

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rok 2011

Michal Špaček

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Obnovitelné zdroje v distribuční síti
Renewable Power Sources in Distribution Network.

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Špaček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Obnovitelné zdroje v distribuční síti.
Renewable Power Sources in Distribution Network.**

Zásady pro vypracování:

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

Seznam doporučené odborné literatury:

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

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

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

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

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

Datum odevzdání bakalářské práce:

Podpis:

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat své rodině za podporu při studiu a při tvorbě této práce. Rovněž bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému, vedoucímu bakalářské práce, za trpělivost, inspiraci, cenné rady a metodické vedení práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje „obnovitelné zdroje v distribuční síti“. Hlavním cílem této práce je blíže představit stále více se rozvíjející obnovitelné zdroje elektrické energie, které jsou připojovány do distribučních sítí. Z hlediska obsahu je tato práce rozdělena do pěti částí. První část popisuje rozvody elektrické energie, kde je obecně popsána přenosová a rozvodná soustava. Další část vystihuje jednotlivé obnovitelné zdroje elektrické energie nacházející se v České republice z jejich principu, vlastností a umístění. Třetí část objasňuje jednotlivé rušivé zpětné vlivy, mezi které může patřit změna napětí, flickr, ovlivňování signálu HDO, vyšší harmonické a nestálost výkonu dodávky elektrické energie. Předposlední čtvrtá část popisuje připojitelnost obnovitelných zdrojů elektrické energie z hlediska kompenzace jalového výkonu, podmínek připojení a povolení rozsahu rušivých zpětných vlivů v síti. V poslední části se posuzuje připojení fotovoltaické elektrárny do modelu distribuční sítě a to z hlediska úbytků napětí.

Abstract

This bachelor thesis describes the „renewable resources in the distribution network“. The main aim of this work is to introduce more closer to developing renewable sources of electricity that are connected to distribution networks. With the view of content is this thesis dividend into five parts. The first part describes the distribution of electricity where is generally described transpmiton and distribution system. The next part describes individua renewable sources of electric energy located on Czech Republic of its principle, characteristic and location. Third part explains individua efects of retroactive interference which may include change of woltage, flicker, influence of HDO signal, harmonic and the volatility of electric energy supply. The penultimate fourth part describes the connectivity of renewable sources of electrical energy with the wiew of reactive power compensation, connection conditions and permit scale of disturbing reversing efects in the network. The final section asseses the connectoion of photovoltaic power-station to distribution network model in therms of the voltage drop.

Klíčová slova

Distribuční síť; obnovitelné zdroje; zpětné vlivy; limity připojitelnosti; flickr; změny napětí; ovlivňování signálu HDO; harmonické; fotovoltaické elektrárny; větrné elektrárny; vodní elektrárny; elektrárny na biomasu; kogenerační jednotky

Key words

Distribution networks; renewable resources; feedback effects; levels of connectivity; flicker; voltage changes; influencing the MRC signal; harmonics; solar power; wind power; hydro power; biomass power plants; cogeneration units

Seznam zkratek:

$\cos \varphi$ – účinník

dB – decibel

EU – evropská unie

f – frekvence

FVČ – fotovoltaický článek

FVE – fotovoltaická elektrárna

g – tíhové zrychlení

H – užitný spád

Hz – hertz

HDO – hromadné dálkové ovládání

I – proud

I_c – proud činný

I_j – proud jalový

I_k – efektivní hodnota zkratového proudu

I_p – nárazový zkratový proud

I_{ss} – stejnosměrná složka zkratového proudu

$i_{vpř}$ – vztažený proud

kg – kilogram

km – kilometr

l_{xx} – délka vedení

nn – nízké napětí

P – činný výkon

PC – počítač

P_t – výkon vodní turbíny

P_{lt} – dlouhodobá míra flikru

Q – objemový průtok vodní turbínou

R_S – odpor sítě

S – zdánlivý výkon

S_{FVP} – jmenovitý výkon FVP

S_{KZ} – zkratový výkon v místě připojení zátěže

S_{kV} – zkratový výkon

S_{nE} – jmenovitý výkon zařízení

S_{rA} – jmenovitý výkon celého zařízení

S_{xx} – zdánlivý výkon

THD – činitel harmonického zkreslení

THDI – činitel harmonického zkreslení proudu

THDU – činitel harmonického zkreslení napětí

ΔU – úbytek napětí

U - napětí

U_n – napětí jmenovité

U_{usm} – jmenovité napětí usměřovače

v_n – vysoké napětí

W_p – špičkový výkon

X_s – reaktance sítě

Y - měrná energie vody

Z_s – impedance sítě

$^{\circ}C$ – stupeň celsia

ρ – hustota vody

η_g – účinnost generátoru

η_p – účinnost potrubí

η_t – účinnost turbíny

η_{tr} – účinnost transformátoru

Φ – světelný tok

φ_i – fázový úhel

Ψ_{kV} – úhel zkratové impedance

Δf – úbytek frekvence

Obsah:

1. Úvod do problematiky.....	10
2. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn.....	11
2.1 Příklady připojení výroben	12
3. Obnovitelné zdroje	14
3.1 Fotovoltaické elektrárny	14
3.2 Větrné elektrárny	17
3.3 Vodní elektrárny	20
3.4 Elektrárny na biomasu	23
3.5 Kogenerační jednotky	24
4 Zpětné vlivy výroben na distribuční síť	27
4.1 Změny napětí	27
4.2 Flicker	27
4.3 Ovlivnění signálu HDO	30
4.4 Harmonické	31
4.5 Zkratové poměry	32
4.6 Nestálost dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů	35
5 Limity připojitelnou	36
5.1 Kompenzace jalového výkonu.....	37
5.2 Podmínky pro připojení	38
5.3 Zpětné vlivy na napájecí síť	39
5.3.1 Změna napětí	40
5.3.2 Flicker.....	40
5.3.3 Proud harmonických	41
5.3.4 Ovlivňování signálu HDO	42
6 Posouzení modelu vedení, do kterého má být připojena FVE	44
6.1 Výpočet vedení bez FVE	45
6.2 Výpočet vedení s FVE	50
6.3 Výpočet povoleného výkonu pro FVE	54
6.4 Program pro výpočet vedení	56
6.5 Zhodnocení připojení FVE	59
7 Závěr	62
Seznam použité literatury	63

1. Úvod do problematiky

V poslední době se poukazuje na ochranu životního prostředí, kterou nejvíce ovlivňuje doprava, průmysl a energetika. Proto se tedy přikláníme k šetrné výrobě tepla a elektrické energie, která neovlivňuje životní prostředí nebo jen z části. Mezi nejvíce používané obnovitelné zdroje v České republice patří fotovoltaické elektrárny, malé vodní elektrárny, větrné elektrárny a kogenerační jednotky. Všechny tyto zdroje jsou z hlediska funkce závislé na různých faktorech. Příkladem může být fotovoltaická elektrárna, která je ovlivňována slunečním svitem, který je velice nestálý, jak v průběhu dne, tak během celého roku. U vodních elektráren je ovlivňujícím faktorem množství vody, která protéká v daném místě. U větrných elektráren je to vítr, který je nejvíce proměnný ze všech jmenovaných vlivů. Jednotlivé faktory, které mají vliv na tyto zdroje, jsou velmi proměnné a dají se těžce předpokládat, patří mezi ně sluneční svit, vodní toky a rychlost větru. Tyto zdroje jsou velmi nestálé z hlediska dodávky elektrické energie, což velmi ovlivňuje síť. Největší problém nastává u velkých výroben, kde dochází k rušivým vlivům v síti, či dokonce k celkovému výpadku sítě. Z hlediska bezpečnosti sítě se nikdy neužívá, aby jeden druh obnovitelného zdroje napájel samostatně danou část vedení. Bývá však v paralelním provozu s jiným zdrojem, který poskytuje konstantní dodávku elektrického výkonu (tepelné elektrárny, jaderné elektrárny atd.). Ve světě se často setkáváme s chybnými projekty, kdy na jednom místě bývá umístěno více obnovitelných zdrojů elektrické energie. Často to bývá u větrných elektráren. Pokud máme v jedné lokalitě více než sto větrných elektráren, dochází k značnému ovlivňování sítě. Příklad může být následující: Když nefouká vítr, nedochází k výrobě elektrické energie, což má za následek nedostatečné množství dodávky elektrického energie. Musí se tedy spustit přečerpávací vodní elektrárny, nebo jiné záložní (sekundární) zdroje. Naopak, pokud fouká velmi silný vítr, dochází k značně vysoké výrobě elektrické energie, tím vzniká přebytek výkonu. Většina nových větrných elektráren se při takových situacích odstává z provozu. Podobné situace mohou nastat i u fotovoltaických elektráren. V síti mohou nastat i jiné rušivé vlivy, které ovlivňují síť, ale i okolní prostředí. Proto každý provozovatel výroby elektrické energie, který je připojen do sítě, se musí řídit pravidly, aby byl zaručen správný chod sítě a neovlivňoval ostatní výrobce a odběratele.

2. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn

Elektrická přenosová soustava je systém zařízení, která zajišťují přenos elektrické energie od výrobců k odběratelům, čímž se míní přenos ve velkých měřících, od velkých zdrojů (elektráren) k velkým rozvodnám. Část od rozvodu k jednotlivým uživatelům, tedy například k domácnostem, se nazývá „distribuce elektrické energie“ a odpovídající zařízení distribuční soustava. Přenosová soustava by se dala zhruba přirovnat k dálniční síti – tvoří páteř přenosu elektrické energie a zajišťuje přenosy na velké vzdálenosti a ve velkých objemech. [1]

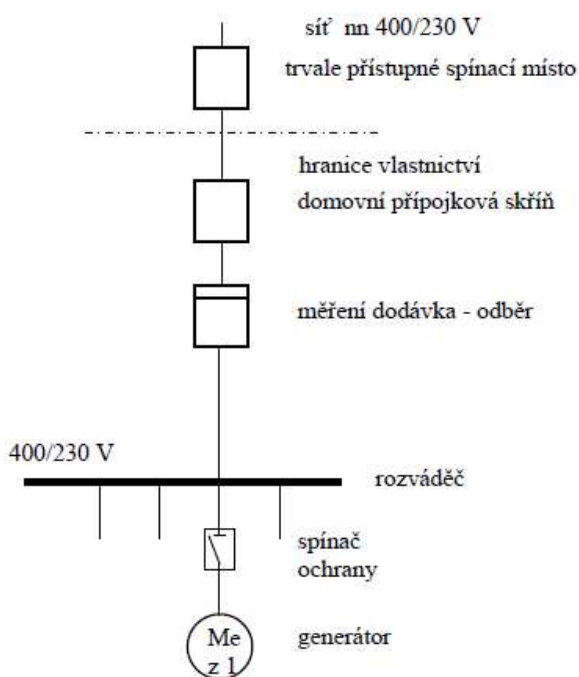
Alternátory v elektrárnách pracují obvykle se jmenovitým napětím, pouze několik tisíců voltů z důvodu elektrické pevnosti stroje. Při výkonech stovek MW pak z alternátoru vycházejí proudy v řádu desítek tisíc ampérů. Vedení pro takové proudy musí mít extrémně velké průřezy vodičů a být schopno odolat elektrodynamickým silám. Na činném odporu vedení vznikají úbytky napětí, přímo úměrné protékajícímu elektrickému proudu, které by při delších vedeních představovaly podstatné ztráty přenášeného výkonu, úměrné druhé mocnině proudu. Pro přenos na velké vzdálenosti je proto výhodnější použít vyšší napěťovou hladinu, kdy pro přenesení stejného výkonu stačí úměrně menší proud. Kromě omezení ztrát je pak i realizace dlouhého vedení nesrovnatelně jednodušší a levnější.

Napětí z alternátorů se zvyšuje pomocí vysokonapěťových transformátorů umístěných zpravidla přímo v elektrárně, nebo poblíž. Za přenosové napětí se obvykle považují hodnoty nad 110kV. U nás v České republice se používají vedení o napěťové hladině 110, 220 a 400kV. Ve světě jsou provozována i vedení s napětím nad 1 MV. Na výstupu z přenosové soustavy bývají zařazeny snižující transformátory, které poskytují dodávku elektřiny do distribuční sítě, a to s napěťovou hladinou většinou 22kV. Přenosovou soustavu u nás tvoří především dlouhá nadzemní vedení o velmi vysokého napětí. Dále pak kabely, transformátory, odpojovače, vypínače, bleskojistky, kompenzační prvky a systémy řízení a regulace sítě. Cílem řízení sítě je udržení konstantních parametrů dodávané energie.

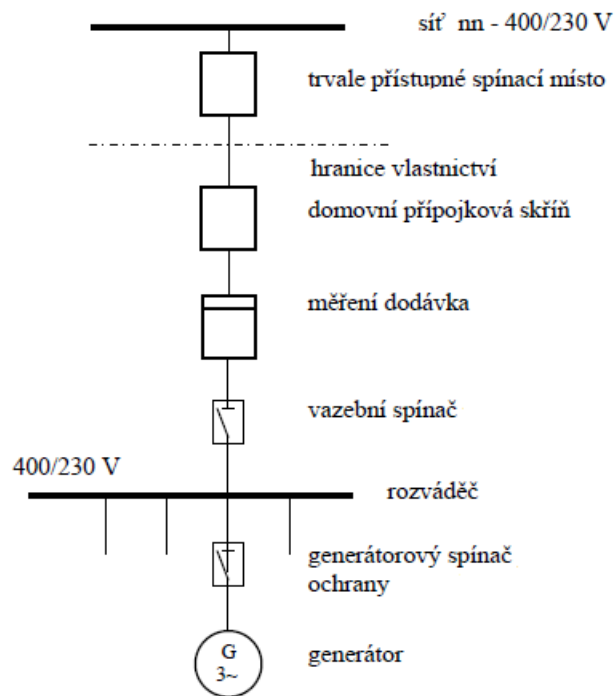
Většina obnovitelných zdrojů elektrické energie se pohybuje o malých výkonech. Největší možný výkon u větrných elektráren v České republice je 3MW. Podíl ostatních zdrojů je velmi podobný. Většinou se připojují do napěťové hladiny nn 0,4kV, nebo vn 3kV, 6kV, 10kV, 22kV, 35kV.

2.1 Příklady připojení výroben

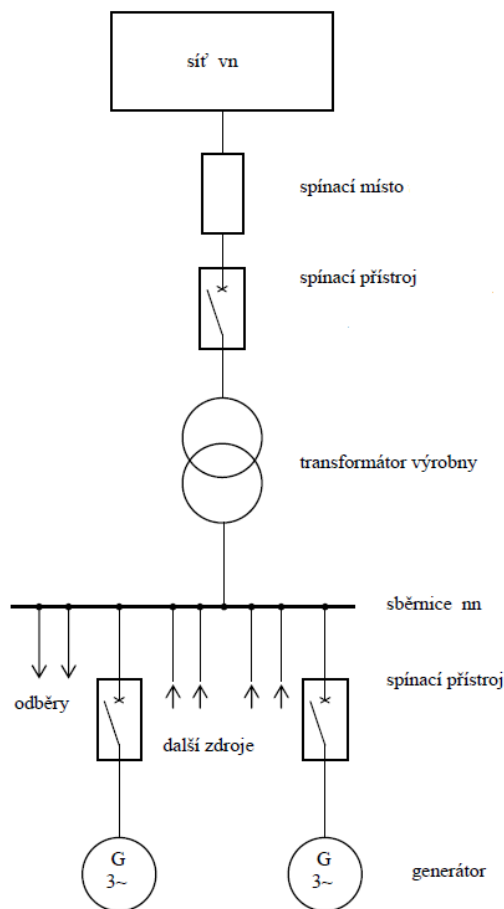
Výrobní mohou být zapojeny v různých zapojeních. Mezi nejčastější zapojení obnovitelných zdrojů do sítě je paralelní provozování výrobní se sítí nn, bez možnosti ostrovního provozu, který je zobrazen na obrázku 2.1. Také se používá zapojení, kdy můžeme odebírat elektrickou energii v místě připojení pro vlastní spotřebu. Na opuštěných místech, nebo v oblastech bez možnosti připojení k elektrické síti, se používá zapojení s možností ostrovního režimu zobrazeného v obrázku 2.2. Pro snížení finančních nákladů a zvýšení efektivity se staví více větrných elektráren poblíž sebe (větrné farmy). Tento princip zapojení je graficky vyjádřen v obrázku 2.3.



Obrázek 2.1 - Paralelně provozovaná výrobní v síti nn bez možnosti ostrovního provozu



Obrázek 2.2 - Paralelně provozovaná výrobná v síti nn s možností ostrovního provozu



Obrázek 2.3 - Několik vlastních výroben v paralelním provozu se sítí s možností ostrovního provozu

3. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje elektrické energie je označení pro několik druhů výroben elektrické energie, které především pocházejí z jaderných reakcí probíhajících ve Slunci. Mezi další zdroje, které můžeme čerpat, je teplo zemského nitra a setrvačnost sluneční soustavy Země-Měsíc. Tuto energii čerpáme v různých formách, například z energie větru, sluneční energie, geotermální energie, přílivové energii, biomasy a z dalších druhů energie.

