

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh napájení zemědělského objektu

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Miroslav MOC
Osobní číslo: E11N0147P
Studijní program: N2644 Aplikovaná elektrotechnika
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika
Název tématu: Návrh napájení zemědělského objektu
Zadávací katedra: Katedra elektroenergetiky a ekologie

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

1. Podle získaných údajů o velikosti příkonu jednotlivých budov zemědělského objektu navrhnete způsob připojení k veřejné distribuční síti, včetně návrhu napájecího transformátoru.
2. Navrhnete konfiguraci napájecí sítě uvnitř areálu zemědělského podniku, nadimenzujete napájecí kabely k podružným rozváděčům.
3. Navrhnete centrální kompenzaci účinníku a provedte hodnocení její finanční návratnosti.
4. Posudte nutnost záložního napájení objektu a případně navrhnete zdroj záložního napájení.

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

1. Tesařová, M., Štroblová, M. : Průmyslová elektroenergetika, ZČU, Plzeň, 2000
2. ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách
3. Korenc, V., Holoubek, J. : Kompenzace jalového výkonu v praxi, IN-EL, Praha, 1999
4. ČSN 332000-5-523 Elektrická zařízení, část 5 Výběr a stavba el. zařízení - Dovolené proudy

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, pomoc s literaturou, vysvětlení nejasných záležitostí a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat pánům Judlovi, Loudovi a Zikmundovi, kteří byli ochotní mi poskytnout informace o podniku a jeho fungování.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

V Plzni dne 5. 5. 2014

podpis

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřená na návrh napájecího transformátoru a dimenzování přívodních rozvodů v areálu zemědělského družstva. Uvádí postup a způsob výpočtů při návrhu a následnou volbu vedení a zařízení na základě ekonomické hospodárnosti. Dále ukazuje výpočty pro centrální kompenzaci účinníku v areálu a volbu záložního napájecího zdroje.

Klíčová slova

Distribuční soustava, napájecí transformátor, dimenzování napájecí soustavy, dimenzování vodičů, kompenzace účinníku

Abstract

This Master's thesis deals with the project of power supply system for farm buildings. The project is focused on supply grid layout and rating of supply system components. There are described procedures of supply transformer and feeder sizing, included their economical optimization. Besides cable rating and protection, power factor correction equipment and backup power supply is also designed.

Key words

Distribution system, supply transformer, dimensioning supply system, cable sizing, power-factor correction

Obsah

1	Úvod	10
2	Připojení areálu k veřejné DS, návrh transformátoru	11
2.1	Zkratový výkon v místě připojení	12
2.2	Návrh napájecího transformátoru	14
2.2.1	Výpočtové zatížení	14
2.2.2	Kontrola na úbytek napětí v síti při rozběhu největšího motoru v areálu	16
2.3	Doba využití maxima, doba plných ztrát a ekonomická výhodnost transformátoru	20
2.3.1	Doba využití maxima	21
2.3.2	Doba plných ztrát	22
2.3.3	Ekonomická výhodnost transformátoru	23
3	Dimenzování a jištění kabelů	27
3.1	Výpočet rázového zkratového proudu za transformátorem	28
3.2	Kontrola kabelů a jejich dimenzování	30
3.2.1	Kontrola kabelu K8 do kravína	30
3.2.2	Volba nového kabelu	34
3.2.3	Podmínky jištění kabelu	35
3.2.4	Ověření jištění proti přetížení	37
3.2.5	Kontrola na tepelné účinky zkratového proudu	39
3.2.6	Kontrola na úbytek napětí vodiče	41
3.2.7	Ověření ochrany proti nebezpečnému dotyku	42
3.3	Návrh nového kabelu K81 z kravína do dojírny	45
3.3.1	Výpočet rázového zkratového proudu na rozvaděči R8	45
3.3.2	Vypočtené hodnoty pro dimenzování kabelu K81	46

3.4	Ekonomická optimalizace návrhu průřezu kabelů	50
3.5	Citlivostní analýza	53
3.6	Volba průřezu kabelu podle návrhu a ekonomické optimalizace	58
4	Kompenzace účinníku	59
4.1	Volba kompenzačního rozvaděče	61
4.2	Investiční návratnost kompenzačního rozvaděče	65
4.2.1	Zjednodušený výpočet investiční návratnosti	65
4.2.2	Zpřesněný výpočet investiční návratnosti	67
5	Návrh záložního napájení	69
5.1	Rozdělení provozů podle stupně zajištění dodávky	69
5.2	Volba záložního napájení	70
6	Závěr	72
	Přílohy	I

