno mnoho faktorů, přičemž jedním z hlavních jsou finanční náklady. Dalšími faktory mohou být například vzdálenost výroby do místa připojení, zásah do krajinného rázu či skutečnost, zda bude výroba připojena přímo na vedení DS, nebo do rozvodny. Jako jeden z příkladů připojení uvádím Obr.4.1. způsob připojení výroby jednoduchým odbočením T k vedení 110kV.



Obr.4.1: T odbočení k vedení 110kV [14]

4.1 Distribuční transformátory

Jednou z hlavních podmínek pro provozování výrobní v distribuční síti je schopnost regulovat napětí v mezích určených PPDS. Pro tyto účely jsou využívány především transformátory s regulací napětí, a to pomocí přepínače odboček. Přepínač odboček je zařízení, díky němuž lze změnit počet závitů transformátoru, a tím regulovat napětí v rozsahu daným výrobcem transformátoru. U menších distribučních transformátorů bývají nejčastěji vinutí opatřena odbočkami po $\pm 5\%$ Un. V případě transformátorů větších výkonů je vinutí vybaveno více odbočkami s jemnější regulací napětí (např. 6-18 odboček po 1,78 nebo 2%).

4.1.1 Přepínání bez zatížení

Transformátory s možností přepínání bez zatížení jsou využívány nejčastěji v částech sítě, kde se výrazně nemění zatížení a změny odboček nejsou nutné. Před uvedením do provozu tedy obsluha nastaví ručně odbočku tak, aby bylo v síti požadované napětí. V případě, že bude zvýšeno zatížení transformátoru, čímž může být například připojení nových odběratelů, může dojít k poklesu napětí. Poté musí být znovu manuálně nastaven počet odboček tak, aby napětí dosahovalo požadované hodnoty.

4.1.2 Přepínání při zatížení

Přepínání při zátěži se provádí zpravidla na straně vyššího napětí, a to z důvodu přepínání menších proudů. Přepínáním menších proudů snižujeme velikost a složitost přepínače odboček. Přepínání při zatížení je využíváno převážně u transformátorů největších výkonů, tedy v sítích ZVN, VVN a VN. Ve výjimečných případech je přepínání pod zátěží využíváno i u distribučních transformátorů VN/NN.

4.2 Vedení

Další nedílnou součástí pro připojení výrobní k DS je vedení, kterým bude výrobní připojena. Vedení lze rozdělit na venkovní a kabelové. Využití jednotlivých vedení závisí především na místních topografických a technických podmínkách, ale také na požadavcích na bezpečnost a spolehlivost provozu vedení.

4.2.1 Venkovní vedení

Venkovní vedení je nejčastěji tvořeno holými vodiči, které jsou vedeny nad zemským povrchem. Nejčastěji používanými vodiči jsou tzv. AlFe lana. Jedná se o kombinaci hliníku

a železa, kdy je uprostřed železná nosná část a na povrchu je hliníkový obal, který je určený k vedení proudu. Venkovní vedení jsou používána tam, kde to dovoluje situace okolního prostředí, jelikož u každého venkovního vedení musí být dodržena šířka pásma, jehož velikost se odvíjí od napěťové hladiny. V některých případech tak může být zásah do krajinného rázu zásadní. Dalšími nevýhodami venkovního vedení oproti kabelovému jsou vyšší náklady na provoz a údržbu. Poruchy jsou mnohem častější, jelikož venkovní vedení je neustále vystavováno atmosférickým vlivům, pádům větví, a podobně.

V posledních letech je trendem používání izolovaných vodičů, a to především na hladinách 35 a 110kV. Vedení z izolovaných vodičů jsou odolnější vůči atmosférickým vlivům a spadáním větvím, které jsou nejčastějšími příčinami poruch na vedení. Díky použití izolace je zvýšena izolační pevnost, což vede ke snížení vzdálenosti mezi vodiči, a tím pádem umožňuje použití nižších a menších stožárů s kompaktním uspořádáním vodičů. Použitím tohoto vedení dostáváme téměř bezporuchové vedení s výrazně menším zásahem do krajiny.

4.2.2 Kabelové vedení

Kabelová vedení jsou nejčastěji využívána pro městské rozvody na hladinách NN a VN. Ve výjimečných případech je kabelové vedení používáno i na hladině VVN, konkrétně 110kV. Kabelové rozvody jsou realizovány izolovanými vodiči jednožilovými či více žilovými, přičemž jednožilové kabely jsou výhradou převážně vedení VN a VVN. Výhodou kabelového vedení oproti venkovnímu je v každém případě vyšší spolehlivost. Vedení je uloženo pod zemským povrchem, tím pádem není vystaveno povětrnostním vlivům. Snižuje se mechanické namáhání a s tím klesá i počet poruch. Co se však týče poruchy, je většinou trvalého charakteru a oprava kabelového vedení je mnohem náročnější než u venkovního vedení. Ačkoliv jsou náklady na realizaci kabelového vedení až několikrát vyšší než v případě venkovního vedení, náklady na údržbu se s nižší poruchovostí výrazně snižují.

Důležitým parametrem kabelového vedení je jeho provozní kapacita, která dosahuje cca. 30x vyšší hodnoty než u vedení venkovního. Tato kapacita vyvolává nabíjecí kapacitní proud, který způsobuje vyšší proudové zatížení vodičů, a tím i větší ztráty na vedení.

4.2.3 Nabíjecí výkon vedení

V případě, že se vedení nachází ve stavu naprázdno, nebo je přenášený výkon nižší než přirozený výkon, dochází k tzv. Ferrantiho jevu. Ferrantiho jev je stav, kdy je napětí

na konci vedení vyšší než na jeho začátku. Tento děj probíhá převážně na dlouhých odlehčených vedeních VVN a ZVN. Z důvodu vysoké kapacity kabelových vedení dochází k tomuto jevu i v kratších kabelových sítích. [25]

Vedením protéká nabíjecí kapacitní proud, který je dán kapacitou vedení a velikostí napětí:

$$I_c = \omega * C * U_f \quad (4.1.)$$

kde I_c je nabíjecí kapacitní proud, ω je úhlová rychlost, C je kapacita vedení a U_f je velikost fázového napětí.

Vedení odebírá ve stavu naprázdno pouze nabíjecí výkon:

$$Q_c = \sqrt{3} * U_n * I_c \quad (4.2.)$$

kde Q_c je nabíjecí výkon a U_n je velikost sdruženého napětí.

V kabelizovaných sítích, zejména v rozsáhlých mětských sítích, dosahuje kabelové vedení značné kapacity. Tato kapacita může zejména v nočních hodinách, kdy je v mětských zástavbách minimální odběr elektrické energie, způsobovat značné kapacitní proudy. Při nízkém odběru s jalovým charakterem může docházet k přetoku jalové kapacitní energie a kapacitní proud může způsobovat značné ztráty. Kompenzování kapacitních proudů je nazýváno dekompenzace. Princip dekompenzace je obdobný kompenzaci jalového výkonu (viz. kapitola 5.2). Pro dekompenzaci jsou využívány dekompenzační tlumivky, které vytvářejí induktivní zátěž, pomocí níž je kompenzován nežádoucí kapacitní výkon v síti.

4.3 Střídače

V případě OZE vyrábějících stejnosměrné napětí, jako jsou například fotovoltaické elektrárny, je nezbytnou součástí pro připojení do DS napěťový střídač. Základní funkcí střídačů je převedení stejnosměrného napětí vyráběného fotovoltaickými panely na napětí střídavé. Napětí vyrobené střídačem musí pro možnost dodávky energie do DS dosahovat určité kvality. Základním faktorem kvality dodávané energie je síťová frekvence 50Hz se sinusovým průběhem. Mimo základní funkce mohou být střídače vybaveny doplňkovými funkcemi, jako je např. monitorování sítě a provozních údajů, nebo různé ochranné prvky. Pro bezpečnější provoz může být střídač provozován s transformátorem. V tomto případě transformátor zprostředkovává galvanické oddělení stejnosměrné strany od střídavé, čímž

zaručuje maximální ochranu střídače před poškozením. Ovšem použití s transformátorem snižuje účinnost střídače.

V místech s častými klimatickými podmínkami, jakým je například Česká republika, se nabízí využití střídačů s více výkonovými stupni. Při slabém slunečním svitu tedy střídač pracuje na nižším výkonovém stupni s vyšší účinností, přičemž další stupně se zapínají podle klimatických podmínek. Toto využití výkonových stupňů vede ke zvýšení účinnosti střídače a prodloužení jeho životnosti. [17]

4.4 Stejnoseměrný přenos elektrické energie

HVDC (High-voltage direct current) přenos nabírá v posledních letech na popularitě. Mezi hlavní výhody stejnosměrného přenosu oproti střídavému patří nižší ztráty při přenosu na velké vzdálenosti (přibližně 3 % na 1000 km). Mezi další lze zařadit potřebu menšího množství vodičů než u třífázového rozvodu, nebo menší izolační vzdálenosti při dimenzování vodičů na stejnou efektivní hodnotu, jelikož není potřeba dimenzovat na maximální hodnotu jako u střídavého proudu. Ovšem hlavní nevýhodou stejnosměrného přenosu je obtížná změna velikosti napětí oproti střídavému, kde náklady na transformátor jsou mnohem nižší než náklady na polovodičové měniče. Pomocí stejnosměrných linek také lze spojovat pouze dvě místa, protože pro každé odbočení je nutné vybudovat novou měřičnu. Jak je patrné, stejnosměrný přenos je výhodné používat pro přenášení velkých výkonů na značně dlouhé vzdálenosti. [18]

Stejnoseměrné linky jsou dnes využívány převážně pro přenos velkých výkonů od vzdálených zdrojů elektrické energie nebo k propojení sítí států, které mezi sebou dělí moře. HVDC vedení jsou využívána například v severní Evropě k vzájemnému propojení přímořských států. Jedním z příkladů těchto linek je stejnosměrné vedení, uvedené do provozu v říjnu 2021. Jedná se o nejdelší (720 km) podmořský vysokonapěťový přenos na světě mezi Norskem a Spojeným Královstvím s přenosovou kapacitou až 1,4GW a napětím 525kV. Tato přenosová linka má usnadnit integraci obnovitelné energie a umožnit stabilizaci sítě ve dvou evropských zemích. [19]

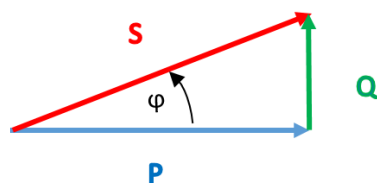
Dalším příkladem stejnosměrného přenosu je linka ultravysokého napětí Belo Monte – Rio de Janeiro v Brazílii v napěťové hladině 800kV. Toto vedení přenáší 4GW energie z vodní elektrárny Belo Monte v severní Brazílii na vzdálenost 2 539km do rozvodu v jihovýchodní Brazílii. [20]

5 Řízení jalového výkonu

5.1 Druhy výkonů

Ve střídavé soustavě přenášíme dva druhy výkonů. Jedním je výkon činný (P), jehož jednotkou je watt (W) a druhým je výkon jalový (Q) s jednotkou volt-ampér reaktanční (Var). Vektorovým součtem těchto výkonů dostáváme výkon zdánlivý (S) s jednotkou volt-ampér (VA).

Činný výkon je částí elektrické energie, kterou je možné přeměnit ve spotřebiči v užitečnou mechanickou, či tepelnou energii. Jalový výkon práci nekoná, ale je potřebný k vytvoření magnetického, či elektrického pole. Jalový výkon, stejně tak jako výkon činný, způsobuje při jeho přenosu ztráty. Pro efektivní přenos elektrické energie je potřeba regulovat jalovou složku k omezení ztrát přenosu.



