

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh podmínek pro připojení a paralelní spolupráci  
výrobní elektriny s distribuční soustavou**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš PRACHAŘ**  
Osobní číslo: **E12B0049P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Návrh podmínek pro připojení a paralelní spolupráci výroby elektřiny s distribuční soustavou**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Zpracujte přehled legislativních podmínek pro výstavbu a připojení výroby elektřiny k distribuční soustavě.
2. Vypracujte přehled technických podmínek pro paralelní spolupráci výroby elektřiny s distribuční soustavou.
3. Proveďte návrh připojení FVE výroby do konkrétního místa v distribuční síti a navržený stav ověřte výpočtem.
4. Vypracujte jednoduchou ekonomickou bilanci paralelního provozu FVE výroby elektřiny instalované v odběrném místě.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. odbornou literaturu bakalářské práce určí na první schůzce vedoucí práce
2. www stránky, katalogy firem, ČSN IEC

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015

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



  
Prof. Ing. Václav Kus, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku připojování fotovoltaických výroben k distribuční síti. Zaobírá se legislativní i technickou stránkou věci. Je zde nastíněn výpočet změny napětí distribuční sítě v důsledku připojení fotovoltaické výrobní. Dále byla provedena jednoduchá ekonomická bilance provozu fotovoltaické výrobní.

## **Klíčová slova**

fotovoltaická elektrárna, změna napětí v síti, legislativní podmínky připojení, návratnost fotovoltaické výrobní, ekonomická bilance, HDO

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on connecting photovoltaic plants to electric grid. It deals with legislative and technical side of things. There is outlined a change of voltage in distribution grid in order to connection of the PV power plant. Simple economic balance was also performed.

## **Key words**

photovoltaic plant, change of voltage in electric grid, laws about connection to the grid, financial return of photovoltaic plant. economic balance, HDO

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 4.6.2015

Tomáš Prachař

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Radkovi Burešovi za poskytnutí nezbytného softwaru pro simulaci a poskytnutí rad důležitých pro teoretické výpočty. Nakonec bych rád poděkoval Ing. Václavovi Kropáčkovi za trpělivost a ochotu při mnoha konzultacích.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 PŘEHLED LEGISLATIVNÍCH PODMÍNEK PRO VÝSTAVBU A PŘIPOJENÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBECNÉ PODMÍNKY PŘIPOJENÍ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY .....	11
1.1.1 Uvedení výroby do provozu.....	11
1.2 POSTUP PODÁNÍ A VYŘÍZENÍ ŽÁDOSTÍ O PŘIPOJENÍ K HLADINĚ NN .....	12
1.2.1 Žádost o připojení výroby k distribuční soustavě.....	12
1.2.2 Stavební odbor .....	13
1.2.3 Realizace stavby.....	14
1.2.4 Licence na výrobu elektřiny .....	14
1.2.5 Žádost - Smlouva o připojení výroby k distribuční soustavě.....	15
1.2.6 Operátor trhu s elektřinou .....	16
<b>2 TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ DO DS</b> .....	<b>16</b>
2.1 MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ VÝROBNY DO ES NA HLADINĚ NN .....	16
2.2 ZAŘÍZENÍ PRO DISPEČERSKÉ ŘÍZENÍ .....	18
2.3 KONTROLA NAPĚŤOVÝCH POMĚRŮ V SÍTI .....	20
2.4 MĚŘENÍ A HDO .....	20
2.5 NAPĚŤOVÉ A FREKVENČNÍ OCHRANY .....	20
<b>3 NÁVRH PŘIPOJENÍ FVE DO KONKRÉTNÍHO MÍSTA V DS</b> .....	<b>21</b>
3.1 POČÍTÁNÍ ZMĚN NAPĚTÍ KLASICKOU METODOU .....	23
3.2 POČÍTÁNÍ ZMĚN NAPĚTÍ POMOCÍ SOFTWARE E-VLIVY .....	28
3.2.1 Simulace pro připojení výroby FVE 12.....	29
3.2.2 Simulace po připojení FVE 13 .....	30
3.3 POROVNÁNÍ METOD .....	32
<b>4 FINANČNÍ BILANCE FOTOVOLTAICKÉ VÝROBNY</b> .....	<b>33</b>
4.1 FORMY PODPORY PŘED ROKEM 2014 .....	33
4.1.1 Zelený bonus .....	33
4.1.2 Přímý prodej .....	33
4.2 VÝPOČET NÁVRATNOSTI VÝROBNY PŘIPOJENÉ V ROCE 2015 .....	34
4.3 VÝPOČET NÁVRATNOSTI VÝROBNY PŘIPOJENÉ V ROCE 2010.....	35
4.4 POROVNÁNÍ LET 2010 A 2015 .....	35
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>36</b>
<b>6 POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>37</b>
<b>7 PŘÍLOHY</b> .....	<b>38</b>



## Seznam symbolů a zkratek

PPDS.....	Pravidla provozování distribuční soustavy
DS .....	Distribuční soustava
OPPDS.....	Obecné podmínky připojení do distribuční soustavy
PDS .....	Provozovatel distribuční soustavy
ERÚ .....	Energetický regulační úřad
OTE.....	Operátor trhu s elektřinou
HDO.....	Hromadné dálkové ovládání
HDS .....	Hlavní domovní skříň
RTU .....	Remote terminal unit
VN.....	Vysoké napětí
NN.....	Nízké napětí
VT .....	Vysoký tarif
NT .....	Nízký tarif

## Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku připojování výrobní do distribuční soustavy.

Text je rozdělen do čtyřech částí. První část se zabývá legislativními podmínkami připojení a je zde rozebrán kompletní postup žádostí, které je třeba vyřídit při připojování menší fotovoltaické výrobní. Druhá část se zabývá technickými podmínkami připojení. Třetí část je zaměřena na připojení výrobní do konkrétního místa v distribuční soustavě. Je zde proveden ruční výpočet negativní změny napětí i simulace pomocí programu E-vlivy. Čtvrtá část pak porovnává ekonomickou bilanci výrobní připojené v roce 2010 a v roce 2015.

# 1 Přehled legislativních podmínek pro výstavbu a připojení

Hlavním řídicím orgánem na poli energetiky je bezesporu Ministerstvo průmyslu a obchodu. To prostřednictvím energetického zákona 458/2000 Sb. určuje pravidla pro podnikání a výkon správních orgánů v energetickém odvětví. Na základě těchto pravidel jsou Energetickým regulačním úřadem vydávány tzv. prováděcí vyhlášky. Pro naše účely je důležitá především vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě č. 81/2010, která upravuje původní vyhlášku č. 51/2006. Energetický regulační úřad pak za spolupráce zástupců provozovatelů distribučních sítí, kterými jsou v současnosti ČEZ, EON a PRE, stanoví Pravidla provozování distribuční soustavy. Nejdůležitější částí těchto pravidel je v našem případě příloha č.4 - "Pravidla pro provoz zdrojů ze sítí provozovatele". Ta pak slouží například k určení technického řešení připojení výroby nebo jako podklad pro plánování. Dále si jednotliví provozovatelé určí Obecné podmínky připojení do distribuční soustavy. Protože žijí v západočeském regionu, budeme se v této práci zabývat podmínkami vydanými společnostmi ČEZ a.s..

## 1.1 Obecné podmínky připojení do distribuční soustavy

V případě zájmu o výstavbu výroby a její následné připojení do DS je nutné dodržet nejprve tyto OPPDS a samozřejmě podat žádost určenou PDS, případně i "Dotazník pro vlastní výrobu". Jinak nelze rozšiřovat, zřizovat ani upravovat žádnou výrobu, která je k DS připojena. V případě podstatné stavební změny je také nutné dodržet podmínky, které stanovuje stavební zákon č. 183/2006 Sb. Důležitou informací je i to, že výroba nesmí zhoršit kvalitu elektrické energie v místě připojení.

### 1.1.1 Uvedení výroby do provozu

Před prvním připojením je nutné mít uzavřenou Smlouvu o připojení s PDS, musí být dodrženy technické parametry výroby zadané PDS. Jakmile je vydáno souhlasné stanovisko od PDS, je možné výrobu připojit. PDS má ale právo tento proces připojení vykonat sám, aby překontroloval splnění technických podmínek. Dále má PDS právo po uvedení výroby do provozu překontrolovat parametry dodávané elektřiny a vliv výroby na DS. [1]

## 1.2 Postup podání a vyřízení žádostí o připojení k hladině NN

V následující části je rozebrán klasický postup podání veškerých žádostí a vyřízení povolení nutných k vyřízení celkové administrativy okolo připojení do distribuční soustavy.

### 1.2.1 Žádost o připojení výroby k distribuční soustavě

Jakmile se žadatel rozhodne, že zrealizuje svůj projekt o připojení výroby k distribuční soustavě, je třeba vyřídit několik nezbytných písemností. První z nich je podání Žádosti o připojení výroby k distribuční soustavě. Tato žádost musí splňovat náležitosti vyhlášky o podmínkách připojení k elektrizační soustavě (vyhláška 51/2006 Sb.) Žádost se vždy podává společně s Dotazníkem pro vlastní výrobu, který výrobu blíže specifikuje, na kontaktní místo PDS. K žádosti je potřeba výpis z katastru nemovitostí, který prokazuje vlastnictví (pokud je vlastník jiný než žadatel, musí být doložen souhlas vlastníka).

