

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh napájení a rozvodů elektrické energie pro novou
lokalitu rodinných domů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav HÁJEK**
Osobní číslo: **E11N0009K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh napájení a rozvodů elektrické energie pro novou lokalitu
rodinných domů**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Vypočítejte zatížení dané lokality dle zadaného stupně elektrizace a stanovte počet a velikosti výkonu transformátorů pro stupeň elektrizace A a pro stupeň elektrizace C.
2. Navrhněte přívodní napájecí vedení vn.
3. Navrhněte a zakreslete rozvody nn pro danou variantu elektrizace a navrhněte potřebné jištění.
4. Popište metody a prostředky používané při návrhu elektrizace.
5. Porovnejte a zhodnoťte varianty návrhu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle
doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Konstantin Schejbal, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce řeší připojení nové lokality s plánovanou výstavbou 45 nových RD k Distribuční soustavě elektrické energie. V teoretické části práce jsou popsány základní postupy, kritéria a předpoklady pro návrh technického řešení připojení odběrných míst k DS. V další části práce je již zpracováno samotné technické řešení rozvodů elektrické energie ve dvou variantách (pro stupeň elektrizace A, a pro stupeň elektrizace C). V poslední části práce je porovnání a vyhodnocení obou návrhů technického řešení.

Technické řešení obsahuje návrh distribuční stanice (DTS), návrh přípojky vedení vn k DTS, návrh rozvodů nn pro připojení 45 RD a návrh jištění sítě nn.

Klíčová slova

Distribuční síť, návrh elektrizace, přípojka, kabelové vedení, jištění, pojistka, impedance smyčky, úbytky napětí, nadproud, zkratový proud, elektrické ztráty

Abstract

This master thesis addresses the connection of a new site with the planned construction of 45 new houses to the electric power grid. The theoretical part describes the basic procedures, criteria and conditions for the proposed technical solution for connecting customers to the distribution system. Another part of the thesis addresses the technical distributions solutions electric power in two variants (for grade electrification A, and for grade electrification C). The last part is to comparisons and evaluates these two proposals of technical solutions.

The technical solution includes a proposal distribution station, proposal connection to the electric power grid MV, proposal wiring electric power grid LV to connect 45 RD and proposal protection network LV.

Key words

Distribution Network, proposal electrification, connection, cable line, protection, impedance loop, voltage loss, overcurrent, short-circuit current, electric losses

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 9.5.2013

Ladislav Hájek

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Konstantinu Schejbalovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1. ÚVOD	11
1 METODY A PROSTŘEDKY VYUŽÍVANÉ PŘI NÁVRHU ELEKTRICKÝCH SÍTÍ	12
1.1 KLASICKÉ VÝPOČTOVÉ METODY	12
1.1.1 STANOVENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ	13
1.1.2 STANOVENÍ VÝPOČTOVÉHO PROUDU	14
1.1.3 STANOVENÍ VÝKONU DTR PRO DANOU LOKALITU	14
1.1.4 DIMENZOVÁNÍ DLE ÚBYTKŮ NAPĚTÍ	15
1.1.5 DIMENZOVÁNÍ DLE DOVOLENÉ PROVOZNÍ TEPLoty	16
1.1.6 DIMENZOVÁNÍ PRŮŘEZU VODIČE DLE HOSPODÁRNOSTI	17
1.1.7 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ DLE MECHANICKÉ PEVNOSTI	18
1.1.8 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ NA DYNAMICKÉ A TEPELNÉ ÚČINKY PŘI ZKRATU	18
1.2 VÝPOČETNÍ METODY POUŽÍVANÉ PŘI NÁVRHU JIŠTĚNÍ V SÍTÍCH NN	22
1.2.1 IMPEDANCE SMYČKY	23
1.2.2 CHRÁNĚNÍ PROTI NADPROUDŮM	24
1.2.3 CHRÁNĚNÍ PROTI ZKRATOVÝM PROUDŮM	25
1.2.4 OCHRANA PROTI NEBEZPEČNÉMU DOTYKOVÉMU NAPĚTÍ U KABELOVÉHO ROZVODU NÍZKÉHO NAPĚTÍ	27
1.3 VÝPOČTOVÉ PROGRAMY NA PC	28
2 ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU	29
2.1 VSTUPNÍ DATA PROJEKTU	29
2.1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	29
2.2 VARIANTA I. - STUPEŇ ELEKTRIZACE A	31
2.2.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ PRO DANOU LOKALITU	31
2.2.2 NÁVRH ROZVODŮ NN	38
2.3 VARIANTA II. - STUPEŇ ELEKTRIZACE C	40
2.3.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ PRO DANOU LOKALITU	40
2.3.2 NÁVRH ROZVODŮ NN	48
2.3.3 POROVNÁNÍ VARIANT PRO STUPEŇ ELEKTRIZACE A A C	49
3 ZÁVĚR	54
4 POUŽITÁ LITERATURA	55
SEZNAM PŘÍLOH	56
PŘÍLOHA 1 OBSAH CD: NÁVRH ROZVODŮ NN PRO NAPÁJENÍ 45 RODINNÝCH DOMŮ	57

Seznam symbolů a zkratk

A	energie v provozu přenesená vedením za rok (kWh)
ČSN	Česká státní norma
DS	distribuční soustava
DTS	distribuční transformační stanice
DTR	distribuční transformátor
EE	elektrická energie
GIS	geografický informační systém
I_a	proud zajišťující samočinné působení ochranného prvku (A)
I_{dov}	dovolené proudové zatížení prvku (A)
I_k	ustálený zkratový proud – ef. (A)
I_k''	počáteční souměrný rázový zkratový proud (A)
I_n	jmenovitá hodnota proudové zatížitelnosti (A)
I_p	výpočtový proud (A)
I_{th}	ekvivalentní oteplovací zkratový proud (A)
K	součinitel přiřazení jisticího prvku proti přetížení k vedení (-)
L_v	indukčnost vedení (mH.km ⁻¹)
OM	odběrné místo
P	činný výkon (kW)
P_b	soudobý příkon jednoho RD (kW)
P_i	instalovaný výkon (kW)
P_p	výpočtové zatížení (kW)
Q	jalový výkon (kVAr)
Q_c	objemová tepelná kapacita materiálu vodiče (J.cm ⁻³ °C ⁻¹)
R_k	měrný odpor vedení (Ω.km ⁻¹)

R_V	činný odpor vedení (Ω)
RD	rodinný dům
S	průřez (mm^2)
S_{k3}''	souměrný třífázový rázový zkratový výkon (MVA)
S_{Kmin}	minimální průřez vodiče (mm^2)
S_n	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru (kVA)
S_T	vypočtený výkon DTS (kVA)
TIS	technický informační systém
T_K	maximální doba trvání zkratu (s)
TR	transformační rozvodna vvn/vn
TUV	teplá užitková voda
T_z	doba plných ztrát (hod)
U_o	jmenovité střídavé napětí (efektivní) proti zemi (V)
U_n	jmenovité napětí sítě (V)
U_S	sdružené napětí (V)
ΔU	úbytek napětí (V)
X_k	měrná indukční reaktance vedení ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
X_V	je reaktance (indukční) vedení (Ω)
Z_C	zkratová (celková) impedance (Ω)
Z_G	impedance generátoru (Ω)
Z_s	impedance poruchové smyčky (Ω)
Z_T	impedance transformátoru (Ω)
Z_V	impedance vedení (Ω)
c	napěťový součinitel (-)

f	frekvence sítě (Hz)
k	přepočítávací součinitel (-)
l	délka vedení (km)
m	činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu (-)
n	činitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu (-)
n	počet RD ve skupině
nn	nízké napětí
t	počet provozních hodin zatížení (hod)
t _k	dobou trvání zkratu (s)
u _k	napětí na krátko (%)
Δu	procentní vyjádření úbytku napětí (%)
vn	vysoké napětí
β	koeficient soudobosti (-)
β _n	soudobosti pro n RD (-)
β _t	reciproční hodnota teplotního součinitele odporu vodiče (°C)
β _∞	soudobosti pro nekonečně velký počet obytných jednotek (-)
γ	koeficient využití transformátoru (-)
γ _T	skutečný součinitel využití transformátoru (-)
κ	součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu (-)
φ	fázový posun (°)
ρ ₂₀	specifický odpor vodiče při 20°C (Ωmm ² m ⁻¹)
ϑ ₀	teplota prostředí (°C)
ϑ _{dov}	dovolená trvalá provozní teplota (°C)
ϑ _i	počáteční teplota vodiče (°C)
ϑ _K	maximální dovolená teplota při průchodu zkratového proudu (°C)

1. Úvod

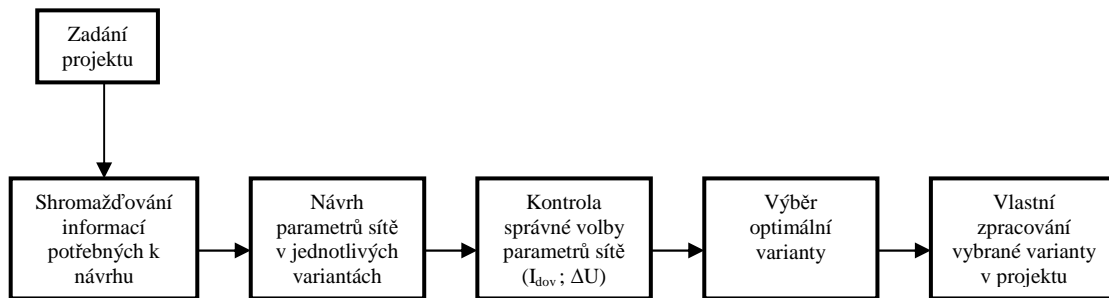
Připojování odběratelů EE na napět'ové hladině *nn* je jednou z nejvíce rozšířených praxí distribučních společností a také jednou z jejich zákonných povinností. V mnohých případech se nejedná pouze o připojení jednotlivých odběratelů, ale mohou to být i celé nové lokality čítající desítky nových odběrných míst. Na rozvoj a obnovu sítě jsou tak vynakládány nemalé finanční prostředky. V době kdy jsou hledány rezervy ve všech odvětvích energetiky, je tedy při zpracování návrhu technického řešení připojení nových odběrných míst je vyžadováno bezchybné zpracování projektu. V návrhu musí zohledněny a zpracovány všechny dostupné informace tak, aby vyhovoval všem bezpečnostním předpisům, zákonům, technickým normám a ekonomickým kritériím.

Předkládaná práce řeší technický návrh nové distribuční trafostanice, kabelové přípojky *vn* pro novou trafostanici a návrh rozvodů *nn* pro připojení 45 nových rodinných domů, včetně návrhu jištění navrhnuté sítě *nn*. Technické řešení je zpracováno pro dvě varianty elektrifikace dané lokality (pro stupeň elektrizace A, a pro stupeň elektrizace C).

Tato práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první části jsou popsány základní metody, postupy a teoretické předpoklady potřebné pro návrh připojení odběrných míst k distribuční soustavě. V druhé části práce je řešen již konkrétní návrh technického řešení pro připojení dané lokality s výstavbou nových RD k DS zpracovaný ve dvou variantách. V závěru jsem porovnal a zhodnotil obě varianty technického řešení.

1 Metody a prostředky využívané při návrhu elektrických sítí

Pokud si zidealizujeme postup při zpracovávání projektu návrhu elektrifikace obytné aglomerace, můžeme mluvit o několika základních fázích postupně na sebe navazujících, jak je znázorněno na obr. 1.



Obr. č. 1 – Schéma postupu při projektování sítě pro obytnou aglomeraci

Tato práce se zaměřuje především na 3, 4 a 5 fázi projektové činnosti, jejíž posloupnost je schematicky znázorněna na obr. 1. V těchto jmenovaných fázích projektu se využívají níže uvedené metody, prostředky a postupy.