Obr.5.1. diagram výkonů [16]

Z trojúhelníku výkonů můžeme definovat úhel φ , který představuje fázový posun mezi činným a zdánlivým výkonem, resp. mezi proudem a napětím. Důležitým parametrem je tzv. účinník, který je dán $\cos \varphi$. Přičemž rozlišujeme účinník induktivní, kdy proud předbíhá napětí a účinník kapacitní, kdy je proud zpožděný za napětím.

Základní vztahy pro výpočty výkonů:

- Zdánlivý výkon

$$S = U * I \quad (5.1.)$$

- Činný výkon

$$P = U * I * \cos \varphi \quad (5.2.)$$

- Jalový výkon

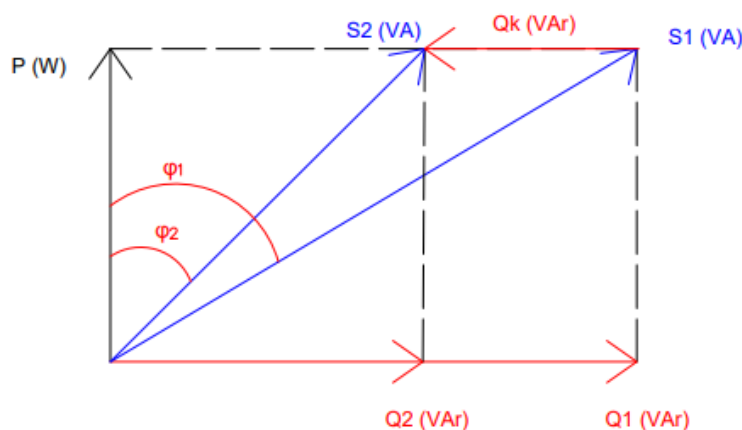
$$Q = U * I * \sin \varphi \quad (5.3.)$$

- Účinník

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (5.4.)$$

5.2 Kompenzace jalového výkonu

Hlavním smyslem kompenzace Q je snížení jalové složky proudu procházející vedením, čímž dochází k odlehčení vedení, snížení ztrát na vedení a k prodloužení jeho životnosti.



Obr. 5.2. Kompenzace účinníku

Princip kompenzace spočívá v dodání kompenzačního jalového výkonu Q_k (např. kondenzátorem či tlumivkou) do obvodu, čímž dochází ke snížení jalového výkonu o velikosti Q_1 na hodnotu Q_2 . Z hlediska připojení kompenzačního zařízení můžeme kompenzaci rozdělit na individuální, skupinovou a centrální.

5.2.1 Individuální kompenzace

Kompenzační zařízení je připojeno přímo na svorky spotřebiče. Odlehčení jalového výkonu je provedeno od zdroje až ke spotřebiči. Jedná se o nejjednodušší a nejspolehlivější způsob kompenzace. Využití kompenzačního zařízení je však závislé na využití kompenzovaného spotřebiče.

5.2.2 Skupinová kompenzace

Jedná se o kompenzaci, kdy je kompenzační zařízení připojeno k rozvaděči, který napájí skupinu spotřebičů. Při tomto způsobu kompenzace je odlehčeno vedení mezi zdrojem a rozvaděčem. Jelikož kompenzujeme více spotřebičů, musíme brát zřetel na jejich soudobost. Je tudíž nutné, aby byl kompenzační výkon regulovatelný.

5.2.3 Centrální kompenzace

V tomto případě je kompenzační zařízení připojeno v blízkosti hlavního rozvaděče, či transformátoru. Vzhledem k soudobosti kompenzovaných spotřebičů je nutná regulace kompenzačního výkonu stejně jako u skupinové kompenzace.

5.2.4 Kombinovaná kompenzace

Je kombinací výše uvedených druhů kompenzací. Nejčastěji je používána v rozsáhlých průmyslových rozvodech. Příkladem kombinované kompenzace může být centrální kompenzace mezi distribuční sítí a transformátorem, či rozvodnou. Dále mohou být v objektu kompenzovány jednotlivé spotřebiče individuálně, nebo skupinově. [23]

5.3 Kompenzační prostředky

V této části uvedu pro potřeby vysvětlení důležitých částí mé práce jednotlivé prostředky sloužící ke kompenzaci jalového výkonu, jejich základní princip, výhody či nevýhody.

5.3.1 Rotační kompenzátory

Mezi rotační zařízení, které umožňují kompenzaci jalového výkonu řadíme synchronní motory a synchronní kompenzátory. Tyto stroje se vyznačují tím, že jim je stejnosměrným budícím vinutím dodávána magnetizační energie. V případě synchronního motoru, za předpokladu konstantního momentu zátěže a napájecího napětí, jsme schopni změnou budícího proudu měnit i velikost odebíraného jalového výkonu. Přičemž jalový výkon odebíraný motorem se může pohybovat v oblasti kapacitního i induktivního charakteru.

Synchronní kompenzátor není nic jiného než synchronní motor, který je ve stavu naprázdno. Tedy odebírá minimální činný výkon a změnou budícího proudu můžeme regulovat dodávku či spotřebu jalového výkonu. Vzhledem k vysokým výkonům těchto strojů a oproti jiným zařízením pomalejší regulaci jalového výkonu jsou tyto stroje využívány pro centrální kompenzaci. Využívání synchronních strojů ke kompenzaci jalového výkonu je ale v posledních letech na ústupu. Hlavními důvody nahrazování synchronních strojů jinými prostředky jsou především vyšší nároky na údržbu, spotřeba činné energie či větší prostor, který je potřebný k provozu.

5.3.2 Kompenzační kondenzátory

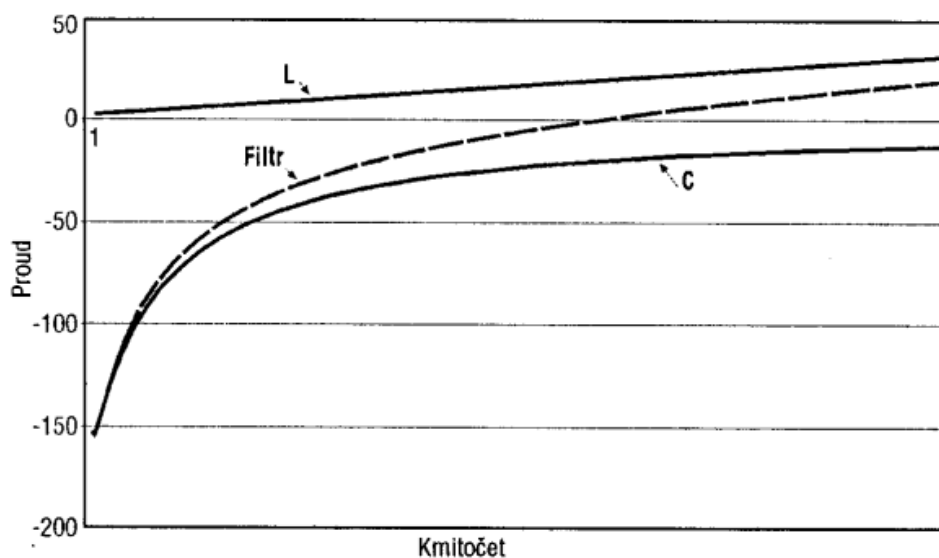
Jedná se o výkonové kompenzátory, které tvoří základní prostředek statické kompenzace. Statické prvky nejsou na rozdíl od rotačních prvků závislé na dodávce činné energie. Kondenzátorové baterie slouží ke kompenzaci induktivního jalového výkonu. V třífázovém

zapojení kondenzátorů rozlišujeme zapojení do hvězdy a do trojúhelníku. Při zapojení do trojúhelníku dosahuje baterie trojnásobného kompenzačního výkonu oproti zapojení do hvězdy. Kondenzátory zapojené do trojúhelníku se používají na hladinách NN. V případě VN jsou kondenzátory spojené do hvězdy. Důvodem těchto zapojení jsou napěťové nároky na jednotlivé kondenzátory, jelikož při zapojení do trojúhelníku nabývá napětí na kondenzátoru sdružené hodnoty. Zvýšené napětí způsobuje větší proud procházející kondenzátorem, který je závislý pouze na jeho reaktanci. Zapojením do hvězdy procházející proud snížíme na třetinu oproti proudu při zapojení do trojúhelníku.

Omezením při používání samostatných kondenzátorů je jejich frekvenční závislost, kdy při vyšší frekvenci dochází k poklesu jejich reaktance. V případě připojení kondenzátoru do sítě, ve které se mimo základního kmitočtu nacházejí i vyšší harmonické, bude kondenzátor představovat velmi malou impedanci. Snížením jeho impedance vzrůstá efektivní hodnota proudu a může dojít k přetěžování samotného kondenzátoru, ale i části sítě mezi kondenzátorem a zdrojem vyšších harmonických. Z tohoto důvodu lze prosté kondenzátory používat pouze v sítích s nízkými úrovněmi rušení.

5.3.3 Kompenzační filtry

Jedná se o výkonové sériové LC filtry sloužící k filtraci harmonických a současně ke kompenzaci účinníku. Na Obr.5.3. uvádím kmitočtové charakteristiky L filtru, C filtru a jejich kombinace, tedy LC filtru.



Obr.5.3. Frekvenční charakteristiky L, C a LC filtru [23]

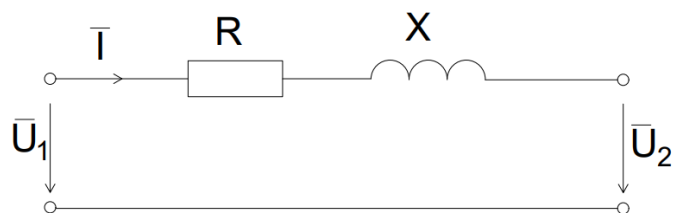
V místě protnutí charakteristiky LC filtru s vodorovnou osou se nachází hodnota rezonanční frekvence. Z této charakteristiky je patrné, že filtr pro kmitočty, které jsou menší než rezonanční, působí jako kondenzátor. Tedy například pro 1. harmonickou kompenzuje jalový výkon. Pro kmitočty, který je rovný rezonanční frekvenci, působí jako zkrat, respektive proud je omezován jen ohmickou složkou impedance. Pro kmitočty vyšší, než rezonanční frekvence má poté induktivní charakter. Tyto kompenzační filtry jsou připojovány do sítí, které obsahují vyšší počet spotřebičů generujících harmonické proudy za účelem jejich eliminace. [23]

5.4 Vliv jalového výkonu na změnu napětí

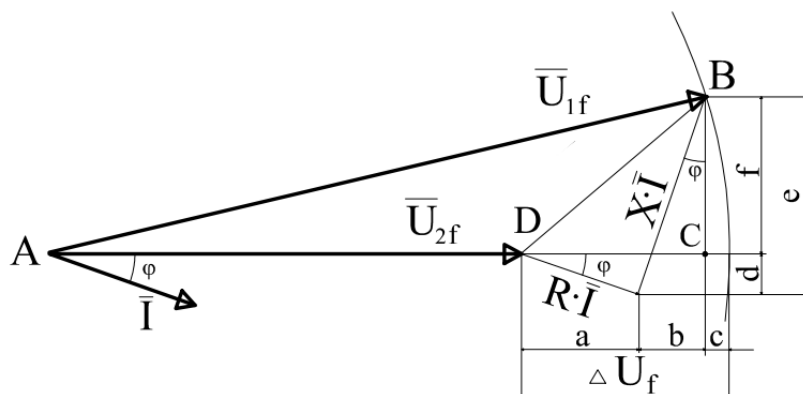
Jak jsem již uvedl v části 5.1., ve střídavé síti je kromě užitečného činného výkonu přenášen i výkon jalový. Jalový výkon při přenosu způsobuje ztráty, a proto musí být kompenzován. V neposlední řadě má jalový výkon podstatný vliv také na úbytek napětí, kterému se budu věnovat níže.