Zákon o životním prostředí popisuje obnovitelné zdroje elektrické energie touto definicí: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat a to samy, nebo za přispění člověka“. S postupným rozvojem obnovitelných zdrojů vznikl zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie, který definuje tento zákon následovně: „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.“

Mezi jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů elektrické energie patří fotovoltaické elektrárny, vodní elektrárny, větrné elektrárny, přílivové elektrárny, elektrárny na biomasu, geotermální elektrárny atd. V České republice se vyskytují pouze vodní elektrárny, větrné elektrárny, fotovoltaické elektrárny a elektrárny na biomasu.

3.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny (FVE) je označení pro solární nebo sluneční elektrárny. A skládá se z fotovoltaických panelů, které využívají principu fotovoltaického jevu.

Fotovoltaika je známá jako metoda výroby elektrické energie pomocí solárních panelů, které přeměňují energii ze slunce na elektřinu. Jsou složeny ze dvou vrstev polovodičového materiálu, které jsou umístěny mezi dvěma kovovými elektrodami. Jedna z vrstev - materiál typu N obsahuje velké množství negativně nabitých elektronů. Naopak, druhá vrstva - materiál typu P obsahuje velké množství "děr", což lze vyjádřit jako prázdná místa, která snadno akceptují elektrony. V místě, kde jsou tyto dvě vrstvy spojeny, dochází ke spárování elektronů s děrami, čímž se vytvoří elektrické pole, které zabrání dalším elektronům v pohybu z N-vrstvy do P-vrstvy. Když dopadne foton o správné vlnové délce na toto spojení, vyrazí některé spárované elektrony z děr. Elektrické pole poté tlačí tyto volné elektrony a díry v opačném směru, což vede k přebytku volných elektronů v N-vrstvě a přebytku děr (nedostatku elektronů) v P-vrstvě. Pokud se elektrody propojí s vnějším obvodem, ty vytvoří cestu pro přebytečné elektrony, tím teče elektrický proud. FVČ se v solárních

modulech velmi často zapojují do série, aby se sečtením napětí jednotlivých článků vytvořilo lepší využití výstupního napětí fotovoltaického modulu.

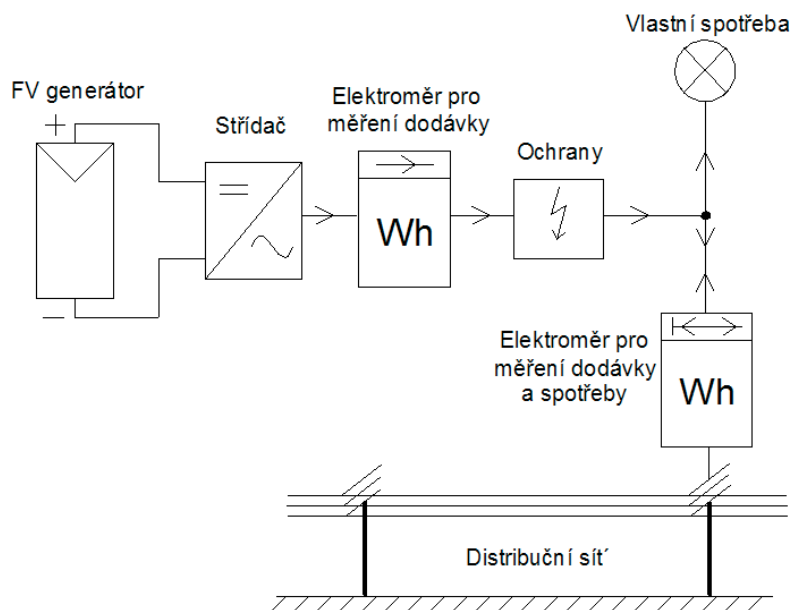
Fotovoltaické panely musí odolávat i z mechanického hlediska tak, aby umožňovaly co největší ochranu před vlivy okolního prostředí. FVČ se většinou vkládají do etylenvinylacetátové fólie (EVA). Na přední straně bývá vysoce průhledné tvrzené sklo s co nejmenším obsahem železa, které způsobují zahřívání a tím dochází k menší účinnosti. Toto sklo musí propouštět co největší množství slunečních paprsků. Zadní strana fotovoltaického panelu bývá opatřena vícevrstvou vysoce pevnostní fólií z umělé hmoty, nebo skleněnou deskou. Vnitřní prostory FVP bývají utěsněny z důvodu znečištění a vlhkosti, které mají za následek snížení účinnosti. Chlazení FVP bývá většinou řešeno prouděním okolního vzduchu. Pro zajištění větší stability, lepší manipulace a pevného uchycení jsou opatřeny kovovým rámem. Tento rám bývá většinou vyroben z ušlechtilé oceli - hliníku nebo duralu. S postupným vývojem technologie vznikají bezrámové moduly (lamináty). Pro svou lehkost je zaručena lepší manipulace, ale také snížení nákladů při výrobě. Tím se celkově sníží spotřeba energie na výrobu FVP a zvýší se celkově jeho návratnost. Vyrábí se i flexibilní moduly, které můžeme využít například pro kempování.

Pro splnění správné funkce fotovoltaického panelu je nejdůležitějším předpokladem správná instalace fotovoltaické elektrárny. Mezi hlavní faktory patří správná lokalita, sklon panelů a orientace FVP vůči světovým stranám. Při určování lokality jsou k dispozici mapy, které nám určují intenzitu slunečního záření, ale také především délku slunečního svitu. V České republice patří mezi nejlepší sluneční lokality Jižní Morava. Z hlediska největší intenzity slunečního záření patří jižní státy, jako je Španělsko a Portugalsko. Pro zvýšení účinnosti musíme neustále měnit sklon FVP v závislosti na výšce slunce. V zimním období je slunce níže a v letních měsících je výše. A proto se sklon musí neustále měnit. V létě jsou FVP umístěny pod menším úhlem a v zimě pod větším. Většinou FVP bývají nainstalovány pevně pod stejným úhlem, a to pod sklonem v rozmezí 25° – 60° od základny, kdy vznikají minimální ztráty. V našich podmínkách je ideální sklon 36°. Také zvýšení účinnosti můžeme docílit orientací. Nejlepší je, pokud se FVP neustále během dne otáčí kolmo směrem ke slunci (natáčející systém). Z důvodu finanční náročnosti bývají umístěny na pevno. V našich podmínkách je ideální orientace 1° na jihozápad.



Obrázek 3.1 – Fotovoltaická elektrárna

Pro možnost připojení FVP do sítě je zapotřebí střídač, který přemění stejnosměrný proud (DC) vyrobený ve FVP na střídavý (AC). Pomocí moderních technologií se umí přizpůsobit frekvenci a napětí sítě. Většinou pracují s účinností 96 %. Do výkonu 5 kW_p, nebo do plochy 50m² bývají FVP připojeny jednofázově do sítě (230 V 50 Hz). U velkých výkonů se musí připojit do sítě třífázově pomocí třífázového střídače. Moderní střídače umí zaznamenat provozní data, mají displej a možnost připojení k PC přes rozhraní. Mají zabudované uvnitř různé ochrany, například ochranu proti přepólování, přepětí, přetížení a měření izolačního stavu. Střídače můžeme rozdělit podle principu funkce na řízené střídače sítě a samostatně řízené střídače. Střídače řízené sítí odebírají ze sítě impulzy, kterými jsou řízeny zapínací a vypínací impulzy střídače. Spínají stejnosměrný proud s frekvencí sítě většinou 50 Hz. Pro nedokonalost výstupního proudu, podobajícímu se obdélníku a ne požadovanému sinusovému průběhu, se tyto střídače moc nepoužívají. Z hlediska vysoké účinnosti a dobré kvality výstupního proudu se nejvíce používají samostatně řízené střídače. Tyto samostatně řízené střídače mají v sobě zabudovaný mikroprocesor pro zapínání a vypínání impulzů, pracující s vyšší frekvencí jak 50 Hz. Tento typ střídače s velkou frekvencí rozsekává stejnosměrné napětí a vytváří impulzy, které připomínají sinusový průběh. Pro zvýšení kvality sinusového průběhu se používají zapojení s kondenzátory, které vyhladí mezery mezi impulzy. Samostatně řízené střídače mohou pracovat i při výpadku síťového napětí.



Obrázek 3.2 – Schéma zapojení FVP s možností pracovat do sítě a pro vlastní spotřebu

3.2 Větrné elektrárny

K funkci větrné elektrárny je potřeba vítr. Čím je silnější vítr, tím rostou otáčky a výkon větrné elektrárny. Vítr vzniká v atmosféře za předpokladu rozdílného atmosférického tlaku, který je důsledkem nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Teplý vzduch jde směrem nahoru a studený směrem dolů. Následně vzniká stáčení větrných proudů v důsledku zemské rotace, vodních ploch, morfologie krajiny, budov atd. Vlivem aerodynamických sil větru, působících na lopatky větrné elektrárny, vzniká energie rotační, která se následně mění na energii elektrickou. Tuto energii rotační nemusíme měnit, ale můžeme ji využívat například k čerpání vody. Při čerpání vody musíme zvýšit moment a to docílíme tím, že snížíme otáčky na výstupu pomocí převodovky. Listy větrné elektrárny mají speciálně vytvarovaný povrch z důvodu aerodynamických sil, připomínající profil křídel letadla. S nárůstem vzdušných proudů vzrůstají vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru. V generátoru vzniká energie s třetí mocninou rychlosti větru, z čehož vyplývá, že může dojít k nekontrolovatelnému roztočení větrného rotoru. Proto musíme umět tuto sílu regulovat. U velkých větrných elektráren se rychlost otáčejícího rotoru reguluje pomocí natáčení listů lopatek, nebo otočení celé gondoly kolmo k větru. Většina větrných elektráren se při silném větru odstaví z provozu.



Obrázek 3.3 – Větrné elektrárny

Větrné elektrárny můžeme dělit podle různých hledisek:

- podle velikosti instalovaného výkon, kdy dělíme na malé, střední a velké. Mezi nejvýznamnější patří velké větrné elektrárny, které se pohybují kolem výkonu 2MW.
- podle počtu a typu listů. Počet a typ listů má hlavní vliv na rychloběžnost. Čím vyšší je rychloběžnost, tím se rotor otáčí vyšší rychlostí.

Nejvíce se používají větrné elektrárny typu Savonius, americké kolo, čtyř lopatkový (tradiční mlýn), Darrieus a rychloběžné.

Velkým problémem při výstavbě větrné elektrárny je, že ji nemůžeme postavit kdekoliv, většinou z důvodu špatné intenzity a síly větrů. Dále může nastat problém ten, že se nachází v chráněné krajinné oblasti, nebo v národním parku. Česká republika není významná pro výstavbu větrných elektráren, a to z důvodu, že má kontinentální klima, které se vyznačuje kolísáním rychlosti větru. Nejlepší podmínky pro výstavbu mají přímořské oblasti, mezi které patří Holandsko, kde fouká vítr více jak 80% dnů v roce. Rychlost větru se s rostoucí výškou logaritmicky zvyšuje. Pokud porovnáme rychlost větru, například ve výšce 10m a 100m, dojdeme k závěru, že ve výšce 100m je rychlost větru až pětkrát větší než ve výšce 10m. Před postavením každé větrné elektrárny se na místo, kde má stát větrná elektrárna, nainstaluje měřicí zařízení (stožár s registračním anemometrem), které v průběhu jednoho roku měří intenzitu a rychlost větru. Naměřené hodnoty se vyhodnotí a posoudí, zda je ta lokalita (místo) vhodná pro větrnou elektrárnu.

S rozvojem větrných elektráren se začalo diskutovat o negativním vlivu na okolní prostředí. Mezi ně patří hlučnost, ohrožení ptáků, plašení zvěře, vliv na příjem televize a rádia, stínu rotující vrtule (tzv. diskoefekt) atd. Hlučnost větrných elektráren patří k největším problémům, se kterými se můžeme setkat z pohledu obyvatelstva. Je známo, že první větrné elektrárny velmi převyšovaly hygienické limity hladiny hluku (40 dB), ale s postupnou modernizací a technologií se hladina hluku velice snížila. Z měření je známo, že moderní větrné elektrárny o výkonu 2 MW ve vzdálenosti 500m splňují hygienické limity. Také se objevily názory, že větrné elektrárny ruší televizní a rádiový signál. Tento problém může nastat pouze tehdy, když je přijímač umístěn ve velmi blízké vzdálenosti s větrnou elektrárnou. Většinou se staví větrné elektrárny v místech, která jsou umístěna více jak 500m od lidských obydlí. Také se můžeme setkat s negativním jevem vrhání stínu (tzv. diskoefekt). Tento jev se projevuje pouze za velkého slunečního svitu, s kterým se počítá už v počáteční fázi projektu.

V poslední době se začaly objevovat na trhu tzv. mikroelektrárny, které se dají použít pro osobní využití. Většinou se užívají ve spojení s fotovoltaickými panely, které poskytují rovnoměrnou dodávku elektrické energie. Příklad může být následující: pokud nesvítí slunce nebo je snižená intenzita slunečního záření, dodávka elektrické energie z FVP je velmi malá. Můžeme tyto mikroelektrárny použít jako napájecí zdroje pro osvětlení výstražných nebo reklamních tabulí, například kolem dálnic, kde není většinou možnost připojení k distribuční síti. Náklady na výstavbu distribuční sítě by byly velmi nákladné. Také se začaly vyrábět přenosné verze, které nám mohou posloužit, např. v přírodě pro napájení mobilního telefonu, notebooku, televizoru, nebo osvětlení. Mikroelektrárny, které přesahují hodnotu několik kW, můžeme využít pro napájení domů nebo chat. Největším nepřítelem těchto malých větrných elektráren je vysoká pořizovací cena. Do budoucna se počítá s automatickým snižováním ceny, nebo až se ekologická výroba elektrické energie stane módním stylem. V celosvětové nabídce mikroelektráren je velký výběr. V České republice se trh s těmito větrnými elektrárnami příliš nerozvíjí. Důvodem je, že máme rozvody elektrické energie velmi rozsáhlé. Tomu tak není třeba v Americe, kde jsou různé části zcela bez dodávky elektrické energie.

Větší význam mají velké větrné elektrárny než malé. A to z hlediska velikosti instalovaného výkonu a poměru jejich ceny k výkonu. Elektrárny o výkonů kolem 2MW jsou určeny k dodávce elektrické energie do veřejné rozvodné sítě. Mají asynchronní nebo synchronní generátor. U nás se většinou využívá asynchronní generátor. V poslední době se můžeme setkat i s elektrárnami se speciálním mnohapolovým generátorem, který nepotřebuje převodovku (planetovou) a tím sníží náklady a hmotnost gondoly. Pro dodávku elektrické energie do sítě je třeba dodržovat konstantní otáčky generátoru, kterých dosáhneme natáčením listů a regulovatelným převodovým poměrem převodovky.

Většinou se setkáváme s větrnými elektrárnami s horizontální osou otáčení, kterých je většina. Jsou o průměru rotoru až 80m a tubusu vysokém kolem 90metrů. Nejnovější větrné elektrárny se pohybují kolem výkonu 3MW, protože nynějším trendem je stavět elektrárny o co největších výkonech a to z více hledisek: např. snížením poměru výkonu k ceně, snížení nákladů na výstavbu (při projektování, přípojky, využití jeřábu při stavbě). Z toho důvodu se staví tzv. větrné farmy, což je skupina elektráren poblíž sebe.

3.3 Vodní elektrárny

Vyrobená elektrická energie v České republice činí pouze několik procent. Jedná se z větší části o nejjednodušší způsob výroby elektrické energie, ale jsou již u nás vyčerpány lokality, kde by mohly být realizovány vodní elektrárny. Česká republika je obvykle nazývána „Střechou Evropy“ z důvodu, že velká část řek pramení právě u nás. Naše největší elektrárny se nacházejí většinou na Vltavě, viz tabulka 33. Energetický potenciál řek v České republice se pohybuje kolem hodnoty 3380GWh ročně, z čehož je využíváno pouze 1580GWh, což je přibližně 30%. Výstavba vodní elektrárny je velice nákladná a návratnost investic je až za několik let.

Vodní elektrárna pracuje na principu, kdy voda roztáčí turbínu, která je spojena s hřídelí generátoru pevně, nebo pomocí převodu (řemene). Celkově soustrojí nazýváme turbogenerátor. Energie proudící vody se tak mění na energii rotační, která roztáčí lopatky turbíny. Rotační energie se mění na energii elektrickou. Vodní turbíny jsou zatím z hlediska účinnosti nejdokonalejší mechanické motory s účinností až 95%.