Při návrhu elektrizace, a určení proudových a napěťových poměrů v síti lze požit jednu ze dvou hlavních skupin výpočtových metod:

- klasické výpočtové metody
- výpočet pomocí výpočtového programu na PC

1.1 Klasické výpočtové metody

Znalost výpočtů proudových a napěťových poměrů klasickou metodou, by měla být v projekční praxi standardní dovedností. Metoda spočívá v tom, že všechny výpočty jsou prováděny pomocí kalkulátoru a informací nastudovaných z platných norem a technických, nebo odborných publikací. Odborná znalost dané problematiky je samozřejmostí. Veškeré postupy a výpočty touto metodou jsou kontinuálně zaznamenávány v textu. Nevýhodou této metody je značná časová náročnost a závislost na lidském faktoru, což může vést k chybám a následně špatné parametrizaci návrhu. Další nevýhodou je to, že u složitějších zapojení

(např. zauzlených sítí) je tato metoda velmi obtížně použitelná. Popis klasických výpočetních postupů, které jsou použité v této práci k návrhu DTR a kabelové přípojky *vn* jsou uvedeny v následujících kapitolách.

1.1.1 Stanovení výpočtového zatížení

Základním a jedním z prvních kroků při návrhu připojení nových odběrných míst k DS je stanovení výpočtového zatížení P_p . Na základě této hodnoty budeme dále provádět výpočty dalších parametrů a dimenzování prvků pro elektrifikaci dané lokality.

Nejprve je potřeba určit soudobý příkon P_b jednoho RD, který je dán vztahem:

$$P_b = P_i \cdot \beta \quad (\text{kW}; \text{kW}; -),$$

Kde P_ije instalovaný výkon jednoho RD,

βje koeficient soudobosti pro jeden RD.

Pokud budeme vycházet z dokumentu DSO ME 0083, použijeme pro β hodnotu v rozpětí 0,6 až 0,8. Instalovaný výkon P_i je hodnota tvořená součtem výkonů všech předpokládaných spotřebičů v objektu.

Hodnotu P_b dosadíme do vztahu pro výpočet výpočtového zatížení P_p

$$P_p = \sum_{n=1}^n P_b \cdot \beta_n \quad (\text{kW}; \text{kW}; -)$$

Kde nje počet RD ve skupině,

β_nje soudobost pro n RD.

Velikost β_n stanovíme dle Ruscuova vzorce uvedeného v ČSN 33 2130 ed. 2: [7]

$$\beta_n = \beta_\infty + (1 - \beta_\infty) \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (-)$$

Kde β_∞ je soudobost pro nekonečně velký počet obytných jednotek a dle normy[7] lze počítat s hodnotou 0,2.

1.1.2 Stanovení výpočtového proudu

Na základě hodnoty výpočtového zatížení P_p , již můžeme určit také výpočtový proud I_p potřebný k návrhu přípojky VN. Dle ČSN 33 2130 ed. 2[7] použijeme vztah:

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A; kW; V; } -).$$

Kde U_ssružené napětí,

$\cos \varphi$...střední účinník dané skupiny zařízení.

1.1.3 Stanovení výkonu DTR pro danou lokalitu

Dalším krokem návrhu je určení počtu a velikosti potřebných DTR. Velikost potřebného instalovaného výkonu DTR odvodíme ze vztahu:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} \quad (\text{kVA; kW; } -;-).$$

Kde P_pje výpočtový výkon dané lokality,

$\cos \varphi$...je střední účinník,

γje koeficient využití DTR.

Při volbě velikosti výkonu DTR musí být také splněno kritérium

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T .$$

Kde S_{ni}je instalovaný výkon n transformátorů.

Vzhledem k ekonomickým aspektům a zavedené praxi v DSO je obvykle zvolen DTR s nejbližší vyšší hodnotou S_n , nebo optimální počet DTR pro pokrytí požadovaného výkonu s dostatečnou rezervou.

Se známou hodnotou instalovaného výkonu DTR můžeme nyní spočítat také skutečný součinitel využití γ_T navrženého DTR. Tuto hodnotu získáme ze vztahu:

$$\gamma_T = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} \quad (-; \text{ kW; } -; \text{ kVA; } -).$$

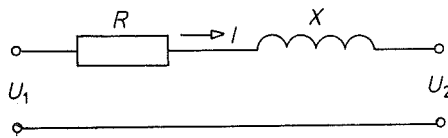
Dále při výběru vhodného DTR musí být splněna podmínka nerovnosti

$$\gamma \geq \gamma_T$$

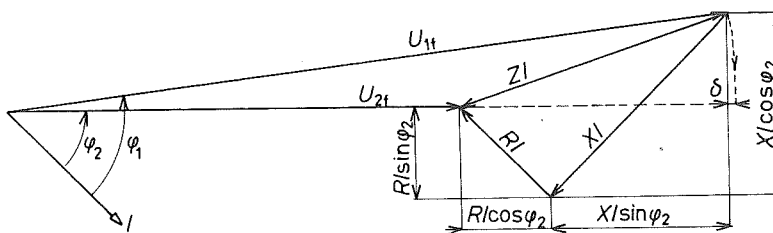
1.1.4 Dimenzování dle úbytků napětí

Při výpočtech úbytků napětí (ΔU) na vedení se s výhodou používá tzv. impedanční metoda, kde impedance vedení je:

$$Z_V = R_V + jX_V \quad (\Omega)$$



Obr. č. 2 – Náhradní schéma střídavého vedení s parametry R a X



Obr. č. 3 – Fázorový digram vedení

U_1 – napětí na začátku vedení (zdroje)

U_2 – napětí na konci vedení

I – proud ve vedení

φ_1 – fázový posun na začátku vedení

φ_2 – fázový posun na konci vedení

$R I$ – odporový úbytek napětí

$X I$ – indukční úbytek napětí

O úbytku napětí uvažujeme jako o algebraickém rozdílu mezi napětím na začátku vedení a napětím na konci vedení. Dle obr. 3 je pak fázový úbytek napětí

$$\Delta U = U_{1f} - U_{2f} = R \cdot I \cdot \cos \varphi_2 + X \cdot I \cdot \sin \varphi_2 \quad (\text{V}; \Omega; \text{A}; -; \Omega; \text{A}; -)$$

a sdružený úbytek napětí pak

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi_2 + X \cdot I \cdot \sin \varphi_2 \cdot \sqrt{3} \quad (\text{V}; \Omega; \text{A}; -).$$

Procentní úbytek napětí je dán poměrem úbytku napětí k napětí na začátku vedení.

$$\Delta u = \frac{(R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi) \cdot \sqrt{3}}{U} \cdot 100 \quad (\%; \text{A}; \Omega; -; \text{V}).$$

Vyjádříme-li úbytek napětí pomocí přenášeného výkonu, dosadíme za

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi} \quad (\text{A; W; V; } -)$$

a dostaneme procentní úbytek napětí

$$\Delta u = \frac{100 \cdot P}{U^2 \cos \varphi} (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad (\%; \text{ W; V; } -; \Omega; -; \Omega; -).$$

Dále platí vztahy

$$R = R_k \cdot l \quad \text{a} \quad X = X_k \cdot l \quad (\Omega; \text{ km}).$$

Kde R_kje měrný odpor vedení ($\Omega \text{ km}^{-1}$)

X_kje indukční reaktance vedení ($\Omega \text{ km}^{-1}$)

l je délka vedení v km

Vztah pro výpočet úbytku napětí na vedení je potom

$$\Delta U = I \cdot l \cdot (R_k \cos \varphi + X_k \cdot \sin \varphi) \quad (\text{V; A; km; } \Omega \cdot \text{km}^{-1}; -).$$

1.1.5 Dimenzování dle dovolené provozní teploty

Z hospodářských a bezpečnostních důvodů se vedení dimenzují tak, aby oteplení vodičů při provozu nedosahovalo příliš vysokých hodnot. Vysoké teploty způsobují změny v materiálu jádra (rekrytalizace), což má dopad na mechanické vlastnosti vodiče. Vysoké teploty způsobují také degradaci použité izolace. Z výše uvedených důvodů se normativně stanovuje nejvyšší dovolená trvalá provozní teplota ϑ_{dov} a proud I_n , kterým se smí při daných podmínkách vodič trvale zatěžovat. Dovolенý proud vodiče I_n je stanoven normou [9], nebo je udán přímo výrobcem. Kromě proudu, který protéká vodičem mají na oteplení vliv ještě další aspekty, jako jsou:

- Teplota prostředí ϑ_0 ($^{\circ}\text{C}$)
- Tepelný odpor půdy H ($^{\circ}\text{Cm/W}$)
- Uložení vodičů
- Druh prostředí (vzduch, voda, půda)

Dle normy [9] se předpokládá, že základní teplota okolí je:

- Pro kabely a vodiče ve vzduchu 30 °C
- Pro kabely a vodiče v zemi 20 °C

Pokud vodič pokládáme v odlišném prostředí, nežli je prostředí základní, je potřeba dovozený zatěžovací proud I_z dopočítat. To se provede tak, že se dovozený proud I_n přepočítá příslušnými koeficienty, které jsou uvedeny v normě [9].

Výsledná hodnota I_z se stanoví dle vztahu:

$$I_z = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \dots k_i \quad (\text{A}; -).$$

Kde I_n je jmenovitá hodnota proudové zatížitelnosti daného vodiče pro základní způsoby uložení,

$k_1, k_2, \dots k_i$ jsou přepočítávací součinitele respektující odlišnosti od základního prostředí (respektující prostředí vodiče, teplotu prostředí a způsob uložení vodičů).

1.1.6 Dimenzování průřezu vodiče dle hospodárnosti

Vedení mají být dimenzována tak, aby nebyly zatěžovány více než hospodárným proudem. Je to z důvodu udržení optimálních mezí ročních nákladů, které se skládají s nákladů na pořízení, provoz a údržbu.

Hospodárný průřez lze určit ze vztahu:

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T_z} \quad (\text{mm}^2; -; \text{A}; \text{hod}).$$

Kde: S ... je průřez jedné fáze vedení,

k ... součinitel závislý na materiálu jádra vodiče a na provedení izolace (dle ČSN 34 1610 [19]),

I_p ... výpočtový proud,

T_z ... doba plných ztrát za rok.

Hodnotu T_z získáme ze vztahu:

$$T_z = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \left(\frac{A}{P_p \cdot t} \right)^2 \right) \quad (\text{hod}; \text{Wh}; \text{W}; -; \Omega; -; \Omega; -).$$

Kde: t ...je počet provozních hodin zatížení,
 A ...je energie v provozu přenesená vedením za rok (kWh),
 P_p ...je výpočtové zatížení.

Hospodárný průřez se kontroluje pouze v případech, kdy počet hodin T_z za rok je vyšší než 1000 h a kdy se předpokládá životnost zařízení alespoň 10 let.

1.1.7 Dimenzování vodičů dle mechanické pevnosti

Vedení mají být dimenzována tak, aby odolaly mechanickému namáhání při běžném provozu. Mechanické namáhání nastává při montáži (např. při pokládce kabelového vedení), nebo v provozu (např. dynamické účinky zkratových proudů, působení povětrnostních vlivů).

Nejmenší dovolený průřez, s ohledem na mechanické namáhání vodiče určujeme dle normy [19].

1.1.8 Dimenzování vodičů na dynamické a tepelné účinky při zkratu

V případě zkratu na vedení jsou vodiče a kabely vystaveny tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu. Na tepelné účinky se musí kontrolovat všechny druhy a typy vedení (včetně kabelů). Při zkratu dochází k výraznému oteplení vodiče (i přes 200°C), což může mít za následek poškození izolace a případně i k vzniku požáru.

Na dynamické účinky se kontrolují převážně holé vodiče a přípojnice hlavně v místech, kde se dá předpokládat vytržení vodičů z úchyťů, nebo dotyk vodičů.

Vliv zkratového proudu můžeme eliminovat průřezem vodiče. Čím větší průřez vodiče, tím menší bude mít vodič odpor a nedojde tak k enormnímu nárůstu tepla. Proto při dimenzování vedení určuje minimální průřez vodičů S_{Kmin} , při kterém nedojde k ohřátí vodiče nad dovolenou mez ϑ_K až do doby reakce ochran a vypnutí poruchového stavu. Při výpočtu velikosti S_{Kmin} uvažujeme, vždy s maximální možnou dobou trvání zkratu t_k . Některé dovolené teploty ϑ_K jsou dány normou [10].