5.4.1 Úbytek napětí na vedení VN

Úbytek napětí udává rozdíl mezi hodnotami napětí na začátku a na konci vedení. Pro výpočet úbytku napětí v síti VN můžeme náhradní schéma zjednodušit zanedbáním příčných parametrů. Naše náhradní schéma tedy tvoří pouze sériová kombinace odporu vedení a induktivní reaktance. Posouzení vlivu jalového výkonu na velikost úbytku napětí provedu pomocí fázorových diagramů pro níže uvedené náhradní schéma při odběru induktivního a kapacitního jalového výkonu.



Obr.5.4. Náhradní schéma vedení VN



Obr.5.5. Fázorový diagram při induktivním charakteru zátěže [2]

Pro úbytek napětí platí vztah:

$$\Delta U_f = |U_{1f}| - |U_{2f}| = a + b + c \quad (5.5.)$$

kde jednotlivé složky a, b, c jsou znázorněny na Obr.5.5.

Odvození vztahů pro dílčí složky úbytku:

$$a = R * I * \cos\varphi \quad (5.6.)$$

$$b = X * I * \sin\varphi \quad (5.7.)$$

Vztah pro c lze odvodit z trojúhelníku ABC:

$$(X * I * \cos\varphi - R * I * \sin\varphi)^2 + (U_{1f} - c)^2 = U_{1f}^2 \quad (5.8.)$$

$$(X * I * \cos\varphi - R * I * \sin\varphi)^2 = 2U_{1f} * c - c^2 = c * (2U_{1f} - c) \quad (5.9.)$$

v případě že $c \ll 2U_{1f}$ dostáváme vztah:

$$c = \frac{(X * I * \cos\varphi - R * I * \sin\varphi)^2}{2U_{1f}} \quad (5.10.)$$

Výsledný vztah pro úbytek napětí při induktivním odběru:

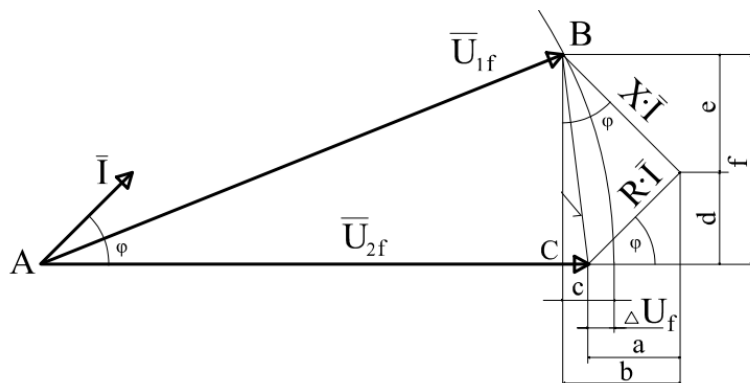
$$\Delta U_f = R * I * \cos\varphi + X * I * \sin\varphi + \frac{(X * I * \cos\varphi - R * I * \sin\varphi)^2}{2U_{1f}} \quad (5.11.)$$

V případě že $\cos\varphi > 0,5$, nabývá část c velmi malých hodnot a vztah pro úbytek napětí můžeme zjednodušit jejím zanedbáním.

Úbytek sdruženého napětí:

$$\Delta U = \sqrt{3} * \Delta U_f = \sqrt{3}(R * I * \cos\varphi + X * I * \sin\varphi) = \frac{R * P + X * Q}{U_n} \quad (5.12.)$$

kde U_n je jmenovité sdružené napětí sítě.



Obr.5.6. Fázorový diagram při kapacitním charakteru zátěže [2]

Při kapacitním charakteru zátěže dochází ke změnám napět'ových poměrů a výsledný vztah pro úbytek napětí je:

$$\Delta U_f = |U_{1f}| - |U_{2f}| = a - b + c \quad (5.13.)$$

Ve vztahu pro rozměr c dochází také ke změně oproti induktivnímu odběru:

$$c = \frac{(X * I * \cos\varphi + R * I * \sin\varphi)^2}{2U_{1f}} \quad (5.14.)$$

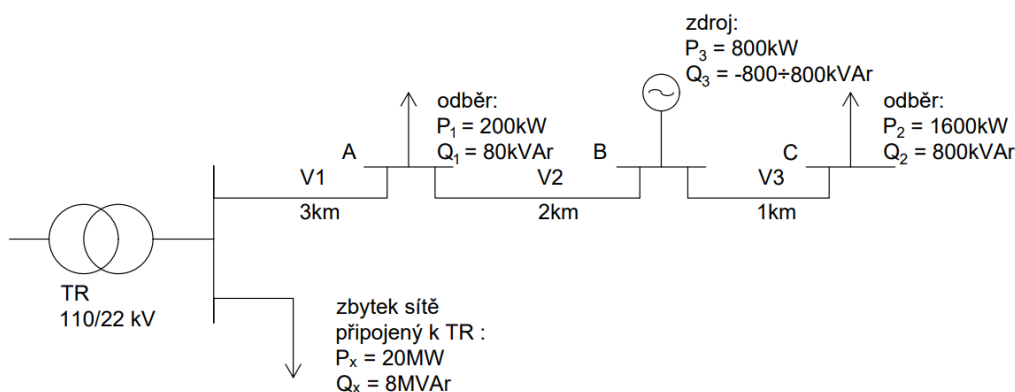
Výsledný vztah velikosti fázového úbytku napětí při kapacitním odběru:

$$\Delta U_f = R * I * \cos\varphi - X * I * \sin\varphi + \frac{(X * I * \cos\varphi + R * I * \sin\varphi)^2}{2U_{1f}} \quad (5.15.)$$

Z výše uvedených fázorových diagramů a vztahů pro úbytky napětí je patrné, že velikost jalové složky proudu procházející vedením má značný vliv na velikost napětí na jeho konci. V případě induktivního charakteru jalová složka přispívá k poklesu napětí, respektive zvyšuje velikost úbytku napětí. V opačném případě, tedy při kapacitním charakteru zátěže, jalová složka napětí na konci vedení naopak zvyšuje. K tomuto jevu může docházet například při překompenzování či při výrazném odlehčení kabelového vedení vlivem jeho vysoké provozní kapacity. Tento jev se nazývá Ferrantiho jev, jemuž jsem se detailněji věnoval v části 4.2.3. Vlivu jalového výkonu na napětí v síti se budu detailněji věnovat v další části, a to na případu konkrétní sítě.

6 Konkrétní případ sítě s vnořeným zdrojem

Po předchozí konzultaci se svým konzultantem Ing. Františkem Žákem, Ph.D. zpracuji v této části vlivy vnořeného zdroje do distribuční sítě na napěťové a výkonové poměry v síti. Zdroj připojený do distribuční sítě spadá do kategorie B1, dle přílohy č.4 Pravidel provozování distribuční sítě (viz. kapitola č.3). Činný výkon zdroje dosahuje hodnoty 800kW a jalový výkon je možné řídit v rozmezí $\pm 800kVAr_{kap}^{ind}$.



Obr.6.1. Schéma vybrané sítě k výpočtu

Vedení

Vedení V_1 a V_2 jsou provedena kabelem 22-AXEKCE 3x150 a úsek mezi body B a C je zrealizován kabelem 22-AXEKCE 3x90. Parametry kabelů jsem volil dle doporučení konzultanta z katalogu firmy NKT s.r.o., které uvádím v tabulce níže.

Tab.6.1. Parametry kabelů

22-AXEKCE		
Průřez vodiče (mm^2)	150	95
Činný odpor (Ω/km)	0,206	0,32
Indukčnost (mH/km)	0,37	0,4
Kapacita ($\mu F/km$)	0,25	0,21

Výpočet parametrů vedení:

V_1 :

$$R_{V1} = R_k * l = 0,206 * 3 = 0,618\Omega \quad (6.1.)$$

$$\begin{aligned} X_{V1} &= L_k * l * \omega = L_k * l * 2 * \pi * f = 0,37 * 10^{-3} * 3 * 2 * \pi * 50 \\ &= 0,349\Omega \end{aligned} \quad (6.2.)$$

V_2 :

$$R_{V2} = R_k * l = 0,206 * 2 = 0,412\Omega \quad (6.3.)$$

$$X_{V2} = L_k * l * \omega = L_k * l * 2 * \pi * f = 0,37 * 10^{-3} * 2 * 2 * \pi * 50 \\ = 0,232\Omega \quad (6.4.)$$

V_3 :

$$R_{V3} = R_k * l = 0,32 * 1 = 0,32\Omega \quad (6.5.)$$

$$X_{V3} = L_k * l * \omega = L_k * l * 2 * \pi * f = 0,4 * 10^{-3} * 1 * 2 * \pi * 50 \\ = 0,126\Omega \quad (6.6.)$$

Nabíjecí výkony kabelů:

V_1 :

$$I_{c1} = \omega * C_k * l * U_f = 2 * \pi * 50 * 0,25 * 10^{-6} * 3 * \frac{22000}{\sqrt{3}} = 2,99A \quad (6.7.)$$

$$Q_{c1} = \sqrt{3} * U_n * I_{c1} = \sqrt{3} * 22000 * 2,99 = 113,93 \text{ kVAr} \quad (6.8.)$$

V_2 :

$$I_{c2} = \omega * C_k * l * U_f = 2 * \pi * 50 * 0,25 * 10^{-6} * 2 * \frac{22000}{\sqrt{3}} = 1,99A \quad (6.9.)$$

$$Q_{c2} = \sqrt{3} * U_n * I_{c1} = \sqrt{3} * 22000 * 1,99 = 76,03 \text{ kVAr} \quad (6.10.)$$

V_3 :

$$I_{c3} = \omega * C_k * l * U_f = 2 * \pi * 50 * 0,21 * 10^{-6} * 1 * \frac{22000}{\sqrt{3}} = 0,84A \quad (6.11.)$$

$$Q_{c3} = \sqrt{3} * U_n * I_{c3} = \sqrt{3} * 22000 * 0,84 = 31,93 \text{ kVAr} \quad (6.12.)$$

Transformátor

Síť je napájena z transformátoru 110/22kV o výkonu 40MVA. Parametry transformátoru pro výpočet jsem volil z katalogu firmy ETD Transformátory a.s.

Tab.6.2. Parametry transformátoru

Transformátor 110/22kV, 40MVA	
Napětí nakrátko u_k (%)	11,5
Zdánlivý výkon S (MVA)	40
Ztráty naprázdno ΔP_0 (kW)	19,5
Ztráty nakrátko ΔP_k (kW)	110

Výpočet parametrů transformátoru

Impedance transformátoru:

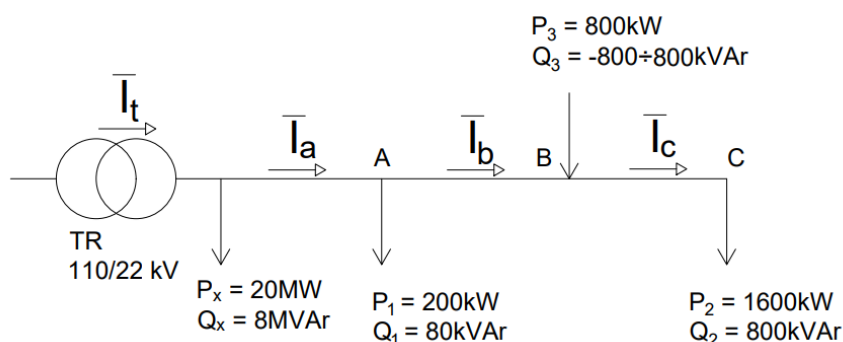
$$Z_t = \frac{u_k}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{11,5}{100} * \frac{22000^2}{40 * 10^6} = 1,39\Omega \quad (6.13.)$$

$$R_t = \frac{\Delta P_k * U_N^2}{S_N^2} = \frac{19500 * 72000^2}{(40 * 10^6)^2} = 0,033\Omega \quad (6.14.)$$

$$X_t = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,39^2 - 0,033^2} = 1,389\Omega \quad (6.15.)$$

6.1 Výpočet sítě

Pro výpočet napěťových poměrů v jednotlivých bodech sítě nejdříve spočítám velikosti proudů v jednotlivých úsecích sítě. Proudů spočítám z velikosti přenášených výkonů a jmenovitého napětí sítě.