Seznam obrázků

2.1	<i>Vyznačení trasy DS z rozvodny v Mladé Boleslavi do obce Jivina u Mnichova Hradiště[25]</i>	12
2.2	<i>Schéma zapojení proků a náhradní schéma pro výpočet hodnot v místě připojení</i>	13
2.3	<i>Schéma zapojení proků a náhradní schéma pro kontrolu úbytku napětí při rozběhu největšího motoru v areálu</i>	18
2.4	<i>Graf spotřebované energie za rok 2012</i>	20
3.1	<i>a) Dispoziční mapa areálu bez dojírnny [24] b) Dispoziční mapa areálu s dojírnou</i>	27
3.2	<i>Paprskové zapojení provozů v areálu</i>	28
3.3	<i>Rázový zkratový proud $I_k^{//}$ za transformátorem</i>	29
3.4	<i>Dispoziční řešení areálu s vyznačením tras vedení</i>	32
3.5	<i>Princip ochrany při poruše automatickým odpojením od zdroje v síti TN[16]</i>	43
3.6	<i>Rázový zkratový proud $I_k^{//}$ na rozvaděči R8</i>	46
3.7	<i>Ukázka vypínacích charakteristik jističů Modeion - program SICHR od OEZ</i>	49
3.8	<i>Ukázka výstupu pro porovnání ekonomické hospodárnosti kabelů z programu SICHR</i>	52
3.9	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K81 do dojírnny pro různé průřezy</i>	53
3.10	<i>Graf citlivostní analýzy pro kabel K4 k progresu při diskontní sazbě 2,1 %</i>	55
3.11	<i>Graf citlivostní analýzy pro kabel K4 k progresu při diskontní sazbě 5 %</i> .	55
3.12	<i>Graf citlivostní analýzy pro kabel K5 k seníku při diskontní sazbě 2,1 %</i> .	57
3.13	<i>Graf citlivostní analýzy pro kabel K5 k seníku při diskontní sazbě 5 %</i> . .	57
4.1	<i>Schéma zapojení s kompenzačním rozvaděčem KR</i>	60
1	<i>Graf spotřebované energie za rok 2010</i>	III
2	<i>Graf spotřebované energie za rok 2011</i>	III

3	<i>Konstrukce jader a tloušťka izolace</i>	IV
4	<i>Jmenovitý proud I_N a oteplovací konstanta τ kabelu</i>	V
5	<i>Induktivní reaktance</i>	VI
6	<i>Jistič BC160N</i>	VII
7	<i>Jistič BD250N/S</i>	VIII
8	<i>Jistič BH630N/S</i>	IX
9	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K1 k čističce pro různé průřezy</i>	XVII
10	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K3 k čerpací stanici pro různé průřezy</i>	XXII
11	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K4 k progresu pro různé průřezy</i>	XXV
12	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K42 k dílnám pro různé průřezy</i>	XXIX
13	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K5 k seníku pro různé průřezy</i>	XXXII
14	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K6 k OMD pro různé průřezy</i>	XXXIV
15	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K7 k drůbežárně pro různé průřezy</i>	XXXVII
16	<i>Graf porovnání nákladů kabelu K71 ke krůtárně pro různé průřezy</i>	XL

Seznam tabulek

2.1	<i>Instalované výkony [19] a výpočtová zatížení objektů v podniku</i>	15
2.2	<i>Provozní náklady stávajícího transformátoru 400kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$</i>	25
2.3	<i>Srovnání cen a nákladů transformátorů 400kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$</i>	26
2.4	<i>Srovnání cen a nákladů transformátorů 250kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$</i>	26
3.1	<i>Soupis kabelů a jejich délek k provozům [19]</i>	29
3.2	<i>Vypočtené hodnoty oteplení kabelu K8 při přetížení</i>	39
3.3	<i>Kabel K81 - Dojírna: Návrh jističe, spočtené parametry</i>	47
3.4	<i>Kabel K81 - Dojírna: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu</i>	47
3.5	<i>Kabel K81 - Dojírna: Kontrola na úbytek napětí na vodiči</i>	47
3.6	<i>Kabel K81 - Dojírna: ověření jistění proti přetížení</i>	48
3.7	<i>Kabel K81 - Dojírna: Ochrana proti nebezpečnému dotyku</i>	48
3.8	<i>Kabel K4 - Progres: Celkové náklady při citlivostní analýze</i>	54
3.9	<i>Kabel K5 - Seník: Celkové náklady při citlivostní analýze</i>	56
3.10	<i>Tabulka stávajících nebo minimálních průřezů kabelů a optimálních průřezů kabelů z hlediska ekonomiky</i>	58
5.1	<i>Rozdělení provozů do kategorií podle stupně dodávky</i>	70
5.2	<i>Ekonomické zhodnocení ztrát při výpadku elektrické energie na jeden den</i>	70
5.3	<i>Záložní napájení provozů</i>	71
1	<i>Soupis motorů a jejich výkonů v areálu</i>	I
2	<i>Roční spotřebovaná elektrická energie podnikem v MWh</i>	II
3	<i>Cenové přírážky za nedodržení předepsané úrovně $\cos \varphi_0$[32]</i>	XLI