U výpočtů oteplení vodiče vlivem zkratového proudu jsou normou [12] stanoveny tyto předpoklady:

- neuvažujeme při výpočtu s vlivem magnetického pole vlastního vodiče a ani s vlivem magnetických polí blízkých paralelních vodičů
- elektrický odpor je lineárně závislý na teplotě
- měrné teplo vodiče je konstantní
- nepočítá se s odvodem tepla z vodiče, neboť ohřev se bere jako adiabatický

Při návrhu vedení musí platit podmínka, že skutečný průřez vodiče musí být roven, nebo větší, než je minimální dovolený (vypočtený) průřez vodiče,

$$S \geq S_{Kmin} \quad (\text{mm}^2).$$

Minimální zkratový průřez S_{Kmin} spočítáme dle vztahu:

$$S_{Kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K} \quad (\text{mm}^2; \text{A}; \text{s}).$$

Kde I_{th}je ekvivalentní oteplovací zkratový proud.

T_Kje maximální doba trvání zkratu,

K je koeficient daný provozní teplotou a dovolenou teplotou při zkratu.

Koeficient K určíme ze vztahu:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c \cdot (20 + \beta_t)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\vartheta_K - \vartheta_i}{\beta + \vartheta_i} \right)} \quad (\text{As}^{1/5} \cdot \text{mm}^{-2}).$$

Kde Q_c ...je objemová tepelná kapacita materiálu vodiče ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$),

β_tje reciproční hodnota teplotního součinitele odporu vodiče ($^\circ\text{C}$),

ρ_{20}je specifický odpor vodiče při 20°C ($\Omega\text{mm}^2 \text{m}^{-1}$),

ϑ_Kje maximální dovolená teplota při zkratu ($^\circ\text{C}$),

ϑ_ije počáteční teplota vodiče ($^\circ\text{C}$).

Proud I_{th} určíme za vztahu, který uvádí ČSN EN 60909-0 [13]

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad (\text{A}).$$

Kde I_k'' je počáteční rázový zkratový proud,
 mje činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu,
 nje činitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu.

Jedná se o efektivní hodnotu proudu s konstantní amplitudou, který za dobu trvání zkratu vyvine stejné množství tepla jako zkratový proud s nejvyšší stejnosměrnou složkou.

Pro výpočet I_{th} je potřeba určit velikost počátečního rázového zkratového proudu I_k'' . Jedná se o proud, který vzniká při zkratu v dotčeném místě rozvodu na počátku zkratového děje. Výpočet I_k'' se všeobecně provádí pro třífázový zkrat, protože u tohoto zkratu je předpoklad nejhorších účinků. Dále se musí stanovit činitele m a n , kteří reprezentují tepelné účinky střídavé a stejnosměrné složky zkratového proudu. Postupy výpočtu počátečního rázového zkratového proudu a stanovení činitelů m a n jsou opět uvedeny v ČSN EN 60909-0 [13].

Počáteční rázový zkratový proud I_k'' získáme ze vztahu:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_C} \quad (\text{A; V; } \Omega).$$

Kde $\frac{cU_n}{\sqrt{3}}$ je napětí ekvivalentního zdroje,

Z_C je zkratová impedance k místu zkratu.

Celková impedance Z_C je součet všech impedancí od zdroje až do místa poruchy a lze ji zapsat jako:

$$Z_C = Z_G + Z_T + Z_V + \dots Z_n \quad (\Omega).$$

Kde Z_G je impedance zdroje (např. generátoru),

Z_T je impedance transformátoru,

Z_V je impedance vedení.

Pokud neznáme hodnoty impedance sítě vn , ale máme k dispozici hodnotu souměrného třífázového rázového zkratového výkonu sítě v místě připojení S''_{k3} , můžeme tuto impedanci odvodit ze vztahu:

$$Z_s = \frac{cU_n^2}{S_{k3}''} \quad (\Omega ; V; VA).$$

Kde c je napěťový součinitel (hodnoty jsou uvedeny v [13]),

U_n je jmenovité napětí sítě,

S_{k3}'' ... je souměrný třífázový rázový zkratový výkon sítě v místě připojení.

Hodnoty parametrů rezistence R_s a reaktance X_s lze odvodit dle těchto vztahů:

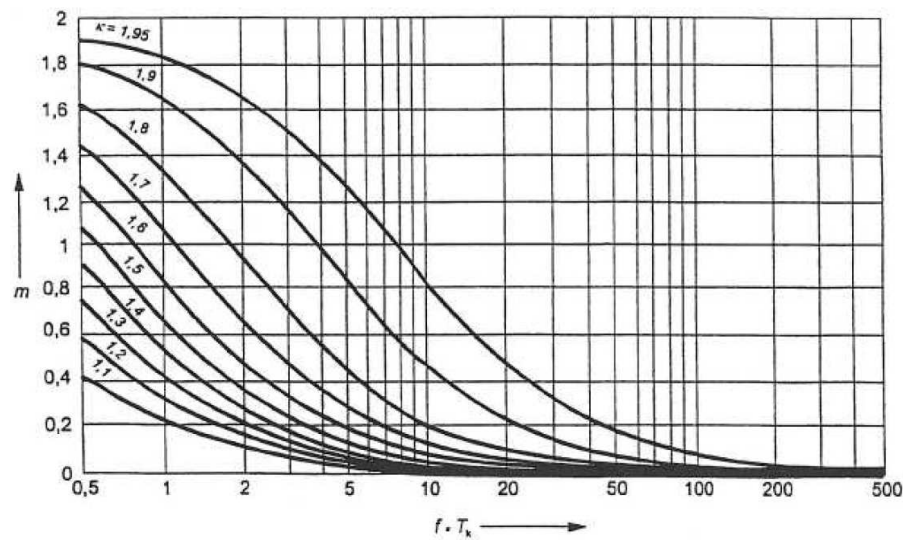
$$X_s = 0,995 \cdot Z_s \quad (\Omega),$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_s \quad (\Omega).$$

Určení součinitelů m a n se provádí na základě odečtu z grafů, které jsou uvedeny v normě [13]. Součinitel m určíme odečtem z grafu na základě součinu frekvence sítě f a doby trvání zkratu T_k a dle hodnoty součinitele κ . Součinitel κ lze získat ze vztahu, který je uveden v normě [13].

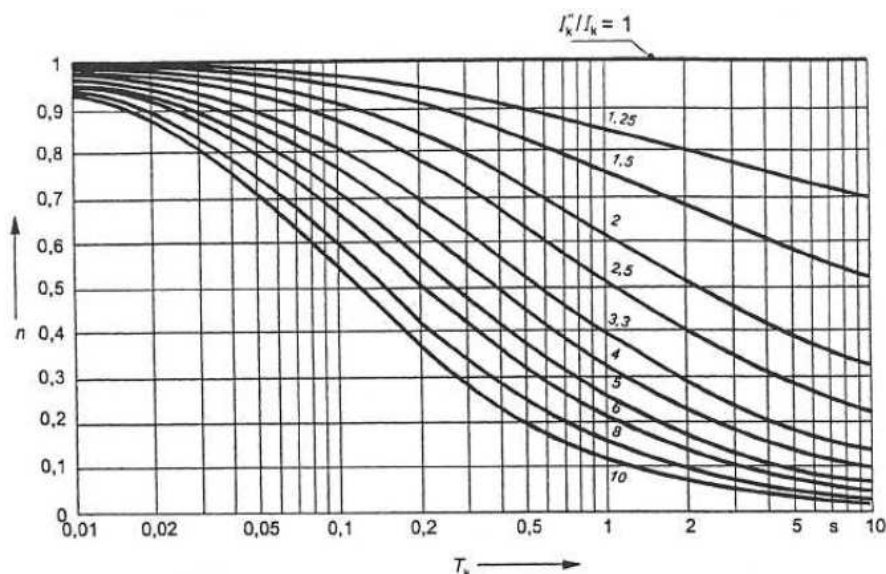
$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} \quad (-; \Omega; \Omega).$$

Přičemž hodnoty R a X jsou získány z celkové impedance Z_c .



Obr. č. 4 – Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [13]

Součinitel n se získá z grafu v obr. 5 s pomocí hodnoty T_k a podílu I_k'' / I_k , kde I_k je ustálený zkratový proud pro každý zkrat. Podle normy [13] můžeme pro distribuční sítě (elektricky vzdálené zkraty) obvykle použít hodnotu $n = 1$.



Obr. č. 5 – Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [13]

1.2 Výpočetní metody používané při návrhu jištění v sítích nn

Proti účinkům zkratových proudů a nadproudů, jsou v sítích nn používány pojistky, které jsou umístěny buď v DTS, ve venkovní síti, nebo v rozpojovacích a jisticích skříních. Základním požadavkem na pojistky je jistit vedení tak, aby nemohlo být přetíženo, nemohlo dojít k jeho destrukci a k ohrožení okolí tepelnými účinky elektrického proudu. Je potřeba vždy ověřit grafickou nebo výpočetní metodou, že jisticí prvek odpojí vodič nebo, kabel dříve, než jádro jištěného vodiče, nebo kabelu dosáhne nejvyšší dovolené teploty při přetížení, nebo působení zkratového proudu. Pro správné přiřazení jisticích prvků lze využít vypínací charakteristiky jisticích prvků, které jsou rámcově předepsány technickými normami a přesně je udávají výrobci. S těmito charakteristikami v koordinaci s ČSN 33 2000-5-523 [9], lze přiřadit běžně používané jisticí prvky k nejběžněji používaným vodičům a kabelům. Metoda přiřazení jisticího prvku k vedení je více popsána v ČSN 33 2000-4-43[10].

Jisticí prvky použité v síti nn musí dále vyhovovat požadavkům ČSN 33 2000-4-41[8].

Běžně se v praxi pro správné přiřazení jisticích prvků využívá tabulek z výše uvedených ČSN, technických specifikací a ampérsekundových charakteristik dodávaných výrobcem jisticích prvků a vodičů bez potřeby složitých výpočtů. Přesto zde uvádím několik základních výpočetních metod, které lze při návrhu jištění využít.

1.2.1 Impedance smyčky

Některé z ochran před nebezpečným dotykem neživých částí pracují na principu odpojení vadné části zařízení nejbližší předřazenou nadproudovou ochranou, zejména pak ochrana samočinným odpojením od zdroje. Impedance poruchového obvodu musí být s dimenzí jisticího prvku v takovém vztahu, aby vadné zařízení bylo odpojeno dříve, než dojde k poškození zdraví postiženého člověka. Impedanci zkratové smyčky lze u stávajících sítí běžně změřit, ale při návrhu nového vedení se musí určit výpočtem, nebo odečíst z tabulek. Dle ČSN 33 2000-4-41 [8] musí být splněna podmínka:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 \quad \Rightarrow \quad Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}.$$

Kde Z_S je impedance poruchové smyčky zahrnující zdroj fázový vodič až

k místu poruchy a ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem,

I_a je proud zajišťující samočinné působení odpovídajícího ochranného prvku v době stanovené normou (v tabulce) jako funkce jmenovitého napětí U_0 , nebo v dohodnuté době nepřesahující dobu 5s,

U_0 je jmenovité střídavé napětí (efektivní) proti zemi.

Impedance poruchové smyčky Z_S je rovna součtu impedancí fázového a ochranného vodiče Z_V (včetně kabelového svodu od DTR) a impedance transformátoru Z_T .

$$Z_S = Z_V + Z_T \quad (\Omega),$$

Impedance vedení Z_V je:

$$Z_V = R_V + jX_V \quad (\Omega),$$

přičemž

$$R_V = R_k \cdot l \quad \text{a} \quad X_V = X_k \cdot l \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{km}),$$

kde R_V je činný odpor vedení,

X_V je reaktance (indukční) vedení,

R_k ekvivalentní odpor vedení,

X_k ekvivalentní reaktance vedení,

l délka vodiče.

Impedance transformátoru Z_T je dána vztahem:

$$Z_T = \frac{u_k}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_n} \quad (\Omega; \% ; V; VA).$$

Kde Z_Tje impedance transformátoru na krátko,

U_{rT}je jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí,

S_{rT}je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru,

u_kje jmenovité napětí nakrátko.

Pokud již známe hodnotu impedance poruchové smyčky Z_s , můžeme určit maximální hodnotu jistícího prvku pro příslušný jištěný úsek dle tab. 1.