Obr.6.2. Schéma pro výpočet sítě.

Pro prvotní výpočet volím jalový výkon zdroje $Q_3 = 800\text{kVAr}$ induktivního charakteru. Vztahy pro úbytky napětí a ztráty na vedení, ke kterým dojdou, použiji poté pro výpočty a vykreslení grafů v Excelu.

Proud transformátorem

Činný výkon procházející transformátorem:

$$P_T = P_x + P_1 + P_2 - P_3 = 20 * 10^6 + 200 * 10^3 + 1600 * 10^3 - 800 * 10^3 \quad (6.16.)$$

$$= 21\text{MW}$$

Jalový výkon transformátoru:

$$Q_T = Q_x + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} =$$

$$= 8 * 10^6 + 80 * 10^3 + 800 * 10^3 + 800 * 10^3 \quad (6.17.)$$

$$+ (-113,93 * 10^3) + (-76,03 * 10^3) + (-31,93 * 10^3)$$

$$= 9,458 \text{MVAr}$$

Z výše vypočtených výkonů lze dopočítat jalový a činný proud procházející transformátorem:

$$I_{t\check{c}} = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{21 * 10^6}{\sqrt{3} * 22000} = 551,1A \quad (6.18.)$$

$$I_{tj} = \frac{Q_t}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{9,458 * 10^6}{\sqrt{3} * 22000} = 248,21A \quad (6.19.)$$

Proudy na vedení

Činný výkon přenášený vedením V_1 :

$$P_A = P_t - P_X = 21 - 20 = 1MW \quad (6.20.)$$

Jalový výkon přenášený vedením V_1 :

$$Q_A = Q_t - Q_X = 9,458 - 8 = 1,458MVar \quad (6.21.)$$

Činná a jalová složka proudu I_A :

$$I_{A\check{c}} = \frac{P_A}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1 * 10^6}{\sqrt{3} * 22000} = 26,24A \quad (6.22.)$$

$$I_{Aj} = \frac{Q_A}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1,458 * 10^6}{\sqrt{3} * 22000} = 38,27A \quad (6.23.)$$

Činný výkon přenášený vedením V_2 :

$$P_B = P_A - P_1 = 1000 - 200 = 800kW \quad (6.24.)$$

Jalový výkon přenášený vedením V_2 :

$$\begin{aligned} Q_B &= Q_2 + Q_3 + Q_{c2} + Q_{c3} = 800 + 800 + (-76,03) + (-31,93) \\ &= 1492,04kVar \end{aligned} \quad (6.25.)$$

Činná a jalová složka proudu I_B :

$$I_{B\check{c}} = \frac{P_B}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{800 * 10^3}{\sqrt{3} * 22000} = 20,99A \quad (6.26.)$$

$$I_{Bj} = \frac{Q_B}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1492,04 * 10^3}{\sqrt{3} * 22000} = 39,16A \quad (6.27.)$$

Činný výkon přenášený vedením V_3 :

$$P_C = P_B + P_3 = 800 + 800 = 1600kW \quad (6.28.)$$

Jalový výkon přenášený vedením V_3 :

$$Q_C = Q_2 + Q_{c3} = 800 + (-31,93) = 768,07kVar \quad (6.29.)$$

Činná a jalová složka proudu I_B :

$$I_{B\check{c}} = \frac{P_B}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1600 * 10^3}{\sqrt{3} * 22000} = 41,99A \quad (6.30.)$$

$$I_{Bj} = \frac{Q_B}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{768,07 * 10^3}{\sqrt{3} * 22000} = 20,16A \quad (6.31.)$$

Úbytky napětí

Ze spočítaných hodnot proudů jsem určil velikost úbytků napětí v jednotlivých úsecích sítě.

Úbytek sdruženého napětí na transformátoru potom je:

$$\begin{aligned} \Delta U_t &= \sqrt{3} * (R_t * I_{t\check{c}} + X_t * I_{tj}) \\ &= \sqrt{3} * (0,033 * 551,1 + 1,389 * 248,21) = 628,65V \end{aligned} \quad (6.32.)$$

Úbytek na vedení V_1 :

$$\begin{aligned} \Delta U_A &= \sqrt{3} * (R_{V1} * I_{A\check{c}} + X_{V1} * I_{Aj}) \\ &= \sqrt{3} * (0,618 * 26,24 + 0,349 * 38,27) = 51,22V \end{aligned} \quad (6.33.)$$

Úbytek na vedení V_2 :

$$\begin{aligned} \Delta U_B &= \sqrt{3} * (R_{V2} * I_{B\check{c}} + X_{V2} * I_{Bj}) \\ &= \sqrt{3} * (0,412 * 20,99 + 0,232 * 39,16) = 30,72V \end{aligned} \quad (6.34.)$$

Úbytek na vedení V_3 :

$$\begin{aligned} \Delta U_C &= \sqrt{3} * (R_{V3} * I_{C\check{c}} + X_{V3} * I_{Cj}) \\ &= \sqrt{3} * (0,32 * 41,99 + 0,126 * 20,16) = 27,67V \end{aligned} \quad (6.35.)$$

Velikost napětí v jednotlivých bodech sítě

Napětí za transformátorem:

Jako výchozí hodnotu výstupního napětí transformátoru budu uvažovat jmenovité napětí sítě, tedy 22kV.

$$U_0 = U_S - \Delta U_t = 22000 - 628,65 = 21\,371,35V \quad (6.36.)$$

Napětí v bodě A:

$$U_A = U_t - \Delta U_A = 21371,35 - 51,22 = 21\,320,13V \quad (6.37.)$$

Napětí v bodě B:

$$U_B = U_A - \Delta U_B = 21320,13 - 30,72 = 21\,289,41V \quad (6.38.)$$

Napětí v bodě C:

$$U_C = U_B - \Delta U_C = 21289,41 - 27,67 = 21\,261,74V \quad (6.39.)$$

Ztráty na vedení

Pro výpočet ztrát musím nejdříve určit efektivní hodnotu proudů:

$$I_A = \sqrt{I_{A\check{c}}^2 + I_{Aj}^2} = \sqrt{26,24^2 + 38,27^2} = 46,4A \quad (6.40.)$$

$$I_B = \sqrt{I_{B\check{c}}^2 + I_{Bj}^2} = \sqrt{20,99^2 + 39,16^2} = 44,43A \quad (6.41.)$$

$$I_C = \sqrt{I_{C\check{c}}^2 + I_{Cj}^2} = \sqrt{41,99^2 + 20,16^2} = 46,58A \quad (6.42.)$$

Následně jsem určil ztráty na vedení V_1 :

$$\Delta P_A = R_{V1} * I_A^2 = 0,618 * 46,4^2 = 1330,52W \quad (6.43.)$$

Ztráty na vedení V_2 :

$$\Delta P_B = R_{V2} * I_B^2 = 0,412 * 44,43^2 = 813,27W \quad (6.44.)$$

Ztráty na vedení V_3 :

$$\Delta P_C = R_{V3} * I_C^2 = 0,32 * 46,5^2 = 694,2W \quad (6.45.)$$

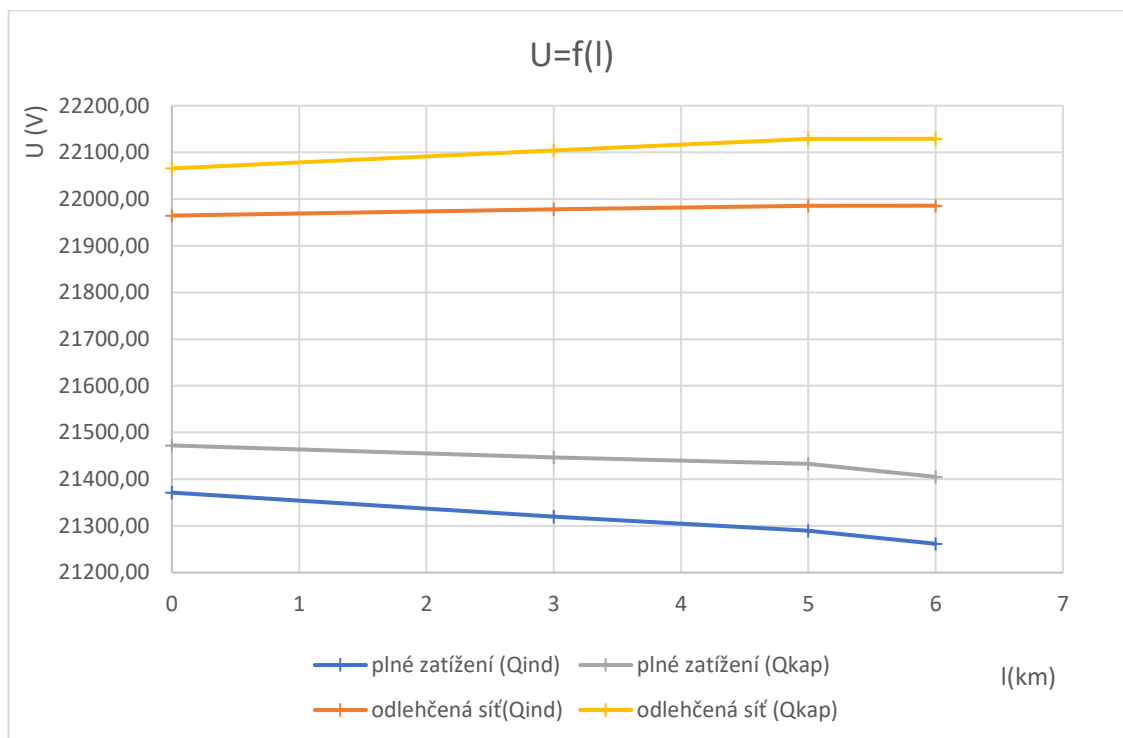
Celkové ztráty v dané síti jsem vypočetl jako:

$$\Delta P = \Delta P_A + \Delta P_B + \Delta P_C = 1330,52 + 813,27 + 694,2 = 2837,99W \quad (6.46.)$$

Výše uvedené vztahy jsem dále použil pro výpočty v Excelu, kde jsem vybral grafické výstupy různých závislostí, které nyní detailněji rozeberu.