Seznam symbolů a zkratek

AoBk	typ transformátoru - nízkoztrátový
a	odhadovaný průměrný nárůst ceny elektrické energie za vyhodnocované období [%/rok]
α_{20}	teplotní součinitel materiálu vodiče při 20°C [K ⁻¹]
B	kalkulační cena za 1kWh elektrické energie [Kč]
β	činitel náročnosti nebo vzájemný činitel náročnosti
C	cena transformátoru [Kč]
CoCk; red	typ transformátoru - redukované ztráty
c	napěťový součinitel
$\cos \varphi_N$	jmenovitý účinník
$\cos \varphi_r$	rozběhový účinník
$\cos \varphi_{str}$	střední účinník
DS	distribuční soustava
d	procentní změna napětí [%]
d_Z	dovolená procentní změna napětí [%]
EoDk; std	typ transformátoru - standardní ztráty
e	inflační míra [%]
η	účinnost motoru
f	frekvence [Hz]
I_a	poruchový proud pro poruchovou impedanční smyčku \bar{Z}_s [A]
I_{cm}	zapínací schopnost jističe [kA]
I_{CS}	provozní vypínací zkratová schopnost jističe [kA]
I_{CU}	jmenovitá mezní vypínací zkratová schopnost jističe [kA]
$I_{CW,i}$	krátkodobý výdržný proud jističe pro t_k udávaný výrobcem (obvykle $i = 1s$ nebo $2s$) [kA]
I_i	proud zkratové časově nezávislé spouště jističe [A]

I_k	ustálený zkratový proud [kA]
$I_{kS}^{//}; I_k^{//}$	rázový zkratový proud sítě; rázový zkratový proud [kA]
I_N	jmenovitý proud [A]
I_{nad}	nadproudy [A]
I_p	výpočtový proud [A]
I_{PN}	jmenovitý proud pojistky nebo jističe [A]
I_R	redukovaný proud jističe [A]
I_r	rozběhový proud [A]
I_{th}	ekvivalentní oteplovací zkratový proud [kA]
$I_{th,i}$	ekvivalentní oteplovací zkratový proud přepočtený na dobu trvání zkratu udanou výrobcem jističe (obvykle $i = 1s$ nebo $2s$) [kA]
I_Z	dovolené proudové zatížení vodiče [A]
i_k	poměrný proud motoru nakrátko
i_p	nárazový zkratový proud (vrcholová hodnota) [kA]
K	koeficient pro dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu (volba podle materiálu vodiče a izolace)
KR	kompensační rozvaděč
k	jednotlivé roky pro ekonomickou výhodnost transformátoru
k_i	přepočítávací koeficient pro dimenzování vodičů v areálu
k_m	koeficient doby využití maxima - poměrná doba využití maxima
κ	součinitel pro výpočet i_p a koeficientu m
l	délka [km]
M_{TP}	měrný tepelný odpor půdy [Km/W]
m	činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratu pro výpočet I_{th}
m_S	poměr průřezu fázového vodiče ku průřezu ochranného vodiče
N	počet stupňů kompenzačního rozvaděče
N_n	náklady za nákup a provoz transformátoru za n let provozu [Kč]
NN	hladina nízkého napětí
n	činitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratu pro výpočet I_{th}
P	činný výkon [W]
P_i	instalovaný činný výkon spotřebičů [W]
P_m	maximální činný výkon [W]
P_p	výpočtový činný výkon [W]
P_{pC}	celkový výpočtový činný výkon [W]
$\sum P_p$	celkový výpočtový činný výkon [W] po započtení vzájemného β

ΔP_0	činné ztráty transformátoru naprázdno [kW]
ΔP_k	činné ztráty transformátoru nakrátko [kW]
P_{str}	střední činný výkon [W]
p	převod transformátoru
pn_k	provozní náklady za jednotlivé roky [Kč]
Q_{puv}	původní odebíraný jalový výkon [kVAr]
Q_{pokom}	jalový výkon odebíraný po kompenzaci [kVAr]
Q_{kom}	kompenzační jalový výkon [kVAr]
Q_{KR}	vypočtený jalový výkon kompenzačního rozvaděče [kVAr]
Q_C	celkový jalový výkon kompenzačního rozvaděče [kVAr]
Q_{C1}	jalový výkon prvního stupně kompenzačního rozvaděče [kVAr]
R, X	činný odpor a reaktance kabelu nebo vedení; také jen pro fázové vodiče v kabelu [Ω]
R_{KiPE}, X_{KiPE}	činný odpor a reaktance ochranného vodiče konkrétního kabelu i [Ω]
R_C, X_C	celkový činný odpor a reaktance do místa zkratu nebo místa připojení [Ω]
$\frac{R_C}{X_C}$	poměr celkového odporu a reaktance do místa zkratu pro výpočet κ
R_S, X_S	činný odpor sítě [Ω]
R_T, X_T	činný odpor a reaktance transformátoru [Ω]
r_k, x_k	činný odpor a reaktance kabelu nebo vedení na jednotku délky [Ω/km]
r_ϑ	činitel pro přepočtení teplotní závislosti činných odporů
ρ_k	rezistivita kabelu (materiálu vodiče) [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]
S	průřez vodiče; průřez fázového vodiče [mm^2]
S_{PE}	průřez ochranného vodiče [mm^2]
S_k''	zkratový výkon v místě zkratu nebo místě připojení [MVA]
S_M	zdánlivý výkon motoru [VA]
S_{NT}	jmenovitý výkon transformátoru [kVA]
$\sum S_p$	celkový výpočtový zdánlivý výkon [VA]
S_{min}	minimální průřez vodiče [mm^2]
S_{pmax}	maximální výpočtový zdánlivý výkon přenášený transformátorem vypočtený z naměřených hodnot [kVA]
S_{pstr}	střední výpočtový zdánlivý výkon přenášený transformátorem vypočtený z naměřených hodnot [kVA]
S_{pmax}/S_{NT}	maximální zatížení transformátoru, může být uváděno i jako S_{pstr}/S_{NT} pro střední zatížení transformátoru
T	počet hodin za měsíc [hod]