Tab. č. 1 – Maximální hodnoty impedance Z_c zkratové smyčky pro předřazenou pojistku

Z_c (Ω)	Pojistka (A)	Z_c (Ω)	Pojistka (A)
0,184 až 0,230	400	0,921 až 1,150	80
0,231 až 0,263	350	1,151 až 1,460	63
0,264 až 0,306	300	1,461 až 1,840	50
0,307 až 0,370	250	1,841 až 2,300	40
0,371 až 0,410	225	2,301 až 2,880	32
0,411 až 0,460	200	2,881 až 3,680	25
0,461 až 0,575	160	3,681 až 4,600	20
0,576 až 0,735	125	4,601 až 5,750	16
0,736 až 0,920	100	5,751 až 9,200	10

Tímto způsobem je jistící prvek navržen dle ČSN 33 2000-4-41[8], ale pojistku musíme ještě zkontrolovat na dovolené zatížení vodičů a kabelů dle ČSN 33 2000-5-523[9].

1.2.2 Chránění proti nadproudům

Jistící prvek musí také splnit podmínku přerušení každého přetížení ve vodičích dříve, než dojde ke škodlivému oteplení izolace, spojů koncovek, nebo okolí vedení. Funkční charakteristika jistícího prvku vedení proti přetížení musí vyhovět těmto dvěma požadavkům:

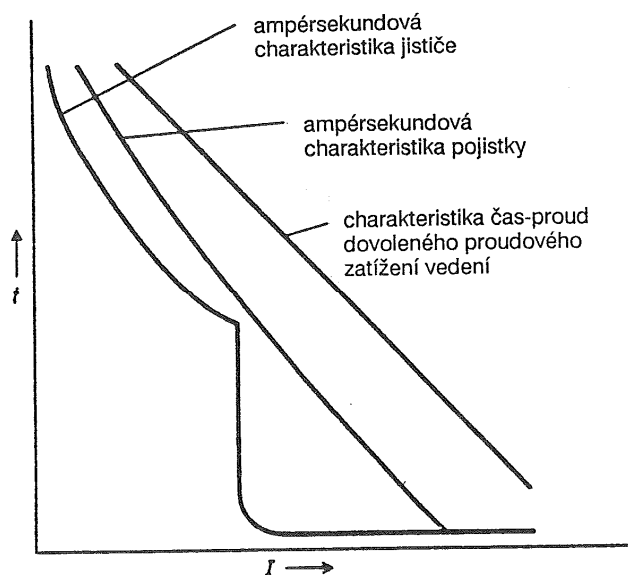
$$1) I_p \leq I_n \leq I_{dov} \quad (A)$$

$$2) I_n \leq K \cdot I_{dov} \quad (A).$$

- Kde I_p je proud použitý ve vedení,
 I_{dov} je dovolené proudové zatížení dle [9],
 I_n je jmenovitý proud jistícího prvku,
 K je součinitel přiřazení jistícího prvku proti přetížení k vedení.

Určit hodnotu součinitele K je poměrně pracné, ale některé metody jak, tento součinitel určit, jsou uvedeny v ČSN 33 2000-4-43[10].

Vzájemné přiřazení dovoleného proudového zatížení vedení v závislosti na čase a ampérsekundové charakteristice pojistky a jističe je znázorněno na obr. 6.



Obr. č. 6 – Ampérsekundové (vypínací) charakteristiky jističe a pojistky a dovolený proud ve vedení

1.2.3 Chránění proti zkratovým proudům

Jistící prvky slouží nejen k ochraně proti účinkům nadproudů a přetížení, ale i proti zkratům. Jistící prvky musí být schopny přerušit každý zkratový proud ve vodičích obvodu dříve, než by se takový proud mohl stát nebezpečným v důsledku tepelných, nebo mechanických účinků vznikajících ve vodičích a spojích. Jistící prvek musí splnit následující dvě podmínky:

- jeho vypínací schopnost nesmí být menší než předpokládaný zkratový proud v místě, kde je instalován

- vypínací čas každého zkratového proudu v kterémkoliv místě obvodu nesmí být větší, než čas, ve kterém vodiče dosáhnou přípustnou teplotní mez.

Pro zkraty s dobou trvání do 5 s se doba, během níž musí být zkrat vypnut, určí dle vztahu:

$$\sqrt{t_k} = k \cdot \frac{S}{I_{th}} \quad (\text{s}; \text{mm}^2; \text{A}).$$

Kde k je součinitel respektující rezistivitu, teplotní koeficient a tepelnou kapacitu materiálu vodiče a odpovídající počáteční a konečnou teplotu,

t_kje doba trvání zkratu,

Sje průřez vodiče,

I_{th}je ekvivalentní oteplovací proud.

Zde je uvedeno několik hodnot součinitele k uvedených v ČSN 33 2000-4-43 ed. 2: [10]

- 115 pro Cu vodiče izolované PVC
- 135 pro Cu vodiče izolované obyčejnou pryží, butylovou pryží, síťovým polyetylénem a etylén propylenovou pryží
- 74 pro Al vodiče izolované PVC
- 87 pro Al vodiče izolované obyčejnou pryží, butylovou pryží, síťovým polyetylénem a etylén propylenovou pryží
- 115 pro cínem pájené spoje u Cu vodičů, odpovídající teplotě 160°C

Předpokládaný zkratový proud musí být stanoven v každém příslušném místě vedení. Lze tak učinit buď měřením, nebo výpočtem.

Výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{th} a efektivní hodnoty počátečního souměrného zkratového proudu I_k'' jsou uvedeny v předchozích kapitolách.

1.2.4 Ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí u kabelového rozvodu nízkého napětí

Dle DSO ME 0147 [16] musí být základní ochrana neživých částí provedena dle PNE 33 0000-1 samočinným odpojením od zdroje nadproudovými jistíci prvky (pojistky, jističe).

1.3 Výpočtové programy na PC

V posledních letech se stále častěji při navrhování nových sítí a rekonstrukcí, používá výpočetních programů speciálně vyvinutých pro tento účel. Jejich velkou výhodou je velmi rychlé a přesné řešení výpočetních úloh, které by se manuálně řešily mnohonásobně déle. Použití výpočetní techniky snižuje také riziko zavlečení chyby do výpočtů. Tyto programy nám umožňují řešení návrhu sítě ve více variantách. Základem těchto programů jsou výpočetní moduly, které řeší a vyhodnocují napěťové a proudové poměry v síti řešením matic koeficientů soustavy rovnic, charakterizující vlastnosti a konfiguraci dané sítě. Současné programy již mají zakomponovanou i jistou logiku, která nám umožňuje nejen kontrolu sítě, ale i samočinný návrh některých parametrů co do jejich velikosti. Většinou jsou tyto výpočetní softwary vybaveny univerzálním rozhraním, které umožňuje přístup a spolupráci s databázemi technických systémů, jako jsou TIS a GIS. Z těchto technických systémů software čerpá zdrojová data, což ulehčuje a urychluje zadávání potřebných údajů do programu. Počítače a výpočtové softwary zefektivnily výpočty zauzlených soustav a víceméně již odsunuly klasické ruční metody do pozadí.

Pro účely této práce použit výpočetní program *PASS Off-Line Bizon* (verze 4.43; build 429) od firmy DAISY s.r.o., který je určený pro výpočty ustálených chodů energetických sítí všech napěťových hladin. Výpočet probíhá modifikovanou metodou Newton-Raphson, čímž je zaručena rychlá a spolehlivá konvergence výpočtu. Výpočetní program jsem využil pro návrh a kontrolu kabelových rozvodů *nn* a pro návrh a kontrolu jištění namodelované sítě *nn*. Program při výpočtech využívá vlastní databáze síťových prvků se zadanými PAS parametry, které kombinuje s daty zadanými uživatelsky (P, Q, I, meze U atp.). Program má v sobě implementovány kontrolní nástroje pro vyhodnocení sledovaných parametrů navrhované sítě, jako jsou úbytky napětí, překročení mezních hodnot proudové zatížitelnosti, nedodržení času reakce jisticích prvků mnoho dalších kritérií, jejichž meze se dají uživatelsky nastavit. Program při výpočtech zohledňuje také platné normy a legislativní požadavky.

Výstupem z výpočtů jsou podrobné textové protokoly a tabulky, nebo lze výsledky promítnout graficky přímo do modelu navrhované sítě např. probarvením prvku dle kvality hodnoty, dle velikosti hodnoty, nebo zadaných kritérií.

2 Zpracování projektu

Zpracování zadaného projektu lze rozložit do n částí. Nejprve je potřeba určit výkonové nároky lokality s novými RD, dle kterých bude proveden návrh přípojky *vn* a návrh velikosti DTR. Dále je nutné určit výkonové nároky jednotlivých RD a na základě této informace se provede nadimenzování jednotlivých vývodů *nn* z DTS. Nakonec se provede návrh jištění sítě *nn* proti přetížení a zkratu.

Stanovení velikosti DTR a návrh přípojky *vn* pro DTS bude proveden klasickými výpočetními metodami. Návrh rozvodů *nn* a jištění sítě *nn*, bude vzhledem k rozsahu a složitosti zapojení sítě proveden ve výpočetním programu PASS Off-Line BIZON.

2.1 Vstupní data projektu

Projekt řeší návrh elektrifikace nové lokality určené k výstavbě 45 RD ve dvou variantách.

- a) Pro stupeň elektrizace A (základní spotřebiče)
- b) Pro stupeň elektrizace C (základní spotřebiče + vaření pomocí EE + ohřev TUV + vytápění pomocí EE)

Pro každou variantu je zpracován samostatný návrh, který řeší tyto body:

- Výpočet zatížení lokality dle požadovaného stupně elektrifikace
- Návrh velikosti a počtu DTS pro napájení dané lokality
- Návrh napájecího vedení VN pro danou lokalitu
- Návrh rozvodů nn pro 45 RD a pro danou variantu elektrifikace
- Návrh jištění rozvodů nn pro danou variantu elektrifikace

2.1.1 Základní informace

Napěťová soustava:

- VN: 35 kV, IT, 50 Hz
- NN: 400/230 V, TN/C, 50 Hz

Prostředí: Venkovní dle ČSN 33 0300

Zkratový výkon v místě připojení na hladině vn:

$$- S''_{k1} = 173,9 \text{ MVA}$$

$$- S''_{k3} = 295,2 \text{ MVA}$$

Účinník: 0,95

Čas vypnutí vn vývodu při zkratu:

- Reakce ochrany do 20 ms
- Čas vypnutí (reakce ochrany + vybavení vypínače) do 50 ms

Počet RD: 45 ve čtyřech provedeních

- a) Typ Klasik....20x
- b) Typ Premier....5x
- c) Typ Prima.....10x
- d) Typ Hit.....10x

Instalovaný výkon P_i jednotlivých RD:

- Varianta I – stupeň elektrifikace A

Tab. č. 2 – instalované výkony pro RD – stupeň elektrifikace A

Typ RD	Počet	$P_{\text{osvětlení}}$ [kW]	$P_{\text{ostatní}}$ [kW]	P_i [kW]
Klasik	20	2,5	8	10,5
Premier	5	2,5	8	10,5
Prima	10	2	6	8
Hit	10	2	6	8

- Varianta II – stupeň elektrifikace C

Tab. č. 3 – instalované výkony pro RD – stupeň elektrifikace C

Typ RD	Počet	$P_{\text{osvětlení}}$ [kW]	$P_{\text{el. varení}}$ [kW]	P_{ohrevTUV} [kW]	$P_{\text{el. vytápění}}$ [kW]	$P_{\text{ostatní}}$ [kW]	P_i [kW]
Klasik	20	2,5	6	3	23,5	6	41
Premier	5	2,5	6	3	18,5	6	36
Prima	10	2	6	2	9	4	23
Hit	10	2	6	2	14	4	28

2.2 Varianta I. - stupeň elektrizace A

2.2.1 Výpočet zatížení pro danou lokalitu

Instalovaný a soudobý příkon jednoho RD

Nejprve je potřeba určit instalovaný příkon P_i jednoho RD, který je součtem výkonů všech předpokládaných spotřebičů v objektu.

