

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

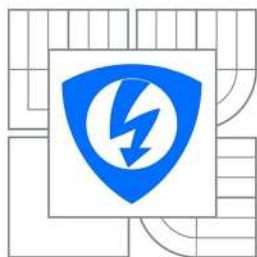
**ŘEŠENÍ ELEKTRIZACE NOVÉ LOKALITY
ELEKTRICKOU ENERGIÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

BC. PETR FOLTÝN

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Petr Foltýn

ID: 73044

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Řešení elektrizace nové lokality elektrickou energií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Vypočítejte zatížení dané lokality dle zadaného stupně elektrizace a stanovte počet a velikost transformátorů
 - a) pro stupeň elektrizace A (základní spotřebiče),
 - b) pro stupeň elektrizace C (zákl. spotřebiče + el. vaření a ohřev TUV + el. vytápění).
- 2) Navrhněte a dimenzujte napájecí vedení vn.
- 3) Navrhněte a zakreslete rozvody nn pro danou variantu elektrizace a navrhněte jištění.
- 4) Vyjmenujte a popište metody a prostředky používané při návrhu elektrizace.
- 5) Porovnejte a zhodnoťte varianty návrhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

FOLTÝN, P. *Řešení elektrizace nové lokality elektrickou energií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Topolánek.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Topolánkovi za cenné připomínky a rady při tvorbě této práce. Také bych rád poděkoval svým rodičům a přítelkyni za celkovou podporu při studiu na vysoké škole.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky



Diplomová práce

Řešení elektrizace nové lokality elektrickou energií

Bc. Petr Foltýn

vedoucí: Ing. David Topolánek

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering



Master's Thesis

Proposal of new locality electrification

by

Bc. Petr Foltýn

Supervisor: Ing. David Topolánek

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší elektrizaci nové lokality s 59 rodinnými domy. Práce obsahuje teoretickou a výpočetní část. V teoretické části jsou shromážděny veškeré podklady potřebné pro úspěšný návrh elektrizace. Ve výpočetní části je vypracován návrh distribuční transformační stanice, napájecího vysokonapěťového kabelu, návrh rozvodů nízkého napětí a jištění. Všechny tyto části jsou navrženy pro dvě varianty (pro stupeň elektrizace A a stupeň elektrizace C) a zakresleny do katastrálních map.

Návrh distribuční transformační stanice a vysokonapěťového kabelu je proveden klasickou metodou, tedy veškeré výpočty jsou zpracovány přímo projektantem. Rozvody nízkého napětí a jištění jsou realizovány ve výpočetním programu Sichr (verze 11.01) od firmy O EZ.

KLÍČOVÁ SLOVA: Elektrizace; návrh distribuční transformační stanice; návrh vysokonapěťového kabelu; návrh rozvodů nízkého napětí; návrh jištění

ABSTRACT

This master's thesis is concerned with the proposal of new locality electrification. There are 59 detached houses. The thesis is divided into theoretical part and computational part. In the theoretical part, there are all documents necessary for the successful proposal of the electrification. In the computational part is drafted distribution substation, high voltage power cable, proposal of low voltage power cables and protection. Each part is made for two versions (for the degree of electrification A and for the degree of electrification C) and recorded in cadastral maps.

The proposal of distribution substation and high voltage power cable is made by traditional method - all calculations are processed by the designer. Low-voltage power cables and protection are implemented in a computer program Sichr (version 11.01) OEZ company.

KEY WORDS: Electrification; proposal of distribution substation; proposal of high voltage power cable; proposal of low voltage power cables; proposal of protection

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	15
2 METODY A PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ PŘI NÁVRHU ELEKTRIZACE.....	16
3 PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ PROJEKTU.....	18
3.1 DĚLENÍ BYTŮ PODLE STUPNĚ ELEKTRIZACE	18
3.2 URČENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ P_p	18
3.3 URČENÍ VÝPOČTOVÉHO PROUDU I_p	19
3.4 URČENÍ POČTU A VELIKOSTI TRANSFORMÁTORŮ	20
3.5 NÁVRH A DIMENZO VÁNÍ VEDENÍ.....	22
3.5.1 DIMENZO VÁNÍ DLE DOVOLENÉ PROVOZNÍ TEPLoty	22
3.5.2 DIMENZO VÁNÍ PRŮŘEZU VODIČE Z HLEDISKA HOSPODÁRNOSTI.....	22
3.5.3 DIMENZO VÁNÍ VODIČŮ DLE MECHANICKÉ PEVNOSTI.....	23
3.5.4 DIMENZO VÁNÍ VODIČŮ PODLE ÚBYTKU NAPĚTÍ.....	23
3.5.5 DIMENZO VÁNÍ PODLE ÚČINKU ZKRATOVÝCH PROUDŮ	24
3.5.6 DODATEK K NAVRHO VÁNÍ KABELOVÝCH SÍTÍ NN A VN	29
3.6 OCHRANA VODIČŮ PŘED NADPROUDY	30
3.6.1 DRUHY OCHRANNÝCH PŘÍSTROJŮ	31
3.6.2 OCHRANA PŘED PROUDOVÝM PŘETÍŽENÍM	31
3.6.3 OCHRANA PŘED ZKRATOVÝMI PROUDY	33
3.6.4 OCHRANA PARALELNÍCH VODIČŮ PŘED NADPROUDY	34
3.6.5 PŘÍŘAZENÍ PRVKU JISTICÍHO PŘED NADPROUDY K VEDENÍ	36
3.6.6 OCHRANA PROTI NEBEZPEČNÉMU DOTYKOVÉMU NAPĚTÍ V KABELOVÉ SÍTI NN.....	37
4 VYPRACOVÁNÍ PROJEKTU	38
4.1 ZADÁNÍ PROJEKTU A VSTUPNÍ DATA.....	38
4.2 STUPEŇ ELEKTRIZACE A	39
4.2.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ DANÉ LOKALITY	39
4.2.2 VÝPOČTOVÝ PROUD.....	42
4.2.3 POČET A VELIKOST TRANSFORMÁTORŮ.....	42
4.2.4 NÁVRH A DIMENZO VÁNÍ NAPÁJECÍHO VEDENÍ VN	44
4.2.5 NÁVRH A DIMENZO VÁNÍ ROZVODŮ NN.....	47
4.3 STUPEŇ ELEKTRIZACE C	50
4.3.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ DANÉ LOKALITY	50
4.3.2 VÝPOČTOVÝ PROUD.....	51
4.3.3 POČET A VELIKOST TRANSFORMÁTORŮ.....	52

4.3.4 NÁVRH A DIMENZOVÁNÍ NAPÁJECÍHO VEDENÍ VN	52
4.3.5 NÁVRH A DIMENZOVÁNÍ ROZVODŮ NN.....	55
5 ZÁVĚR.....	57
POUŽITÁ LITERATURA	59
PŘÍLOHA A STUP. EL. A, VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY - PAPERSEK 3.....	60
PŘÍLOHA B STUP. EL. A, VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY – GRAF – PAPERSEK 3	61
PŘÍLOHA C STUP. EL. A, SELEKTIVITA JIŠTĚNÍ – PAPERSEK 3.....	62
PŘÍLOHA D STUP. EL. A, SELEKTIVITA JIŠTĚNÍ – GRAF – PAPERSEK 3.....	63
PŘÍLOHA E STUP. EL. A, IMPEDANČNÍ SMYČKA – PAPERSEK 3	64
PŘÍLOHA F STUP. EL. A, IMPEDANČNÍ SMYČKA – GRAF – PAPERSEK 3	65
PŘÍLOHA G VÝKRES Č. 1 – CELKOVÁ SITUACE, STUP. EL. A	66
PŘÍLOHA H VÝKRES Č. 2 – KABELOVÉ ROZVODY NN, ČÁST 1/2, STUP. EL. A	66
PŘÍLOHA I VÝKRES Č. 3 – KABELOVÉ ROZVODY NN, ČÁST 2/2, STUP. EL. A	66
PŘÍLOHA J VÝKRES Č. 4 – NOVÁ TS, KABELOVÁ PŘÍPOJKA VN, STUP. EL. A I C.....	66
PŘÍLOHA K VÝKRES Č. 5 – JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA, STUP. EL. A	66
PŘÍLOHA L VÝKRES Č. 6 – CELKOVÁ SITUACE, STUP. EL. C	66
PŘÍLOHA M VÝKRES Č. 7 – KABELOVÉ ROZVODY NN, ČÁST 1/2, STUP. EL. C.....	66
PŘÍLOHA N VÝKRES Č. 8 – KABELOVÉ ROZVODY NN, ČÁST 2/2, STUP. EL. C.....	66
PŘÍLOHA O VÝKRES Č. 9 – JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA, STUP. EL. C	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1</i>	<i>Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [10].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3-2</i>	<i>Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [10].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-3</i>	<i>Jištění paralelních vodičů najednou.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 3-4</i>	<i>Jištění paralelních vodičů samostatně: a) průtok proudu na začátku zkratu; b) průtok proudu po vybavení ochranného přístroje cs.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4-1</i>	<i>Příklad rozvětvení rozvodů NN.....</i>	<i>41</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Standardní řada DTR VN/NN a jejich sekundární jmenovité proudy</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3-2 Materiálové konstanty pro výpočet oteplení vodiče při zkratu.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 3-3 Doporučený počet vodičů NN s daným průřezem pro vyvedení výkonu z DTS</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3-4 Hodnoty k pro vodiče.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 3-5 Dovolené proudy vodičů a jmenovité proudy jistících prvků (v ampérech) pro ochranu před nadproudy vodičů a kabelů s hliníkovým jádrem při uložení v zemi (uložení D).....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 4-1 Soudobost pro n bytů ve skupině.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 4-2 Soudobosti pro vybrané sběrnice pro stupeň elektrizace A.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 4-3 Parametry transformátoru pro stupeň elektrizace A</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4-4 Soudobosti pro vybrané sběrnice pro stupeň elektrizace C.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 4-5 Parametry transformátoru pro stupeň elektrizace C.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	česká technická norma
DTR	distribuční transformátor
DS	distribuční soustava
DTS	distribuční transformační stanice
I_{2max}	maximální sekundární proud transformátoru (A)
I_k''	počáteční rázový zkratový proud (A)
I_{ke}	ekvivalentní oteplovací proud (A)
I_n	jmenovitý proud vodiče (A)
I_p	výpočtový proud (A)
I_z	dovolené zatížení vodiče (A)
L_k	indukčnost vodiče vztažena na 1 kilometr délky ($H \cdot km^{-1}$)
NN	nízké napětí
P_b	soudobý příkon jednoho rodinného domu (kW)
P_i	instalovaný výkon (kW)
P_p	výpočtové zatížení (kW)
ΔP_k	ztráty transformátoru nakrátko (kW)
ΔP_0	ztráty transformátoru naprázdno (kW)
R	elektrický odpor vodiče (Ω)
R_k	elektrický odpor vodiče vztažený na 1 kilometr délky ($\Omega \cdot km^{-1}$)
R_t	reálná složka impedance transformátoru (Ω)
RD	rodinný dům
S_k''	zkratový výkon sítě (MVA)
S_{kmin}	minimální průřez jader vodiče (mm^2)
S_n	jmenovitý výkon transformátoru (kVA)
S_T	vypočtený výkon trafostanice (kVA)
T_k	doba trvání zkratového proudu (s)
TUV	teplá užitková voda
U_n	jmenovité napětí soustavy (V)
VN	vysoké napětí

X	reaktance vodiče (Ω)
X_t	imaginární složka impedance transformátoru (Ω)
Z_c	celková impedance (Ω)
Z_k	impedance kabelu (Ω)
Z_s	impedance sítě (Ω)
Z_t	impedance transformátoru (Ω)
ΔU	úbytek napětí (V)
c	napěťový součinitel (-)
c_0	specifické teplo vodiče při 0°C ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$)
f	frekvence sítě (Hz)
k	přepočítávací součinitel (-)
l	délka vodiče (km)
m	součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu (-)
n	počet bytů ve skupině (-)
n	součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu (-)
t_k	doba trvání zkratu (s)
u_k	napětí transformátoru nakrátko (%)
$\Delta u_{\%}$	procentní vyjádření úbytku napětí (%)
β	soudobost (-)
β_n	soudobost pro n bytů (-)
β_{∞}	soudobost pro velmi velký počet bytů (-)
γ	koeficient využití transformátoru (-)
γ_s	skutečný koeficient využití transformátoru (-)
κ	součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu (-)
ρ_{20}	specifický odpor vodiče při 20°C ($\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$)
φ	fázový posun mezi proudem a napětím ($^\circ$)
ϑ_0	teplota prostředí ($^\circ\text{C}$)
ϑ_1	maximální provozní teplota vodiče ($^\circ\text{C}$)
ϑ_{dov}	nejvyšší dovolená provozní teplota ($^\circ\text{C}$)

ϑ_f	fiktivní teplota (°C)
ϑ_k	maximální dovolená teplota vodiče při zkratu (°C)
ϑ_z	provozní teplota vodiče (°C)

1 ÚVOD

Návrh a dimenzování jednotlivých částí elektrizační soustavy se všeobecně provádí za účelem optimalizace této soustavy jako celku z hlediska technického a ekonomického. Jinými slovy řečeno, dimenzování sítě provádíme proto, aby splňovala technické požadavky a zároveň aby její pořizovací a provozní náklady byly co nejmenší. Mezi hlavní technické požadavky patří např. odolnost vedení vůči zkratovým proudům, dodržení úbytku napětí na vedení ve stanovených mezích, nezatěžování vedení při normálním provozu nad stanovenou mez či dostatečná vypínací schopnost jističích prvků a jejich selektivnost.

Předkládaná práce se zabývá návrhem elektrizace nové lokality s 59 rodinnými domy. Elektrizací se v tomto případě myslí navržení kabelu vysokého napětí (dále jen VN), distribuční transformační stanice (dále jen DTS), rozvodů nízkého napětí (dále jen NN) a jejich zakreslení do katastrálních map. Součástí práce je také návrh jištění. Všechny uvedené části distribuční soustavy (DTS, vedení VN i NN, jištění) jsou dimenzovány pro dvě varianty – byty (jednobytové rodinné domy) spadající do stupně elektrizace A a do stupně elektrizace C. Dělení bytů podle stupně elektrizace je uvedeno v kapitole 3.1.

Práce je rozdělena do čtyř hlavních částí. V první části jsou uvedeny metody a prostředky, které jsou použity pro návrh elektrizace. Druhá část obsahuje veškeré teoretické podklady potřebné pro úspěšný návrh a dimenzování kabelu VN, DTS, rozvodů NN a jištění vodičů. Tyto podklady vychází z platných norem ČSN a ČSN EN, technických publikací a standardů zařízení uplatňovaných v distribuční soustavě společnosti ČEZ Distribuce, a.s., která je zadavatelem této práce. Třetí část je stěžejní a zabývá se samotným návrhem a dimenzováním kabelu VN, DTS, rozvodů NN a jištění vodičů pro stupeň elektrizace A a stupeň elektrizace C. Na začátku tohoto celku je uvedeno podrobné zadání projektu a vstupní data poskytnutá zadavatelem této práce. Závěrem je celkové zhodnocení výsledků a porovnání obou variant návrhu.

2 METODY A PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ PŘI NÁVRHU ELEKTRIZACE

Abychom měli jistotu, že je návrh elektrizace správně proveden, proto jsou veškeré výpočty v této práci založeny na platných normách ČSN a ČSN EN. Zároveň jsou zohledněny standardizace zařízení (transformátorů, vedení, jištění a jejich dovolené/doporučené zatížení) uplatňované v distribuční soustavě (dále jen DS) zadavatele - společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

Návrh elektrizace je proveden pomocí dvou metod. První metoda se dá považovat za klasickou a spočívá v tom, že veškeré výpočty jsou provedeny pouze za pomoci kalkulátoru a informací získaných z potřebných norem, popř. technických a odborných publikací. Z charakteru metody vyplývá, že jsou veškeré výpočty (včetně potřebných mezikroků) zaznamenávány přímo v textu s logickou posloupností. Výhodou této metody je, že si projektant musí nastudovat a pochopit potřebnou literaturu, aby mohl správně provést návrh vybraného úseku DS. Díky tomu pronikne velmi hluboko do dané problematiky. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že je velmi zdlouhavá a pracná. Navíc chybou lidského faktoru se může do výpočtů vnést chyba, což by mohl vést ke špatnému návrhu daného celku.

Druhá metoda je poněkud mladší než „klasická“ a v praxi je velmi žádána. Jedná se o využití výpočetních programů za pomoci výpočetní techniky. Výhodou této metody je rychlost, jednoduchost a spolehlivost návrhu elektrizace. Výpočetní programy jsou založeny na platných normách a jsou průběžně aktualizovány, tudíž nám odpadá starost pečlivého studování všech norem potřebných k návrhu. Další výhodou je, že programy v sobě obsahují databáze elektrických prvků s potřebnými parametry, což velmi zkracuje čas potřebný k úspěšnému vytvoření návrhu. A další nespornou výhodou (jistě ne poslední) je omezení vnášení chyb do výpočtů prostřednictvím lidského faktoru. Tato metoda má samozřejmě i své nevýhody. Hlavní nevýhodou zřejmě je, že projektant často nepronikne hlouběji do problémů souvisejících s návrhem, a tedy nerozumí výpočtům, které se odehrávají na pozadí. Jistou nevýhodou je také nutnost použití výpočetní techniky, ta se však v „době notebooků“ stále zmenšuje.

Pro účely druhé metody se v této práci využívá výpočetní program Sichr (verze 11.01) od firmy OEZ. Jak je uvedeno v manuálu tohoto programu [1], Sichr mimo jiné řeší paprskové sítě TN-C, TN-C-S a IT sítě ve všech obvyklých napěťových hladinách NN. Posuzuje správnost dimenzování silových kabelů a jejich ochrany proti nadproudům jak z hlediska přetížení, tak na základě energií propuštěných jistíciemi přístroji v oblasti zkratových proudů. Po zadání velikosti odběrů (v ampérech, wattech nebo voltampérech) a koeficientů soudobosti vyhodnotí úbytky napětí na transformátoru a jednotlivých kabelech. Výsledné napětí na vývodech a sběrnících poté porovná s nastaveným maximálně povoleným úbytkem napětí. Selektivita mezi jednotlivými stupni jištění se vyhodnocuje na základě porovnání vypínacích charakteristik jednotlivých přístrojů v oblasti přetížení a za pomoci databáze provedených zkoušek selektivity použitých přístrojů v oblasti zkratových proudů. Při výpočtu impedančních smyček se bere v úvahu impedance celého obvodu včetně impedance VN rozvodu. Uvažuje se i zvýšení činného odporu kabelů v závislosti na jejich oteplení protékajícím proudem.