\bar{T}	průměrný počet hodin za měsíc [hod/m]
T_m	doba využití maxima [hod]
T_{prov}	doba provozu [hod]
T_{Δ}	doba plných ztrát [hod]
TOh	transformátor olejový hermetizovaný
TSz	transformátor suchý zalévaný
t_c	konečná teplota kabelu při I_p nebo při nadproudech I [°C]
t_k	doba trvání zkratu; čas vypnutí zkratu [s]
t_{max}	maximální doba odpojení od zdroje [s]
t_{vyp}	čas vypnutí nadproudů [s]
τ	časová oteplovací konstanta kabelu [s]
ϑ_0	základní teplota okolního prostředí; počáteční teplota kabelu [°C]
ϑ_m	nejvyšší provozní teplota vodiče [°C]
$\Delta\vartheta$	oteplení kabelu při I_p a nadproudech I za čas t_{vyp} [K]
$\Delta\vartheta_Z$	dovolené oteplení vodiče při I_Z [K]
U_0	efektivní jmenovitá hodnota napětí proti zemi [V]
U_{dL}	dovolené dotykové napětí [V]
U_n	jmenovité napětí [V]
ΔU_f	úbytek fázového napětí [V]
$u_k\%$	procentní napětí nakrátko transformátoru [%]
VN	hladina vysokého napětí
W	elektrická práce nebo energie [MWh]
W_i	elektrická práce nebo energie [MWh] za sledovaný měsíc $i = 1 \div 12$
W_{str}	střední elektrická energie [MWh]
X_S	reaktance sítě [Ω]
ZD	zemědělské družstvo
\bar{Z}_C	celková impedance do místa zkratu nebo místa připojení [Ω]
\bar{Z}_{PE}	impedance ochranného vodiče [Ω]
\bar{Z}_S	impedance sítě [Ω]
\bar{Z}_s	poruchová impedance smyčky pro dobu vypnutí t_{max} [Ω]
\bar{Z}_{sv}	vypočtená impedance poruchové smyčky [Ω]
\bar{Z}_T	impedance transformátoru [Ω]

Kapitola 1

Úvod

Zemědělství je jedním ze základních stavebních kamenů prosperujícího státu. Potravinářská soběstačnost každého státu je podstatně závislá na domácí produkci potravin a jiných potravinářských výrobků, ať už se jedná o rostlinné nebo živočišné produkty. I v této oblasti má elektřina nezastupitelnou roli ve výrobě.

Cílem této práce je navrhnout napájení zemědělského družstva v obci Jivina. Jelikož podnik, jemuž areál patří, má provozy rozmístěné ve třech obcích, je návrh řešen jako modernizace areálu v obci Jivina a soustředění všech provozů v něm.

Návrh napájení je řešen jako kompletní modernizace areálu s přistavěním budovy dojírny, která zde v současnosti není.

V následující kapitole navrhuji napájecí transformátor na základě roční spotřebované elektrické energie podniku potažmo všech provozů v něm. Nový transformátor může nahradit stávající transformátor, který napájí areál již téměř 30 let.

V další kapitole kontroluji stávající kabelové vedení v areálu, zda-li splňuje podmínky podle norem ČSN 34 1610, ČSN EN 60909, ČSN 33 2000-4-41 a 43, ČSN 33 2000-5-523 a ČSN 38 1754. Dále dimenzuji nový napájecí kabel k dojárně.

Ve čtvrté kapitole volím druh kompenzace účiníku podniku na základě jeho nejvyššího a nejnižšího odebíraného jalového výkonu. Volba kompenzačního rozvaděče musí být učiněna tak, aby nedocházelo k nedokompenzování, ale i k překompenzování účiníku. V případě nedokompenzování hrozí podniku finanční sankce.