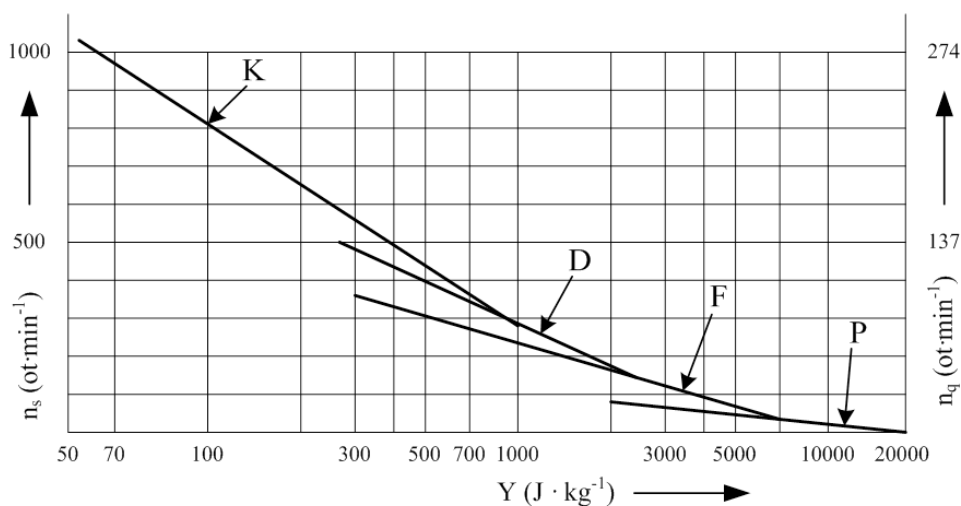
Při volbě typu a velikosti turbíny vycházíme z průtoku vodního toku a spádu. Vztah pro výpočet vodní elektrárny je následující:

$$P_t = \rho * Q * Y * \eta_t \quad (2.5)$$

$$Y = g * H \quad (2.6)$$

Pro zjištění celkového dodávaného elektrického výkonu vodní elektrárny do sítě musíme do vztahu (2.5) přičíst účinnost převodu $\eta_p = (0,92-0,98)$, účinnost generátoru $\eta_g = (0,95 - 0,97)$ a účinnost blokového transformátoru η_{tr} , která závisí na typu transformátoru.

Podle měrné energie vody Y , se volí typ turbíny a měrné otáčky. Závislost měrných otáček, na měrné energii vody je vidět na obrázku 3.3. Kde jsou vyznačeny čtyři typy turbín pro vodní elektrárny. Někdy nemusí být zcela jasné, kterou turbínu zvolit z důvodu překrývání charakteristik. Většinou se řídíme podle účinnosti a ceny. Obvykle se ve vodních elektrárnách volí turbíny reakčního typu, mezi které patří Kaplanova a Francisova turbína. U velkých spádů se používá Peltonova turbína. Velice oblíbená pro malé vodní elektrárny je Bánkiho turbína.



Obrázek 3.3 Jednotlivé typy vodních elektráren v závislosti měrné energie vody na měrných otáčkách K- Kaplanova turbína, D – Deriazova turbína, F – Francisova turbína, P – Peltonova turbína

Dále se mohou vodní elektrárny dělit na přetlakové a rovnotlaké. V přetlakových turbínách vstupuje tlak do turbíny o určitém tlaku, který následně klesá na výstupu z turbíny. Na tomto principu pracuje například Francisova turbína. Naopak, u rovnotlakých turbín je tlak neustále stejný, pod kterým tam voda vstupuje a následně vychází.

Produkce elektrické energie z vodních elektráren v České republice je kolem 2%. Instalovaný výkon vodních elektráren z celkového výkonu v České republice je asi 11%. Produkce elektrické energie je tak malá, že většina vodních elektráren nemůže fungovat nepřetržitě- vlivem malého množství vody (sucha) nebo velkého množství vody (povodně). Malé vodní elektrárny jsou velice výhodné z energetického hlediska, protože jsou rovnoměrně rozmístěny po celé republice. Při výpadku některého zdroje nenastávají takové katastrofální následky, jako když vypadne zdroj, který poskytuje elektrickou energii pro jednu pětinu republiky. Při stavbě velké vodní elektrárny zasahujeme velmi významně do krajinného rázu. Zaplavujeme velké množství půdy, měníme klima prostředí, vzroste vlhkost ovzduší atd. Velice výhodné je stavět vodní elektrárny na místech, kde stály bývalé mlýny, hamry a pily. Na těchto místech nemusíme většinou budovat vodní přivaděče, jezy, odtokové kanály apod., - sníží nám náklady na jejich výstavbu.



Obrázek 3.4 Strojovna malé vodní elektrárny

Největší problém, se kterým se většinou setkávají elektroenergetici je nerovnoměrný odběr elektrické energie z distribuční sítě během dne. Jak již víme, elektrická energie se dá velmi těžce skladovat. Z těchto důvodů se staví přečerpávací vodní elektrárny, které přeměňují elektrickou energii na potenciální energii vody. Voda je vyčerpávána do větší nadmořské výšky, kde je uskladněna. Čerpá se ze spodní nádrže do horní v době, kdy je přebytek elektrické energie (většinou v noci). A naopak, když je velká spotřeba elektrické energie, voda je přepouštěna z horní nádrže do spodní, kdy voda roztáčí lopatky turbíny. U nás patří mezi nejvýznamnější přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně o výkonu 2x325MW a Dalešice o výkonu 4x120MW. Pro snížení finančních nákladů se používá turbína s reverzním chodem tak, aby mohla pracovat jako čerpadlo nebo turbína. Na elektrárně Dlouhé stráně je nainstalována turbína Francisova reverzní.

Rozdělení vodních elektráren:

Dle výkonu:

- průmyslové (od 1 MW)
- minielektrárny (do 1 MW)
- mikrozdroje (do 0,1 MW)
- domácí (do 35 kW)

Podle spádu:

- nízkotlaké (do 20 m)
- středotlaké (20 – 100 m)
- vysokotlaké (od 100 m)

Dle nakládání s vodou:

- průtokové
- akumulační
- přečerpávací

Elektrárna	Typ turbíny	Výkon turbíny (MW)
Lipno I	Francisova	2x60
Lipno II	Kaplanova	1x4,8
Hněvkovice	Kaplanova	2x4,8
Kořensko	Kaplanova	2x1,9
Orlík	Kaplanova	4x91
Kamýk	Kaplanova	4x10
Slapy	Kaplanova	3x48
Štěchovice I	Kaplanova	2x11,25
Štěchovice II	Francisova	1x45
Vrané	Kaplanova	2x6,94

Tabulka 2.1 - Přehled 10 největších vodních elektráren na řece Vltavě

3.4 Elektrárny na biomasu

Biomasa je veškerá hmota organického původu. Mezi ně patří rostliny, stromy, bakterie, houby, živočichové atd. Energetický původ biomasy je původem ze slunečního záření a proto jako FVP, které odebírají také energii ze slunečního záření, řadíme mezi obnovitelné zdroje elektrické energie. Pro energetické účely se nejvíce využívá biomasa rostlinného původu jako je sláma, šťovík, konopí, dřevo a dřevní odpad.

Biomasu můžeme rozdělit do tří kategorií. A to na tuhá, kapalná a plynná biopaliva. Tuhá biopaliva jsou všechna, která jsou v tuhém stavu. Mezi ně patří dřevo (polena, štěpky, brikety, pelety, piliny, veškerý dřevní odpad), sláma, seno, konopí, kukuřice, šťovík atd. Jako další skupina biopaliv jsou kapalná, která se nachází ve formě kapalné. Tyto můžeme dále rozdělit do několika kategorií a to na alkoholová, bioolejová a zkapalněná plynná biopaliva. Do alkoholových biopaliv patří bioethanol - etanol, vyrábějící se z brambor, obilí, kukuřice, cukrové třtina a cukrové řepy. Zejména se využívá jako palivo do aut. Další skupinou jsou biooleje, které se využívají do

naftových motorů. Patří sem rostlinné oleje, jako je např. fritovací olej. Do poslední skupiny zkapalněných plynných biopaliv patří bioplyn a dřevoplyn. Poslední kategorií jsou plynná biopaliva, která se nachází v plynném stavu. Mezi ně patří bioplyn, dřevoplyn a vodík. Bioplyn se skládá z metanu a oxidu uhličitého, který vzniká přirozeným rozkladem. Dřevoplyn vzniká působením vysokých teplot na biomasu. Pokud se nedodá vzduch zahřáté biomase, vzniká dřevoplyn. Je to plyn, který se spaluje jako všechna ostatní plynná paliva, například ve spalovacích motorech. Vzniklé teplo ze spalovacích motorů můžeme využívat k předehřevu další biomasy. Toto zařízení na zplynování se využívá v poslední době čím dál více. Výhodou jsou nízké emise (bez síry), dobrá regulace výkonu, vysoká účinnost, naopak velkou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady.

Také můžeme rozdělovat biomasu na "suchou" (mezi ně může patřit dřevo, sláma, konopí) a "mokrou" (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat - kejda).

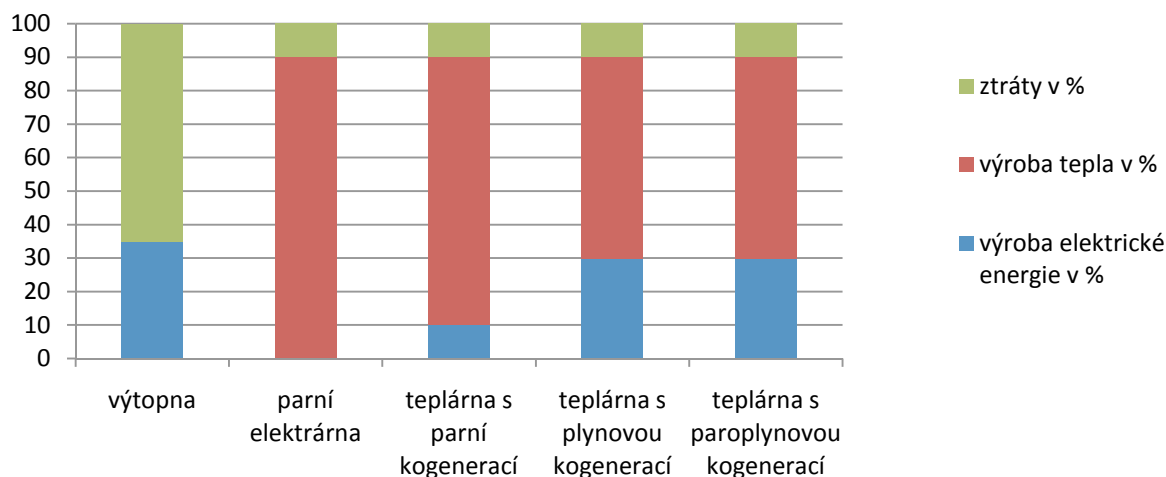
Biomasa je velice složité palivo z důvodu, že podíl zplynovaných částí je velmi vysoký. Plyny vzniklé např. ze slámy či dřeva, mají rozdílné teploty při spalování. A proto musíme dávat pozor, aby všechny plyny dobře shořely v dané komoře a nehořely až v komíně. Nejvíce se setkáváme s biomasou ve formě dřeva, které je spalováno ve fluidních kotlích, pracujících paralelně s kotli na uhlí. Také zároveň můžeme dodávat do kotle štěpky a slámu. Z důvodu drahé elektřiny se tyto jednotky staví jako kogenerační, aby mohly dodávat do sítě elektřinu, nebo mohly být využity pro vlastní spotřebu.

3.5 Kogenerační jednotky

Kogenerace je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Je to jeden ze způsobů, jak lépe využít energii. A to tím způsobem, že odpadní teplo, které bylo vyrobeno při výrobě elektrické energie, se může využít například při vytápění nebo pro ohřev vody.

U tepelných elektráren, které vyrábějí elektrickou energii, je účinnost velmi malá. Starší elektrárny pracují s účinností kolem 30%, novější tepelné elektrárny pracují s účinností až 40%. Zbytek energie se ztrácí ve formě tepelných ztrát například v kondenzačních věžích. Bylo by velice výhodné, kdyby se tepelná energie využívala pro vytápění. Naopak, většina výtopen (kotelen), jak v České republice, tak i ve světě vyrábí pouze teplo, ale už nikoliv elektřinu. Pracují s účinností větší jak 96%, kde 4% jsou ztráty kotle a v rozvodech. Velice výhodné by bylo, kdyby se vyrábělo teplo současně s elektrickou energií a to i za podmínky, že by se měla všechna vyrobená elektrická energie prodat. Důvodem jsou velké náklady, kdy vyrábíme elektrickou energii v tepelných elektrárnách. Rovnoměrným rozložením kogeneračních jednotek po republice dochází ke snížení ztrát v rozvodné síti. To je také výhodné z hlediska bezpečnosti dodávek elektrické energie pokud dojde k výpadku jednoho zdroje.

V obrázku 3.5 je možné porovnat jednotlivé výroby z hlediska účinnosti. U parní elektrárny, která vyrábí pouze elektrickou energii, vznikají ztráty 65%. Výtopna má s ostatními kogeneračními jednotkami stejné ztráty a to 10%. Tyto ztráty vznikají v turbíně, kotli, generátoru, potrubí a na spojce. Nevýhodou výtopny je, že vyrábí pouze teplo. Naopak ostatní kogenerační výroby vyrábí i elektrickou energii.



Obrázek 3.5 Porovnání jednotlivých výroben z hlediska účinnosti

Kogenerační jednotka se skládá z částí, mezi které patří:

- primární zdroj energie, ve kterém je palivo přeměněno na pohyb a teplo,
- generátor na přeměnu pohybu na elektřinu,
- systém získávání tepla pro sběr vyrobeného tepla.

Kogenerace může být použita v různém měřítku, tedy jako velké nebo malé kogenerační zařízení. Velká kogenerační jednotka se většinou nachází ve výrobních podnicích nebo v městských teplárnách. Výkon se pohybuje od stovek kW až po jednotky MW. Skládá se ze spalovací turbíny, alternátoru a spalovacího kotle. Spalovací turbíny jsou výhodné oproti spalovacím motorům tím, že můžeme volit druh paliva. Naopak, do spalovacích motorů musíme dodávat ten druh paliva, na který je vyroben, většinou je to zemní plyn. Jako alternátor můžeme použít asynchronní, nebo synchronní generátor. Většinou se řídíme podle ceny a účinnosti. Spaliny vzniklé v turbíně se přivádí do spalovacího kotle k výrobě tepla ve formě páry nebo teplé vody. Pokud kogenerační jednotka spolupracuje s průmyslem, který vyžaduje páru o vyšší teplotě, jako je například papírenský průmysl. Zvýšení teploty lze dosáhnout dohřívacím (přihřívacím) hořákem, který pracuje na zemní plyn. Bývá umístěn mezi turbínou a kotlem, kde zvyšuje teplotu většinou z 500°C na teplotu až 900°C. Malé kogenerační jednotky mají velmi malý výkon ve srovnání s velkými jednotkami. Jejich instalovaný výkon se pohybuje kolem desítek kW elektrického výkonu. Jako pohonnou jednotku užíváme spalovací motor, který je na společné hřídeli s generátorem, nebo je spojen pomocí převodu. Jako palivo se používá zemní plyn, bioplyn a

dřevoplyn. Nejvíce se však požívá zemní plyn. Teplo získané ze spalovacího motoru se odvádí pomocí dvou výměníků pracujících ve dvou teplotních úrovních. V prvním výměníku se odvádí tepelná energie o nižší teplotní kapacitě získané z oleje motoru, a to většinou o teplotě 80 až 90°C. Další výměník pracuje s výfukovými plyny spalovacího motoru, které se pohybují o teplotě 400 až 500°C. Z důvodu nepotřebného tepla o vysoké teplotě se výměníky zapojují do série, kde se teploty mísí. Většinou se tyto malé kogenerační jednotky používají pouze pro vytápění budov a ohřívání vody. Proto mohou pracovat s nízkými teplotami do hodnoty 80°C.

4. Zpětné vlivy výroben na distribuční síť

Aby nebyla rušena zařízení odběratelů a provozovatelů distribuční soustavy, je zapotřebí omezit zpětné vlivy. Mezi ně patří změny napětí, flickr, ovlivňování signálu HDO, příspěvky ke zkratovým poměrům, harmonické proudy.

4.1 Změny napětí

Změnou napětí se rozumí jiné napětí, než jmenovité. Mezi které patří podpětí a přepětí. Podpětí bývá způsobeno nedostatečnou kompenzací, přetížením nebo poruchou regulace napětí. Vlivem podpětí může vzniknout proudové přetížení. Přepětí se dělí na atmosférická a provozní. Atmosférická přepětí vznikají přímým úderem blesku do vedení nebo indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů nebo jiných částí rozvodného zařízení. Provozní přepětí jsou způsobena spínacími pochody v obvodech s velkými indukčnostmi nebo kapacitami. Při přepětí může dojít k poškození a stárnutí izolace. Vznikají přídatné ztráty a může dojít ke vzniku zkratu.

