



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Návrh lokální distribuční sítě

Design of local power distribution system

diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Ivan Cimbolinec

Bc. Josef Havlík

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Josef Havlík**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Návrh lokální distribuční sítě**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište a vyhodnoťte stávající provoz teplárny v Plané nad Lužnicí.
2. Porovnejte odběrové diagramy současných a potenciálních zákazníků.
3. Navrhněte variantní řešení napájení odběru s ohledem na předpokládanou koncepci LDS.
4. Při návrhu LDS respektujte omezenost investičních prostředků a nutnost dodržení kritéria $n-1$ s ohledem na spolehlivost dodávky elektřiny zákazníkům.
5. Návrh LDS musí být v souladu s platnou energetickou legislativou a platnými technickými předpisy.

Seznam odborné literatury:

- [1] Zákon 458/2000 Sb. v platném znění
- [2] Vyhláška 541/2005 Sb.
- [3] Vyhláška 51/2006 Sb.
- [4] Doležal J., Šťastný J., Špetlík J., Bouček S., Brettschneider Z.: Jaderné a klasické elektrárny, ISBN 978-80-01-04936-5, vydalo ČVUT v Praze

Vedoucí: Ing. Ivan Cimbolínek

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

prof. Ing. Josef Tlustý CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 6. 2. 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací, doporučené literatury a pramenů uvedených v příloženém seznamu.

V Praze dne: *12.5.2014*

Josef Havlík
podpis studenta

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Ivanu Cimbolincovi za ochotu, trpělivost a cenné podněty při vedení mé diplomové práce. Srdečné díky patří také všem zaměstnancům společnosti C-Energy, bez jejichž ochoty a vstřícnosti by tato práce nevznikla, zejména potom panu Ing. Janu Bednářovi, který se mi věnoval a poskytl mi mnoho užitečných konzultací. V neposlední řadě bych rád poděkoval své přítelkyni Nince Hlaváčkové nejen za podporu při psaní, ale i pomoc při dokončování práce a samozřejmě rodině a blízkým za vytvoření zázemí během celé doby mého studia.

Obsah

Abstrakt.....	8
Klíčová slova	9
Úvod.....	10
1. Teplárna Planá nad Lužnicí.....	12
1.1. Stávající stav	12
1.1.1. Výroba	12
1.1.2. Vývod elektrického výkonu	13
1.2. Plánovaný stav.....	13
1.2.1. Výroba.....	14
1.2.2. Vývod výkonu.....	15
2. Posouzení odběrových diagramů stávajících a potenciálních zákazníků	17
2.1. Seznam a představení stávajících a potenciálních zákazníků.....	17
2.1.1. Stávající zákazníci.....	17
2.1.2. Potenciální zákazníci	17
2.2. Posouzení odběrových diagramů.....	18
2.3. Komentář a rozbor odběrových diagramů z hlediska minim a maxim.....	21
3. Lokální distribuční síť (LDS).....	24
3.1. Výpočet a stanovení parametrů LDS.....	25
3.1.1. Délky kabelových vedení a jednotlivých úseků	25
3.2. Volba typu kabelu.....	26
3.2.1. Kabel 22-AXEKVCE a jeho parametry uvedené výrobcem.....	26
3.2.2. Kabel 22-AXEKVCEY a jeho parametry uvedené výrobcem.....	27
4. Dimenzování kabelu	28
4.1. Výpočet a stanovení velikosti napětí a proudů.....	28
4.2. Stanovení průřezů uvedených typů kabelů	29
4.3. Činný odpor, kapacita a indukčnost kabelu.....	29
4.4. Činný odpor a indukční reaktance vedení a jeho úseků	30
4.4.1. Parametry jednoho paprsku LDS směr Kovosvit.....	30

4.4.2. Parametry jednotlivých úseků smyčky LDS směr Madeta, Maso	30
4.5. Výpočet ztrát.....	30
4.5.1. Svod.....	30
4.5.2. Ztráty v dielektriku.....	32
4.5.3. Činné ztráty ve vedení.....	34
4.5.4. Celkové roční ztráty LDS.....	36
4.6. Výpočet úbytků napětí.....	37
4.6.1. Úbytky napětí na LDS směr Kovosvit	38
4.6.2. Úbytky napětí na LDS směr Madeta, Maso	39
4.7. Zkrat.....	40
4.7.1. Přepočítání prvků elektrického systému na poměrné reaktance	41
4.7.2. Ověření odolnosti vodičů z hlediska zkratových proudů	44
4.8. Zemní spojení	45
4.8.1. Volba kompenzační zhášecí tlumivky.....	46
5. Návrh ochran a vypínačů pro LDS.....	48
5.1. Ochrany	48
5.1.1. Popis a ochranné funkce.....	48
5.1.2. Aplikace.....	48
5.2. Vypínače.....	49
5.2.1. Popis	49
5.2.2. Výběr vypínače.....	50
6. Ekonomické hodnocení investice	51
6.1. Investiční náklady.....	51
6.1.1. Dílčí investiční celky.....	51
6.1.2. Celkové investiční náklady projektů A, B a C.....	53
6.2. Odhad příjmů.....	54
6.3. Odhad výdajů.....	55
6.4. Kriteria ekonomického hodnocení energetických investic.....	55
6.4.1. Kritérium prosté doby splacení.....	56
6.4.2. Kritérium diskontované doby splacení.....	56
6.4.3. Kritérium čisté současné hodnoty NPV	56
6.4.4. Vnitřní výnosové procento IRR	57

6.5. Výpočet ekonomického hodnocení investic A, B a C	57
6.5.1. Prostá doba splacení.....	58
6.5.2. Diskontovaná doba splacení.....	58
6.5.3. Čistá současná hodnota NPV.....	58
6.5.4. Vnitřní výnosové procento	60
6.6. Závěry plynoucí z ekonomického hodnocení variant projektu	60
Závěr.....	62
Seznam použité literatury a internetových zdrojů.....	64
Seznam použitých zkratek.....	66
Přílohy	67
1. Mapa vedení LDS a poloha potenciálních zákazníků a teplárny.....	67
2. Ukázka odběrových diagramů stávajících o potenciálních zákazníků	68
3. Porovnání prosté i diskontované doby splatnosti variant projektů A,B a C.....	69
4. Vzorový řez uložení kabelů VN ve volném terénu	70

Abstrakt

Tato diplomová práce, jejímž zadavatelem je energetická společnost C-Energy, se nejdříve zabývá popisem teplárny v Plané nad Lužnicí a představením projektu s názvem: „Ekologizace a obnova teplárny v Plané nad Lužnicí“. Hlavním tématem této práce je ovšem návrh lokální distribuční sítě (LDS), jejíž stavba je též aktivitou společnosti C-Energy. Napájení této LDS je zamýšleno z teplárny a v případě výroby menší, než která by pokryla spotřebu k LDS připojených zákazníků, by byl deficit doplněn z nadřazené distribuční sítě. Největší pozornost byla věnována dimenzování vedení s pomocí znalosti odběrových diagramů potenciálních zákazníků LDS a výpočtu provozních úbytků napětí, výkonových ztrát ve vedení, třífázovým zkratům a zemnímu spojení. Stavba LDS se uvažuje ve dvou variantách, které se liší především rozsahem. Proto je součástí práce také konkrétní technická i ekonomická úvaha, kterou z variant a potažmo investic bude lepší zrealizovat, završená doporučením varianty tohoto projektu.

Abstract

This diploma thesis, which the contracting authority is an energy company C -Energy, the first deals with the description of the heating plant in Planá nad Lužnicí and with performance project called "Ecologization a renewal of the heating plant in Planá nad Lužnicí". However, the main theme of this thesis is the proposal of a local distribution network (LDS), whose construction is also the activity of C-Energy. Power supply of the LDS is intended of the heating plant and if production is less than that, which would cover the consumption of the LDS connected customers, the deficit was complemented by a superior distribution network. The greatest attention has been paid to the dimensioning of electricity power lines with knowledge of consumption diagrams of potential customers LDS and calculating operational voltage drop, power losses, the three-phase short circuits and ground fault. Construction of LDS is considered in two variants, which differ mainly in the range. For this reason includes the work also specific technical and economic consideration which of the alternatives consequently the investment will better realize, topped recommendations variants of this project.

Klíčová slova

lokální distribuční soustava, odběrový diagram, dimenzování kabelu, Jouleovy ztráty, úbytky napětí, zemní spojení, plynový motor, kogenerační jednotka, spalínový kotel, kotel, vysokonapěťový vypínač, elektrická ochrana, kritéria hodnocení investic

Key words

local power distribution system, electric power consumption diagram, dimensioning of electricity power lines, joule losses, voltage drop, ground fault, gas engine, cogeneration units, heat recovery steam generator, boiler, high voltage switch, electrical protection, investment evaluation criteria

Úvod

Jednou z tendencí jak zlepšovat elektroenergetickou situaci nejen v České Republice, ale i v Evropě a na mnohých místech světa je například decentralizace elektrických zdrojů. Největšími výhodami decentralizace zdrojů shledávám zvýšení spolehlivosti dodávek elektrické energie a snížení elektrických ztrát ve vedení. V současném stavu elektroenergetického systému ČR jsou zřejmě dva základní postupy jak tohoto docílit. Prvním způsobem je postupné rušení některých velkých centrálních zdrojů při jejich souběžném nahrazování větším počtem zdrojů menších a druhým způsobem je připojování koncových spotřebitelů přímo k přiměřeně blízkému stávajícímu (třeba i centrálnímu) elektrickému zdroji s pomocí lokální distribuční sítě (LDS) a nejlépe tento zdroj spolu s LDS a k ní připojeným spotřebitelům uzpůsobit k ostrovnímu provozu.

Ke stavbě takové LDS, jež přímo propojí elektrický zdroj s několika poměrně velkými koncovými spotřebiteli a na cestě elektrického proudu tak vynecháním stávajícího zprostředkovatele transportu elektrické energie (provozovatel nadřazené distribuční soustavy VVN 110 kV energetické společnosti E.ON) dojde ke značnému zkrácení přenosové trasy, se rozhodla firma C-Energy vlastníci teplárnu v Plané nad Lužnicí. Firma tak díky tomuto projektu bude moci svým novým zákazníkům poskytnout spolehlivější a levnější dodávky elektřiny a pro samotnou firmu je to nový zdroj příjmů.

Návrhem LDS propojující teplárnu v Plané nad Lužnicí společnosti C-Energy s několika koncovými spotřebiteli se zabývá právě tato diplomová práce (DP). Úvodem DP bych však chtěl představit samotnou teplárnu Planá nad Lužnicí společně s její stávající činností a dále seznámit s plány a projekty teplárny do budoucnosti. Některé tyto projekty jsou již v současné době realizovány a budou brzy uvedeny do provozu, některé projekty, včetně stavby LDS, jež je hlavním předmětem této diplomové práce, budou pravděpodobně realizovány v blízké budoucnosti. Nutno dodat, že rozvojová činnost probíhající v současné době v teplárně vytváří lepší a možná i rozhodující předpoklady právě pro následnou stavbu LDS. O stávajícím a plánovaném stavu teplárny v Plané nad Lužnicí je pojednáno v první kapitole.

V druhé části diplomové práce je proveden rozbor odběrových diagramů stávajících i potenciálních zákazníků LDS. Znalost těchto odběrových diagramů je cenným vstupem pro návrh LDS, na základě kterého jsem navrhoval nejen základní parametry vedení, ale i

některé provozní veličiny, činné ztráty, úbytky, atd. V neposlední řadě jsem na základě odběrových diagramů predikoval náklady a příjmy související s distribucí a posoudil ekonomickou efektivnost sítě.

V následujících několika kapitolách DP se zabývám samotným návrhem LDS. Nejdříve provedu souhrn a stanovení základních parametrů LDS včetně popisu trasy. Dále zvolím typ kabelu a se znalostí jeho parametrů přikročím k dimenzování kabelu vedení, především jeho průřezu. To vše zejména na základě znalosti odběrových diagramů a technického zadání stavby. Několik kapitol je věnováno výpočtu ztrát ve vedení, a to jak fixních tak i variabilních. Následně jsem pro nejhorší možné konfigurace provozu sítě spočítal úbytky napětí, zkratové proudy, zkratové výkony a také zemní spojení. Poté jsem provedl návrh ochrany a vypínače pro síť.

Téměř žádný projekt by neměl smysl, kdyby negeneroval ekonomický zisk. Proto jsem se v poslední části diplomové práce podrobněji zaměřil na příjmy, výdaje a některá kritéria, pomocí kterých se provádí ekonomické hodnocení investic. Ta jsem nakonec použil a na základě výsledků doporučil nejlepší z variant projektu, se kterými firma C-Energy uvažuje.

1. Teplárna Planá nad Lužnicí

Teplárna Planá nad Lužnicí je strategickým dodavatelem tepla a horké páry, elektřiny a také chlazené vody pro zdejší průmyslovou oblast a přilehlá města, zejména pro město Sezimovo Ústí. V současné době disponuje celkovým instalovaným elektrickým výkonem 46,5 MW a dodávky tepla přesahují 500 000 GJ za rok.

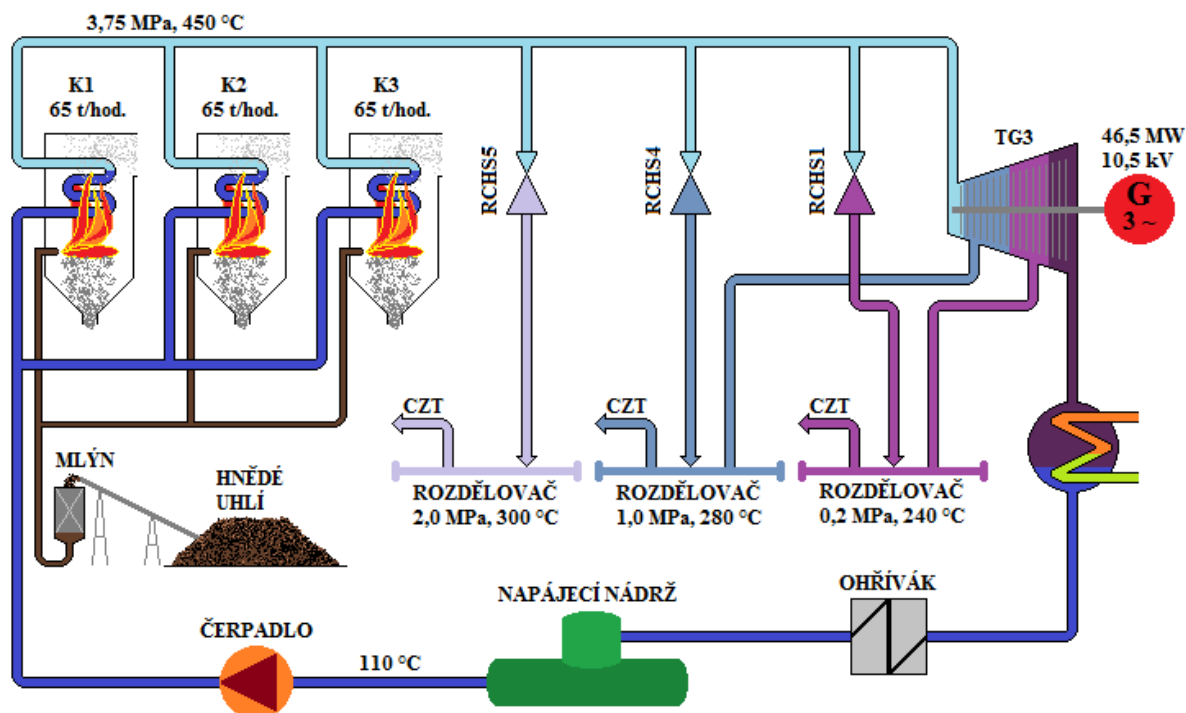
Jako téměř všechny stávající uhelné elektrárny, teplárny a výtopny v ČR, tak i uhelná teplárna v Plané nad Lužnicí se vlivem své zastaralosti, jak faktické tak i technologické, pomalu začala přibližovat k existenčním problémům. Vedení této teplárny se tedy rozhodlo k několika investičním krokům, kterými bude realizována modernizace teplárny. Tyto kroky jsou zmíněny v první části této práce. Jde především o kroky, které zajistí vyšší účinnost, ekologičnost a ekonomičnost provozu. Stávající stav a plánovaný stav teplárny je popsán v kapitolách 1.1 a 1.2.

1.1. Stávající stav

1.1.1. Výroba

Zdrojem pro výrobu elektřiny i tepelné energie je v samém prvopočátku palivo v podobě hnědého uhlí dováženého z Podkrušnohorské pánve, které je od roku 2005 namícháváno v poměru maximálně 1:12 s briketami vyrobenými z lněného vlákna a konopí nebo z pšeničných otrub. Vzhledem k tomu, že teplárna nedisponuje zařízením na odsíření, jsou kladeny na toto palivo poměrně vysoké jakostní požadavky, zejména na nízkou sirnatost, aby nedocházelo k nadměrně vysokým emisím při jeho spalování. Toto palivo je spalováno ve třech parních roštových kotlích ČKD DUKLA, které byly instalovány v letech 1961 až 1968. Jejich celkový tepelný výkon je 177,3 MW.

Pára produkovaná těmito kotli je společným parovodem vedena na tři redukční chladicí stanice a na parní turbínu kondenzačního typu. Vývod energie pro účely dodávek tepla je tedy zajištěn zmiňovanými třemi redukčními chladicími stanicemi a taktéž odběry páry přímo od turbíny. Kondenzační turbína dále pohání elektrický generátor, který disponuje jmenovitým výkonem 46,5 MW. Názorné schéma celého technologického celku je ukázáno na obrázku č. 1.



Obrázek 1 Přehledové schéma stávající výrobní technologie v teplárně

1.1.2. Vývod elektrického výkonu

Vývod elektrické energie z generátoru je realizován zapouzdřenými vodiči na napěťové hladině 10,5 kV. Tyto vodiče jsou přivedeny ke dvěma blokovým trojvintuťovým transformátorům s označením T101 a T102, kde T101 je za normálního stavu v provozu a T102 slouží jako záložní. Oba transformátory jsou svými sekundárními vinutími přivedené do rozvodny na hladině VVN 110 kV (AEA), kam také momentálně směřuje největší část vyrobeného elektrického výkonu. Terciární vinutí transformátorů je využito k napájení rozvodny VN 6 kV (BBA), kam je připojena vlastní spotřeba a několik stávajících zákazníků na téže napěťové hladině.

1.2. Plánovaný stav

V současné době probíhá v areálu teplárny realizace projektu s názvem „Ekologizace a obnova teplárny v Plané nad Lužnicí“. Cílů tohoto projektu je několik. Hlavním hybatelem a spouštěčem celé akce však byla skutečnost, že teplárna a její technologické vybavení bylo zastaralé, jak fakticky tak i technologicky, a přestávalo tak být i konkurenceschopné. Taktéž se teplárna při využívání stávajícího spalínového okruhu začala blížit k hranici ekologických limitů. Do teplárny bylo například nutné vozit jedno z nejkvalitnějších uhlí s malou sirnatostí, aby ony ekologické limity nebyly překračovány. V neposlední řadě k obnově teplárny

přispěla také poptávka po flexibilnějším a účinnějším zdroji. Jde tedy o rekonstrukci stávajícího zdroje na účinnější, ekologičtější a ekonomičtější zařízení.

1.2.1. Výroba

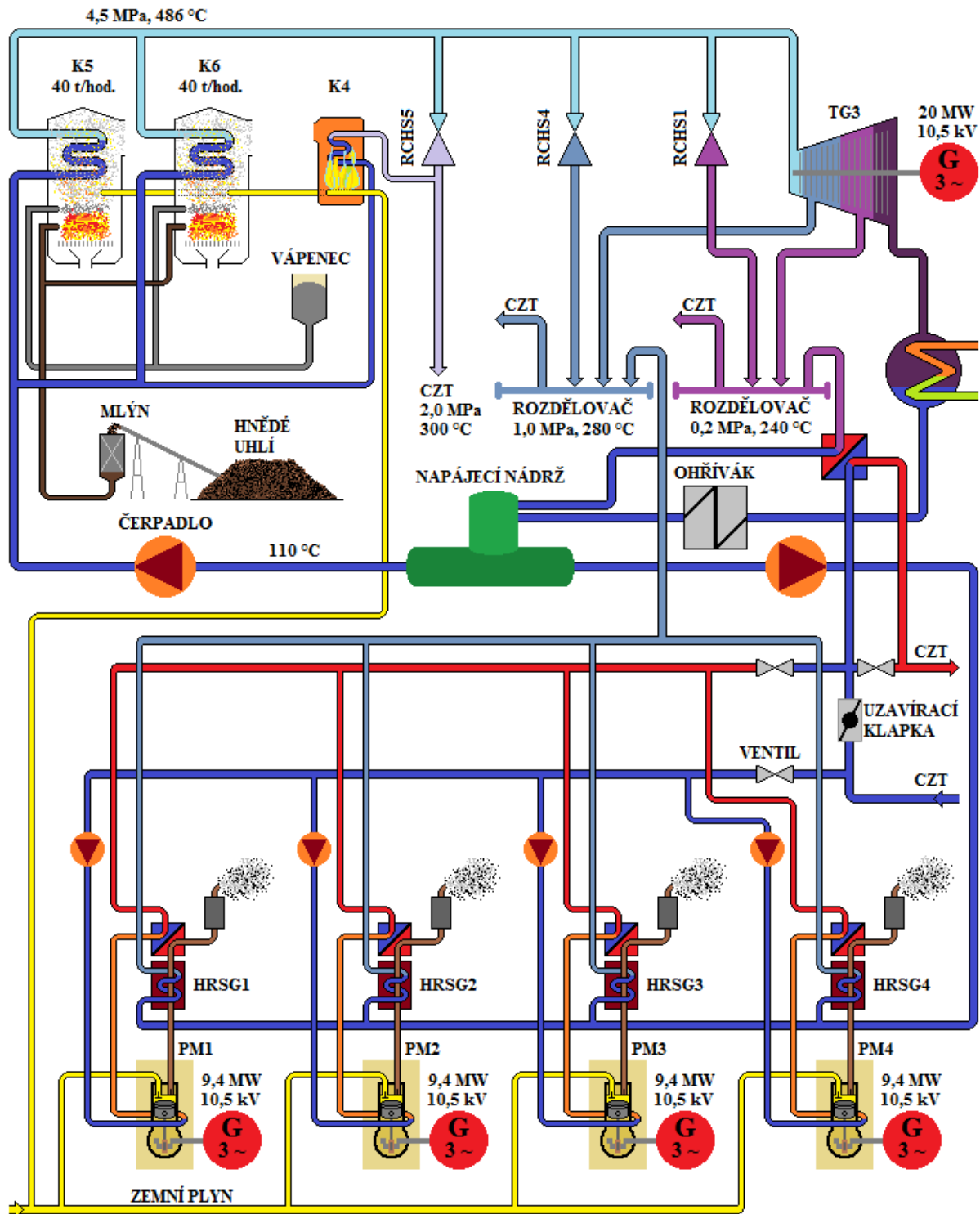
Výroba energie bude oproti původnímu stavu diversifikovanější a flexibilnější. Místo stávajících třech uhelných kotlů s výkonem 65 t/hod. budou páru vyrábět jen dva uhelné kotle s výkonem 40 t/hod. Navíc na rozdíl od starých kotlů roštových budou dva nové kotle fluidního typu. Pára z těchto kotlů bude zdrojem pro zajištění páry o tlaku 2,0 MPa, 1,0 MPa a 0,2 MPa, která bude poskytována stávajícím zákazníkům, dále využívána pro výrobu teplé vody a také pro pohon zrekonstruované kondenzační turbíny s elektrickým generátorem o výkonu 20 MW. Výroba teplé vody pro CZT bude realizována ve výměňkové stanici připojené k rozvodnici páry s výší tlaku 1 MPa. Dále bude instalován pomocný plynový kotel sloužící pouze pro výrobu páry o tlaku 2 MPa.