Pro variantu I. je P_i jednotlivých RD dán rovnicí:

$$P_i = P_{\text{osvětlení}} + P_{\text{ostatní}}$$

Hodnoty $P_{\text{osvětlení}}$, $P_{\text{ostatní}}$ a P_i pro jednotlivé RD jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Nyní můžeme přejít k výpočtu soudobého příkonu P_b , který je dán vztahem:

$$P_b = P_i \cdot \beta$$

Dle doporučení DSO ME 0083[14] stanovíme hodnotu koeficientu soudobosti β na 0,8. Tím bude zaručena dostatečná rezerva proudové zatížitelnosti přívodního vedení vn a navrhovaného DTR. Po dosazení hodnot P_i a β do výše uvedeného vztahu získáme hodnoty P_b pro jednotlivé RD:

- Typ Klasik $P_{bkl} = 10,5 \cdot 0,8 = \underline{8,4 \text{ kW}}$
- Typ Premier $P_{bpr} = 10,5 \cdot 0,8 = \underline{8,4 \text{ kW}}$
- Typ Prima..... $P_{bpa} = 8 \cdot 0,8 = \underline{6,4 \text{ kW}}$
- Typ Hit..... $P_{bhi} = 8 \cdot 0,8 = \underline{6,4 \text{ kW}}$

Pokud vynásobíme hodnoty P_b počtem jednotlivých typů RD, získáme tyto hodnoty:

$$\sum_1^n P_{bkl} = 168 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bpr} = 42 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bpa} = 64 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bhi} = 64 \text{ kW}$$

Výpočtové zatížení P_p

Pro určení výpočtového zatížení pro 45 RD použijeme vztah:

$$P_p = \sum_1^n P_b \cdot \beta_n$$

Po úpravě nabyde vztah tvaru:

$$P_p = \left(\sum_1^n P_{bkl} + \sum_1^n P_{bpr} + \sum_1^n P_{bpa} \sum_1^n P_{bhi} \right) \cdot \beta_n$$

Stanovíme velikost koeficientu soudobosti β_n a to dle Ruscuova vzorce

$$\beta_n = \beta_\infty + (1 - \beta_\infty) \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 0,2 + (1 - 0,2) \cdot \frac{1}{\sqrt{45}} = \underline{\underline{0,32}}.$$

Dosazením známých hodnot do vztahu pro výpočet P_p získáme soudobé zatížení celé lokality

$$P_p = (168 + 42 + 64 + 64) \cdot 0,32 = 338 \cdot 0,32 = \underline{\underline{108,16 \text{ kW}}}.$$

Výpočtový proud I_p

Na základě spočítané hodnoty P_p , dopočítáme výpočtový proud I_p potřebný k návrhu přípojky *vn*. Výpočtový proud I_p získáme dosazením do rovnice:

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 108,16}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = \underline{\underline{1,87 \text{ A}}}.$$

Velikost instalovaného výkonu DTR

Dalším krokem návrhu je určení velikosti instalovaného výkonu a počtu DTR potřebných k napájení dané lokality. Hodnotu potřebného instalovaného výkonu DTR získáme dosazením do rovnice:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi}.$$

Koeficient využití DTR γ , by neměl dle doporučení DSO ME 0083[14] přesáhnout hodnotu 70% ze jmenovitého výkonu DTR. Tzn. že γ je rovna hodnotě 0,7.

$$S_T = \frac{108,16}{0,7 \cdot 0,95} = \underline{\underline{162,65 \text{ kVA}}}$$

Dle spočtené hodnoty S_T můžeme zvolit optimální velikost DTR. S přihlédnutím k ekonomickým aspektům a zavedené praxi v DSO je vybrán jeden DTR s nejbližší vyšší hodnotou jmenovitého výkonu S_n . Dle doporučení DSO ME 150 [15] volíme jeden transformátor 35/0,42 kV o výkonu 250kVA. Parametry zvoleného DTR jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. č. 4 – parametry transformátoru 35/0,42 kV o výkonu 250 kVA

Název údaje	Hodnoty
Jmenovitý zdánlivý výkon S_n	250 kVA
Vstupní napětí U_{n1}	35 000 \pm 2 x 2,5 % V
Výstupní napětí U_{n2}	420/242 V
Ztráty naprázdno ΔP_0	425 W
Ztráty nakrátko ΔP_k	3700 W
Napětí nakrátko u_k	6 %
Zapojení vinutí	Dyn1
Maximální hladina akustického výkonu L_{WA}	52 dB
Celková váha	1070 kg
Rozměry d x š x v	1100 x 811 x 1440 mm

Vybraný DTR musí splnit ještě kritérium:

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \Rightarrow 250kVA \geq 162,65kVA.$$

Toto kritérium je splněno.

Nyní dopočítáme skutečný součinitel využití γ_T a následně ověříme, zda navržené řešení vyhovuje podmínce $\gamma \geq \gamma_T$.

Skutečný součinitel využití získáme dosazením do vztahu:

$$\gamma_T = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{108,16}{1 \cdot 250 \cdot 0,95} = \underline{\underline{0,46}}$$

Za předpokladu, že γ nemá přesáhnout hodnotu 0,7 je splněna i tato podmínka.

$$\gamma \geq \gamma_T \Rightarrow 0,7 \geq 0,45$$

Návrh přípojky vn

Vzhledem k tomu, že DTS bude provedena jako bloková z venku obsluhovaná (kompaktní) DTS a vzhledem k zavedené praxi v DSO, bude připojení provedeno kabelovým svodem ze stávajícího vedení 35 kV č.7435. Dle metodiky DSO ME 0148 [17] zvolíme kabel 35 kV AXEKVCE 1x70 mm², což je dle standardů DSO nejmenší typizovaný průřez silového kabelu s hliníkovým jádrem žil, pro napětovou hladinu 35 kV. Parametry zvoleného kabelu jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. č. 5 – parametry kabel 35 kV AXEKVCE 1x70 mm²

Název údaje	Hodnoty
Jmenovité napětí U _o /U	20/35 kV
Jmenovitý průřez S	1x70/16 mm ²
Činný odpor jádra R _v	0,443 Ohm/km
Kapacita C	0,15 mF/km
Indukčnost v Δ L _Δ	0,45 mH/km
Indukčnost v zemi (paralelně) L	0,70 mH/km
Ekvivalentní zkratový proud I _k	6,6 kA
Časová oteplovací konstanta (paralelně) t	258 s
Proudová zatížitelnost v zemi (paralelně) I _n	258 A

Nejprve zkontrolujeme, zda vybraný vodič vyhovuje podmínce

$$I_{dov} \geq I_p \Rightarrow 258A > 1,87A.$$

Tato podmínka je splněna.

Kabel bychom měli zkontrolovat, zda vyhovuje podmínce dovoleného oteplení. Vzhledem k tomu že kabel je uložen v běžném prostředí a jeho hodnota proudové zatížitelnosti I_n několikanásobně překračuje hodnotu výpočtového proudu I_p není nutné tento výpočet provádět. Více o tomto výpočetním postupu je uvedeno v teoretické části práce v kapitole 1.1.5. V tomto případě lze konstatovat, že podmínka dovoleného oteplení je splněna.

Úbytek napětí

Nyní provedeme kontrolu úbytků napětí na daném vodiči.

Úbytek napětí daného vodiče získáme dosazením do vztahu:

$$\Delta U = R_v \cdot l \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X_v \cdot l \cdot I \cdot \sin \varphi.$$

Vzhledem k tomu, že výrobce neuvádí hodnotu X_v , je nutné ji dopočítat z hodnoty indukčnosti L_v , která je výrobcem uvedena v technické specifikaci kabelu (viz. tab. č. 5).

$$X_v = j\omega L_v = j2\pi \cdot 50Hz \cdot 0,7mH \cdot km^{-1} = \underline{\underline{0,2199\Omega \cdot km^{-1}}}.$$

Nyní již známe všechny potřebné parametry a můžeme dosadit do vztahu pro výpočet úbytků napětí

$$\Delta U = 0,4430 \cdot 0,076 \cdot 1,88 \cdot 0,95 + 0,2199 \cdot 0,076 \cdot 1,88 \cdot \sin 18,19 = \underline{\underline{0,07V}}.$$

Procentní určení úbytku napětí získáme ze vztahu:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,07}{35 \cdot 10^3} \cdot 100 = \underline{\underline{0,3 \cdot 10^{-3}\%}}.$$

Vodič 35 kV AXEKVCE 1x70 mm² splňuje podmínky normy ČSN EN 50160. Výsledný úbytek napětí $0,3 \cdot 10^{-3}\% < 5\%$ daných pro vedení *vn*.

Dimenzování dle tepelných účinků zkratového proudu

Dalším krokem návrhu je kontrola, zda vodič vyhovuje požadavkům na dimenzování dle tepelných účinků zkratového proudu. Musí platit podmínka, že skutečný průřez vodiče S je větší, nebo roven minimálnímu průřezu vodiče S_{Kmin} . Abychom mohly provést tuto kontrolu dle postupu uvedeného v kapitole 1.1.8, je nejprve nutné dopočítat celkovou impedanci Z_C , která je tvořena impedancí sítě *vn* v místě připojení Z_S a impedancí zvoleného vodiče Z_V .

Impedanci sítě v místě připojení k DS spočítáme na základě hodnoty souměrného zkratového výkonu S''_{k3} , kterou máme zadanou pomocí vztahu:

$$Z_S = \frac{cU_n^2}{S''_{k3}}$$

Dosadíme a spočítáme

$$Z_S = \frac{1,1 \cdot (35 \cdot 10^3)^2}{295,2 \cdot 10^6} = \underline{\underline{4,5647 \angle 84,29^\circ \Omega}}.$$

Za napěťový součinitel c dosadíme hodnotu 1,1, která je pro napěťovou hladinu 35 kV doporučena dle [13]

Celkovou impedanci kabelu spočítáme z hodnot, které uvádí výrobce v technickém listě k danému vodiči (viz. tab. č.4).

$$Z_k = l \cdot (R_k + X_k)$$

$$X_k = j\omega L = j2\pi f \cdot L = j2\pi \cdot 50 \cdot 0,7 = 0,2199 \Omega \cdot km^{-1}$$

$$Z_k = 0,076 \cdot (0,4430 + j0,2199) = \underline{\underline{0,0376 \angle 26,42^\circ \Omega}}$$

Nyní když známe hodnoty impedancí sítě a vodiče, dosadíme do vztahu pro výpočet

celkové impedance:

$$Z_C = Z_S + Z_k$$

$$Z_C = 4,5647 \angle 84,29^\circ + 0,0376 \angle 26,42^\circ = \underline{\underline{4,5846 \angle 83,89^\circ \Omega}}$$

Hodnoty rezistence a reaktance jsou:

$$R_c = 0,4879$$

$$X_c = j4,5586$$

Další hodnotu, kterou potřebujeme získat je hodnota počátečního rázového zkratového proudu I_k'' . Ve výpočtu použijeme opět napěťový součinitel $c = 1,1$ a vypočítanou hodnotu celkové impedance Z_C . Hodnotu I_k'' získáme dosazením do vztahu:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_C} = \frac{1,1 \cdot 35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,5846} = \underline{\underline{4848,38 \text{ A}}}$$

Vypočítanou hodnotu I_k'' použijeme pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu I_{th} , který je nutný k výpočtu minimálního průřezu s ohledem na dovolené oteplení vodiče při účincích zkratového proudu. Ještě je nutné pro výpočet I_{th} určit součinitele m a n . Abychom mohli určit součinitel m , musíme nejprve vypočítat součinitel κ dle vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98e^{-3(0,4879/4,5533)} = \underline{\underline{1,73}}$$

Hodnoty rezistance R a reaktance X jsou získány z celkové impedance Z_C . Součin frekvence sítě f a doby trvání zkratového proudu T_k , který potřebujeme k určení součinitele m , je:

$$50 \text{ Hz} \cdot 0,05 \text{ s} = \underline{\underline{2,5}}$$

Nyní můžeme pomocí grafu v obr. 4 určit součinitel m , který má velikost

$$m = \underline{\underline{0,6}}$$

Součinitel n můžeme stanovit dle grafu v obr. 5, ale dle normy [13] se může pro distribuční síť použít hodnota $n = 1$.