4.2 Flickr

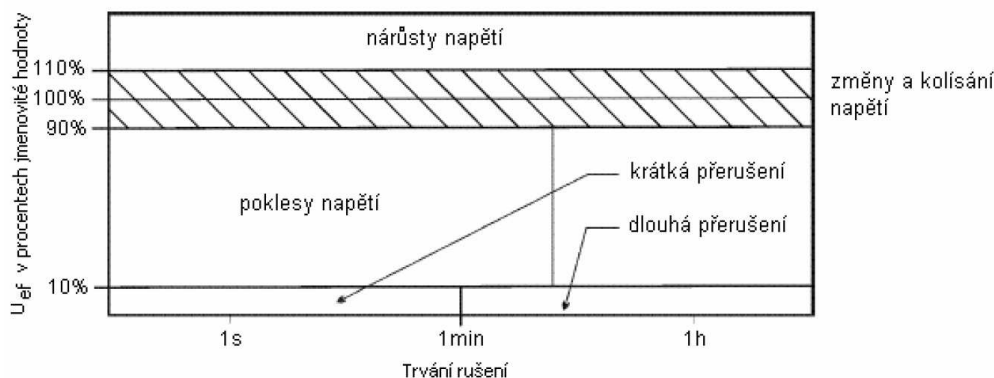
Flickr je nestálost vizuálního vnímání vyvolaného světelnými popudy, jejichž jas nebo spektrální křivka se mění v čase. Tento jev nevádí síti, ale vadí pouze člověku, kterého to může ovlivňovat při práci, pokud například problikává žárovka. Tento jev se v poslední době přestává řešit z důvodu přestupu z žárovek obyčejných na úsporné, kterým tento jev vůbec nevádí. Většinou je to aplikováno na cyklické změně svítivosti svítidel vlivem kolísání napájecího napětí. Flickr je důsledek kolísavého napětí, které většinou vytvářejí rušivé procesy ve výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie. Obvykle zdrojem tohoto rušení je velká rychle proměnlivá zátěž, u které se mění velmi rychle jak činná, tak jalová zátěž.

Nestálost napětí v přenosové soustavě způsobují negativní technické efekty, které mají za následek výpadky ve výrobních procesech. Nesmíme zanedbávat také fyziologické efekty flickru, které působí ergonomecky na výrobní prostředí. Také mají za následek provozní chyby a snižují koncentraci.

Pokles napětí může mít za následek nesprávný provoz stykačů a relé, které mohou způsobit nesprávný chod pracovního nebo výrobního procesu. Případem nepříznivých efektů kolísání napětí mohou mít negativní vliv např. na elektrické stroje, statické usměrňovače, zařízení pro elektrolýzu a světelné zdroje.

Příčinu kolísavého napětí můžeme vidět v obrázku 4.1, kde je závislost napětí na době rušení. Z rozvodů venkovního vedení víme, že napětí je rozdílné na koncové zátěži od napětí na začátku vedení. To si můžeme představit na jednofázovém náhradním obvodu, kdy rovnicí

(4.1) může být popsán rozdíl napětí z fázorového diagramu, za předpokladu, že odpor vedení je velmi malý ve srovnání s reaktancí. Pro soustavy vn a vvn platí, že reaktance je přibližně desetkrát větší.



Obrázek 4.1 – Závislost kolísavého napětí na době rušení

$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_s \cdot \frac{P}{U_0^2} + X_s \cdot \frac{Q}{U_0^2} \cong R_s \cdot \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{KZ}} \quad (4.1)$$

Rovnici (4.1) můžeme upravit na rovnici (4.2), kdy použijeme pravidla z předchozího odstavce ($X_s \leq 10R_s$).

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{S_{KZ}} \quad (4.2)$$

Příklady účinků kolísavého napětí na různých elektrických zařízeních.

Elektrické stroje

Při kolísání napětí na svorkách indukčního (asynchronního) motoru, může mít vliv na moment, který následně působí na otáčky a skluz. Moment se u asynchronního motoru mění s kvadrátem napájecího napětí, což může mít za následek nesprávné funkce zařízení. Může například dojít k poklesu momentu, nadměrným vibracím, redukci mechanické pevnosti a ke zkrácení životnosti motoru. Kolísání napětí na svorkách synchronních strojů a generátorů mají za následek kmitání a předčasné opotřebení rotoru. Způsobují také změny otáček a zvýšení ztrát.

Statické usměrňovače

Efekt kolísání napětí u fázově řízených usměrňovačů s řízením parametrů na stejnosměrné straně je redukce účinnosti a generování necharakteristických harmonických a interharmonických.

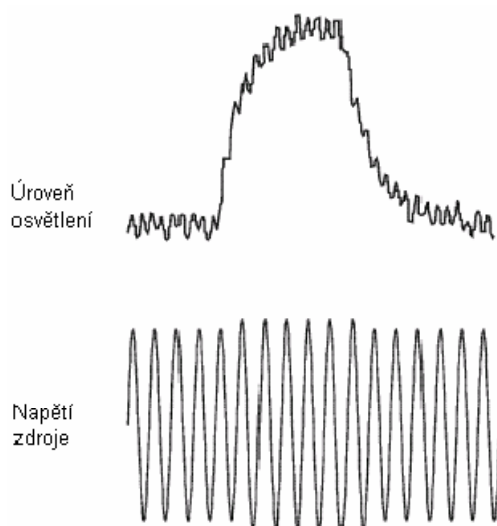
Při brzdění pohonu v invertorovém provozu může efekt kolísání napětí vést k poruchám komutace a následným poškozením prvků systému.

Zařízení pro elektrolýzu

Vlivem kolísání napětí u zařízení na elektrolýzu může mít vliv na životnost a provozní účinnost celého zařízení. Napájecí vedení, které vedou velké proudy, mohou být značně degradovány. Což má za následek vzrůstu nákladů na údržbu a opravy.

Světelné zdroje

Při změně amplitudy napájecího napětí světelného zdroje má za následek změnu světelného toku. Tato změna výkonu světelného toku je známa pod označením jako flickr, což je vizuální subjektivní dojem za nestálosti světelného toku, kdy se mění jas v závislosti na čase. Mezi nejvíce citlivé světelné zdroje patří žárovka, u které je světelný tok úměrný napájecímu napětí dle vztahu $\Phi \approx U^y$. Kdy y je exponent, který se mění v rozsahu od 3,1 až 3,7. U žárovek je exponent y menší jak 1,8. a exponent U je napájecí napětí na svorkách neboli objímce. Z obrázku 4.2 je vidět vliv napájecího napětí na světelný tok. Při měření byla použita žárovka o výkonu 60W a napájecího napětí 230V. Vytváření nestálosti světelného toku (flickru) má za následek narušení vidění, které způsobuje únavu a nepohodlí. Fyziologie tohoto jevu je komplexní. Závěrem lze říci, že nestálost světelného toku (flickr) ovlivňuje funkci vidění a negativně působí na lidský mozek. Problíkávající světelný zdroj (blikání) způsobuje zhoršení kvality práce, ale může také dojít k nehodě.



Obrázek 4.2 – Závislost osvětlení na napětí

Flikr je subjektivní jev. Následkem toho je velmi obtížné určit přímé náklady tohoto jevu. Tento jev ovlivňuje základní kvalitu obsluhy, tj. schopnost zajistit osvětlení, které je stálé a nepřerušované. Určitě může ovlivnit produktivitu v úřadech a v továrnách, ale náklady spojené s flikrem jsou obvykle odvozeny od nákladů na zmírnění flikru. Rozvoj výkonové elektroniky, zejména ve výrobě polovodičových zařízení, umožňuje praktické realizace systémů dynamické stabilizace napětí se stále většími výkony. Investice a provozní náklady klesají. Dosažitelnost těchto zařízení spolu se schopností realizovat algoritmus komplexního řízení dovoluje realizovat různé funkce, včetně dynamické stabilizace napětí.

4.3 Ovlivnění signálu HDO

HDO je zkratka pro hromadné dálkové ovládání. Jedná se o způsob regulace odběru elektrické energie na dálku.

Současné technické prostředky umožňují jen velmi omezeně skladovat elektrickou energii, a proto je nutno v elektrizační soustavě trvale zajistit rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Spotřeba elektrické energie se v průběhu určitého časového cyklu mění často ve velkém rozmezí a značnou dynamikou. Zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou při těchto změnách se provádí určitými technickými organizačními opatřeními, a to jak ve výrobní oblasti, tak i ve spotřební oblasti.

Hromadné dálkové ovládání (HDO) umožňuje operativní řízení maloodběratelů. Pomocí systému HDO lze řídit odběr elektrické energie u různých skupin odběratelů z centrálního místa v souladu s okamžitými potřebami provozu elektrizační soustavy. Systém HDO výrazně přispívá k vyrovnání diagramu zatížení elektrizační soustavy a tím i ke zvýšení ekonomiky provozu této soustavy.

Hlavní aplikace systému HDO:

a) přímé ovládání elektrických spotřebičů:

- ohřev teplé vody
- elektrické vytápění a klimatizace
- závlahová a zásobníková čerpadla

b) ovládání pro tarifní účely (přepínání elektroměrů)

c) ovládání veřejného osvětlení

d) provozní energetické účely:

- operativní vyhlašování regulačních stupňů

- havarijní odlehčování sítě
- ovládání podružných zařízení
- spínání kondenzátorových baterií

e) řízení odběru tepla

f) signální účely (civilní obrana), řízení poplachových sirén

Přenos informací od vysílače HDO k jednotlivým přijímačům se provádí pomocí kódovaných impulsů na vyšší frekvenci (např. 760Hz), které jsou superponovány na nosnou síťovou frekvenci. Vysílač umožňuje tvorbu kódovaného signálu HDO na vysílací frekvenci a připojení na silnoproudou přenosovou síť.

Spolehlivost systému HDO je dána spolehlivostí provozu hlavní části systému, tj. vysílače, přenosové sítě a přijímače. Nesprávná funkce přijímače HDO může nastat rušivým napětím (impulsní rušení vyšší harmonické).

Vlivem změn impedance sítě dochází i ke změnám úrovně signálu HDO. Objevují se pak místa, kde je úroveň signálu menší než citlivost přijímačů HDO, které na tento signál nereagují. A naopak místa, kde je vlivem rezonančních jevů úroveň signálu HDO značně vysoká.

V elektrických sítích se objevují rušivá napětí:

- a) Krátkodobá (jiskření při zapínání a vypínání spotřebičů, jiskření na vadných kontaktech)
- b) Dlouhodobá (vyšší harmonické)

Úroveň signálu nesmí klesnout více jak o 10 až 20 % pod požadovanou hodnotu. Pokud jsou překročeny povolené limity útlumu signálu HDO, je třeba provést opatření vedoucí k odstranění toho nepříznivého ovlivnění a to použitím podpůrné impedance. Podpůrná impedance upravuje impedance poměry ve vybraných částech sítě s ohledem na jejich zrovnoměnění a zejména zkvalitnění šíření signálu.

4.4 Harmonické

Harmonické jsou násobky základní frekvence napájecí soustavy. V síti s frekvencí 50Hz je třetí harmonická 150Hz, pátá harmonická 250Hz atd. Pro charakterizování obsahu harmonických se používá činitel harmonického zkreslení (THD). Činitel harmonického proudu je označován příponným písmenem I např. 15% THDI, a činitel harmonického zkreslení napětí označován

připojením písmene U např. 10% THDU. V posledním období roste množství zařízení, která jsou zdrojem vyšších harmonických. Dá se předpokládat, že tento počet bude i nadále růst. U většiny obnovitelných zdrojů se můžeme setkat se zdroji vyšších harmonických, mezi něž patří střídače používané u fotovoltaických a větrných elektráren.

Problémy způsobené harmonickými proudy:

- přetěžování středního vodiče
- přehřívání transformátorů
- rušení při vypínání vypínačů
- přetěžování kompenzačních kondenzátorů
- skinefekt

Problémy způsobené harmonickými napětími:

- harmonické zkreslení napětí
- nesprávný chod indukčních motorů
- poruchy při průchodu nulou

4.5 Zkratové poměry

Zkratovým poměrem se rozumí vliv zkratu jako přechodného děje na chod elektrizační soustavy a vyhodnocení odolnosti jednotlivých prvků elektrizační soustavy na účinky zkratu.

Přechodný děj je jev, který vzniká za provozu soustavy vlivem změny parametrů, cizím zaviněním nebo vlivem přírodních klimatických podmínek. Častou příčinou způsobující přechodný děj jsou poruchy typu zkrat, zemní spojení, průraz izolace, přepětí.

Zkratové poruchy jsou nejvíce nebezpečné, ale také jsou to poruchy nejčastější. A proto v každém elektrickém zařízení je třeba počítat nejen s normálními provozními stavy, ale i poruchovými stavy. Nadproudová přetížení jsou pro zjištění snadnější, protože se jedná o stavy, které trvají delší dobu a to řádově od jednotek minut až desítky hodin. Což dává možnost jejich řádného vyhodnocení a vyslání příslušných vypínacích impulsů, čímž je včas poruchový stav eliminován a zařízení není vystaveno havárii. Nejzávažnější poruchy v síti představují zkraty na vedení. Zkratové proudy jsou omezeny pouze reaktancí vedení, která je velmi nízká. Při zkratu dochází ke snížení napětí a k nárůstu zkratového proudu v místě poruchy od všech zdrojů

pracujících v soustavě. Zkratové proudy dosahují hodnot kA a jejich násobků. Úbytky napětí, rostou od místa zdrojů k místu zkratu a postihnou celou soustavu. V místě zkratu je úbytek napětí největší. Vzniklé zkraty pak ohrožují zařízení na oteplení, mechanické působení a ohrožují také obsluhu.

Podle zatížení trojfázového zdroje zkratem rozdělujeme zkraty:

Souměrné: - trojfázový zkrat
 - trojfázový zemní zkrat

Nesouměrné: - jednofázový zkrat
 - dvoufázový zkrat
 - dvoufázový zemní zkrat

Souměrný trojfázový zkrat vzniká, jestliže zkratem jsou postiženy všechny tři fáze. Všechny ostatní zkraty jsou nesouměrné.

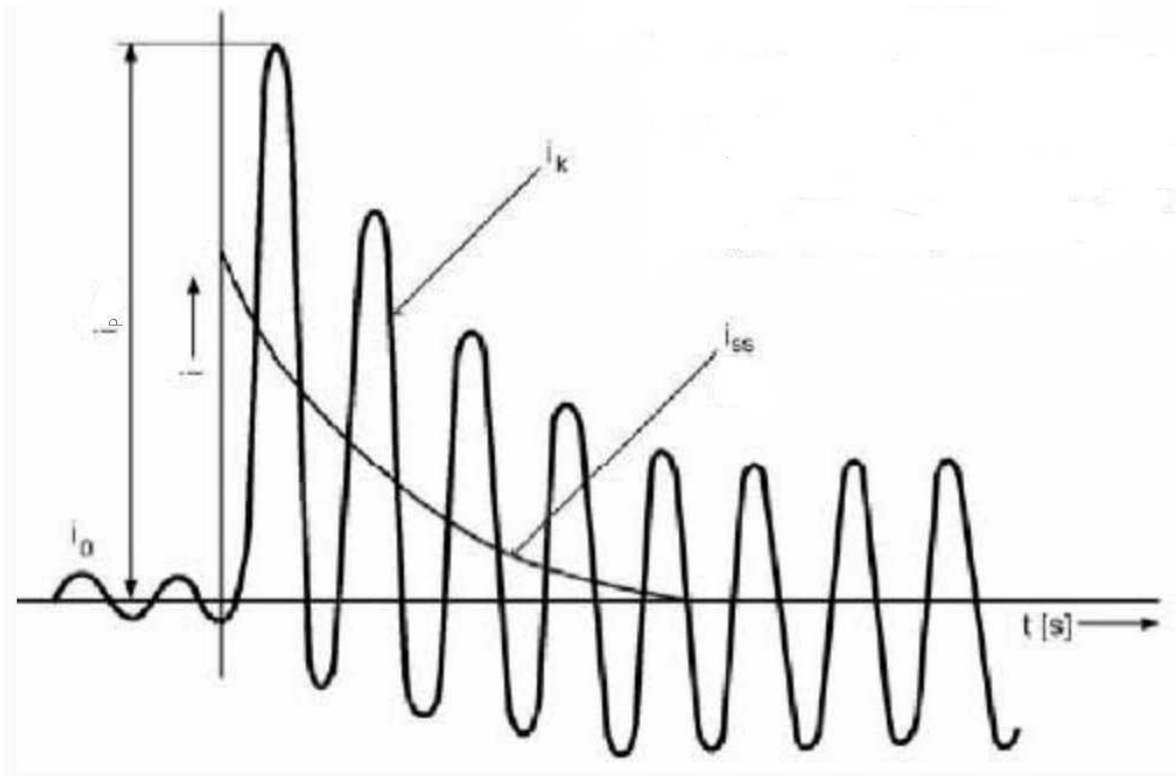
Důsledky zkratových proudů :

- dynamické
- tepelné
- indukovaná napětí.
- pokles napětí
- přepětí
- zotavené napětí.
- ohrožení stability elektrizační soustavy v důsledku náhlé změny zatížení

Vlivem zkratu se poruší rovnováha mezi magnetickým a elektrickým polem a do nového rovnovážného stavu přechází soustava přechodnými složkami proudu a napětí. Průběh zkratového proudu závisí na okamžiku vzniku zkratové poruchy. Zkratový průběh může vykazovat nesymetrii vůči časové ose s přítomností stejnosměrné složky.