V páté kapitole navrhuji s ohledem na charakter podniku záložní napájení pro nejdůležitější provozy, u nichž hrozí při přerušení napájení velké ztráty. Záložní zdroj je zvolen podle výpočtového zatížení jednotlivých provozů.

Kapitola 2

Připojení areálu k veřejné DS, návrh transformátoru

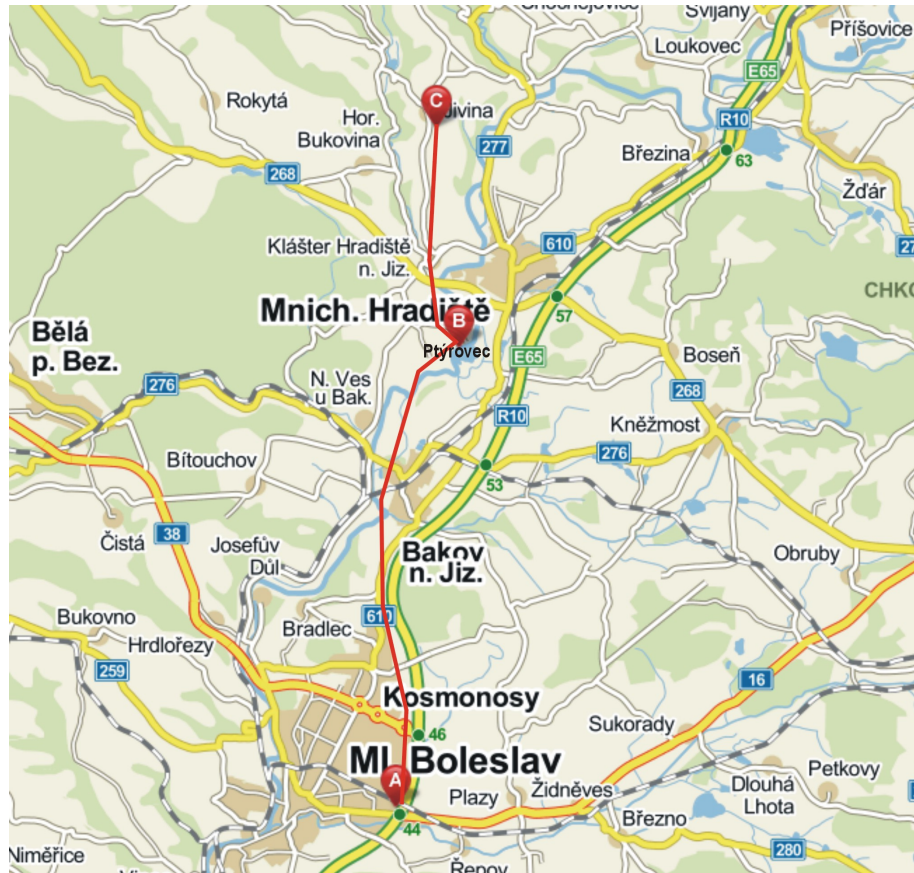
Každý podnik je připojený přes vstupní rozvodnu nebo transformovnu k distribuční síti (dále jen DS), ta obsahuje jeden nebo více hlavních transformátorů, případně i záložní transformátor. Tento transformátor mění velikost napětí v distribuční síti na velikost napětí, na který jsou provozy a stroje v areálu navrženy. Podle charakteru podniku může být v areálu více podružných transformátorů. Podnik nemusí pracovat jen s jednou hladinou napětí.

Připojení podniku k DS je na základě žádosti o připojení k ní a předložení výkonové charakteristiky podniku, který má být připojen. Tyto náležitosti jsou prováděny, aby nedocházelo k nepřijatelnému ovlivnění kvality dodávky elektrické energie jiným koncovým uživatelům. Podmínky, za kterých je možno podnik připojit k DS, jsou definovány ve zdroji [20] - „Podmínky provozování distribučních soustav.“

Pro návrh je nutné znát hodnoty zkratových proudů a výkonů v místě připojení. Vzhledem k tomu, že zkratový proud $I_{kS}^{//}$ v místě připojení nebyl znám, bylo nutno tento údaj vypočítat ze zjištěné hodnoty zkratového proudu $I_{kS}^{//}$ v rozvodně v Mladé Boleslavi.

Aby mohl být zkratový výkon $S_k^{//}$ vypočítán, bylo nutné zjistit parametry distribučního vedení do areálu ZD Jivina. Distribuční vedení 22 kV je dlouhé 17,587 km a vede z rozvodny v Mladé Boleslavi do obce Ptýrovec, kde je vodičem AlFe6 95 mm², a z této vesnice vede vedení AlFe6 35 mm² do místa připojení v obci Jivina. Trasa vedení je naznačena v obrázku 2.1. Všechny stroje, zařízení a provozy jsou připojeny na hladině 0,4 kV, proto je zde jediný hlavní transformátor 22/0,4 kV.