Je-li výkon výroby vyšší než 30 kW, je potřeba doložit územně plánovací informaci od místně příslušného stavebního úřadu (např., že objekt nespadá pod památkovou oblast nebo chráněnou přírodní oblast).

Žadatel musí samozřejmě dodat všechny potřebné dokumenty spolu s touto žádostí. Jestliže je nedodá, je do 15 dnů od obdržení žádosti distributorem upozorněn o nedodání a je mu vyměřena přiměřená lhůta. Pokud tuto lhůtu nedodrží, žádost je vyřazena a považována za bezpředmětnou.

Distributor má stanovenou lhůtu pro vyřízení žádosti o připojení k distribuční soustavě vyhláškou 81/2010 Sb. (vyhláška o připojení - novela vyhlášky 51/2006 Sb.), a to přesně 30 dní od podání žádosti a všech jejích náležitostí. Do uplynutí této lhůty zašle distributor návrh smlouvy o připojení nebo návrh smlouvy o smlouvě budoucí. Tuto lhůtu může překročit v případech stanovených energetickým zákonem, například když je žadatel vyzván k doložení studie o připojitelnosti. Distributor může odmítnout žadatele z důvodu nedostatečné kapacity sítě, kdy je překročena dovolená odchylka napětí způsobená připojením výroby (odchylku napětí stanoví PPDS).

Po přijetí návrhu smlouvy o připojení nebo návrhu smlouvy o smlouvě budoucí žadatel tuto smlouvu podepíše a jeden výtisk odesílá zpět distributorovi, přičemž jeden výtisk mu zůstává. Jestliže tak žadatel neučiní do 30 dnů od data doručení návrhu smlouvy, závazná rezervace instalovaného výkonu zaniká a smlouva je neplatná. Jestliže není nutná úprava stávajícího stavu distribuční soustavy, stanoví distributor lhůtu pro připojení výroby do soustavy. Tato lhůta se počítá ode dne zaplacení poplatku o připojení a pro fotovoltaické elektrárny do 30 kW instalovaného výkonu je stanovena na 180 dnů. Pro výroby nad 30 kW je pak stanovena na 360 dnů.

Jestliže žadatel obdrží smlouvu o připojení, je možné připojit výrobu bez dodatečných změn distribuční soustavy.

Jestliže však žadatel obdrží smlouvu o smlouvě budoucí, je nutné provést technické změny současného stavu distribuční soustavy nebo vybudovat její novou část.

V obou výše uvedených případech však musí žadatel uhradit zálohu na oprávněné náklady dle vyhlášky 81/2010 - příloha č. 6. Zde je uvedeno, že žadatel platí 50 % celkových oprávněných nákladů, tedy nákladů spojených s připojením zařízení k distribuční soustavě a se zajištěním požadovaného výkonu. Uhrazení této částky je omezeno lhůtou 15 dní od uzavření smlouvy o připojení, popř. o smlouvě budoucí. V případě, že žadatel tuto částku neuhradí, smlouva se stává neplatnou a rezervovaný výkon nelze dále uplatnit.

### **1.2.2 Stavební odbor**

Po vyřízení žádosti o připojení se všemi jejími náležitostmi se podává žádost na stavební odbor pro oblast, ve které chceme výstavbu realizovat - konkrétně Oznámení o záměru k vydání územního souhlasu. V době podání žádosti již musí být vyhotovená projektová dokumentace, která se vypracuje na základně kladného vyřízení žádosti o připojení a která se k žádosti přikládá.

Projektová dokumentace musí obsahovat technickou zprávu, jednopólové schéma zapojení výroby, situační plán umístění výroby a místní provozní bezpečnostní předpis.

Dále je třeba dodat technický popis fotovoltaického systému a souhlas spolumajitele (stejně jako při vyřizování žádosti o připojení do DS, jen v tomto případě je nutné výpis

z katastru nemovitostí úředně ověřit). Nezbytné jsou informace z katastru nemovitostí, tedy samotné informace o stavbě a situační plánec z katastrální mapy s vyznačeným objektem, na kterém bude výstavba provedena. Pravidla mohou být upravena v dle konkrétního městského úřadu, například Odbor výstavby a životního prostředí Městského úřadu Nepomuk vyžaduje situační plánec místa podepsaný všemi bezprostředně sousedícími osobami. Posledními dokumenty jsou výpis z obchodního rejstříku (platí pouze pro společnosti) a hlavně smlouva o připojení popř. smlouva o smlouvě budoucí o připojení výroby k distribuční soustavě.

### 1.2.3 Realizace stavby

V případě kladného vyjádření stavebního odboru příslušného městského úřadu je možné započít samotné stavební práce na výrobně. Po předchozí domluvě s provozovatelem (popř. i s majitelem objektu) přijede několikačlenný tým pracovníků. Běžný postup při výstavbě malé výroby (okolo 5kW) je takový, že první den probíhá uchycení nosné konstrukce do střechy a instalace stejnosměrné části elektrických rozvodů. Druhý den přichází na řadu samotná pokládka fotovoltaických modulů a jejich vzájemné sériové propojení do okruhů, které jsou vyvedeny do technické místnosti, kde bude posléze instalován invertor. Invertor s dalšími nezbytnostmi (např. ekvipotenciální svorkovnice, střídavá část elektroinstalace) musí instalovat technik s osvědčením o přezkoušení z příslušného paragrafu vyhlášky č. 50. Běžná doba výstavby je tedy přibližně 2-3 dny. Nakonec je nutné ještě zkontrolovat bezpečnost a správnost celé instalace, což provede revizní technik (opět musí být přezkoušený z příslušného paragrafu vyhlášky č. 50). Po kontrole vydává revizní zprávu nutnou pro další administrativní postup celého procesu, obvykle ve třech ověřených vyhotoveních.

### 1.2.4 Licence na výrobu elektřiny

Energetický regulační úřad je jeden z hlavních orgánů na poli energetiky České republiky. Není tedy překvapením, že i tento úřad je třeba požádat o povolení při výstavbě výroby. Konkrétně se žádá o licenci na výrobu elektřiny. Pro výrobu elektřiny musí být provozovatel zároveň podnikatelem, tzn. být zapsaný v živnostenském rejstříku. Jestliže v době podání žádosti o licenci provozovatel nemá přidělené IČO, stačí vyplnit dodatečnou žádost o přidělení a ERÚ prostřednictvím Českého statistického úřadu provozovateli IČO přidělí. ERÚ je povinen se k žádosti vyjádřit nejdéle do 30 dnů.

### 1.2.5 Žádost - Smlouva o připojení výroby k distribuční soustavě

Pro připojení výroby do distribuční soustavy je třeba zažádat o první paralelní připojení. Toto je možné pomocí formuláře Žádost - Smlouva o připojení výroby k distribuční soustavě. Důležité je, že výrobu není možné připojit dříve, než po odsouhlasení této žádosti. Žádost se opět podává prostřednictvím určeného podacího místa, není možné podávat ji prostřednictvím osobního kontaktu s příslušným pracovníkem ČEZ Distribuce, a.s. [3]

Žádost musí obsahovat:

- protokol od elektroměru (jen v případě, že provozovatel zvolil formu podpory zelený bonus - dnes už se však podpory nepřiznávají, platí pro dřívější léta)
- revizní zpráva přípojky (jen v případě, že provozovatel zvolil formu podpory přímý prodej - dnes už se však podpory nepřiznávají, opět platí pouze pro dřívější léta)
- protokol o nastavení napěťové a frekvenční ochrany (některé měniče umožňují frekvenční a napěťové nastavení jen programovou úpravou)
- protokol od měniče (nutnost razítka od revizního technika)
- kopii licence o výrobě elektřiny
- doklad o vlastnictví objektu (výpis z katastru nemovitostí), popř. souhlas majitele objektu
- revizní zpráva samotné výroby
- odsouhlasení projektové dokumentace distributorem
- datum narození a číslo bankovního účtu provozovatele
- žádost o uzavření smlouvy o podpoře výroby elektřiny (opět pouze pro dřívější léta, kdy bylo možné přiznat podporu)
- originál projektové dokumentace
- jednopólové schéma zapojení elektrárny
- protokol o přiznané distribuční sazbě
- provozně bezpečnostní předpisy

Po schválení této žádosti je nutné umožnit distributorovi do 30 dnů kontrolu celého díla. Ten tak učiní prostřednictvím svého technika. Technik telefonicky navrhne výrobcí dva možné termíny kontroly. Jestliže ani opakovaný pokus o telefonický kontakt nebude úspěšný, zašle provozovatel distribuční sítě výrobcí pevný termín kontroly. Jakmile

se však výrobce v daný termín nedostaví nebo neumožní výrobcí provést kontrolu, nemůže být vystaven Protokol o splnění technických podmínek pro uvedení výrobní do provozu s distribuční soustavou ČEZ Distribuce a.s., který je poslední náležitostí pro první paralelní připojení. Rozsah a předmět kontroly musí být uveden a stanoven dle Pravidel provozování distribuční sítě a v souladu s technickými podmínkami stanovenými ve Smlouvě o připojení nebo ve Smlouvě o smlouvě budoucí o připojení. První paralelní připojení pak proběhne za přítomnosti pracovníka distribuční společnosti. [3]