Při zkratu mohou nastat dva krajní případy:

- Symetrický zkrat vzniká, když napětí prochází nulou a proud má maximální hodnotu.
- Nesymetrický zkrat vznikne, pokud napětí je v okamžiku zkratu maximální a proud prochází nulou.



Obrázek 6.5 Průběh zkratového proudu

Při dimenzování elektrického zařízení se u zkratových proudů definují tyto hodnoty:

I_k'' - počáteční souměrný rázový zkratový proud (efektivní hodnota symetrického zkratového proudu bez stejnosměrné složky při vzniku zkratu).

i_p - nárazový zkratový proud (první amplituda nesymetrického zkratového proudu se stejnosměrnou složkou. Je kritériem pro kontrolu dynamického namáhání zařízení sítě.

I_{vyp} - vypínací zkratový proud a jeho stejnosměrná složka $i_{a\ vyp}$. Je kritériem pro kontrolu dimenzování vypínačů a jističů.

I_{tm} - ekvivalentní oteplovací proud. Je kritériem posouzení tepelného namáhání zařízení elektrizační soustavy.

I_k - ustálený zkratový proud (efektivní hodnota zkratového proudu po zaniknutí všech přechodných složek).

4.6 Nestálost dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů

Největší problém, se kterým se setkávají provozovatelé distribuční sítě, je velice proměnný odběr elektrického výkonu, který se velmi nárazově mění v průběhu dne a ročním období. Většina velkých elektráren, mezi něž patří tepelné, plynové a jaderné elektrárny, pracují s konstantní dodávkou elektrického výkonu. Nevýhodou těchto zdrojů je problematická regulace, která dovoluje regulovat pouze v jednotkách procent jmenovitého výkonu. Pro výkonovou kompenzaci potřebujeme takové zdroje, které umí vyrovnat poptávku s dodávkou. Mezi ně patří přečerpávací vodní elektrárny a plynové elektrárny s rychlou pohotovostí. Obnovitelné zdroje elektrické energie bývají popisovány kapacitním faktorem, který vyjadřuje ekvivalentní dobu dodávku jmenovitého výkonu za rok. U obnovitelných zdrojů je kapacitní faktor velice malý, nejmenší je u větrných elektráren a fotovoltaických elektráren dle tabulky 4.1.

Obnovitelné zdroje	Kapacitní faktor	Provozu s plným instalovaným výkonem
Fotovoltaické elektrárny	9,7% - 11%	850 až 1000 hod/rok
Větrné elektrárny	17% - 30%	1500 až 2600 hod/rok
Malé vodní elektrárny	45% - 50%	4000 až 4380 hod/rok
Elektrárny na biomasu	85%	7500 hod/rok

Tabulka 4.1 Kapacitní faktor jednotlivých obnovitelných zdrojů

Kapacitní faktor neovlivňuje tak moc elektrickou síť, jako proměnlivost dodávaného výkonu během jedné hodiny, nebo kratšího časového úseku. Nejvíce se setkáme s tímto problémem, když máme více zdrojů jednoho typu připojeného do sítě. Při srovnání jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie z hlediska změn výkonu během jedné hodiny. U FVE je výkon přibližně konstantní. Pokud není použit natáčecí systém, nejvíce ovlivňuje výkon FVE pohyb slunce. Mezi nejvíce ovlivňující zdroje patří větrné elektrárny, u kterých se instalovaný výkon během jedné hodiny mění v rozsahu od 0% až 100% a v rozmezí jedné minuty se instalovaný výkon mění v rozsahu desítek. Malé vodní elektrárny a elektrárny na biomasu mění svůj jmenovitý výkon pouze o 30% během jedné hodiny.

5. Limity připojitelnosti

Pokud chceme připojit výrobu elektřiny do sítě nn, vn nebo 10kV, musíme se řídit pravidly provozovatele distribuční soustavy. Mezi takové výroby patří například vodní elektrárny, větrné elektrárny, generátory poháněné tepelnými stroji, fotočlánková zařízení.

Výroby a zařízení odběratelů s vlastními výrobkami, které mají být provozovány paralelně se sítí, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě. Pokud chceme připojit nějakou výrobu elektrické energie do sítě, musíme se řídit pravidly pro provozování distribučních sítí. Tato pravidla říkají, jak má být provozována síť a výroby elektrické energie a to i z pohledu různých rušivých účinků, aby neohrozila jiné odběratele. Posuzování zpětných vlivů z hlediska připojení k síti vychází z impedance sítě, připojovaného výkonu, způsobu výroby, ale i druhu výroby. Proti vlivu zpětného napětí do sítě musíme udělat opatření, aby připojení k distribuční síti neproběhlo, pokud by nebyly všechny fáze pod napětím.

K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor, nebo více paralelně zapojených generátorů se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpět'ových ochran. K ochraně výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut. Při dimenzování spínacího zařízení je zapotřebí brát ohled na to, že zkrat je napájen jak ze sítě, tak z vlastní výroby. Celková výše zkratového proudu závisí jak na příspěvku ze sítě, tak z výroby. U větších generátorů je všeobecně požadován výkonový vypínač. Spínač ke spojení výroby se sítí slouží jako trvale přístupné spínací místo. Uspořádání spínačů je závislé na zapojení, vlastnických i provozních poměrech v předávací stanici. Zařízení, která nejsou určena pro ostrovní provoz, mohou se použít generátorové vypínače k připojení a synchronizaci, stejně jako k vypínání ochrany. Zařízení, které mohou pracovat v ostrovním režimu, slouží synchronizační vypínač mezi spínacím místem a zařízením výroby k vypínání. Při výpadku pomocného napětí pro ochrany a spínací přístroje musí vést automaticky k vypnutí vlastní výroby, protože jinak při poruchách v síti PDS nedojde k působení ochrany a vypnutí. Ochrany v dělícím bodě mají zabránit nežádoucímu napájení části sítě oddělené od ostatní napájecí sítě z vlastní výroby, stejně jako napájení poruch v této síti. U generátorů pracujících do sítě musí být sledována jak frekvence, tak i napětí. Protože u třífázových generátorů připojených na třífázovou síť vede nerovnováha mezi výrobou a spotřebou činného výkonu ke změně otáček a tím frekvence. Naopak u nerovnováhy jalové energie mezi spotřebovanou a vyrobenou energií má za následek změny napětí. Napětí musí být sledováno na jednotlivých fázích z důvodu jednopólového poklesu napětí. Zpoždění vypínání podpět'ovou a přepět'ovou ochranou musí být co nejkratší, aby ani při rychlých změnách napětí nedošlo ke škodám na zařízení u dalších odběratelů, nebo na zařízení vlastní výroby. Při

Samobuzení asynchronního generátoru může svorkové napětí během několika period dosáhnout tak vysoké hodnoty, že nelze vyloučit poškození provozovaných zařízení. U generátoru, který je připojen pomocí střídače a není citlivý na nerovnoměrný činný výkon, postačí přepěťová a podpěťová ochrana. Frekvenční ochrana není potřeba, pokud je použit u zařízení střídač, pouze postačí uvnitř střídače zabudovaný (integrováný) hlídač frekvence.

K vymezení části zařízení se zemním spojením může být požadováno vybavení zemním směrovým relé. Tato relé mají být zapojena pouze na signál.

Ze smluvních důvodů nebo k zabránění přetížení zařízení mohou být požadovány ochrany pro omezení napájení do sítě. Nasazení odpovídajících ochran a jejich nastavení je zapotřebí odsouhlasit provozovatelem distribuční sítě.

5.1 Kompenzace jalového výkonu

Z důvodu vysokých ztrát činného výkonu je zapotřebí usilovat o účinník přibližně 1. Generátory zapojené v distribuční síti musí dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí induktivního účinníku $\cos \varphi = 0,85$ až 1 a kapacitního účinníku $\cos \varphi = 1$ až 0,95. Při rozsahu dovoleného napětí generátoru $\pm 5\%$ U_n a kmitočtu rozsahu 48,5 až 50,5 Hz. Pokud výkon velmi často kolísá, musí být kompenzace jalového výkonu automaticky a dostatečně rychle regulovaná.

V distribuční síti s velkým podílem kabelů a s kondenzátory stávajících kompenzačních zařízení může celkový účinník ležet v kapacitní oblasti. Pak může být žádoucí zabránit, aby vlivem kompenzačního zařízení odběratele kapacitní výkon v síti dále nerostl. Proto můžeme v jednotlivých případech, např. u malých asynchronních generátorů od požadavku na kompenzační zařízení upustit.

Při využití kompenzačních kondenzátorů je důležité vědět, že v každé síti dochází při frekvenci vyšší než 50 Hz k paralelní rezonanci mezi rozptylovou reaktancí napájecího transformátoru a součtem všech síťových kapacit, při které zejména v době slabého zatížení může dojít ke zvýšení impedance sítě. Připojením kompenzačních kondenzátorů se tato rezonanční frekvence posune k nižším kmitočtům. To může v některých sítích vést ke zvýšení napětí.

Když vypínáme kompenzační baterie, většinou v nich zůstane náboj, který bez vybíjecích odporů může mít za následek vyšší dotykové napětí, než je dovolené. A naopak při opětovném zapnutí nabitého kondenzátoru může dojít k jeho poškození, ale i k poškození jiných zařízení. Proto je zapotřebí používat vybíjecí rezistory, nebo lze též použít k vybíjení přístrojový transformátor napětí, který vhodně zapojíme.

Potřebný jalový výkon pro asynchronní generátory

Spotřeba jalového výkonu pro asynchronní generátory je přibližně kolem 60 % dodávaného zdánlivého výkonu. Nemá-li být tento jalový výkon dodáván ze sítě, je třeba pro kompenzaci připojit paralelně ke generátoru odpovídající kondenzátorové baterie. Asynchronní generátor může být připojován k síti pouze v beznapětovém stavu a nesmějí být příslušné kondenzátory připojeny před připojením generátoru k síti. K tomu může být zapínací povel odvozen např. od pomocného kontaktu vazebního vypínače. Při vypnutí generátoru je zapotřebí pro ochranu před samobuzením generátoru a před zpětným napětím kondenzátory odpojit.

Potřebný jalový výkon pro synchronní generátory

U synchronních generátorů se většinou $\cos\varphi$ nastavuje buzením. Podle druhu a velikosti výkonu pohonu postačí konstantní buzení, nebo je zapotřebí regulátor na napětí nebo $\cos\varphi$.

Potřebný jalový výkon pro střídače

Výrobní provozované se střídači řízenými síťovou frekvencí mají většinou spotřebu jalového výkonu přibližně stejnou jako asynchronní generátory cca 60% dodávaného zdánlivého výkonu a proto platí stejné podmínky pro kompenzaci jako u asynchronních generátorů. U výroben se střídači s vlastní synchronizací je velmi malá spotřeba jalového výkonu, proto se kompenzace jalového výkonu zanedbává.

5.2 Podmínky pro připojení

Pro připojení může být použit spínač, který spojuje celé zařízení se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor nebo více paralelně zapojených generátorů. Zapnutí vypínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotu podmětové ochrany. Pro ochranu výrobní je dobré použít časové zpoždění v řádu minut mezi obnovením napětí v síti a připojením výrobní.

Pokud došlo k odpojení z důvodu poruchy, může být vlastní výrobní zapnuta teprve tehdy, když je odstraněna porucha, která vedla k vypnutí. Po práci na zařízení výrobní a síťovém přívodu je důležité především přezkoušet správný sled fází.

Časová prodleva před opětovným připojením generátoru a odstupňování časů při připojování více generátorů musí být tak velká, aby byly ukončeny všechny regulační a přechodové děje (cca 5 s). Proud při motorickém rozběhu je u asynchronních strojů několikanásobkem jmenovitého proudu. S ohledem na vysoké proudy a napětíové poklesy v síti, jež mají za následek v síti flickr, se motorický rozběh generátorů obecně nedoporučuje. Pro stanovení podmínek pro synchronizaci musí mít synchronizační zařízení měřicí část, obsahující dvojitý měřič frekvence napětí a měřič

diferenčního napětí. Přednostně se doporučuje automatická synchronizace. Pokud vlastní zdroj není vybaven dostatečně jemnou regulací a dochází k hrubé synchronizaci, je zapotřebí jej vybavit tlumivkou pro omezení proudových nárazů. U střídačových zařízení je zapotřebí zabezpečit řízením tyristorů, aby střídač před připojením byl ze strany sítě bez napětí.

Připojování synchronních generátorů

U synchronních generátorů je nutné takové synchronizační zařízení, se kterým mohou být dodrženy následující podmínky pro synchronizaci:

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10 \% U_n$
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
- rozdíl fáze $< \pm 10^\circ$.

Připojování asynchronních generátorů

Asynchronní generátory rozbíhané pohonem musí být připojeny bez napětí při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček. U asynchronních generátorů schopných ostrovního provozu, které nejsou připojovány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

Připojování výroben se střídači

Střídače smí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. U vlastních výroben se střídači, schopných ostrovního provozu, které nejsou spínány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky zapnutí platné pro synchronní generátory.

5.3 Zpětné vlivy na napájecí síť

Z důvodů rušení zařízení dalších odběratelů a provozoven zařízení je zapotřebí omezit zpětné vlivy místních výroben. Pro posouzení je třeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí.

Bez kontroly zpětných vlivů mohou být výrobní připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě (S_{KV}) ke jmenovitému výkonu celého zařízení (S_{TA}) je větší než 500.

Pokud výrobce nechá své zařízení ověřit v uznávaném institutu, pak lze do posuzování připojovacích podmínek zahrnout příznivější činitel S_{KV}/S_{TG} (< 500). Pro větrné elektrárny je zapotřebí předložit certifikát, zkušební protokol apod. o očekávaných zpětných vlivech.

Zpětné vlivy pozorovatelné jsou např.:

- kolísání jasu (flickr) žárovek a zářivek
- ovlivnění zařízení dálkové signalizace a ovládání, zařízení výpočetní techniky, ochranných a měřicích zařízení, elektroakustických přístrojů a televizorů

- kývání momentu u strojů
- přídavné oteplení kondenzátorů, motorů, filtračních obvodů, hradících tlumivek, transformátorů
- vadná činnost přijímačů HDO a elektronického zařízení

Zpětné vlivy se projevují na distribuční soustavu např.:

- zhoršení účinníku
- zvýšení přenosových ztrát
- ovlivnění zhášení zemního spojení

5.3.1 Změna napětí

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 110 kV. Ve srovnání s napětím bez jejich připojení pro výroby s přípojným místem v síti nn nesmí překročit 3 %.

5.3.2 Flickr

Měřítkem a kritériem pro posuzování flickru je míra vjemu flickru (P_{It}). Ta se zjišťuje měřeními na daném zařízení, nebo předběžným výpočtem dle vztahu (5.1). Při posuzování jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávajícího flickru dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu $P_{It} \leq 0,46$, ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu $P_{It} \leq 0,37$. Když nastane ten problém, že hodnota dlouhodobého flickru je větší, než kterou požadujeme, zahrneme do výpočtu (5.1) fázové úhly.

$$P_{It} = c * \frac{S_{nE}}{S_{kV}} * |\cos(\Psi_{kV} + \varphi_i)| \quad (5.1)$$

P_{It} – dlouhodobá míra flickru

c – činitel flickru

Ψ_{kV} – úhel zkratové impedance

φ_i – fázový úhel

S_{kV} – zkratový výkon

S_{nE} – jmenovitý výkon zařízení

Pro výroby s více jednotlivými zařízeními se P_{It} vypočítá každé zvlášť a podle vztahu (5.2).

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (5.2)$$

5.3.3 Proudý harmonických

Harmonické vznikají především u střídačů a měničů frekvence. Pokud zařízení vytváří harmonické, je povinen je udat výrobce.

Posuzování harmonických můžeme rozdělit podle napěťové hladiny výroben a to na nn a vn.

Pro výroby nn:

U výroben, které nemohou být připojeny více jak dvě vlastní výroby s maximálním výkonem po 10% jmenovitého distribučního transformátoru, platí pro posouzení vyšších harmonických následující rovnice (5.3).

$$I_{vnn} = i_v * \frac{S_{kV}}{\sin\Psi_{kV}} \quad (5.3)$$

I_{vnn} - přípustný proud

i_v - vztahný proud uveden v tabulce 3

S_{kV} - zkratový výkon celého zařízení

$\sin\Psi_{kV}$ - účinník zkratového výkonu

Řád harmonické	I_v (A/MVA)
5	3.0
7	2.5
11	1.5
13	1.0

Tabulka 5.3 – Velikost proudu v závislosti na harmonických

Pro výroby vn

Pro určení přípustných harmonických proudů, pro jedno předávací místo platí vztah (5.4).

$$I_{vpř} = i_{vpř} * S_{kV} \quad (5.4)$$

S_{kv} – zkratový výkon ve společném napájecím bodu

$i_{vpř}$ – vztažený proud dle tabulky 4

Když je připojeno více zařízení ve společném napájecím bodě platí pro harmonické proudy následující vztah (5.5).

$$I_{vpř} = I_{vpř} * \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpř} * S_{kv} * \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (5.5)$$

Přípustné harmonické proudy pro síť vn vztažené ke zkratovému výkonu jsou uvedeny v tabulce 5.4.