Program na základě použitých prvků ve schématu provádí řadu kontrol a výpočtů. Kontroly se uvádějí jako informační údaje černým tiskem, ale pro případy, které ohrožují vložené prvky (např. překročení dovolené teploty kabelu) nebo funkci rozvodu, jsou vypisovány varovné zprávy červeně. Výstupem Sichru jsou vypínací charakteristiky jistících prvků, charakteristiky impedanční smyčky, charakteristiky selektivity ochranných přístrojů a další.

Sichr obsahuje databáze elektrických zdrojů (transformátorů), kabelů a holých vodičů, jistících prvků (pojistik a jističů), spínačů a přepětových ochran. Veškeré výpočty provedené v Sichru jsou založeny na následujících normách: ČSN 33 2000-4-41, PNE 33 0000-1, ČSN 33 2000-4-43, ČSN 33 2000-5-523 a ČSN EN 60909.

V této práci je první metoda využita pro návrh DTS a návrh VN kabelu. Druhou metodou jsou navrženy a dimenzovány rozvody NN. Vzhledem k jejich celkové obtížnosti (rozmístění a počet RD, rozloha, atd.) je volba návrhu ve výpočetním programu zcela opodstatněna.

3 PODKLADY PRO VYPRACOVÁNÍ PROJEKTU

3.1 Dělení bytů podle stupně elektrizace

Na základě využití elektrické energie se byty rozdělují do tří skupin. Toto dělení je převzato z ČSN 33 2130 ed. 2 [2] a je následující:

- 1) Stupeň elektrizace A zahrnuje byty, ve kterých se elektřina používá k osvětlení a pro domácí elektrické spotřebiče připojované k rozvodu pohyblivým přívodem nebo pevně připojené, přičemž příkon žádného spotřebiče nepřesahuje 3,5 kVA.
- 2) Stupeň elektrizace B zahrnuje byty s elektrickým vybavením stejným jako mají byty ve stupni elektrizace A a v nichž se k vaření a pečení používají elektrické spotřebiče s příkonem nad 3,5 kVA.
- 3) Stupeň elektrizace C zahrnuje byty, které mají elektrické vybavení stejné jako byty ve stupni elektrizace A nebo B a v nichž se pro vytápění nebo klimatizaci používají elektrické spotřebiče.

3.2 Určení výpočtového zatížení P_p

Aby bylo možné stanovit počet a velikost transformátorů, navrhnout napájecí vedení VN, rozvody NN a jištění, musíme prvně určit výpočtové zatížení P_p . Výpočtové zatížení a z něho určený výpočtový proud I_p jsou základními veličinami potřebnými nejen pro návrh transformátorů a vedení, ale také pro dimenzování dalších prvků rozvodného zařízení v normálních provozních stavech. [3]

Chceme-li určit výpočtové zatížení P_p pro danou část DS, kterou navrhujeme (v našem případě se jedná např. o DTS, kabel VN apod.), je potřeba prvně vypočíst soudobý příkon P_b jednoho rodinného domu (dále jen RD). Ten se vypočte jako součin soudobosti β (označovaného také jako „součinitel náročnosti“) a instalovaného výkonu P_i . [2] Matematické vyjádření této rovnice je

$$P_b = P_i \cdot \beta \quad (\text{kW}; \text{kW}; -). \quad (3.1)$$

Podle zdroje [4] je hodnota soudobosti β pro RD 0,6 až 0,8.

Instalovaný výkon je součet výkonů všech elektrických spotřebičů nacházejících se v daném objektu (v našem případě v RD). Pro stupeň elektrizace A se instalovaný výkon jednoho RD vypočte jako

$$P_i = P_{\text{osvetleni}} + P_{\text{ostatni}} \quad (\text{kW}; \text{kW}; \text{kW}) \quad (3.2)$$

a pro stupeň elektrizace C se vypočte ze vztahu

$$P_i = P_{\text{osvetleni}} + P_{\text{el. vareni}} + P_{\text{ohrevTUV}} + P_{\text{el. vytapeni}} + P_{\text{ostatni}} \quad (3.3)$$

$$(\text{kW}; \text{kW}; \text{kW}; \text{kW}; \text{kW}; \text{kW}).$$

Podle normy ČSN 33 2130 ed. 2 [2] se výpočtové zatížení P_p určí ze vztahu

$$P_p = \left(\sum_{i=1}^n P_{bi} \right) \cdot \beta_n \quad (\text{kW}; \text{kW}; -), \quad (3.4)$$

kde $n \dots$ je počet bytů (jednobytových RD) ve skupině,

$\left(\sum_{i=1}^n P_{bi} \right) \dots$ je součet soudobých příkonů všech bytů ve skupině,

$\beta_n \dots$ je soudobost pro n bytů.

Jelikož mají všechny RD dle zadání stejný soudobý příkon P_b , zjednoduší se vztah (3.4) na

$$P_p = (P_b \cdot n) \cdot \beta_n \quad (\text{kW}; \text{kW}; -; -). \quad (3.5)$$

Soudobost β_n se vypočítá podle Ruscova vzorce, který je taktéž uveden v [2], jako

$$\beta_n = \beta_\infty + (1 - \beta_\infty) \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (-), \quad (3.6)$$

kde $\beta_\infty \dots$ je soudobost pro nekonečný (velmi velký) počet bytů a podle normy je možno tuto hodnotu uvažovat 0,20.

Při rozsáhlých NN sítí se do výpočtu soudobého příkonu dostávají další hodnoty soudobosti, kterými jsou například soudobost mezi objekty dle hustoty odběrů na vývodu (podle [4] je tato hodnota 0,5 až 0,8) nebo soudobost mezi jednotlivými vývody. Určit zatížení sítě, tzn. dobře „odhadnout“ soudobé výhledové zatížení v předpokládaném maximu jednotlivých odběrů, je nejdůležitější krok v návrhu sítě. Z tohoto zatížení vychází optimální technický návrh.

Z výše uvedeného vyplývá, že určit soudobost jednotlivých úseků NN rozvodů patří mezi nejtěžší části návrhu a mnohdy záleží hlavně na zkušenostech projektanta.

3.3 Určení výpočtového proudu I_p

Výpočtový proud I_p se podle zdroje [2] určí z výpočtového zatížení P_p v trojfázové soustavě ze vztahu

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A}; \text{kW}; \text{V}; -), \quad (3.7)$$

kde $U_s \dots$ je jmenovité sdružené napětí soustavy,

$\cos \varphi \dots$ je průměrný účinník spotřebičů, které jsou v chodu v době maxima.

Poznámka: výpočtový proud ve skutečnosti není skalární veličinou, jak by se podle rovnice (3.7) mohlo zdát, ale vektorem. Zapišeme-li jej v polárních souřadnicích, bude se skládat z modulu proudu I_p a úhlu natočení φ , který udává fázový posun mezi proudem a napětím. Pro dimenzování

jednotlivých části DS je však potřebné znát pouze modul proudu I_p , proto se úhel natočení φ neuvádí.

3.4 Určení počtu a velikosti transformátorů

Distribuční transformátory (dále jen DTR) se navrhují převážně z hlediska výkonového zatížení a prostředí, kde mají být umístěny (běžné umístění – stožárové, blokové; umístění s mimořádnými podmínkami – např. vodárenské pásmo, atp.). [5] V souladu se standardy ČEZ, a.s. se pro transformaci napětí VN/0,42 kV a VN/0,4¹ kV používají třífázové olejové transformátory v hermetizovaném provedení, bez konzervátoru, s měděným vinutím a s redukovanými ztrátami naprázdno. Na příhradových stanicích pro mimořádné podmínky (vodárenské pásmo atp.) se používá suchých transformátorů.

Z hlediska charakteru obytné zóny se doporučuje pro soustředěnou zástavbu použít blokových kabelových DTS a pro rozptýlenou zástavbu přednostně používat stožárové a sloupové DTS. [5] Jelikož se v tomto projektu řeší elektrizace soustředěné zástavby, proto budou dále popsány pouze blokové kabelové DTS.

Blokové transformační stanice (kabelové) se dělí na tři základní typy:

- a) Z venku obsluhované betonové kompaktní DTS s monolitickým korpusem pro max. výkon dvou kusů DTR o výkonu 630 kVA. Používá se tam, kde lze zařízení obsluhovat z venku.
- b) Pochozí kompaktní monolitické železobetonové DTS s vnitřní obsluhou pro max. výkon dvou kusů DTR o výkonu 630 kVA. Používá se tam, kde není vhodná stanice s venkovní obsluhou nebo jsou speciální požadavky na vnitřní uspořádání technologie.
- c) Kombinovaná technologie v provedení ad a) nebo b). Tato DTS se používá v případech, kdy je nevhodné typ a) nebo b) použít (např. velká hmotnost apod.).

Veškeré kabelové DTS musí mít základovou část (vanu) z voděnepropustného betonu a utěsněné prostupy kabelů VN v „bajonetovém provedení“. Kabely jsou v těchto prostupech uloženy do zastudena smrštitelných chrániček. Kabely NN jsou vyvedeny z rozváděče NN vně vany přímo do okolního terénu nebo jsou pomocí průchodek rovněž utěsněny. DTS jsou také vybaveny průchodkami pro připojení uzemnění.

Podle zdroje [4] by zatížení DTR v základním zapojení DS nemělo překročit hodnotu 70% jmenovitého výkonu transformátoru. DTR je možné přetížit pouze pro řešení mimořádných stavů v DS (např. záloha jiného DTR při poruše). Přetížení transformátorů může být krátkodobě i cca 105%, protože lze uvažovat soudobost mezi vývody NN 0,88. Standardizované řady transformátorů a jejich sekundární jmenovité proudy podle zdroje [4] jsou uvedeny v Tab. 3-1.

¹ Transformátory s převodem VN/0,4 kV se používají v blízkosti transformoven VVN/VN a u vlastní spotřeby.

Tab. 3-1 Standardní řada DTR VN/NN a jejich sekundární jmenovité proudy

S_n	I_{2max}
[kVA]	[A]
50	72
100	144
160	230
250	360
400	577
630	909

Níže uvedené vztahy potřebné pro návrh transformátorů jsou převzaty z vysokoškolských učebních textů [3], které se odkazují na normy ČSN.

Instalovaný výkon DTS (neboli instalovaný výkon DTR) se stanoví ze vztahu

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} \quad (\text{kVA; kW; -; -}), \quad (3.8)$$

kde P_p ... je výpočtový výkon odebíraný ze stanice,

$\cos \varphi$... je střední účinník výkonu jdoucího transformátory,

γ ... je koeficient využití transformátoru; volí se s ohledem na budoucí rozšiřování a možné výpadky v rozmezí 0,5 až 0,8.

Na základě instalovaného výkonu DTS se stanoví velikost (jmenovitý výkon) transformátorů S_n a jejich počet n tak, aby bylo splněno kritérium

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T, \quad (3.9)$$

kde S_{ni} ... je jmenovitý výkon i -tého DTR.

Nejčastěji se volí transformátory stejných výkonů. Potom se vztah (3.9) zjednoduší na

$$n \cdot S_n \geq S_T. \quad (3.10)$$

Výhodnější je volit menší počet větších transformátorů. Minimální počet transformátorů je dán maximálním vyráběným jednotkovým výkonem, požadovaným stupněm zabezpečení dodávky apod.

Skutečné využití navržených DTR je možné zjistit ze vztahu

$$\gamma_s = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} \quad (-; \text{kW}; -; \text{kVA}; -). \quad (3.11)$$

Zároveň musí být splněna podmínka nerovnosti

$$\gamma \geq \gamma_s. \quad (3.12)$$

3.5 Návrh a dimenzování vedení

Vodiče silnoproudého elektrického rozvodu se musí dimenzovat tak, aby [3]:

- v normálním stavu nebyla překročena jejich provozní teplota,
- vyhovovaly na požadavek hospodárného průřezu,
- měly dostatečnou mechanickou pevnost,
- úbytek napětí byl ve stanovených mezích,
- odolávaly dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.

3.5.1 Dimenzování dle dovolené provozní teploty

Vodiče musí být dimenzovány tak, aby jejich oteplení vlivem průchodu elektrického proudu nedosáhlo velkých hodnot. Vysoké teploty způsobují rekrystalizaci materiálu (změnu mechanických vlastností) a urychlují stárnutí izolace. Z těchto důvodů se stanovuje nejvyšší dovolená (trvalá) provozní teplota ϑ_{dov} a podle ní proud I_n , který může vodičem trvale protékat za daných referenčních podmínek (teplota prostředí ϑ_0 , tepelný odpor půdy H, druh prostředí - vzduch, voda, půda, atd.). Referenční hodnoty teplot prostředí jsou zpravidla 30 °C pro izolované vodiče a kabely na vzduchu a 20 °C pro kabely uložené v zemi. Dovolený proud I_n stanovuje norma ČSN 33 2000-5-523 [6] nebo přímo výrobce.

Je-li vodič uložený v prostředí, které nemá stejné hodnoty jako referenční prostředí (např. jiná teplota okolí, uložení více vodičů vedle sebe apod.), musí se jmenovitý proud vodiče I_n vynásobit potřebným přepočítávacím koeficientem, který udává norma [6]. Dovolené zatížení vodiče I_z se potom vypočte jako

$$I_z \leq k_1 \cdot k_2 \dots k_i \cdot I_n \quad (A; -; A), \quad (3.13)$$

kde I_n ... je jmenovité proudové zatížení daného vodiče pro referenční způsoby uložení,

k_1, k_2 až k_i ... jsou přepočítávací součinitelé zohledňující rozdíly mezi skutečným a referenčním způsobem uložení.

Provozní teplota vodiče ϑ_z a tedy i přípustné trvalé zatížení vodičů v normálních provozních stavech závisí na typu vodiče či kabelu, charakteristice provozu, prostředí, uložení a na charakteristice zátěže. [3]

3.5.2 Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti

Vodiče a kabely nemají být zatěžovány více než hospodárným proudem. To proto, aby celkové roční náklady, které se skládají z nákladů na pořízení, provoz a údržbu, byly v optimálních mezích. [3]

Hospodárný průřez se dá vypočítat ze vztahu

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} \quad (\text{mm}^2; -, A; s), \quad (3.14)$$

kde $k \dots$ je koeficient podle normy ČSN 34 1610 [7],

$I_p \dots$ je výpočtový proud,

$T \dots$ je doba plných ztrát.

Pro naši potřebu však nebudeme vycházet ze vzorce (3.14), ale ze standardů ČEZ, a.s. Ty uvádějí, že zatížení kabelu VN by nemělo přesáhnout 50% jmenovité hodnoty proudu (I/I_n) v základním provozním stavu a zatížení kabelu NN je třeba uvažovat max. 75%. Tím je zohledněno např. stárnutí materiálu a zvyšování přechodného odporu, což umožní další přiměřené zvyšování spotřeby bez zásahu do sítě NN. Úbytek napětí na konci NN vedení navíc nemá být v době předpokládaného maxima větší než 6% při zatížení plně elektrifikované sítě. [4]

Standards pro venkovní vedení není potřeba uvádět, protože při návrhu vedení pro připojení DTS k síti VN i pro vedení NN bude použito kabelové vedení.

3.5.3 Dimenzování vodičů dle mechanické pevnosti

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby odolávaly mechanickým namáháním, které běžný provoz přináší. U kabelových vedení dochází k mechanickému namáhání zejména při pokládce kabelů a při zatahování vodičů do trubek. Nejmenší dovolené průřezy vodičů s ohledem na mechanické namáhání jsou uvedeny v různých normách. [3]

3.5.4 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí

Úbytek napětí na vedení způsobuje odchylku napětí na svorkách spotřebičů od jmenovité hodnoty. Odchylka napětí a její kolísání je kvalitativním ukazatelem dodávky elektrické energie. Proto se musí vodiče a kabely dimenzovat tak, aby při daném zatížení nezpůsobovaly nedovolený pokles napětí na svorkách spotřebiče.

Dovolené tolerance kolísání napětí u různých spotřebičů jsou udány příslušnou normou. Např. u vnitřních osvětlení je dovolená tolerance kolísání napětí $\pm 3\% U_n$ (je-li pro osvětlení a motory společný rozvod, připouští se celkový pokles napětí až $5\% U_n$), u venkovních osvětlení $8\% U_n$, pro většinu spotřebičů motorických i odporových $\pm 5\% U_n$ atd. [3]

Poznámka: odchylka napětí se vypočte jako $U - U_n$, je to tedy rozdíl absolutní hodnoty napětí v daném místě a napětí jmenovitého. Úbytek napětí je rozdíl dvou absolutních hodnot napětí v různých místech soustavy.

Podle ČSN 34 1610 [7] se úbytek napětí v rozvodech, kde $\cos \varphi \geq 0,5$, vypočte podle vzorce

$$\Delta U = R \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X \cdot I_p \cdot \sin \varphi \quad (\text{V}; \Omega; A; -, \Omega; A; -), \quad (3.15)$$

kde $R \dots$ je elektrický odpor vodiče,

$X \dots$ je reaktance vodiče.

Máme-li zadaný odpor a indukčnost vedení na jeden kilometr délky, změní se vztah (3.15) na

$$\Delta U = R_k \cdot l \cdot I_p \cdot \cos \varphi + 2\pi f \cdot L_k \cdot l \cdot I_p \cdot \sin \varphi \quad (3.16)$$

(V; Ω/km; km; A; -; Hz; H/km; km; A; -),

kde R_k ... je elektrický odpor vodiče vztažený na jeden kilometr délky,

L_k ... je indukčnost vodiče vztažená na jeden kilometr délky,

l ... je délka vodiče,

f ... je frekvence napětí sítě.

Procentní vyjádření úbytku napětí vztaženého ke jmenovitému napětí lze vypočítat dle vztahu

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_n} \cdot 100\% \quad (\%; \text{V}; \text{V}). \quad (3.17)$$

V rozvodech, kde $\cos \varphi < 0,5$, se úbytek napětí vypočte podle vztahu

$$\Delta U = R \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X \cdot I_p \cdot \sin \varphi + \frac{(R \cdot I_p \cdot \sin \varphi - X \cdot I_p \cdot \cos \varphi)^2}{2U}. \quad (3.18)$$

Průřez vodiče není jediným faktorem, kterým můžeme ovlivnit kolísání napětí. Kolísání napětí ovlivňujeme (zmenšujeme) např. také změnou převodu regulovatelných transformátorů a užitím paralelní kompenzace.