Nyní již máme potřebné hodnoty a můžeme dosadit do vztahu pro výpočet I_{th}

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 4848,38 \cdot \sqrt{0,6+1} = \underline{\underline{6132,77 \text{ A}}}$$

Poslední neznámou hodnotou do vztahu pro výpočet S_{Kmin} je velikost koeficientu K ,

který určíme ze vztahu:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c \cdot (20 + \beta)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\vartheta_f - \vartheta_i}{\beta + \vartheta_i}\right)}$$

Materiálové konstanty pro Al:

$$Q_c = 2,5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$\beta = 228 \text{ °C}$$

$$\rho_{20} = 0,02826 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \text{mm}^2 \text{ m}^{-1}$$

Maximální provozní teplota a maximální teplota při zkratu jsou podle [10]:

$$\vartheta_f = 250 \text{ °C}$$

$$\vartheta_i = 90 \text{ °C}$$

Vztah pro výpočet velikosti koeficientu K po dosazení získá tvar:

$$K = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot (20 + 228)}{0,02826 \cdot 10^{-6}} \ln\left(1 + \frac{250 - 90}{228 + 90}\right)}$$

Dosadíme do vztahu pro výpočet minimálního zkratového průřezu S_{Kmin}

$$S_{Kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K}$$

$$S_{Kmin} = \frac{6132,77 \cdot \sqrt{0,05}}{\sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot (20 + 228)}{0,02826 \cdot 10^{-6}} \ln\left(1 + \frac{250 - 90}{228 + 90}\right)}} = \underline{\underline{14,5 \text{ mm}^2}}$$

Nyní můžeme konstatovat, že podmínka $S \geq S_{Kmin} \Rightarrow 70 \geq 14,4$ je splněna.

Hospodárný průřez

Dále bychom měly provést kontrolu, zda vodiče nejsou zatěžovány více než hospodárným proudem. Hospodárný průřez S_h lze určit ze vztahu:

$$S_h = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T_z}$$

Dle ČSN 34 1610 [19] je součinitel k pro Al $0,0168$ a dobu plných ztrát T_z se spočte dle vztahu:

$$T_z = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \left(\frac{A}{P_p \cdot t} \right)^2 \right).$$

Vzhledem k tomu, že se držíme standardů DSO, kdy je průřez a typ vodiče předepsán, nemusíme tento výpočet provádět. Více o postupu výpočtu hospodárného průřezu S_h je uvedeno v teoretické části, kapitola 1.1.6.

2.2.2 Návrh rozvodů nn

Jak již bylo poznamenáno na úvod této kapitoly, je návrh rozvodů nn proveden ve výpočetním programu „PAS Off-Line Bizon v 4.43 buld 249“ od firmy DAISY, s.r.o.

Program ve svých databázích obsahuje parametry standardně používaného zařízení v DSO (vodiče, DTR, jistící prvky, atd.), a tyto databázové údaje jsou použity při návrhu.

Výpočtové zatížení se pro návrh rozvodů *nn* nemění a je tedy $108,16 \text{ kW}$. Stejně tak zůstává stejný soudobý příkon P_b pro daný typ RD a pro daný stupeň elektrizace a taktéž hodnota koeficientu soudobosti β_n .

Postup návrhu

Postup návrhu ve výpočetním programu se může v závislosti na velikosti, charakteru a nárocích lokality lišit. Při zpracování tohoto návrhu byl postup proveden v následujících bodech:

- Než začneme s návrhem, je potřeba do modelu ve výpočetním programu načíst polohopisnou podkladovou mapu, nad kterou budeme kreslit návrh rozvodů *nn*.
- Na vybrané místo v mapě se umístí objekt DTS s navrženým DTR s požadovanými parametry. V našem případě to je 1 x DTR ELIN 35/0,42kV o výkonu 250kVA. Objekt DTS kromě DTR obsahuje už i primární a sekundární přípojnice. Primární přípojnice 35kV je typově zadaná jako napájecí uzel, a chová se jako tvrdý zdroj napětí. Sekundární přípojnice 0,4kV je do modelu zadaná jako odběrový uzel.
- Dle uvažovaného rozmístění plánovaných RD nakreslíme potřebné množství přípojkových kabelových skříní. Tyto objekty také obsahují přípojnice 0,4kV, typově zadanou jako odběrový uzel. Pokud to situace umožňuje je použita jedna přípojková

kabelová skříň *nn* pro dva plánované RD. Podle požadavků na způsob napájení a plánované provozní zapojení se do modelu zakreslí ještě rozpojovací skříň *nn*.

- Následně zadáme do jednotlivých přípojnic hodnoty uvažovaného soudobého příkonu P_b a koeficientu soudobosti β_n .
- Přípojnice v přípojkových a rozpojovacích skříňích, se propojí kabelovým vedením s DTS. Dle DSO ME 147 [16] je propojení provedeno smyčkováním v kabelových skříňích a hlavní kabelová vedení jsou navrhována jako okružní vedení. Návrh zapojení sítě je koncipován také s ohledem na kritérium $n-1$. Při kresbě vedení se délky vodičů dopočítávají dle měřítko připojené podkladové mapy, nad kterou se návrh provádí. Zároveň s kresbou se provádí i parametrizace vodičů (typově z databáze výpočetního programu). Databáze typových vodičů obsahuje všechny potřebné parametry (R ; X ; B ; I_n) k výpočtu. Tyto parametry se dle odečtené délky automaticky k vodiči dopočítávají.
- Po zakreslení kabelových rozvodů, provedeme kontrolu, zda nejsou překročeny meze dovolených úbytků napětí, které nesmějí přesáhnout 5% ze jmenovité hodnoty U_n , a kontrolu zda nejsou překročeny meze maximálního dovoleného zatížení kabelového vedení, které nesmí přesáhnout 75% ze jmenovité hodnoty zatížitelnosti vodiče. Ještě zkontrolujeme zda není nadměrně zatěžován navrhnutý DTR. Pokud je některá mez překročena, provede se odpovídající změna (výměna) nevyhovujícího prvku, nebo změna zapojení a pak kontrolu provedeme znovu. Kontrola je prováděna standardním výpočtem ustáleného chodu sítě. Výsledky výpočtů jsou zaznamenány do protokolu, který je výstupem tohoto výpočtu (viz. příloha „RADVANEK_VÝPOČET_45RD_KAT_A.pdf“).
- Nyní můžeme přistoupit k návrhu jištění. Návrh jištění provedeme pro plánované provozní zapojení a lze ho provést dvěma způsoby.
 - a) Dle vypočtené hodnoty impedance smyčky Z_s , hodnoty zkratového proudu a ampersekundové charakteristiky jistícího prvku vybereme vhodný jistící prvek v databázi výpočetního programu a ten přiřadíme k danému vývodu vedení. Po dosazení takto vybraných jistících prvků do modelu sítě *nn* provedeme ověřovací výpočet. Při kontrole je ověřována vhodnost navrhovaného prvku, čas vypnutí a selektivita jistících prvků. Více o způsobu a návrhu jištění v sítích *nn* je uvedeno

v teoretické části práce v kapitole 1.2.

- b) Můžeme využít funkci automatického návrhu jištění, kterou je výpočetní program vybaven. Tato funkce na základě několika vstupních parametrů (požadovaná doba vypnutí, selektivita, vypínací charakteristika) automaticky doplní a nastaví vhodné jistící prvky. V následném kroku je proveden výpočet, kterým se ověří, zda navrhované jištění odpovídá nastaveným kritériím. Následně je zobrazen protokol o průběhu návrhu a případně další doporučení.

Pro účely tohoto návrhu je využita funkce automatického návrhu jištění. Vstupními kritérii jsou: čas vypnutí = 5 s; koeficient zabezpečení pro $I_k = 3,5$; stupeň selektivity = 2; výrobce pojistek - OEZ; vybraná řada pojistek - PN s charakteristikou Gg. Do modelu bylo takto celkem navrženo 29 pojistek.

Kontroly návrhu

Návrh vyhovuje nastaveným kritériím na maximální úbytky napětí. Největší úbytek napětí Δu , má velikost 2,2%.

Návrh vyhovuje požadavkům na maximální zatížení kabelů. Žádný kabel není zatížen nad 75% jeho dovoleného zatížení.

Výpočtem bylo ověřeno, že všechny navrhované jistící prvky vyhovují platným ČSN a nastaveným kritériím (viz. příloha „RADVANEK_JIŠTĚNÍ_45RD_KAT_A.pdf“)

Ztráty spočítané v návrhu sítě nn jsou 2,4% (ztráty nesmí přesáhnout hranici 7%)

2.3 Varianta II. - stupeň elektrizace C

2.3.1 Výpočet zatížení pro danou lokalitu

Instalovaný a soudobý příkon jednoho RD

V druhé variantě návrhu pro stupeň elektrifikace C postupujeme analogicky, jako v předchozí variantě, jen se nám změní některé vstupní hodnoty. Nejprve je potřeba určit instalovaný příkon P_i jednoho RD, který je odlišný od varianty I.

Pro variantu I I. je P_i jednotlivých RD dán rovnicí:

$$P_i = P_{\text{osvetlení}} + P_{\text{el. varení}} + P_{\text{ohrevTUV}} + P_{\text{el. Vytápění}} + P_{\text{ostatní}}$$

Hodnoty P_i pro jednotlivé RD jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Hodnoty soudobého příkonu P_b , pro jednotlivé RD jsou dány vztahem:

$$P_b = P_i \cdot \beta$$

Opět dle doporučení DSO ME 0083 [14] stanovíme hodnotu koeficient soudobosti $\beta = 0,8$. Tím bude zaručena dostatečná rezerva proudové zatížitelnosti přívodního vedení *vn* a výkonová rezerva navrhovaného DTR. Po dosazení hodnot P_i a β do výše uvedeného vztahu získáme hodnoty P_b pro jednotlivé RD:

- Typ Klasik $P_{bkl} = 41 \cdot 0,8 = \underline{\underline{32,8 \text{ kW}}}$
- Typ Premier $P_{bpr} = 36 \cdot 0,8 = \underline{\underline{28,8 \text{ kW}}}$
- Typ Prima..... $P_{bpa} = 23 \cdot 0,8 = \underline{\underline{18,4 \text{ kW}}}$
- Typ Hit..... $P_{bhi} = 28 \cdot 0,8 = \underline{\underline{22,4 \text{ kW}}}$

Pokud vynásobíme hodnoty P_b počtem jednotlivých typů RD, získáme tyto sumární hodnoty:

$$\sum_1^n P_{bkl} = 656 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bpr} = 144 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bpa} = 184 \text{ kW} \quad \sum_1^n P_{bhi} = 224 \text{ kW}$$

Výpočtové zatížení P_p

Pro určení výpočtového zatížení postupujeme analogicky s variantou I. a použijeme opět vztah:

$$P_p = \sum_1^n P_b \cdot \beta_n$$

který po úpravě nabyde tvaru:

$$P_p = \left(\sum_1^n P_{bkl} + \sum_1^n P_{bpr} + \sum_1^n P_{bpa} + \sum_1^n P_{bhi} \right) \cdot \beta_n$$

Výpočet koeficientu soudobosti β_n je závislý pouze na počtu RD, který zůstal stejný a tak je dosazena hodnota soudobosti jako v předchozí variantě.

$$\beta_n = 0,32.$$

Dosazením hodnot do vztahu pro výpočet P_p získáme soudobé zatížení celé lokality.

$$P_p = (656 + 144 + 184 + 224) \cdot 0,32 = 1208 \cdot 0,32 = \underline{\underline{386,6kW}}.$$

Výpočtový proud I_p

Výpočtový proud I_p získáme dosazením do rovnice:

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 368,6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = \underline{\underline{6,71A}}.$$

Velikost instalovaného výkonu DTR

Velikost potřebného instalovaného výkonu DTR získáme dosazením do vztahu:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi}.$$

Koeficient využití DTR γ , nemá dle doporučení DSO ME 0083 [14] přesáhnout hodnotu 70% ze jmenovitého výkonu DTR a je roven

$$\gamma = 0,7.$$

Dosadíme do rovnice a spočítáme S_T .

$$S_T = \frac{368,6}{0,7 \cdot 0,95} = \underline{\underline{581,29kVA}}.$$

Na základě hodnoty S_T volíme Transformátor 35/0,42 kV o výkonu 630kVA. Parametry zvoleného DTR jsou uvedeny v tab. č. 6.