Druhým typem zdroje (zcela novým) bude čtveřice plynových motorů s kogenerací tepla, každý o jmenovitém výkonu 9,4 MW. Vstupem pro tuto výrobu bude tedy zemní plyn a výstupem elektrická energie a teplá voda. Teplá voda bude nejprve ohřátá přímo od pláště plynového motoru a poté ve spalínovém kotli, kde jsou, jak už sám název napovídá, zdrojem tepla horké výfukové spaliny. Teplá voda bude též odváděna do systému CZT.

Fotografie pořízené ze stavby a instalace nové výrobní technologie jsou k vidění na obrázku č. 2. a základní plánovaná koncepce výroby a struktura instalované technologie je demonstrována na obrázku č. 3.



Obrázek 2: Všechny čtyři motorgenerátory umístěné na základových deskách (vlevo) a pohled na strojovnu s motorgenerátory přes spalínové kotle (vpravo).



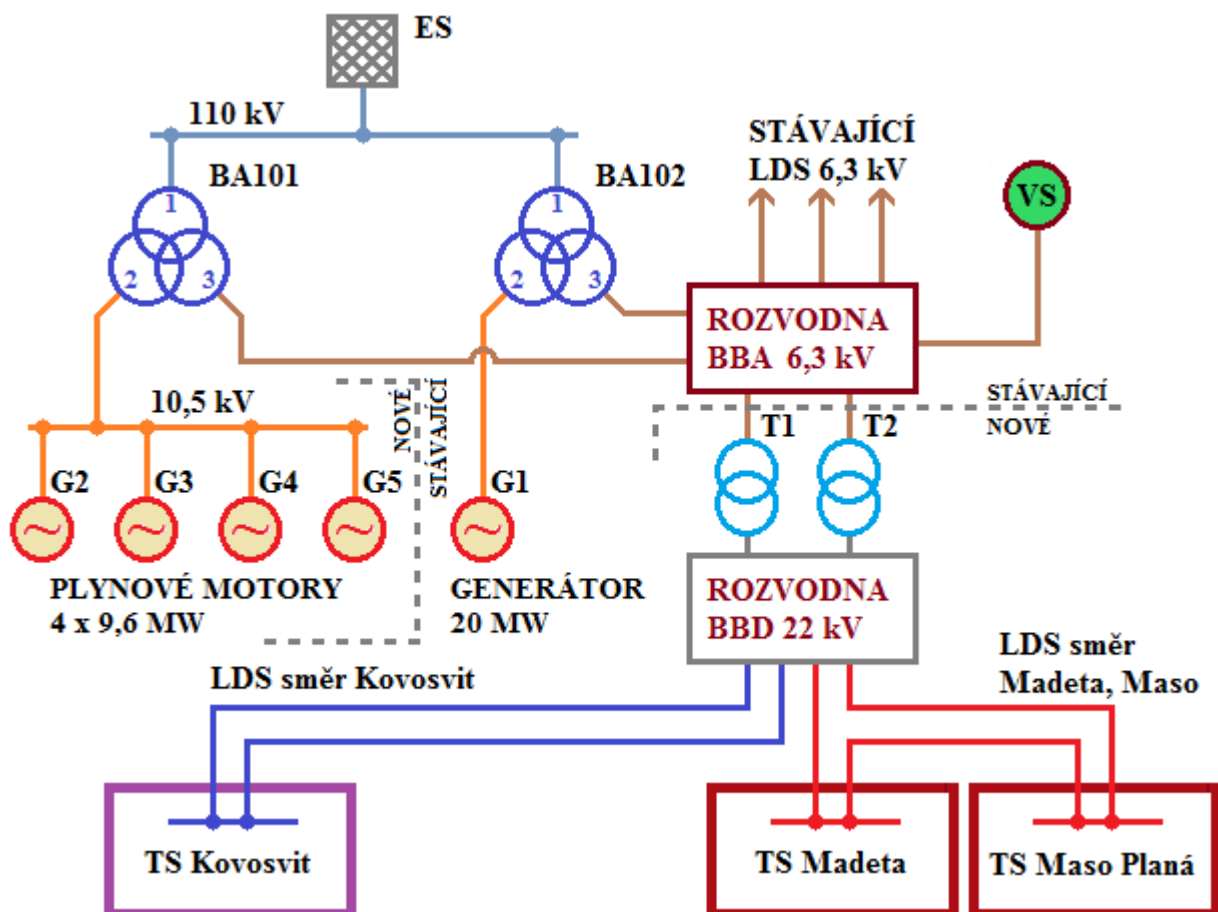
Obrázek 3 Přehledové schéma plánované výrobní technologie v teplárně

1.2.2. Vývod výkonu

K vývodu výkonu ze zrekonstruované teplárny se do značné míry využije stávající zařízení. Nově se postaví rozvodna 10,5 KV (AKA). Každý z generátorů bude připojen do této rozvodny, kde je naplánovaný dvojitý systém přípojníc s přípojnícemi A a B. Přípojnice A povede k transformátoru BAT01 (podle starého značení T101) a přípojnice B

k transformátoru BA102 (podle starého značení T102). Jednotlivé generátory tak bude možné připojit k libovolnému z transformátorů podle potřeby či podle optimálního rozdělení výkonu na oba stroje. Transformátory tedy zůstanou původní. Sekundární strana zůstane stejná s výjimkou vývodu terciárního vinutí do rozvodny 6 kV BBA. Transformátor BAT01 bude v této rozvodně přiveden do kobky BBA30 a transformátor BAT02 do kobky BBA41.

Z rozvodny BBA bude dále napájena vlastní spotřeba teplárny a také stávající LDS, ke které jsou připojeni stávající zákazníci. Z téže rozvodny je plánován vývod k nově instalovaným transformátorům T1 a T2, každý o výkonu 10 MVA a převodem 6,3/22 kV. Transformátory T1 a T2 budou sloužit pro napájení nově zřízené rozvodny 22 kV s názvem BBD, kde budou začínat nově budované a v této diplomové práci navrhované LDS směr Kovosvit a LDS směr Madeta, Maso. Přehledové schéma vyvedení elektrického výkonu z teplárny s vyznačeným stávajícím i novým stavem je znázorněno na obrázku č. 4.



Obrázek 4 Přehledové schéma vyvedení elektrického výkonu z teplárny a způsobu připojení LDS a VS

2. Posouzení odběrových diagramů stávajících a potenciálních zákazníků

2.1. Seznam a představení stávajících a potenciálních zákazníků

2.1.1. Stávající zákazníci

1) SILON s.r.o.

Je firma sídlící v Plané nad Lužnicí a je přední evropskou firmou vyrábějící polyesterové stříže, PE a PP kompaundy.

2) Skupina firem IMG

- IMG MANAGEMENT s.r.o. - Vedení účetnictví, ekonomické poradenství, management a administrativa
- IMG BOHEMIA s.r.o. - Největší výrobce technických plastů v ČR - desky a konstrukční prvky z PP a PE
- IMG TRADING s.r.o. - Velkoobchod s plastovými výrobky
- IMG TRANSPORT s.r.o. - Vnitrostátní a mezinárodní nákladní doprava a logistické služby
- IMG REALITY s.r.o. - Pronájem a správa nemovitostí
- BOCR Trading s.r.o. - Velkoobchod s plastovými prvky pro kanalizační, vodovodní a odvodňovací systémy
- IMG Consulting s.r.o.

2.1.2. Potenciální zákazníci

3) Maso Planá Kostelecké uzeniny a.s.

V tomto závodě se nachází jateční provoz a následné zpracování a výroba masných výrobků.

4) Madeta a. s.

Pobočka v Plané nad Lužnicí je největší výrobnou tvrdých přírodních a polotvrdých sýrů v České republice. Dále se zde vyrábí Jihočeské máslo a Jihočeské pomazánkové máslo. Závod disponuje zařízením na zahušťování syrovátky, tzv. odparkou a zpracovává se zde také tvaroh určený ke strouhání. V roce 2012 se sem z Prachatic přesunula výroba bílých sýrů.

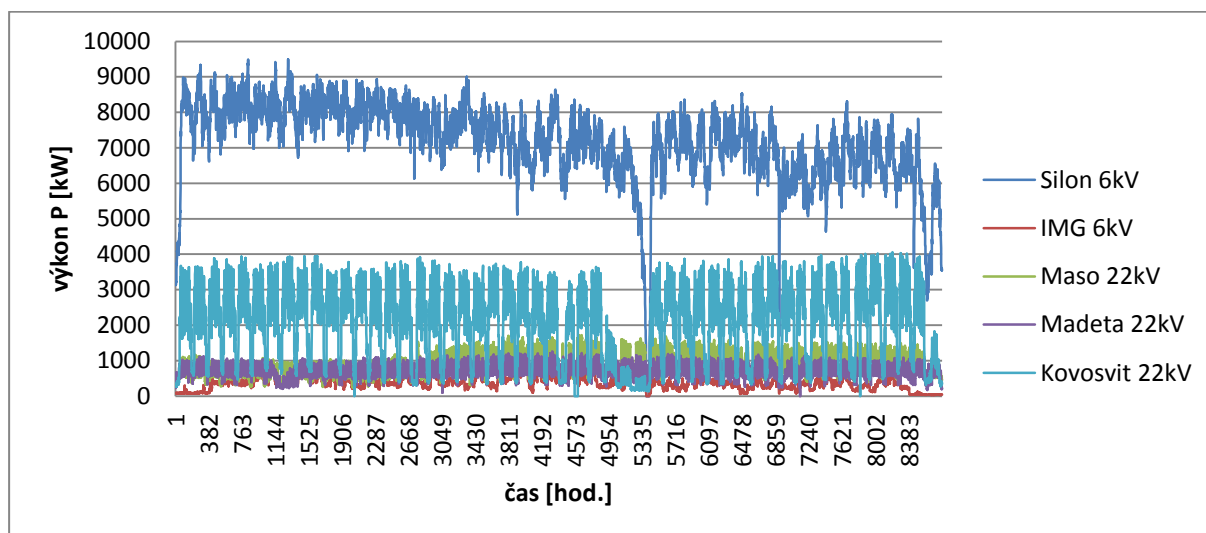
5) Kovosvit MAS, a.s.

Společnost má 70letou tradici ve výrobě a vývoji obráběcích strojů. Svým výrobním sortimentem se orientuje hlavně na subdodavatele pro automobilový, energetický, letecký a strojírenský průmysl.

2.2. Posouzení odběrových diagramů

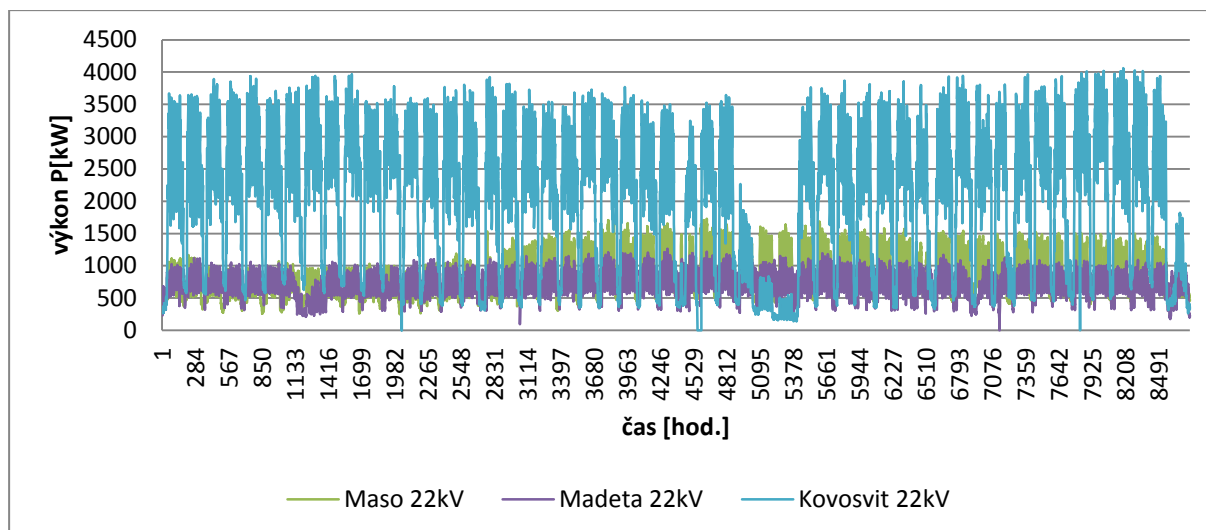
K posouzení odběrových diagramů všech zákazníků jsem použil odběrové diagramy z roku 2012. Z těchto diagramů jsem vybral čtyři základní parametry, podle kterých se také bude dále rozhodovat mimo jiné i při dimenzování kabelu. Jedná se o maximální odebraný výkon, minimální odebraný výkon, průměrný odebíraný výkon a celkové množství spotřebované elektřiny. Tyto parametry jsem zanesl do tabulek č. 1 a 2. V této části práce se zaměřím především na odběrové diagramy firem Madeta a.s. , Maso Planá Kostelecké uzeniny a.s. a Kovosvit MAS a.s., protože stavba LDS se uvažuje právě k nim.

V grafu č. 1 jsou vyneseny odběrové diagramy všech zákazníků, kteří data poskytli, a v grafu č. 2 pouze těch, ke kterým se uvažuje ona stavba LDS, tedy k potenciálním zákazníkům.



Graf 1: Odběrové diagramy stávajících a potenciálních zákazníků za rok 2012

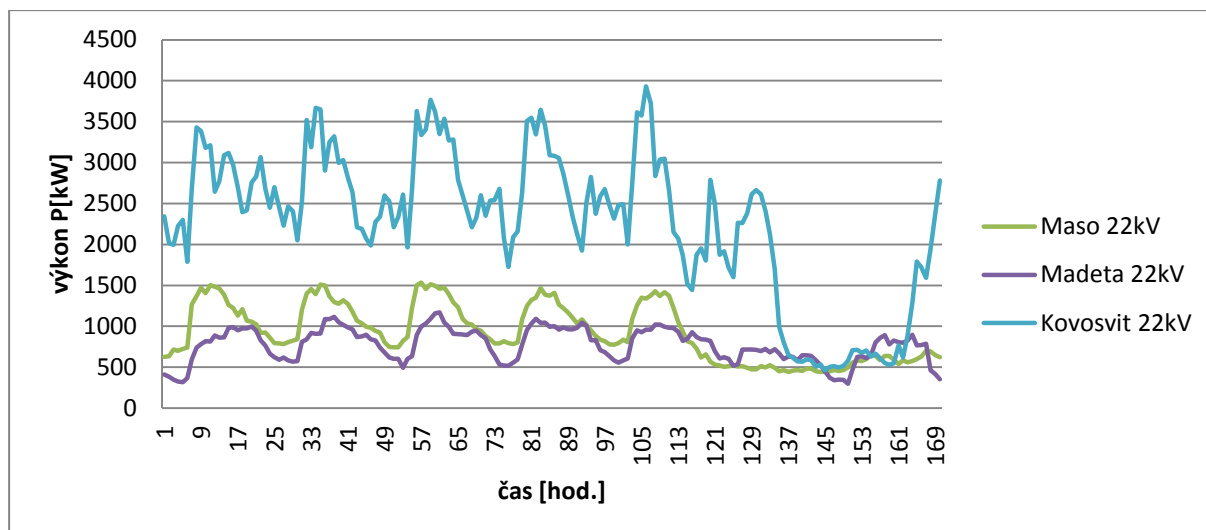
Z grafu č. 1 a také z tabulky č. 1 na straně 21 vidíme, že největším odběratelem elektřiny je firma Silon s.r.o., jejíž odběry jsou spíše náhodného charakteru, nicméně v průběhu roku se až na výjimky výše těchto odběrů moc neodchyluje od jeho průměrné hodnoty. Naopak za nejmenšího odběratele shledávám skupinu firem IMG.



Graf 2: Roční odběrové diagramy pouze potenciálních zákazníků

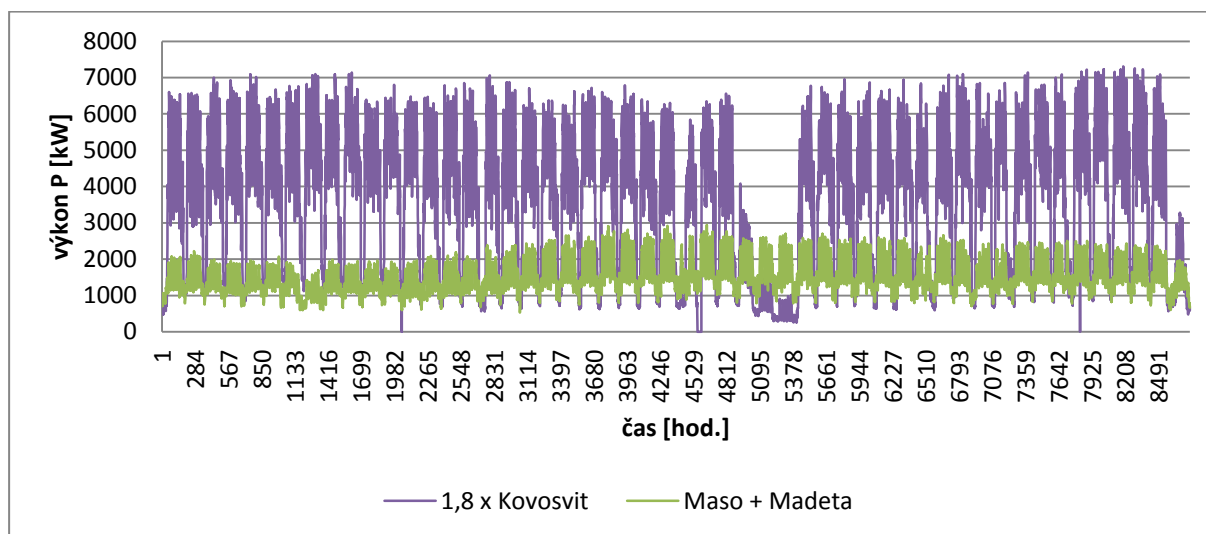
Při pohledu na odběrové diagramy firem Kovosvit MAS a.s., Madeta a Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. do grafu č. 2, tedy těch, jež jsou z hlediska stavby LDS důležitější, bych chtěl poukázat na typické průběhy, které odpovídají provozům činným především v pracovních dnech, nikoli o víkendech. Co se týká výrazného úbytku odběru ve firmě Kovosvit MAS a. s. v srpnovém období, ten je způsoben skutečností, že právě touto dobou obyčejně probíhá podniková dovolená.

V následujícím grafu č. 3 jsem vynesl odběrový diagram potenciálních zákazníků za období pouze jednoho týdne, konkrétně se jedná o týden od 3. 10 do 9. 10. 2011. Tento týden jsem vybral proto, že se v něm nenachází žádný svátek, přerušení provozu v jedné z firem, ani nic podobného. Z tohoto kratšího časového období se dá vyčíst více podrobností, například že nejvíce spotřeby ve všech podnicích nastává v dopoledních hodinách, v době oběda nastává mírný pokles, odpoledne opět mírný nárůst a v noci je spotřeba nejmenší. Ve firmě Kovosvit MAS a. s. zjevně dochází ke spotřebě i v sobotu přes den, ale v noci a celou neděli nikoliv. Ve firmě Madeta zřejmě dochází k nějaké pracovní činnosti v provozu i o víkendu, nicméně ve znatelně menší míře než v pracovní dny a ve firmě Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. zřejmě k žádné znatelné pracovní činnosti o víkendech nedochází vůbec.



Graf 3: Týdenní odběrové diagramy pouze těch zákazníků, ke kterým se zvažuje stavba LDS

V grafu č. 4 jsou již vyneseny předpokládané odběrové diagramy pro LDS oběma směry. K LDS směr Kovosvit bude připojena firma Kovosvit a. s. a k LDS směr Madeta, Maso, se předpokládá připojení firem Madeta a Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. Konkrétní podoba, respektive trasa LDS je popsána dále a zobrazena např. také na obr. č. 4.