6.2 Vliv jalového výkonu vnořeného zdroje na napětí sítě

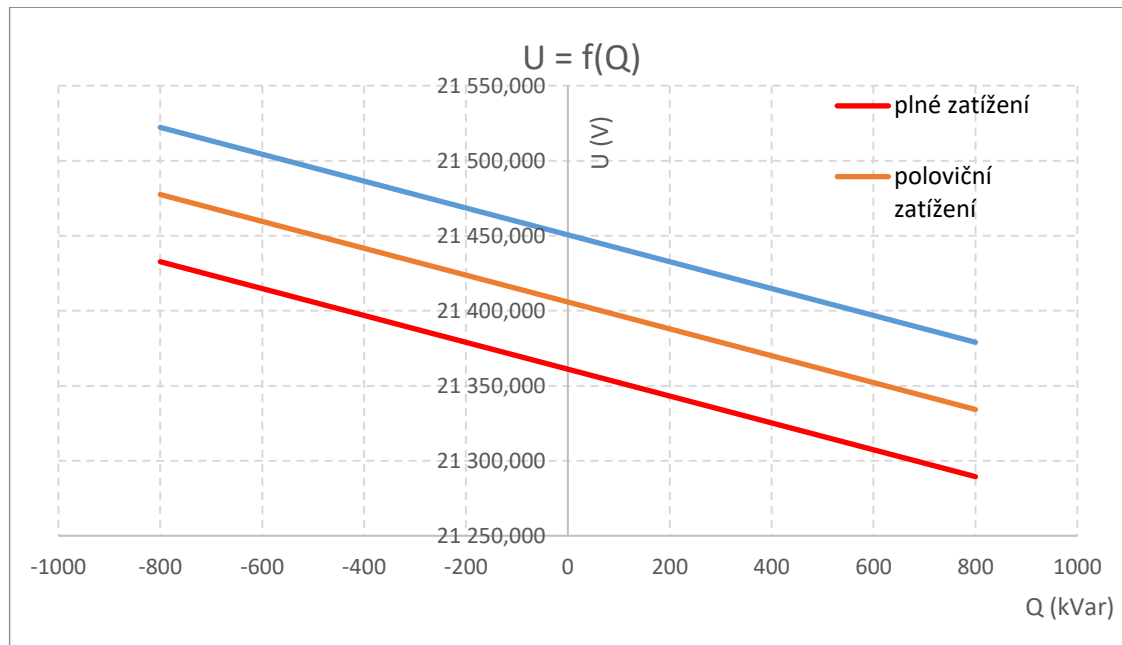
Jak jsem již výše uvedl, jalový výkon má značný vliv na velikost úbytku napětí na vedení. Pro posouzení vlivu jalového výkonu na napěťové poměry v síti jsem vytvořil graf napětí v jednotlivých bodech sítě při různých jalových výkonech dodávaných zdrojem. Jalové výkony jsem měnil v rozmezí $\pm 800kVAr_{kap}^{ind}$, což jsou maximální hodnoty jalového výkonu, které je zdroj připojený do sítě schopen dodávat. Napěťové poměry jsem vyhodnotil pro dva provozní stavy sítě, a sice pro plné zatížení a pro nulové zatížení. Číselné výstupy jednotlivých charakteristik uvádím v příloze č. 1, 2 a 3.



Obr.6.3. Napětíové poměry v síti

Z výše uvedeného grafu je patrné, že vhodným řízením jalového výkonu zdroje připojeného do sítě můžeme zvyšovat, či snižovat velikost napětí sítě. V případě plného zatížení lze vidět značné vykompenzování úbytku napětí při jalovém výkonu $Q_3 = -800 \text{ kVAr}$ oproti situaci, kdy je zdroj induktivního charakteru, tedy $Q_3 = 800 \text{ kVAr}$. V tomto případě činí rozdíl napětí na konci sítě 143V. V případě úplného odlehčení sítě za situace, že zdroj dosahuje plného činného výkonu, dochází k nárůstu napětí v místě připojení oproti začátku vedení. V tomto případě je opět patrné, že vhodným řízením jalového výkonu je možné napětí v místě připojení snížit na téměř stejnou hodnotu, jako je na začátku vedení.

Jako další názornou ukázkou vlivu jalového výkonu na velikost napětí uvádím závislost napětí v místě připojení zdroje na velikosti a charakteru jeho jalového výkonu. Velikost jalového výkonu Q_3 jsem měnil plynule z hodnoty 800kVAr kapacitního charakteru na hodnotu 800kVAr induktivního charakteru. Pro větší znázornění vlivu na napětí jsem vynesl charakteristiky pro 3 stavy sítě, tedy při plném, polovičním a při nulovém zatížení.

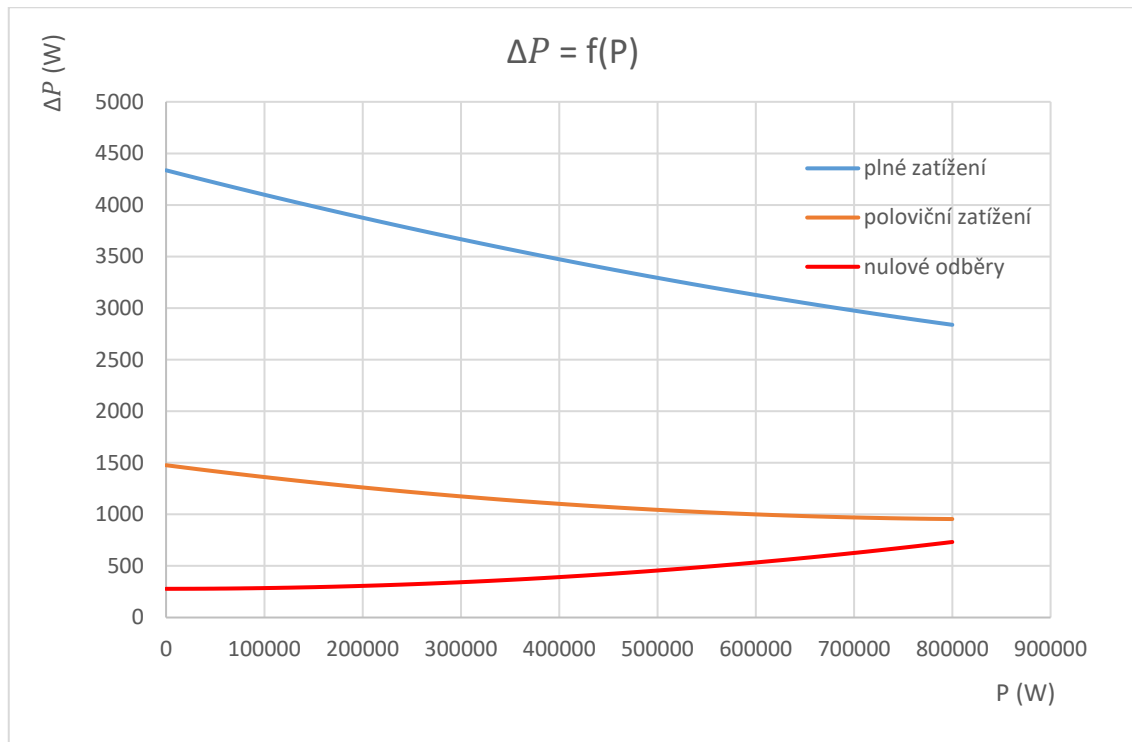


Obr.6.4. Napětí v místě připojení zdroje

Z charakteristik je opět patrné, jaké možnosti řízení napětí pomocí jalového výkonu se nabízejí. Nejvyšších hodnot napětí v místě připojení je dosaženo při maximálním možném kapacitním jalovém výkonu. Naopak v případě induktivního charakteru jalového výkonu dochází ke zvětšení úbytku napětí a s tím i k poklesu napětí v síti. Proměnlivost velikosti odběrů sítě se na velikosti napětí taktéž projevuje, ale sklon charakteristiky zůstává stejný při všech stavech. Z těchto dvou výše uvedených grafů lze pozorovat, jakým způsobem je zdroj připojený do DS schopný podílet se na regulaci napětí ve stanovených mezích. Důležitou roli pro regulaci napětí hraje tedy schopnost řízení jalového výkonu. Konkrétní požadavky na řízení jalového výkonu udává PDS, jak jsem již uvedl v části 3.2.10.

6.3 Závislost ztrát na velikosti dodávaného činného výkonu

V případě obnovitelných zdrojů jako jsou například fotovoltaické či větrné elektrárny, hraje velkou roli silná závislost na aktuálních slunečních či povětrnostních podmínkách. S tímto je spojena i proměnlivost dodávky činného výkonu, což může mít hned několik dopadů na DS. Názornou ukázkou vlivu činného výkonu uvádí graf závislosti ztrát na dodávaném činném výkonu zdrojem, kde hodnota ΔP představuje celkové činné ztráty přenosu po vedení V_1, V_2 a V_3 , viz. vztah 6.46.



Obr.6.5. Průběh ztrát v závislosti na činném výkonu

Pro zobrazení těchto charakteristik jsem zvolil plynulou změnu dodávaného činného výkonu do sítě. Výkon jsem měnil od nulové hodnoty po 800kW, což je maximální možný výkon, který je zdroj schopen dodávat. Charakteristiky jsem vykreslil opět pro 3 různé provozní stavy, tedy plné, poloviční a nulové zatížení. Z průběhů pro plné a poloviční zatížení je patrné, že zdroj svou výrobou činného výkonu snižuje ztráty při přenosu vedením. V případě plného zatížení činné ztráty při nulové dodávce činného výkonu zdrojem 4336W. V situaci, kdy zdroj dodává maximální činný výkon do sítě, dochází k poklesu ztrát na hodnotu 2838W. Důvodem menších ztrát přenosu je snížení přenášeného výkonu po vedení V_1 a V_2 , jelikož při maximálním zatížení je na konci vedení největší odběr v síti o velikosti 1600kW. V případě že bude zdroj vyrábět maximální možný výkon, který činní 800kW, dojde k odlehčení vedení V_1 a V_2 a výkon vyráběný zdrojem je přenášen po vedení V_3 ke spotřebiteli. Tedy výkon 1600kW není přenášen po celé délce vedení, ale polovina potřebného výkonu je vyrobena 1 km od místa spotřeby. Tím dochází ke zmenšení proudu v úsecích vedení V_1 a V_2 , což vede k poklesu ztrát, které jsou dány vztahem $\Delta P = RI^2$. Dalším důvodem zmenšení ztrát je fakt, že vedení V_3 o délce 1 km a měrném odporu 0,32Ω/km má menší odpor než vedení V_1 a V_2 v sériové kombinaci, jejichž celková délka je 5 km s měrným odporem 0,206Ω/km.

6.4 Ekonomičnost provozu

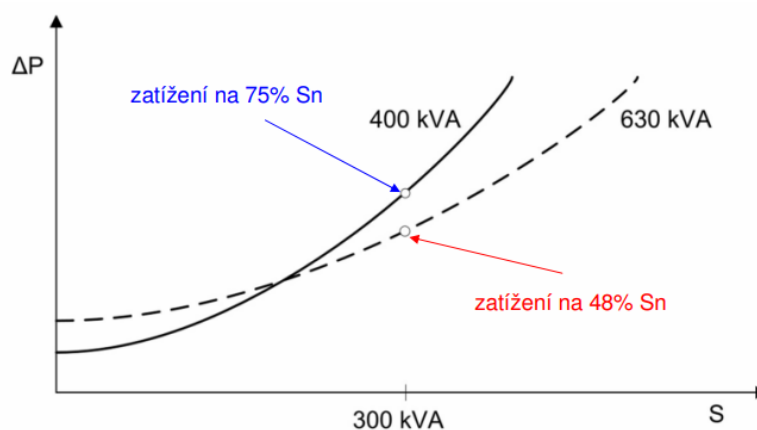
V této části provedu zhodnocení investičních nákladů, které jsou nutné k připojení obnovitelného zdroje do sítě VN. Dále se zaměřím na volbu distribučního transformátoru nejen z hlediska počáteční investice, ale také z hlediska provozních nákladů.

6.4.1 Rozvaděč VN

Pro připojení do DS je nezbytnou součástí rozvaděč VN. V tomto případě se bude jednat o čtyři bloky rozvaděče. První dva bloky budou zajišťovat tzv. zasmyčkování do sítě. V tomto případě se tedy bude jednat o bloky přívodu a vývodu. Přístrojové vybavení přívodního a vývodového pole může být například vypínač, odpojovač, ochrany či dálkové ovládání, přičemž konkrétní řešení udává PDS. Další částí rozvaděče bude pole měření, ve kterém se nacházejí měřicí přístroje pro fakturační měření. Poslední částí rozvaděče bude pole přívodu ze strany transformátoru, ve kterém se opět mohou nacházet vypínací, ochranné a odpojovací prvky. Náklady na jedno pole VN rozvaděče činí 1,2 milionu korun. Konkrétně pak v případě, kdy jsou potřebné čtyři pole, činí celkové náklady na rozvaděč 4,8 milionu korun.