### **1.2.6 Operátor trhu s elektřinou**

Pro úspěšné získání podpory je nutné se od začátku roku 2013 přihlásit do systému OTE (Operátor trhu s elektřinou), kde je nutné uvádět pravidelné měsíční výkazy vyrobené elektřiny. Pro vyřízení celého procesu je třeba splnit několik kroků. Prvním z nich je zřízení bezpečnostního certifikátu, pomocí kterého je možné z certifikovaného počítače vyřizovat veškeré formality související se systémem OTE. Následuje samotný proces registrace probíhající pouze zabezpečenou elektronickou formou, tedy vyplnění formuláře, který se odešle buď přímo nebo prostřednictvím elektronické schránky. Nyní je třeba se poprvé přihlásit do systému a zkontrolovat základní údaje. Výrobci, kteří uvedly výrobní do provozu po roce 2013, si zažádají v systému o podporu obnovitelných zdrojů. Poté už je třeba pouze pravidelně vyplňovat měsíční výkaz o výrobě elektřiny. [8]

## **2 Technické podmínky pro připojení do DS**

Pro připojení výrobní do distribuční soustavy musí výrobní vyhovět i po technické stránce. Nejdříve uvedu, jak je vůbec možné technicky řešit připojení do DS a poté následuje rozvedení základních pojmů, jako jsou: HDO, změna napětí v síti nebo napěťové a frekvenční ochrany.

### **2.1 Možnosti připojení výrobní do ES na hladině NN**

V Zákonu 458/2000 Sb. v platném znění o podmínkách a výkonu státní správy v energetických odvětvích je v §23 v odstav. 2) definováno, že výrobce je povinen na své náklady zajistit připojení svého zařízení k distribuční soustavě.



U sítí nízkého napětí mohou nastat následující případy připojení k distribuční soustavě v případech přímého připojení výroby k distribuční soustavě (veškerá energie je dodávána do soustavy nízkého napětí). [7]

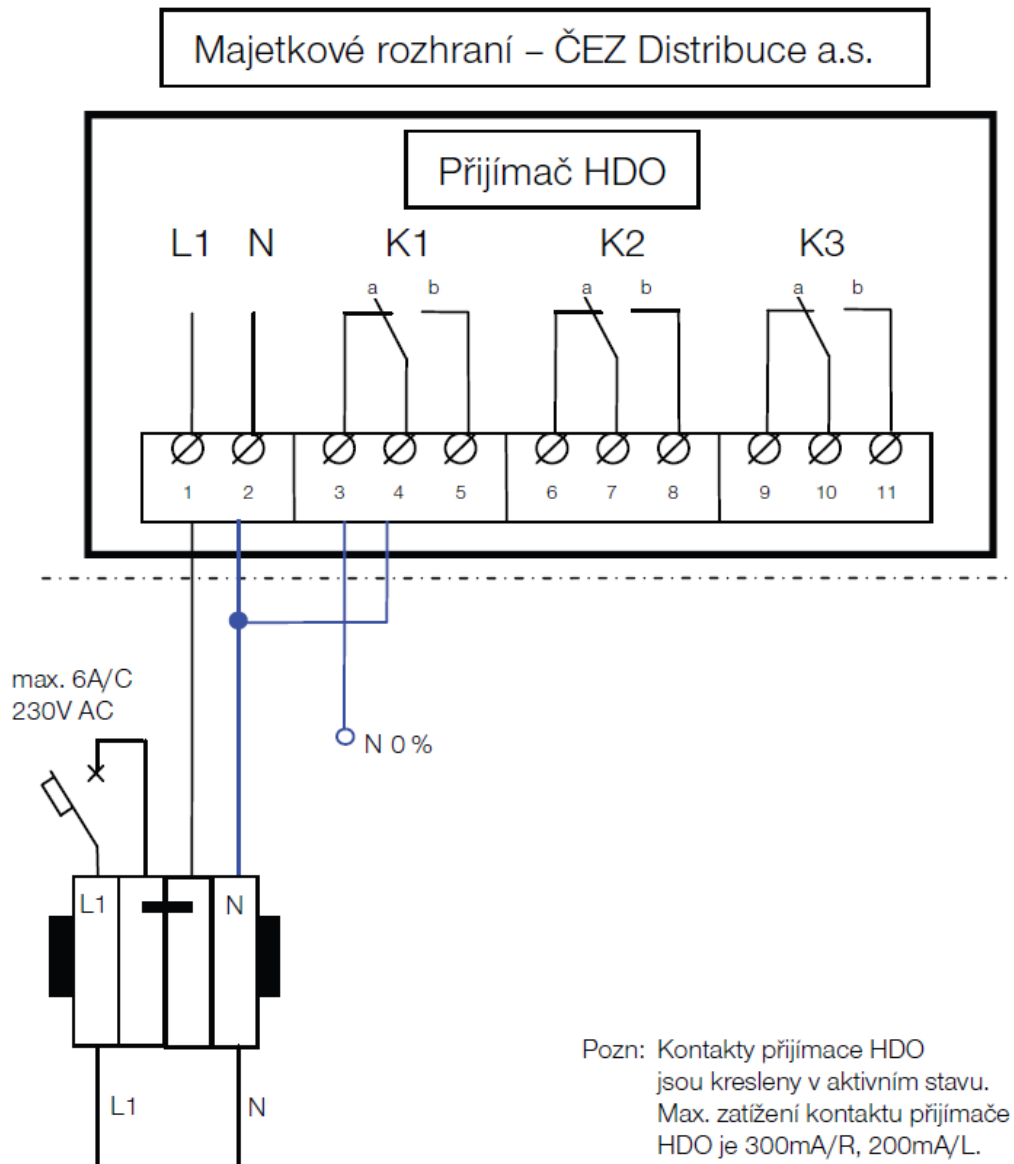
- Stávající hlavní domovní pojistková skříň (HDS) se vymění za novou se dvěma sadami pojistek (výměnu HDS provádí na své náklady distribuční společnost). Ze vzniklé volné sady pojistek se připojí nová výroba (přívod od volné sady pojistek k elektroměrovému rozvaděči výroby hradí výrobce)
- Ze stávajícího venkovního vedení (sloupu) se provede svod zemním kabelem (kabel je přes svorky připojen na venkovní vedení – jednotlivé vodiče) do nové hlavní domovní pojistkové skříň (přípojka NN pro výrobu) a z této HDS do elektroměrového rozvaděče výroby. Veškeré náklady s tímto připojením hradí výrobce.
- Ze stávajícího venkovního vedení se odbočí vzdušným vedením po betonových sloupech a v místě výroby se provede svod po koncovém sloupu s ukončením v HDS (přípojka NN pro výrobu). Veškeré náklady s připojením hradí výrobce
- Ze stávající rozpojovací skříň v kabelové síti (z volné sady pojistek) se připojí kabelová přípojka pro výrobu s ukončením v HDS. Opět veškeré náklady na připojení hradí výrobce.
- Stávající rozpojovací skříň v kabelové síti se vymění za větší (ve stávající skříni již není volná sada pojistek). Výměnu stávající rozpojovací skříň za novou větší hradí distribuční společnost. Ostatní náklady na připojení kabelové přípojky s ukončením v HDS v blízkosti výroby hradí výrobce.
- Pokud není v blízkosti připojované výroby nikde umístěna žádná rozpojovací skříň, vzdušné vedení nízkého napětí ani hlavní domovní skříň, ale v blízkosti prochází kabelové vedení uložené v zemi, provede distribuční společnost přerušení tohoto kabelu a z jedné strany přes spojku zasmyčkuje novou rozpojovací nebo kabelovou skříň. Tyto práce provede distribuční společnost na své náklady. Výrobce si musí vybudovat přípojku z nově vytvořeného připojovacího místa a plně ji uhradit.
- Ze stávajícího rozvaděče na trafostanici z volné sady pojistek nebo z volného jističe. Výrobce se připojí z volného místa v rozvaděči trafostanice kabelovou přípojku (vesměš zemním kabelem) a ukončením v HDS.
- Ve stávajícím rozvaděči na trafostanici není volné místo pro připojení nové výroby. V tomto případě provede na své náklady distribuční společnost výměnu stávajícího rozvaděče za nový s rezervním místem připojení pro výrobu. Z vytvořeného místa

se připojí výrobce samostatnou přípojkou s ukončením v HDS. Náklady na připojení přípojky a samostatné přípojky hradí výrobce.