Při návrhu tohoto transformátoru musí být brán v potaz přenášený výkon do podniku a ekonomický provoz, aby nebyly náklady na pořízení transformátoru a jeho provoz příliš



Obrázek 2.1: Vyznačení trasy DS z rozvodny v Mladé Boleslavi do obce Jivina u Mnichova Hradiště[25]

vysoké.

V následujících částech je uveden výpočet potřebný pro návrh napájecího transformátoru.

2.1 Zkratový výkon v místě připojení

Pro výpočet odporu, reaktancí a zkratového výkonu jsou použity tyto rovnice [2]:

$$X_S = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kS}} \quad (2.1)$$

$$X = x_k \cdot l \quad (2.2)$$

$$R = r_k \cdot l \quad (2.3)$$

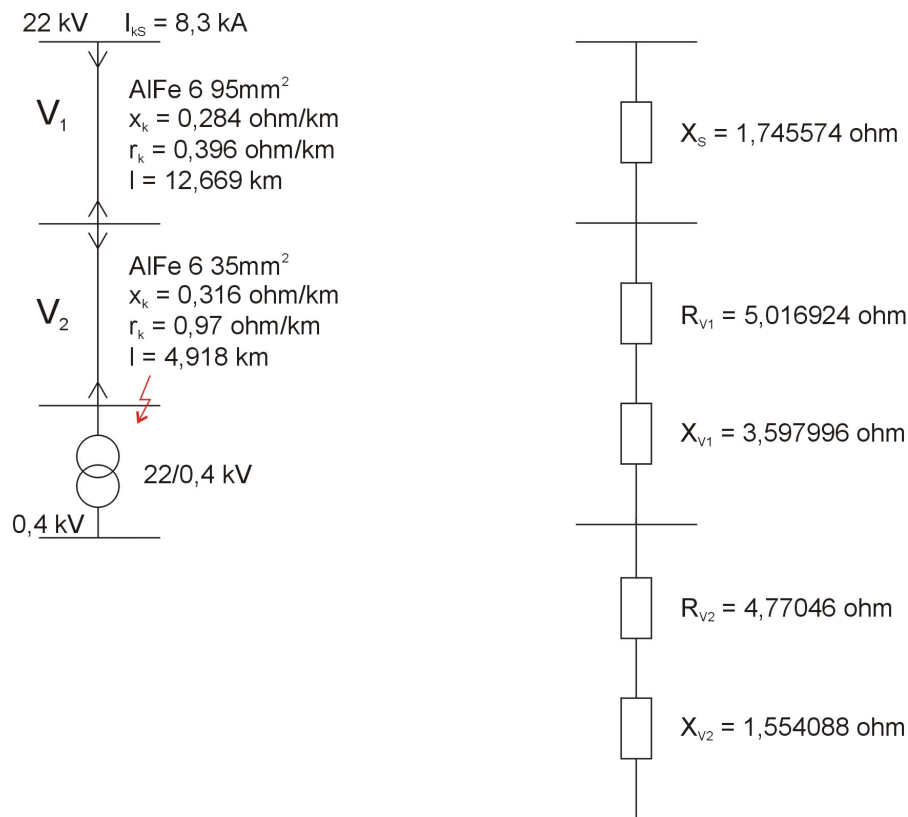
$$X_C = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (2.4)$$

$$R_C = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2.5)$$

$$\bar{Z}_C = R_C + j \cdot X_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad (2.6)$$

$$S_k^{//} = \frac{c \cdot U_n^2}{\bar{Z}_C} \quad (2.7)$$

Na obrázku 2.2 je ukázáno schéma zapojení od rozvodny v Mladé Boleslavi k místu připojení a také náhradní schéma s činnými odpory a reaktancemi vedení, které mají vliv na výsledek výpočtu zkratového výkonu, jež je uveden níže. Pro výpočty jsou použity a upraveny rovnice 2.1 až 2.7 uvedené výše.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení prvků a náhradní schéma pro výpočet hodnot v místě připojení

Parametry vedení:

$$\begin{aligned} \text{Vedení V1:} \quad & \text{AlFe6 } 95\text{mm}^2 & l = 12,669\text{km} \\ & x_k = 0,284\Omega/\text{km} & r_k = 0,369\Omega/\text{km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vedení V2:} \quad & \text{AlFe6 } 35\text{mm}^2 & l = 4,918\text{km} \\ & x_k = 0,316\Omega/\text{km} & r_k = 0,97\Omega/\text{km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_S &= \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kS}^{//}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 8,3} = 1,683\Omega \\ X_{V1} &= x_k \cdot l = 0,284 \cdot 12,669 = 3,598\Omega \\ R_{V1} &= r_k \cdot l = 0,396 \cdot 12,669 = 5,017\Omega \\ X_{V2} &= x_k \cdot l = 0,316 \cdot 4,918 = 1,554\Omega \\ R_{V2} &= r_k \cdot l = 0,97 \cdot 4,918 = 4,77\Omega \\ X_C &= X_{V1} + X_{V2} = 1,683 + 3,598 + 1,554 = 6,835\Omega \\ R_C &= R_{V1} + R_{V2} = 5,017 + 4,77 = 9,787\Omega \\ \bar{Z}_C &= \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{9,787^2 + 6,835^2} = 11,938\Omega \\ S_k^{//} &= \frac{c \cdot U_n^2}{\bar{Z}_C} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{11,938} = 44,6\text{MVA} \doteq 45\text{MVA} \end{aligned}$$