6.4.2 Volba transformátoru

Dalším investičním nákladem pro připojení do sítě je transformátor. V případě transformátoru porovnáváme náklady investiční a provozní. Investiční náklady jsou dány kupní cenou, kterou určuje výrobce. V případě provozních nákladů řešíme z hlediska ekonomiky provozu tzv. optimální zatížení. Optimální zatížení transformátoru by se mělo pohybovat v rozmezí od 50–70 % jmenovitého výkonu. Důvodem tohoto nevyužívání plného výkonu transformátoru je velikost ztrát, kdy při stejném zatížení má transformátor o větším výkonu menší ztráty než více zatížený menší transformátor.



Obr.6.6. Optimální zatížení transformátoru [2]

V této části provedu rozbor transformátorů o různých výkonech z hlediska velikosti provozních ztrát a finančních nákladů na jejich pokrývání. Pro výpočet nákladů pro pokrývání ztrát uvádím parametry transformátorů z katalogu firmy Elpro-Energo.

Tab.6.3. Parametry transformátorů [24]

Typ	S [kVA]	uk [%]	Po [W]	Pk [W]
DOTEL 50H/20	50	4	90	1 100
DOTEL 100H/20	100	4	145	1 750
DOTEL 160H/20	160	4	210	2 350
DOTEL 250H/20	250	4	300	3 250
DOTEL 400H/20	400	4	430	4 600
DOTEL 630H/20	630	4	600	6 500
DOTEL 800H/20	800	6	650	8 400
DOTEL 1000H/20	1000	6	770	10 500
DOTUL 1250H/20	1250	6	950	11 000
DOTUL 1600H/20	1600	6	1 200	14 000
DOTUL 2000H/20	2000	6	1 450	18 000
DOTUL 2500H/20	2500	6	1 750	22 000
DOTUL 3150H/20	3150	6	2 200	27 500

Dále pro vyhodnocení finančních nákladů uvádím ceník transformátorů, který mi byl poskytnut konzultantem.

Tab.6.4. Ceník transformátorů

S (kVA)	Cena (Kč)
630	275 000
800	320 000
1000	390 000
1250	450 000
1600	520 000
2000	650 000

Provozní náklady jednotlivých transformátorů spočítám podle vztahu:

$$N_P = \left[P_0 * T_p + P_{KN} * \left(\frac{S_{stř}}{S_N} \right)^2 * T_p \right] * cw \quad (6.47.)$$

kde T_p je doba provozu, P_0 jsou ztráty naprázdno, P_{KN} jsou ztráty nakrátko, $S_{stř}$ je střední zdánlivý výkon, S_N je jmenovitý zdánlivý výkon a cw je cena za kWh.

Výpočty:

Cenu za vykoupenou elektřinu budu po dohodě s konzultantem uvažovat 2000Kč/MWh, tedy 2Kč/KWh a dobu provozu volím 12 hodin denně s ohledem na omezenou výrobu v případě fotovoltaické elektrárny. Pro provozní náklady za jeden rok budu celý vztah násobit 365.

Střední zatížení transformátoru určím z celkové roční vyrobené energie fotovoltaickou elektrárnou o instalovaném výkonu 800kW. Vyrobenou energii jsem určil pomocí výpočetního modelu PVGIS. Tento model byl vytvořen výzkumným centrem Evropské komise a slouží pro fotovoltaické aplikace k výpočtu výroby elektřiny v jakémkoli místě na území Evropy a Afriky. Hodnoty vypočtené pro tento případ uvádím v příloze č. 5.

Výpočet $S_{stř}$:

Celková vyrobená energie za rok: 838756.57 kWh

Denní vyrobená energie: $838756,57/365 = 2297,96$ kWh

Při uvažování výroby 12 hodin denně bude průměrný činný výkon:

$$P = \frac{2297,96}{12} = 191,5 \text{ kW} \quad (6.48.)$$

Při uvažování $\cos\varphi = 0,95$ dopočítám střední zdánlivý výkon:

$$S_{stř} = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{191,5}{0,95} = 201,58 \text{ KVA} \quad (6.49.)$$

Varianta pro transformátor T1:

$S = 630\text{kVA}$

$P_0 = 600\text{W}$

$P_{KN} = 6500\text{W}$

$$\begin{aligned} N_P &= \left[P_0 * T_p + P_{KN} * \left(\frac{S_{stř}}{S_N} \right)^2 * T_p \right] * cw * 365 = \\ &= \left[0,6 * 12 + 6,5 * \left(\frac{201,58}{630} \right)^2 * 12 \right] * 2 * 365 = 11085,5 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.50.)$$

Varianta pro transformátor T2:

$S = 800\text{kVA}$

$P_0 = 650\text{W}$

$P_{KN} = 8400\text{W}$

$$\begin{aligned} N_P &= \left[P_0 * T_p + P_{KN} * \left(\frac{S_{stř}}{S_N} \right)^2 * T_p \right] * cw * 365 = \\ &= \left[0,65 * 12 + 8,4 * \left(\frac{201,58}{800} \right)^2 * 12 \right] * 2 * 365 = 10366 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.51.)$$

Varianta pro transformátor T3:

$$S = 1000\text{kVA}$$

$$P_0 = 770\text{W}$$

$$P_{KN} = 10500\text{W}$$

$$\begin{aligned} N_P &= \left[P_0 * T_p + P_{KN} * \left(\frac{S_{stř}}{S_N} \right)^2 * T_p \right] * cw * 365 = & (6.52.) \\ &= \left[0,77 * 12 + 10,5 * \left(\frac{201,58}{1000} \right)^2 * 12 \right] * 2 * 365 = 10483 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Varianta pro transformátor T4:

$$S = 1250\text{kVA}$$

$$P_0 = 950\text{W}$$

$$P_{KN} = 11000\text{W}$$

$$\begin{aligned} N_P &= \left[P_0 * T_p + P_{KN} * \left(\frac{S_{stř}}{S_N} \right)^2 * T_p \right] * cw * 365 = & (6.53.) \\ &= \left[0,95 * 12 + 11 * \left(\frac{201,58}{1250} \right)^2 * 12 \right] * 2 * 365 = 10827 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Z hlediska provozních nákladů transformátoru vychází jako nejekonomičtější volbou transformátor se jmenovitým výkonem 800kVA. V tomto případě nelze brát tuto hodnotu jako výchozí pro volbu transformátoru, protože v případě fotovoltaické elektrárny dochází k výrazným výkonovým špičkám. V případě, že fotovoltaická elektrárna bude ve špičkovém výkonu, transformátor s instalovaným výkonem 800kVA by byl přetěžován. S vyšším výkonem přenášeným přes transformátor dochází také k nárůstu ztrát a s nimi i ke zvýšení provozních nákladů. Pro přesnější určení průběhu ztrát a provozních nákladů by bylo potřeba znát naměřené průběhy výkonů na konkrétním zdroji.

Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval problematikou připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. Kolem roku 2010 došlo k razantnímu nárůstu instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v České republice. Tento solární boom byl způsoben především vysokou výkupní cenou elektřiny vyrobenou obnovitelnými zdroji. S tímto rozšířením obnovitelných zdrojů připojených do distribuční sítě ale nastávají problémy s regulací elektrizační soustavy, jelikož Energetický zákon č. 458/2000 Sb. udává povinnost řízení pouze u zdrojů s instalovaným výkonem vyšším než 100kW. Zdroje menších výkonů neměly povinnost podílet se na regulaci sítě. S přibývajícím počtem obnovitelných zdrojů bylo v roce 2016 vydáno Nařízení komise EU (RfG) 2016/631, které udává povinnost regulace u zdrojů nad 800W. Provozovatelé distribuční sítě byli povinni implementovat toto nařízení do svých pravidel provozování distribučních soustav.

Od roku 2016 je umožněno připojování obnovitelných zdrojů menších výkonů do distribuční sítě a následné provozování bez licence vydané Energetickým regulačním úřadem. Toto provozování na základě smlouvy o připojení je ovšem podmíněno velikostí instalovaného výkonu do 10kW včetně. Zároveň jsou ale definována určitá práva a povinnosti, které jsou blíže popsány v Energetickém zákoně č. 458/2000 Sb. V případě, že zdroj splňuje parametry mikrozdroje, které udává vyhláška Energetického regulačního úřadu č.16/2016 Sb., se nabízí možnost zjednodušeného připojení mikrozdroje do distribuční sítě. Zjednodušené připojení umožňuje provozovateli mikrozdroje instalovat výrobu elektrické energie bez předchozího podání žádosti o připojení. K tomuto zjednodušenému připojení jsou ale kladeny určité podmínky, jako je například hodnota impedance proudové smyčky v místě připojení. V případě splnění podmínek zjednodušeného připojení je zcela lhostejné, o jaký typ zdroje se jedná. Provozovatel distribuční sítě neposuzuje podmínky připojitelnosti, ale pouze uzavírá smlouvu o připojení.

V další části práce jsem se zabýval způsoby řízení jalového výkonu a jeho vlivu na velikost napětí. Nejdříve jsem popsal princip kompenzace jalového výkonu, možnosti kompenzace a benefity, které kompenzace bezpochyby přináší. Přenášení jalového výkonu má podstatný vliv na velikost úbytku napětí, což jsem odvodil z fázorových diagramů pro induktivní i kapacitní charakter zátěže. Odvození vztahů pro jednotlivé úbytky napětí jsem následně využil v další části práce, kde jsem řešil případ konkrétní sítě.

Jak jsem již výše uvedl, v poslední části práce jsem se ve spolupráci s Ing. Františkem Žákem, Ph.D. zabýval řešením sítě s vnořeným zdrojem. Hlavním cílem bylo vyhodnocení vlivu zdroje připojeného do sítě VN na napěťové poměry v síti. Napěťové poměry jsem určoval pomocí odvozených vztahů pro úbytky napětí v jednotlivých částech sítě. Velikosti proudů potřebné pro výpočty úbytků jsem počítal z činného a jalového výkonu, které jsou jednotlivými úseky sítě přenášeny. Do jalového výkonu jsem mimo jalový výkon připojeného zdroje a jednotlivých odběrů započítával také nabíjecí výkony kabelových vedení, které nabývají nezanedbatelných hodnot. Vliv jalového výkonu připojeného zdroje na napěťové poměry v jednotlivých bodech sítě jsem vyhodnotil na Obr.6.3. Z těchto charakteristik je patrné, že velikost spolu s charakterem jalového výkonu mají nezanedbatelný vliv na velikost napětí v síti. V případě, že zdroj odebírá jalový výkon a má induktivní charakter, je při plném zatížení sítě velikost napětí v místě připojení 21,289kV. Naopak v případě, že zdroj dodává jalovou energii do sítě a má kapacitní charakter, je velikost napětí v místě připojení 21,985kV. Rozdíl velikostí napětí při jalovém výkonu stejné velikosti, ale s opačným charakterem, činí bezmála 700V. Takový rozdíl napětí dosahuje 3,1% jmenovité hodnoty sítě, což se na první pohled nemusí zdát jako převratná hodnota, ale schopnost řízení jalového výkonu může v takovém případě výrazně ulehčit regulaci napětí v povolených mezích. Poté jsem uvedl příklad, jakým způsobem se může zdroj podílet na regulaci napětí v místě připojení. Pro znázornění jsem plynule měnil jalový výkon zdroje z kapacitního do induktivního charakteru a vynesl charakteristiky v závislosti na napětí pro tři různé provozní stavy viz. Obr.6.4. Z těchto charakteristik lze opět vyvodit závěr, že jalový výkon má zásadní vliv na hodnoty napětí sítě. Hodnota napětí v místě připojení se v závislosti na jalovém výkonu mění lineárně a směrnice charakteristiky je stejná pro jakýkoli stav sítě. Regulace napětí pomocí jalového výkonu tedy probíhá za každé situace v lineární závislosti a nejvyšších hodnot dosahuje napětí při kapacitním jalovém výkonu. Jelikož se obnovitelné zdroje jako například fotovoltaické či větrné elektrárny vyznačují častými výkyvy dodávaného činného výkonu, vynesl jsem charakteristiky velikosti ztrát v závislosti na dodávaném výkonu zdroje. Průběh činných ztrát na vedení jsem vynesl opět pro tři různé provozní stavy do Obr.6.5. Z výsledků je patrné, že dodávkou činného výkonu zdrojem dochází ke zmenšení ztrát při přenosu elektrické energie. Snížení ztrát při přenosu je dáno především jistým odlehčením určitých částí vedení, jelikož potřebný výkon je vyráběn blíže ke spotřebiči. Prostřednictvím těchto výpočtů jsem došel k závěru, že vhodným řízením jalového výkonu připojeného zdroje

je možné podílet se na regulaci napětí v síti. V neposlední řadě kompenzací jalového výkonu dochází ke snížení ztrát při přenosu, což vede ke snížení provozních nákladů. Ke snížení ztrát přispívá také vyráběný činný výkon blíže ke spotřebě. Ovšem v případě fotovoltaických či větrných elektráren musí být brán zřetel na výkyvy dodávaného výkonu. V poslední části této kapitoly jsem provedl finanční zhodnocení z hlediska investičních nákladů pro připojení do sítě VN. V této části jsem uvedl náklady na rozvaděč VN, ceny transformátorů a také provozní náklady jednotlivých transformátorů. Volbu transformátoru z hlediska provozních nákladů jsem určil ze středního zdánlivého výkonu při denním provozu 12 hodin. Tento výpočet je ovšem pouze orientační, jelikož se v tomto případě fotovoltaická elektrárna vyznačuje značným kolísáním dodávaného výkonu.