3.5.5 Dimenzování podle účinku zkratových proudů

Při zkratu jsou vodiče a kabely zatěžovány tepelnými a dynamickými účinky zkratového proudu. Na tepelné účinky se musí kontrolovat všechny druhy a typy vedení (včetně kabelů), zatímco na dynamické účinky se za určitých předpokladů kontrolují převážně holé vodiče, přípojnice, atd. Prostě tam, kde může dojít k vytržení vedení (převážně přípojnic) z pevného uchycení, dotknutí se dvou živých částí apod. Jelikož jsou kabely pohyblivé a živé části mají po své celé délce potáhnuty izolací, nehrozí, že se vlivem dynamických účinků zkratového proudu navzájem dotknou dvě živé části nebo dojde k poškození vodiče vlivem těchto sil. Určité riziko ale nastává v místě, kde kabely jednotlivých fází prochází např. průchodkami transformátoru. Zde může vlivem dynamických účinků dojít k poškození transformátoru. Průchodky transformátorů však bývají dostatečně dimenzovány, a proto můžeme předpokládat, že je dynamické účinky zkratového proudu nepoškodí. Z tohoto důvodu se budeme dále zabývat pouze dimenzováním podle tepelných účinků zkratových proudů, protože VN vedení a rozvody NN budou provedeny kabely.

Při dimenzování vedení podle tepelných účinků zkratových proudů se určuje minimální průřez jader vodičů S_{kmin} , při kterém nepřesáhne ohřátí vodiče dovolenou teplotu ϑ_k , než jištění odpojí zkrat. Tato teplota je stanovena zejména s ohledem na stárnutí izolace a zmenšení

mechanické pevnosti v důsledku tepelného nárazu. Teploty ϑ_k pro jednotlivé druhy izolace uvádí např. ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 [8].

Doba zkratu t_k trvá ve srovnání s časovými oteplovacími konstantami vodiče velmi krátkou chvíli, proto se oteplení vodiče zkratovým proudem považuje za děj adiabatický (veškeré teplo vyvinuté zkratovým proudem se akumuluje v materiálu jádra vodiče). Z tohoto důvodu se teplota vodiče zvýší z teploty provozní ϑ_z na hodnotu ϑ_k . Pro dimenzování se uvažuje nejvyšší možná doba zkratu t_k . [3]

Norma při dimenzování vodičů podle tepelných účinků zkratových proudů stanovuje tyto zjednodušující předpoklady:

- 1) Při výpočtech se neuvažuje vliv magnetického pole vlastního vodiče ani vliv magnetických polí blízkých paralelních vodičů,
- 2) elektrický odpor je v závislosti na teplotě lineární,
- 3) měrné teplo vodiče je konstantní,
- 4) jev je adiabatický, tedy se nepočítá s odvodem tepla z vodiče.

Veškeré výpočty vycházejí z předpokladu, že se teplo vyvinuté proudem rovná teplu akumulovanému ve vodiči. Pro výpočet minimálního průřezu vodiče podle ČSN 38 1754 [9] lze za použití ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{ke} , jehož výpočet je uveden v [10], psát vztah

$$S_{k \min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 (20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}}} \quad (\text{mm}^2), \quad (3.19)$$

kde I_{ke} ... je ekvivalentní oteplovací proud určený pro dobu trvání zkratu t_k (A),

t_k ... je maximální doba trvání zkratu (s),

c_0 ... je specifické teplo vodiče při 0°C ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$); viz Tab. 3-2,

ϑ_f ... je tzv. fiktivní teplota vodiče podle jeho materiálu (°C); viz Tab. 3-2,

ρ_{20} ... je specifický odpor vodiče při 20°C ($\Omega \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$); viz Tab. 3-2,

ϑ_k ... je maximální dovolená teplota při zkratu (°C),

ϑ_1 ... je maximální provozní teplota vodiče (°C).

Při návrhu musí platit podmínka, že skutečný průřez vodiče musí být větší nebo roven minimálnímu průřezu vodiče, tedy

$$S \geq S_{k \min}. \quad (3.20)$$

V Tab. 3-2 jsou uvedeny materiálové konstanty pro výpočet oteplení vodiče při zkratu. Tabulka je vytvořená na základě ČSN 38 1754 [9].

Tab. 3-2 Materiálové konstanty pro výpočet oteplení vodiče při zkratu

Materiál	Cu	Al
ρ_{20} - specifický odpor při 20°C ($\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$)	0,01786	0,02941
ϑ_f - fiktivní teplota (°C)	234,5	228,0
c_0 - specifické teplo ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{C}^{-1}$)	3,5	2,417

Výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{ke} uvádí ČSN EN 60909-0 [10] a vypočte se podle vztahu

$$I_{ke} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad (\text{A}; \text{A}; -; -), \quad (3.21)$$

kde I_k'' ... je počáteční rázový zkratový proud,

m ... je součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu (Obr. 3-1),

n ... je součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu (Obr. 3-2).

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu I_k'' je uveden v ČSN EN 60909-0 [10]. Aby jej bylo možné určit, musí se nejprve vypočíst celková impedance do místa poruchy. V případě kabelu je nejpravděpodobnější místo poruchy (zkratu) na jeho koncích, tedy na přípojnicích, kde již není chráněn svou izolací. Máme-li síť napájenou pouze z jedné strany (jak je tomu v případě návrhu elektrizace řešené v kapitole 4) a zkrat nastane na přípojnici v místě upevnění začátku kabelu (myšleno ve směru od zdroje ke spotřebiči), nemá tento zkrat pro kabel prakticky žádný význam, protože zkratový proud přes něj neprochází. Jiná situace ale nastává, vyskytne-li se zkrat na přípojnici na konci kabelu. V tomto případě přes kabel prochází plný zkratový proud a kabel musí být kontrolován na minimální průřez v závislosti délky trvání zkratového proudu.

Z výše uvedeného předpokladu vyplývá, že se kabel může kontrolovat na účinky zkratového proudu jen na svém konci. V tomto případě je celková impedance do místa poruchy rovná součtu impedance sítě v místě připojení kabelu a impedance samotného VN kabelu. Budou-li se navrhovat rozvody NN, bude celková impedance součtem impedancí sítě, VN kabelu, DTS a impedance dané větve NN rozvodu.

Výpočet impedance sítě Z_s je uveden v [10]. Podle této normy je možné v případě neznámé hodnoty rezistance síťových napáječů dosadit pro napěťovou hladinu 22 kV rezistanci $R=0,1 \cdot X$, kde reaktance je $X=0,995 \cdot Z_s$. Impedance sítě se vypočte pomocí známé hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového výkonu sítě S_k'' v místě připojení a to dle vztahu

$$Z_s = \frac{cU_n^2}{S_{k3}''} \quad (\Omega; -; \text{V}; \text{VA}), \quad (3.22)$$

kde $c \dots$ je napěťový součinitel (jeho hodnoty jsou uvedeny v [10]),

$U_n \dots$ je jmenovité napětí sítě (efektivní hodnota napětí, sdružená),

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

Po vyjádření rezistance a reaktance sítě bude mít komplexní tvar impedance sítě podobu

$$\overline{Z}_s = R + jX \quad (\Omega; \Omega; \Omega). \quad (3.23)$$

Napěťový součinitel c je dle [10] nutný z těchto důvodů: kolísání napětí v závislosti na čase a místě, přepínání odboček transformátoru, zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí při výpočtu, chování generátorů a motorů při přechodném ději. Napěťových součinitelů c_{\max} a c_{\min} se používá pro výpočet maximálních a minimálních počátečních zkratových proudů. Pro napěťovou hladinu 22 kV je $c_{\max}=1,1$ a $c_{\min}=1,0$.

Impedance kabelu Z_k se podle [3] vypočte z parametrů navrženého vodiče, které jsou pro daný vodič uvedeny normou nebo výrobcem. Parametry kabelu jsou nejčastěji udány na jeden kilometr délky. V tomto případě se impedance kabelu vypočte podle vztahu

$$\overline{Z}_k = l \cdot (R_k + j2\pi f \cdot L_k) \quad (\Omega; \text{km}; \Omega/\text{km}; \text{Hz}; \text{H/km}). \quad (3.24)$$

Impedance transformátoru Z_t (nazývaná také jako podélná impedance transformátoru) se vypočte podle štítkových hodnot – jmenovitého výkonu S_n , napětí nakrátko u_k a ztrát nakrátko ΔP_k . Podle zdroje [11] můžeme pro reálnou složku impedance transformátoru psát vztah

$$R_t \cong \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_n^2} \quad (\Omega; \text{W}; \text{V}; \text{VA}) \quad (3.25)$$

a pro imaginární složku impedance platí

$$X_t = \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \sqrt{e_k^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_n}\right)^2} \quad (\Omega; \text{V}; \text{VA}; -, \text{W}; \text{VA}). \quad (3.26)$$

U výpočtu reálné složky impedance transformátoru se dopouštíme jisté chyby, neboť neuvažujeme ztráty výkonu v magnetickém obvodu (tzv. ztráty naprázdno ΔP_0) při magnetizaci zbytkovým tokem za chodu nakrátko. Tato chyba je však zanedbatelná, protože ztráty nakrátko jsou mnohem větší než ztráty naprázdno. Impedance transformátoru je potom

$$\overline{Z}_t = R_t + jX_t \quad (\Omega; \Omega; \Omega). \quad (3.27)$$

Celková impedance je potom součet všech impedancí od zdroje až do místa poruchy (do místa navrhovaného úseku DS). Tato impedance se matematicky zapíše jako

$$\overline{Z}_c = \overline{Z}_s + \overline{Z}_k + \overline{Z}_t + \dots \quad (\Omega; \Omega; \Omega; \Omega). \quad (3.28)$$

Nyní je možné určit počáteční rázový zkratový proud I_k'' podle vztahu

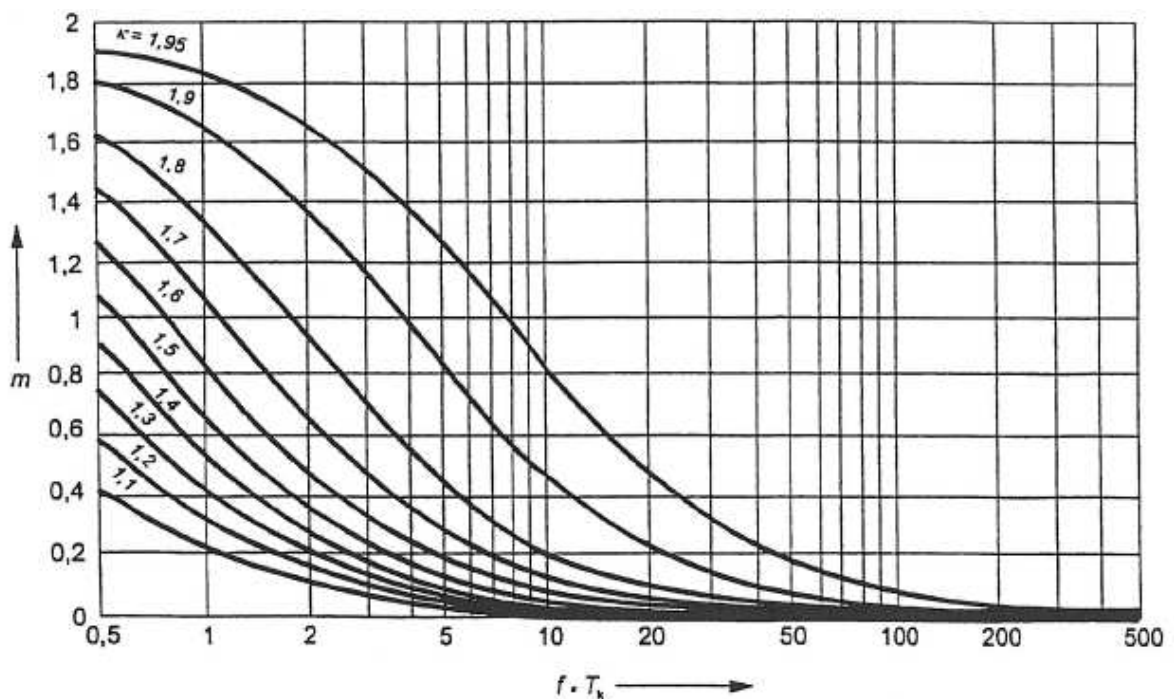
$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_c} \quad (\text{A}; -; \text{V}; \Omega). \quad (3.29)$$

Při výpočtu I_k'' se uvažuje pouze modul celkové impedance Z_c , úhel natočení vektoru není potřebný. Výpočet I_k'' se všeobecně provádí pro třífázový zkrat, protože u tohoto zkratu se předpokládají nejhorší účinky zkratového proudu. [10]

Pro výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu je dále nutné určit součinitele m a n na základě obrázků 3-1 a 3-2, které jsou převzaty z ČSN EN 60909-0 [10]. Součinitel m se získá z Obr. 3-1 s použitím součinu frekvence sítě f a doby trvání zkratového proudu T_k (v případě více zkratů je to součet dob trvání pro všechny zkratové proudy) a součinitele κ . Výpočet součinitele κ je uveden v [10] a to jako

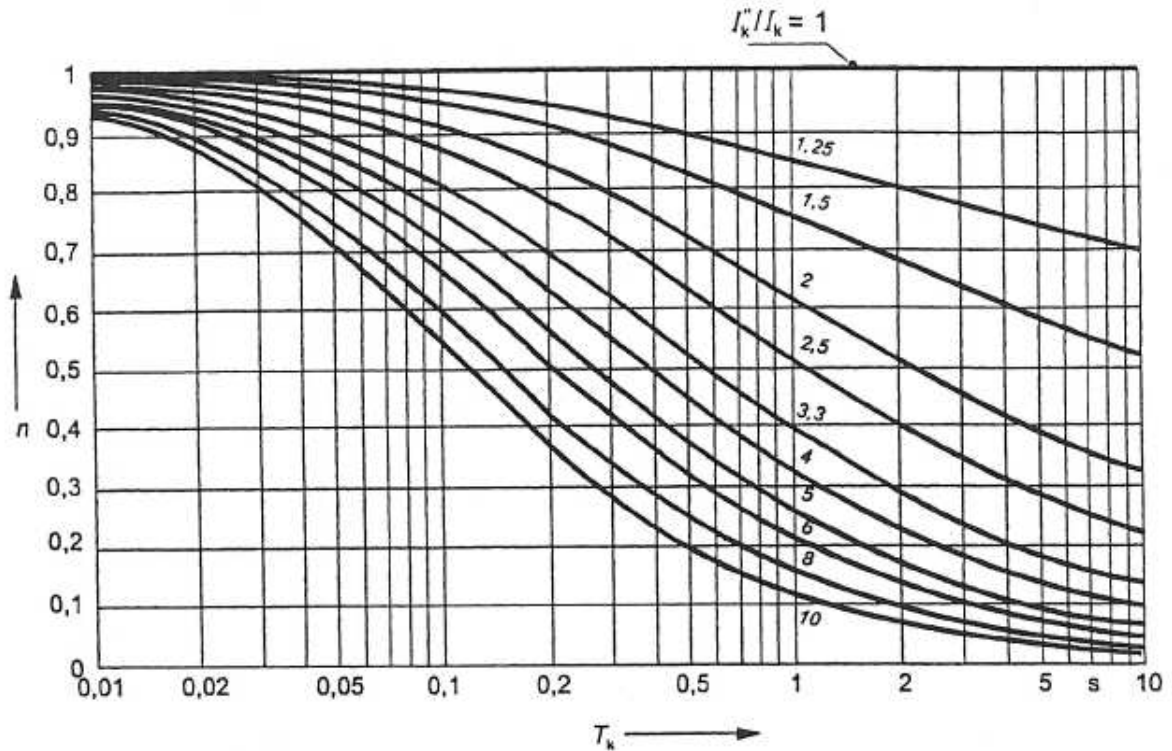
$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} \quad (-; \Omega; \Omega). \quad (3.30)$$

Poznámka: rezistance R a reaktance X jsou získány z celkové impedance Z_c .



Obr. 3-1 Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu [10]

Součinitel n se získá z Obr. 3-2 s použitím T_k a podílu I_k''/I_k , kde I_k je ustálený zkratový proud pro každý zkrat. Podle [10] se může pro distribuční sítě (elektricky vzdálené zkraty) obvykle použít $n = 1$. U vzdálených zkratů s jmenovitou dobou trvání zkratu 0,5 s a déle je dovolené uvažovat s $m + n = 1$.



Obr. 3-2 Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu [10]

3.5.6 Dodatek k navrhování kabelových sítí NN a VN

Navrhování kabelových sítí NN

Kabelové sítě NN se používají převážně tam, kde nelze realizovat venkovní vedení NN nebo je to ekonomicky nevýhodné. Jedná se například o husté zástavby měst a obcí. Tato síť začíná vývodem z NN rozvaděče DTS a končí v přípojkové skříni odběratele, na podpěře venkovního vedení NN ukončením v rozpojovací skříni nebo připojením přímo na vedení. [12]

Sítě NN se dimenzují převážně z hlediska [4]:

- požadovaného výkonu s respektováním zatížení dle kategorie odběrů pro bytové objekty, zároveň je třeba brát v úvahu výhledy rozšiřování sítě do budoucnosti (soudobost),
- dodržení impedanční smyčky,
- dodržení úbytku napětí na konci vedení,
- dovolené mechanické namáhání.

Standardy ČEZ, a. s. [4] doporučují pro hlavní vedení NN, které vyvádí výkon z DTS, použít kabely (o daném průřezu a počtu) uvedené v Tab. 3-3. Tato vedení mají být navržena na základě výpočtu navrhované sítě tak, aby přenesla instalovaný výkon DTR z dané DTS s uvažováním počtu vývodů z NN rozvaděče.