Tab. č. 6 – parametry transformátoru 35/0,42 kV o výkonu 250 kVA

Název údaje	Hodnoty
Jmenovitý výkon S_n	630 kVA
Vstupní napětí U_{n1}	35 000 ± 2 x 2,5 % V
Výstupní napětí U_{n2}	420/242 V
Ztráty naprázdno P_0	840 W
Ztráty nakrátko P_k	7700 W
Napětí nakrátko u_k	6 %
Zapojení vinutí	Dyn1
Maximální hladina akustického výkonu L_{WA}	58 dB
Celková váha	17350 kg
Rozměry d x š x v	1440 x 990 x 1620 mm

Vybraný DTR musí splnit kritérium:

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \Rightarrow 630kVA \geq 581,29kVA .$$

Toto kritérium je splněno.

Nyní můžeme dopočítat skutečný součinitel využití γ_T a ověřit zda navržený DTR vyhovuje podmínce $\gamma \geq \gamma_T$. Skutečný součinitel využití získáme dosazením do vztahu:

$$\gamma_T = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{368,6}{1 \cdot 630 \cdot 0,95} = \underline{\underline{0,65}} .$$

Při předpokladu, že γ nemá přesáhnout hodnotu 0,7 je splněna i tato podmínka

$$\gamma \geq \gamma_T \Rightarrow 0,7 \geq 0,65 .$$

Návrh přípojky vn

Vzhledem k tomu, že DTS bude provedena jako bloková z venku obsluhovaná (kompaktní) DTS a vzhledem k zavedené praxi v DSO, bude připojení provedeno kabelovým svodem ze stávajícího vedení 35 kV č. 7435. Dle metodiky *DSO ME 0148*[17] zvolíme kabel 35 kV AXEKVCE 1x70 mm², což je dle standardů DSO nejmenší typizovaný průřez silového kabelu s hliníkovým jádrem žil, pro napěťovou hladinu 35 kV. Parametry zvoleného kabelu jsou uvedeny v tab. č. 7.

Tab. č. 7 – parametry kabel 35 kV AXEKVCE 1x70 mm²

Název údaje	Hodnoty
Jmenovité napětí U _o /U	20/35 kV
Jmenovitý průřez S	1x70/16 mm ²
Činný odpor jádra R _v	0,443 Ohm/km
Kapacita C	0,15 mF/km
Indukčnost v Δ L _Δ	0,45 mH/km
Indukčnost v zemi (paralelně) L	0,70 mH/km
Ekvivalentní zkratový proud I _k	6,6 kA
Časová oteplovací konstanta (paralelně) t	258 s
Proudová zatížitelnost v zemi (paralelně) I _n	258 A

Nejprve zkontrolujeme, zda vybraný vodič vyhovuje podmínce

$$I_{dov} \geq I_p \Rightarrow 258A > 6,71A.$$

Tato podmínka je splněna.

Zatížitelnost kabelu stejně jako v předchozí variantě několikanásobně překračuje hodnotu výpočtového proudu I_p , který je v tomto případě 6,71A a není tedy nutné tento výpočet provádět. Více o tomto výpočetním postupu je uvedeno v teoretické části práce v kapitole 1.1.5. V tomto případě lze konstatovat, že podmínka dovoleného oteplení je splněna.

Úbytek napětí

Nyní provedeme kontrolu úbytků napětí na daném vodiči.

Úbytek napětí daného vodiče získáme dosazením do vztahu:

$$\Delta U = R_v \cdot l \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X_v \cdot l \cdot I \cdot \sin \varphi.$$

Vzhledem k tomu, že výrobce neuvádí hodnotu X_v , je nutné ji dopočítat z hodnoty indukčnosti L_v , která je výrobcem uvedena v technické specifikaci kabelu (viz. tab. č. 7).

$$X_v = j\omega L_v = j2\pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 0,7\text{mH} \cdot \text{km}^{-1} = \underline{\underline{0,2199\Omega \cdot \text{km}^{-1}}}.$$

Nyní již známe všechny potřebné parametry a můžeme dosadit do vztahu pro výpočet úbytku napětí na vodiči.

$$\Delta U = 0,4430 \cdot 0,076 \cdot 6,71 \cdot 0,95 + 0,2199 \cdot 0,076 \cdot 6,71 \cdot \sin 18,19 = \underline{\underline{0,25V}} .$$

Procentní určení úbytku napětí získáme ze vztahu:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,25}{35 \cdot 10^3} \cdot 100 = \underline{\underline{1,2 \cdot 10^{-3}\%}} .$$

Vodič 35 kV AXEKVCE 1x70 mm² splňuje podmínky normy ČSN EN 50160.

Výsledný úbytek napětí $1,2 \cdot 10^{-3}\% < 5\%$ daných pro vedení *vn*.

Dimenzování dle tepelných účinků zkratového proudu

Dalším krokem návrhu je kontrola, zda vodič vyhovuje požadavkům na dimenzování dle tepelných účinků zkratového proudu. Musí platit podmínka, že skutečný průřez vodiče *S* je větší nebo roven minimálnímu průřezu vodiče S_{kmin} . Abychom mohly provést tuto kontrolu dle postupu uvedeného v kapitole 1.1.8, je nutné nejprve vypočítat celkovou impedanci Z_C , která je tvořena impedancí sítě *vn* v místě připojení Z_S a impedancí zvoleného vodiče Z_V . Tyto požadované impedance nejsou závislé na stupni elektrifikace, a proto jsou hodnoty a postupy totožné s variantou I.

Impedanci sítě v místě připojení k DS spočítáme z hodnoty souměrného zkratového výkonu S''_{k3} , kterou máme zadanou. Dosadíme do vztahu“

$$Z_S = \frac{cU_n^2}{S''_{k3}}$$

Dosadíme a spočítáme

$$Z_S = \underline{\underline{4,5647 \angle 84,29^\circ \Omega}} .$$

Celkovou impedanci kabelu spočítáme za pomoci hodnot, které uvádí výrobce v technickém listě k danému vodiči.

$$Z_k = l \cdot (R_k + X_k)$$

$$X_k = j\omega L = j2\pi f \cdot L = j2\pi \cdot 50 \cdot 0,7 = 0,2199 \Omega \cdot km^{-1}$$

$$Z_k = 0,076 \cdot (0,4430 + j0,2199) = \underline{\underline{0,0376 \angle 26,42^\circ \Omega}}$$

celkové impedance vodiče je dána vztahem:

$$Z_C = Z_S + Z_k,$$

$$Z_C = 4,5647 \angle 84,29^\circ + 0,0376 \angle 26,42^\circ = \underline{\underline{4,5846 \angle 83,89^\circ \Omega}}$$

Hodnoty rezistence a reaktance jsou:

$$R_c = 0,4879$$

$$X_c = j4,5586$$

Ve výpočtu počátečního rázového zkratového proudu I_k'' použijeme opět napěťový součinitel $c = 1,1$ a dopočítanou hodnotu celkové impedance Z_C . Hodnotu I_k'' získáme dosazením do vztahu:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_C} = \frac{1,1 \cdot 35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,5846} = \underline{\underline{4848,38A}}$$

Vypočítanou hodnotu I_k'' použijeme pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu I_{th} , který je nutný k výpočtu minimálního průřezu s ohledem na dovolené oteplení vodiče při účincích zkratového proudu. Dále musíme určit součinitele m a n . Abychom mohli určit součinitel m , musíme nejprve vypočítat součinitel κ podle vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot (0,4879/4,5533)} = \underline{\underline{1,73}}$$

Hodnoty rezistance R a reaktance X jsou získány z celkové impedance Z_c . Součin frekvence sítě f a doby trvání zkratového proudu T_k , který potřebujeme k určení součinitele m , je:

$$50Hz \cdot 0,05s = \underline{\underline{2,5}}$$

Nyní můžeme pomocí grafu v Obr. 4 určit součinitel m , který má velikost

$$m = \underline{\underline{0,6}}$$

Součinitel n můžeme stanovit dle grafu v Obr. 5, ale dle normy [13] se může pro distribuční síť použít hodnota $n = 1$.

Nyní již máme potřebné hodnoty a můžeme dosadit do vztahu

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 4848,38 \cdot \sqrt{0,6+1} = \underline{\underline{6132,77A}}$$

Poslední neznámou hodnotou do vztahu pro výpočet S_{Kmin} je velikost koeficientu K , který určíme ze vztahu:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c \cdot (20 + \beta)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\vartheta_f - \vartheta_i}{\beta + \vartheta_i}\right)}$$

Materiálové konstanty pro Al:

$$Q_c = 2,5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$\beta = 228 \text{ °C}$$

$$\rho_{20} = 0,02826 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \text{mm}^2 \text{ m}^{-1}$$

Maximální provozní teplota a maximální teplota při zkratu jsou podle [10]:

$$\vartheta_f = 250 \text{ °C}$$

$$\vartheta_i = 90 \text{ °C}$$

Vztah pro výpočet velikosti koeficientu K po dosazení získá tvar:

$$K = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot (20 + 228)}{0,02826 \cdot 10^{-6}} \ln\left(1 + \frac{250 - 90}{228 + 90}\right)}$$

Dosadíme do vztahu pro výpočet minimálního zkratového průřezu S_{Kmin}

$$S_{Kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K},$$

$$S_{Kmin} = \frac{6132,77 \cdot \sqrt{0,05}}{\sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot (20 + 228)}{0,02826 \cdot 10^{-6}} \ln\left(1 + \frac{250 - 90}{228 + 90}\right)}} = \underline{\underline{14,5mm^2}}$$

Nyní můžeme konstatovat, že podmínka $S \geq S_{Kmin} \Rightarrow 70 \geq 14,4$ je splněna.

Hospodárny průřez

Dále bychom měly provést kontrolu, zda vodiče nejsou zatěžovány více než hospodárným proudem. Hospodárny průřez S_h lze určit ze vztahu:

$$S_h = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T_z}$$

Dle ČSN 34 1610 [19] je součinitel k pro Al 0,0168 a dobu plných ztrát T_z se spočte dle vztahu:

$$T_z = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \left(\frac{A}{P_p \cdot t} \right)^2 \right)$$

Vzhledem k tomu, že se držíme standardů DSO, kdy je průřez a typ vodiče předepsán, nemusíme tento výpočet provádět. Více o postupu výpočtu hospodárneho průřezu S_h je uvedeno v teoretické části, kapitola 1.1.6.

2.3.2 Návrh rozvodů nn

Stejně jako předchozí varianta návrhu je i návrh rozvodů EE pro stupeň elektrifikace C proveden ve výpočetním programu „PAS Off-Line Bizon v 4.43 buld 249“ od firmy DAISY, s.r.o. Postup návrhu je analogický s postupem uvedeným v kapitole 2.2. Odchyly od vstupních parametrů uvádím níže.

- Hodnota výpočtové zatížení pro návrh rozvodů nn pro stupeň elektrifikace C je v tomto případě je jeho 386,56 kW.
- Pro stupeň elektrifikace C je použit 1 x DTR ELIN 35/0,42kV o výkonu 630kVA.
- Do modelu pro stupeň elektrifikace C bylo funkcí automatického návrhu jištění celkem doplněno 28 pojistek.

Kontroly návrhu

Návrh vyhovuje nastaveným kritériím na maximální úbytky napětí. Největší úbytek napětí Δu , má velikost 3,1%.

Návrh vyhovuje požadavkům na maximální zatížení kabelů. Žádný kabel není zatížen nad 75% jeho dovoleného zatížení.

Výpočtem bylo ověřeno, že všechny navrhované jistící prvky vyhovují platným ČSN a nastaveným kritériím (viz. příloha *RADVANEK_JIŠTĚNÍ_45RD_KAT_C.pdf*)

Ztráty spočítané v návrhu sítě *nn* jsou 3,0% (ztráty nesmí přesáhnout hranici 7%)

2.3.3 Porovnání variant pro stupeň elektrizace A a C

Vzhledem k větší spotřebě elektrické energie ve stupni elektrizace C je oproti stupni elektrizace A nutné použít větší průřezy vodičů. Musí být také vybrán DTR s vyšším instalovaným výkonem. Další důsledek zvýšené spotřeby je nutnost vyvedení dalšího samostatného vývodu z DTS do rozpojovací skříně RN 1, pro samostatné napájení větve pokračující z RN 1 do rozpojovací skříně RN 1A. Ve variantě pro stupeň elektrifikace ve stupni A, byla tato větev napájena společně s větví z RN 1 pokračující do rozpojovací skříně RN 1B napájena jedním vývodem z DTS. Tato změna zapojení si vyžádá i změnu použitého typu rozpojovací skříně RN 1 a RN 2 (s oddělenými přípojnými – SPRV 7). Změna zapojení, vyšší hodnoty protékajících proudů a zvětšení průřezu kabelového vedení má dopad i na jmenovité hodnoty a počet použitých jistících prvků.