## 2.2 Zařízení pro dispečerské řízení

Pro výrobní s instalovaným výkonem v rozmezí 30 kW až 100 kW je nutné poskytnout prostor pro řízení výroby ze strany PDS a to ve dvou stupních - 0 % a 100 % . Toto je realizováno pomocí HDO přijímače. Omezení výkonu se provádí pouze v případech uvedených EZ, většinou jde o bezpečnostní důvody jako je např. výpadek sítě. V oblasti, kde nelze přijímat signál HDO, je instalována jednotka RTU. RTU (Remote Terminal Unit) je modulární zařízení, které umožňuje obousměrnou komunikaci mezi dispečerem DS a výrobnou. Dispečer vidí stav výrobní, např. vyrobenou energii nebo aktuální výkon, výrobní pak přijímá povely od dispečera. Vše probíhá pomocí mobilní sítě GSM. U středně velkých výroben není RTU nutná, používá se pouze v případě popsaném výše.

[1]



**Obrázek 1 Připojení přijímače HDO [1]**

U výroby nad 100 kW je nutná schopnost čtyř-úrovňového řízení. Hladiny jsou určeny na 0 %, 30 %, 60 % a 100 %. Reguluje se buď odepínáním jednotlivých měničů nebo přímou regulací výstupního výkonu každého měniče. Osazuje se jak jednotka HDO, jejímž prostřednictvím se provádí výkonová regulace, tak jednotka RTU, která zajišťuje informovanost dispečinku o výrobě elektrárny.

U výroben pod 30 kW není nutná jakákoliv regulace činného výkonu.

### 2.3 Kontrola napěťových poměrů v síti

Po připojení a poté samozřejmě i během paralelního provozu nesmí elektrárna ovlivnit napětí sítě o více než 2% u VN. Jestliže je připojena na síť NN, nesmí napětí ovlivnit o více než 3%. U výroben s instalovaným výkonem nad 100 kW bývá součástí projektové dokumentace i specifikace zamezení vlivu vyšších harmonických na síť. Přezkoušení vlivu na kvalitu el. energie sítě je pak podmínkou připojení k DS. U všech výroben se také kontroluje vliv na signál HDO nebo tzv. flickr-efekt, což je vlastně zhoršení kvality napětí a tím blikání světelných zdrojů v okolí elektrárny. [2]

### 2.4 Měření a HDO

Měřicí zařízení zůstává v majetku PDS a pracovníci PDS určí jeho umístění. V elektroměrovém rozvaděči je nutné pro měření poskytnout prostor 20x40 cm. V případě, že jde o výrobu nad 30 kW, musí provozovatel elektrárny poskytnout další 2 místa na spínací prvky o velikosti 18x30cm. Jeden pro snímač HDO a druhý pro samotnou regulaci zdroje. V elektroměrovém rozvaděči dále může být nulový můstek, zkušební svorkovnice a pojistkový odpínač. Jiná zařízení se pak osazují do podružného rozvaděče. Jestliže byla výroba uvedena do provozu dříve a bez řízení HDO, je nutné ji tímto zařízením dovybavit. [2]

### 2.5 Napěťové a frekvenční ochrany

Pro bezpečnost samotné elektrárny i distribuční sítě je nutné instalovat frekvenční a napěťové (podpěťové i přepěťové) ochrany. Podpěťové vypínají při výpadku sítě a chrání tím síť od zbytečných zdrojů zkratových proudů. Přepěťové naopak chrání elektrárnu proti přepětím přicházejícím po galvanické cestě ze sítě. V případě výkonu elektrárny nepřesahujícím 4,6 kW v jedné fázi mohou být ochrany součástí střídače, u jiných se přidávají ochrany externí. Vzhledem k rostoucímu počtu fotovoltaických výroben připojených do distribuční sítě není možné udržet filosofii okamžitého odpojení od sítě, proto byly stanoveny dle PPDS - přílohy č.4 časy odpojení výroby od DS. [2]

**Tabulka 1: Časy odpojení od DS [2]**

Parametr	Maximální vypínací čas [s]	Nastavení pro vypnutí
Nadpětí 1. stupeň	3	230 V + 10%-15%
Nadpětí 2. stupeň	0,2	230V + 15% ->
Podpětí	1,5	230V -15% ->
Nadfrekvence	0,5	52Hz
Podfrekvence	0,5	47,5Hz

Tabulka stanovuje hodnoty vypínacích časů jednotlivých ochran pro uvedené negativní stavy. Tato tabulka je stanovena pro mikro zdroje, tedy zdroje s fázovými proudy do 16 A provozované na síti NN. Někdy je však nutné nastavit ochrany jiným způsobem, především když to vyžaduje konkrétní místo v distribuční síti, proto nastavení ochran vždy odsouhlasí distributor. Napěťové ochrany jsou vždy trojfázové (vyjma malých jednofázových výroben), frekvenční mohou být jednofázové. [2]

### 3 Návrh připojení FVE do konkrétního místa v DS

Dle pravidel provozování distribučních soustav - konkrétně přílohy č. 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy je nutné ověřit, zda je možné výrobu k síti z technických důvodů připojit. Je tedy nutné zamezit zpětným vlivům zařízení na síť, aby nebyla rušena jiná odběrná místa v blízkosti dodavatele. Mezi kontrolované zpětné vlivy patří změna napětí, obsah vyšších harmonických a vliv na systém HDO. [2]

Obsah vyšších harmonických v dodávaném proudu je způsoben především umělou přeměnou stejnosměrného proudu na střídavý pomocí polovodičových střídačů. Výrobce

takového zařízení má povinnost dodat informace o emitaci vyšších harmonických, např. zprávou o typové zkoušce. V drtivé většině však výrobní připojované do sítě NN splňují podmínky stanovené v PPDS, a proto se považuje vliv emitovaných vyšších harmonických na síť za přípustný a v této práci nebude dále rozveden.

Zařízení v systému HDO jsou obvykle provozována na frekvencích 183 - 283 Hz s vysílací úrovní 1,6 - 2,5 % jmenovitého napětí a jsou ovlivňována hlavně zařízeními na kompenzaci účinníku. (Ovlivňují je přidavným zatížením, které plyne z impedance vlastního zařízení výrobní nebo zvýšeného zatížení sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno.) Výrobní smějí způsobit snížení vysílací úrovně maximálně o 5%, navíc pouze v případě, že bude stále zachována minimální vysílací úroveň. Tato úroveň je pro hladinu NN stanovena na 1,2 - 1,35 %  $U_n$ . Ovládání signálem HDO má jednu zásadní nevýhodu, kterou je absence jakékoliv zpětné vazby od přijímače. Proto se signál HDO vysílá v několika opakováních, aby bylo ošetřeno, že přijímač sepne. Vzhledem k tomu, že běžně v sítích NN nedochází k rušení signálu HDO fotovoltaickými výrobkami, technik provádějící kontrolu ovlivnění sítě výrobnou často tento rušivý element neuvažuje. Proto i v této práci nebude dále rozveden.

Jako další zpětný vliv výrobní na síť byla uvedena změna napětí v síti v důsledku dodaného výkonu do sítě. Na základě negativních výsledků kontroly tohoto vlivu se může technik rozhodnout, že požadovaný výkon nepřipojí, popřípadě navrhnout provozovateli snížení připravovaného instalovaného výkonu. Je to jediný vliv, který se v sítích NN kontroluje, a proto se jím budu zabývat v této práci.

V pravidlech provozování distribučních soustav je dáno, že změna napětí nesmí přesáhnout 3% z hodnoty jmenovitého napětí v sítích NN, ať už se jedná o snížení nebo o zvýšení. Pro síť vn nesmí změna napětí přesáhnout 2% z napětí jmenovitého. Velikost napětí se nesmí změnit o daná procenta v žádném bodě sítě, nicméně největší změna bývá v bodě připojení výrobní.

Technik distribuční společnosti, v našem případě ČEZ distribuce, a.s., má k dispozici simulační program E-vlivy, kde je možné namodelovat konkrétní část sítě se všemi svými parametry a nasimulovat změnu napětí v každém bodě sítě. Tento program je tedy

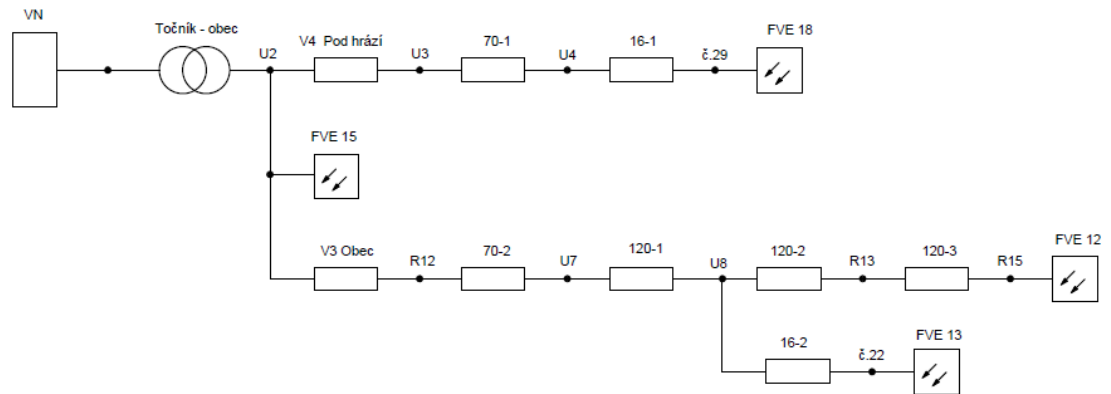
využíván pro výpočty změn napětí a v této práci budou porovnány výsledky spočítané klasickou metodou a výsledky, které vypočetl program E-vlivy.