Graf 4: Předpokládaná podoba ročních odběrových diagramů spotřebitelů připojených k LDS

Pro Kovosvit MAS a.s. jsem s vědomím, že plánuje navýšit spotřebu o 0,8 spotřeby stávající, všechny hodnoty příslušně vynásobil číslem 1,8 a pro Madetu a Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. jsem jejich odběrové diagramy z důvodu jejich uvažované společné LDS sečetl. Dále lze z grafu č. 4 a také z tabulky č. 2 snadno vyhodnotit, že z hlediska velikosti spotřeby je spotřeba firmy Kovosvit MAS a. s. značně vyšší a tudíž bude stavba LDS v tomto směru relevantnější.

veličiny	jednotky	Silon 6kV	IMG 6kV	Maso 22kV	Madeta 22kV	Kovosvit 22kV	CELKEM
P_maximální	kW	9487	903	1724	1264	4060	15091
P_minimální	kW	0	0	246	0	0	1012
P_průměrný	kW	7198	381	812	753	2090	11234
práce (spotřeba)	MWh	63055	3336	7109	6600	18308	98409

Tabulka 1: Posouzení odběrových diagramů z roku 2012

veličiny	jednotky	Silon 6kV	IMG 6kV	Maso 22kV	Madeta 22kV	Kovosvit 22kV	CELKEM
P_maximální	kW	9487	903	1724	1264	7309	18217
P_minimální	kW	0	0	246	0	0	1147
P_průměrný	kW	7201	381	812	754	3762	12906
práce (spotřeba)	MWh	63033	3336	7106	6598	32955	113056

Tabulka 2: Posouzení předpokládaných odběrových diagramů

veličiny	jednotky	Madeta+Maso	1,8 x Kovosvit	CELKEM
P_maximální	kW	2938	7309	9509
P_minimální	kW	533	0	659
P_průměrný	kW	1565	3762	5327
práce (spotřeba)	MWh	13710	32955	46665

Tabulka 3: Posouzení předpokládaných odběrových diagramů odběratelů pro plánovanou LDS

2.3. Komentář a rozbor odběrových diagramů z hlediska minim a maxim

Největší maximum ve firmě Silon s. r. o. o velikosti 9 487 kW nastalo 23. února, druhé a třetí nejvyšší maximum 4. února a 17. února. Ve firmách IMG dosáhlo nejvyšší maximum hodnoty 903 kW dne 2. března, druhé nastalo o dva dny později 4. března a třetí nejvyšší až 2. července. Čtvrté a páté nejvyšší maximum nastalo v březnu. Podle tvaru graficky znázorněných odběrových diagramů, časové blízkosti maxim a minim odběrů znázorněných v tabulce č. 4 a také z očividné příbuznosti zaměření činnosti obou podniků se domnívám, že obě firmy spolupracují, respektive že aktivity firem IMG navazuje na činnost firmy Silon s. r. o., což se projevuje na odběrových vlnách. K absolutnímu minimu došlo při odpojení těchto spotřebitelů na napěťové hladině 6 kV v době od 13. srpna ve 4:00 do 14. srpna v 14:00. To bylo způsobeno plánovanou odstávkou zařízení, která do těchto firem přivádějí elektrickou energii.

Maximum v závodě Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. nastalo dne 13. 7., druhé a třetí maximum 13. 7. a 12. 7. Čtvrté a páté maximum nastalo v červnu a červenci, tedy především v létě. Největší minimum odběru bylo 26. 3., další v únoru 5. 2. a třetí nejmenší 12. 3., všechna tedy koncem zimy. Ovšem analýzu maxim a minim tohoto ročního odběrového diagramu beru s rezervou, protože, jak je vidět z grafů č. 1, 2 a 4, koncem března se razantně zvýšila spotřeba, což přisuzuji instalaci nebo znovu uvedení do chodu značně velkého spotřebiče nebo více spotřebičů.

V podniku s mléčnými výrobky Madeta nastalo nejvyšší i druhé nejvyšší maximum dne 29. 6., třetí potom 13. 7. a čtvrté a páté v druhé polovině června. Minimum bylo zaznamenáno dne 25. 10. v době od 8:00 do 10:00.

V Kovosvitu bylo pět největších maxim zaznamenáno v prosinci 8. 12., 12. 12., 15. 12., 1. 12. a 7. 12. Minima byla zaznamenána opět jako absolutní výpadky dodávky elektrické energie a to 27. 3. v 2:00 a potom v období od 10. 7. 2:00 do 11. 7. 12:00.

Sečtu-li odběrové diagramy všech zmiňovaných firem, dostanu výsledný odběrový diagram, který je v legendách grafů a názvu sloupce tabulek nazván jako „Celkem“. Potom nejvyšší maximum vychází na 14. 6., druhé i třetí na 9. 3. a čtvrté a páté na únor a leden. Jde tedy spíše o zimní měsíce. Naopak všech pět minim bylo shledáno v měsíci v srpnu, postupně 14. 8., 13. 8., 14. 8., 13. 8., 14. 8.

Do tabulky č. 4 jsem zanesl všechna výše popsaná minima a maxima. Jelikož se jedná o stávající stav, respektive stav minulý, pro sestavení této tabulky jsem hledal pouze tři nejvyšší a tři nejnižší minima. I přes tento malý vzorek jsem myslím došel k výsledkům, které o něčem alespoň trochu vypovídají. K většině těchto krajních stavů dochází buďto v zimě nebo v létě. A naopak v průběhu jara a podzimu, zdá se, běží všechny firmy ve stabilním provozu se spotřebou, jež se více blíží průměru.

U firem Silon s.r.o. a IMG opět pozoruji určitou závislost ve smyslu návaznosti jejich činnosti, načež poukazují především jejich maxima a závislost stejného přívodu na stejné úrovni 6 kV, což se projevilo u jejich minim způsobených nedodávkou elektrické energie. potravinářských firem Maso Planá Kostelecké uzeniny a. s. a Madeta se zvýšená spotřeba projevila naopak v létě, v červnu a červenci. Ve firmě Kovosvit a. s. došlo k vůbec nejvyšším špičkám spotřeby zřejmě během prosince. Minima jsou opět způsobena buď výpadky nebo odstávkami dodávek elektrické energie.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Silon		3						3				
IMG			2				1	3				
Maso		1	2				3					
Madeta						2	1			3		
Kovosvit			1				2					3
CELKEM			2			1		3				

Legenda:	1	1 maximum	1	1 minimum
	2	2 maxima	2	2 minima
	3	3 maxima	3	3 minima

Tabulka 4: Tabulka 3 maxim a 3 minim v jednotlivých měsících pro stávající stav

Pro firmy, které představují potenciální zákazníky, jsem provedl stejnou analýzu a vyhotovil stejnou tabulku, ale vycházel jsem z většího počtu dat. Konkrétně jsem vycházel z dvaceti maxim a z dvaceti minim. Výsledky jsou zaneseny v tabulce č. 5. Při porovnání tabulek č. 4 a č. 5 se ukazuje, že tabulka č. 5 poměrně dobře koreluje s výsledky v tabulce č. 4, jenom ještě navíc odkrývá nové skutečnosti.

Maximum firem Madeta + Maso 13. 7., 29. 6., 8. 6., 28. 6., 29. 6., minimum 8. 5., 25. 12., 27. 2., 18. 2., 19. 2., 25. 12. .

Celkem Madeta + Maso + 1, 8 Kovosvit maximum spotřeby nastalo 14. 6., 25. 11., 4. 11., 12. 10, 23. 11., 8. 12. a minimum spotřeby nastalo 27. 3. způsobené výpadkem napájení firmy Kovosvit a 10. 7., 13. 8., 10. 7., 11. 7. a další červencové a srpnové dny způsobené odstavkou a podnikovou dovolenou též ve firmě Kovosvit.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Madeta+Maso		10	2	3	1	11	9					4	
1,8 x Kovosvit		2	1	3			10	7		1	1	6	8
CELKEM	1		1		1	1	6	11	1	3	9	6	

Legenda:

1	1 maximum	1	1 minimum
2	2 maxima	2	2 minima
3	3 maxima	3	3 minima
6	6 maxim	4	4 minima
8	8 maxim	6	6 minim
9	9 maxim	7	7 minim
11	11 maxim	10	10 minim
		11	11 minim

Tabulka 5: Tabulka 20ti maxim a 20ti minim v jednotlivých měsících roku a pro odběratele, k nimž je uvažována stavba LDS

Z hlediska následného dimenzování LDS je zřejmě nejdůležitější tabulka č. 6, ve které jsou zaneseny nejvyšší hodnoty odebíraných výkonů všech zákazníků, včetně těch potenciálních zvýrazněných zelenou barvou.

Stávající i potenciální zákazníci	výkon [kW]
Silon	9487
IMG	903
Silon+IMG	10390
Maso	1724
Madeta	1264
Kovosvit	4060
Silon+IMG+Maso+Madeta+Kovosvit	17438
Madeta+Maso	2988
1,8 x Kovosvit	7309
Madeta+Maso+Kovosvit	10297

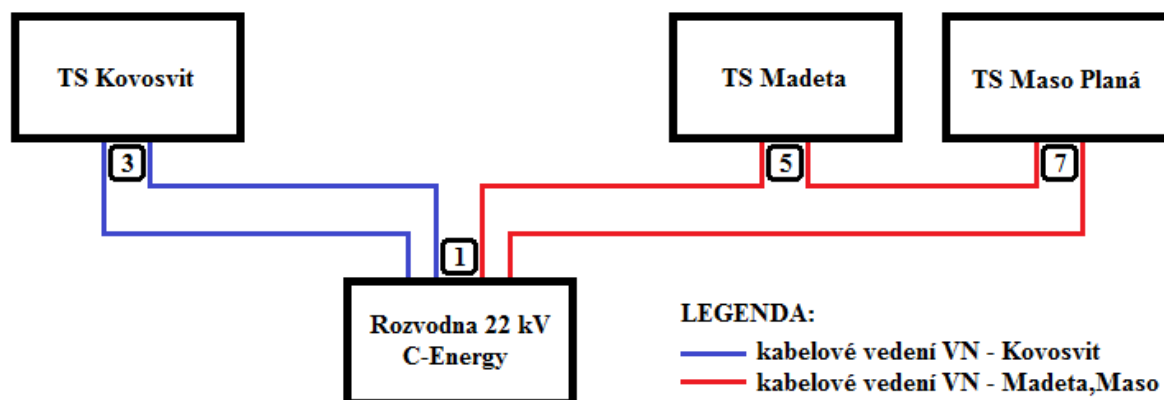
Tabulka 6: Tabulka teoretických maxim pro uvažované kombinace odběrů

3. Lokální distribuční síť (LDS)

Jak jsem již zmiňoval výše, teplárna C-Energy už své stávající zákazníky pro odběr elektrické energie má. Ti jsou připojeni k LDS na napěťové úrovni 6 kV v podstatě od doby, kdy byla teplárna stavěna společně s okolní průmyslovou oblastí, a jsou připojeni přímo do rozvodny BBA 6 kV, která je napájena z terciáru blokového transformátoru. V případě stavby nové LDS se tedy jedná o rozšíření stávající LDS, ovšem nikoliv na hladině 6 kV, nýbrž na hladině VN 22 kV. Tato napěťová hladina je dána především z toho důvodu, že potenciální zákazníci, kteří jsou v současnosti připojeni k nadřazené distribuční soustavě společnosti E.ON, jsou na svém přívodu vybaveni zařízením a transformátory pro napěťovou hladinu právě 22 kV.

Pro návrh LDS jsem jako vstupní podklady použil mimo jiné také technické zadání stavby, jež jsem měl k dispozici, mapové podklady od C-Energy Bohemia s.r.o., digitální podklady jednotlivých správců sítí a v neposlední řadě příslušné a platné elektrotechnické předpisy a normy.

Kabelové trasy v průmyslové zóně mezi obcemi Planá nad Lužnicí a Sezimovým Ústím budou vedeny především po soukromých parcelách. Jedná se o území, které je zastavěné. Trasa nového kabelu povede z větší části ve volném terénu, z části jako nadzemní po stávajícím energomostě a z části bude uložen v místních komunikacích. Celková délka trasy kabelového vedení VN 22 kV bude 2 102 m. Na ukázkou jsem do přílohy č. 4 vložil schéma, na kterém je ukázán vzorový řez uložení kabelů VN ve volném terénu.



Obrázek 5: Přehledové schéma LDS

Přehledové schéma nové LDS je znázorněné výše na obrázku č. 5. Je z něho patrné, že LDS směrem na Kovosvit a. s. je realizována dvěma paprsky a LDS směrem k Madetě a. s. a Masu Planá Kostelecké uzeniny s. r. o. je realizována smyčkou. V obou případech je tedy zajištěno spolehlivostní kritérium n-1, tj. v případě kdy na LDS v určitém místě dojde k poruše, plánované odstávce či opravě, žádný ze zákazníků nepřijde o dodávku elektrické energie. V přehledovém schématu jsem také vyznačil uzly označené čísly 1, 3, 5 a 7, které budou dále sloužit k identifikaci smyčky či jejích úseků, míst zkratů atp.

3.1. Výpočet a stanovení parametrů LDS

Zadavatel této práce již dříve vyhodnotil a stanovil požadavek, aby LDS byla realizována formou kabelu, nikoli pomocí stožárů a lan. Tato podmínka ostatně logicky vyplývá ze zeměpisného uspořádání a parametrů trasy. Mapa trasy obou plánovaných LDS je znázorněna na obrázku číslo 19 v první příloze.

3.1.1. Délky kabelových vedení a jednotlivých úseků

Délku kabelových vedení jsem stanovil pomocí měření na katastrální mapě a pomocí odhadů délky výkopů, která jsem vyčetl z před-projektové dokumentace stavby. Délky jsou uvedeny v následujících tabulkách, v kapitolách 3.1.1.1. a 3.1.1.2. Jednotlivé délky l zmíněné v tabulce jsou opatřené indexy, které představují odkud kam, případně přes který uzel je délka myšlena v souladu s tím, jak jsou uzly pojmenované na obrázku 5.

3.1.1.1. LDS směr Kovosvit

úsek	délka [m]
l_{13}	728
$2l_{13}$	1456

Tabulka 7: Délky kabelového vedení pro LDS směr Kovosvit

3.1.1.2. LDS směr Madeta, Maso

úsek	délka [m]
l_{15}	653
l_{57}	856
l_{17}	1298
l_{175}	2154
l_{1571}	2807

Tabulka 8: Délky kabelového vedení pro LDS směr Madeta, Maso

3.2. Volba typu kabelu

Pro realizaci LDS se budu dále rozhodovat mezi volbou kabelu jednovláškového s označením 22-AXEKVCE a dvouvláškového 22-AXEKVCEY. Oba kabely mají až na počet vnějších plášťů stejnou konstrukci. Skládají se z následujících vrstev:

1. Hliníkové jádro
2. Vnitřní polovodivá vrstva
3. Izolace ze zesíťovaného polyetylenu
4. Vnější polovodivá vrstva
5. Polovodivá vodoblokující páska
6. Stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky
7. Vodoblokující páska
8. Vnější PE plášť (22-AXEKVCE), vnější PE + PVC plášť (22-AXEKVCEY)

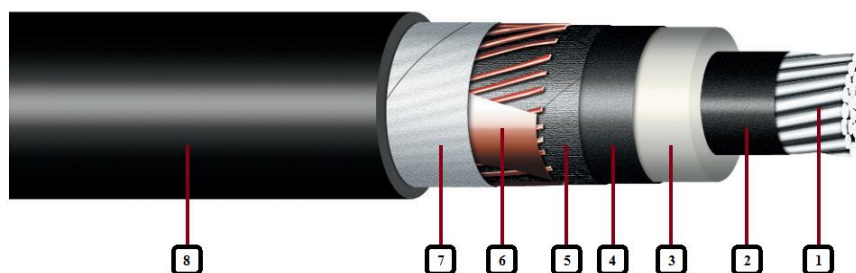
Konstrukce obou zvolených kabelů včetně všech uvedených vrstev je zobrazena na obrázcích č. 6 a 7.

3.2.1. Kabel 22-AXEKVCE a jeho parametry uvedené výrobcem

Vlastnosti kabelu

Jmenovité napětí U_f/U	12,7/22 kV	Minimální teplota pokládky	-20 °C
Maximální napětí	25 kV	Barva izolace	přírodní
Zkušební napětí	50 kV	Barva pláště	černá
Provozní teplota jádra	+90 °C	Odolnost proti šíření plamene	NENÍ
Max. provoz. teplota při zkratu	+250 °C	balení	bubny
Rozsah teplot při provozu	-35 až +90 °C	Označení CE prohlášení	ANO
Minimální teplota skladování	-35 °C	Tloušťka izolace	5,5 mm

Tabulka 9: Vlastnosti kabelu 22-AXEKVCE a některé parametry uvedené výrobcem



Obrázek 6: Konstrukce jednovláškového kabelu 22-AXEKVCE

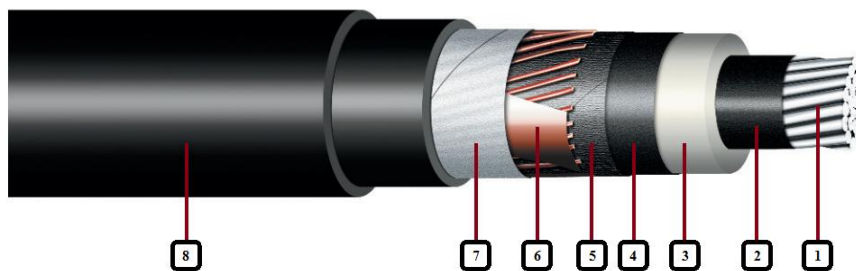
3.2.2. Kabel 22-AXEKVCEY a jeho parametry uvedené výrobcem

Vlastnosti kabelu

Jmenovité napětí U_f/U	12,7/22 kV	Minimální teplota pokládky	-5 °C
Maximální napětí	25 kV	Barva izolace	přírodní
Zkušební napětí	50 kV	Barva pláště	červená/černá
Provozní teplota jádra	+90 °C	Odolnost proti šíření plamene	*ČSN IEC 332-1
Max. provoz. teplota při zkratu	+250 °C	balení	bubny
Rozsah teplot při provozu	-35 až +90 °C	Označení CE prohlášení	ANO
Minimální teplota skladování	-25 °C		

Tabulka 10: Vlastnosti kabelu 22-AXEKVCEY a některé parametry uvedené výrobcem

* Zkouška odolnosti proti svislému šíření plamene pro vodiče nebo kabely



Obrázek 7: Konstrukce dvouplášťového kabelu 22-AXEKVCEY

Výrobce těchto kabelů ve své dokumentaci uvádí, že kabely jsou určeny pro volné uložení ve vzduchu na nosné konstrukce, do země, do tvárnic nebo do trubek z nemagnetického materiálu. Norma ČSN 33 2000-5-52 též říká, že uložení tohoto kabelu může být provedeno v prostředí obyčejném i vlhkém. Z hlediska těchto podmínek jsou pro nás oba zvolené kabely vyhovujícími. Vlastnosti kabelů se liší pouze minimální teplotou skladování, minimální teplotou pokládky, barvou pláště a především odolností proti šíření plamene, jak vyplývá z tabulek č. 9 a 10.

4. Dimenzování kabelu

4.1. Výpočet a stanovení velikosti napětí a proudů

Při projektování této LDS nebudu vycházet ze součtu všech připojených příkonů vynásobených koeficientem soudobosti β , jak by tomu bylo v případě připojování nového objektu, ale s výhodou využiji znalosti odběrových diagramů oněch potenciálních zákazníků. Z těchto odběrových diagramů, jejichž analýzu jsem provedl v kapitole 2, jsem schopen určit předpokládané množství odebírané elektrické energie a podle toho následně i správně nadimenzovat kabel. Pro LDS směr Kovosvit i pro LDS směr Madeta, Maso budu vycházet z teoretických maximálních odebíraných výkonů, které jsou uvedeny v zeleně vyznačené části tabulky č. 6. Ve směru LDS Kovosvit budu tedy uvažovat s odebíraným výkonem 7 309 kW a u odběratelů z LDS Madeta, Maso s výkonem 2 988 kW.

K přihlédnutí k velikosti přenášených výkonů, vzdálenosti, na kterou jsou výkony přenášeny, přijatelné velikosti proudů a rozhodnutí vedení společnosti C-Energy byla stanovena provozní napěťová hladina na 22 kV. Rozhodující pro výběr této napěťové hladiny je však fakt, že potenciální zákazníci jsou na svých připojovacích bodech vybaveny zařízeními i transformátory právě pro tuto napěťovou hladinu.

Protože nemám údaje o účinníku a protože také při návrhu LDS budu uvažovat nezanedbatelnou výši nárůstu spotřeby a její změny charakteru, budu uvažovat nejhorší přípustný účinník, tedy $\cos(\varphi) = 0,95$.

Nyní tedy mohu s pomocí následujícího vztahu přesně určit proudy, ze kterých při dimenzování kabelu budu dále vycházet.

- Proud LDS Kovosvit I_K :

$$I_K = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{7\,309}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0,95} = 201,9 \text{ A} \quad (1)$$

- Proud LDS Madeta, Maso I_{MM} :

$$I_{MM} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{2\,988}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0,95} = 82,5 \text{ A} \quad (2)$$

Při konzultaci s pracovníkem ze C-Energy jsme se dohodli, že při navrhování sítě budu zvažovat její výrazné rozšíření v budoucnosti, a proto uvažované odběry potenciálních zákazníků vynásobím koeficientem v případě LDS směr Kovosvit $k_K = 1,75$ a v případě LDS

směr Madeta, Maso $k_{MM} = 2,25$. K tomuto rozhodnutí jsme dospěli ze znalosti okolního podnikatelského prostředí, jež je potenciálním zdrojem dalších zákazníků. Též jsme zvažili okolnost, že cena kabelů, zvláště v případě takto relativně krátkých vedení ztrácí na významnosti s přihlédnutím k ceně vybavení pro připojení zákazníka, výkopovým, projekčním, atp. pracím.

Po vynásobení proudů zmíněnými koeficienty dostanu výpočtové proudy I_{pK} a I_{pMM} :

$$I_{pK} = k_K \cdot I_K = 1,75 \cdot 201,9 = 353,3 \text{ A} \quad (3)$$

$$I_{pMM} = k_{MM} \cdot I_{MM} = 2,25 \cdot 82,5 = 185,7 \text{ A} \quad (4)$$

Kde I_p je výpočtový proud

index K znamená, že se jedná o LDS směr Kovosvit

index MM znamená, že se jedná o LDS směr Madeta, Maso

4.2. Stanovení průřezů uvedených typů kabelů

Průřezy kabelů určím podle proudových zatížitelností kabelů, které výrobce uvádí. Nejbližší vyšší proudovou zatížitelnost 361 A pro LDS Kovosvit má kabel s průřezem $1 \times 185/25 \text{ mm}^2$, kde 185 mm^2 je průřez jádra a 25 mm^2 je průřez stínění. Pro LDS Madeta, Maso pak volím kabel s průřezem $1 \times 70/16 \text{ mm}^2$ disponující proudovou zatížitelností 210 A. Hodnoty uvedených proudových zatížitelností jsou zvolené pro variantu, kdy jednotlivé kabely budou umístěné do trojúhelníku a pro horší podmínky, kdy je kabel umístěn v zemi.