Na závěr bych rád dodal, že vypracování této práce mi upevnilo a prohloubilo znalosti, které jsem v průběhu bakalářského studia nabyt. Hlavním přínosem pro mě bylo praktické použití teoretických poznatků, které jsem načerpal v odborných předmětech. Téma obnovitelných zdrojů je v této době z mého pohledu důležité, jelikož je kladen stále větší a větší důraz na udržitelnost a ekologii. Ovšem z hlediska výrobních vlastností a dodávky elektrické energie do elektrizační soustavy nejsou obnovitelné zdroje ideálním řešením. Hlavním odůvodněním je totiž fakt, že pro zachování současné spolehlivosti a kvality dodávky elektrické energie nemohou být v našich podmínkách brány jako hlavní zdroj elektrické energie, ale pouze jako její doplněk.

Literatura

- [1] SVĚT ENERGIE. ELEKTRIZAČNÍ A PŘENOSOVÁ SOUSTAVA [online] [cit.1.11.2021] dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobne/elektrizacni-a-prenosova-soustava/vyklad>
- [2] Studijní materiály EE2 [online]. [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/ee2/prednasky.html>
- [3] ČEPS. ENTSO-E [online] [cit.1.11.2021] dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/entso-e>
- [4] SVĚT ENERGIE. TOPOLOGIE DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ [online] [cit.06.11.2021] dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobne/topologie-distribucnich-siti/vyklad>
- [5] OTE.INSTALOVANÝ VÝKON ZDROJŮ REGISTROVANÝCH V SYSTÉMU OTE [online] [cit. 06.11.2021] dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/statistika-poze/registrace>
- [6] OTE.NÁRODNÍ ENERGETICKÝ MIX [online][cit.06.11.2021] dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [7] SVĚT ENERGIE. TOPOLOGIE DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ [online][cit.17.11.2021] dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobne/topologie-distribucnich-siti/vyklad>
- [8] SOLÁRNÍ ASOCIACE. POTENCIÁL FOTOVOLTAIKY V ČESKU [online] [cit.17.11.2021] dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/15156-jaky-je-potencial-fotovoltaiky-v-cesku>
- [9] ISOFENERGY. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V ČR [online] [cit.17.11.2021] dostupné z: <http://www.isofenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [10] HANSILIAN, David. Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice u perspektivy roku 2020 [online]. In: Praha, 2020, [cit.18.11.2021] dostupné z: <https://csve.cz/img/wysiwyg/file/Potencial-vetrne-energie-2020.pdf>
- [11] ČSVE. VĚTRNÁ MAPA [online] [cit.18.11.2021] dostupné z: <https://csve.cz/cz/clanky/vetrna-mapa/35>

[12] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ROCE 2020 [online] [cit.18.11.2021] dostupné z:

<https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2021/9/Obnovitelne-zdroje-energie-2020.pdf>

[13] SVĚT ENERGIE. BIOPLYNOVÁ STANICE [online] [cit.18.11.2021] dostupné z:

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

[14] PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [online] [cit.03.12.2021] dostupné z:

https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2021_priloha-4.pdf

[15] INTEGRACE DECENTRÁLNÍCH ZDROJŮ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY [online] [cit.03.12.2021]

dostupné z: http://www.spvez.cz/files/Integrace_decentralnich_zdroju_do_DS.pdf

[16] OBVODOVÉ VELIČINY [online] [cit.03.12.2021] dostupné z:

<https://www.vovcr.cz/odz/tech/381/page10.html>

[17] FOTOVOLTAICKÝ STRÍDAČ [online] [cit.30.12.2021] dostupné z:

<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>

[18] HVDC – STEJNOSMĚRNÝ PŘENOS ENERGIE [online] [cit.30.12.2021]

dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/hvdc-stejnospmerny-prenos-elektricke-energie>

[19] NORTH SEA LINK INTERCONNECTOR PROJECT [online] [cit.30.12.2021]

dostupné z: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/north-sea-link-interconnector-project/#>

[20] BELO MONTE – RIO DE JANEIRO UHVDC TRANSMISSION PROJECT

[online] [cit.30.12.2021] dostupné z: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/belo-monte-rio-de-janeiro-uhvdc-transmission-project/#>

[21] ENERGETICKÝ ZÁKON [online] [cit.06.04.2022] dostupné z:

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458?text=%C2%A728>

[22] VYHLÁŠKA Č.16/2016 Sb. [online] [cit.14.04.2022] dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16?text=%C2%A716>

[23] E. Dvorský, KOMPENZACE V ES [online] [cit.14.04.2022] dostupné z:
<https://home.zcu.cz/~dvorsky/MR/Prednasky.html>

[24] OLEJOVÉ TRANSFORMÁTORY SGB [online] [cit.10.5.2022] dostupné z:
https://www.elpro-energo.cz/download/olejove-transformatory/Ecodesign_olej.pdf

[25] K. Noháč, Ferrantiho jev [online] [cit.10.5.2022] dostupné z:
http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Ferrantiho_jev-Colaboratory.pdf

Přílohy

Příloha 1 – Tabulka hodnot pro charakteristiky napětí v závislosti na jalovém výkonu

Plné zatížení		poloviční		nulové odběry	
Q fve	dU (V)	Q fve	dU (V)	Q fve	dU (V)
-800	21432,68	-800	21477,46	-800,00	21522,23
-784	21431,25	-784	21476,03	-784,00	21520,8
-768	21429,82	-768	21474,59	-768,00	21519,37
-752	21428,39	-752	21473,16	-752,00	21517,93
-736	21426,95	-736	21471,73	-736,00	21516,5
-720	21425,52	-720	21470,29	-720,00	21515,07
-704	21424,09	-704	21468,86	-704,00	21513,64
-688	21422,66	-688	21467,43	-688,00	21512,2
-672	21421,22	-672	21466	-672,00	21510,77
-656	21419,79	-656	21464,56	-656,00	21509,34
-640	21418,36	-640	21463,13	-640,00	21507,9
-624	21416,92	-624	21461,7	-624,00	21506,47
-608	21415,49	-608	21460,27	-608,00	21505,04
-592	21414,06	-592	21458,83	-592,00	21503,61
-576	21412,63	-576	21457,4	-576,00	21502,17
-560	21411,19	-560	21455,97	-560,00	21500,74
-544	21409,76	-544	21454,53	-544,00	21499,31
-528	21408,33	-528	21453,1	-528,00	21497,88
-512	21406,9	-512	21451,67	-512,00	21496,44
-496	21405,46	-496	21450,24	-496,00	21495,01
-480	21404,03	-480	21448,8	-480,00	21493,58
-464	21402,6	-464	21447,37	-464,00	21492,14
-448	21401,16	-448	21445,94	-448,00	21490,71
-432	21399,73	-432	21444,51	-432,00	21489,28
-416	21398,3	-416	21443,07	-416,00	21487,85
-400	21396,87	-400	21441,64	-400,00	21486,41
-384	21395,43	-384	21440,21	-384,00	21484,98
-368	21394	-368	21438,77	-368,00	21483,55
-352	21392,57	-352	21437,34	-352,00	21482,12
-336	21391,14	-336	21435,91	-336,00	21480,68
-320	21389,7	-320	21434,48	-320,00	21479,25
-304	21388,27	-304	21433,04	-304,00	21477,82
-288	21386,84	-288	21431,61	-288,00	21476,38
-272	21385,4	-272	21430,18	-272,00	21474,95
-256	21383,97	-256	21428,75	-256,00	21473,52
-240	21382,54	-240	21427,31	-240,00	21472,09
-224	21381,11	-224	21425,88	-224,00	21470,65

-208	21379,67	-208	21424,45	-208,00	21469,22
-192	21378,24	-192	21423,01	-192,00	21467,79
-176	21376,81	-176	21421,58	-176,00	21466,36
-160	21375,38	-160	21420,15	-160,00	21464,92
-144	21373,94	-144	21418,72	-144,00	21463,49
-128	21372,51	-128	21417,28	-128,00	21462,06
-112	21371,08	-112	21415,85	-112,00	21460,62
-96	21369,64	-96	21414,42	-96,00	21459,19
-80	21368,21	-80	21412,99	-80,00	21457,76
-64	21366,78	-64	21411,55	-64,00	21456,33
-48	21365,35	-48	21410,12	-48,00	21454,89
-32	21363,91	-32	21408,69	-32,00	21453,46
-16	21362,48	-16	21407,25	-16,00	21452,03
0	21361,05	0	21405,82	0,00	21450,6
16	21359,62	16	21404,39	16,00	21449,16
32	21358,18	32	21402,96	32,00	21447,73
48	21356,75	48	21401,52	48,00	21446,3
64	21355,32	64	21400,09	64,00	21444,86
80	21353,88	80	21398,66	80,00	21443,43
96	21352,45	96	21397,23	96,00	21442
112	21351,02	112	21395,79	112,00	21440,57
128	21349,59	128	21394,36	128,00	21439,13
144	21348,15	144	21392,93	144,00	21437,7
160	21346,72	160	21391,49	160,00	21436,27
176	21345,29	176	21390,06	176,00	21434,84
192	21343,86	192	21388,63	192,00	21433,4
208	21342,42	208	21387,2	208,00	21431,97
224	21340,99	224	21385,76	224,00	21430,54
240	21339,56	240	21384,33	240,00	21429,1
256	21338,12	256	21382,9	256,00	21427,67
272	21336,69	272	21381,47	272,00	21426,24
288	21335,26	288	21380,03	288,00	21424,81
304	21333,83	304	21378,6	304,00	21423,37
320	21332,39	320	21377,17	320,00	21421,94
336	21330,96	336	21375,73	336,00	21420,51
352	21329,53	352	21374,3	352,00	21419,08
368	21328,1	368	21372,87	368,00	21417,64
384	21326,66	384	21371,44	384,00	21416,21
400	21325,23	400	21370	400,00	21414,78
416	21323,8	416	21368,57	416,00	21413,34
432	21322,36	432	21367,14	432,00	21411,91
448	21320,93	448	21365,71	448,00	21410,48
464	21319,5	464	21364,27	464,00	21409,05
480	21318,07	480	21362,84	480,00	21407,61