### 3.1 Počítání změn napětí klasickou metodou

První věc, která je zapotřebí při výpočtu změn napětí klasickou metodou je export plánu distribuční soustavy v dané lokalitě. Tento plán je přiložen v příloze. Pro tento modelový výpočet byla zvolena lokalita v obci Točnick u Klatov. Nejedná se o velkou obec, k roku 2001 zde bylo evidováno 249 obyvatel. Obec je napájena distribučním transformátorem, který má jmenovité napětí primárního vinutí 22kV a sekundárního vinutí 0,4kV. Primární vinutí je zapojeno do trojúhelníka, sekundární vinutí do hvězdy s vyvedenou nulou a hodinové číslo je 1. Jedná se tedy o standardní řešení se čtyřmi odbočkami pro regulaci případných úbytků na vedení NN. Zdánlivý výkon transformátoru je 400 kVA.

Distribuční rozvody jsou v obci realizovány především venkovním vedením, v novější zástavbě jsou již tvořeny kabelovým vedením uloženým v zemi. V situačním plánu je vidět, že rozvod se větví do dvou hlavních směrů. Jižní větev můžeme ve výpočtu zanedbat, protože se nejedná o úsek, který by byl propojen s vývodem napájející námi řešenou část soustavy. Ve výpočtu tedy uvažujeme pouze severní větev, na kterou je připojena předmětná výrobná.

Pro jednodušší představu je vhodné si ze situačního plánu distribuční soustavy sestavit náhradní jednopólové schéma. Ve schématu jsou sečteny pasivní parametry vedení do větších úseků. Bylo by možné počítat impedance vedení mezi každým odběrným místem od transformátoru až po konec sítě, ale v praxi se toto nepoužívá. Běžně se sčítají úseky mezi jednotlivými odběrnými místy do jednoho, a to podle typu vodiče (stejný typ vodiče má stejné pasivní parametry), který se pak nahradí jednou celkovou impedancí. Tak je tomu i v našem jednopólovém schématu.



**Obrázek 2: Náhradní schéma distribuční soustavy v obci Točnick**

Jednopolové náhradní schéma začíná parametry napojené hladiny vysokého napětí. Je zde vyobrazen i distribuční transformátor a výstupní uzel označený jako  $U_2$ , ze kterého se rozbíhají jednotlivé větve. V první řádce je zobrazena jižní větev, kterou však zanedbáváme z důvodů uvedených výše, je zde spíše pro názornost. Větev s připojenou výrobnou označenou FVE 15, můžeme zanedbat ze stejných důvodů také. Budeme se tedy zajímat pouze o poslední větev, do které je připojena námi vyšetřovaná výroba označená jako FVE 13. Jak již bylo uvedeno dříve, samostatné úseky mezi odběrnými místy jsou spojeny za účelem zjednodušení výpočtu do celkových impedancí označených např.: "V3 obec" nebo "70-2". Tyto impedance zahrnují odpor i reaktanci jednotlivých typů vodičů v síti využitých. Mezi nimi jsou znázorněny uzly jako: "R12" nebo "U7", ve kterých se právě vyšetřuje změna napětí.

Při vyšetřování změny napětí neuvažujeme stávající odběry v síti NN, vezmeme-li v úvahu, že není třeba počítat s odebíraným proudem ze sítě. Na základě principu superpozice proto necháme působit nejdříve fotovoltaický zdroj FVE 12 a vyšetříme úbytky způsobené tímto zdrojem. Poté necháme působit námi připojovaný zdroj FVE 13, který nasuperponujeme na zdroj předchozí a porovnáme výsledné úbytky s podmínkou stanovenou v PPDS.

Na základě žádosti o připojení k distribuční soustavě jsme dostali požadavek na rezervaci výkonu o hodnotě  $S_N = 13 \text{ kVA}$ . Uvedený účinník výroby je  $\cos\phi = 1$ . Jednoduše dopočteme jmenovitý proud injektovaný výrobou do sítě.

$$I = \frac{S_N}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{13000}{\sqrt{3} * 400} = 18,76 \text{ A}$$



Díky zadanému účinníku víme, že proud má pouze činnou složku, proto je možné při výpočtu úbytku napětí uvažovat pouze reálnou část impedance. Vztah pro úbytek napětí se zjednoduší z:

$$\Delta U = R * I * \cos\varphi + X * I * \sin\varphi$$

na:

$$\Delta U = R * I$$

kde R je činný odpor úseku vedení a I je protékající proud. Při výpočtech úbytků vedení se v sítích NN také běžně zanedbává reaktance (induktivní i kapacitní) a svod.

Vztažné napětí, tedy nulový úbytek, zvolíme na výstupu transformátoru (uzel U2) a pomocí injektovaného proudu začneme počítat úbytky na jednotlivých úsecích vedení. Úbytek na prvním úseku spočteme:

$$\Delta U_{V3} = 0,1142 * 18,76 = 2,143 \text{ V}$$

Pro názornost spočteme i úbytek na druhém úseku:

$$\Delta U_{70-2} = 0,0416 * 18,76 = 0,781 \text{ V}$$

Abychom zjistili změnu napětí v bodě U7, přičteme úbytek na vedení 70-2 k úbytku na V3:

$$U_7 = \Delta U_{V3} + \Delta U_{70-2} = 2,143 + 0,781 = 2,923 \text{ V}$$

Tímto způsobem vyšetříme celou větev. Vždy vypočteme úbytek na jednom úseku vedení a připočteme ho ke změně napětí v předchozím uzlu.

Nejjednodušší způsob je však nejdříve vypočítat vliv elektrárny FVE 12, ke kterému pak přičteme úbytky napětí námi vyšetřované elektrárny FVE 12. Pro přehlednost jsem vytvořil tabulku, která vyjadřuje vliv připojené elektrárny FVE 12.

Tabulka 2: Úbytek napětí při působení FVE 12

<b>FVE 12</b>					
Instalovaný výkon =		12000	VA		
Injektovaný proud =		17,32	A		
$\Delta U$ (V3 obec) =	1,978	V	R (V3 Obec)=	0,1142	$\Omega$
U (R12) =	1,978	V			
U (R12)	0,860	%			
$\Delta U$ (70-2) =	0,721	V	R (70-2)=	0,0416	$\Omega$
U (7) =	2,699	V			
U (7)	1,173	%			
$\Delta U$ (120-1) =	0,123	V	R (120-1)=	0,007084	$\Omega$
U (8) =	2,821	V			
U (8)	1,227	%			
$\Delta U$ (120-2) =	0,359	V	R (120-2)=	0,020746	$\Omega$
U (R13) =	3,181	V			
U (R13)	1,383	%			
$\Delta U$ (120-3) =	0,375	V	R (120-3)=	0,021672	$\Omega$
U (R15) =	3,556	V			
U (R15)	1,546	%			
$\Delta U$ (16-2) =	2,044	V	R (16-2)=	0,118	$\Omega$
U (č.22) =	4,865	V			
U (č.22)	2,115	%			

V horní části jsou specifikovány základní parametry, přičemž víme, že jmenovité napětí celé soustavy je samozřejmě 400V. Hodnoty úbytků na jednotlivých úsecích jsou zadány vždy ve třech řádcích. První řádek označuje absolutní úbytek na konkrétním úseku vedení. Druhý řádek označuje hodnotu změny napětí v uzlu za vyšetřovaným úsekem vedení ve směru od transformátoru k výrobně. Třetí řádek, barevně vyznačený, pak vyjadřuje procentní hodnotu úbytku vztahenou k jmenovité hodnotě napětí. Zde je důležité dodat, že protože počítáme s injektovaným proudem do jedné fáze, je třeba vztáhnout procentní úbytek k fázovému napětí, tedy napětí 230V. V pravé části tabulky jsou pak přidány jen pasivní parametry jednotlivých úseků vedení.

Z tabulky je vidět, že největší úbytek je v uzlu pojmenovaném "č.22", a to 2,115 % . Hodnoty se liší od obecného předpokladu, tedy že nejvyšší úbytek bude v uzlu umístěném přímo před samotnou výrobnu. 2,115 % je hodnota, která nepřesahuje stanovenou podmínku 3%, ale je nemalou částí této hodnoty, při připojení další elektrárny by tak mohl být problém.

Dále byly provedeny výpočty úbytku při působení námi vyšetřované výroby FVE 13, opět formou přehledné tabulky. Nyní jsem však již v tabulce nechal působit i první zdroj FVE 12 a hodnoty rovnou superponoval.