Tab. 3-3 Doporučený počet vodičů NN s daným průřezem pro vyvedení výkonu z DTS

Výkon DTR	Kabel NN, počet (ks)
1 x 50 kVA	1 x AYKY 4 x 70 mm ² (1 x AES 4 x 70 mm ²)
1 x 100 kVA	1 x AYKY 3 x 120 + 70 mm ² (1 x AES 4 x 120 mm ²)
1 x 160 kVA	1 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ² (2 x AES 4 x 120 mm ²)
1 x 250 kVA	2 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ² (3 x AES 4 x 120 mm ²)
1 x 400 kVA	2 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ² (4 x AES 4 x 120 mm ²)
2 x 400 kVA	4 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ²
1 x 630 kVA	3 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ²
2 x 630 kVA	6 x AYKY 3 x 240 + 120 mm ²

Navrhování kabelových sítí VN

Sítě VN se dimenzují převážně z hlediska [4]:

- požadovaného výhledového výkonu s uvažováním soudobosti podle druhu a charakteru odběrů,
- dodržení limitů zatížení vedení a transformátorů,
- dodržení kvality dodávky elektrické energie dle platných ČSN a PNE,
- dovoleného mechanického namáhání.

3.6 Ochrana vodičů před nadproudy

Vodiče se musí chránit před všemi nadproudy (přetížením a zkraty). Ochranné přístroje mají za úkol odpojit jakýkoliv nadproud dříve, než by mohlo vyvolat škodlivé oteplení izolace, spojů, zakončení nebo hmot obklopujících vodiče.

Metodika DSO_ME_0147r00 [12] uvádí podmínky pro jištění kabelových sítí NN, které společnost ČEZ Distribuce, a. s. ve své DS uplatňuje. Tyto podmínky jsou následující:

- jištění musí být v souladu s PNE 33 0000-1, při zkratu v kterémkoliv místě sítě musí předřazené jisticí prvky odpojit vadnou část do 30 s,
- musí být zajištěná selektivita po sobě následujících jisticích prvků,
- jako jisticí prvky se používají tavné pojistky s charakteristikou gG,
- jisticí prvky sítě jsou v rozvaděčích trafostanic a rozpojovacích skříních,
- u „téčkování“ je nutné dodržet minimální průřez kabelu přípojky dle zkratového proudu v daném místě. Odpovídající průřez v dané oblasti je nutné doložit výpočtem. Minimální průřez kabelu přípojky bude 4x35 mm² s hliníkovým jádrem.

Další zpracování této kapitoly je provedeno především podle ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 [8], která se zabývá ochranou před nadproudy. Části textu, u kterých bylo čerpáno z jiných zdrojů, jsou patřičně označeny.

3.6.1 Druhy ochranných přístrojů

Ochranné přístroje se rozdělují do tří základních skupin:

- přístroje zajišťující ochranu před proudy přetížení i před zkratovými proudy,
- přístroje zajišťující ochranu pouze před proudy přetížení a
- přístroje zajišťující ochranu pouze před zkratovými proudy.

Ve výpočetní části projektu budou použity přístroje, které slučují ochranu před proudy přetížení i před zkratovými proudy, proto více rozebereme jen tuto část ochranných přístrojů.

Přístroje zajišťující zároveň ochranu před proudy přetížením i před zkratovými proudy musí být schopné přerušit (v případě jističů i zapnout) jakýkoliv nadproud až do velikosti předpokládaného zkratového proudu v místě, kde je přístroj instalován. Mezi tyto přístroje patří:

- jističe se spouští proti přetížení i se zkratovou spouští,
- jističe ve spojení s pojistkami,
- pojistky s pojistkovými vložkami s charakteristikou gG.

3.6.2 Ochrana před proudovým přetížením

Funkční charakteristika prvku jistícího vedení před přetížením musí vyhovovat těmto požadavkům:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (3.31)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z, \quad (3.32)$$

kde I_B ... je proud použitý ve vedení,

I_z ... je dovolené proudové zatížení vedení,

I_n ... je jmenovitý proud jistícího prvku nebo zvolené proudové nastavení u nastavitelných prvků,

I_2 ... je proud zajišťující účinné zapůsobení ochranného přístroje ve smluvené době.

Poznámka: proud I_2 musí stanovit výrobce nebo je uveden ve výrobní normě.

Ochrana navržená podle výše uvedených vztahů nemusí v jistých případech ochranu vodiče zajistit, např. když průchod trvalého nadproudu je menší než I_2 . V takovýchto případech je dobré uvažovat o kabelu s vyšším průřezem. Norma [8] totiž u tohoto návrhu jistění předpokládá, že:

- základní teplota okolí je pro kabely a vodiče ve vzduchu 30 °C a v zemi 20 °C,
- nejvyšší dovolená provozní teplota izolace je 70 °C,

- nejvyšší dovolená teplota izolace při přetížení je 120 °C.

Uvedené teploty izolace jsou odvozeny od nejpoužívanější izolace vodičů a kabelů, kterou je izolace z PVC. Pro takovéto vodiče a kabely je jištění stanovené podle výše uvedených podmínek vyhovující.

Nesplňuje-li vodič uvedené předpoklady, nemusí ochrana pracovat spolehlivě. Proto se v tomto případě doporučuje jištění vodiče zkontrolovat na základě oteplovací charakteristiky vodiče, jejíž průběh popisuje vztah

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_m (1 - e^{-\tau'}) \quad (\text{K}; \text{K}; -), \quad (3.33)$$

$$\text{přičemž platí: } \vartheta_m = \vartheta_0 + \Delta\vartheta_m \quad (^\circ\text{C}; ^\circ\text{C}; \text{K}), \quad (3.34)$$

$$\tau' = t / \tau \quad (-; \text{s}; \text{s}), \quad (3.35)$$

kde $\Delta\vartheta$... je oteplení vodiče (kabelu) za čas t od počátku průchodu konstantního proudu nebo nadproudu,

$\Delta\vartheta_m$... je největší ustálené oteplení vodiče (kabelu),

ϑ_0 ... je počáteční teplota vodiče (kabelu) v okamžiku počátku průchodu konstantního proudu nebo nadproudu,

ϑ_m ... je největší ustálená teplota vodiče (kabelu) způsobená trvalým průchodem konstantního proudu nebo nadproudu,

τ' ... je poměrný čas od počátku průchodu proudu nebo nadproudu,

t ... je čas od počátku průchodu proudu nebo nadproudu,

τ ... je časová oteplovací konstanta vodiče (kabelu); je to doba, za kterou stoupne oteplení vodiče (kabelu) o $0,632 \Delta\vartheta_m$.

Poznámka: časovou oteplovací konstantu udává výrobce vodiče (kabelu) pro nadproud, při kterém vodič (kabel) dosáhne nevyšší dovolenou teplotu při proudovém přetížení a při základní teplotě okolí.

Velikost oteplení $\Delta\vartheta_m$ se v závislosti na poměrném nadproudu i v ustáleném stavu stanoví pro potřeby dimenzování a jištění z výrazu

$$\Delta\vartheta_m = \Delta\vartheta_z \cdot i^x \quad (\text{K}; \text{K}; -), \quad (3.36)$$

$$\text{přičemž platí: } i = \frac{I_m}{I_z} \quad (-; \text{A}; \text{A}), \quad (3.37)$$

kde $\Delta\vartheta_m$... je oteplení vodiče (kabelu) odpovídající nadproud i ,

$\Delta\vartheta_z$... je oteplení vodiče (kabelu) odpovídající dovolenému proudu I_z ,

i ... je poměrný nadproud,

x ... je mocnitél stanovený na základě měření (pro izolované vodiče je $x=2,492$ a pro holé vodiče $x=2$),

I_m ... je nadproud způsobující oteplení $\Delta\vartheta_m$,

I_z ... je dovolené proudové zatížení podle [6] způsobující dovolené oteplení vodiče (kabelu) $\Delta\vartheta_z$.

Celkově tedy pro oteplení vodiče (kabelu) platí:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_z \cdot i^x \cdot (1 - e^{-\tau}) \quad (\text{K; K; -; -}). \quad (3.38)$$

3.6.3 Ochrana před zkratovými proudy

Jmenovitá vypínací schopnost přístrojů chránící vedení před zkratem nesmí být menší než maximální předpokládaný zkratový proud v místě, kde je přístroj instalován. Tuto podmínku nemusí ochranný přístroj splňovat, pokud jiný přístroj instalovaný na straně zdroje má potřebnou vypínací schopnost.

Všechny zkratové proudy tekoucí kabely a izolovanými vodiči musí být přerušeny dříve, než teplota vodiče vzroste nad dovolenou mezní teplotu izolace vodiče. Pro dobu působení ochranných přístrojů $<0,1\text{s}$, v případě významné nesymetrie proudů a pro přístroje omezující proud, musí být $k^2 S^2$ větší než hodnota propuštěné energie $I^2 t$ uváděná výrobcem ochranného přístroje.

Doba trvání zkratu t , která je potřebná na zvýšení teploty vodiče z nejvyšší dovolené provozní teploty v normálním provozu na mezní teplotu, se může v prvním přiblížení vypočítat ze vztahu

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I} \right)^2 \quad (\text{s; -; mm}^2; \text{A}), \quad (3.39)$$

kde t ... je doba trvání zkratu,

S ... je průřez vodiče,

I ... je účinný zkratový proud vyjádřený jako efektivní hodnota,

k ... je součinitel respektující rezistivitu, teplotní koeficient a tepelnou kapacitu materiálu vodiče a odpovídající počáteční a konečnou teplotu. Hodnoty k uvádí ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 [8] a jsou zaznamenány v Tab. 3-4.

Poznámka: uvedený vztah platí pro zkraty s dobou trvání do 5s.

Tab. 3-4 Hodnoty k pro vodiče

Vlastnosti/podmínky	Druh izolace vodiče							
	PVC termoplastický		PVC termoplastický 90°C		EPR XLPE termoset	Pryž 60°C termoset	Minerální	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			s pláštěm PVC	bez pláště
Průřez vodiče (mm ²)	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Počáteční teplota (°C)	70		90		90	60	70	105
Konečná teplota (°C)	160	140	160	140	250	200	160	250
Materiál vodiče:								
měď	115	103	100	86	143	141	115	135-115*
hliník	76	68	66	57	94	93	–	–
Cínem pájené spoje v měděných vodičích	115	–	–	–	–	–	–	–
* Tato hodnota se použije pro holé kabely vystavené dotyku.								

Poznámka k Tab. 3-4: Jmenovitý proud přístroje pro ochranu před zkratem může být větší než dovolený proud kabelu.

3.6.4 Ochrana paralelních vodičů před nadproudy

Hlavními faktory, které ovlivňují způsob chránění paralelních vodičů, jsou průřez, materiál, délka a uložení vodiče. Tyto faktory zásadně ovlivňují poměr rozdělení přenášeného proudu přes jednotlivé vodiče.

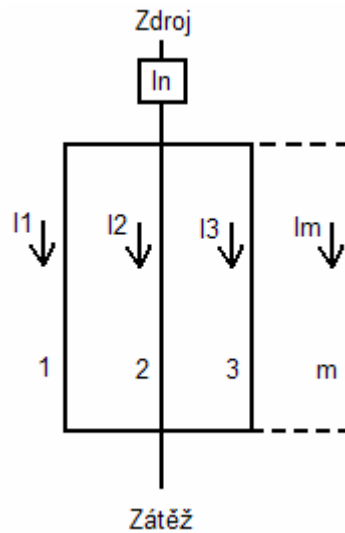
V případě nestejně rozděleného proudu mezi jednotlivé paralelní vodiče (může nastat kvůli nestejným parametrům vodičů nebo nepříznivému uspořádání) se musí jištění pro každý vodič posuzovat individuálně. O nestejně rozděleném proudu hovoříme tehdy, pokud je nerovnoměrnost větší než cca 10%.

Jsou-li parametry vodičů a způsob jejich uložení stejné, potom se také přenášený proud rozdělí téměř stejným dílem mezi jednotlivé vodiče. V tomto případě jsou možné dva způsoby jištění vodičů:

- 1) Všechny paralelní kabely jsou jištěny společně před bodem rozdělení na celý přenášený výkon.
- 2) Každý vodič je jištěn zvlášť na daný poměr přenášeného proudu (výkonu). Například pokud se jedná o dva paralelní vodiče, jistíme každý kabel zvlášť na poloviční přenášený výkon.

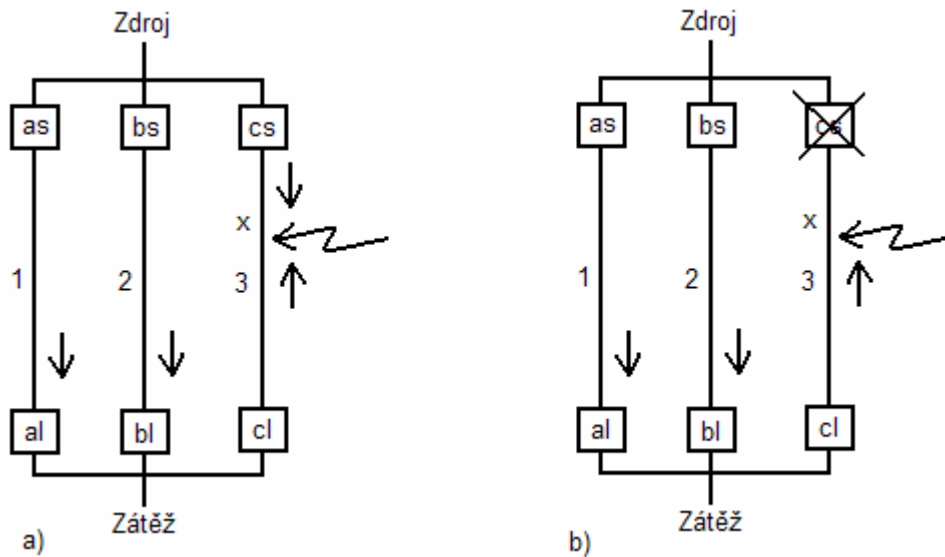
Oba způsoby jištění mají své výhody i nevýhody. V prvním případě (společné jištění pro všechny kabely) je výhodou, že je použit pouze jeden jistící přístroj. Nevýhodou však je, že pokud dojde k poruše, jistící přístroj odpojí všechny vodiče najednou a část elektrického rozvodu směrem k zátěži za tímto přístrojem zůstane bez dodávky elektrické energie. Obr. 3-3, který byl vytvořen na základě normy [8], znázorňuje způsob zapojení jistícího přístroje chránícího všechny paralelní vodiče před nadproudy najednou. V druhém případě (každý vodič je jištěn zvlášť) je výhodou, že v případě poruchy dojde k odpojení pouze postiženého vodiče

a další paralelní vodiče mohou nadále napájet zátěž. Nevýhodou ale je, že odpojení jednoho vodiče v důsledku poruchy nemusí být detekováno a zbývající „zdravé“ vodiče mohou být přetěžovány. Navíc je při tomto způsobu chránění paralelních vodičů použito více jistících přístrojů a vodiče se musí jistit na svém začátku i na konci (ochrana vedení proti zpětným proudům – vysvětleno níže). Na Obr. 3-4 je znázorněno zapojení ochranných přístrojů chránící jednotlivé vodiče zvlášť. Tento obrázek je taktéž vytvořen na základě zdroje [8].



Obr. 3-3 Jištění paralelních vodičů najednou

Jestliže jsou vodiče zapojeny paralelně, pak se může v případě poruchy (zkratu) objevit více proudových drah, které místo poruchy napájí (např. napájení z druhé strany vodiče – tzv. zpětné proudy). V případě chránění všech paralelních vodičů najednou (Obr. 3-3) tento jev nezhoršuje účinky ochrany vedení, protože se při vybavení ochranného přístroje odpojí všechny vodiče najednou. To však neplatí, pokud je každý z paralelních vodičů chráněn zvlášť. Proto by se měl v tomto případě každý vodič před zkratem chránit na obou stranách – na straně zdroje (s – jako *supply*) i na straně zátěže (l – jako *load*). Rozdělení proudů a jejich drah při zkratu je znázorněno na Obr. 3-4.



Obr. 3-4 Jištění paralelních vodičů samostatně: a) průtok proudu na začátku zkratu; b) průtok proudu po vybavení ochranného přístroje cs

Z Obr. 3-4 je patrné, proč se samostatně jištěné paralelní vodiče jistí na začátku i na konci. Po vybavení ochrany *cs* je místo poruchy *x* stále napájeno přes vodiče 1 a 2 z druhé strany. Protože vodiče 1 a 2 jsou paralelní, nemusí být rozdělený proud protékající ochrannými přístroji *as* a *bs* dostatečný k tomu, aby zapůsobily v požadovaném čase. Z tohoto důvodu je na konci vodiče 3 instalována ochrana *cl*, která má poruchový proud odpojit. Stejná situace by nastala, pokud by se porucha vyskytla ve vodičích 1 nebo 2, z toho důvodu se také požadují ochranné přístroje *al* a *bl*.

Jistíme-li paralelní vodiče samostatně, potom ochranné přístroje volíme tak (na začátku i na konci), aby bezpečně ochránily vodič před nadproudy. Přitom nezáleží na selektivě ochranných přístrojů. Ochranné přístroje na konci vodiče nemají v tomto případě jinou funkci než ochranu vedení proti zpětným proudům. Z tohoto důvodu může být jmenovitý proud ochranných přístrojů na začátku i na konci vedení stejný. [1]

3.6.5 Přiřazení prvku jistícího před nadproudy k vedení

V praxi se pro zjednodušení a urychlení návrhu jištění vedení používají tabulky, které jmenovitě přiřazují jistící prvky (pojistky, jističe) k vedení s daným jmenovitým průřezem. Tyto tabulky vznikly v souladu s ČSN, které jsou stručně shrnuty výše (kapitoly 3.6.2 a 3.6.3). Při sestavování těchto tabulek byly zohledněny vypínací charakteristiky jistících prvků, způsob uložení vedení, použitý materiál žil vodičů a jejich izolace apod.

S těmito tabulkami se můžeme setkat např. v technické publikaci [13] (na tuto publikaci se odkazuje také ČSN 33 2000-4-43 ed. 2). Tab. 3-5, která je převzatá právě ze zdroje [13], přiřazuje jistící prvky ke kabelům s hliníkovým jádrem uložených v zemi (tento způsob uložení bude použit i ve výpočetní části této práce).

Tab. 3-5 Dovolené proudy vodičů a jmenovité proudy jisticích prvků (v ampérech) pro ochranu před nadproudy vodičů a kabelů s hliníkovým jádrem při uložení v zemi (uložení D)

Průřez vodičů [mm ²]	Počet zatížených vodičů a druh izolace					
	Dva PVC			Tři PVC		
Hliník	I	P	J	I	P	J
2,5	34	25	32	30	20	25
4	45	32	40	38	25	32
6	56	40	50	47	32	40
10	75	50	63	63	40	50
16	97	63	80	81	63	63
25	125		100	103	80	80
35	150		125	125	100	100
50	177			147	100	125
70	219			183	160	
95	259			216	160	
120	295			245	200	
150	333			278	200	
185	375			313	250	
240	432			359	250	
300	489			406	315	

Poznámka k Tab. 3-5:

Sloupce I ... udávají maximální dovolené proudy trvalého zatížení I_B v A, které mohou být použité ve vedení,

Sloupce P ... udávají jmenovité proudy pojistek gG v A chránící vedení před nadproudy,

Sloupce J ... udávají jmenovité proudy v A malých jisticů (s charakteristikami B, C, D).