496	21316,63	496	21361,41	496,00	21406,18
512	21315,2	512	21359,97	512,00	21404,75
528	21313,77	528	21358,54	528,00	21403,32
544	21312,34	544	21357,11	544,00	21401,88
560	21310,9	560	21355,68	560,00	21400,45
576	21309,47	576	21354,24	576,00	21399,02
592	21308,04	592	21352,81	592,00	21397,58
608	21306,6	608	21351,38	608,00	21396,15
624	21305,17	624	21349,95	624,00	21394,72
640	21303,74	640	21348,51	640,00	21393,29
656	21302,31	656	21347,08	656,00	21391,85
672	21300,87	672	21345,65	672,00	21390,42
688	21299,44	688	21344,21	688,00	21388,99
704	21298,01	704	21342,78	704,00	21387,56
720	21296,58	720	21341,35	720,00	21386,12
736	21295,14	736	21339,92	736,00	21384,69
752	21293,71	752	21338,48	752,00	21383,26
768	21292,28	768	21337,05	768,00	21381,82
784	21290,84	784	21335,62	784,00	21380,39
800	21289,41	800	21334,19	800,00	21378,96

Příloha 2 – Tabulky hodnot pro charakteristiky napěťových poměrů v jednotlivých bodech sítě

plné zatížení-Q = max ind:

l (km)	U (V)
0	21371,35
3	21320,13
5	21289,41
6	21261,74

plné zatížení-Q = max kap:

l (km)	U (V)
0	21472,37
3	21446,53
5	21432,68
6	21405,01

odlehčená síť – Q = max ind

l (km)	U (V)
0	21964,70
3	21978,00
5	21985,69
6	21985,87

odlehčená síť – Q = max kap

l (km)	U (V)
0	22065,72
3	22104,40
5	22128,96
6	22129,14

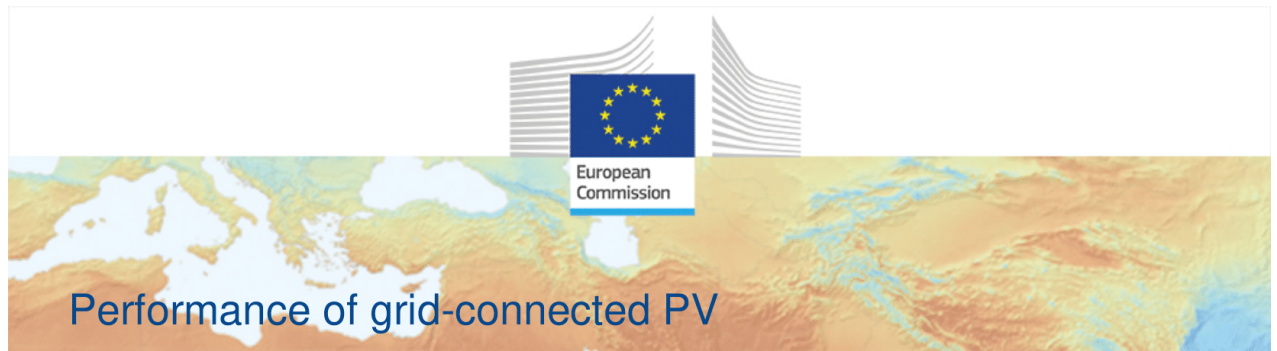
Příloha 3 – Tabulka hodnot závislosti ztrát na činném výkonu

plné zatížení		poloviční zatížení		nulové odběry	
P (W)	ΔP (W)	P (W)	ΔP (W)	P (W)	ΔP (W)
0	4336,175	0	1476,811	0	278,3633
8000	4316,699	8000	1467,096	8000	278,4087
16000	4297,313	16000	1457,471	16000	278,5449
24000	4278,018	24000	1447,937	24000	278,7719
32000	4258,814	32000	1438,494	32000	279,0897
40000	4239,701	40000	1429,142	40000	279,4983
48000	4220,679	48000	1419,88	48000	279,9977
56000	4201,747	56000	1410,71	56000	280,5879
64000	4182,906	64000	1401,63	64000	281,2689
72000	4164,156	72000	1392,641	72000	282,0407
80000	4145,497	80000	1383,742	80000	282,9033
88000	4126,929	88000	1374,935	88000	283,8566
96000	4108,451	96000	1366,218	96000	284,9008
104000	4090,065	104000	1357,592	104000	286,0358
112000	4071,769	112000	1349,057	112000	287,2616
120000	4053,563	120000	1340,613	120000	288,5782
128000	4035,449	128000	1332,259	128000	289,9856
136000	4017,425	136000	1323,997	136000	291,4838
144000	3999,493	144000	1315,825	144000	293,0727
152000	3981,651	152000	1307,744	152000	294,7525
160000	3963,899	160000	1299,753	160000	296,5231
168000	3946,239	168000	1291,854	168000	298,3845
176000	3928,669	176000	1284,045	176000	300,3366
184000	3911,191	184000	1276,327	184000	302,3796
192000	3893,803	192000	1268,7	192000	304,5134
200000	3876,506	200000	1261,164	200000	306,738
208000	3859,299	208000	1253,718	208000	309,0533
216000	3842,184	216000	1246,364	216000	311,4595
224000	3825,159	224000	1239,1	224000	313,9565
232000	3808,225	232000	1231,927	232000	316,5442
240000	3791,382	240000	1224,844	240000	319,2228
248000	3774,629	248000	1217,853	248000	321,9922
256000	3757,968	256000	1210,952	256000	324,8523
264000	3741,397	264000	1204,142	264000	327,8033
272000	3724,917	272000	1197,423	272000	330,8451
280000	3708,528	280000	1190,795	280000	333,9776
288000	3692,229	288000	1184,257	288000	337,201
296000	3676,022	296000	1177,811	296000	340,5152
304000	3659,905	304000	1171,455	304000	343,9201
312000	3643,879	312000	1165,189	312000	347,4159
320000	3627,944	320000	1159,015	320000	351,0024

328000	3612,099	328000	1152,932	328000	354,6798
336000	3596,346	336000	1146,939	336000	358,4479
344000	3580,683	344000	1141,037	344000	362,3069
352000	3565,111	352000	1135,226	352000	366,2566
360000	3549,629	360000	1129,505	360000	370,2972
368000	3534,239	368000	1123,876	368000	374,4285
376000	3518,939	376000	1118,337	376000	378,6507
384000	3503,731	384000	1112,889	384000	382,9636
392000	3488,613	392000	1107,532	392000	387,3674
400000	3473,585	400000	1102,266	400000	391,8619
408000	3458,649	408000	1097,09	408000	396,4473
416000	3443,803	416000	1092,006	416000	401,1234
424000	3429,049	424000	1087,012	424000	405,8904
432000	3414,385	432000	1082,108	432000	410,7481
440000	3399,811	440000	1077,296	440000	415,6966
448000	3385,329	448000	1072,575	448000	420,736
456000	3370,937	456000	1067,944	456000	425,8661
464000	3356,636	464000	1063,404	464000	431,0871
472000	3342,426	472000	1058,955	472000	436,3988
480000	3328,307	480000	1054,596	480000	441,8013
488000	3314,279	488000	1050,329	488000	447,2947
496000	3300,341	496000	1046,152	496000	452,8788
504000	3286,494	504000	1042,066	504000	458,5537
512000	3272,738	512000	1038,071	512000	464,3195
520000	3259,073	520000	1034,167	520000	470,176
528000	3245,499	528000	1030,353	528000	476,1233
536000	3232,015	536000	1026,63	536000	482,1614
544000	3218,622	544000	1022,998	544000	488,2904
552000	3205,32	552000	1019,457	552000	494,5101
560000	3192,109	560000	1016,007	560000	500,8206
568000	3178,988	568000	1012,647	568000	507,2219
576000	3165,959	576000	1009,379	576000	513,7141
584000	3153,02	584000	1006,201	584000	520,297
592000	3140,172	592000	1003,113	592000	526,9707
600000	3127,415	600000	1000,117	600000	533,7352
608000	3114,748	608000	997,2115	608000	540,5905
616000	3102,173	616000	994,3967	616000	547,5366
624000	3089,688	624000	991,6728	624000	554,5736
632000	3077,294	632000	989,0396	632000	561,7013
640000	3064,99	640000	986,4972	640000	568,9198
648000	3052,778	648000	984,0457	648000	576,2291
656000	3040,656	656000	981,6849	656000	583,6292
664000	3028,625	664000	979,4149	664000	591,1201
672000	3016,685	672000	977,2357	672000	598,7018

680000	3004,836	680000	975,1474	680000	606,3743
688000	2993,078	688000	973,1498	688000	614,1376
696000	2981,41	696000	971,243	696000	621,9917
704000	2969,833	704000	969,427	704000	629,9366
712000	2958,347	712000	967,7019	712000	637,9723
720000	2946,952	720000	966,0675	720000	646,0988
728000	2935,647	728000	964,5239	728000	654,3161
736000	2924,434	736000	963,0711	736000	662,6242
744000	2913,311	744000	961,7091	744000	671,0231
752000	2902,279	752000	960,4379	752000	679,5128
760000	2891,337	760000	959,2576	760000	688,0933
768000	2880,487	768000	958,168	768000	696,7646
776000	2869,727	776000	957,1692	776000	705,5267
784000	2859,058	784000	956,2612	784000	714,3796
792000	2848,48	792000	955,444	792000	723,3233
800000	2837,993	800000	954,7176	800000	732,3578

Příloha 4 – výstupy z PVGIS



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

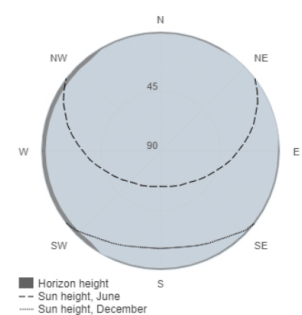
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 50.270,13.531
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 800 kWp
 System loss: 14 %

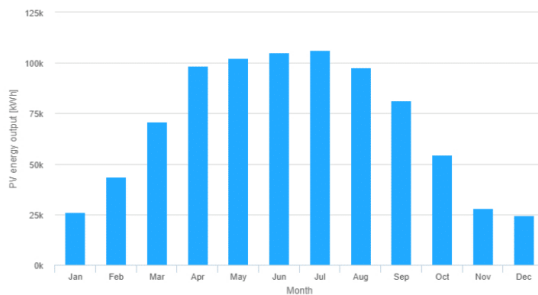
Simulation outputs

Slope angle: 30 °
 Azimuth angle: 0 °
 Yearly PV energy production: 838756.57 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1312.4 kWh/m²
 Year-to-year variability: 46423.37 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -3.16 %
 Spectral effects: 1.73 %
 Temperature and low irradiance: -5.7 %
 Total loss: -20.11 %

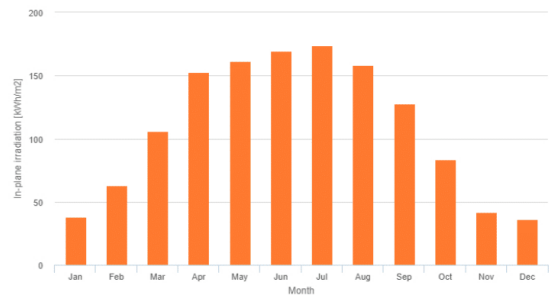
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	25960.637.9	4604.6	
February	43501.162.8	10720.0	
March	70690.9105.9	12565.2	
April	98569.3152.6	16191.8	
May	102581.261.3	15101.9	
June	105053.869.7	9406.2	
July	106284.874.0	10499.0	
August	97758.5158.5	9643.3	
September	81300.7127.9	11091.3	
October	54495.283.4	10235.9	
November	27898.442.0	5827.2	
December	24662.636.3	4326.8	

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

PVGIS ©European Union, 2001-2022.
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/05/09