4.3. Činný odpor, kapacita a indukčnost kabelu

22-AXEKVCE:

průřez [mm^2]	činný odpor	kapacita	indukčnost (v Δ)
1×185/25	0.164 Ω/km	0.27 $\mu\text{F}/\text{km}$	0.36 mH/km
1×70/16	0.443 Ω/km	0.19 $\mu\text{F}/\text{km}$	0.42 mH/km

Tabulka 11: Činný odpor, kapacita a indukčnost kabelu 22- AXEKVCE

22-AXEKVCEY:

průřez [mm^2]	činný odpor	kapacita	indukčnost (v Δ)
1×185/25	0.164 Ω/km	0.27 $\mu\text{F}/\text{km}$	0.37 mH/km
1×70/16	0.443 Ω/km	0.19 $\mu\text{F}/\text{km}$	0.44 mH/km

Tabulka 12: Činný odpor, kapacita a indukčnost kabelu 22- AXEKVCEY

Vzhledem k tomu, že jsou výše uvedené parametry kabelů prakticky totožné, budu dále uvažovat a počítat pouze s parametry kabelu 22- AXEKVCEY, tj. hodnoty z tabulky číslo 12.

4.4. Činný odpor a indukční reaktance vedení a jeho úseků

$$R_{185} = 0,164 \Omega/km \quad (5)$$

$$R_{70} = 0,443 \Omega/km \quad (6)$$

$$X_{185} = \omega \cdot L_{185} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{185} = 0,116 \Omega/km \quad (7)$$

$$X_{70} = \omega \cdot L_{70} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{70} = 0,138 \Omega/km \quad (8)$$

4.4.1. Parametry jednoho paprsku LDS směr Kovosvit

$$R_{13} = R_{185} \cdot l_{13} = 0,164 \cdot 0,728 = 0,119 \Omega \quad (9)$$

$$X_{13} = X_{185} \cdot l_{13} = 0,116 \cdot 0,728 = 0,084 \Omega \quad (10)$$

$$Z_{13} = R_{13} + jX_{13} = 0,119 + j0,084 \Rightarrow Z_{13} = \sqrt{0,119^2 + 0,084^2} = 0,146 \Omega \quad (11)$$

4.4.2. Parametry jednotlivých úseků smyčky LDS směr Madeta, Maso

$$R_{15} = R_{70} \cdot l_{15} = 0,443 \cdot 0,653 = 0,289 \Omega \quad (12)$$

$$X_{15} = X_{70} \cdot l_{15} = 0,138 \cdot 0,653 = 0,090 \Omega \quad (13)$$

$$R_{57} = R_{70} \cdot l_{57} = 0,443 \cdot 0,856 = 0,379 \Omega \quad (14)$$

$$X_{57} = X_{70} \cdot l_{57} = 0,138 \cdot 0,856 = 0,118 \Omega \quad (15)$$

$$R_{17} = R_{70} \cdot l_{17} = 0,443 \cdot 1,298 = 0,575 \Omega \quad (16)$$

$$X_{17} = X_{70} \cdot l_{17} = 0,138 \cdot 1,298 = 0,179 \Omega \quad (17)$$

$$Z_{15} = R_{15} + jX_{15} = 0,289 + j0,090 \Rightarrow Z_{15} = \sqrt{0,289^2 + 0,090^2} = 0,303 \Omega \quad (18)$$

$$Z_{57} = R_{57} + jX_{57} = 0,379 + j0,118 \Rightarrow Z_{57} = \sqrt{0,379^2 + 0,118^2} = 0,397 \Omega \quad (19)$$

$$Z_{17} = R_{17} + jX_{17} = 0,575 + j0,179 \Rightarrow Z_{17} = \sqrt{0,575^2 + 0,179^2} = 0,602 \Omega \quad (20)$$

4.5. Výpočet ztrát

4.5.1. Svod

Ztráty svodem se uplatňují ve všech úrovních napětí, vysokého napětí nevyjímaje. Jedná se o fixní ztráty, neboť jejich velikost není nikterak závislá na velikosti zatížení vedení. Svod je způsoben tím, že každým izolantem protéká určitý proud, protože žádný izolant nemá nekonečně velký odpor. Velikost tohoto proudu spočítám následujícím vtahem:

$$I_s = \frac{U_0}{R_k} [A] \quad (21)$$

kde U_0 [kV] je napětí vůči zemi (tj. za normálních podmínek fázové napětí)

R_k [k Ω] je odpor izolace příslušného úseku vedení

I_s [A] je svodový proud příslušného úseku vedení

Činné výkonové ztráty způsobené svodem pro jednu fázi vedení potom budou:

$$P_{Zs} = \frac{U_0^2}{R_k} [kW] \quad (22)$$

kde P_{Zs} [kW] je činný ztrátový výkon jedné fáze pro daný úsek vedení

Činný ztrátový výkon pro kabel budu uvažovat třikrát větší, protože se jedná o třífázové kabelové vedení. Nakonec určím velikost ztrát elektrické energie za období celého roku, při uvažování celé délky vedení pomocí následujícího vztahu:

$$W_{Zs} = 3 \cdot P_{Zs} \cdot T \cdot 10^{-3} [MWh] \quad (23)$$

Kde W_{Zs} [MWh] jsou celkové činné ztráty svodem

T [hod.] je čas, po dobu jakého chceme ztráty svodem zjistit (obvykle rok)

4.5.1.1. Výpočet svodu

Všechny parametry, až na hodnotu izolačního odporu kabelu R_k , jsou známé. Izolační odpor kabelu se mi nepodařilo zjistit ani po dotazu na výrobce. Výrobce se vyjádřil, že by musel hodnou izolačního odporu změřit, ale protože to není požadováno pro kabely středního napětí PNE 347625, nečiní tak a tuto hodnotu nezná. V tomto případě tedy budu vycházet z normy HD 620 10 B, která klade na izolační odpory kabelů následující požadavky:

Teplota kabelu	Rezistivita izolace
20 °C	$> 1 \cdot 10^{16} \Omega \cdot cm$
90 °C	$> 1 \cdot 10^{14} \Omega \cdot cm$

Tabulka 13: Požadavky na rezistivitu izolace kabelů dle normy HD 620 10 B

Pro potřeby mého výpočtu budu předpokládat, že kabely splňují požadavky normy a použiji nejhorší možnou přípustnou hodnotu rezistivity, která nastane při teplotě 90 °C, tj $1 \cdot 10^{14} \Omega \cdot cm$. Po přepočítání rezistivity do základní jednotky dostanu $1 \cdot 10^{12} \Omega \cdot m$. Potom R_k pro dané průřezy vodičů jsou:

$$R_{k185} = \frac{\rho \cdot d}{S_{k185}} = \frac{1 \cdot 10^{12} \cdot 0,0055}{122,587} = 4,487 \cdot 10^7 \Omega \quad (24)$$

$$R_{k70} = \frac{\rho \cdot d}{S_{k70}} = \frac{1 \cdot 10^{12} \cdot 0,0055}{183,424} = 2,999 \cdot 10^7 \Omega \quad (25)$$

kde d [m] je tloušťka izolace

S_k [m^2] je plocha rozložené izolace pro daný průřez vodiče a příslušný úsek

$$S_{k185} = 2 \cdot \pi \cdot r_{185} \cdot 2l_{13} = 2 \cdot \pi \cdot 0,0134 \cdot 1456 = 122,587 \text{ m}^2 \quad (26)$$

$$S_{k70} = 2 \cdot \pi \cdot r_{70} \cdot (l_{15} + l_{57} + l_{17}) = 2 \cdot \pi \cdot 0,0104 \cdot 2807 = 183,424 \text{ m}^2 \quad (27)$$

kde r_{70}, r_{185} [m] jsou střední poloměry izolace pro daný průřez vodiče

Od výrobce znám průměr jádra pro oba kabely. Pro kabel s průřezem $S = 185 \text{ mm}^2$ je průměr jádra 15,8 mm. Pro kabel s průřezem 70 mm^2 je průměr jádra 9,8 mm. Když k poloměru jádra přičtu jednu tloušťku izolace, dostanu střední poloměr izolace.

Nyní mohu dosadit do vzorce číslo (21) a spočítat svodové proudy:

$$I_{s185} = \frac{U_0}{R_{k185}} = \frac{12702}{4,487 \cdot 10^7} = 2,831 \cdot 10^{-4} \text{ A} \quad (28)$$

$$I_{s70} = \frac{U_0}{R_{k70}} = \frac{12702}{2,999 \cdot 10^7} = 4,235 \cdot 10^{-4} \text{ A} \quad (29)$$

Taktéž mohu podle vzorce číslo (22) určit svodové ztráty:

$$P_{Zs185} = \frac{U_0^2}{R_{k185}} = \frac{12,702^2}{4,487 \cdot 10^4} = 0,0036 \text{ kW} \quad (30)$$

$$P_{Zs70} = \frac{U_0^2}{R_{k70}} = \frac{12,702^2}{2,999 \cdot 10^4} = 0,00538 \text{ kW} \quad (31)$$

A konečně podle vzorce číslo (23) mohu spočítat celkové roční ztráty svodem jak pro LDS směr Kovosvit tak i pro LDS směr Madeta, Maso:

$$W_{Zs,K} = 3 \cdot P_{Zs185} \cdot T \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,0036 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 0,0946 \text{ MWh} \quad (32)$$

$$W_{Zs,MM} = 3 \cdot P_{Zs70} \cdot T \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,00538 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 0,141 \text{ MWh} \quad (33)$$

4.5.2. Ztráty v dielektriku

Ztráty v dielektriku jsou též ztrátami fixními, jelikož jejich velikost je nezávislá na množství transportované elektrické energie kabelem. Tyto ztráty jsou svou velikostí

srovnatelné se ztrátami svodem. Jejich výpočet je též analogický, jen se místo činného odporu izolace počítá s kapacitní reaktancí kabelu.

$$I_d = \frac{U_f}{X_c} = U_f \cdot \omega \cdot C = U_f \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \cdot 10^3 [A/km] \quad (34)$$

kde U_f [kV] je fázové napětí

X_c [k Ω /km] je kapacitní reaktance kabelu na jeden kilometr vedení

I_d [A/km] je nabíjecí proud na jeden kilometr vedení

C [F/km] je kapacita kabelu na jeden kilometr vedení

Činné výkonové ztráty v dielektriku pro jednu fázi vedení potom budou:

$$P_{zd} = U_f^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \cdot tg(\delta) \cdot 10^3 [kW/km] \quad (35)$$

kde P_{zd} [kW/km] je činný ztrátový výkon jedné fáze na jeden kilometr vedení

$tg(\delta)$ je ztrátový činitel

Činný ztrátový výkon v dielektriku kabelu budu uvažovat třikrát větší, protože se bude jednat o třífázové kabelové vedení. Nakonec určím velikost ztrát elektrické energie za období celého roku, při uvažování celé délky vedení pomocí následujícího vztahu:

$$W_{zd} = 3 \cdot P_{zd} \cdot L_V \cdot T \cdot 10^{-3} [MWh] \quad (36)$$

Kde W_{zd} [MWh] jsou celkové činné ztráty v dielektriku

L_V [km] je délka vedení

T [hod.] je čas, po dobu jakého chceme ztráty v dielektriku zjistit

4.5.2.1. Výpočet ztrát v dielektriku

Pro výpočet ztrát v dielektriku zbývalo zjistit jeho ztrátový činitel $tg(\delta)$. Tento údaj se mi již od výrobce kabelů podařilo získat poměrně přesně. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č. 14.

Teplota kabelu	$tg(\delta)$ dle normy	skutečné $tg(\delta)$
20 °C	$< 40 \cdot 10^{-4}$	$3.7 \cdot 10^{-4}$
90 °C	$< 80 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$

Tabulka 14: Ztrátový činitel $tg(\delta)$ izolace použitých kabelů.

Nyní podle vzorce (34) spočítám nabíjecí proudy na jeden kilometr kabelu pro příslušné průřezy:

$$I_{d185} = U_f \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{185} \cdot 10^3 = 12,702 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} = 1,077 [A/km] \quad (37)$$

$$I_{d70} = U_f \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{70} \cdot 10^3 = 12,702 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 10^{-3} = 0,758 A/km \quad (38)$$

Následně spočítám činné výkonové ztráty na jeden kilometr kabelu a pro příslušný průřez podle vzorce číslo (35). Hodnotu ztrátového činitele $tg(\delta)$ zvolím z tabulky č. 14 pro kabel o teplotě 20°C, abych počítal s horší možnou situací.

$$P_{Zd185} = U_f^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{185} \cdot tg(\delta) \cdot 10^3 = 12,702^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,27 \cdot 10^{-6} \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,00506 kW/km \quad (39)$$

$$P_{Zd70} = U_f^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{70} \cdot tg(\delta) \cdot 10^3 = 12,702^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3 = 0,00356 kW/km \quad (40)$$

Nakonec podle vzorce číslo (36) spočítám celkové ztráty energie za období jednoho roku pro LDS směr Kovosvit a pro LDS směr Madeta, Maso.

$$W_{Zd,K} = 3 \cdot P_{Zd185} \cdot 2l_{13} \cdot T \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,00506 \cdot 1,456 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 0,194 MWh \quad (41)$$

$$W_{Zd,MM} = 3 \cdot P_{Zd70} \cdot (l_{15} + l_{57} + l_{17}) \cdot T \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,00356 \cdot 2,807 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 0,263 MWh \quad (42)$$

4.5.3. Činné ztráty ve vedení

Jsou ztrátami variabilními, jelikož přímo souvisí s množstvím transportované energie. Pro výpočet těchto ztrát jsem použil známé odběrové diagramy jednotlivých odběratelů.

4.5.3.1. Činné ztráty ve vedení LDS směr Kovosvit

$$W_{z13} = \cos(\varphi) \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} \frac{Z_{13}}{2} \cdot I_{13k}^2 = 24,793 MWh/rok \quad (43)$$

kde I_{13k} je proud protékající jednou fází obou paprsků LDS směr Kovosvit (1-3) podobu k-té hodiny v roce

$\frac{Z_{13}}{2}$ je impedance LDS směr Kovosvit, tedy mezi body označené 1 a 3

v případě, že uvažuji připojení obou dvou paprsků

Proud I_{13k} byl určen z následujícího vztahu:

$$I_{13k} = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos(\varphi)} \quad (44)$$

kde P_k je průměrná hodnota odebíraného činného výkonu v k-té hodině

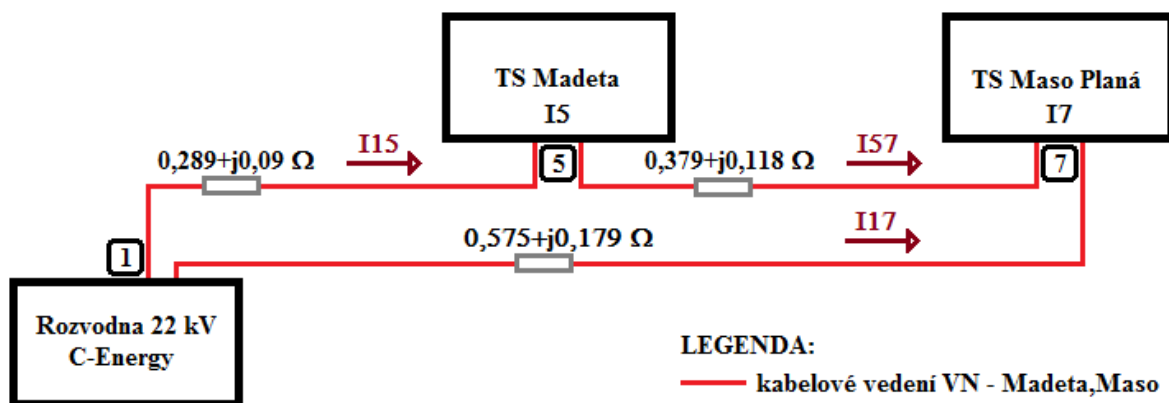
Pokud v ročním odběrovém diagramu společnosti Kovosvit a. s. sečtu všechny hodnoty P_k , budu schopen určit velikost spotřebované elektrické energie za rok a následně poměrné ztráty ve vedení LDS směr Kovosvit. Tyto výpočty jsou provedené v následujících vztazích:

$$W_{Kovosvit} = \sum_{k=1}^{8760} P_k = 32955 \text{ MWh/rok} \quad (45)$$

$$w_{z13} = 100 * \frac{W_{z13}}{W_{Kovosvit}} = 100 * \frac{24,793}{32955} = 0,079 \% \quad (46)$$

4.5.3.2. Činné ztráty ve vedení LDS směr Madeta, Maso

Pro výpočet činných ztrát v tomto vedení je třeba nejdříve spočítat proudové rozložení v jednotlivých větvích smyčky. Tento výpočet je proveden v následujících řádcích a s pomocí následujícího schématu na obrázku č. 8.



Obrázek 8: Přehledové schéma LDS směr Madeta, Maso s impedancemi jednotlivých větví

$$\begin{aligned} I_{15} &= \frac{\sum_{k=1}^2 I_k \cdot Z_k}{Z_{1571}} = \frac{I_7 \cdot Z_{17} + I_5 \cdot (Z_{17} + Z_{57})}{Z_{1571}} \\ &= \frac{I_7 \cdot (0,575 + j0,179) + I_5 \cdot (0,575 + j0,179 + 0,379 + j0,118)}{0,289 + j0,09 + 0,379 + j0,118 + 0,575 + j0,179} \\ &= \frac{I_7 \cdot (0,575 + j0,179) + I_5 \cdot (0,954 + j0,297)}{1,243 + j0,387} \\ &= 0,768 \cdot I_5 + 0,463 \cdot I_7 \text{ A} \end{aligned} \quad (47)$$

$$I_{17} = (1 - 0,768) \cdot I_5 + (1 - 0,463) \cdot I_7 = 0,232 \cdot I_5 + 0,537 \cdot I_7 \text{ A} \quad (48)$$

$$I_{57} = -0,232 \cdot I_5 + 0,463 \cdot I_7 \text{ A} \quad (49)$$

Nyní, když znám rozložení proudů ve větvích této smyčky, získám z odběrových diagramů obou odběratelů průměrné hodinové proudy za celý rok a spočítám ztráty v každé větvi a po sečtení ztrát ve všech třech větvích získám roční ztráty celé LDS směr Madeta, Maso.

$$W_{z15} = \cos(\varphi) \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} Z_{15} \cdot I_{15_k}^2 = 0,95 \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} 0,303 \cdot I_{15_k}^2 = 5,657 \text{ MWh/rok} \quad (50)$$

$$W_{z17} = \cos(\varphi) \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} Z_{17} \cdot I_{17_k}^2 = 0,95 \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} 0,602 \cdot I_{17_k}^2 = 4,746 \text{ MWh/rok} \quad (51)$$

$$W_{z57} = \cos(\varphi) \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} Z_{57} \cdot I_{57_k}^2 = 0,95 \cdot 3 \cdot \sum_{k=1}^{8760} 0,397 \cdot I_{57_k}^2 = 2,534 \text{ MWh/rok} \quad (52)$$

Po sečtení W_{z15} , W_{z17} a W_{z57} dostanu celkové roční ztráty LDS směr Madeta, Maso:

$$W_{z1571} = W_{z15} + W_{z17} + W_{z57} = 5,657 + 4,746 + 2,534 = 12,937 \text{ MWh/rok} \quad (53)$$

Poměrné ztráty LDS směr Madeta, Maso získám stejným způsobem jako v případě LDS směr Kovosvit (rovnice 46 a 55). Nejdříve tedy sečtu všechny hodnoty hodinových výkonů z odběrových diagramů obou odběratelů z LDS:

$$W_{Madeta,Maso} = \sum_{k=1}^{8760} (P_{k,Madeta} + P_{k,Maso}) = 13710 \text{ MWh/rok} \quad (54)$$

Poté podílem W_{z1571} a $W_{Madeta,Maso}$ získám poměrné ztráty LDS:

$$w_{z1571} = 100 \cdot \frac{W_{z1571}}{W_{Madeta,Maso}} = 100 \cdot \frac{12,937}{13710} = 0,094 \% \quad (55)$$

Z poměrných ztrát obou LDS spočtených rovnicemi 46 a 55, které vyjadřují podíl ztrát ve vedení k celkově přenesené elektrické energii po těchto vedeních je zřetelné, že pokud budou obě dvě LDS provozované v bezporuchovém stavu, nebudou tyto ztráty přesahovat jednu desetinu procenta.

4.5.4. Celkové roční ztráty LDS

Ztráty a všechny jejich složky v LDS směr Kovosvit a LDS směr Madeta, Maso jsou již spočteny v kapitolách 4.5.1. až 4.5.3 a pro určení celkových ročních ztrát je zbývá sečíst:

$$\begin{aligned} W_{z13celkem} &= W_{zs,K} + W_{zd,K} + W_{z13} = 0,0946 + 0,194 + 24,793 \\ &= 25,082 \text{ MWh/rok} \end{aligned} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} W_{z1571celkem} &= W_{zs,MM} + W_{zd,MM} + W_{z1571} = 0,141 + 0,263 + 12,937 \\ &= 13,341 \text{ MWh/rok} \end{aligned} \quad (57)$$

4.6. Výpočet úbytků napětí

Výpočet úbytků napětí je nutný z hlediska dodržení kvality energie, kdy norma stanovuje maximální a minimální úbytek napětí na vedení. Úbytky napětí budu počítat pro nejhorší možné situace, které mohou z hlediska dodržení mezí úbytků napětí nastat. Jedná se tedy o případy, kdy všichni připojení spotřebitelé elektrické energie budou odebírat teoretický maximální výkon a také pro případy, kdy u LDS směr Kovosvit bude v provozu pouze jeden paprsek a u LDS směr Madeta, Maso bude mimo provoz větví 1-5 (viz obrázek číslo 9).