3.6.6 Ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí v kabelové síti NN

Metodika [12] společnosti ČEZ Distribuce, a. s. uvádí, že základní ochrana neživých částí má být zajištěná dle PNE 33 0000-1 samočinným odpojením od zdroje nadproudovými jisticími prvky.

4 VYPRACOVÁNÍ PROJEKTU

Rodinné domy spadají do 3. stupně zabezpečení dodávky. To znamená, že dodávka elektrické energie nemusí být zajištěna žádnými zvláštními opatřeními a RD mohou být připojeny pouze na jediný zdroj (přívod).

Návrh VN kabelu a DTS bude v následujícím textu proveden klasickým způsobem, takže veškeré výsledky výpočtů (včetně potřebných mezikroků) budou zaznamenány přímo v textu této práce. Návrh a dimenzování rozvodů NN bude proveden vzhledem k jejich celkové obtížnosti (rozmístění a počet RD, rozloha, atd.) ve výpočetním programu Sichr. V níže uvedeném textu bude pro rozvody NN určen výpočtový proud na NN straně DTS, který poslouží pro kontrolu návrhu, a popsán postup návrhu.

4.1 Zadání projektu a vstupní data

Projekt řeší elektrizaci nové lokality elektrickou energií. V projektu mají být splněny tyto body:

- 1) Výpočet zatížení dané lokality dle zadaného stupně elektrizace a stanovení počtu a velikosti transformátorů
 - a) pro stupeň elektrizace A (základní spotřebiče),
 - b) pro stupeň elektrizace C (základní spotřebiče, elektrické vaření a ohřev teplé užitkové vody - TUV, elektrické vytápění).
- 2) Návrh a dimenzování napájecího vedení VN.
- 3) Návrh a zakreslení rozvodů NN pro danou variantu elektrizace a návrh jištění.
- 4) Vyjmenování a popis metod a prostředků používaných při návrhu elektrizace.
- 5) Porovnání a zhodnocení variant návrhu.

Vstupní hodnoty pro návrh

- Výstavba 59 rodinných domů
- Požadovaný příkon na 1 RD:
 - a) Pro stupeň elektrizace A (základní spotřebiče)
 - osvětlení 2 kW
 - ostatní spotřebiče 6 kW

- b) Pro stupeň elektrizace C (základní spotřebiče, elektrické vaření a ohřev TUV, elektrické vytápění)
- osvětlení 2 kW
 - elektrické vaření 6 kW
 - ohřev TUV 2,5 kW
 - elektrické vytápění (přímotopné) 15 kW
 - ostatní spotřebiče 4 kW
- Zkratové výkony sítě v místě připojení jsou
 - jednofázový $S_{k1}'' = 74,2 MVA$
 - trojfázový $S_{k3}'' = 166,5 MVA$
 - Uvažovaný účinník sítě při výpočtech $\cos\varphi = 0,95$
 - Čas odpojení VN přívodu od sítě při zkratu
 - reakce ochrany do 20 ms
 - čas vypnutí (reakce ochrany + vybavení vypínače) 50 ms
 - Délka trasy VN přívodu k transformátoru je 135 m
 - Délky jednotlivých tras rozvodů NN – viz výkresy č. 1 a č. 6 (celková situace)

4.2 Stupeň elektrizace A

4.2.1 Výpočet zatížení dané lokality

Ve stupni elektrizace A jsou zahrnuty pouze základní spotřebiče.

Instalovaný výkon P_i jednoho RD

Vypočteme jej dle rovnice (3.2), tedy

$$P_i = P_{osvetleni} + P_{ostatni} = 2 kW + 6 kW = 8 kW . \quad (4.1)$$

Soudobý příkon P_b jednoho RD

Soudobý příkon jednoho RD vypočteme ze vztahu (3.1). Aby byla zajištěna dostatečná rezerva proudové zatížitelnosti níže dimenzovaného přívodního kabelu VN, rozvodů NN a výkonová rezerva transformátorů, volíme součinitel náročnosti 0,8. Dosazením hodnot P_i a β do vztahu (3.1) dostaneme

$$P_b = P_i \cdot \beta = 8 kW \cdot 0,8 = 6,4 kW . \quad (4.2)$$

a) Výpočtové zatížení pro návrh kabelu VN a návrh DTS**Soudobost β_n pro 59 RD**

Dosazením známých hodnot do vztahu (3.6) a jejich vyčíslením dostaneme hodnotu soudobosti pro 59 RD

$$\beta_n = \beta_\infty + (1 - \beta_\infty) \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 0,2 + (1 - 0,2) \cdot \frac{1}{\sqrt{59}} = 0,30. \quad (4.3)$$

Výpočtové zatížení P_p pro 59 RD

Nyní již můžeme podle vztahu (3.5) určit výpočtové zatížení P_p :

$$\underline{P_p} = (P_b \cdot n) \cdot \beta_n = (6,4 \text{ kW} \cdot 59) \cdot 0,30 = \underline{\underline{113,28 \text{ kW}}}. \quad (4.4)$$

b) Výpočtové zatížení a soudobost pro návrh NN rozvodů

Výpočtové zatížení musí být pro návrh NN rozvodů stejné jako v případě návrhu kabelu VN a DTS, tedy $P_p = 113,28 \text{ kW}$ - viz vztah (4.4). Soudobý příkon jednoho RD se také nemění, proto je $P_b = 6,4 \text{ kW}$ - viz vztah (4.2). Zároveň podle rovnice (4.6) víme, že se výpočtový proud za DTR na straně NN rovná hodnotě $I_p = 172,1 \text{ A}$. Jediné, co se musí určit, jsou soudobosti mezi objekty dle hustoty odběrů na vývodu, popř. soudobosti mezi jednotlivými vývody.

Určit zcela přesně předpokládanou maximální soudobost zatížení na jednotlivých přípojnicích je prakticky nemožné, proto se v návrhu NN rozvodů postupuje s jistým zjednodušením. Jsou vybrány pouze stěžejní přípojnice, u kterých je určena soudobost podle počtu RD, které jsou z dané přípojnice napájeny. Tyto soudobosti jsou určeny na základě Tab. 4-1, která je převzatá z ČSN 33 2130 ed. 2 [2]. Aby se předešlo chybnému určení soudobosti na dané přípojnici, což by mohl způsobit poddimenzování určitého úseku rozvodů NN, je vždy v dané větvi vedení vybrána pouze jedna přípojnice, na kterou je soudobost uplatněna (toto pravidlo se nevztahuje na přípojnici rozvaděče NN). Soudobost totiž není nic jiného než koeficient s velikostí 0 až 1, kterým se násobí součet soudobých proudů všech RD v dané větvi vedení (ve směru od přípojnice s danou soudobostí k jednotlivým RD). Kdybychom uplatnili soudobost na dvou přípojnicích za sebou, tak bychom proud v dané větvi prakticky zmenšili dvakrát vždy o násobek dané soudobosti. Pro lepší názornost je určení soudobosti ukázáno na příkladě 1.

Po nastavení všech soudobostí na vybraných přípojnicích se ještě musí nastavit soudobost na přípojnici rozvaděče NN. Ta se určuje experimentálně tak, aby výpočtový proud zatěžující DTR odpovídal výpočtovému proudu všech odběrů (RD) v rozvodech NN. V našem případě se jedná o výpočtový proud pro 59 RD.

Díky zjednodušenému určení soudobosti je sice část rozvodů NN lehce naddimenzovaná, za to však spolehlivě přenesou veškeré provozní proudy, které se mohou s výhledem do budoucnosti zvětšovat s ohledem na zvyšování spotřeby elektrické energie a stárnutí

materiálů, tedy i zhoršení provozních vlastností. Při tomto zjednodušení se navíc lépe dosahuje požadavku na maximální úbytek napětí na koncích jednotlivých vedení, který nemá v době maximálního zatížení přesáhnout hodnotu 6% jmenovitého napětí sítě (viz kapitola 3.5.2).

Tab. 4-1 Soudobost pro n bytů ve skupině

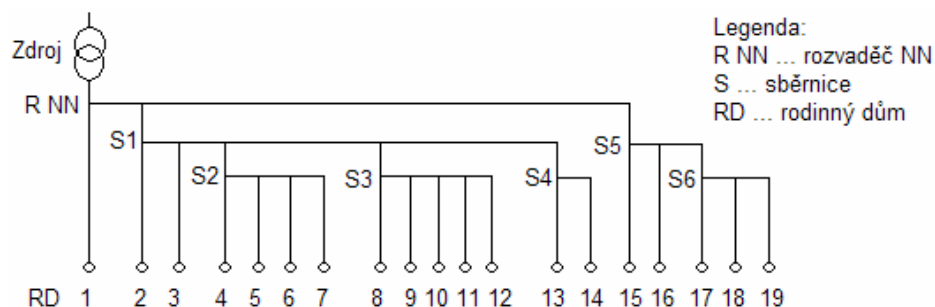
Počet bytů ve skupině n	Soudobost β_n	Počet bytů ve skupině n	Soudobost β_n	Počet bytů ve skupině n	Soudobost β_n
2	0,77	7	0,50	12	0,43
3	0,66	8	0,48	13	0,42
4	0,60	9	0,47	14	0,41
5	0,56	10	0,45	15	0,41
6	0,53	11	0,44	16	0,40

Příklad 1:

Na Obr. 4-1 je schéma rozvětvení rozvodů NN navrženo tak, aby se podobalo schématu vytvořeného v programu Sichr. Pro zjednodušení zde nejsou uvedeny jističí přístroje a charakteristika jednotlivých vedení.

Při určování soudobosti se postupuje následovně:

- 1) Zvolíme si stěžejní přípojnice. Na základě zkušeností se jako nejvhodnější zdají být sběrnice S2, S3, S4 a S5. Aby se předešlo chybnému určení soudobosti, nesmí být vybrány dvě sběrnice za sebou (jedná se o sběrnice ve stejné větvi ve směru od zdroje k RD). To znamená, pokud vybereme jako stěžejní sběrnici např. sběrnici S2, potom už nemůžeme vybrat sběrnici S1. To samé platí i v opačném případě. Vyberu-li sběrnici S1, potom už nemůžu vybrat sběrnici S2, S3 nebo S4, protože jsou na stejné větvi.
- 2) Podle počtu RD, které jsou z dané sběrnice napájeny, a podle Tab. 4-1 určíme soudobost pro vybranou sběrnici. Z toho vyplývá, že pro sběrnici S2 je soudobost $\beta_n=0,60$, pro S3 je $\beta_n=0,56$, pro S4 je $\beta_n=0,77$ a pro S5 je $\beta_n=0,56$.
- 3) Soudobost na sběrnici rozvaděče NN musíme experimentálně určit tak, aby výpočtový proud zatěžující zdroj (transformátor) odpovídal výpočtovému proudu všech odběrů (RD) v rozvodech NN. V našem případě se jedná o výpočtový proud pro 59 RD.



Obr. 4-1 Příklad rozvětvení rozvodů NN

V návrhu rozvodů NN pro stupeň elektrizace A jsou v souladu s výše uvedeným textem navrženy soudobosti pro sběrnice, které jsou uvedeny v Tab. 4-2.

Tab. 4-2 Soudobosti pro vybrané sběrnice pro stupeň elektrizace A

Sběrnice	Počet RD napájených ze sběrnice	Soudobost
PS4	3	0,66
PS7	5	0,56
PS1	6	0,53
PS10	3	0,66
PS12	4	0,60
PS14	2	0,77
PS15	7	0,50
PS19	12	0,43
PS34	9	0,47
PS30	2	0,77
R NN	určeno experimentálně	0,517

4.2.2 Výpočtový proud

a) Výpočtový proud I_p pro návrh kabelu VN

Výpočet modulu výpočtového proudu se provede podle rovnice (3.7):

$$\underline{I_p} = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 113,28 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 0,95} = \underline{\underline{3,129 \text{ A}}} \quad (4.5)$$

b) Výpočtový proud I_p pro návrh NN rozvodů

Výpočtový proud na NN straně DTR se vypočte také z rovnice (3.7), pouze se změní jmenovité napětí sítě z 22 kV na 400 V.

$$\underline{I_p} = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 113,28 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,95} = \underline{\underline{172,1 \text{ A}}} \quad (4.6)$$

Pomocí tohoto proudu lze ověřit, jestli je návrh NN rozvodů ve výpočetním programu Sichr z hlediska počtu a velikosti odběrů dobře proveden.

Tato kontrola byla provedena a po zadání soudobosti 0,30 na sběrnici rozvaděče NN (všechny ostatní sběrnice měly nastaveny hodnotu soudobosti 1) se hodnota proudu vypočtená programem skutečně rovnala 172 A.

4.2.3 Počet a velikost transformátorů

Stanovení instalovaného výkonu transformovny S_T

Instalovaný výkon DTS se vypočte ze vztahu (3.8). Zatížení DTR nemá překročit hodnotu 70% svého jmenovitého výkonu. Z toho vyplývá, že je koeficient využití transformátoru $\gamma=0,7$.

$$\underline{S_T} = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} = \frac{113,28 \text{ kW}}{0,7 \cdot 0,95} = \underline{\underline{170,346 \text{ kVA}}} \quad (4.7)$$

Návrh počtu a velikosti transformátorů lze provést dvěma způsoby a to tak, že:

- součet výkonů transformátorů bude podle Tab. 3-1 nejbližší možné vyšší číslo od hodnoty S_T , tedy DTS bude tvořena dvěma DTR s jmenovitým výkonem 100 kVA,
- nebo DTS bude tvořena jedním DTR s jmenovitým výkonem 250 kVA.

Správnou volbu návrhu je potřeba stanovit na základě výpočtu ekonomického zhodnocení obou možností. Toto zhodnocení vychází hlavně z provozních nákladů DTS (záleží na velikosti ztrát) a investičních nákladů na pořízení DTR. Jelikož výrobce transformátorů [14] neudává na svých internetových stránkách pořizovací ceny transformátorů, není možné zcela určit správnou volbu návrhu. Z tohoto důvodu uvádím obě možné varianty.

V praxi se však ukazuje, že je výhodnější volit jeden transformátor s větším jmenovitým výkonem než dva transformátory se jmenovitým výkonem menším. Ztráty dvou transformátorů se sčítají, a proto bývají větší než ztráty jednoho transformátoru. Také podle Tab. 3-3 je zřejmé, že společnost ČEZ, a. s. uplatňuje při volbě DTR druhou možnost, tedy jeden DTR s jmenovitým výkonem 250 kVA. Na základě výše uvedených úvah volíme pro další výpočty DTR s jmenovitým výkonem 250 kVA, jehož parametry, které výrobce zveřejnil na svých internetových stránkách [14], jsou uvedeny v Tab. 4-3.

Tab. 4-3 Parametry transformátoru pro stupeň elektrizace A

Jmenovitý výkon S_n [kVA]	Jmenovité napětí U_n [kV]	zapojení	napětí nakrátko u_k [%]	Ztráty	
				P_0 [W]	P_k [W]
250	22/0,42	Dyn1	4	425	3250

Skutečný součinitel využití transformátorů γ_s

Skutečný součinitel využití transformátorů se vypočte podle vztahu (3.11). Pro variantu *a*) je

$$\gamma_{sa} = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{113,28 \text{ kW}}{2 \cdot 100 \text{ kVA} \cdot 0,95} = 0,6. \quad (4.8)$$

a pro variantu *b*) se rovná hodnotě

$$\gamma_{sb} = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{113,28 \text{ kW}}{1 \cdot 250 \text{ kVA} \cdot 0,95} = 0,48. \quad (4.9)$$

Podmínka $\gamma \geq \gamma_s$ je pro obě varianty splněna, tedy navržené transformátory vyhovují.

4.2.4 Návrh a dimenzování napájecího vedení VN

1) Dimenzování průřezu podle provozní teploty

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.5.1, provozní teplota kabelu závisí na elektrickém proudu, který protéká vodičem. Hodnota výpočtového proudu udává předpokládané zatížení kabelu, které činí $I_p=3,129$ A. Na tento proud se bude kabel dimenzovat.

Jelikož zadavatel projektu nedodal informace o charakteru půdy, ve které bude kabel uložen, nemůžeme určit přepočítávací koeficient, který zohledňuje rozdíl od referenčního způsobu uložení kabelu. Proto budeme předpokládat, že jmenovité zatížení kabelu I_n se bude rovnat dovolenému zatížení I_z . Tento předpoklad prakticky neovlivní výsledek dimenzování, protože pokud bychom zohlednili veškeré přepočítávací koeficienty, změnil by se proud I_z podle rovnice (3.13) pouze o jednotky ampér, zatímco níže navržený vodič má proudovou rezervu desítky ampér.

V rámci standardů ČEZ, a.s. volíme kabel 3x22-AXEKVCE 1x50 mm² od firmy Nkt cables [15]. Jedná se o nejmenší normalizovaný průměr kabelu používaný pro napěťovou hladinu 22 kV s hliníkovým jádrem žil. Parametry kabelu určené výrobcem:

- $S=50$ mm²
- $\Gamma_{kmax}^{\prime} = 4,7$ kA/1s
- $I_{dov} = 172$ A
- $R_k = 0,641$ Ω/km (při teplotě 20°C)
- $L_k = 0,46$ mH/km (uložení kabelů do trojúhelníku)

2) Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti

Podle standardů ČEZ, a. s. by zatížení kabelu nemělo přesáhnout 50% jmenovité hodnoty proudu (I_p/I_n) v základním provozním stavu. Jmenovitá hodnota proudu kabelu se rovná dovolené zatížitelnosti kabelu ($I_n=I_{dov}$). Potom je procentní zatížení vodiče

$$\underline{\underline{\text{Zatížení}_{\%}}} = \frac{I_p}{I_{dov}} \cdot 100\% = \frac{3,129 \text{ A}}{172 \text{ A}} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,8\%}} . \quad (4.10)$$

Zatížení vodiče je menší než 50%, z čehož vyplývá, že vodič vyhovuje.