Tabulka 3: Úbytek napětí při působení FVE 13

<b>FVE 13</b>			
Instalovaný výkon =	13000 VA		<i>Procentuální úbytky při působení obou zdrojů jsou vyznačeny modře</i>
Injektovaný proud =	18,76 A		
$\Delta U$ (V3 obec) =	2,143 V		R (V3 Obec)= 0,1142 $\Omega$
U (R12) =	2,143 V		
U (R12) =	0,932 %		U (R12) = 1,792 %
$\Delta U$ (70-2) =	0,781 V		R (70-2)= 0,0416 $\Omega$
U (7) =	2,923 V		
U (7) =	1,271 %		U (7) = 2,444 %
$\Delta U$ (120-1) =	0,133 V		R (120-1)= 0,007084 $\Omega$
U (8) =	3,056 V		
U (8) =	1,329 %		U (8) = 2,556 %
$\Delta U$ (120-2) =	0,389 V		R (120-2)= 0,020746 $\Omega$
U (R13) =	3,446 V		
U (R13) =	1,498 %		U (R13) = 2,881 %
$\Delta U$ (120-3) =	0,407 V		R (120-3)= 0,021672 $\Omega$
U (R15) =	3,852 V		
U (R15) =	1,675 %		U (R15) = 3,221 %
$\Delta U$ (16-2) =	2,214 V		R (16-2)= 0,118 $\Omega$
U (č.22) =	5,271 V		
U (č.22) =	2,292 %		U (č.22) = 4,407 %

Tabulka má stejnou strukturu, jako tabulka předchozí. Horní část specifikuje výrobu, první řádek každého úseku znázorňuje absolutní úbytek, druhý napětí v uzlu za úsekem a konečně třetí, zelený, procentuální změnu napětí. Levá část tabulky je věnována vlivu samotného injektovaného proudu. Pravá část je pak ta, která nás zajímá. Jsou zde opět pasivní parametry jednotlivých úseků, ale nově, modře vyznačené, změny v jednotlivých uzlech při působení obou zdrojů. Jak je možné vidět v uzlu R15 a č.22 přesahuje hodnota změny napětí povolenou mez 3 % (na uzlu R15 je to o 1,221 % a na uzlu č.22 dokonce o 1,407 %) a je proto nepřijatelné připojit výrobu s těmito parametry do sítě.

Je tedy nutné jmenovitý výkon elektrárny upravit na takovou hodnotu, aby změna napětí nepřesahovala stanovenou mez. Proto byla vytvořena další návrhová tabulka, kde byl upraven výkon výroby.

**Tabulka 4: Úbytek napětí při působení FVE 13 s redukováným výkonem**

<b>FVE 13</b>			
Instalovaný výkon =	5000 VA	<i>Procentuální úbytky</i>	
Injektovaný proud =	7,22 A	<i>při působení obou zdrojů</i>	
		<i>jsou vyznačeny modře</i>	
$\Delta U$ (V3 obec) =	0,824 V	R (V3 Obec)=	0,1142 $\Omega$
U (R12) =	0,824 V		
U (R12) =	0,358 %	U (R12) =	1,218 %
$\Delta U$ (70-2) =	0,300 V	R (70-2)=	0,0416 $\Omega$
U (7) =	1,124 V		
U (7) =	0,489 %	U (7) =	1,662 %
$\Delta U$ (120-1) =	0,051 V	R (120-1)=	0,007084 $\Omega$
U (8) =	1,176 V		
U (8) =	0,511 %	U (8) =	1,738 %
$\Delta U$ (120-2) =	0,150 V	R (120-2)=	0,020746 $\Omega$
U (R13) =	1,325 V		
U (R13) =	0,576 %	U (R13) =	1,959 %
$\Delta U$ (120-3) =	0,156 V	R (120-3)=	0,021672 $\Omega$
U (R15) =	1,482 V		
U (R15) =	0,644 %	U (R15) =	2,190 %
$\Delta U$ (16-2) =	0,852 V	R (16-2)=	0,118 $\Omega$
U (č.22) =	2,027 V		
U (č.22) =	0,881 %	U (č22) =	2,997 %

Tabulka má opět stejnou strukturu jako dvě předchozí. Jmenovitý zdánlivý výkon výroby byl snížen na 5 kVA. Jedině tak bylo možné docílit snížení změny napětí pod 3 %. Kritické napětí v uzlu č.22 kleslo na 2,997 %, což sice není hodnota s velkou rezervou, ale na splnění podmínky stačí.

### 3.2 Počítání změn napětí pomocí softwaru E-vlivy

Program E-vlivy od společnosti EnerGoConsult ČB s.r.o. vyšetřuje zpětné vlivy různých typů odběrů a výroben na síť. Byl naprogramován za účelem zefektivnění práce techniků a projektantů zabývajících se kvalitou elektrické energie v elektrizační síti. Je možné v něm modelovat rozsáhlé, zauzlené a paralelně provozované sítě. Mimo výpočtů úbytků

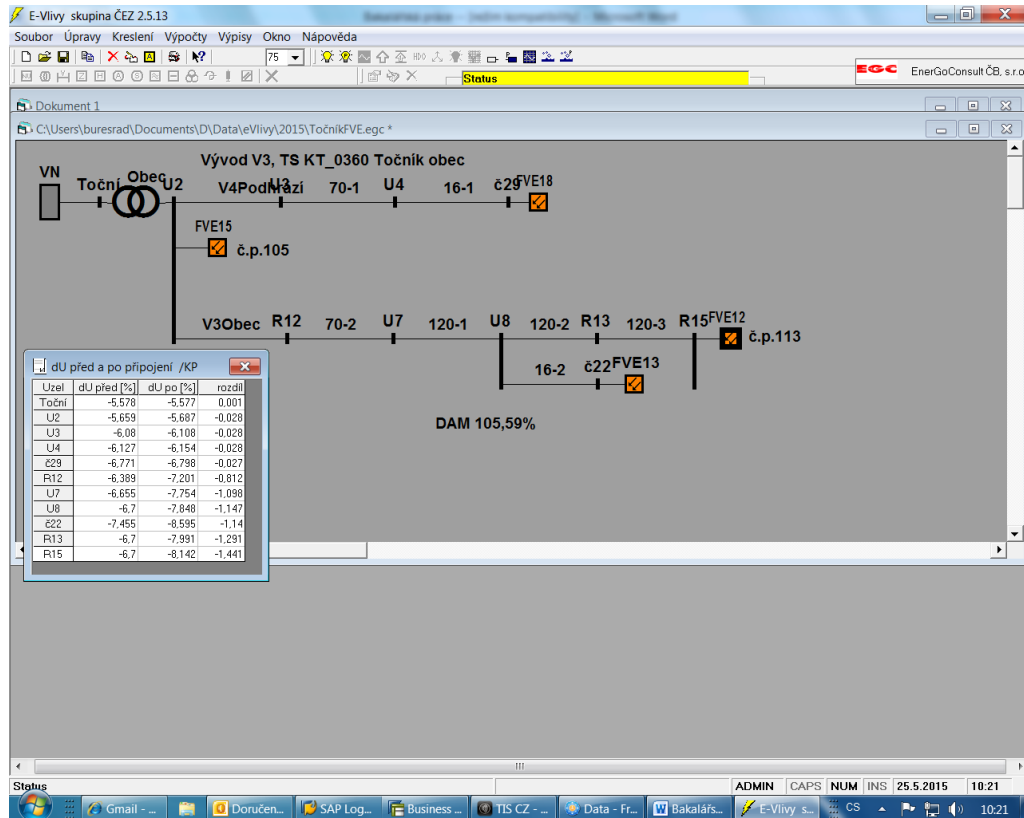
napětí je možné v programu vyšetřit různé další negativní situace, jako je např. flick v uzlech sítě, útlum signálu HDO nebo harmonická analýza. Program nabízí tři různé metody výpočtu sítě: metodu uzlových napětí, Newtonovu iterační metodu a Gauss-Seidlovu iterační metodu.

Dříve, přibližně okolo roku 2008, se k malým fotovoltaickým výrobnám (řádově jednotky kW) připojovali střídače, které byly pouze jednofázové. To byl pro technika problém, protože program E-vlivy umožňuje modelovat síť pouze jako jednopólové liniové schéma. Navíc z technických důvodů není možné určit zákazníkovi, na kterou konkrétní fázi má výrobnu připojit. Proto bylo při modelování sítě tento fakt zohlednit tím, že místo standardně připojené elektrárny se připojovala elektrárna s trojnásobným instalovaným výkonem, aby nedocházelo k přeplnění jedné fáze.

Výpočet úbytku napětí v síti obce Točnick u Klatov byl proveden v průběhu konzultací s technikem společnosti ČEZ Distribuce a.s. panem Ing. Radkem Burešem. Byla vymodelována síť, zadány pasivní i aktivní parametry sítě a nasimulováno její chování.

### **3.2.1 Simulace pro připojení výroby FVE 12**

Díky technikovi společnosti ČEZ Distribuce a.s. mi bylo umožněno, provést simulaci v programu E-Vlivy. Nejprve jsem provedl simulaci s připojenou výrobnou FVE 12. Simulace je vidět na následujícím obrázku.