Z tabulky č. 6 znám teoretické maximální výkony všech potenciálních odběratelů. Protože však z poskytnutých dat nejsou známé hodnoty účinníků a tedy ani velikosti jalových výkonů, provedu dopočet těchto výkonů s uvažováním maximálního přípustného účinníku, tedy pro $\cos(\varphi) = 0,95$. Jednotlivá odběrná místa potom budou mít následující výkonové parametry:

$$P_{Kov} = 7309 \text{ kW} \quad (58)$$

$$Q_{Kov} = P_{Kov} \cdot \operatorname{tg}(\delta) = P_{Kov} \cdot \frac{\sqrt{1^2 - \cos^2(\varphi)}}{\cos(\varphi)} = 7309 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 2402 \text{ kVAr} \quad (59)$$

$$P_{Mad} = 1264 \text{ kW} \quad (60)$$

$$Q_{Mad} = P_{Mad} \cdot \operatorname{tg}(\delta) = P_{Mad} \cdot \frac{\sqrt{1^2 - \cos^2(\varphi)}}{\cos(\varphi)} = 1264 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 415,5 \text{ kVAr} \quad (61)$$

$$P_{Mas} = 1724 \text{ kW} \quad (62)$$

$$Q_{Mas} = P_{Mas} \cdot \operatorname{tg}(\delta) = P_{Mas} \cdot \frac{\sqrt{1^2 - \cos^2(\varphi)}}{\cos(\varphi)} = 1724 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 566,7 \text{ kVAr} \quad (63)$$

Když znám odebírané výkony v odběrných místech, dopočítám si činnou a jalovou složku proudů:

$$I_{\check{c},Kov} = \frac{P_{Kov}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{7309}{\sqrt{3} * 22} = 191,8 \text{ A} \quad (64)$$

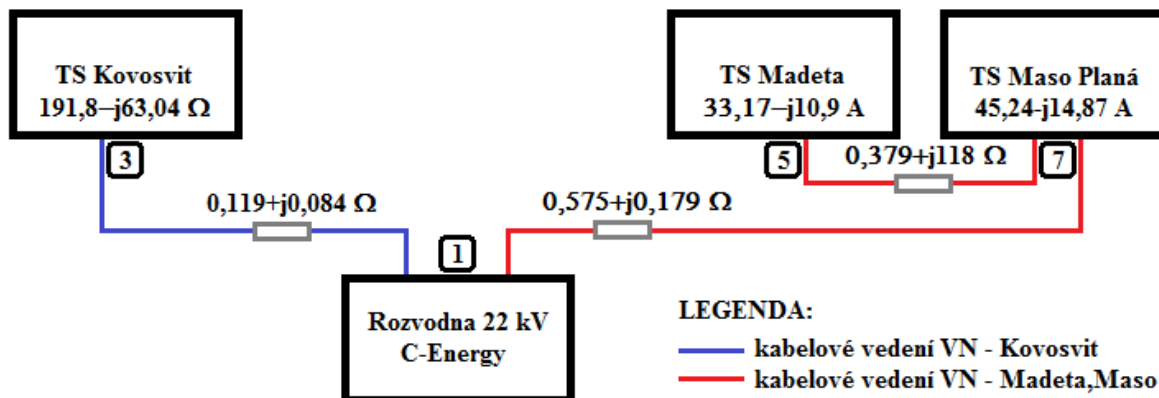
$$I_{j,Kov} = \frac{Q_{Kov}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{2402}{\sqrt{3} * 22} = 63,04 \text{ A} \quad (65)$$

$$I_{\check{c},Mad} = \frac{P_{Mad}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{1264}{\sqrt{3} * 22} = 33,17 \text{ A} \quad (66)$$

$$I_{j,Mad} = \frac{Q_{Mad}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{415,5}{\sqrt{3} * 22} = 10,90 \text{ A} \quad (67)$$

$$I_{\zeta, Mas} = \frac{P_{Mas}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{1724}{\sqrt{3} * 22} = 45,24 \text{ A} \quad (68)$$

$$I_{j, Mas} = \frac{Q_{Mas}}{\sqrt{3} * U_s} = \frac{566,7}{\sqrt{3} * 22} = 14,87 \text{ A} \quad (69)$$



Obrázek 9: Schéma LDS, konfigurované pro výpočet úbytků napětí

Nyní mohu spočítat úbytky napětí vynásobením odporů a reaktancí s činnými a jalovými proudy. Protože se však jedná o zátěže induktivního charakteru, budu počítat se záporným znaménkem před imaginární složkou proudu.

4.6.1. Úbytky napětí na LDS směr Kovosvit

Komplexní úbytek napětí (pro jalový výkon induktivního charakteru):

$$\begin{aligned} \Delta U_{13} &= (R_{13} + jX_{13}) \cdot (I_{\zeta, Kov} - jI_{j, Kov}) = (0,119 + j0,084) \cdot (191,8 - j63,04) \\ &= 28,12 + j8,61 \text{ V} \end{aligned} \quad (70)$$

Absolutní úbytek napětí:

$$U_1 = U_1 = \frac{U_s}{\sqrt{3}} = \frac{22000}{\sqrt{3}} = 12702 \text{ V} \quad (71)$$

$$U_3 = U_1 - \Delta U_{13} = 12702 - 28,12 - j8,61 = 12674 - j8,61 \text{ V} \quad (72)$$

$$U_3 = |U_3| = 12673,6 \text{ V} \quad (73)$$

$$\Delta U_{13} = |U_1| - |U_3| = 28,12 \text{ V} \quad (74)$$

Procentní úbytek napětí bude:

$$\varepsilon_{\%13} = \frac{\Delta U_{13}}{U_1} \cdot 100 = \frac{28,12}{12702} \cdot 100 = 0,221 \% \quad (75)$$

4.6.2. Úbytky napětí na LDS směr Madeta, Maso

Komplexní úbytky napětí (pro jalový výkon induktivního charakteru):

$$\begin{aligned}\Delta U_{17} &= (R_{17} + jX_{17}) \cdot (I_{\check{c},Mad} + I_{\check{c},Mas} - jI_{j,Mad} - jI_{j,Mas}) \\ &= (0,575 + j0,179) \cdot (33,17 + 45,24 - j10,9 - j14,87) \\ &= 49,7 - j0,79 \text{ V}\end{aligned}\quad (76)$$

$$\begin{aligned}\Delta U_{57} &= (R_{57} + jX_{57}) \cdot (I_{\check{c},Mad} - jI_{j,Mad}) = (0,379 + j0,118) \cdot (33,17 - j10,9) \\ &= 13,86 - j0,217 \text{ V}\end{aligned}\quad (77)$$

$$\Delta U_{15} = \Delta U_{17} + \Delta U_{57} = 49,7 - j0,79 + 13,86 - j0,217 = 63,56 - j1,007 \text{ V} \quad (78)$$

Absolutní úbytek napětí:

$$U_1 = U_1 = \frac{U_S}{\sqrt{3}} = \frac{22000}{\sqrt{3}} = 12702 \text{ V} \quad (79)$$

$$U_7 = U_1 - \Delta U_{17} = 12702 - 49,7 - j0,79 = 12652 + j0,785 \text{ V} \quad (80)$$

$$U_7 = |U_7| = 12652 \text{ V} \quad (81)$$

$$\Delta U_{17} = |U_1| - |U_7| = 12702 - 12652 = 49,7 \text{ V} \quad (82)$$

$$U_5 = U_1 - \Delta U_{15} = 12702 - (63,56 - j1,007) = 12638 + j1,007 \text{ V} \quad (83)$$

$$U_5 = |U_5| = 12638 \text{ V} \quad (84)$$

$$\Delta U_{15} = |U_1| - |U_5| = 12702 - 12638 = 64 \text{ V} \quad (85)$$

Procentní úbytek napětí bude:

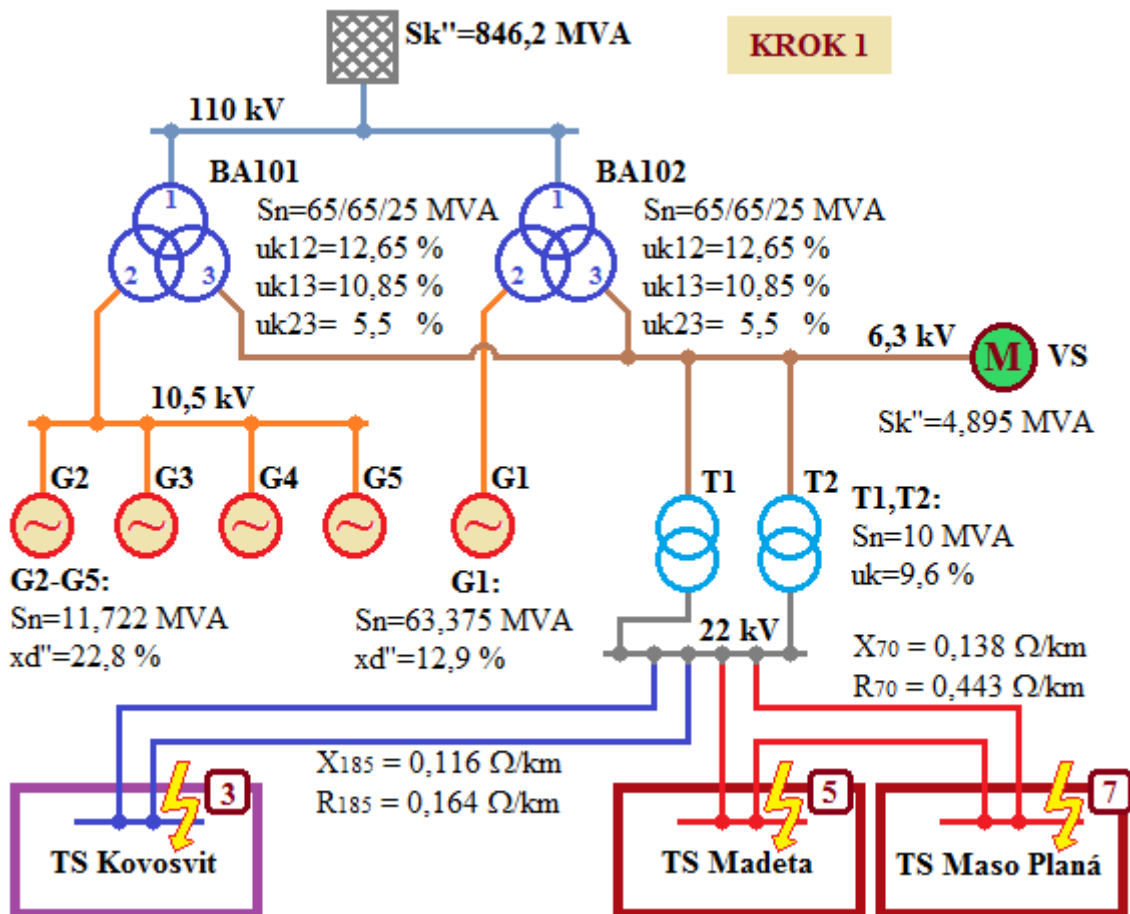
$$\varepsilon_{\%17} = \frac{\Delta U_{17}}{U_1} \cdot 100 = \frac{49,7}{12702} \cdot 100 = 0,391 \% \quad (86)$$

$$\varepsilon_{\%15} = \frac{\Delta U_{15}}{U_1} \cdot 100 = \frac{64}{12702} \cdot 100 = 0,504 \% \quad (87)$$

Podle vyhlášky 153/2001 Ministerstva průmyslu a obchodu ze dne 12. dubna 2001 [4] jsou povolené úbytky napětí pro rozvody VN 6,10,22 kV za normálních podmínek v rozmezí od +10 % do -5% a krajní dovolená odchylka od nominálního napětí může překročit spodní mez až na -10 %. Když srovnám požadavky této vyhlášky s výsledky mých výpočtů (rovnice 73, 84, 85), můžu prohlásit, že požadavek na dimenzování obou LDS z hlediska úbytků napětí je s velkou rezervou naplněn.

4.7. Zkratky

Pro výpočet 3-fázového zkratu jsem v prvním kroku vycházel ze schématu, které je na obrázku č. 10. Vzal jsem v potaz nejhorší možnou konfiguraci zapojení tedy tu, která by měla v případě vzniku zkratu v LDS největší zkratové účinky.



Obrázek 10: Přehledové schéma vyvedení elektrického výkonu z teplárny pro účely výpočtu zkratů v LDS (krok 1)

Cílem při určování velikosti zkratu a zkratových proudů je zjistit počáteční rázový zkratový výkon S''_k a počáteční rázový zkratový proud I''_k . Toho docílím tak, že si s pomocí vztažných veličin přepočítám jednotlivé prvky elektrického systému zobrazeného na obrázku číslo 10 na poměrné reaktance, které následně pomocí pravidel pro sčítání sériově či paralelně řazených impedancí a s ohledem na místo, kde vznikl zkrat, sečtu.

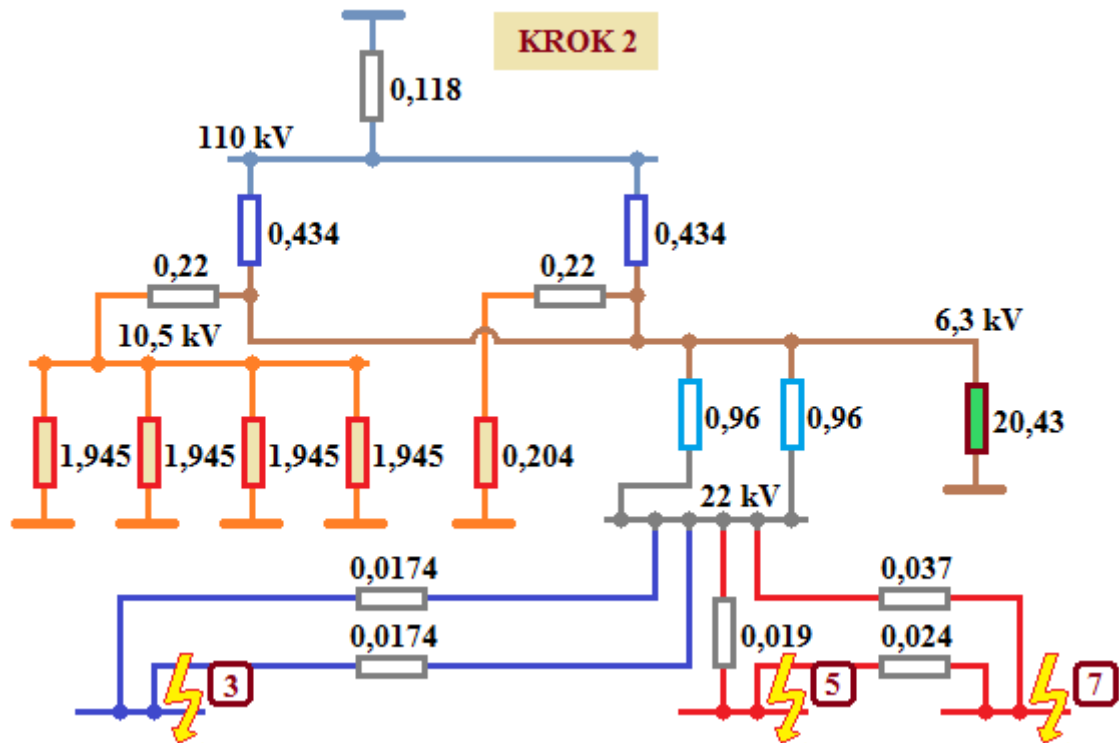
4.7.1. Přepočítání prvků elektrického systému na poměrné reaktance

Vztažné veličiny: vztažný výkon $S_v = 100 \text{ MVA}$
vztažné napětí $U_v = 22\,000 \text{ V}$

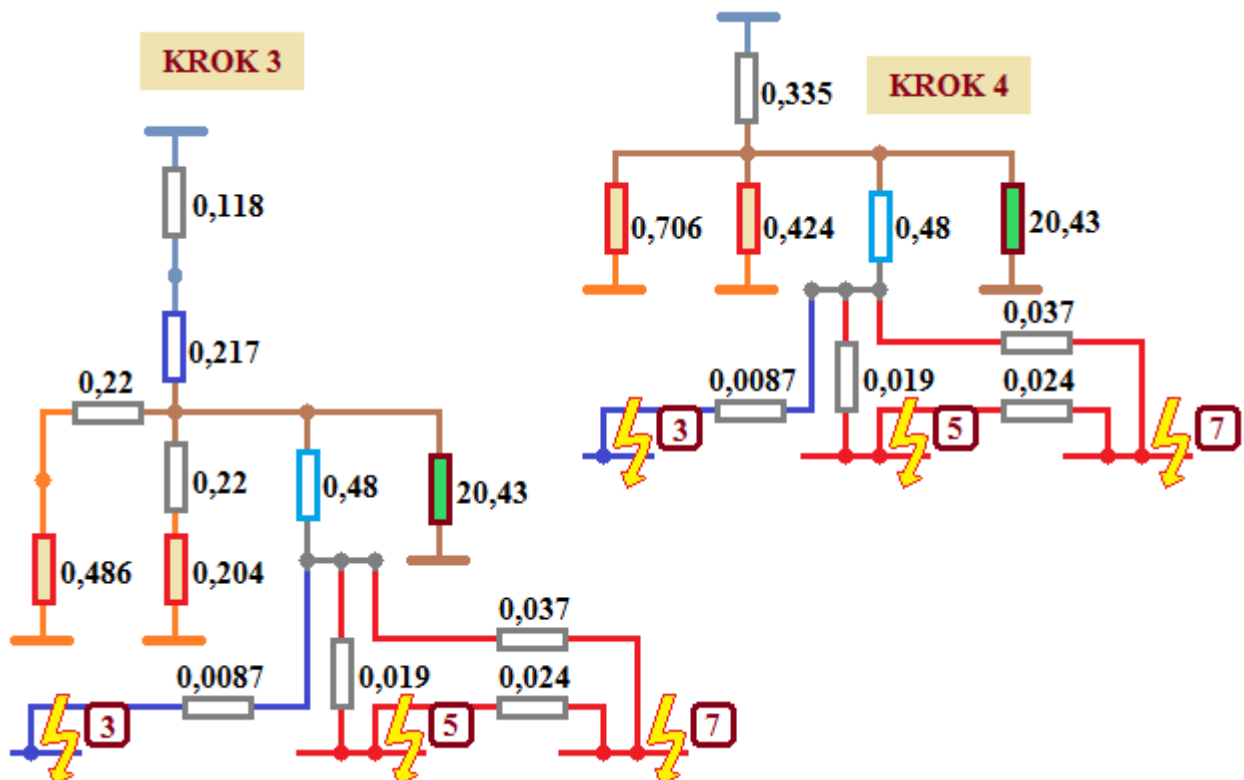
Poměrné veličiny:

nadřazená distribuční soustava	$x_s = \frac{S_v}{S''_{ks}} = \frac{100}{846,2} = 0,118$	(88)
blokový transf. BA101 a BA102 primár-terciár	$x_{T13} = u_{k13} \cdot \frac{S_v}{S_n} = 0,1085 \cdot \frac{100}{25} = 0,434$	(89)
bl. tran. BA101 a BA102 sekundár-terciár	$x_{T23} = u_{k23} \cdot \frac{S_v}{S_n} = 0,055 \cdot \frac{100}{25} = 0,22$	(90)
transformátory T1 a T2	$x_{T1,2} = u_{k1,2} \cdot \frac{S_v}{S_n} = 0,096 \cdot \frac{100}{10} = 0,96$	(91)
generátor G1	$x_{G1} = x''_d \cdot \frac{S_v}{S_n} = 0,129 \cdot \frac{100}{63,375} = 0,204$	(92)
generátory G2,G3,G4,G5	$x_{G2345} = x''_d \cdot \frac{S_v}{S_n} = 0,228 \cdot \frac{100}{11,722} = 1,945$	(93)
vedení LDS směr Kovosvit (1 paprsek)	$x_{V13} = X_{13} \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 0,084 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{22000^2} = 0,0174$	(94)
vedení LDS směr Madeta,Maso (úsek 1-5)	$x_{V15} = X_{15} \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 0,090 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{22000^2} = 0,019$	(95)
vedení LDS směr Madeta,Maso (úsek 5-7)	$x_{V57} = X_{57} \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 0,118 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{22000^2} = 0,024$	(96)
vedení LDS směr Madeta,Maso (úsek 1-7)	$x_{V17} = X_{17} \cdot \frac{S_v}{U_v^2} = 0,179 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{22000^2} = 0,037$	(97)
příspěvky od motorů vlastní spotřeby	$x_{VS} = \frac{S_v}{S''_{kVS}} = \frac{100}{4,895} = 20,43$	(98)

V kroku 2 jsem výše spočítané reaktance zanesl do schématu na obrázku číslo 11, který je graficky analogický s obrázkem číslo 10, aby bylo přehledné, o reaktance kterých prvků se jedná. Zkrat uvažuji ve třech místech, které jsou označeny čísly 3, 5 a 7.

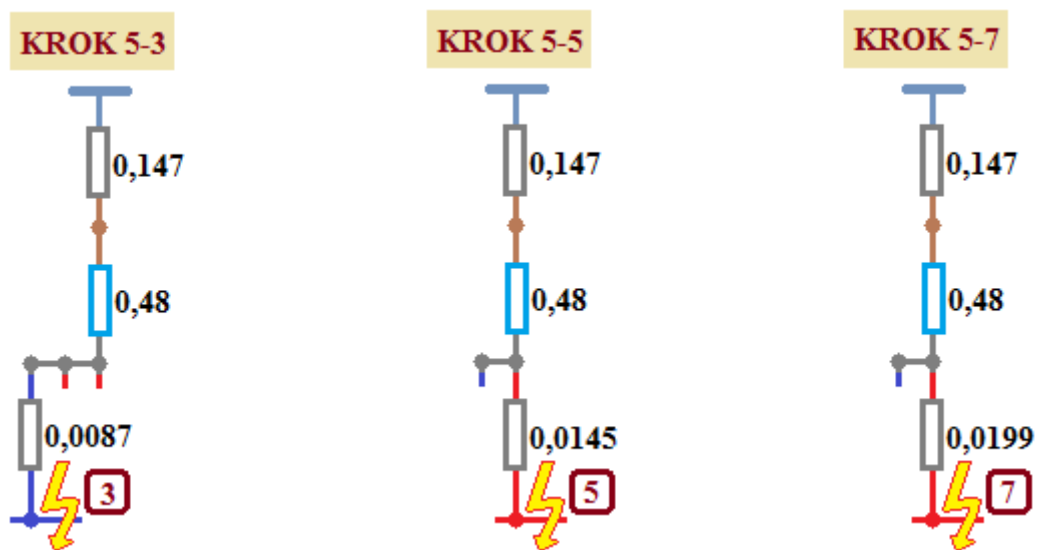


Obrázek 11 Schéma s náhradními reaktancemi pro vyvedení výkonu z teplárny, navazující na schéma z obrázku č. 10 (krok 2).

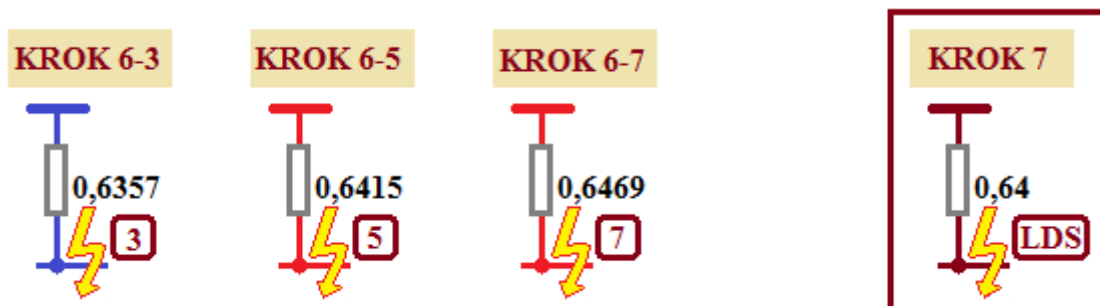


Obrázek 12: Schémata vyvedení výkonu z teplárny ve stadiu postupného zjednodušování, navazující na schéma z obrázku č. 11 (krok 3 a krok 4).