Řád harmonických	Přípustný vztažený proud harmonických $i_{vpř}$ (A/MVA)		
	10kV	22kV	35kV
V			
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003

Tabulka 5.4 - Přípustné vztažené harmonické

5.3.4 Ovlivňování signálu HDO

Hromadné dálkové ovládání (HDO) bývá většinou provozováno s frekvencí kolem 180 až 1050 Hz. Úroveň vysílání bývá obvykle mezi 1 % až 4 % U_n . HDO je pro zařízení, které odpovídá 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí signálem. Podle zákona nesmí hladina HDO spadnout v žádném bodu po celé délce sítě o 10% od normované hodnoty.

Pro poklesy hladin signálu HDO vyroben je zapotřebí znát následující hlediska:

- Zdroje statických střídačů bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondenzátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výroby.
- Synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, který způsobuje nižší pokles signálu. Čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, tím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě.

Signál HDO nesmí být rušen, ale také nesmí produkovat jiná rušivá napětí. U výroben, které vytváří rušivá napětí, nesmí překročit 0,1% jmenovitého napětí Z hodnoty 0.1 % U_n nebo 0.3 % U_n vycházíme z toho předpokladu, že v síti nízkého napětí nejsou více jak dvě výrobní. Pokud jsou v síti připojeny více jak dvě výrobní, vycházíme z jiného výpočtu. Pokud jev pozdějším období zjištěno, že výrobní ovlivňuje signál HDO, musí provozovatel učinit potřebná opatření a problém odstranit.

6. Posouzení modelu vedení, do kterého je připojena FVE

Do modelu distribuční sítě je připojena FVE s výkonem 1,2MVA. FVE je připojena do sítě 22kV přes transformátor 23/0,4kV. Sít' se skládá z osmi odběrů a jednoho zdroje. Schéma distribuční sítě, do které je zapojena FVE je zobrazen na obrázku 6.1.

Cílem posouzení modelu vedení je zhodnocení úbytků napětí po připojení FVE do distribuční sítě.

Parametry FVE:

-jmenovité napětí usměrňovače $U_{usm} = 400V$

-jmenovitý výkon $S_{FVP} = 1,2MVA$

Parametry sítě:

Vedení je z hliníkového lana s ocelovou duší AlFe6, která má následující parametry:

-jmenovitý průřez 95 mm^2

-průměr lana $13,35 \text{ mm}^2$

-hmotnost na 1km délky je $370,9 \text{ kg}$

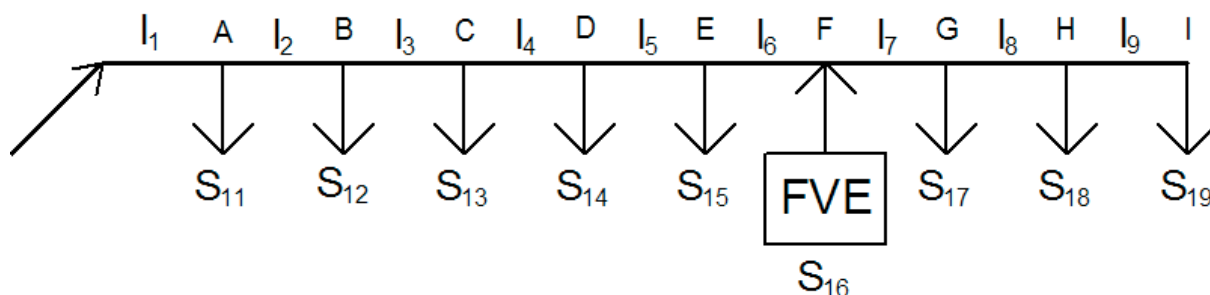
-odpor vedení $R_V = 0,319 \Omega \text{ km}^{-1}$

-reaktance vedení $X_V = 0,35 \Omega \text{ km}^{-1}$

Zadané podmínky:

-účinník je podél celého vedení na hodnotě $0,95$ ($\cos\varphi=0,95$)

- třífázová sít' je rovnoměrně zatížena



Obrázek 6.1 Schéma distribuční sítě s FVE

A, B, C, D, E, F, G, H, I – uzly jednotlivých odběrů a výroben

l_x - délky jednotlivých úseků

S_{xx} – zdánlivé výkony jednotlivých odběrů nebo výroben

Parametry distribuční sítě:

Jednotlivé odběry:

$S_{11} - 500\text{kVA}$, $S_{12} - 200\text{kVA}$, $S_{13} - 100\text{kVA}$, $S_{14} - 300\text{kVA}$, $S_{15} - 200\text{kVA}$, $S_{17} - 200\text{kVA}$,
 $S_{18} - 300\text{kVA}$, $S_{19} - 800\text{MVA}$

Dodávka (FVE):

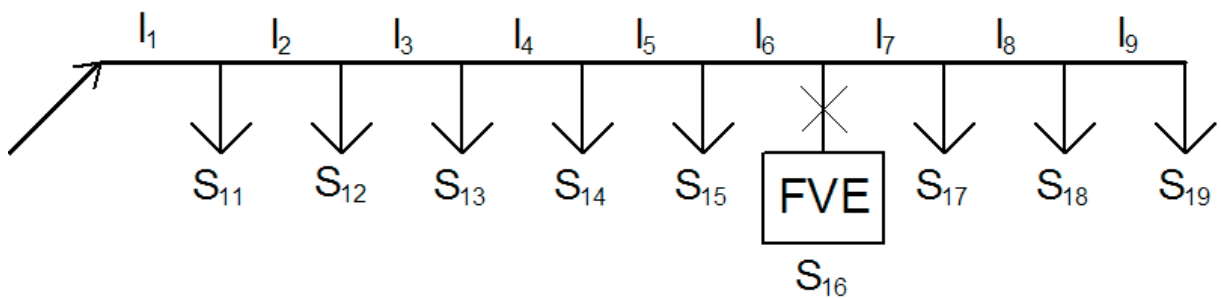
$S_{16} - 1,2\text{MVA}$

Délky jednotlivých úseků vedení:

$l_1 - 5\text{km}$, $l_2 - 4\text{km}$, $l_3 - 3\text{km}$, $l_4 - 4\text{km}$, $l_5 - 1\text{km}$, $l_6 - 1,5\text{km}$, $l_7 - 4\text{km}$, $l_8 - 3\text{km}$, $l_9 - 2\text{km}$

6.1 Výpočet vedení bez FVE

Při výpočtu nejdříve postupujeme tak, že počítáme vedení bez výroby FVE ($S_{16} = 0$). Schéma vedení je na obrázku 6.2. Postupujeme tak, že si nejdříve vypočteme činný proud dle vzorce (6.1) a jalový proud (6.2), které odebírají jednotlivé úseky. Činný proud pro odběr S_{11} je vypočten ve vztahu (6.3), jalový proud je vypočten ve vztahu (6.4). Tímto způsobem se vypočítaly ostatní proudy pro jednotlivé odběry, které jsou zobrazeny v tabulce 6.1.



Obrázek 6.2 Schéma distribuční sítě bez FVE

$$I_{\check{c}} = \frac{S_{xx} * \cos \varphi}{\sqrt{3} * Un} \quad (6.1)$$

$$I_j = I_{\check{c}} * \tan \varphi \quad (6.2)$$

$$I_{\check{c}11} = \frac{700 * 10^3 * 0,95}{\sqrt{3} * 22 * 10^3} = 17,45\text{A} \quad (6.3)$$

$$I_{j11} = 17,45 * 0,33 = 5,74\text{A} \quad (6.4)$$

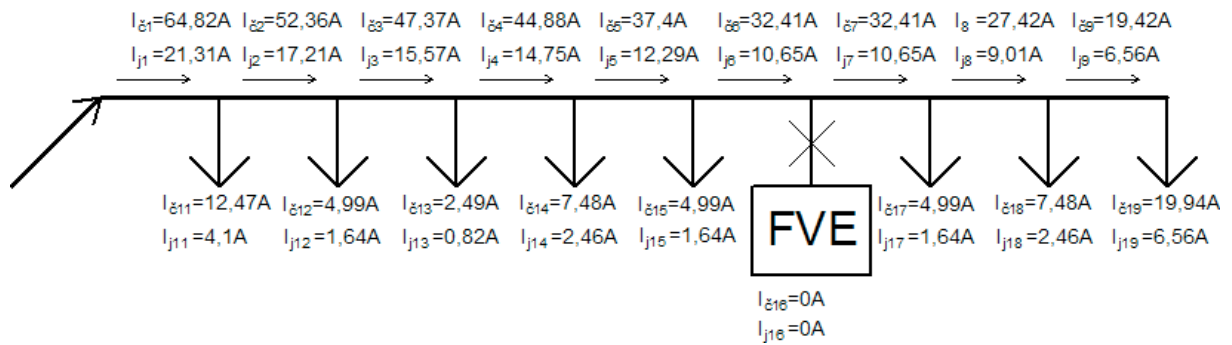
Uzel vedení	I _č	I _j
	[A]	[A]
11	12,47	4,1
12	4,99	1,64
13	2,49	0,82
14	7,48	2,46
15	4,99	1,64
16	0	0
17	4,99	1,64
18	7,48	2,46
19	19,94	6,56

Tabula 6.1 Činné a jalové proudy jednotlivých odběrů.

Po zjištění proudů, které jsou odebírány z jednotlivých bodů na vedení, vypočteme proudy protékající v jednotlivých větvích. Z obrázku 6.2 je vidět, že vedení je napájeno z jedné strany. Při výpočtu postupujeme od konce vedení a přičítáme odebírané proudy do jednotlivých úseků. Proudů jsou vypočteny v tabulce 6.2. Úsekem vedení l_7 a l_6 protékají stejné proudy z důvodu odpojení FVE. Tyto proudy jsou zakresleny v obrázku 6.3.

Úsek vedení	I _č	I _j
	[A]	[A]
1	64,82	21,31
2	52,36	17,21
3	47,37	15,57
4	44,88	14,75
5	37,4	12,29
6	32,41	10,65
7	32,41	10,65
8	27,42	9,01
9	19,94	6,56

Tabulka 6.2 Činné a jalové proudy v jednotlivých úsecích vedení



Obrázek 6.3 Činné a jalové proudy v jednotlivých úsecích a odběrech vedení

V dalším kroku provedeme výpočet odporu a indukčnosti pro jednotlivé úseky. Pro vedení, které je z hliníkového lana s ocelovou duší AlFe6 je odpor vedení $0,319 \Omega$ na kilometr a indukčnost $0,35 \Omega$ na kilometr. Tyto hodnoty se vynásobí délkou jednotlivých úseků popsaných ve vztahu (6.5) a (6.6). Odpor a reaktance pro úsek 11 je vypočten ve vztahu (6.7) a (6.8). Výpočet ostatních odporů a reaktancí vedení jsou v tabulce 6.3.

$$R_1 = l_1 * R_V \quad (6.5)$$

$$X_1 = l_1 * X_{1V} \quad (6.6)$$

$$R_1 = 5 * 0,319 = 1,6 \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (6.7)$$

$$X_1 = 5 * 0,35 = 1,75 \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (6.8)$$

Úsek vedení	R	X
	$[\Omega \text{ km}^{-1}]$	$[\Omega \text{ km}^{-1}]$
1	1,6	1,75
2	1,28	1,4
3	0,96	1,05
4	1,28	1,4
5	0,32	0,35
6	0,48	0,53
7	1,28	1,4
8	0,96	1,05
9	0,64	0,7

Tabulka 6.3 Odpor a reaktance jednotlivých úseků vedení

Dalším krokem je úbytek napětí v absolutní hodnotě na jednotlivých větvích, který se spočítá dle vztahu (6.9). Ve vztahu (6.10) je uveden výpočet úbytku napětí v absolutní hodnotě pro úsek vedení I₁.

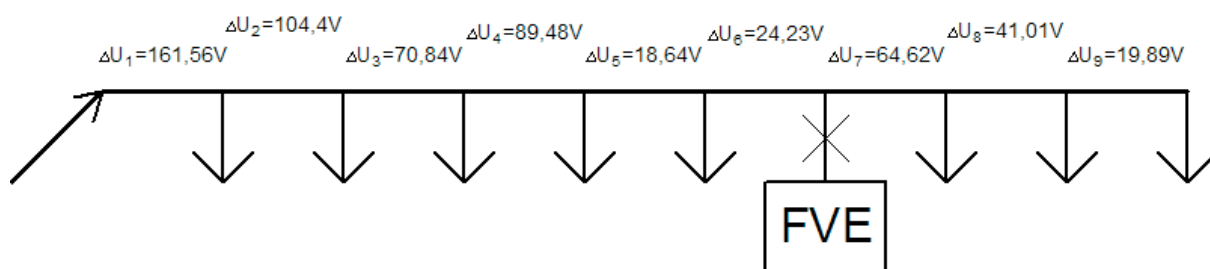
$$\Delta U_F = (R + jX) * (i_{\check{c}} - j i_j) \quad (6.9)$$

$$|\Delta U_1| = (1,6 + j1,75) * (109,7 - j36,06) = 273,41V \quad (6.10)$$

Úbytky napětí jednotlivých úseků jsou v tabulce 6.4 a vyznačeny v obrázku 6.4.

Úsek vedení	ΔU
	[V]
1	161,56
2	104,4
3	70,84
4	89,48
5	18,64
6	24,23
7	64,62
8	41,01
9	19,89

Tabulka 6.4 Úbytek napětí jednotlivých úseků vedení.



Obrázek 6.4 Úbytky napětí na jednotlivých úsecích vedení

Pro získání celkového úbytku ($\Delta U_{CEL \text{ bez } FVE}$) na vedení se sečtou jednotlivé úbytky dle vztahu (6.11). Dosazením hodnot do vztahu (6.11) získáme vztah (6.12).

$$\Delta U_{CEL \text{ bez } FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{CEL bez FVE} &= 161,56 + 104,4 + 70,84 + 89,48 + 18,64 + \\ &+ 24,23 + 64,62 + 41,01 + 19,89 = 594,67V \end{aligned} \quad (6.12)$$

Dovolený úbytek napětí na vedení 22kV je 5% dle PPDS. Vztah (6.13) počítá dovolený úbytek v síti. Po dosazení hodnot získáme vztah (6.14) což je 635,09V. Podmínkou je, že vypočtený úbytek napětí musí být menší než dovolený úbytek napětí. Při srovnání vypočteného úbytku 594,67V s dovoleným úbytkem 635,09V dojdeme k závěru, že podmínka platí.

$$\Delta U_{dov} = \frac{\frac{U_S}{\sqrt{3}}}{100} * 5 \quad (6.13)$$

$$\Delta U_{dov} = \frac{22000}{\frac{\sqrt{3}}{100}} * 5 = 635,09V \quad (6.14)$$

Úbytek napětí v uzlu F ($\Delta U_{uzel F bez FVE}$) se zjistí tak, když se sečtou úseky $l_1, l_2, l_3, l_3, l_4, l_5$ a l_6 pomocí vztahu (6.15). Po dosazení hodnot získáme úbytek napětí 469,15V, ze vztahu (6.16).

$$\Delta U_{uzel F bez FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 \quad (6.15)$$

$$\Delta U_{uzel F bez FVE} = 161,56 + 104,4 + 70,84 + 89,48 + 18,64 + 24,23 = 469,15V \quad (6.16)$$

Před připojením FVE se musí zjistit velikost napětí v místě uzlu připojení FVE a to podle vztahu (6.17). Po dosazení dostaneme napětí v uzlu F 12232,56 V (6.18) .

$$U_{uzel F bez FVE} = \frac{U_S}{\sqrt{3}} - \Delta U_{1-6} \quad (6.17)$$

$$U_{uzel F bez FVE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 469,15 = 12232,56V \quad (6.18)$$

6.2 Výpočet vedení s FVE

Výpočet úbytku napětí na vedení po připojení FVE je velice podobný jako v předchozím příkladu. Pouze zdroj S_{16} není 0VA, ale je 1,2MVA. Schéma vedení je na obrázku 6.1. Postupujeme podobně jako v předchozím příkladu tak, že si nejdříve vypočteme činný proud dle vztahu (6.1) a jalový proud (6.2), které odebírají jednotlivé úseky. Proudy jednotlivých odběrů a zdroje jsou zobrazeny v tabulce 6.5.