Z výpočtu je patrné, že zkratový výkon v místě připojení činí 45 MVA. Zjištění této hodnoty tvoří základ pro další návrh transformátoru s ohledem na výpočtové zatížení a kontrolu úbytku napětí při rozběhu největšího motoru v areálu.

2.2 Návrh napájecího transformátoru

Jak již bylo zmíněno, je nutné při návrhu transformátoru uvažovat výkon přenášený transformátorem. Pro návrh transformátoru je nezbytné určit výpočtové zatížení v areálu podniku a provést kontrolu úbytku napětí při rozběhu největšího motoru v areálu.

2.2.1 Výpočtové zatížení

Výpočtové zatížení $\mathbf{P_p}$ je spočteno z instalovaného výkonu budov v podniku pomocí činitele náročnosti. Tato spočtená hodnota určí přibližný potřebný výkon přenášený transformátorem do areálu a tím může být odhadnuto zatížení napájecího transformátoru.

V tabulce 2.1 jsou vypsány hodnoty instalovaného výkonu $\mathbf{P_i}$ a výpočtového zatížení budov v areálu včetně celkového výpočtového výkonu $\mathbf{P_{pC}}$ spočteného podle rovnice 2.9.

č.	Objekt	P_i [kW]	β	P_p [kW]
1	Dojírna	90,61	0,9	81,55
2	Kravín	7,51	0,8	6,01
3	OMD - teletník	5,49	0,8	4,39
4	Drůbežárna	46,74	0,9	42,07
5	Krůtárna	36,8	0,9	33,12
6	Sušička	0,032	0,8	0,028
7	Čistička (vč. sil)	65	0,8	52
8	Seník	93,1	0,5	46,55
9	Progres	7,8	0,8	6,24
10	Dílny	124,64	0,2	24,93
11	Kanceláře	17,86	0,5	8,93
12	Čerpací stanice	5,54	0,39	2,16
			P_{pC}	307,98

Tabulka 2.1: Instalované výkony [19] a výpočtová zatížení objektů v podniku

Pro každou budovu je zde určen **činitel náročnosti** β , který může být vypočten z činitele současnosti a činitele zatížitelnosti ku účinnosti spotřebičů a napájecí sítě. Činitel současnosti představuje poměr současně připojených spotřebičů ku celkovému instalovanému výkonu a činitel zatížitelnosti je poměr výkonu současně připojených spotřebičů ku celkovému výkonu dané skupiny spotřebičů.[8]

Druhou možností, jak určit β , jsou tabulky, které jsou součástí normy ČSN 34 1610. [1] Jelikož ZD Jivina má specifický charakter provozu, je β pro čerpací stanici určen z norem, β pro čističku je vzat z revizní zprávy [19] a zbývající hodnoty činitele náročnosti jsou uvažovány na základě konzultace s odborníkem z praxe, protože nebyly předmětem revizních zpráv nebo nebyly v nich čitelné.

V zásadě β určuje reálné zatížení objektu. Výpočtové zatížení se tedy spočte podle rovnic [1]:

$$P_p = \beta \cdot P_i \quad (2.8)$$

$$P_{pC} = P_{p1} + P_{p2} + \dots + P_{pn} \quad (2.9)$$

Také, kvůli zmíněnému specifickému charakteru provozu, je zde zaveden **vzájemný**

činitel náročnosti budov opět značený β . Na základě zkušeností odborníků z praxe je uvažováno $\beta = 0,6$. To znamená, že celkový výpočtový výkon bude činit podle upravené rovnice 2.8:

$$\sum P_p = \beta \cdot P_{pC} = 0,6 \cdot 307,98 = 184,788kW$$

S ohledem na skladbu motorů (tabulka 1 na straně I v příloze A), provoz a zkušenosti pracovníků je možné uvažovat **střední účinník** $\cos \varphi_{str} = 0,8$. Na základě znalosti účinníku je možné stanovit **zdánlivé výpočtové zatížení** $\sum S_p \cdot [1]$

$$\sum S_p = \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_{str}} \quad (2.10)$$

Po dosazení do rovnice 2.10 se dostane:

Bez kompenzace:

$$\sum S_p = \frac{184,788}{0,8} = 230,985kVA$$

Po kompenzaci ($\cos \varphi_0 = 0,95$):

$$\sum S_p = \frac{184,788}{0,95} = 194,514kVA$$

Z výsledné hodnoty výpočtu zdánlivého výpočtového výkonu areálu je možné určit výkon napájecího transformátoru.