Postupným zjednodušováním obvodu, které je znázorněné na obrázcích 12 a 13 jsem v krocích 3 a 4 zjednodušoval schéma pomocí pravidel pro sčítání sériových a paralelních kombinací impedancí. Dále jsem v krocích 5-3, 5-5 a 5-7 postupoval stejným principem, ale pro každé místo zkratu již zvlášť. V krocích 6-3, 6-5 a 6-7 na obrázku 14 jsou potom výsledné celkové poměrné reaktance celého elektrického systému z obr. 10 a to pro místa zkratu v místě LDS 3, 5 a 7. Velikosti výsledných poměrných reaktancí v místech 3, 5 i 7 jsou svou velikostí tak podobné, že jsem se rozhodl počítat pouze s jednou reaktancí $x_{LDS} = 0,64$, která bude reprezentovat reaktanci el. systému pro libovolné místo vzniku zkratu v obou LDS.



Obrázek 13: Zjednodušené schéma vyvedení výkonu z teplárny pro účely výpočtu zkratů v bodech 3, 5 a 7 LDS (krok 5)



Obrázek 14: Výsledné poměrné reaktance spočítané pro body 3, 5 a 7 LDS (krok 6) a reaktance kterou jsem uvažoval pro výpočet zkratu v libovolném místě LDS (krok 7)

Celková zkratová poměrná reaktance je $x_{LDS} = 0,64$ a nyní mohu spočítat rázový zkratový výkon S''_k a rázový zkratový proud I''_k :

$$S''_k = \frac{S_v}{x_{LDS}} = \frac{100}{0,64} = 156,25 \text{ MVA} \quad (99)$$

$$I''_k = \frac{S''_k}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{156\,250\,000}{\sqrt{3} \cdot 22\,000} = 4\,100,5 \text{ A} \quad (100)$$

4.7.2. Ověření odolnosti vodičů z hlediska zkratových proudů

Účinky zkratu na elektrické vedení se nejčastěji dělí na dynamické a tepelné. Dynamické účinky jsou silové účinky mezi vodiči protékajícími vysokými zkratovými proudy. S dynamickými účinky se u kabelových vedení téměř vůbec neuvažuje, protože kabel uložený v zemi nebo dokonce kabel troj a více žilový pevně spjat izolačním pláštěm je svou podstatou od těchto účinků již téměř maximálně chráněn. Naopak je třeba počítat s účinky tepelnými, kdy zkratový proud ohřívá jádro kabelu, potažmo jeho izolaci a blízké okolí. Každá z vyjmenovaných částí počínaje jádrem má maximální dovolenou teplotu, kterou trvale či krátkodobě vydrží. Pro potřeby ověření schopnosti vodičů tepelným účinkům odolat se provádí substituce časově proměnného zkratového proudu výpočtem tzv. ekvivalentního oteplovacího proudu I_{ke} podle následujícího vzorce:

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \cdot \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt} \quad (101)$$

kde t_k je doba trvání zkratu

i_k je okamžitá hodnota zkratového proudu

Ekvivalentní oteplovací proud lze také určit jako násobek počátečního rázového zkratového proudu podle vzorce:

$$I_{ke} = k_e \cdot I''_k \quad (102)$$

kde k_e je koeficient přepočtu daný normou

Výpočet

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{ke} = k_e \cdot I''_k = 1,3 \cdot 4100,5 = 5\,331 \text{ A} \quad (103)$$

kde k_e je pro vypínací časy do jedné sekundy 1,3

Výrobce uvádí pro jednotlivé průřezy následující hodnoty ekvivalentních zkratových proudů:

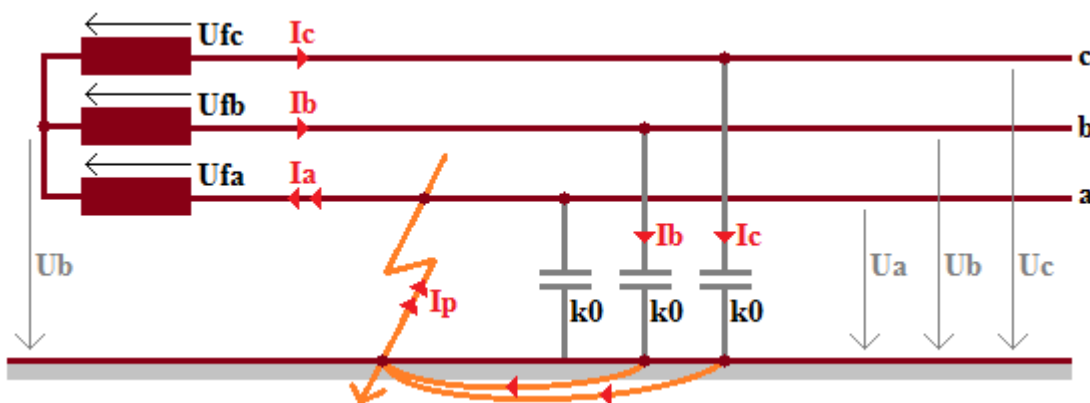
Průřez (mm ²)	Ekvivalentní zkratový proud (kA)
70	6,6
185	17,5

Tabulka 15 Hodnoty ekvivalentních zkratových proudů uvedené výrobcem kabelu

Z rovnice číslo 101 a tabulky 15 je zřejmé, že navrhované průřezy odpovídají požadavkům na odolnost proti tepelným účinkům zkratových proudů. Nebude tedy nutné přijmout opatření pro navýšení zkratové odolnosti LDS nebo k omezení velikosti počátečního rázového zkratového proudu.

4.8. Zemní spojení

Protože se jedná o síť IT, tedy síť s izolovaným uzlem, nedochází při poruše jedné fáze ke zkratu, ale k zemnímu spojení. Budu uvažovat dokonalé (kovové) zemní spojení, jak je nakresleno na obrázku číslo 15.



Obrázek 15 Schéma dokonalého (kovového) zemního spojení

Poruchový zemní proud I_p závisí na celkové rozloze sítě připojené k transformátoru. Velikost poruchového zemního proudu ale prakticky nezávisí v dané síti na vzdálenosti místa poruchy od transformátoru a jeho velikost se počítá následovně:

Pro LDS směr Kovosvit:

$$I_{pCKovosvit} = 3 \cdot \omega \cdot C_{185} \cdot l_{185} \cdot U_f = 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,27 \cdot 10^{-6} \cdot 1,456 \cdot 12702 = 4,71 \text{ A} \quad (104)$$

Pro LDS směr Madeta, Maso:

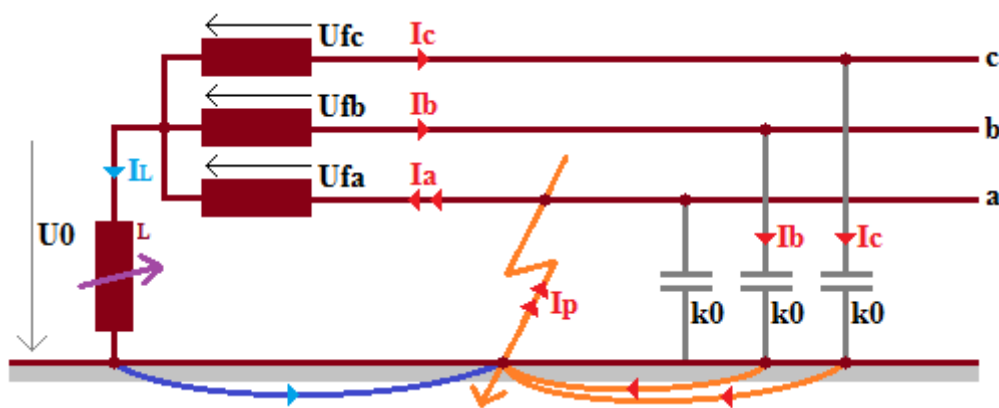
$$I_{pCMadeta,Maso} = 3 \cdot \omega \cdot C_{70} \cdot l_{70} \cdot U_f = 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot 2,807 \cdot 12702 = 6,38 \text{ A} \quad (105)$$

Protože LDS směr Kovosvit i LDS směr Madeta, Maso jsou napájené ze stejné přípojnice v rozvodně BBD, je třeba pro případ vzniku zemního spojení započítat kapacitu obou LDS:

$$I_{pc} = 3 \cdot \omega \cdot (C_{185} \cdot l_{185} + C_{70} \cdot l_{70}) \cdot U_f \quad (106)$$

$$= 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (0,27 \cdot 1,456 + 0,19 \cdot 2,807) \cdot 10^{-6} \cdot 12702 = 11,1 \text{ A}$$

V sítích, kde zemní proud převyšuje hodnotu 5 A, se doporučuje kompenzace a při proudech větších než 10 A je již kompenzace nutná. V případě pouze stavby LDS směr Kovosvit, která je v poměru se stavbou LDS směr Madeta, Maso prioritní, by tedy nebylo nutné pořizovat a opatřit uzel transformátoru kompenzační zhášecí tlumivkou. V případě stavby obou LDS by se již s kompenzační zhášecí tlumivkou připojenou k uzlu transformátoru počítat muselo (obrázek číslo 16).



Obrázek 16: Schéma zemního spojení pro kompenzovanou síť.

4.8.1. Volba kompenzační zhášecí tlumivky

Kapacitní poruchový proud I_p (někdy označován jako kapacitní proud sítě) je součtem kapacitních proudů zbylých nepostížených fází. Tento proud předbíhá napětí v uzlu napájecího transformátoru o $\pi/2$. Vřazením kompenzační zhášecí tlumivky mezi zem a uzel napájecího transformátoru dojde k vyrušení poruchového proudu, protože proud I_L protékající touto tlumivkou se za napětím v uzlu naopak o $\pi/2$ zpožďuje. Z této úvahy jednoznačně vyplývá:

$$I_{pL} = -I_{pc} \quad (107)$$

Proud kompenzační zhášecí tlumivkou spočítám pomocí následujícího vztahu:

$$I_{pL} = -j \cdot \frac{U_o}{\omega \cdot L} \quad (108)$$

Velikost kompenzační zhašecí tlumivky pro účely celé LDS spočítám s pomocí rovnice číslo 105 a 106:

$$-j \cdot \frac{U_0}{\omega \cdot L} = I_{pC} = -3 \cdot j \cdot \omega \cdot (C_{185} \cdot l_{185} + C_{70} \cdot l_{70}) \cdot U_0 \quad (109)$$

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot (C_{185} \cdot l_{185} + C_{70} \cdot l_{70})} = \frac{1}{3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \cdot 0,926 \cdot 10^{-6}} = 3,645 \text{ H} \quad (110)$$

Jalový indukční výkon zhašecí tlumivky se stanoví ze vztahu:

$$Q = \frac{U^2}{\omega \cdot L} = \frac{12702^2}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3,645} = 140895 \text{ VAr} \doteq 141 \text{ kVAr} \quad (111)$$

V případě pořizování kompenzační zhašecí tlumivky by se tedy jednalo o tlumivku s výkonem přibližně 141 kVAr a jmenovitým napětím o něco větším než je fázová hodnota napětí sítě.

5. Návrh ochran a vypínačů pro LDS

5.1. Ochrany

Jako ochranu pro LDS jsem po konzultaci s pracovníkem C-Energy zvolil ochranu od firmy ABB typu REF615.



Obrázek 17 Ochrana REF615

5.1.1. Popis a ochranné funkce

Tato ochrana je určena nejen pro chránění, ale i ovládání, měření a monitorování vývodů v rozvodnách energetických společností i v energetických systémech průmyslových podniků, včetně radiálních, okružních a zauzlených distribučních sítí s distribuovanou výrobou i bez výroby. REF615 je určena především pro chránění venkovních vedení a kabelových vývodů distribučních sítí. Zařízení řady 615 podporují řadu komunikačních protokolů včetně protokolu IEC 61850. REF615 nabízí směrovou i nesměrovou nadproudovou ochranu, ochranu proti tepelnému přetížení a také směrovou i nesměrovou zemní ochranu. Dále je vybavena citlivou zemní ochranou, ochranou při fázové nevyváženosti, přepět'ovou i podpět'ovou ochranou, přepět'ovou ochranou vyhodnocující nulovou, souslednou a zpětnou složku napětí a další.

5.1.2. Aplikace

Na ochraně REF615 lze nastavit mnoho konfigurací, včetně několika standardních v rozsahu A až J. V našem případě se předpokládá vývod vybavený fázovými transformátory proudu, součtovým transformátorem proudu a měřením nulové složky napětí. Dále nutno uvažovat zapojení LDS, tedy s izolovaným uzlem. V takovém případě je vhodné použít standardní konfigurace A a B, které nabízejí zemní směrovou ochranu.

Základní požadavky na ochranu navrhovaných LDS ochrana REF615 plně splňuje a její konfigurace bude nastavena až během instalace.

5.2. Vypínače

Výběr vypínačů jsem též provedl na základě konzultace s pracovníkem C-Energy. Při výběru vypínače byl kladen důraz především na jeho ekologickou stránku, spolehlivost a bezpečnost.

5.2.1. Popis

V případě vypínačů se jedná opět o produkt firmy ABB, která nabízí celou řadu vypínačů VD4. Vypínače typu VD4 pro vysoká napětí používají vakuová zhášedla zalitá v pólech z epoxidové pryskyřice. Podrobnější popis jedné fáze vakuového vypínače VD4 a vzhled celého vypínače je znázorněn na obrázku číslo 18.



Obrázek 18 Popis jedné fáze vakuového vypínače (vlevo), vzhled hlavní části vypínače VD4 v zásuvném provedení pro rozvaděče typu UniGear typu ZS1 (uprostřed a vpravo).

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. Horní vývod | 6. Flexibilní připojení |
| 2. Vakuové zhášedlo | 7. Odpružená vidlice táhla |
| 3. Pouzdro z epoxidové pryskyřice | 8. Táhlo |
| 4. Roubík pohyblivého kontaktu | 9. Upevnění pólu |
| 5. Spodní vývod | 10. Připojení k pohonu |

5.2.2. Výběr vypínače

Vzhledem k tomu, že v rozvodně BBD 22 kV pro napájení LDS budou umístěny rozvaděče firmy ABB typu UniGear typu ZS1, je výběr vypínačů z hlediska jejich provedení jednoznačný – jedná se o zásuvné (výsuvné) provedení vypínačů pro rozvaděče typu ZS1.

Vypínače se vyrábějí pro různé napěťové hladiny a různé hodnoty jmenovitých proudů. Pro potřeby LDS jsem vybral vypínače s charakteristikou, která je uvedena v následující tabulce číslo 16:

Vypínač	VD4/P 24
Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovité izolační napětí	24 kV
Jmenovité výdržné napětí při 50 Hz (1 min.)	50 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosf. impulsu	125 kV
Jmenovitý kmitočet	50 - 60 Hz
Jmenovitý proud (40 °C)	630 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	16 kA
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (3s)	16 kA
Doba vypínání	33 - 60 ms
Doba hoření oblouku	10 - 15 ms
Celková doba vypínání	43 - 75 ms
Doba zapínání	60 - 80 ms
Hmotnost	140 kg
Provozní teplota	od -5 do + 40 °C

Tabulka 16: Všeobecná charakteristika vypínače VD4/P 24

6. Ekonomické hodnocení investice

V této části práce budu uvažovat především dvě varianty realizace, a to realizace projektu A a B. Varianta A bude spočívat ve výstavbě pouze LDS směr Kovosvit a v případě varianty B proběhne realizace LDS směr Kovosvit i LDS směr Madeta, Maso. S variantami A a B uvažuje investor. Abych mohl porovnat ekonomickou výhodnost mezi LDS směr Kovosvit a LDS směr Madeta, Maso, spočítám i variantu C, která bude zahrnovat pouze realizace LDS směr Madeta, Maso.

K ekonomickému hodnocení investice použiji několik způsobů. Jedním z nejpoužívanějších je doba návratnosti, která je zároveň nástrojem nejjednodušším. Tento způsob ovšem nezohledňuje časovou hodnotu peněz a proto je vhodný pouze pro prvotní odhad. Mezi další nejpoužívanější nástroje pro hodnocení investic, které však již počítají s časovou hodnotou peněz, patří NPV (net present value = čistá současná hodnota). Tyto kritéria ekonomického hodnocení investic jsou podrobněji popsány a spočítány v kapitole číslo 6.4.

6.1. Investiční náklady

6.1.1. Dílčí investiční celky

- **Připojení odběratele Kovosvit:**

Připojení odběratele Kovosvit zahrnuje pořízení pěti polí rozvaděčů VN, skříní měření, rozvaděč zálohovaného napájení 24 V DC a kabely nízkého a vysokého napětí. Cena dodávky zmíněných zařízení je odhadnuta na částku 779 000 Kč. Další položku tvoří stavební práce, montáž a demontáž včetně materiálu ve výši 100 000 Kč. Celkové náklady pro připojení Kovosvitu činí **879 000 Kč**.

- **Připojení odběratelů Madeta a Maso Planá:**

Připojení odběratele Madeta zahrnuje pořízení šesti polí rozvaděčů vysokého napětí a v případě odběratele Maso Planá je to 8 polí. K některým polím u obou odběratelů bude pořízen pohon. Dále budou instalovány skříně měření, rozvaděče zálohovaného napájení 24 V DC a kabely nízkého a vysokého napětí. Dodávka zmíněných zařízení je vyčíslena na 2 109 000 Kč. Cena stavebních, montážních a demontážních prací včetně použitého materiálu se odhaduje na 200 000 Kč. Celkové náklady na připojení odběratelů Madeta a Maso jsou tedy **2 309 000 Kč**.

- **Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Kovosvit**

Cena stavebních prací (výkopy, protlaky, atd.) včetně montáže (pokládka kabelu, atd.) související s pokládkou a instalací kabelu do země se předpokládá zhruba 1100 Kč/m. Montáž kabelů upevněných na energomostě je oceněna přibližně 150 Kč/m. Cena vysokonapěťového kabelu typu 22-AXEKVCEY s průřezem 185/25 mm² činí podle ceníku firmy NKT Cables z roku 2013 částku 280 610 Kč/km. Výsledná cena dodávky, stavby a montáže vedení LDS směr Kovosvit tedy činí:

$$\begin{aligned} C_K &= 1100 \cdot (l_{13} - l_{em}) + 150 \cdot l_{em} + 2 \cdot 3 \cdot \frac{280610}{1000} \cdot l_{13} \\ &= 1100 \cdot 408 + 150 \cdot 320 + 2 \cdot 3 \cdot 280,61 \cdot 728 = 1\,722\,504 \quad (112) \\ &\doteq \mathbf{1\,723\,000\,Kč} \end{aligned}$$

kde l_{em} je délka vedení LDS vedeného po energomostě

- **Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Madeta, Maso**

V případě realizace vedení LDS směr Madeta, Maso se ceny mírně liší. Cena stavebních prací (výkopy, protlaky, atd.) včetně montáže (pokládka kabelu, atd.) související s pokládkou a instalací kabelu do země je odhadnuta zhruba na 1600 Kč/m, tedy více než u LDS směr Kovosvit. Toto navýšení je způsobeno větším počtem protlaků a podobných prvků a větším počtem a velikostí protnutých pozemků držených v cizím vlastnictví, protože bylo třeba řešit věcná břemena. Cena vysokonapěťového kabelu typu 22-AXEKVCEY s průřezem 70/16 mm² činí podle ceníku firmy NKT Cables z roku 2013 částku 181 849 Kč/km. Cena dodávky, stavby a montáže vedení LDS směr Madeta, Maso tedy činí:

$$\begin{aligned} C_{M,M} &= 1600 \cdot (l_{15} + l_{57} - \frac{l_{15} + l_{57} - l_{17}}{2}) + 3 \cdot \frac{181849}{1000} \cdot l_{1571} \\ &= 1600 \cdot \left(653 + 856 - \frac{653 + 856 - 1298}{2} \right) + 3 \cdot 181,849 \cdot 2807 \quad (113) \\ &= 3776950 \doteq \mathbf{3\,777\,000\,Kč} \end{aligned}$$

Se stavbou této části projektu souvisí i skutečnost, že při poruchovém stavu zemního spojení překročí kapacitní poruchový proud 10 A a bude nutné instalovat zhášecí kompenzační tlumivku (viz. kapitola 4.8.), jejíž pořízení bude stát přibližně 600 000 Kč. Výsledná cena výše zmíněných položek tedy činí **4 377 000 Kč**.

- **Zařízení a práce související s vývodem z teplárny (C-Energy)**

Zařízení související s vývodem z teplárny (C-Energy) zahrnuje dodávku a montáž šesti polí rozvaděčů ABB UniGear typu ZS1 a stavbu rozvodny 22 kV s celkovými náklady ve výši 3 602 000 Kč. Dále dodávku dvou transformátorů ETD 22/6 kV, každý o výkonu 10 MW, dále práci a stavební činnosti spojené s jejich instalací v ceně 11 600 000 Kč. Celkem tato položka tedy dosahuje ceny **15 202 000 Kč**. V případě realizace pouze projektu A nebo C budu tuto investiční položku uvažovat o 25 % nižší, tj. **11 401 500 Kč**.

- **Inženýrská činnost**

Ostatní činnost ohledně realizace LDS zahrnuje například tvorbu projektové dokumentace, stavební povolení, kolaudaci atd. Tyto položky ohodnocuji částkou ve výši **800 000 Kč**.