3) Dimenzování vodiče podle úbytku napětí na vodiči

Uvažovaný účinník sítě je $\cos \varphi = 0,95$, proto budeme úbytek napětí na vodiči počítat ze vztahu (3.16)

$$\begin{aligned} \Delta U &= R_k \cdot l \cdot I_p \cdot \cos \varphi + 2\pi f \cdot L_k \cdot l \cdot I_p \cdot \sin \varphi = \\ &= 0,641 \Omega / km \cdot 0,135 km \cdot 3,129 A \cdot 0,95 + \\ &+ 2\pi \cdot 50 Hz \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} H / km \cdot 0,135 km \cdot 3,129 A \cdot \sin 18,19^\circ = \\ &= 0,2763 V \end{aligned} \quad (4.11)$$

Poznámka: úhel φ se rovná hodnotě $\varphi = \arccos 0,95 = \arccos 0,95 = 18,19^\circ$.

Procentní vyjádření úbytku napětí vztaženého ke jmenovitému napětí se vypočte ze vztahu (3.17)

$$\underline{\underline{\Delta u_{\%}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_n} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,2763 V}{22 \cdot 10^3 V} \cdot 100\% = \underline{\underline{2,175 \cdot 10^{-3}\%}} \quad (4.12)$$

Vodič vyhovuje, protože úbytek napětí na vodiči je menší než 5%.

4) Dimenzování vodiče podle tepelných účinků zkratového proudu

Impedance sítě Z_s

Impedance sítě se vypočte podle vztahu (3.22). Podle normy ČSN EN 60909-0 [10] volíme pro napěťovou hladinu 22 kV napěťový součinitel $c=1,1$ (pro výpočet maximálních zkratových proudů). Impedance sítě se poté rovná

$$Z_s = \frac{cU_n^2}{S_{k3}''} = \frac{1,1 \cdot (22 \cdot 10^3)^2 V}{166,5 \cdot 10^6 VA} = 3,198 \Omega \quad (4.13)$$

Reaktance sítě se podle [10] vypočte jako $X_s=0,995 \cdot Z_s$ a rezistance sítě ze vztahu $R_s=0,1 \cdot X_s$ (viz kapitola 3.5.5). Reaktance a rezistance sítě potom mají následující hodnoty:

$$X_s = 0,995 \cdot Z_s = 0,995 \cdot 3,198 \Omega = 3,182 \Omega, \quad (4.14)$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_s = 0,1 \cdot 3,182 = 0,3182 \Omega. \quad (4.15)$$

Nyní můžeme podle (3.23) zapsat impedanci sítě v komplexním tvaru:

$$\overline{Z}_s = R_s + jX_s = (0,3182 + j3,182) \Omega = 3,198 \angle 84,29^\circ \Omega \quad (4.16)$$

Impedance kabelu \overline{Z}_k

Impedanci kabelu určíme ze vztahu (3.24) za pomoci parametrů kabelu, které jsou uvedené výše.

$$\begin{aligned}\overline{Z}_k &= l \cdot (R_k + j2\pi f \cdot L_k) = \\ &= 0,135 \text{ km} \cdot \left(0,641 \frac{\Omega}{\text{km}} + j2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{km}} \right) = \\ &= 0,08871 \angle 12,71^\circ \Omega\end{aligned}\quad (4.17)$$

Celková impedance \overline{Z}_c

Celková impedance je dle vztahu (3.28) součet reaktance sítě a impedance kabelu, tedy se rovná hodnotě

$$\begin{aligned}\overline{Z}_c &= \overline{Z}_s + \overline{Z}_k = \\ &= 3,198 \angle 84,29^\circ \Omega + 0,08871 \angle 12,71^\circ \Omega = \\ &= 3,2271 \angle 82,8^\circ \Omega = (0,4047 + j3,2016) \Omega\end{aligned}\quad (4.18)$$

Počáteční rázový zkratový proud pro 3-fázový zkrat I_k''

Počáteční rázový zkratový proud se vypočte ze vztahu (3.29). Napěťový součinitel je opět $c=1,1$. Pro výpočet I_k'' je potřebný pouze modul celkové impedance, který je $|\overline{Z}_c| = 3,2271 \Omega$.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 3,2271 \Omega} = 4329,55 \text{ A}\quad (4.19)$$

Určení součinitelů m a n pro výpočet I_{ke}

Abychom mohli určit součinitel m , musíme nejprve vypočítat součinitel κ podle vztahu (3.30):

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98e^{-3(0,4047 \Omega / 3,2016 \Omega)} = 1,69.\quad (4.20)$$

Nyní můžeme pomocí Obr. 3-1 určit součinitel m , který má velikost $m = 0,55$.

Poznámka 1: rezistance R a reaktance X jsou získány z celkové impedance Z_c .

Poznámka 2: součin frekvence sítě f a doby trvání zkratového proudu T_k , který je potřebný pro určení m , je $50 \text{ Hz} \cdot 0,05 \text{ s} = 2,5$.

Součinitel n bychom mohli určit podle Obr. 3-2, ale podle normy [10] se může pro distribuční síť použít $n = 1$.

Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke}

Ekvivalentní oteplovací proud se vypočte ze vztahu (3.21):

$$I_{ke} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 4329,55 A \cdot \sqrt{0,55+1} = 5390,25 A. \quad (4.21)$$

Minimální zkratový průřez S_{kmin}

Výpočet minimálního zkratového průřezu vodiče provedeme podle vztahu (3.19). Dle Tab. 3-2 jsou materiálové konstanty pro hliník:

- $c_0=2,417 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$
- $v_f=228 \text{ °C}$
- $\rho_{20}=0,02941 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$

Maximální provozní teplota a maximální teplota při zkratu jsou podle [8]:

- $\vartheta_1 = 90 \text{ °C}$
- $\vartheta_k = 250 \text{ °C}$

$$\begin{aligned} \underline{S_{kmin}} &= \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}}} = \\ &= \frac{5390,25 A \cdot \sqrt{0,05 s}}{\sqrt{\frac{2,417 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot (20 \text{ °C} + 228 \text{ °C})}{0,02941 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}} \cdot \ln \left(\frac{228 \text{ °C} + 250 \text{ °C}}{228 \text{ °C} + 90 \text{ °C}} \right)}} = . \quad (4.22) \\ &= \underline{\underline{13,22 \text{ mm}^2}} \end{aligned}$$

Musí platit podmínka: $S_{kmin} \leq S$, tedy $13,22 \text{ mm}^2 \leq 50 \text{ mm}^2$. Tato podmínka je splněna.

Navržený kabel s označením 3x22-AXEKVCE 1x50 mm² od firmy Nkt cables vyhovuje všem podmínkám - velikosti průřezu na oteplení vodiče $S_{kmin} \leq S$, podmínce dovolené proudové zatížitelnosti vodiče a zkratové odolnosti vodiče.

4.2.5 Návrh a dimenzování rozvodů NN

Návrh a dimenzování rozvodů NN, jak již bylo zmíněno na začátku této kapitoly, je provedeno ve výpočetním programu Sichr od firmy O EZ.

Sichr obsahuje databáze elektrických zdrojů (transformátorů), kabelů a holých vodičů, jistících prvků (pojistik a jističů), spínačů a přepětových ochran. Při návrhu bylo čerpáno pouze z databáze transformátorů, kabelů s hliníkovým jádrem a pojistik s charakteristikou gG.

Postup návrhu

Posloupnost krků při navrhování v programu Sichr se může pro různé případy mírně lišit, záleží na charakteru navrhovaného celku (distribuční vedení, domovní vedení atd.). V našem případě je posloupnost krků následující:

- 1) Z databáze elektrických transformátorů se vybere typ transformátoru, který je navržen v kapitole 4.2.3. Pro naše účely je použit transformátor ELIN 22/0,42 kV, 250 kVA.
- 2) Vytvoří se přípojnice NN rozváděče (v Sichru označeno jako sběrnice) umístěného v DTS.
- 3) Z přípojnice NN rozváděče se vyvedou hlavní vedení (kabely) pro rozvod elektrické energie. U každého kabelu se musí určit jeho typ (materiál jádra, izolace, atd.), průřez, délka, referenční způsob uložení a přepočítávací koeficient k , který zohledňuje rozdíly od referenčního způsobu uložení (počet seskupených obvodů, teplota okolí, atd.). Specifikace kabelu se v pracovním prostředí Sichru provádí na pozici, která je o jeden řádek níže než jištění kabelu (viz příloha „jednopólové schéma“), které je popsáno ve čtvrtém bodě.
- 4) Proveďte se jištění vývodních kabelů z rozváděče NN pomocí pojistek s charakteristikou gG. Toto jištění je součástí rozváděče NN. Vypínací charakteristiky pojistek a kabelů musí být koordinovány tak, aby pojistky bezpečně chránily kabel před veškerými přetíženími a zkraty.
- 5) Na pozici o jeden řádek níže než je specifikováno vývodní vedení z rozváděče NN (bod tři) se vytvoří další sběrnice (pro každý kabel zvlášť). Ta zastává významu rozpojovací pojistkové skříně nebo přípojkové pojistkové skříně. Z této sběrnice jsou vyvedeny kabely pro jednotlivá odběrná místa (RD), kabel pro pokračování vedení se stejným průřezem jako kabel vcházející do sběrnice (v případě přípojkové poj. skříně), nebo kabel o menším průřezu vůči kabelu vcházejícímu (v případě rozpojovací poj. skříně).
- 6) V případě rozvětvení vedení se stejným průřezem opakujeme body tři a pět (nyní se však jedná o novou přípojnicí a ne rozváděč NN). V případě změny průřezu vedení (včetně přípojky RD) opakujeme body tři, čtyři a pět. Změní-li se průřez vodiče, musí se tento vodič na svém začátku jistit. Paralelní vodiče se musí jistit na svém začátku i na konci. Jistící prvky musí být voleny tak, aby byla zajištěna selektivita jištění. Podmínka selektivity však nemusí být splněna v případě jištění paralelních vodičů (mezi ochrannými přístroji umístěnými na začátku a konci chráněného vodiče; viz kapitola 3.6.4).
- 7) U jednotlivých vývodů se určí jejich typ (RD, uzemnění, popř. rezerva), velikost odběru a účinník odebírané el. energie. Pro stupeň elektrizace A je velikosti odběru jednoho RD 6,4 kW s tím, že se již jedná o soudobý příkon jednoho RD, takže soudobost na vývodu nastavujeme na hodnotu 1.

- 8) Na vybraných sběrnicích se určí soudobost odběrů. Pro stupeň elektrizace A jsou soudobosti jednotlivých sběrnic uvedeny v Tab. 4-2.
- 9) U vybraných přípojkových a rozpojovacích pojistkových skříní (převážně koncových) se provede ochranné uzemnění, aby byla zaručena ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí. Impedanční smyčka a tedy i čas vypnutí poruchového proudu musí být dle PNE 33 0000-1 v předepsaných mezích.
- 10) Zkontrolují se požadavky na maximální úbytek napětí, který nesmí přesáhnout 6% jmenovité hodnoty napětí, a maximální zatížení kabelu, které nesmí překročit 75% dovoleného zatížení vodiče (viz kapitola 3.5.2).

Kontrola návrhu na maximální úbytek napětí a maximální zatížení vodičů

Návrh vyhovuje požadavku na maximální úbytek napětí. Maximální úbytek napětí je zjištěn na vývodech RD55, RD56, RD57 a nabývá velikosti 2,2%. Také požadavek na maximální zatížení kabelů je splněn, protože zatížení žádného kabelu nepřesahuje 75% jeho dovoleného zatížení.

Prvky sítě použité v návrhu

V návrhu NN rozvodů pro stupeň elektrizace A je použito následujících prvků sítě:

- transformátor ELIN 22/0,42 kV, 250 kVA,
- kabely AYKY 3x240+120 mm², AYKY 3x120+70 mm², AYKY 4x70 mm² a AYKY 4x35 mm²,
- pojistky PLN1gG I_n=200 A, PN000gG I_n=125 A, PN000gG I_n=80 A a PN000gG I_n=40 A.

Popisky prvků jednopólového schéma

Popisky jednotlivých prvků v příloze „jednopólové schéma“ jsou zčásti generovány automaticky programem Sichr a zčásti vytvořeny manuálně. Manuálně jsou popsány sběrnice (přípojkové a rozpojovací poj. skříně), kabely propojující jednotlivé sběrnice a vývody. Značení přípojkových a rozpojovacích poj. skříní koresponduje s výkresy.

Popisky generované automaticky se vztahují na transformátor, pojistky a kabely přípojek. První číslice udává pořadí sloupce ve schématu, písmeno určuje prvek (T - transformátor, F - pojistka, L - kabel) a druhá číslice značí řádek umístění prvku.

Charakteristiky

Výstupem návrhu v Sichru jsou mimo jiné vypínací charakteristiky ochranných přístrojů, jejich selektivita a vypínací charakteristiky impedanční smyčky. Jelikož jednopólové schéma obsahuje 81 sloupců, proto je nemožné veškeré charakteristiky uvádět v této práci. Jako příklad jsou v příloze A až F uvedeny charakteristiky pro třetí sloupec jednopólového schéma pro stupeň elektrizace A.

4.3 Stupeň elektrizace C

4.3.1 Výpočet zatížení dané lokality

Ve stupni elektrizace C jsou zahrnuty základní elektrické spotřebiče, el. spotřebiče pro vaření, ohřev teplé užitkové vody (TUV) a el. spotřebiče pro vytápění.

Instalovaný výkon P_i jednoho RD

Instalovaný výkon pro stupeň elektrizace C se vypočte podle vztahu (3.3):

$$\begin{aligned} P_i &= P_{osvetleni} + P_{el.vareni} + P_{ohrevTUV} + P_{el.vytapeni} + P_{ostatni} = \\ &= 2kW + 6kW + 2,5kW + 15kW + 4kW = 29,5kW \end{aligned} \quad (4.23)$$

Soudobý příkon P_b jednoho RD

Soudobý příkon se stejně jako v případě stupně elektrizace A vypočte ze vztahu (3.1). Aby byla opět zajištěna dostatečná rezerva proudové zatížitelnosti přívodního kabelu VN a výkonová rezerva transformátorů, volíme součinitel náročnosti 0,8. Potom se tedy P_b rovná hodnotě

$$P_b = P_i \cdot \beta = 29,5kW \cdot 0,8 = 23,6kW . \quad (4.24)$$

a) Výpočtové zatížení pro návrh kabelu VN a návrhu DTS

Soudobost β_n pro 59 RD

Výpočet soudobosti β_n je závislý pouze na počtu RD ve skupině, který se v našem případě samozřejmě nemění. Stupeň elektrizace na něj nemá žádný vliv. Proto je hodnota β_n stejná jako ve stupni elektrizace A - viz vztah (4.3), tedy

$$\beta_n = 0,30. \quad (4.25)$$

Výpočtové zatížení P_p pro 59 RD

Výpočtové zatížení se analogicky podle stupně elektrizace A vypočte podle vztahu (3.5):

$$\underline{P_p} = (P_b \cdot n) \cdot \beta_n = (23,6kW \cdot 59) \cdot 0,30 = \underline{\underline{417,72kW}} . \quad (4.26)$$

b) Výpočtové zatížení a soudobost pro návrh NN rozvodů

Výpočtové zatížení musí být pro návrh NN rozvodů stejné jako v případě návrhu kabelu VN a DTS, tedy $P_p=417,72$ kW - viz vztah (4.26). Soudobý příkon jednoho RD se také nemění, proto je $P_b=23,6$ kW - viz vztah (4.24). Zároveň podle rovnice (4.28) víme, že se výpočtový proud za DTR na straně NN rovná hodnotě $I_p=634,66$ A. Jediné, co se musí určit, jsou soudobosti mezi objekty dle hustoty odběrů na vývodu, popř. soudobosti mezi jednotlivými vývody.

Postup určení soudobosti pro jednotlivé sběrnice je stejný jako v případě stupně elektrizace A, proto se odkazují na kapitolu 4.2.1, kde je vše podrobně popsáno.

Soudobosti vybraných sběrnic pro stupeň elektrizace C jsou uvedeny v Tab. 4-4.

Tab. 4-4 Soudobosti pro vybrané sběrnice pro stupeň elektrizace C

Sběrnice	Počet RD napájených ze sběrnice	Soudobost
PS4	3	0,66
PS7	5	0,56
PS1	6	0,53
PS10	3	0,66
PS12	4	0,60
PS14	2	0,77
PS15	7	0,50
PS19	12	0,43
PS24	4	0,60
PS26	8	0,48
PS30	2	0,77
R NN	určeno experimentálně	0,5315

4.3.2 Výpočtový proud

a) Výpočtový proud I_p pro návrh kabelu VN

Výpočet modulu výpočtového proudu se provede podle rovnice (3.7):

$$\underline{I_p} = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 417,72 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 0,95} = \underline{\underline{11,54 \text{ A}}} \quad (4.27)$$

b) Výpočtový proud I_p pro návrh NN rozvodů

Výpočtový proud na NN straně DTR se vypočte také z rovnice (3.7), pouze se změní jmenovité napětí sítě z 22 kV na 400 V.

$$\underline{I_p} = \frac{1000 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 417,72 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,95} = \underline{\underline{634,66 \text{ A}}} \quad (4.28)$$

Pomocí tohoto proudu lze ověřit, jestli je návrh NN rozvodů ve výpočetním programu Sichr z hlediska počtu a velikosti odběrů dobře proveden.

Tato kontrola byla provedena a po zadání soudobosti 0,30 na sběrnici rozvaděče NN (všechny ostatní sběrnice měly nastaveny hodnotu soudobosti 1) se zaokrouhlená hodnota proudu vypočtená programem skutečně rovnala 635 A.

4.3.3 Počet a velikost transformátorů

Stanovení instalovaného výkonu transformovny S_T

Instalovaný výkon DTS se vypočte ze vztahu (3.8). Zatížení DTR nemá překročit hodnotu 70% svého jmenovitého výkonu, proto je koeficient využití transformátoru $\gamma=0,7$.

$$\underline{S_T} = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} = \frac{417,72 \text{ kW}}{0,7 \cdot 0,95} = \underline{\underline{628,15 \text{ kVA}}} \quad (4.29)$$

Podle Tab. 3-1 volím transformátor s nejbližším větším výkonem S_n od hodnoty S_T , tedy DTS bude osazena jedním DTR o jmenovitém výkonu 630 kVA. Parametry transformátoru, které udává výrobce [14], jsou uvedeny v Tab. 4-5.