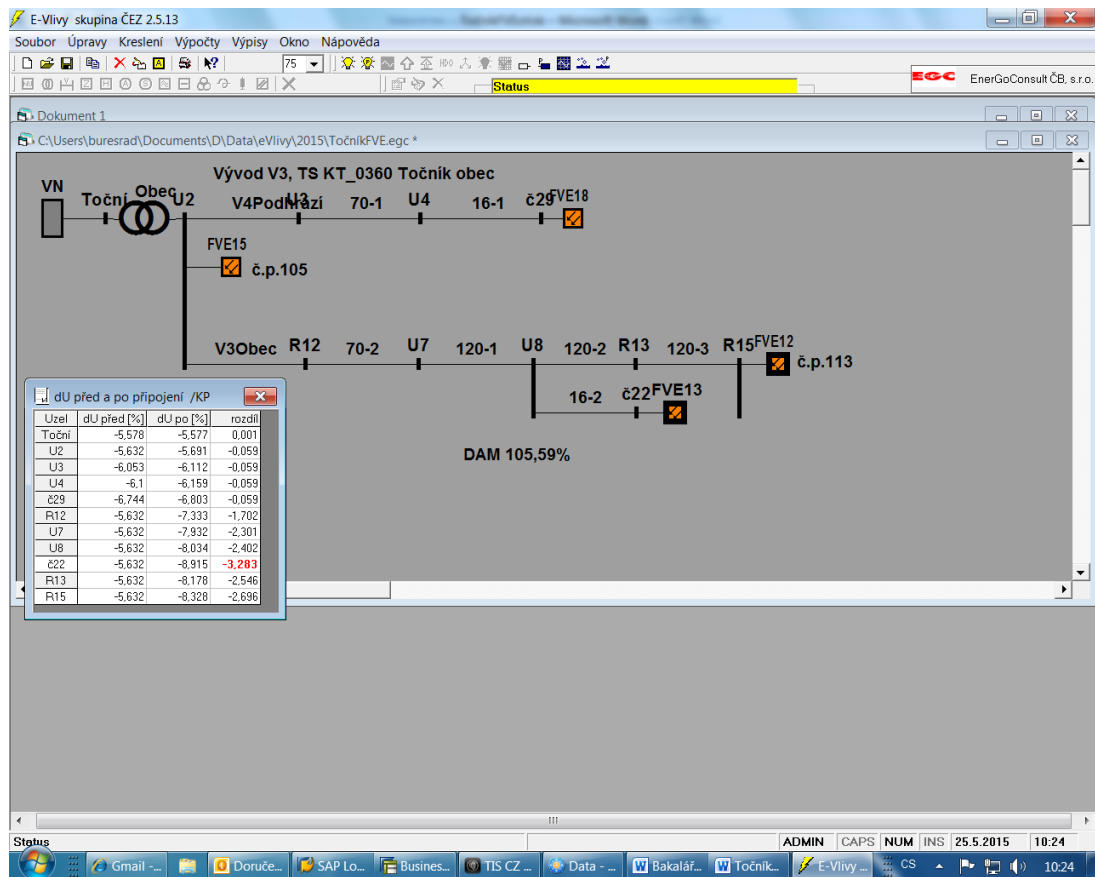


Obrázek 3: Simulace v E-vlivy: působí jen FVE 12

Jak je vidět nasimulované hodnoty se mírně (v desetinách procent) liší od hodnot vypočtených ručně. Čím toto může být způsobeno je uvedeno v závěru této kapitoly

### 3.2.2 Simulace po připojení FVE 13

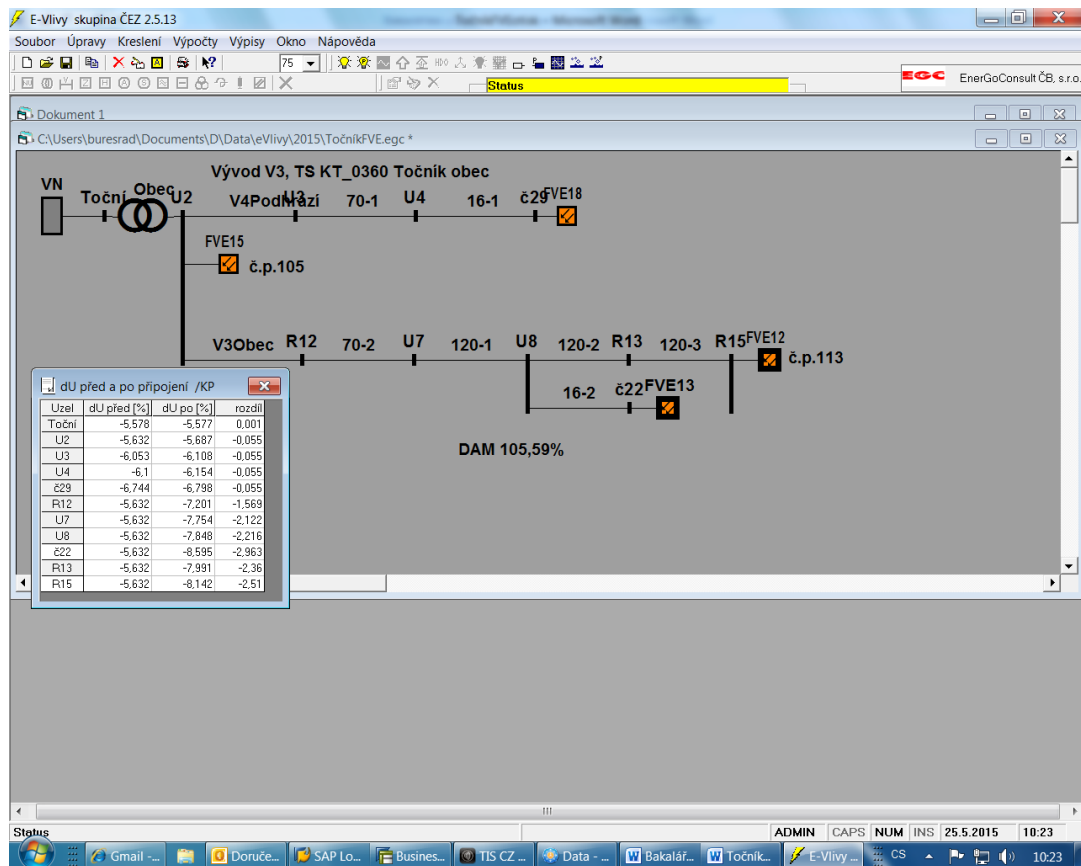
Následně jsem nechal působit výrobu označenou FVE 13 společně s výrobnou FVE 12 a jako jmenovitý výkon výroby FVE 13 jsem zadal výkon o který bylo zažádáno, tedy 13 kVA. Výsledek můžete vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 4: Simulace v E-vlivy: působí FVE 12 i FVE 13

Dle simulačního programu výkon výroby nevyhovuje. Změna napětí v bodě č.22 je nad hranicí 3%, proto je nutné, stejně jako v případě metody ručního výpočtu, snížit výkon výroby. Je ale vidět, že s tímto výkonem způsobila výroba největší změnu pouze 3,283%, kdežto v případě ruční metody to bylo 4,407%. Proč se tak stalo bude opět rozebráno v závěru této kapitoly.

Následuje tedy simulace, kde byl výkon výroby FVE 13 snížen na dostatečně malou hodnotu, aby nepůsobil nepřijatelné změny napětí v distribuční síti.



Obrázek 5: Simulace v E-vlivy: FVE 13 má redukovaný výkon

V této simulaci stačilo snížit jmenovitý výkon výroby na 11 kVA a změny napětí jsou adekvátní. Ani v jednom uzlu nepřesahuje změna napětí 3%. Na základě tohoto programu by bylo možné provozovateli povolit výrobu o jmenovitém výkonu 11 kVA.

### 3.3 Porovnání metod

Jak je možné vidět, ve výsledcích obou metod jsou rozdíly, které zde budou zdůvodněny. Nejpatrnější rozdíl je v povoleném instalovaném výkonu, kdy pro ruční metodu bylo možné povolit pouze 5 kVA, kdežto po nasimulování pomocí programu E-vlivy bylo možné povolit 11 kVA. Další rozdíly jsou pak vidět v jednotlivých uzlech. Vezmeme-li si například uzel č.22, po připojení FVE 13 s výkonem 13 kVA je zde rozdíl 1,124%. Obdobně je tomu u všech uzlů.

Odchylku těchto dvou metod jsem konzultoval s odborníky ze společnosti EnerGoConsult ČB s.r.o., kteří se přímo podílí na vývoji tohoto programu. Došli jsme k závěru, že odchylka je z části způsobena zanedbáním veškerých odběrů. Počítač má vysokou výpočetní kapacitu, proto pro něj není problém všechny tyto parametry započítat



do simulace. Tím, že se přidají odběry je možné vztáhnout úbytek k reálné hodnotě napětí, nikoliv ke jmenovitě. Dále je také nutné vzít v úvahu, že konkrétně v obci Točnick je sekundární vinutí transformátoru pomocí odboček nastaveno na vyšší napětí (vyšší než 400 V), aby kompenzovalo úbytky na vedení. To je další fakt, který přispívá k odchylce ve výpočtu. Ačkoliv byl rozdíl instalovaného výkonu nezanedbatelný, lze ruční metodu označit za funkční.