6.1.2. Celkové investiční náklady projektů A, B a C

Celkové investiční náklady (vstupní investice) *IN* pro jednotlivé varianty realizace A, B a C jsou dané příslušným součtem dílčích položek rozepsaných v předchozí kapitole (6.1.1.) a jsou shrnuté a sečtené v následujících tabulkách č. 17, 18 a 19.

vstupní investice IN projektu A	
Připojení odběratele Kovosvit	879 000 Kč
Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Kovosvit	1 723 000 Kč
Zařízení a práce související s vývodem z teplárny (C-Energy)	11 401 500 Kč
Inženýrská činnost	800 000 Kč
Celkem	14 803 500 Kč

Tabulka 17 Výše vstupní investice v případě realizace projektu A

vstupní investice IN projektu B	
Připojení odběratele Kovosvit	879 000 Kč
Připojení odběratelů Madeta, Maso planá	2 309 000 Kč
Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Kovosvit	1 723 000 Kč
Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Madeta, Maso	4 377 000 Kč
Zařízení a práce související s vývodem z teplárny (C-Energy)	15 202 000 Kč
Inženýrská činnost	800 000 Kč
Celkem	25 290 000 Kč

Tabulka 18 Výše vstupní investice v případě realizace projektu B

vstupní investice IN projektu C	
Připojení odběratelů Madeta, Maso planá	2 309 000 Kč
Dodávka, stavba a montáž vedení LDS směr Madeta, Maso	4 377 000 Kč
Zařízení a práce související s vývodem z teplárny (C-Energy) + tlumivka viz. kapitola 4.8.	11 401 500 Kč
Inženýrská činnost	800 000 Kč
Celkem	18 887 500 Kč

Tabulka 19 Výše vstupní investice v případě realizace projektu C

6.2. Odhad příjmů

Příjmy budou tvořeny především dvěma základními pilíři. Je to měsíční cena za roční nebo měsíční rezervovanou kapacitu v Kč/MW a měsíc a dále cena za použití sítí provozovatele LDS. Obě tyto ceny budou stanoveny a účtovány v souladu s věstníkem ERU, který vypovídá o cenových rozhodnutích ERU souvisejících s dodávkou elektřiny.

Základní úvahou při stanovení ceny za použití sítí je, že v případě výroby takového množství elektrické energie, které bude plně pokrývat odběr zákazníků připojených k LDS, bude účtována cena za použití sítě na hladině VN, převzatá od provozovatele nadřazené distribuční soustavy. V případě, že výroba elektrické energie v teplárně C-Energy bude nižší než odběr zákazníků připojených k LDS, bude účtován za množství elektrické energie dodané z nadřazené distribuční soustavy VVN pouze rozdíl mezi poplatkem za použití sítě VVN a poplatkem za použití sítě VN. Množství elektrické energie, které by pokryla výroba v teplárně na hladině VN a které by bylo potřeba dokoupit ze sítě VVN, jsem určil z odběrových diagramů pomocí rozdílu mezi známou výrobou a spotřebou daných odběratelů. Výše poplatků za použití sítí je obsažena v tabulce č. 20 níže:

DS a její napěťová hladina	Cena za použití sítí VVN a VN v Kč/MWh
nadřazená DS na hladině VVN	40,20
LDS na hladině VN	66,37

Tabulka 20 Cena za použití sítí provozovatelů distribučních soustav nad 1 kV

Cenu za rezervovanou kapacitu pro odběr z distribuční soustavy jsem stanovil s pomocí měsíční ceny za roční rezervovanou kapacitu, kterou si účtuje provozovatel nadřazené distribuční soustavy, tj. 114 000 Kč/MW a měsíc, ovšem aby vznikla konkurenční výhoda, tuto cenu jsem uvažoval sníženou na 90 000 Kč/MW a měsíc. Rezervované kapacity jednotlivých odběratelů jsem určil pomocí teoretických maxim z tabulky č. 1 a stanovil jsem je pro Kovosvit 4,5 MW, pro Madetu 1,3 MW a pro Maso Planá 1,8 MW

Výsledné roční příjmy jsou tedy následující:

	varianta A	varianta B	varianta C
použití sítí	1 174 629 Kč	2 182 419 Kč	933 269 Kč
rezervovaná kapacita	4 860 000 Kč	8 208 000 Kč	3 348 000 Kč
celkem	6 034 629 Kč	10 390 419 Kč	4 281 269 Kč

Tabulka 21 Výše ročních příjmů LDS pro jednotlivé varianty projektu

6.3. Odhad výdajů

Výdaje jsou tvořeny též z několika složek. V první složce uvažují provozní náklady spojené s údržbou, revizemi, obsluhou LDS a dalšími nespécifikovanými výdaji ve výši 1,2 % investičních nákladů ročně. Druhou složkou výdajů je krytí elektrických ztrát vedení a transformátorů. Tyto ztráty jsem po konzultaci ocenil hodnotou 1800 Kč/MWh, což je odhad průměrné nákupní ceny silové elektřiny na ztráty. Ztráty elektrické energie ve vedení jsou spočítány v rovnici 56 a 57. Ztráty v transformátorech T1, T2, BA101 a BA102 budou souhrnně uvažovat 1% z celkového množství přenesené energie, a budou tedy pro jednotlivé varianty A, B a C dosahovat výše:

$$W_{T+BA,K} = 0,01 \cdot W_{Kovosvit} = 0,01 \cdot 32955 = 329,55 \text{ MWh} \quad (114)$$

$$\begin{aligned} W_{T+BA,K+MM} &= 0,01 \cdot (W_{Kovosvit} + W_{Madeta,Maso}) = 0,01 \cdot (32955 + 13710) \\ &= 466,65 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (115)$$

$$W_{T+BA,MM} = 0,01 \cdot W_{Madeta,Maso} = 0,01 \cdot 13710 = 137,1 \text{ MWh} \quad (116)$$

Celkové výdeje jsou shrnuty v následující tabulce č. 22:

	varianta A	varianta B	varianta C
ztráty ve vedení	45 148 Kč	69 161 Kč	24 014 Kč
ztráty v transformátorech	593 190 Kč	839 970 Kč	246 780 Kč
provozní náklady, atd.	177 642 Kč	303 480 Kč	226 650 Kč
celkem	815 980 Kč	1 212 611 Kč	497 444 Kč

Tabulka 22: Výše ročních výdajů LDS pro jednotlivé varianty projektu

6.4. Kriteria ekonomického hodnocení energetických investic

Energetické investice představují jednorázově vynaložené finanční zdroje, od kterých se očekává, že budou přinášet peněžní příjmy během delšího časového období v budoucnosti. V době, kdy byly finance investovány, představují peněžní výdaj. Významem ekonomického hodnocení investic je především vyjádření efektu z realizace projektu. Dalším významem ekonomického hodnocení investic je možnost porovnávání s jinými variantami. Na základě výsledků lze potom vybrat tu investici (variantu projektu), která přinese největší užitek.

Kritéria hodnocení efektivnosti investic, které použiji v této práci pro zhodnocení a porovnání variant projektu stavby LDS A, B a C, budou následující:

6.4.1. Kritérium prosté doby splacení

Toto kritérium vypovídá o co nejkratší době návratnosti investice. Mezi jeho výhody patří především snadný výpočet, ovšem nevýhodou je zanedbání peněžních toků po návratnosti a též časovou hodnotu peněz a z toho důvodu je nevhodné pro typické dlouhodobé energetické investice. Vzhledem k uvedeným nevýhodám nebudu k výsledkům tohoto kritéria přikládat větší význam. Prostá doba splacení se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$\sum_{t=1}^{PP} CF_t - IN = 0 \quad (117)$$

kde CF_t [Kč] je peněžní tok (cash flow) v t-tém roce
 IN [Kč] je vstupní investice (investiční výdaje)
 PP [rok] je prostá doba splacení

6.4.2. Kritérium diskontované doby splacení

Toto kritérium, stejně jako kritérium prosté doby splacení, vypovídá o co nejkratší době návratnosti investice, ovšem s ohledem na časovou hodnotu peněz. Jeho nevýhodou je, že neuvažuje peněžní toky po době splacení. Toto kritérium budu považovat za jedno z rozhodujících. Diskontovaná doba splacení se vypočítá pomocí vzorce:

$$\sum_{t=1}^{P_p} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (118)$$

kde P_p [rok] je diskontovaná doba splacení
 r [-] je diskont

6.4.3. Kritérium čisté současné hodnoty NPV

Čistá současná hodnota NPV (net present value) vyjadřuje rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů a výdaji na investici. Její nespornou výhodou je, že lze vždy vypočítat. NPV respektuje časovou hodnotu peněz a poměrně správně vyjadřuje ekonomickou efektivnost. Tomuto kritériu též přiložím větší váhu. Hodnota NPV se spočítá podle následujícího vzorce:

$$\sum_{t=1}^{T_{\check{z}}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = NPV \quad (119)$$

kde $r[-]$ je diskont
 $T_{\check{z}}[\text{rok}]$ je ekonomická doba životnosti

6.4.4. Vnitřní výnosové procento IRR

Posledním kritériem při hodnocení investic A, B a C, které použiju, je vnitřní výnosové procento IRR (Internal Rate of Return). IRR je taková hodnota diskontu, která v době ukončení životnosti projektu dává právě nulovou hodnotu diskontovaného toku hotovosti. Z toho vyplývá, že pokud je hodnota IRR vyšší než diskontní míra r , je vhodné projekt realizovat. Lze též říci, že IRR vypovídá o tom, kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme, pokud zvážíme časovou hodnotu peněz. Hodnota IRR se spočítá podle následujícího vztahu:

$$\sum_{t=1}^{T_{\check{z}}} CF_t \cdot (1+IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (120)$$

6.5. Výpočet ekonomického hodnocení investic A, B a C

Ekonomickou dobu životnosti $T_{\check{z}}$ projektu jsem stanovil na 20 let a je stejná pro všechny tři varianty projektu. Doba 20 let také zhruba odpovídá životnosti transformátorů. Velikost diskontu r určím podle následující úvahy. Pokud je nějaká stavba budována ve veřejném zájmu, v takovém případě je distribučním společenstvem garantován výnos 7% ze vstupní investice. Právě těchto 7 % budu považovat za hodnotu ušlé příležitosti, protože v případě rozhodnutí společnosti C-Energy investovat své peníze do jiného projektu by měla zajištěn právě takový výnos.

Vzhledem k náročnosti některých výpočtů, zejména výpočtu vnitřního výnosového procenta, kde vede výpočet na rovnici s dvaceti kořeny, jsem použil matematický software Wolfram Mathematica.

6.5.1. Prostá doba splacení

Prostou dobu splacení spočtu dle vzorce 117 z kapitoly 6.4.1.

$$\sum_{t=1}^{PP_A} CF_{tA} - IN_A = 0 \Rightarrow PP_A = 2,84 \text{ roky} \quad (121)$$

$$\sum_{t=1}^{PP_B} CF_{tB} - IN_B = 0 \Rightarrow PP_B = 2,76 \text{ roky} \quad (122)$$

$$\sum_{t=1}^{PP_C} CF_{tC} - IN_C = 0 \Rightarrow PP_C = 4,99 \text{ roky} \quad (123)$$

Z výpočtu vyplývá, že nejkratší dobu splatnosti má varianta projektu B. Grafické porovnání těchto dob splatnosti je znázorněno v grafu č. 7, příloze č. 3

6.5.2. Diskontovaná doba splacení

Diskontovanou dobu splacení spočítám dle vzorce 118 z kapitoly 6.4.2. a hodnotu diskontu r budu uvažovat 7 % dle úvahy zmíněné v úvodu kapitoly 6.4.

$$\sum_{t=1}^{P_{pA}} CF_{tA} \cdot (1+r)^{-t} - IN_A = 0 \Rightarrow P_{pA} = 3,27 \text{ roky} \quad (124)$$

$$\sum_{t=1}^{P_{pB}} CF_{tB} \cdot (1+r)^{-t} - IN_B = 0 \Rightarrow P_{pB} = 3,17 \text{ roky} \quad (125)$$

$$\sum_{t=1}^{P_{pC}} CF_{tC} \cdot (1+r)^{-t} - IN_C = 0 \Rightarrow P_{pC} = 6,35 \text{ roky} \quad (126)$$

Z výpočtu vyplývá, že nejkratší dobu splatnosti má opět varianta projektu B. Grafické porovnání těchto dob splatnosti je znázorněno v grafu č. 8, příloze č. 3

6.5.3. Čistá současná hodnota NPV

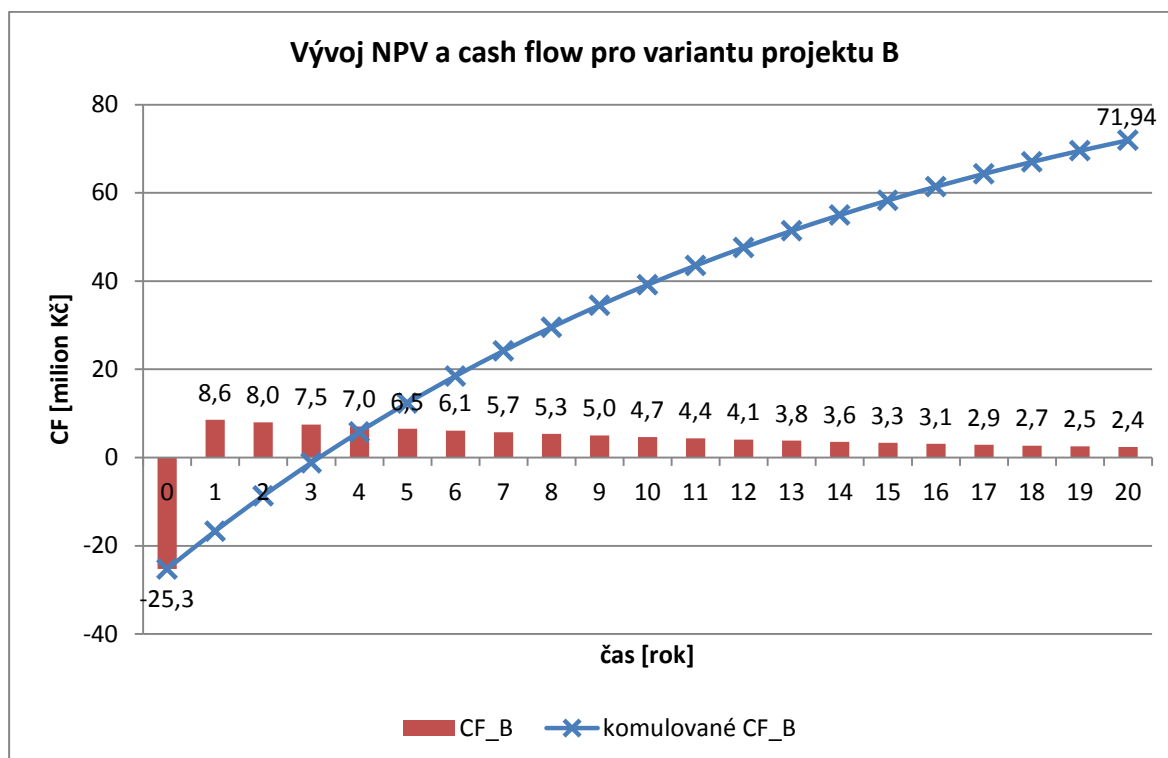
NPV jsem vypočítal podle vzorce 119 z kapitoly 6.4.3. Hodnotu diskontu budu opět uvažovat 7 % a NPV budu zjišťovat v době konce ekonomické životnosti investice, tj. 20 let po realizaci. Výpočet NPV je na ukázkou podrobněji proveden pro variantu projektu A v následující rovnici číslo 127 a pro projekty B a C již stručněji v rovnicích 128 a 129.

$$\begin{aligned}
 NPV_A &= \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_{tA} \cdot (1+r)^{-t} - IN_A = \frac{CF_{1A}}{(1+r)^1} + \frac{CF_{2A}}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_{T_{\dot{z}}A}}{(1+r)^{T_{\dot{z}}}} - IN_A \\
 &= \frac{5218649}{(1+0,07)^1} + \frac{5218649}{(1+0,07)^2} + \dots + \frac{5218649}{(1+0,07)^{20}} - 14803500 \\
 &\doteq \mathbf{40\ 482\ 900\ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{127}$$

$$NPV_B = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_{tB} \cdot (1+r)^{-t} - IN_B \doteq \mathbf{71\ 939\ 800\ Kč}
 \tag{128}$$

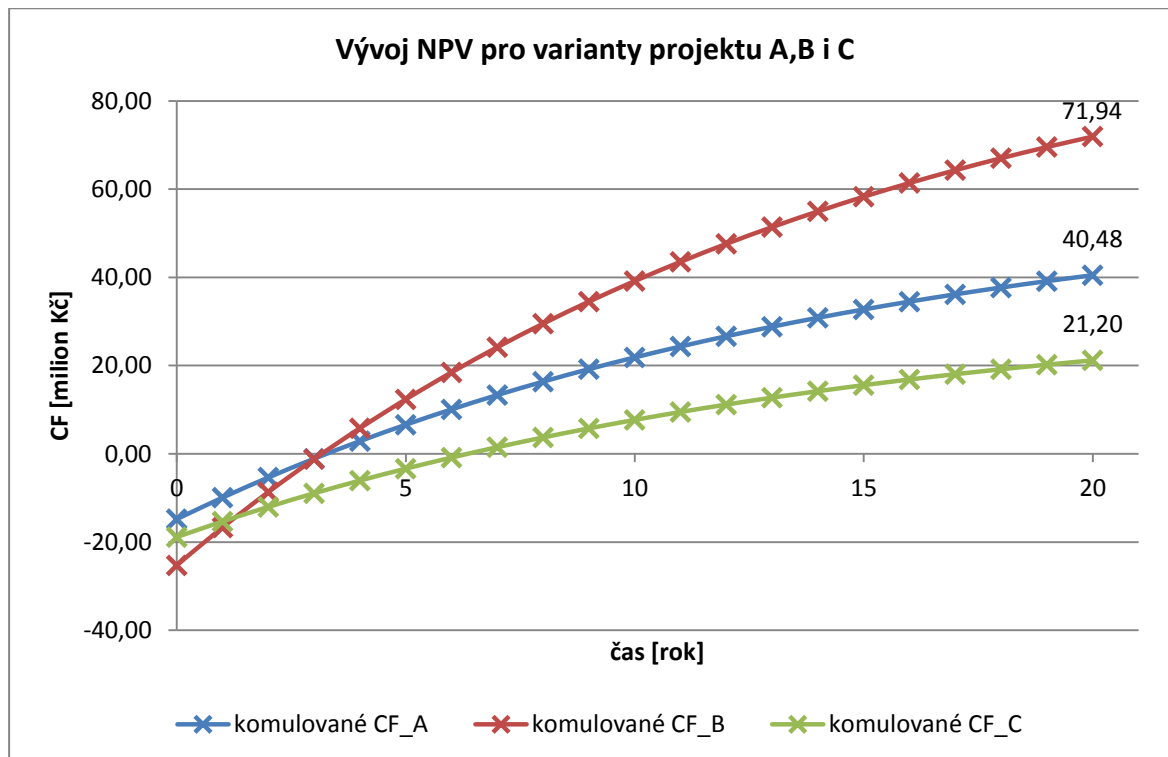
$$NPV_C = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} CF_{tC} \cdot (1+r)^{-t} - IN_C \doteq \mathbf{21\ 198\ 400\ Kč}
 \tag{129}$$

Jakým způsobem se vyvíjí výše čisté současné hodnoty a peněžních toků (cash flow) v průběhu dvaceti let provozu je demonstrováno v grafu č. 5 pro variantu projektu B:



Graf 5 Vývoje NPV a cash flow pro variantu projektu B

V grafu č. 6 je vyneseno vývoj NPV všech třech variant projektu, a lze je tak tedy vzájemně porovnat.



Graf 6: Porovnání NPV všech třech variant projektu

6.5.4. Vnitřní výnosové procento

Výši vnitřního výnosového procenta jsem určil podle vzorce č. 120 z kapitoly 6.4.4. a jeho velikost pro projekty A, B i C je spočítána v následujících rovnicích 130, 131 a 132.

$$\sum_{t=1}^{20} CF_{tA} \cdot (1 + IRR_A)^{-t} - IN_A = 0 \Rightarrow IRR_A = 35,17 \% \quad (130)$$

$$\sum_{t=1}^{20} CF_{tB} \cdot (1 + IRR_B)^{-t} - IN_B = 0 \Rightarrow IRR_B = 36,22 \% \quad (131)$$

$$\sum_{t=1}^{20} CF_{tC} \cdot (1 + IRR_C)^{-t} - IN_C = 0 \Rightarrow IRR_C = 19,46 \% \quad (132)$$

6.6. Závěry plynoucí z ekonomického hodnocení variant projektu

Podle všech čtyř kritérií ekonomického hodnocení investic, jež jsem použil, se jako nejvýhodnější ukazuje varianta projektu B. To je též názorně vidět v tabulce číslo 23, kde jsou všechny výsledky použitých metod hodnocení shrnuty. Podle těchto ekonomických výsledků bych proto realizaci varianty B projektu také doporučil.

	varianta A	varianta B	varianta C
prostá doba návratnosti [rok]	2,84	2,76	4,99
diskontovaná doba návratnosti [rok]	3,27	3,17	6,35
čistá současná hodnota [Kč]	40482900	71939800	21198400
vnitřní výnosové procento [%]	35,17	36,22	19,46

Tabulka 23: Výsledné porovnání ekonomického hodnocení variant A, B a C projektu.

Když uvážím, že varianta projektu B je ve své podstatě sloučením variant projektu A a C, může se zdát zvláštní, že sloučením dvou variant horších, vznikne jedna lepší. Takovýto výsledek si vysvětluji tím, že pro všechny tři varianty projektu jsem uvažoval poměrně vysoké investiční náklady související s vývodem LDS z teplárny, včetně transformátorů, a proto kdyby se tak měla realizovat LDS menšího rozsahu, než co předpokládá varianta B, budou zmíněné investiční náklady hrát větší a větší roli a takové varianty znevýhodňovat. Nicméně i přesto všechno se varianta A ukazuje téměř stejně výhodná jako varianta B. Tento fakt si ovšem opět vysvětluji tím, že varianta A počítá téměř s třikrát větším odběratelem elektrické energie než varianta C a dále tomuto nahrává skutečnost, že u varianty A se investuje do připojení pouze jednoho odběratele, zatímco u varianty C do odběratelů dvou.

Dalšími aspekty, které bych měl při závěrečném zhodnocení a doporučení správné varianty zohlednit, jsou například spolehlivost, hodnota sítě po době uplynutí života nebo náklady na likvidaci celého zařízení. Vyčíslení těchto parametrů ale přesahuje rámec této práce. Dalším takovýmto parametrem je také potenciál variant projektu pro rozšiřování sítě, respektive pro získávání nových odběratelů čili zákazníků. Tento potenciál s sebou očividně nese nejvíce varianta B, větší smysl ovšem v tomto případě má porovnávat mezi sebou varianty projektu A a C. Potom se jeví výhodnější varianta C, protože v okolí trasy LDS směr Madeta, Maso a dál v jejím směru se nachází stále rozrůstající se průmyslová oblast, a tedy i rostoucí masa potenciálních zákazníků na rozdíl od LDS směr Kovosvit, kde se dá předpokládat jen navýšení spotřeby tohoto jednoho odběratele.