Tab. 4-5 Parametry transformátoru pro stupeň elektrizace C

Jmenovitý výkon	Jmenovité napětí	zapojení	napětí nakrátko	Ztráty	
				P_0 [W]	P_k [W]
S_n [kVA]	U_n [kV]		u_k [%]		
630	22/0,42	Dyn1	4	860	6500

Skutečný součinitel využití transformátoru γ_s

Skutečný součinitel využití transformátorů se vypočte podle vztahu (3.11):

$$\gamma_s = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{417,72 \text{ kW}}{1 \cdot 630 \text{ kVA} \cdot 0,95} = 0,698. \quad (4.30)$$

Podmínka $\gamma \geq \gamma_s$ je splněna, navržený transformátor vyhovuje.

4.3.4 Návrh a dimenzování napájecího vedení VN

1) Dimenzování průřezu podle provozní teploty

Postup dimenzování průřezu vodiče podle provozní teploty je stejný jako ve stupni elektrizace A (viz kapitola 4.2.4). Jediným rozdílem je velikost výpočtového proudu, který je nyní roven hodnotě $I_p=11,54 \text{ A}$.

I pro tuto hodnotu zatížení je stejně jako v případě stupně elektrizace A vyhovující kabel 3x22-AXEKVCE 1x50 mm² od firmy Nkt cables [15]. Parametry kabelu určené výrobcem:

- $S=50 \text{ mm}^2$
- $I_{kmax}^{\wedge} = 4,7 \text{ kA/1s}$
- $I_{dov} = 172 \text{ A}$
- $R_k=0,641 \text{ } \Omega/\text{km}$ (při teplotě 20°C)
- $L_k=0,46 \text{ mH/km}$ (uložení kabelů do trojúhelníku)

2) Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti

Podle standardů ČEZ, a.s. by zatížení kabelu nemělo přesáhnout 50% jmenovité hodnoty proudu (I_p/I_n) v základním provozním stavu. Jmenovitá hodnota proudu kabelu se rovná dovolené zatížitelnosti kabelu ($I_n=I_{dov}$). Potom je procentní zatížení vodiče

$$\underline{\underline{Zatížení\%}} = \frac{I_p}{I_{dov}} \cdot 100\% = \frac{11,54 A}{172 A} \cdot 100\% = \underline{\underline{6,71\%}} . \quad (4.31)$$

Zatížení vodiče je menší než 50%, z čehož vyplývá, že vodič vyhovuje.

3) Dimenzování vodiče podle úbytku napětí na vodiči

Uvažovaný účinník sítě je $\cos\varphi = 0,95$, proto budeme úbytek napětí na vodiči počítat ze vztahu (3.16)

$$\begin{aligned} \Delta U &= R_k \cdot l \cdot I_p \cdot \cos\varphi + 2\pi f \cdot L_k \cdot l \cdot I_p \cdot \sin\varphi = \\ &= 0,641\Omega/km \cdot 0,135 km \cdot 11,54 A \cdot 0,95 + \\ &+ 2\pi \cdot 50 Hz \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} H/km \cdot 0,135 km \cdot 11,54 A \cdot \sin 18,19^\circ = \\ &= 1,019V \end{aligned} \quad (4.32)$$

Poznámka: Úhel φ se rovná hodnotě $\varphi = \arccos 0,95 = \arccos 0,95 = 18,19^\circ$.

Procentní vyjádření úbytku napětí vztaženého ke jmenovitému napětí se vypočte ze vztahu (3.17)

$$\underline{\underline{\Delta u\%}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_n} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,019V}{22 \cdot 10^3 V} \cdot 100\% = \underline{\underline{8,023 \cdot 10^{-3}\%}} . \quad (4.33)$$

Vodič vyhovuje, protože úbytek napětí na vodiči je menší než 5%.

4) Dimenzování vodiče podle tepelných účinků zkratového proudu

Impedance sítě Z_s

Impedance sítě se v závislosti na stupni elektrizace nemění, proto je stejná jako v případě elektrizace A (viz vztahy (4.13) až (4.16)) a v komplexním vyjádření má hodnotu:

$$\overline{Z_s} = 3,198 \angle 84,29^\circ \Omega . \quad (4.34)$$

Impedance kabelu \overline{Z}_k

Impedanci kabelu určíme ze vztahu (3.24) za pomoci parametrů kabelu, které jsou uvedené výše.

$$\begin{aligned}\overline{Z}_k &= l \cdot (R_k + j2\pi f \cdot L_k) = \\ &= 0,135 \text{ km} \cdot \left(0,641 \frac{\Omega}{\text{km}} + j2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{H}}{\text{km}} \right) = \\ &= 0,08871 \angle 12,71^\circ \Omega\end{aligned}\quad (4.35)$$

Celková impedance \overline{Z}_c

Celková impedance je dle vztahu (3.28) součet reaktance sítě a impedance kabelu, tedy se rovná hodnotě

$$\begin{aligned}\overline{Z}_c &= \overline{Z}_s + \overline{Z}_k = \\ &= 3,198 \angle 84,29^\circ \Omega + 0,08871 \angle 12,71^\circ \Omega = \\ &= 3,2271 \angle 82,8^\circ \Omega = (0,4047 + j3,2016) \Omega\end{aligned}\quad (4.36)$$

Počáteční rázový zkratový proud pro 3-fázový zkrat I_k''

Počáteční rázový zkratový proud se vypočte ze vztahu (3.29). Napěťový součinitel je opět $c=1,1$. Pro výpočet I_k'' je potřebný pouze modul celkové impedance, který je $|\overline{Z}_c| = 3,2271 \Omega$.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 3,2271 \Omega} = 4329,55 \text{ A}\quad (4.37)$$

Určení součinitelů m a n pro výpočet I_{ke}

Abychom mohli určit součinitel m , musíme prvně vypočítat součinitel κ podle vztahu (3.30):

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98e^{-3(0,4047 \Omega / 3,2016 \Omega)} = 1,69.\quad (4.38)$$

Nyní můžeme pomocí Obr. 3-1 určit součinitel m , který má velikost $m = 0,55$.

Poznámka 1: rezistance R a reaktance X jsou získány z celkové impedance Z_c .

Poznámka 2: součin frekvence sítě f a doby trvání zkratového proudu T_k , který je potřebný pro určení m , je $50 \text{ Hz} \cdot 0,05 \text{ s} = 2,5$.

Součinitel n bychom mohli určit podle Obr. 3-2, ale podle normy [10] se může pro distribuční síť použít $n = 1$.

Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke}

Ekvivalentní oteplovací proud se vypočte ze vztahu (3.21):

$$I_{ke} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 4329,55 \text{ A} \cdot \sqrt{0,55+1} = 5390,25 \text{ A}.\quad (4.39)$$

Minimální zkratový průřez S_{kmin}

Výpočet minimálního zkratového průřezu vodiče provedeme podle vztahu (3.19). Dle Tab. 3-2 jsou materiálové konstanty pro hliník:

- $c_0=2,417 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$
- $v_f=228 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\rho_{20}=0,02941 \text{ }\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$

Maximální provozní teplota a maximální teplota při zkratu jsou podle [8]:

- $\vartheta_1 = 90^\circ\text{C}$
- $\vartheta_k = 250^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \underline{S_{kmin}} &= \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}}} = \\ &= \frac{5390,25 \text{ A} \cdot \sqrt{0,05 \text{ s}}}{\sqrt{\frac{2,417 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (20^\circ\text{C} + 228^\circ\text{C})}{0,02941 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}} \cdot \ln \left(\frac{228^\circ\text{C} + 250^\circ\text{C}}{228^\circ\text{C} + 90^\circ\text{C}} \right)}} = . \quad (4.40) \\ &= \underline{13,22 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

Musí platit podmínka: $S_{kmin} \leq S$, tedy $13,22 \text{ mm}^2 \leq 50 \text{ mm}^2$. Tato podmínka je splněna.

Navržený kabel s označením 3x22-AXEKVCE 1x50 mm² od firmy Nkt cables vyhovuje všem podmínkám - velikosti průřezu na oteplení vodiče $S_{kmin} \leq S$, podmínce dovolené proudové zatížitelnosti vodiče a zkratové odolnosti vodiče.

4.3.5 Návrh a dimenzování rozvodů NN

Návrh rozvodů NN pro stupeň elektrizace C je taktéž proveden v programu Sichr.

Postup návrhu a popisky prvků jednopólového schéma jsou totožné se stupněm elektrizace A. Proto se odkazují na kapitolu 4.2.5, kde jsou všechny tyto části popsány.

Dodatek k postupu návrhu

V postupu návrhu jsou uvedeny odkazy, které souvisí s návrhem rozvodů NN pro stupeň elektrizace A. Tyto odkazy jsou níže opraveny tak, aby vyhovovaly stupni elektrizace C.

- Postup návrhu, ad 1) Ve stupni elektrizace C je použit transformátor ELIN 22/0,42 kV, 630 kVA, který je navržen v kapitole 4.3.3.
- Postup návrhu, ad 7) Soudobý příkon jednoho RD (předpokládaná velikost odběru elektrické energie ze sítě) je nyní 23,6 kW.

- Postup návrhu, ad 8) Pro stupeň elektrizace C jsou soudobosti jednotlivých sběrnic uvedeny v Tab. 4-4.

Kontrola návrhu na maximální úbytek napětí a maximální zatížení vodičů

Návrh vyhovuje požadavku na maximální úbytek napětí. Maximální úbytek napětí je zjištěn na vývodech RD43, RD44, RD55, RD56, RD57 a nabývá velikosti 2,3%. Také požadavek na maximální zatížení kabelů je splněn, protože zatížení kabelů nepřesahuje 75%.

Prvky sítě použité v návrhu

V návrhu NN rozvodů pro stupeň elektrizace C je použito následujících prvků sítě:

- transformátor ELIN 22/0,42 kV, 630 kVA,
- kabely AYKY 3x240+120 mm², AYKY 3x120+70 mm² a AYKY 4x35 mm²,
- pojistky PLN1gG $I_n=200$ A, PLN1gG $I_n=125$ A a PN000gG $I_n=40$ A.

Rozdíly v návrhu rozvodů NN mezi stupněm elektrizace A a C

Větší spotřeba el. energie ve stupni elektrizace C vůči stupni elektrizace A má za následek zvětšení průřezů a počtu paralelně jdoucích kabelů (ve stupni el. A se posilující paralelní vedení nevyskytuje). Díky větší spotřebě el. energie se také v jednopólovém schéma změnilo zapojení sběrnic PS24, PS25 a PSR4.

Jištění paralelních vodičů je provedeno pro každý kabel zvlášť. Z toho vyplývá, že ochranné přístroje musí být umístěny na začátku i na konci daného vodiče. V návrhu jsou paralelní vodiče na obou koncích chráněny pojistkami stejných parametrů. Proto také Sichr při výpočtech upozorňuje na fakt, že tyto pojistky nejsou selektivně odstupňovány. Pojistky na konci vodiče však nemají jinou funkci než ochranu vedení proti zpětným proudům (viz kapitola 3.6.4). Z tohoto důvodu může být jmenovitý proud pojistek na začátku i na konci vodiče stejný.

5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout elektrizaci nové lokality s 59 rodinnými domy. Tím je míněn návrh a dimenzování DTS, jejího přívodního VN kabelu, návrh rozvodů NN a jištění.

Všechny části elektrizace byly navrženy a dimenzovány pro dvě varianty stupně elektrizace rodinných domů – pro stupeň elektrizace A a stupeň elektrizace C. Ve stupni A se elektřina používá 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 používají k vaření, pečení, vytápění nebo klimatizaci elektrické spotřebiče s příkonem nad 3,5 kVA.

Při elektrizaci daného území byly použity dvě metody návrhu. První metoda se může považovat za klasickou a spočívá v postupném výpočtu návrhu přímo projektantem. Druhá metoda (v dnešní době velmi oblíbená) využívá výpočetní techniku a návrh je zpracováván za pomoci výpočetního programu. První metoda byla použita pro dimenzování DTS a VN kabelu. Druhou metodou byly ve výpočetním programu Sichr (verze 11.01) od firmy OEZ navrženy rozvody NN a jištění. Tato metoda se osvědčila, protože rychlost zpracování úkolu byla mnohem větší, než kdyby byl návrh proveden klasickou metodou.

Výsledky dimenzování DTS, VN kabelu, rozvodů NN a jištění jsou pro jednotlivé stupně elektrizace shrnuty níže.

Stupeň elektrizace A

Ve stupni elektrizace A je DTS tvořena jedním transformátorem ELIN 22/0,42 kV o jmenovitém výkonu 250 kVA, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 4-3.

Pro napájení DTS byl navržen VN kabel od firmy Nkt cables [15], který má označení 3x22-AXEKVCE 1x50 mm².

Rozvody NN jsou realizovány kabely AYKY 3x240+120 mm², AYKY 3x120+70 mm², AYKY 4x70 mm² a AYKY 4x35 mm². V případě stupně elektrizace A nebylo nutné hlavní vedení posilovat paralelními vodiči.

Chránění kabelů proti nadproudům je zajištěno pojistkami s charakteristikou gG a s parametry: PLN1gG In=200 A, PN000gG In=125 A, PN000gG In=80 A a PN000gG In=40 A. Pojistky jsou voleny tak, aby byla zaručena jejich selektivita.

Stupeň elektrizace C

Ve stupni elektrizace C je pro DTS navržen jeden transformátor ELIN 22/0,42 kV se jmenovitým výkonem 630 kVA. Parametry transformátoru jsou uvedeny v Tab. 4-5.

Napájení DTS je opět zajištěno kabelem 3x22-AXEKVCE 1x50 mm² od firmy Nkt cables [15].

Rozvody NN jsou v případě stupně elektrizace C tvořeny kabely AYKY 3x240+120 mm², AYKY 3x120+70 mm² a AYKY 4x35 mm². Z důvodu většího proudového zatížení vodičů musela být některá hlavní vedení posílena paralelními vodiči.

Ochranu kabelů před nadproudy zajišťují pojistky PLN1gG In=200 A, PLN1gG In=125 A a PN000gG In=40 A. Pojistky jsou voleny tak, aby byly selektivně odstupňovány. Jištění paralelních vedení je provedeno pro každý vodič zvlášť, z toho vyplývá, že jsou ochranné přístroje umístěny na začátku i na konci každého paralelního vodiče. V tomto případě mají pojistky na obou koncích chráněného úseku stejné parametry. Ochranné přístroje umístěné na konci vodičů nemají jinou funkci než ochranu vedení proti zpětným proudům, proto nemusí být selektivně odstupňovány.

Porovnání obou variant návrhu

Postup návrhu byl u obou variant stejný, proto se značně podobají. Jediným faktorem, kterým jsou výsledky obou variant ovlivněny, je velikost odebírané elektrické energie jednotlivými odběrnými místy (rodinnými domy). V případě stupně elektrizace A je soudobý příkon P_b jednoho RD 6,4 kW a pro stupeň elektrizace C je P_b jednoho RD 23,6 kW.

I přes značný rozdíl soudobých příkonů je přívodní VN kabel pro oba stupně elektrizace totožný. VN kabely jsou totiž pro oba stupně poměrně naddimenzované. Je to dáno kombinací malého výpočtového proudu I_p , který za normálních podmínek VN kabelem prochází, zkratovým výkonem sítě v místě připojení a nejmenším průřezem vodiče s hliníkovým jádrem (jeho velikost je 50 mm²), který je pro vysoké napětí používán. Dovolené (jmenovité) zatížení tohoto vodiče je $I_{dov}=172$ A, zatímco výpočtový proud ve stupni elektrizace A má hodnotu $I_p=3,129$ A a ve stupni elektrizace C nabývá velikosti $I_p=11,54$ A.

U dalších částí návrhu (DTS, rozvodů NN a jištění) se již rozdíl soudobých příkonů pro dané stupně elektrizace projevil a jejich rozdíly jsou uvedeny výše. U rozvodů NN se navíc díky větší spotřebě elektrické energie ve stupni elektrizace C oproti stupni elektrizace A změnilo zapojení sběrnic PS24, PS25 a PSR4 (viz výkresy č. 5 a 9 – jednopólové schéma).

Součástí diplomové práce jsou také volně vložené výkresy, ve kterých jsou zakresleny rozvody NN, vedení VN a DTS do katastrálních map. Další přílohou je jednopólové schéma rozvodů NN pro oba stupně elektrizace a jejich návrh vytvořený v programu Sichr od firmy OEZ, který je uložený na DVD nosiči.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] OEZ s. r. o. : *Manuál výpočtového programu Sichr*. 2011. 92 s. Dostupné z WWW: <<http://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr>>.
- [2] ČSN 33 2130 ed. 2 . *Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 40 s.
- [3] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Vysoké učení technické v Brně, 2008. 150 s.
- [4] DSO_ME_0083r03. *Všeobecné zásady pro technické návrhy sítí vn a nn*. ČEZ Distribuce, a. s., odbor Strategický rozvoj , 2008-06-05. 22 s.
- [5] DSO_ME_0150r00. *Koncepce transformačních stanic vn / nn*. ČEZ Distribuce, a. s., Ing. Petr Bernát, Specialista technické politiky, 2009-07-01. 16 s.
- [6] ČSN 33 2000-5-523 ed. 2. *Elektrické instalace budov - Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - Oddíl 523: Dovolené proudy v elektrických rozvodech*. Praha : Český normalizační institut, 2003. 56 s.
- [7] ČSN 34 1610 . *Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha : Český normalizační institut, 1963. 64 s.
- [8] ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 . *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 32 s.
- [9] ČSN 38 1754 . *Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů*. Praha : Český normalizační institut, 1976. 40 s.
- [10] ČSN EN 60909-0 . *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 64 s.
- [11] BLAŽEK, V.; SKALA, P. *Distribuce elektrické energie*. Vysoké učení technické v Brně, 140 s.
- [12] DSO_ME_0147r00. *Koncepce kabelových zemních sítí nn*. ČEZ Distribuce, a. s., Ing. Lubomír Vrabel, specialista linií senior, 2009-07-01. 8 s.
- [13] KŘÍŽ, Michal. *Dimenzování a jištění elektrických zařízení - tabulky a příklady*. Druhé - aktualizované vydání. Praha : IN - EL, spol. s r. o., 2008. 217 s. ISBN 978-80-86230-46-7.
- [14] *TRAFOCZ : Transforming Energy* [online]. 2009 [cit. 2011-02-04]. Parametry hermetizovaných olejových distribučních transformátorů ELIN. Dostupné z WWW: <<http://www.trafocz.cz/parametry-elin-2009.pdf>>.
- [15] *Nkt cables* [online]. 2010 [cit. 2010-12-10]. Kabely na jmenovité napětí 6/10; 12,7/22 a 20/35 kV. Dostupné z WWW: <<http://www.nktcables.cz/Products/1%20MV%20cables/~~/media/648BDB599E6246929F4B4519F012BC7E.ashx>>.