Prvky použité v návrhu pro stupeň elektrifikace A

Pro návrh elektrifikace nové lokality pro výstavbu 45 RD jsou ve výpočetním modelu použity tyto prvky:

- Transformátor ELIN 35/0,42kV o výkonu 250kVA
- Kabely AYKY o průřezích a rozsahu dle tab. č. 8.

Tab. č. 8 – kabelové vedení pro stupeň elektrifikace A

Soupiska linek	Počet	Délka
3x120+70 AYKY	7	616,48
3x70+50 AYKY	20	904,23
3x50+35 AYKY	10	492,16
4x16 AYKY	1	51,43
celkem	38	2064,29

- Pojistky PN1Gg dle tab. č. 9.

Tab. č. 9 – jistící prvky navrhnuté pro stupeň elektrifikace A

Jméno	Popis	Výrobce	Řada	In [A]
V_USV_000004_F2	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000039_F1	PN000gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000039_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000040_F1	PN000gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000040_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000262_F1	PN000gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000262_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000263_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000264_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000265_F1	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000268_F2	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000269_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000272_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000273_F1	PN000gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000275_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000276_F1	PN000gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000276_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000277_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000280_F1	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000283_F2	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000284_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000288_F2	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000289_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000290_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000291_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000293_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000294_F1	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000296_F1	PN000gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000298_F2	PN000gG 100	OEZ	PNgG	100

Prvky použité v návrhu pro stupeň elektrifikace C

Pro návrh elektrifikace nové lokality pro výstavbu 45 RD byly ve výpočetním modelu použity tyto prvky:

- Transformátor ELIN 35/0,42kV o výkonu 630kVA
- Kabely AYKY o průřezu a rozsahu dle tab. č. 10.

Tab. č. 10 – kabelové vedení pro stupeň elektrifikace C

Soupiska linek	Počet úseků	Délka [m]
3x240+120 AYKY	8	218,3
3x120+70 AYKY	18	752,47
3x70+50 AYKY	8	382,77
3x50+35 AYKY	4	171,47
4x16 AYKY	1	51,43
celkem	39	1576,43

- Pojistky PN1Gg dle tab. č. 11.

Tab. č. 11 – jistící prvky navržené pro stupeň elektrifikace C

Umístění	Popis	Výrobce	Řada	In [A]
V_USV_000001_F1	PN1gG 250	OEZ	PNgG	250
V_USV_000001_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000004_F2	PN1gG 100	OEZ	PNgG	100
V_USV_000039_F1	PN1gG 250	OEZ	PNgG	250
V_USV_000039_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000040_F1	PN1gG 250	OEZ	PNgG	250
V_USV_000040_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000262_F1	PN1gG 250	OEZ	PNgG	250
V_USV_000262_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000263_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000265_F1	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000268_F2	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000269_F1	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000273_F1	PN1gG 224	OEZ	PNgG	224
V_USV_000275_F2	PN1gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000276_F1	PN1gG 224	OEZ	PNgG	224
V_USV_000276_F2	PN1gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000277_F1	PN1gG 63	OEZ	PNgG	63
V_USV_000280_F1	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000283_F2	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000284_F1	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000288_F2	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000289_F1	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000290_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000291_F1	PN1gG 125	OEZ	PNgG	125
V_USV_000293_F2	PN1gG 200	OEZ	PNgG	200
V_USV_000294_F1	PN1gG 160	OEZ	PNgG	160
V_USV_000296_F1	PN1gG 100	OEZ	PNgG	100

Shrnutí

Ve stupni elektrizace A je DTS osazena jedním transformátorem ELIN 35/0,42 kV o jmenovitém výkonu 250kVA. Parametry DTR jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Pro připojení DTS k vn vedení je navržen kabel 3x35AXEKVCE 1x70 mm².

Provedení rozvodů nn je realizováno kabely AYKY 3x120+70 mm², AYKY 3x70+50 mm², AYKY 3x50+35 mm² a AYKY 4x16 mm².

Chránění kabelů proti nadproudům a zkratovým proudům je zajištěno pojistkami s vypínací charakteristikou gG s jmenovitými hodnotami: PN1gG In=250A, PN1gG In=200A, PN1gG In=224A, PN1gG In=160A, PN1gG In=125A, PN1gG In=100A a PN1gG In=63A. Pojistky jsou navrženy tak, aby byla dodržena jejich selektivita.

Ve stupni elektrizace C je DTS osazena jedním transformátorem ELIN 35/0,42kV o jmenovitém výkonu 630kVA. Parametry DTR jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Pro vedení VN použité k napájení DTS je navržen kabel 3x35AXEKVCE 1x70 mm².

Rozvody NN jsou v případě stupně elektrizace C tvořeny kabely AYKY 3x240+120 mm², AYKY 3x120+70 mm², AYKY 3x70+50 mm², AYKY 3x50+35 mm² a AYKY 4x16 mm².

Chránění kabelů proti nadproudům a zkratovým proudům je zajištěno pojistkami s vypínací charakteristikou gG s jmenovitými hodnotami: PN1gG In=250A, PN1gG In=200A, PN1gG In=224A, PN1gG In=160A, PN1gG In=125A, PN1gG In=100A a PN1gG In=63A. Pojistky jsou navrženy tak, aby byla dodržena jejich selektivita.

U obou počítaných variant návrhu, byl použit stejný postup jen s nepatrnými odlišnostmi (popsáno výše v kapitole č. 2.3.2), na které měla vliv velikost odebíraného výkonu.

Pro obě varianty i přes značný rozdíl soudobých příkonů je použit totožný přívodní vn kabel pro napájení DTS. Výběr vhodného vodiče pro přívodní vedení byl dopředu určen technickou politikou a standardizací v DSO. U obou variant výpočtový proud I_p nedosáhl hodnoty, která by vyžadovala vyšší průřez kabelového vedení, než je nejmenší používaný průřez kabelu AXEKVCE v DSO pro napěťovou hladinu 35kV.

Rozdíl soudobých příkonů měl vliv na návrh rozvodů nn pro daný stupeň elektrizace. To se projevilo v potřebě změny zapojení navrhované sítě, v potřebě navýšení počtu vývodů

z DTS a zvětšením průřezů kabelového vedení pro variantu stupně elektrizace C. zvýšená spotřeba elektrické energie měla také vliv na velikost ztrát, které jsou u varianty pro stupeň elektrizace A nižší 0,8%.

3 Závěr

Cílem této diplomové práce je navrhnout elektrizaci nové lokality s 45 RD a to nejen včetně rozvodů a jištění sítě nn, ale i přívodního vedení VN pro napájení DTS. Návrh elektrifikace je navržen a dimenzován pro dvě varianty stupně elektrizace RD (pro stupeň elektrizace A a pro stupeň elektrizace C). Ve stupni A se elektřina využívá k osvětlení a napájení domácích elektrických spotřebičů nepřesahujících příkon 3,5 kVA. Stupeň C zahrnuje elektrické spotřebiče stejné jako ve stupni A, navíc se zde elektřina využívá k vaření, ohřevu TUV a vytápění nebo klimatizaci. Při návrhu elektrizace daného území byly použity dvě metody návrhu. První metoda je tzv. klasická a spočívá v postupném výpočtu návrhu, který si projektant počítá sám. Druhá metoda spočívá ve využití moderní výpočetní techniky a speciálně vyvinutého SW pro výpočty energetických sítí. Klasickou metodou byl proveden návrh velikosti DTR a napájecího vn kabelu. Druhá metoda byla využita pro návrh rozvodů a jištění sítě nn. Pro potřeby tohoto návrhu byl využit výpočetní program PASS Off-Line Bizon verze 4.43; build 429 od firmy DAISY s.r.o. Použití výpočetního programu pro návrh rozvodů nn výrazně zkrátilo dobu potřebnou k jeho provedení, než kdyby byl návrh prováděn klasickou metodou.

Použitá literatura

- [1] DAISY s.r.o.: *PAS DAISY OFF – LINE v.4.00 BIZON; Uživatelská příručka*; DAISY s.r.o., Praha 2004
- [2] Kolektiv autorů: *Sborník z krajské technickoekonomické konference „Nové směry v obnově sítí nn“*, JME k.p. Brno, Brno 1980
- [3] Bureš, Z; ing. Šitina, P; ing. Václavek, J: *Navrhování venkovních vedení vn a nn*; SNTL, Praha 1989
- [4] ing. Honys, V; ing. Kříž, M.: *Dimenzování a jištění elektrických vedení*; STRO.M, spol.s r.o., Praha 1993
- [5] ing. Kříž, M.: *Dimenzování a jištění elektrických vedení II (tabulky a příklady)*; STRO.M, spol.s r.o., Praha 1994
- [6] ORSÁGOVÁ, J; *Rozvodná zařízení*; Vysoké učení technické v Brně, 2008
- [7] ČSN 33 2130 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [8] ČSN 33 2000-4-41 Elektrická zařízení, část 4:Bezpečnost, Kapitola 41: Ochrana před úrazem el. Proudem; Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [9] ČSN 33 2000-5-523 Elektrická zařízení. Oddíl 523: dovolené proudy; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2003
- [10] ČSN 33 2000-4-43 Elektrické instalace budov - Část 4: Bezpečnost - Kapitola 43: Ochrana proti nadproudům; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2003
- [11] ČSN 33 2000-4-473 Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 4: Bezpečnost. Kapitola 47: Použití ochranných opatření pro zajištění bezpečnosti. Oddíl 473: Opatření k ochraně proti nadproudům; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 1994
- [12] ČSN EN 60 865-1 Zkratové proudy - Výpočet účinků - Část 1: Definice a výpočetní metody; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 1997
- [13] ČSN EN 60909-0 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2002
- [14] DSO_ME_0083r03 Všeobecné zásady pro technické návrhy sítí vn a nn; ČEZ Distribuce,a. s., odbor Strategický rozvoj, 2008
- [15] DSO_ME_0150r01_z1 Koncepce transformačních stanic vn / nn; ČEZ Distribuce, a. s., 2011
- [16] DSO_ME_0147r01_z1 Koncepce kabelových zemních sítí nn; ČEZ Distribuce, a. s., 2011
- [17] DSO_ME_0148r01_z1 Koncepce kabelových zemních sítí vn ; ČEZ Distribuce, a. s., 2011
- [18] DSO_ME_0051r01 Technická politika rozvoj distribučních sítí a technologických prvků v DSO, OBECNÁ ČÁST, 2007
- [19] ČSN 34 1610 Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách; Český normalizační institut, Praha 1963

Seznam příloh

Příloha 1.: Obsah CD: Návrh rozvodů nn pro napájení 45 rodinných domů

Příloha 2.: CD; Návrh rozvodů nn pro napájení 45 rodinných domů

Příloha 1 Obsah CD: Návrh rozvodů nn pro napájení 45 rodinných domů

- 1) RADVANEC_JIŠTĚNÍ_45RD_KAT_A.pdf
- 2) RADVANEC_JIŠTĚNÍ_45RD_KAT_C.pdf
- 3) RADVANEC_NAPETI_45RD_KAT_A.pdf
- 4) RADVANEC_NAPETI_45RD_KAT_C.pdf
- 5) RADVANEC_VEDENÍ_45RD_KAT_A.pdf
- 6) RADVANEC_VEDENÍ_45RD_KAT_C.pdf
- 7) RADVANEC_VÝPOČET_45RD_KAT_A.pdf
- 8) RADVANEC_VÝPOČET_45RD_KAT_C.pdf
- 9) RADVANEC_ZAP_RN1_RN2_45RD_KAT_C.pdf