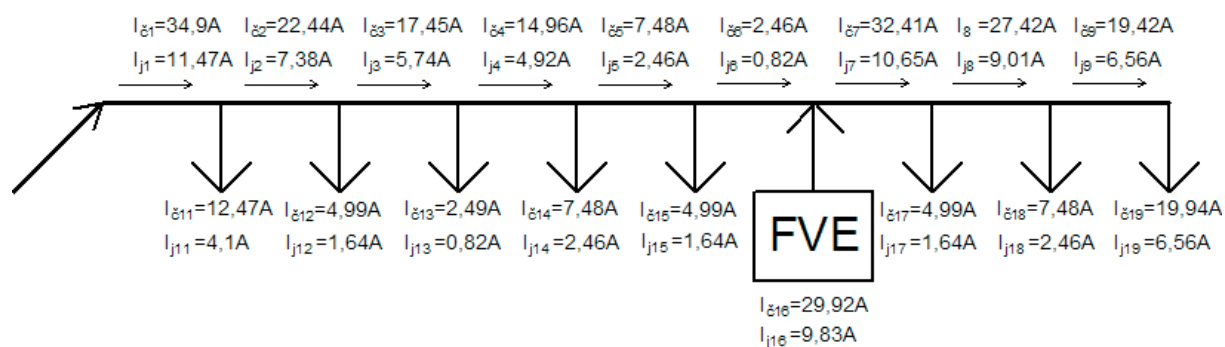
Uzel vedení	I _č	I _j
	A	A
11	12,47	4,1
12	4,99	1,64
13	2,49	0,82
14	7,48	2,46
15	4,99	1,64
16	29,92	9,83
17	4,99	1,64
18	7,48	2,46
19	19,94	6,56

Tabula 6.5 Činné a jalové proudy jednotlivých odběrů a FVE

Po zjištění proudů, které jsou odebrány z jednotlivých bodů na vedení, se vypočtou proudy protékající v jednotlivých větvích. Při výpočtu postupujeme od konce vedení a přičítáme odebírané proudy do jednotlivých úseků, nebo odečítáme proudy, pokud je připojen zdroj. Proudy na jednotlivých úsecích jsou v tabulce 6.6 a vyznačeny v obrázku 6.5. V obrázku 6.5 jsou vyznačeny proudy, kterým směrem tečou.

Úsek vedení	Ič	Ij
	A	A
1	34,9	11,47
2	22,44	7,38
3	17,45	5,74
4	14,96	4,92
5	7,48	2,46
6	2,49	0,82
7	32,41	10,65
8	27,42	9,01
9	19,94	6,56

Tabulka 6.6

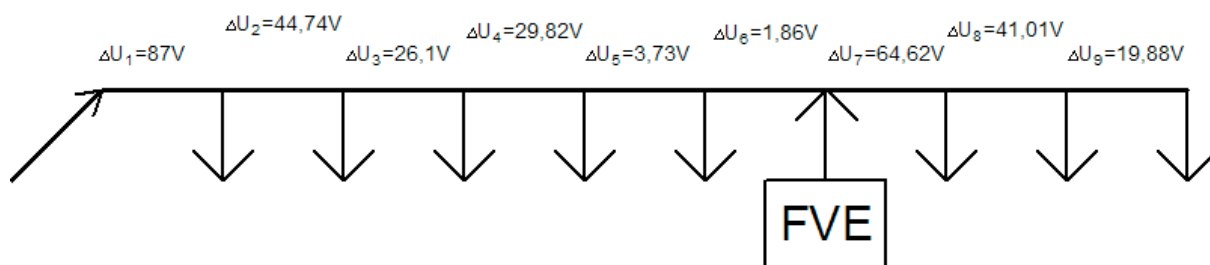


Obrázek 6.5

V dalším kroku provedeme výpočet odporu a indukčnosti pro jednotlivé úseky. Tyto hodnoty jsou stejné jako u předchozího příkladu. Jednotlivé odpory indukčnosti vedení jsou v tabulce 6.3. Tyto hodnoty se dosadí do vztahu (6.9) s hodnotami proudů jednotlivých úseků vedení. Výpočty jednotlivých úbytků napětí na vedení jsou v tabulce 6.7 a obrázku 6.6.

Úsek vedení	ΔU
	V
1	87
2	44,74
3	26,1
4	29,82
5	3,73
6	1,86
7	64,62
8	41,01
9	19,88

Tabulka 6.7 Úbytek napětí jednotlivých úseků vedení



Obrázek 6.6 Úbytky napětí na jednotlivých úsecích vedení

Celkový úbytek na vedení ($\Delta U_{CELS FVE}$) se vypočte pomocí vztahu (6.19), kdy se sečtou jednotlivé úbytky napětí. Dosazením úbytků získáme vztah (6.20), který odpovídá 594,67 V.

$$\Delta U_{CELS FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{CELS FVE} &= 87 + 44,74 + 26,1 + 29,82 + 3,73 + \\ &+ 1,86 + 64,01 + 41,01 + 19,89 = 318,77V \end{aligned} \quad (6.20)$$

Úbytek napětí v uzlu F ($\Delta U_{uzel F S FVE}$) se zjistí tak, když se sečtou úseky 1₁, 1₂, 1₃, 1₃, 1₄, 1₅ a 1₆ pomocí vztahu (6.21). Po dosazení hodnot získáme úbytek napětí 469,15V, ze vztahu (6.22).

$$\Delta U_{uzel F s FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 \quad (6.21)$$

$$\Delta U_{uzel F s FVE} = 87 + 44,74 + 26,1 + 29,82 + 3,73 + 1,86 = 193,25V \quad (6.22)$$

Velikost napětí v uzlu připojení FVE neboli v uzlu F se vypočte dle vztahu (6.23), po dosazení získáme vztah (6.24). Úbytek napětí v uzlu připojení ($U_{uzel F bez FVE}$) je 12508,45V.

$$U_{uzel F bez FVE} = \frac{U_S}{\sqrt{3}} - \Delta U_{uzel F s FVE} \quad (6.23)$$

$$U_{uzel F bez FVE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 193,25 = 12508,45V \quad (6.24)$$

U výroben se nesmí zvýšit napětí o 2% dle vztahu (6.25). Napětí v uzlu připojení FVE neboli uzlu F bez připojení FVE je 12232,56 V vypočten ve vztahu (6.18). Výpočet je proveden ve vztahu (6.26), což odpovídá 12477,21 V.

$$\Delta U_{dov 2\%} = \frac{U_{uzel F bez FVE}}{100} * 102 \quad (6.25)$$

$$\Delta U_{dov 2\%} = \frac{12232,56}{100} * 102 = 12477,21V \quad (6.26)$$

Připojením FVE se zvýší napětí v uzlu připojení na 12508,45V. Dovolené napětí je 12477,21V. Výkon elektrárny 1200kVA nevyhovuje dovolenému napětí. A proto se musí změnit výkon fotovoltaické elektrárny.

6.3 Výpočet povoleného výkonu pro FVE

Výkon S_{16} FVE se změnil na výkon 1064,1kVA. Schéma vedení je na obrázku 6.1. Postupujeme stejně jako ve dvou předchozích příkladech. Vypočteme si činný a jalový proud jednotlivých odběrů a výroby dle vztahu (6.1) a (6.2), které jsou vypočteny v tabulce (6.8).

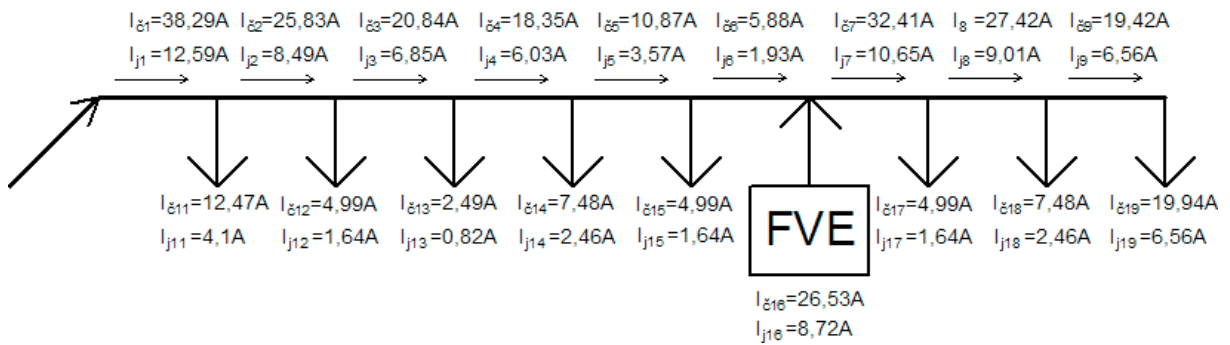
Uzel vedení	I _č	I _j
	A	A
11	12,47	4,1
12	4,99	1,64
13	2,49	0,82
14	7,48	2,46
15	4,99	1,64
16	-26,53	-8,72
17	4,99	1,64
18	7,48	2,46
19	19,94	6,56

Tabula 6.8 Činné a jalové proudy jednotlivých odběrů a výroby.

Po zjištění proudů, které jsou odebírány z jednotlivých bodů na vedení, vypočteme proudy protékající v jednotlivých větvích. Při výpočtu postupujeme od konce vedení a přičítáme odebírané proudy do jednotlivých úseků, nebo odečítáme zdroje. Proudů na jednotlivých úsecích jsou v tabulce 6.9 a vyznačeny v obrázku 6.7.

Úsek vedení	I _č	I _j
	A	A
1	38,29	12,59
2	25,83	8,49
3	20,84	6,85
4	18,35	6,03
5	10,87	3,57
6	5,88	1,93
7	32,41	10,65
8	27,42	9,01
9	19,94	6,56

Tabulka 6.9 Činné a jalové proudy v jednotlivých úsecích vedení

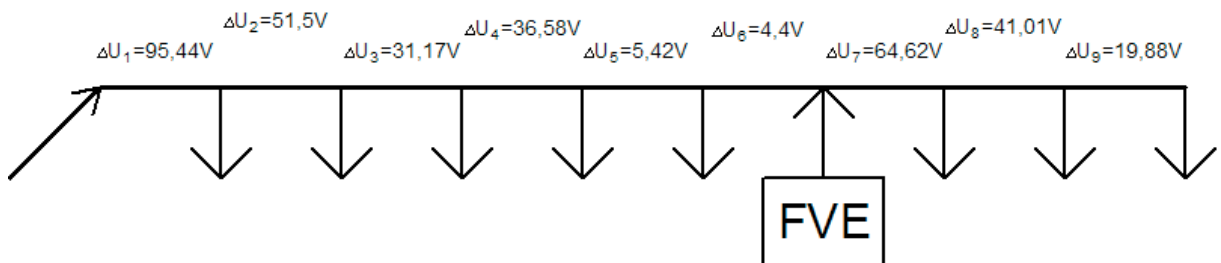


Obrázek 6.7 Činné a jalové proudy v jednotlivých úsecích a odběrech vedení

V dalším kroku provedeme výpočet odporu a indukčnosti pro jednotlivé úseky, které jsou stejné jako ve dvou předešlých příkladech zobrazených v tabulce 6.3. Hodnoty odporu a indukčnosti vedení se dosadí do vztahu (6.9) zároveň s hodnotami proudů jednotlivých úseků vedení. Výpočty úbytků napětí jsou zobrazeny v tabulce 6.10 a obrázku 6.8.

Úsek vedení	ΔU
	V
1	95,44
2	51,5
3	31,17
4	36,58
5	5,42
6	4,4
7	64,62
8	41,01
9	19,88

Tabulka 6.10 Úbytek napětí jednotlivých úseků vedení



Obrázek 6.8 Úbytky napětí na jednotlivých úsecích vedení

Celkový úbytek na vedení ($\Delta U_{CEL s FVE}$) se vypočte pomocí vztahu (6.19), kdy se sečtou jednotlivé úbytky napětí. Dosazením úbytků získáme vztah (6.27), který odpovídá 594,67 V.

$$\begin{aligned} \Delta U_{CEL s FVE} &= 95,44 + 51,5 + 31,17 + 36,58 + 5,42 + \\ &+ 4,4 + 64,02 + 41,01 + 19,88 = 350,02V \end{aligned} \quad (6.27)$$

Úbytek napětí v uzlu F ($\Delta U_{uzel F s FVE}$) se zjistí tak, když se sečtou úseky l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 a l_6 pomocí vztahu (6.21). Po dosazení hodnot získáme úbytek napětí 469,15V, ze vztahu (6.28).

$$\Delta U_{uzel F s FVE} = 95,44 + 51,5 + 31,17 + 36,58 + 5,42 + 4,4 = 224,50V \quad (6.28)$$

Velikost napětí v uzlu připojení FVE neboli v uzlu F se vypočte dle vztahu (6.23), po dosazení získáme vztah (6.29). Úbytek napětí v uzlu připojení ($U_{uzel F bez FVE}$) je 12508,45V.

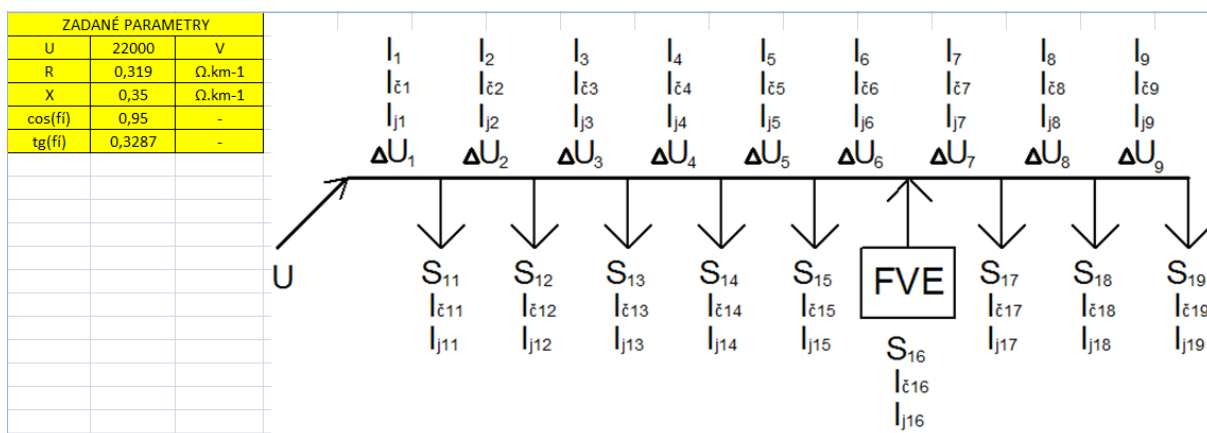
$$U_{uzel F bez FVE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 224,50 = 12477,21V \quad (6.29)$$

Pro výrobní platí podmínka, že se nesmí zvýšit napětí o 5%, která je vypočtena ve vztahu (6.26), což odpovídá 12477,21V. Při srovnání dovoleného napětí 12477,21V a vypočteného napětí 12477,21 V je vidět, že hodnoty jsou totožné a platí podmínka. Výkon 1064,1kVA FVE může být připojen do sítě.

6.4 Program pro výpočet vedení

Výpočet modelu vedení jsem provedl v programu Microsoft Office Excel, kdy jsem vytvořil algoritmy pro výpočet daného vedení. Schéma vedení, pro které jsem vytvořil program, je zobrazen na obrázku 6.1. Model vedení se skládá z osmi odběrů a jednoho zdroje (FVE). Do programu pro výpočet vedení se zadávají parametry, mezi které patří odpor, reaktance, účinník, napájecí napětí, délky úseků, výkony odběrů a výkon zdroje (FVE). Odpor a reaktance se zadává

jednotně pro celé vedení a to v ohmech na kilometr ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$). Pro zjednodušení výpočtů se volí stejný účinník po celé délce vedení. Mezi další parametry, které se zadávají, patří napětí, které se nezadává jako fázové, ale ve sdružené hodnotě viz obrázek 6.7. Délky jednotlivých úseků se zadávají v kilometrech (km). Odběry z jednotlivých uzlů se zadávají ve zdánlivém výkonu (VA), jako kladné hodnoty. Naopak výroby (FVE) se zadávají jako záporné hodnoty se znaménkem mínus (-) zobrazených na obrázku 6.8. Postup při výpočtech je podobný jako ve třech předešlých příkladech. Na obrázku 6.8 je část výřezu jednotlivých odběrů a dodávky z FVE, kde zdánlivý výkon je přepočítán na činnou a jalovou složku proudu. Z další části výřezu programu zobrazeného na obrázku 6.9 jsou výpočty úseků vedení l_1 a l_2 . Kde je vypočten odpor a reaktance pro každý úsek vedení. V dalším kroku se počítá činný a jalový proud, který protéká každou větví. Je zde počítán úbytek napětí, pro každou větev vedení. Na konci v programu pro výpočet vedení v Excelu „vpravo“ viz obrázek 6.10 je vypočten celkový úbytek napětí na vedení, který je spočítán také v reálné a imaginární části. Dále je spočítán rozdíl úbytku napětí oproti vedení bez připojení FVE. Je zde vypočítán úbytek napětí a napětí v uzlu připojení FVE.



Obrázek 6.7 Výřez z výpočtu vedení, kde jsou zobrazeny zadávané parametry a schéma daného vedení.

ODBĚR S_{15}			ZDROJ S_{16}			ODBĚR S_{17}		
FVE								
S_{15}	$I_{\check{c}15}$	I_{j15}	S_{16}	$I_{\check{c}16}$	I_{j16}	S_{17}	$I_{\check{c}17}$	I_{j17}
VA	A	A	VA	A	A	VA	A	A
200000,00	4,99	1,64	0,00	0,00	0,00	200000,00	4,99	1,64
200000,00	4,99	1,64	-10000,00	-0,25	-0,08	200001,00	4,99	1,64
200000,00	4,99	1,64	-20000,00	-0,50	-0,16	200002,00	4,99	1,64
200000,00	4,99	1,64	-30000,00	-0,75	-0,25	200003,00	4,99	1,64
200000,00	4,99	1,64	-40000,00	-1,00	-0,33	200004,00	4,99	1,64
200000,00	4,99	1,64	-50000,00	-1,25	-0,41	200005,00	4,99	1,64

Obrázek 6.8 Výřez z výpočtu vedení, kde jsou zobrazeny odběry a dodávky (FVE), do vedení.