V takovém případě, kdyby investor nemohl nebo by nechtěl uvolnit takové množství finančních prostředků, jaké by bylo potřeba vynaložit na mnou doporučenou variantu projektu B, bych volil variantu A. Toto rozhodnutí bych nepovažoval za špatný krok, jelikož, jak už jsem zmiňoval výše, tato varianta se z hlediska ekonomického hodnocení, až na čistou současnou hodnotu NPV, od varianty B moc neliší a též ji považuji za velice ekonomicky efektivní. Navíc se tím investor nijak nepřipravuje o možnost rozšířit LDS dle varianty A na variantu B v budoucnu, jen si tak investici rozloží do delšího časového horizontu.

Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout LDS napájenou z teplárny v Plané nad Lužnicí pro část tamní průmyslové oblasti. V souvislosti s tím jsem též zmínil několik projektů, jejichž realizace nyní v teplárně probíhá, protože se stavbou LDS též souvisí.

V první části DP jsem se tedy zaměřil na popis stávajícího stavu teplárny a popis plánovaného stavu, aby bylo možné pozorovat změny, které na teplárně proběhnou a udělat si tak představu o souvislostech, s jakými se bude LDS stavět. Hlavním výsledkem tohoto porovnání je informace, že v teplárně bude provozován nový, účinnější, ekologičtější a z pohledu navrhované LDS také flexibilnější zdroj elektrické energie. Tato skutečnost dává totiž navrhované LDS jeden z hlavních zatím potenciálních přínosů, a to spolehlivost dodávky elektřiny pro potenciální zákazníky. Pokud totiž dojde k výpadku či blackoutu v nadřazené elektrizační síti, předpokládá se, že teplárna v součinnosti se stávající i plánovanou LDS a k nim připojení zákazníci budou schopni pracovat v ostrovním provozu. Řešení samotného ostrovního provozu zmíněného systému přesahuje rámec zadání této diplomové práce.

V druhé části DP jsem detailně popsal odběrové diagramy stávajících i potenciálních zákazníků. Z těchto odběrových diagramů jsem určil nejen velikosti odebíraných výkonů, ale také popsal jejich charakter, tj. jestli se jednalo o stálý, nepředvídatelný či pravidelně opakující se odběr. Největší pozornost jsem však věnoval studiu maximálních a minimálních odebíraných výkonů, tedy extrémům, podle kterých je třeba dimenzovat jakékoliv zařízení. Výstupem této části práce jsou zejména teoretická maxima odebíraných výkonů jako základní zjištění pro následné dimenzování LDS. Dalším spíše zajímavým než přímo užitečným výstupem je tabulka č. 5 z kapitoly č. 2. 3., která popisuje výskyt a počet extrémů v průběhu roku u potenciálních zákazníků LDS.

Třetí a čtvrtou kapitolu DP jsem věnoval samotnému návrhu LDS. To zahrnovalo volbu typu kabelu a jeho průřezu. Jestli bude pro LDS lepší použít jednovláškový kabel typu 22-AXEKVCE či dvouvláškový 22-AXEKVCEY jsem nakonec nerozhodl, protože jsem mezi těmito typy neshledal zásadní technické ani ekonomické rozdíly a tak toto rozhodnutí ponechám na samotném projektantovi, který bude mít pro volbu kabelu lepší podklady. Průřez kabelu pro LDS směr Kovošvit jsem zvolil $185/25 \text{ mm}^2$ a pro LDS směr Madeta, Maso jsem zvolil $70/16 \text{ mm}^2$. Pro takto navrženou síť jsem spočítal ztráty, úbytky, zkraty a zemní spojení, abych ověřil, zda vyhovují podle vyhlášky 153/2001 k zákonu 406/2001 Sb.

O hospodaření energií, která vlastně stanovuje meze pro zmíněné parametry. To vše jsem počítal pro takovou konfiguraci sítě, která je pro dosažení daných parametrů nejhorsí.

V páté kapitole jsem provedl výběr ochrany a vypínače pro LDS. Při výběru ochrany šlo především o to, aby ochrana splňovala všechny požadavky pro chránění LDS, ovšem její konkrétní nastavení bude provedeno až při samotné instalaci v rozvodně. Při výběru vypínače jsem bral ohled jednak na to, aby byl schopen zaúčinkovat při těch nejhorších provozních i poruchových stavech, což nebylo příliš složité vzhledem k poměrně nevelkým proudovým hodnotám, ale také na to, aby byly kompatibilní se stávajícími rozvaděči.

V poslední šesté kapitole jsem se zabýval ekonomickou otázkou projektu. Vzhledem k tomu, že jsem uvažoval se třemi variantními řešeními koncepce LDS, které se v zásadě lišily pouze rozsahem sítě, použil jsem kritéria pro hodnocení investic, propočítal ekonomickou rentabilitu jednotlivých variant a porovnal je mezi sebou. Jako nejvýhodnější variantu projektu jsem shledal variantu B, uvažující se stavbou LDS směr Kovosvit i LDS směr Madeta, Maso. Nakonec jsem zmínil i další kritéria, nejen ekonomická kritéria hodnocení investic, která variantě B přislubují vyšší přínos.

Nakonec bych rád zmínil, že celý návrh LDS jsem podřídil pokynu zadání práce, který říká, že je nutné dodržet pravidlo n-1, tj. v případě poruchy či odstávky jednoho prvku sítě musí být stále možnost síť provozovat. Proto k odběrateli z LDS směr Kovosvit vedou dva paprsky a síť LDS směr Madeta, Maso je tvořena smyčkou. Celá LDS bude též napájena ze dvou transformátorů. Návrh těchto transformátorů ale opět nespadal do rámce zadání této práce.

Seznam použité literatury a internetových zdrojů

- [1] ENVIROS: Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 153/2001 k zákonu č. 406/2001 Sb. [online], únor 2014, Dostupné z: <http://www.enviros.cz/energeticky_audit/pp406/pp_406_153.html>
- [2] nkt cables: Katalogový list kabelu typu 22-AXEKVCEY [online], únor 2014, Dostupné z: <http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/MV%20cables%20aand%20accessories/MV_new%20datasheets/22-AXEKVCEY.ashx>
- [3] nkt cables: Katalogový list kabelu typu 22-AXEKVCE [online], únor 2014, Dostupné z: <http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/MV%20cables%20aand%20accessories/MV_new%20datasheets/22-AXEKVCE.ashx>
- [4] ČEZ: Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu číslo 150-153 k zákonu 406/2000 Sb. [online], březen 2014, Dostupné z: <<http://www.cez.cz/edee/content/file/pece-a-podpora/150-153-2001.pdf>>
- [5] ABB: Řízení a chránění pole [online], duben 2014, Dostupné z: <<http://www.abb.com/product/cz/9AAC30200300.aspx?country=CZ>>
- [6] nkt cables: Ceníky a obchodní podmínky [online], duben 2014, Dostupné z: <<http://www.nktcables.com/cz/support/download/price-lists/>>
- [7] C-Energy: Fotogalerie [online], květen 2014, Dostupné z: <<http://www.c-energy.cz/cs/projekt-obnovy/fotogalerie>>
- [8] C-Energy: Teplárna Planá [online], prosinec 2013, Dostupné z: <<http://www.c-energy.cz/cs/teplarna-plana>>
- [9] C-Energy: Projekt Planá [online], prosinec 2013, Dostupné z: <<http://www.c-energy.cz/cs/projekt-obnovy>>
- [10] Sbírka zákonů České republiky: Energetický zákon č. 58/2000 Sb., ze dne 28. listopadu 2000

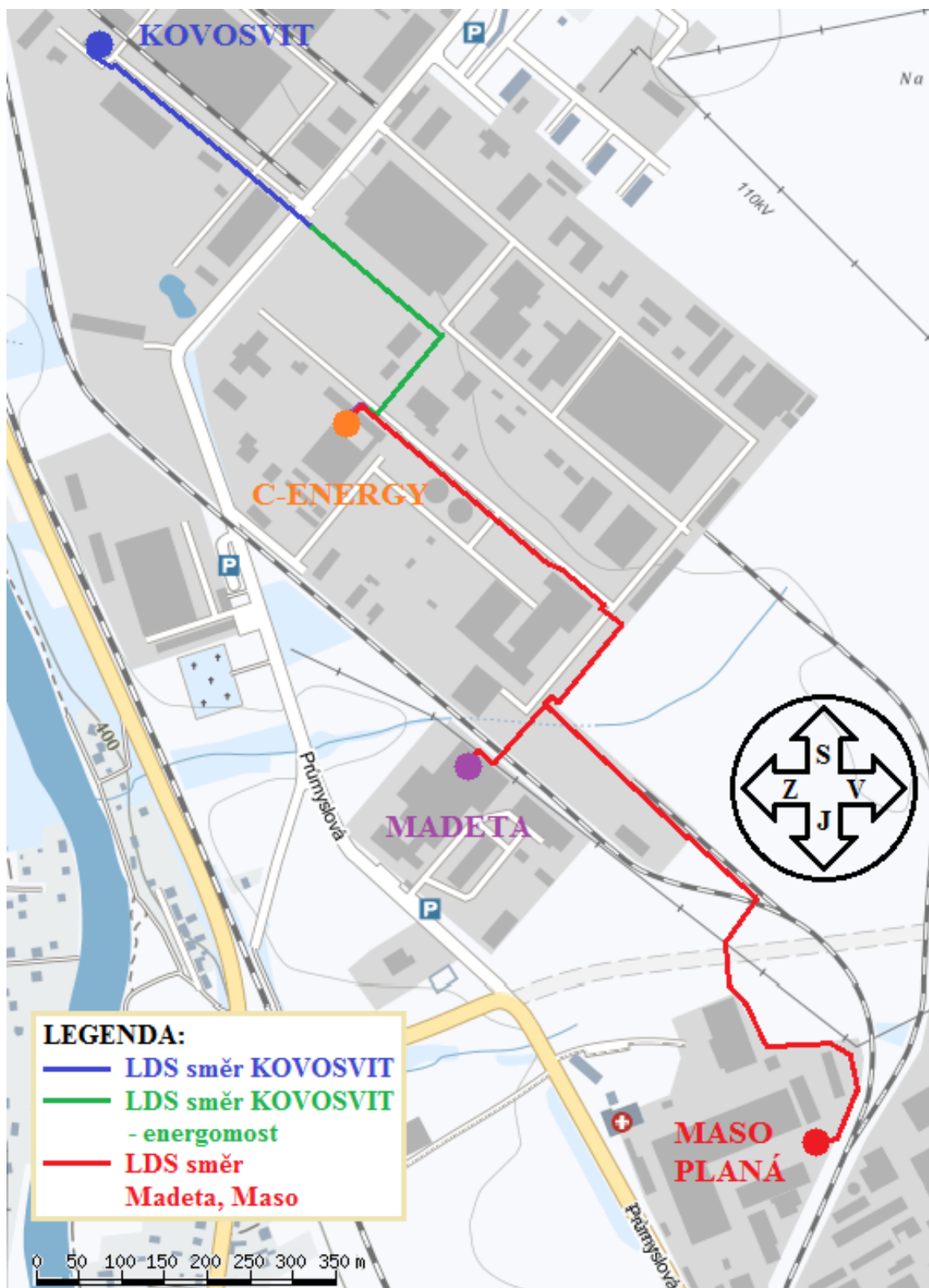
- [11] Energetický regulační úřad: Energetický regulační věstník – Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovují regulované ceny související s dodávkou elektřiny, 28. listopad 2013
- [12] Energetický regulační úřad: Vyhláška č. 51/2006 Sb., O podmínkách připojení k elektrizační soustavě, 17. února 2006
- [13] Energetický regulační úřad: Vyhláška č. 541/2005 Sb., O pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, 21. prosince 2005
- [14] Jaroslav Doležal, Jiří Šťastný, Jan Špetlík, Stanislav Bouček, Zbyněk Brettschneider: Jaderné a klasické elektrárny, ISBN 978-80-01-04936-5, Praha 2011, vydalo České vysoké učení technické v Praze

Seznam použitých zkratek

LDS	Lokální distribuční síť
DP	Diplomová práce
NPV	Čistá současná hodnota (net present value)
IRR	Vnitřní výnosové procento (internal rate of return)
CZT	Centrální zásobování teplem (centrální zdroj tepla)
HRSG	Spalinový kotel (heat recovery steam generator)
PM	Plynový motorgenerátor
K	Kotel
TG	Turbogenerátor
RCHS	Redukční chladicí stanice
ERU	Energetický regulační úřad

Přílohy

1. Mapa vedení LDS a poloha potenciálních zákazníků a teplárny



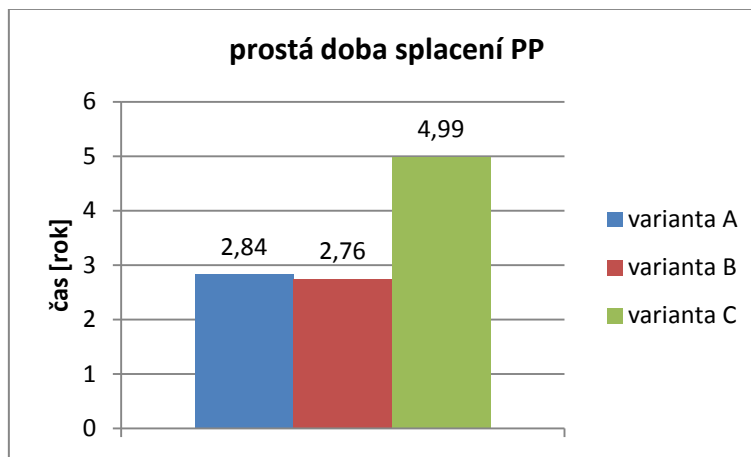
Obrázek 19: Mapa vedení LDS mezi městy Planá nad Lužnicí a Sezimovo Ústí a rozmístění potenciálních zákazníků a teplárny

2. Ukázka odběrových diagramů stávajících o potenciálních zákazníků

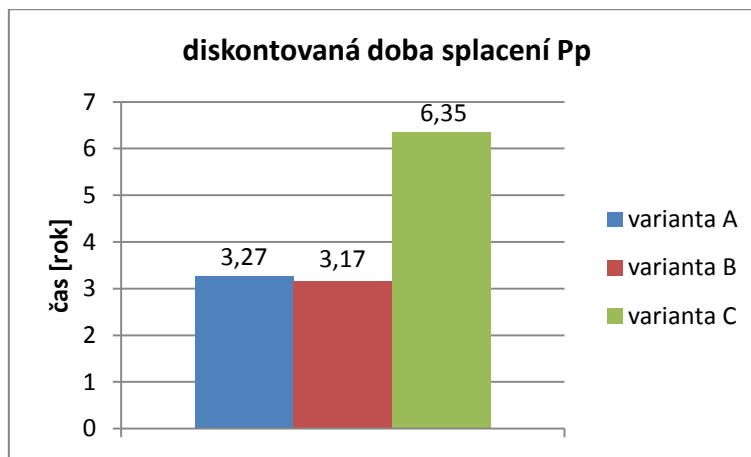
	Min:	0	0	246	0	0	1012
	Max:	9487	903	1724	1264	4060	15091
	Suma:	63055	3336	7109	6600	18308	98409
		Silon 6kV	IMG 6kV	Maso 22kV	Madeta 22kV	Kovosvit 22kV	CELKEM
		[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
1.1.2011	0:00:00	3132	81	447	265	318	4243
1.1.2011	1:00:00	3140	80	486	231	313	4250
1.1.2011	2:00:00	3169	80	467	268	331	4315
1.1.2011	3:00:00	3136	81	444	261	330	4252
1.1.2011	4:00:00	3189	80	477	261	316	4323
1.1.2011	5:00:00	3208	83	435	285	290	4301
1.1.2011	6:00:00	3232	97	452	462	287	4530
1.1.2011	7:00:00	3208	96	449	488	282	4523
1.1.2011	8:00:00	3249	96	392	523	263	4523
1.1.2011	9:00:00	3448	93	394	598	282	4815
1.1.2011	10:00:00	3584	79	371	678	368	5080
1.1.2011	11:00:00	3747	81	378	633	288	5127
1.1.2011	12:00:00	3723	81	407	629	290	5130
1.1.2011	13:00:00	3797	79	403	658	271	5208
1.1.2011	14:00:00	3834	80	453	571	290	5228
1.1.2011	15:00:00	3935	81	458	557	303	5334
1.1.2011	16:00:00	4095	79	468	588	350	5580
1.1.2011	17:00:00	4064	80	464	546	387	5541
1.1.2011	18:00:00	4087	97	404	595	418	5601
1.1.2011	19:00:00	4132	98	443	580	363	5616
1.1.2011	20:00:00	4202	98	454	547	372	5673
1.1.2011	21:00:00	4264	90	482	545	375	5756
1.1.2011	22:00:00	4321	80	459	548	397	5805
1.1.2011	23:00:00	4154	80	422	439	413	5508
2.1.2011	0:00:00	4287	80	428	411	373	5579
2.1.2011	1:00:00	4266	79	404	384	369	5502
2.1.2011	2:00:00	4319	79	433	362	391	5584
2.1.2011	3:00:00	4273	79	434	341	415	5542
2.1.2011	4:00:00	4283	79	466	328	385	5541
2.1.2011	5:00:00	4352	88	526	319	344	5629
2.1.2011	6:00:00	4290	95	525	500	334	5744
2.1.2011	7:00:00	4247	95	552	582	319	5795
2.1.2011	8:00:00	4032	98	563	649	362	5704
2.1.2011	9:00:00	4055	80	561	635	418	5749
2.1.2011	10:00:00	3989	80	546	637	522	5774
2.1.2011	11:00:00	4117	79	527	645	435	5803
2.1.2011	12:00:00	4177	80	561	630	454	5902
2.1.2011	13:00:00	4254	80	563	624	405	5926
2.1.2011	14:00:00	4248	81	494	565	390	5778
2.1.2011	15:00:00	4296	80	466	618	459	5919
2.1.2011	16:00:00	4420	88	488	791	556	6343
2.1.2011	17:00:00	4502	95	562	817	807	6783
2.1.2011	18:00:00	4271	98	497	898	808	6572
2.1.2011	19:00:00	4308	96	522	888	857	6671
2.1.2011	20:00:00	4591	80	591	902	902	7066
2.1.2011	21:00:00	4523	80	619	869	1354	7445
2.1.2011	22:00:00	4738	81	546	850	1661	7876
2.1.2011	23:00:00	4845	81	565	695	2181	8367

Tabulka 24: Ukázka odběrových diagramů stávajících a potenciálních zákazníků LDS

3. Porovnání prosté i diskontované doby splatnosti variant projektů A,B a C

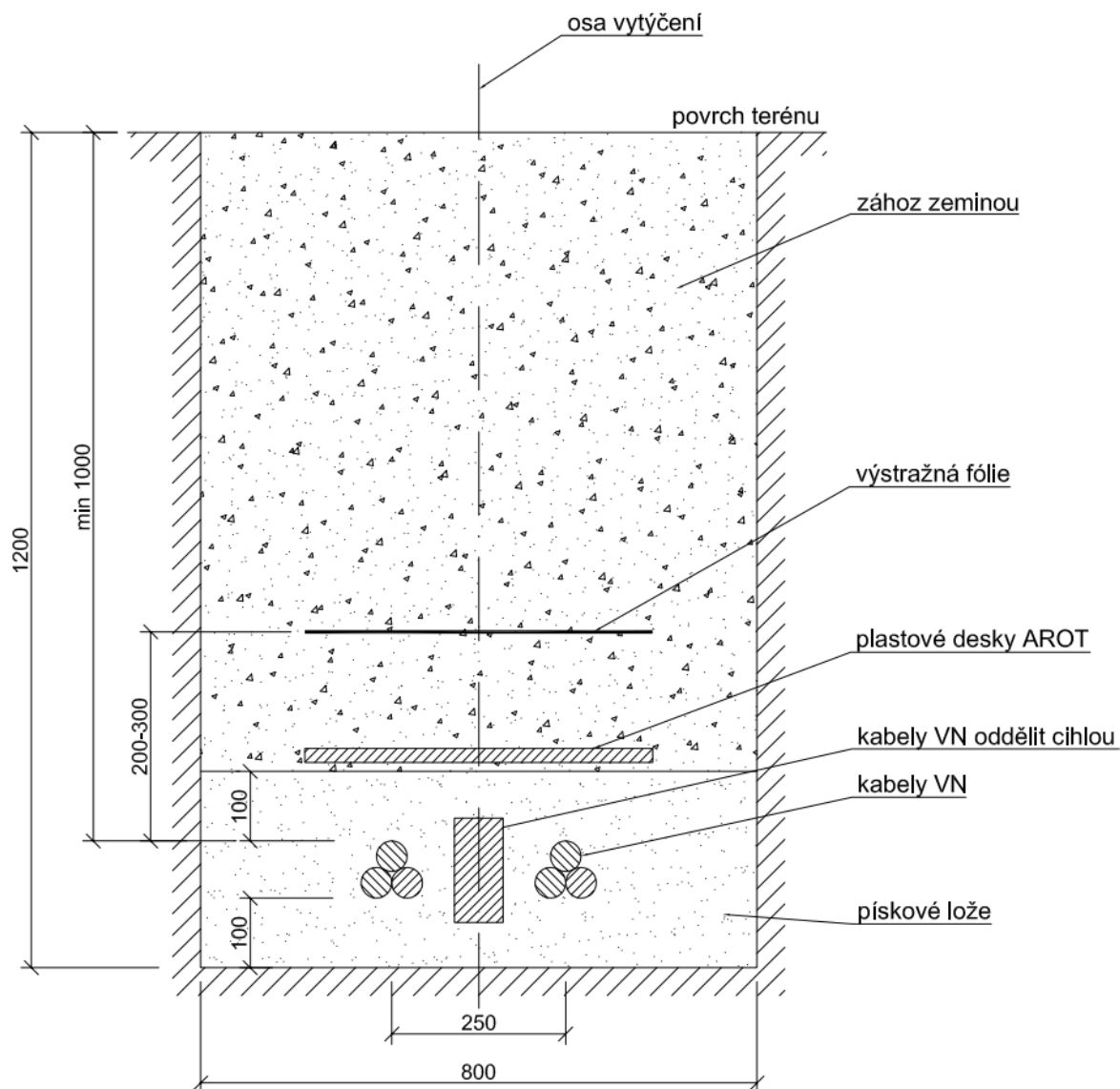


Graf 7: Porovnání prosté doby návratnosti jednotlivých variant projektu A, B a C



Graf 8: Porovnání diskontované doby návratnosti jednotlivých variant projektu A, B a C

4. Vzorový řez uložení kabelů VN ve volném terénu



Obrázek 20: Vzorový řez uložení kabelů VN ve volném terénu [7]