## **4 Finanční bilance fotovoltaické výroby**

V době tzv. fotovoltaického boomu, tedy přibližně v letech 2009 a 2010 byly uznávány finanční podpory z obnovitelných zdrojů. Finanční podpory společně s prudkými poklesem ceny fotovoltaických panelů v letech 2008-2010 byly i hlavní důvod, proč se vůbec tento prudký nárůst instalovaného výkonu v obnovitelných zdrojích (převážně ve fotovoltaických výrobnách) odehrál. Státní instituce přiznávala tyto podpory výrobcům až do roku 2014. V následující části bude porovnána fotovoltaická výroba připojená v roce 2010 a v roce 2015.

### **4.1 Formy podpory před rokem 2014**

#### **4.1.1 Zelený bonus**

Zelený bonus je forma podpory, která se hodí především pro menší výrobce, kteří jsou schopni vyrobenou energii z větší části spotřebovat (např. pro napájení rodinného domku). Pokud totiž výrobce vyrobenou energii spotřebuje, nejenže ušetří na tom, že energii nemusel koupit od distributora, ale je mu proplacena veškerá vyrobená energie, tedy i ta spotřebovaná. Výši zeleného bonusu stanovuje každým rokem ERÚ, přičemž je garantováno, že pokles je možný maximálně o 5% ročně.

#### **4.1.2 Přímý prodej**

Zelený bonus se nevyplatí tam, kde není možné elektrickou energii rovnou spotřebovat. V těchto případech je vhodnější zvolit formu podpory nazvanou Přímý prodej, kde sice výrobce neobdrží příspěvek k ceně vyrobené elektřiny, ale je mu zaručená stabilní cena vykupované elektrické energie (z doby připojení elektrárny do DS), ke které se pouze přičítá inflační příplatek. Navíc má distributor povinnost odkoupit veškerou vyrobenou elektrickou energii.

## 4.2 Výpočet návratnosti výroby připojené v roce 2015

Pro modelový případ byl vybrán běžný rodinný domek s přibližnou spotřebou 7200 kWh za rok. Z toho je spotřebováno 3400 kWh ve vysokém tarifu a 3800 kWh v nízkém tarifu. Ve vysokém tarifu spotřebovávají elektřinu běžné spotřebiče, jako je např. pračka, myčka, sporák a v nízkém tarifu spotřebovává elektřinu především bojler, který je proti sepnutí ve VT blokován

Náklady na elektřinu spočteme z dostupné ceny za spotřebovanou kWh elektřiny pro rok 2015. Ve vysokém tarifu je stanovena cena 4,505 Kč/kWh a v nízkém 1,788 Kč/kWh. Tímto nám vyjde, že za spotřebovanou elektřinu ve VT zaplatíme 15317 Kč, za elektřinu v NT 6794 Kč a za osazený jistič 3×25 A 2468 Kč, dohromady tedy 24579 Kč.

Na rodinný domek je instalovaná elektrárna o výkonu 11 kW, při průměrném slunečním svitu vyrobí okolo 11000 kWh za rok. Z této energie připadá v úvahu spotřebovat pouze 25 %, není-li rodinný domek dovybaven bateriovým systémem. Pro rodinné domky je výhodnější instalovat elektrárny o výkonu 3-5 kW, kde se dostáváme na hodnoty mezi 60 a 70 %. Zbytek odečte do sítě a je vykoupen za cenu 0,55 Kč/kWh (cena za silovou elektřinu jednoho z obchodníků pro rok 2015). Bateriový systém dokáže pojmout energii vyrobenou ve dne a použít ji např. večer, kdy slunce nesvítí, ale spotřebiče jsou zapnuté. V případě kvalitních bateriových systémů se dostáváme až k hodnotám okolo 65 % využití vyrobené energie.

Protože od 1.1.2014 byly zrušeny veškeré podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, budeme počítat pouze s ušetřenou cenou za neodkoupenou elektrickou energii. Elektřina vyrobená fotovoltaickou výrobnou se spotřebovává převážně v době vysokého tarifu. Proto pro systém bez akumulace el. energie rozdělíme vyrobených 11000 kWh na 2750 kWh spotřebovaných a 8250 kWh prodaných do sítě. Za neodkoupenou energii ušetříme 12388 Kč a za prodanou dostaneme 4537 Kč. Celkem tedy zisk činí **16925 Kč**.

Cena za instalaci výroby v roce 2015 je 35000 Kč/kW. Při instalovaném výkonu 11 kW se náklady na výstavbu vyšplhají na 385000 Kč. Návratnost elektrárny při zisku 16925 Kč je skoro 23 let. Bohužel životnost výroby se pohybuje okolo 20 let, proto je tato instalace na hraně návratnosti.

### 4.3 Výpočet návratnosti výroby připojené v roce 2010

Pro objektivitu výpočtu volíme stejný modelový rodinný dům, tedy s roční spotřebou 7200 kWh. Náklady za roční spotřebu elektřiny činí 22111 Kč. Jako forma podpory byl zvolen zelený bonus. Výše zeleného bonusu byla stanovena pro elektrárny do 30 kW a rok 2010 na 11,28 Kč/kWh.

Vyrobena bylo opět 11000 kWh. Za rovnou spotřebovaných 2750 kWh ušetříme od distributora 12388 Kč stejně jako v případě výroby připojené v roce 2015. Rozdíl je ale v tom, že za vyrobenou energii utržíme 124080 Kč. Celkově tedy získáme **136468 Kč** ročně.

Cena za instalaci elektrárny v roce 2010 byla 89000 Kč/kWp. Náklady na její výstavbu tedy činí 979000 Kč. S ročním ziskem 136468 Kč bude návratnost investice 7 let. Zbýlých 13 let bude výroba vydělávat a závěrečná kladná částka bude **1774084 Kč**. Při výpočtu nebyly uvažovány další provozní náklady, ani náklady na výměnu měničů (životnost měniče je předpokládána maximálně na cca 10 let), protože by se jednalo o přibližně stejné náklady u obou výroben.

### 4.4 Porovnání let 2010 a 2015

Výrobnu připojenou v roce 2015, kdy není přiznávána žádná podpora a jediný zisk plyne z ušetřených nákladů za el. energii, není výhodné realizovat navrhaným způsobem. Návratnost se pohybuje na hranici životnosti elektrárny a zisk z provozu je výrazně menší. I když je v současnosti nižší pořizovací cena o 594000 Kč, vzhledem k 12% zisku (srovnáváno s výrobnou připojenou v roce 2010) se výroba nevyplatí. Pro tuto výrobnu by bylo výhodnější snížit instalovaný výkon na běžných 3-5 kW nebo instalovat bateriový systém. Tím by se značně zvýšilo procento spotřebované energie, což by napomohlo zvýšení ušetřených částek.

Jinak je tomu pro výrobnu připojenou v roce 2010. Díky vysoké finanční podpoře se vyplatilo instalovat co největší výkon, protože je proplacena veškerá vyrobená el. energie. Návratnost je díky tomu snížena na rozumných 7 let, proto zde můžeme mluvit i o celkovém hrubém zisku, který za dobu životnosti elektrárny činí 1774084 Kč. Tím by se dal i zdůvodnit obrovský rozmach fotovoltaických výroben v letech 2009 a 2010.

## **5 Závěr**

V bakalářské práci byly nastíněny legislativní i technické podmínky a požadavky pro připojení fotovoltaické výrobní do distribuční sítě. Dále byl proveden výpočet změny napětí po připojení výrobní do konkrétního místa distribuční soustavy. Stejný úsek distribuční soustavy byl namodelován pomocí programu E-vlivy, který zároveň nasimuloval požadované změny napětí. Výsledky těchto dvou metod byly srovnány v závěru kapitoly. Nakonec byly porovnány elektrárny připojené v letech 2010 a 2015 z ekonomického hlediska, kde se jednalo především o absenci finanční podpory od roku 2014. Výsledky tohoto srovnání jsou opět uvedeny v závěru příslušné kapitoly.

## 6 Použitá literatura

- [1] ČEZ Distribuce, a.s. *Připojovací podmínky pro výrobní elektřiny pro připojení na síť ČEZ Distribuce, a.s.*
- [2] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav - příloha č.4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribučních soustav.* 2014.
- [3] ČEZ Distribuce, a.s. [online]. První paralelní připojení a její uvedení do provozu. Dostupné z WWW: <<http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/detailni-postup-o-prvnim-paralelnim-pripojeni-vyrobnny-k-distribucni-soustave-a-jejim-uvadeni-do-provozu.html>> [cit. 2015-05-21]
- [4] Energetický regulační úřad. *51/2006 Sb. Vyhláška o podmínkách připojení k distribuční soustavě.* 2006
- [5] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav.* 2014
- [6] Energetický regulační úřad. *81/2010 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.* 2010
- [7] Parlament České republiky. *458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon).* 2000
- [8] OTE, a.s. [online]. Základní údaje o společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.ote-cr.cz/poze/informace-o-podpore/informace-o-podpore>> [cit. 2015-05-21]

## **7 Přílohy**

Seznam příloh:

- Plán distribuční soustavy v obci Točnick u Klatov