Příloha A Stup. el. A, vypínací charakteristiky - paprsek 3

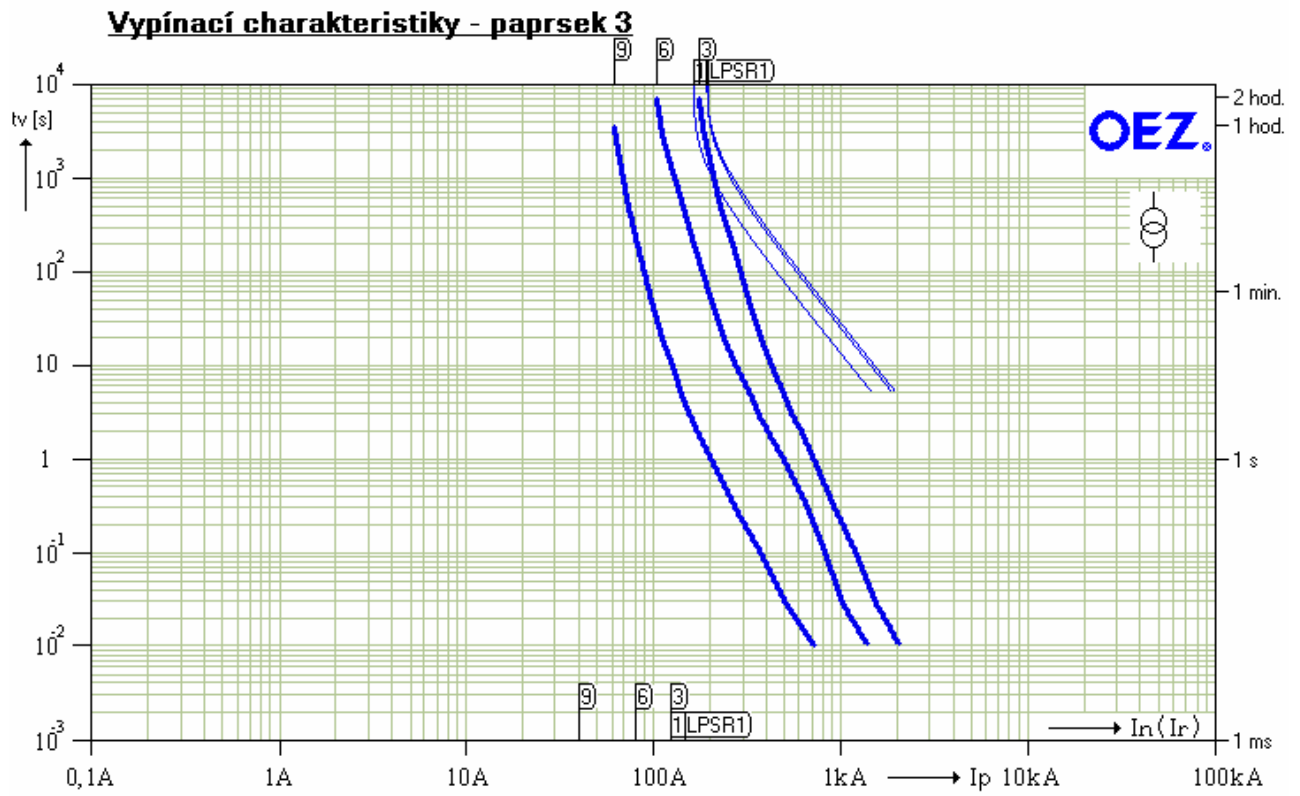


Projekt : Rozvody NN_stupeň elektrizace A

Vypínací charakteristiky a nastavení spouští

Zapojení	Přístroj	Poznámka
1T1	ELIN 22/0.42 In = 344 A Sr = 250 kVA Ik''= 8.29 kA U2 = 242/420 V dU = 1.2 % uk = 4 % ip = 16.2 kA	
R NN	<u>Sběrnice</u> B = 0.517 U = 415 V (Un + 3.8%) ip = 16.2 kA	
1F3	PN000qG In = 125 A Icc = 120 kA io = 7.55 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPSR1	1-AYKY 3x120+70 Iz = 147 A tm = 102 ° C Ik''= 2.89 kA dU = 1.3 % I ² t < k ² S ² ip = 4.22 kA	234 m v zemi (D)
PSR1	<u>Sběrnice</u> B = 1 U = 411 V (Un + 2.8%) ip = 4.22 kA	
3F6	PN000qG In = 80 A Icc = 120 kA io = 3.92 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPS4	1-AYKY 4x70 Iz = 146.4 A tm = 42 ° C Ik''= 2.35 kA dU = 0.2 % I ² t < k ² S ² ip = 3.40 kA	46 m v zemi (D)
PS4	<u>Sběrnice</u> B = 0.66 U = 411 V (Un + 2.6%) ip = 3.40 kA	
3F9	PN000qG In = 40 A Icc = 120 kA io = 2.36 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
3L10	1-AYKY 4x35 Iz = 125 A tm = 28 ° C Ik''= 2.30 kA dU = 0.0 % I ² t < k ² S ² io = 2.30 kA	10 m v zemi (D)
RD7	<u>Vývod</u> P= 6.4 kW xB = 6.4 kW cos fi = 0.95 I = 9.72 A U = 410 V (Un + 2.6%) B = 1 io = 2.30 kA	

Příloha B Stup. el. A, vypínací charakteristiky – graf – paprsek 3



Příloha C Stup. el. A, selektivita jištění – paprsek 3

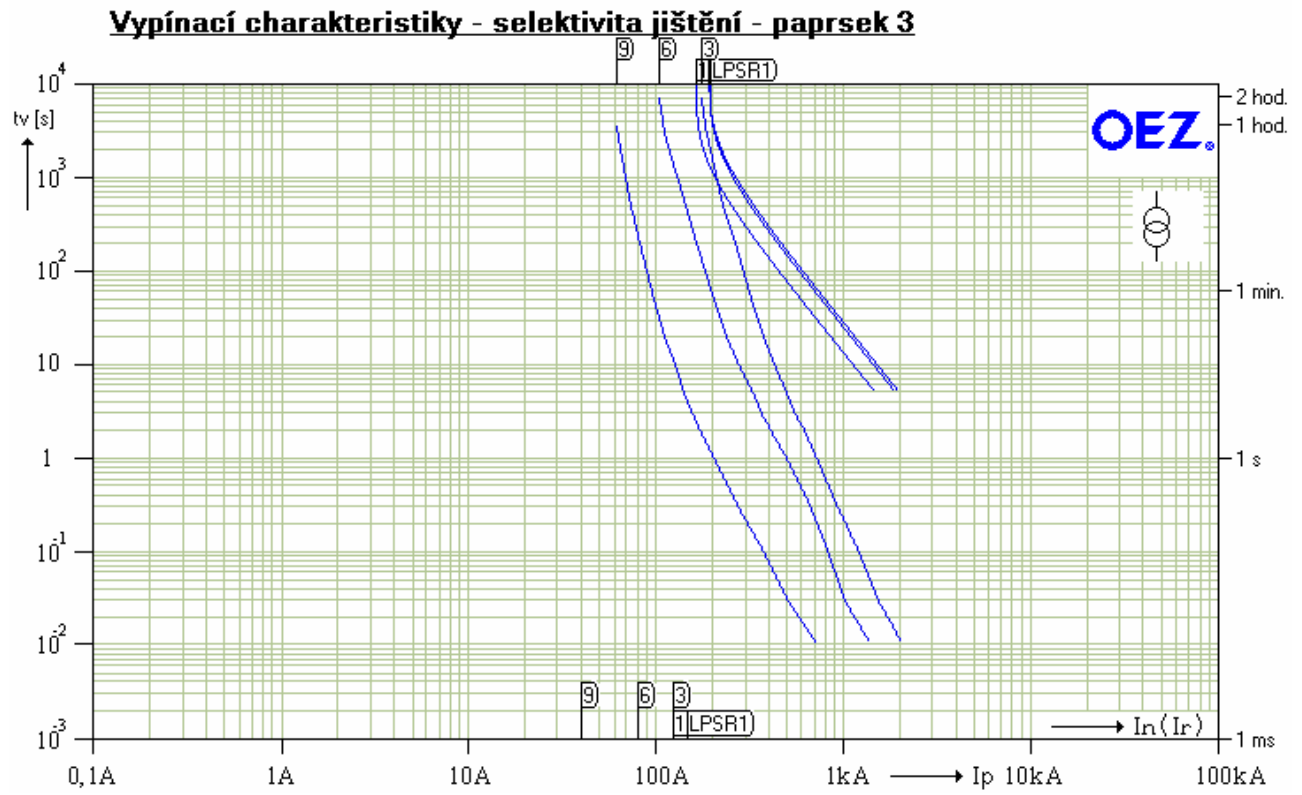


Projekt : Rozvody NN_stupeň elektrizace A

Selektivita jištění

Zapojení	Přístroj	Poznámka
1T1	ELIN 22/0.42 In = 344 A Sr = 250 kVA Ik'' = 8.29 kA U2 = 242/420 V dU = 1.2 % uk = 4 % ip = 16.2 kA	
R NN	<u>Sběrnice</u> B = 0.517 Ik'' = 8.29 kA U = 415 V (Un + 3.8%) ip = 16.2 kA	
1F3	<u>PN000qG</u> In = 125 A Icc = 120 kA io = 7.55 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPSR1	<u>1-AYKY 3x120+70</u> Iz = 147 A tm = 102 ° C Ik'' = 2.89 kA dU = 1.3 % I ² t < k ² S ² ip = 4.22 kA	234 m v zemi (D)
PSR1	<u>Sběrnice</u> B = 1 Ik'' = 2.89 kA U = 411 V (Un + 2.8%) ip = 4.22 kA	
3F6	<u>PN000qG</u> In = 80 A Icc = 120 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPS4	<u>1-AYKY 4x70</u> Iz = 146.4 A tm = 42 ° C Ik'' = 2.35 kA dU = 0.2 % I ² t < k ² S ² ip = 3.40 kA	46 m v zemi (D)
PS4	<u>Sběrnice</u> B = 0.66 Ik'' = 2.35 kA U = 411 V (Un + 2.6%) ip = 3.40 kA	
3F9	<u>PN000qG</u> In = 40 A Icc = 120 kA	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
3L10	<u>1-AYKY 4x35</u> Iz = 125 A tm = 28 ° C Ik'' = 2.30 kA dU = 0.0 % I ² t < k ² S ² io = 2.30 kA	10 m v zemi (D)
RD7	<u>Vývod</u> P = 6.4 kW xB = 6.4 kW cos fi = 0.95 I = 9.72 A U = 410 V (Un + 2.6%) B = 1 io = 2.30 kA	

Příloha D Stup. el. A, selektivita jištění – graf – paprsek 3



Příloha E Stup. el. A, impedanční smyčka – paprsek 3

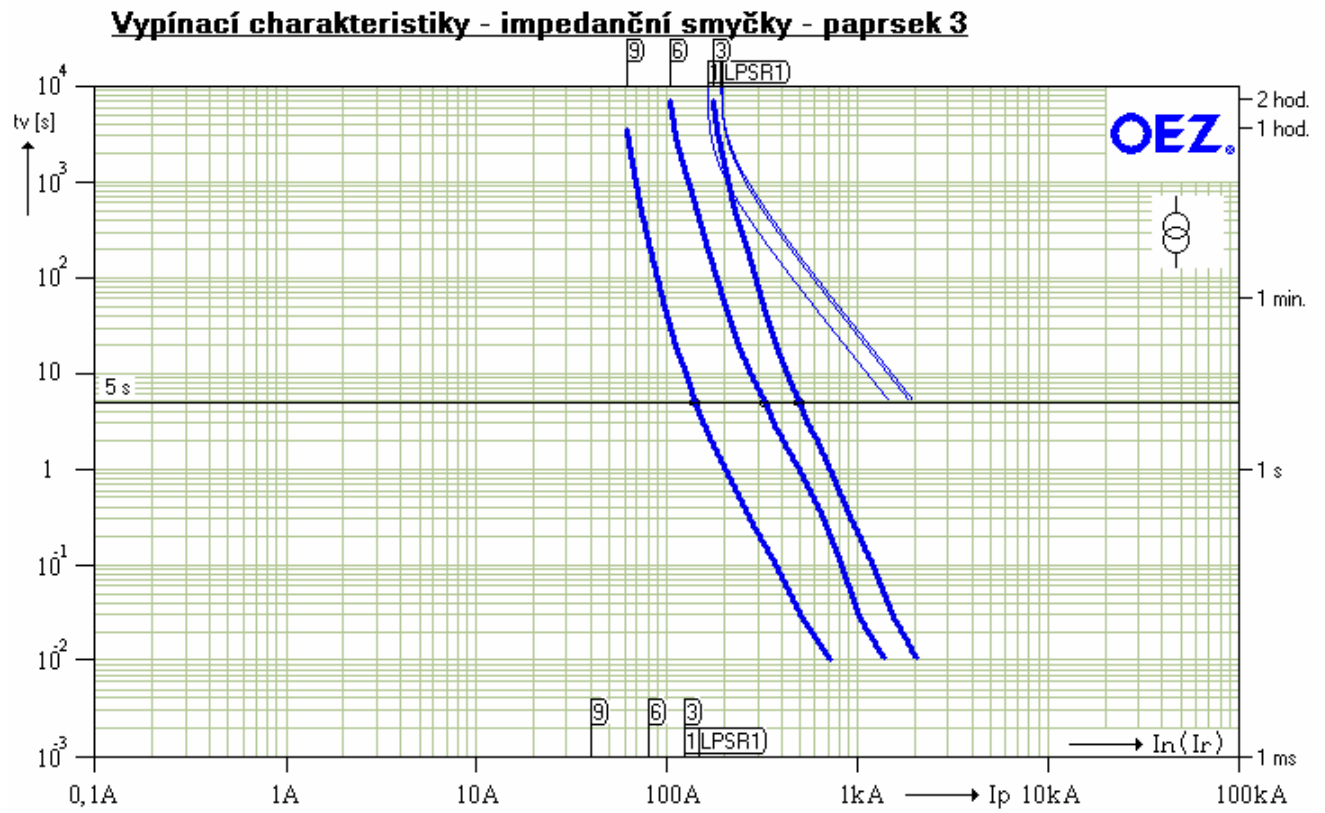


Projekt : Rozvody NN_stupeň elektrizace A

Impedanční smyčky

Zapojení	Přístroj	Poznámka
1T1	ELIN 22/0.42 $I_n = 344 \text{ A}$ $S_r = 250 \text{ kVA}$ $I_k'' = 8.29 \text{ kA}$ $U_2 = 242/420 \text{ V}$	
R NN	Sběrnice $B = 0.517$ $I_k'' = 8.29 \text{ kA}$ $U = 415 \text{ V (} U_n + 3.8\% \text{)}$	
1F3	PN000qG $I_n = 125 \text{ A}$ $I_{cc} = 120 \text{ kA}$	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPSR1	<u>1-AYKY 3x120+70</u> $I_z = 147 \text{ A}$ $t_m = 102 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_k'' = 2.89 \text{ kA}$ $Z_s(5s) = 421 \text{ m}\Omega$ ($I_a = 549 \text{ A}$) $dU = 1.3 \%$ $I^2 t < k^2 S^2$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($209 \text{ m}\Omega < 421 \text{ m}\Omega$)
PSR1	Sběrnice $B = 1$ $I_k'' = 2.89 \text{ kA}$ $U = 411 \text{ V (} U_n + 2.8\% \text{)}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($209 \text{ m}\Omega < 421 \text{ m}\Omega$)
3F6	PN000qG $I_n = 80 \text{ A}$ $I_{cc} = 120 \text{ kA}$	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
LPS4	<u>1-AYKY 4x70</u> $I_z = 146.4 \text{ A}$ $t_m = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_k'' = 2.35 \text{ kA}$ $Z_s(5s) = 650 \text{ m}\Omega$ ($I_a = 356 \text{ A}$) $dU = 0.2 \%$ $I^2 t < k^2 S^2$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($250 \text{ m}\Omega < 650 \text{ m}\Omega$)
PS4	Sběrnice $B = 0.66$ $I_k'' = 2.35 \text{ kA}$ $U = 411 \text{ V (} U_n + 2.6\% \text{)}$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($250 \text{ m}\Omega < 650 \text{ m}\Omega$)
3F9	PN000qG $I_n = 40 \text{ A}$ $I_{cc} = 120 \text{ kA}$	Připojeno pomocí FH000; Cd/Pb free
3L10	<u>1-AYKY 4x35</u> $I_z = 125 \text{ A}$ $t_m = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ $Z_s(5s) = 1.48 \text{ }\Omega$ ($I_a = 156 \text{ A}$) $dU = 0.0 \%$ $I^2 t < k^2 S^2$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($266 \text{ m}\Omega < 1.48 \text{ }\Omega$)
RD7	<u>Vývod</u> $P = 6.4 \text{ kW}$ $x_B = 6.4 \text{ kW}$ $\cos \phi_i = 0.95$ $I = 9.72 \text{ A}$ $U = 410 \text{ V (} U_n + 2.6\% \text{)}$ $B = 1$	O.K. $Z_{sv} < Z_s(5s)$ ($266 \text{ m}\Omega < 1.48 \text{ }\Omega$)

Příloha F Stup. el. A, impedanční smyčka – graf – paprsek 3



Příloha G Výkres č. 1 – celková situace, stup. el. A

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha H Výkres č. 2 – kabelové rozvody NN, část 1/2, stup. el. A

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha I Výkres č. 3 – kabelové rozvody NN, část 2/2, stup. el. A

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha J Výkres č. 4 – nová TS, kabelová přípojka VN, stup. el. A i C

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha K Výkres č. 5 – jednopólové schéma, stup. el. A

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha L Výkres č. 6 – celková situace, stup. el. C

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha M Výkres č. 7 – kabelové rozvody NN, část 1/2, stup. el. C

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha N Výkres č. 8 – kabelové rozvody NN, část 2/2, stup. el. C

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.

Příloha O Výkres č. 9 – jednopólové schéma, stup. el. C

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do diplomové práce.