ÚSEK VEDENÍ I_2					ÚSEK VEDENÍ I_3				
I_2	4	km			I_3	3	km		
R_2	1,28	Ω			R_3	0,96	Ω		
X_2	1,4	Ω			X_3	1,05	Ω		
$I_{\check{c}2}$	I_{j2}	$U_{\check{c}2}$	U_{j2}	ΔU_2	$I_{\check{c}3}$	I_{j3}	$U_{\check{c}3}$	U_{j3}	ΔU_3
A	A	V	V	V	A	A	V	V	V
52,36	17,21	90,90	51,34	104,39	47,37	15,57	61,68	34,84	70,84
52,11	17,13	90,47	51,09	103,90	47,12	15,49	61,36	34,65	70,47
51,86	17,05	90,03	50,85	103,40	46,87	15,41	61,03	34,47	70,09
51,61	16,96	89,60	50,60	102,90	46,62	15,32	60,71	34,29	69,72
51,36	16,88	89,17	50,36	102,41	46,37	15,24	60,38	34,10	69,35
51,11	16,80	88,73	50,12	101,91	46,12	15,16	60,06	33,92	68,97

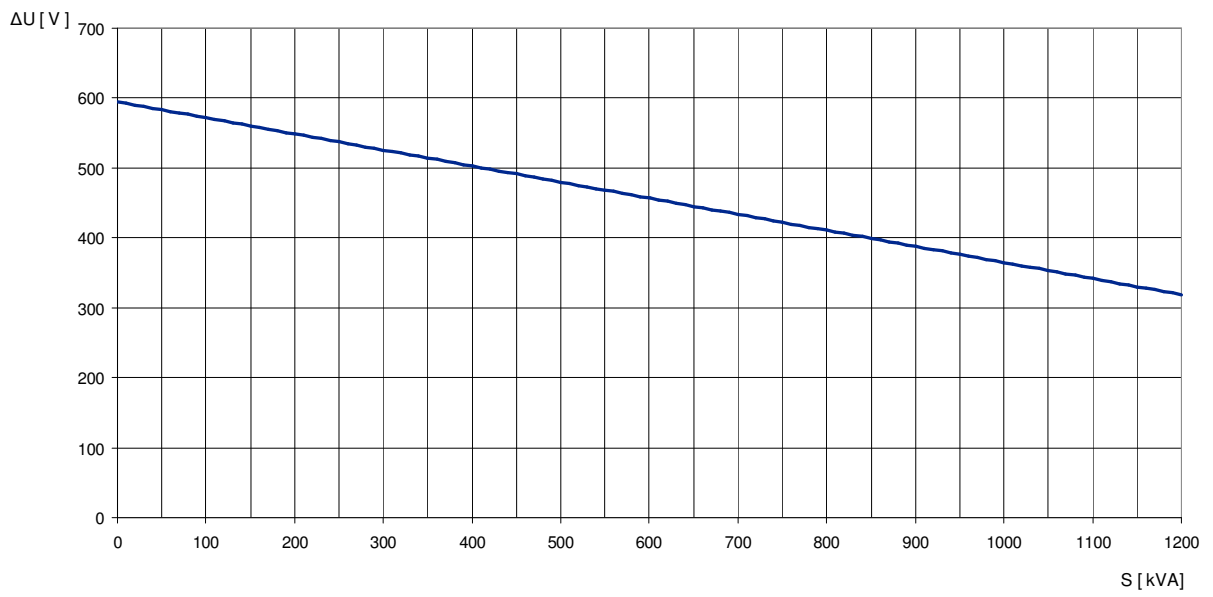
Obrázek 6.9 Výřez z výpočtu vedení, kde jsou zobrazeny úseky vedení.

CELKOVÝ ÚBYTEK			ROZDÍL ÚBYTKU NAPĚTÍ OPROTI VEDENÍ BEZ PŘIPOJENÍ FVE	ÚBYTEK NAPĚTÍ DO UZLU PŘIPOJENÍ FVE	NAPĚTÍ V UZLU PŘIPOJENÍ FVE
$\Delta U_{\text{cel } \check{c}}$	$\Delta U_{\text{cel } j}$	ΔU_{cel}	ΔU	ΔU	U
V	V	V	V	V	V
517,79	292,45	594,67	0,00	469,15	12232,56
515,79	291,31	592,37	-2,30	466,85	12234,85
513,79	290,18	590,07	-4,60	464,55	12237,15
511,79	289,05	587,77	-6,90	462,25	12239,45
509,79	287,92	585,48	-9,20	459,95	12241,75
507,78	286,79	583,18	-11,50	457,66	12244,05

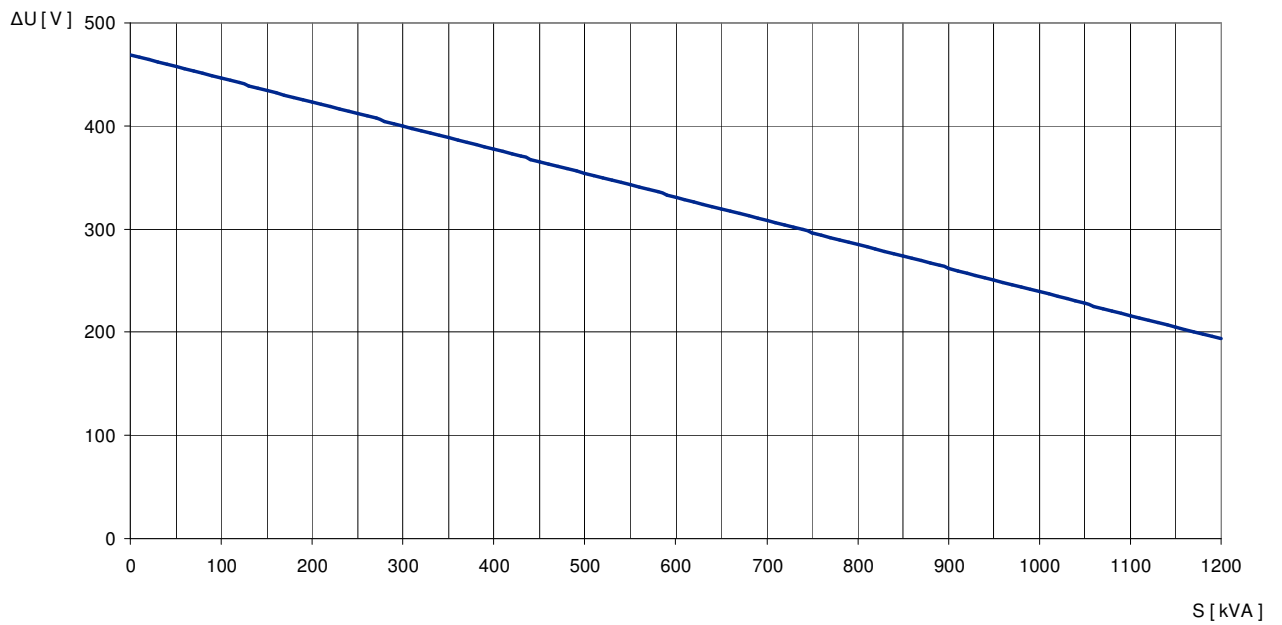
Obrázek 6.10 Výřez z výpočtu vedení, kde je počítáno s celkovým napětím.

6.5 Zhodnocení připojení FVE

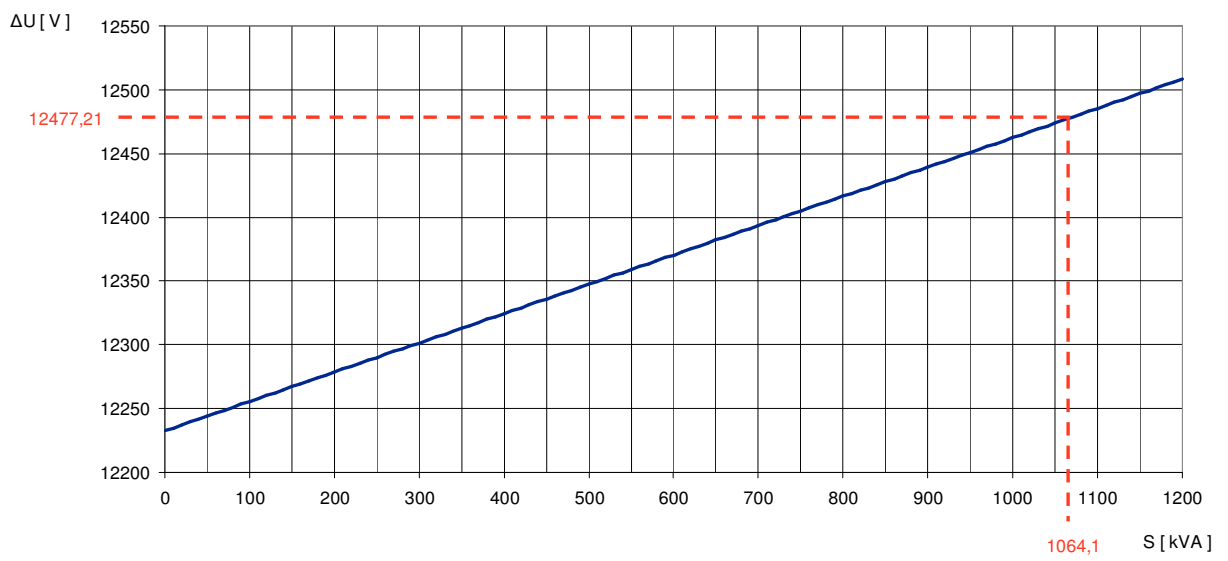
Do modelu distribuční sítě 22kV je připojena FVE o výkonu 1,2MVA. Cílem bylo posoudit, zda tato FVE může být připojena do sítě z hlediska změny napětí. Při posuzování se nejdříve musela vypočítat síť bez výroby (FVE), viz kapitola 6.1, u které se vypočetlo napětí v uzlu, kde má být připojena FVE. Toto napětí je 12232,56V. V dalším kroku se vypočítalo napětí v uzlu po připojení FVE, které je 12508,45V. Podmínkou pro připojení výroby do sítě je, že se nesmí zvýšit napětí o 2%. Dovolené napětí bylo vypočteno dle vztahu (6.25), které je 12477,21V. Z výsledku je vidět, že FVE o výkonu 1,2MVA nevyhovuje podmínce a proto se musí snížit výkon. Dovolенý výkon byl zjištěn pomocí vytvořeného programu pro výpočet vedení, kdy se měnil výkon, až napětí v uzlu připojení FVE bylo stejné s povoleným napětím. Hranice největšího povoleného výkonu výroby je 1064,1kVA. Do programu pro výpočet vedení se dosadily výkony výroby (FVE) od 0VA až do 1,2MVA po 10kVA, ze kterých se vynesly grafy, mezi které patří úbytek napětí na vedení v závislosti na dodávaném výkonu z FVE, který je zobrazen v grafu 6.1. Z grafu vyplývá, že se zvyšujícím výkonem FVE, klesá úbytek napětí na vedení. Z grafu 6.2 je vidět závislost úbytku napětí do uzlu připojení FVE na dodávaném výkonu FVE do sítě, kde úbytek napětí lineárně klesá s dodávaným výkonem. Pro posuzování připojení výroby do sítě je důležitá závislost napětí v uzlu připojení FVE na dodávaném výkonu FVE do sítě, zobrazeného v grafu 6.3. S rostoucím výkonem FVE roste i napětí v uzlu připojení FVE. V tomto grafu je vyznačeno napětí 12477,21V, čemuž odpovídá výkon 1064100VA, který nesmí být překročen.



Graf 6.1 Úbytek napětí na vedení v závislosti na dodávaném výkonu z FVE.



Graf 6.2 Úbytek napětí v uzlu připojení FVE v závislosti na dodávaném výkonu z FVE.



Graf 6.3 Napětí v uzlu připojení FVE v závislosti na dodávaném výkonu FVE do sítě.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl ucelený popis obnovitelných zdrojů, které mohou pracovat do distribuční sítě. V první části je teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn - stručný popis elektrické přenosové soustavy. Jsou zde popsány základní zapojení jednotlivých výroben, mezi které patří paralelně provozovaná výrobná s možností ostrovního provozu a bez možnosti ostrovního provozu. Mezi nejvíce používané zapojení patří výrobná pracující paralelně se sítí bez možnosti ostrovního provozu. Najdete zde popis obnovitelných zdrojů i s tím, jak je zákon formuluje. Jednotlivé obnovitelné zdroje, se kterými se lze setkat v České republice, jsou popsány v kapitole obnovitelné zdroje- fotovoltaické, větrné, vodní elektrárny a elektrárny na biomasu. U jednotlivých obnovitelných zdrojů je popsán jejich princip a závislost na jednotlivých faktorech, mezi které může patřit sluneční svit u fotovoltaických elektráren, nebo vítr u větrných elektráren. Jsou zde shrnuty klady a zápory pro jednotlivé typy.

Obnovitelné zdroje připojené do sítě vytváří rušivé vlivy, jako jsou změny napětí, flickr, ovlivnění signálu HDO, harmonické a nestálost dodávky elektrické energie. Z hlediska změn napětí se nejvíce setkáváme s přepětím a to většinou u větrných elektráren. Flickr je nestálost vizuálního vnímání vyvolaného světelnými popudy. Zdrojem tohoto rušení je velká rychle proměnlivá zátěž, u které se mění velmi rychle jak činná, tak i jalová zátěž. Tento jev vadí pouze člověku, kterého to může ovlivňovat při práci a to problikáváním žárovky. Signál HDO nejvíce ovlivňují jiskření při zapínání a vypínání spotřebičů a vyšší harmonické. S vyššími harmonickými se nejvíce můžeme setkat u střídačů. Mezi ovlivňující faktory sítě také patří nestálá dodávka elektrické energie, která může být kompenzována přečerpávacími vodními elektrárnami a pohotovostními zdroji.

Pokud má výrobná pracovat do distribuční sítě, musí se řídit pravidly pro provozování distribučních soustav (PPDS). Jednotlivá pravidla jsem stručně shrnul v kapitole limity připojitelnosti, kde jsou popsány jednotlivé zásady pro připojení.

V této práci je řešen model vedení, do které je připojena fotovoltaická elektrárna. Vedení je o napěťové hladině 22kV a fotovoltaická elektrárna o výkonu 1,2 MVA. Cílem bylo zjistit, zda tato výrobná může pracovat do této sítě z hlediska změn napětí. Výpočet vedení jsem vytvořil v programu Microsoft Office Excel a je přílohou této bakalářské práce. Ve vytvořeném programu se nastavují jednotlivé délky a parametry úseku vedení. Velikosti jednotlivých odběrů a dodávek (FVE) se zadávají ve veličině zdánlivého výkonu. Program vypočítá potřebné parametry, mezi které patří změna napětí v uzlu připojení a při různých dodávaných výkonech fotovoltaickou elektrárnou.

V této bakalářské práci jsem shrnul poznatky ohledně připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. Zpracováním této bakalářské práce mi přineslo spoustu poznatků a byl bych rád, kdyby posloužila při realizaci některých projektů.

Seznam použité literatury

- [1] Přenosová soustava. Přenosová soustava [online]. 2. 3. 2011 , 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Přenosová_soustava>.
- [2] Výroba elektřiny. ČEZ [online]. 1999, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/vitr.html>>.
- [3] Alternativní zdroje energie - Vodní elektrárny, geotermální energie. Alternativní zdroje energie [online]. 1999, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>>.
- [4] Vydra slaví narozeniny. 3pol [online]. 2008, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://3pol.cz/821/print>>.
- [5] Síťová přípojka. SMA [online]. 2010, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://download.sma.de/smaprosa/dateien/7418/Netzanschluss-UCZ083010.pdf>>.
- [6] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla. I-EKIS [online]. 2005, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>>.
- [7] Pravidla provozování distribučních soustav. ČEZ [online]. 2009, 1, [cit. 2011-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_priloha_4_2009.pdf>.
- [8] SANTARIUS, Pavel. Elektrické stanice a vedení. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1990. 214 s.
- [9] HODINKA, Miroslav; FECKO, Štefan; NĚMEČEK, Franta. Přenos a rozvod elektrické energie. Praha : SNTL, 1989. 323 s.
- [10] TROJÁNEK, Zdeněk; HÁJEK, Josef; KVASVICA, Pavol. Přejídné jevy v elektrizačních soustavách. Praha : SNTL, 1987. 310 s.
- [11] DOHNÁLEK, Petr. Ochrana pro průmysl a energetiku. Praha : SNTL, 1991. 373 s.
- [12] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008. 364 s.
- [13] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika - Budovy jako zdroj proudu. HEL : HEL, 2010. 176 s.