Vzhledem k výpočtovému zatížení podniku je možno určit výkon transformátoru $S_T = 250kVA$, který bude zatížen na 92% bez kompenzace účinníku a na 77,8% po kompenzaci účinníku, a který nahradí stávající transformátor o výkonu $S_T = 400kVA$. Ten by byl zatížen na 58% bez kompenzace účinníku. Kompenzaci účinníku je věnována 4. kapitola této práce.

2.2.2 Kontrola na úbytek napětí v síti při rozběhu největšího motoru v areálu

Pro každý návrh transformátoru je nezbytné zkontrolovat úbytek napětí při rozběhu největšího motoru v podniku. Každý rozběh motoru má za následek změnu napětí v síti, respektive jeho pokles. Tato kontrola se provádí, protože chod ostatních spotřebičů by neměl být ovlivněn a musí být zajištěna jejich plynulá činnost. Dále v sítích NN nesmí nastat změna napětí větší než 6%. [7]

Pro tuto kontrolu jsou použity následující rovnice [2, 7]:

$$\bar{Z}_S = \bar{Z}_C \cdot \frac{1}{p^2} = (R_C + j \cdot X_C) \cdot \frac{1}{p^2} \quad (2.11)$$

$$\bar{Z}_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} \quad (2.12)$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_{NT}} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} \quad (2.13)$$

$$X_T = \sqrt{\bar{Z}_T^2 - R_T^2} \quad (2.14)$$

$$\Delta U_f = R_C \cdot I_r \cdot \cos \varphi_r + X_C \cdot I_r \cdot \sin \varphi_r \quad (2.15)$$

$$d = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{U_N} \cdot 100 \quad (2.16)$$

Pro výpočet celkové reaktance, odporu a impedance jsou použity rovnice 2.4, 2.5 a 2.6. Rovnice 2.11 ukazuje přepočtení celkové impedance sítě, která byla spočtena na hladině VN 22 kV v předešlé části, na hladinu NN 0,4 kV.

Pro výpočet jmenovitého a rozběhového proudu motoru jsou použity rovnice [8]:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_N \cdot \eta} \quad (2.17)$$

$$I_r = i_k \cdot I_N \quad (2.18)$$

Pomocí výše uvedených rovnic je možné určit procentní změnu napětí při rozběhu největšího motoru v areálu, který je instalován v budově dojírny (viz příloha A strana I, tabulka 1).

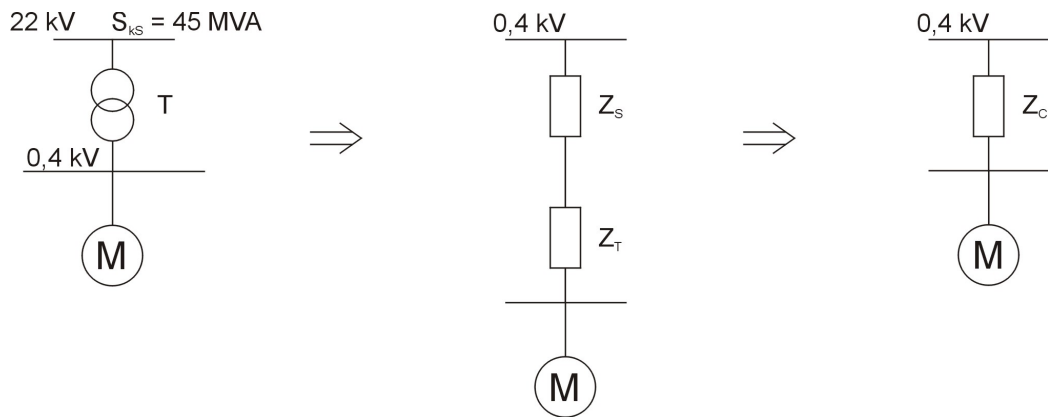
Parametry motoru:

$$P = 12 \text{ kW}; U_N = 400 \text{ V}; \cos \varphi_N = 0,8; i_k = 5; \eta = 0,9;$$

$$\cos \varphi_r = 0,3 \Rightarrow \sin \varphi_r = 0,954$$

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_N \cdot \eta} = \frac{12 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 24,06 \text{ A}$$

$$I_r = i_k \cdot I_N = 5 \cdot 24,06 = 120,3 \text{ A}$$



Obrázek 2.3: Schéma zapojení prvků a náhradní schéma pro kontrolu úbytku napětí při rozběhu největšího motoru v areálu

Z výpočtu vyplývá, že rozběhový proud motoru činí 120,3 A. V následujících výpočtech je zahrnutá impedance sítě a transformátoru. Výpočet je proveden pro výkon stávajícího i nově navrženého transformátoru se standardními ztrátami.

Transformátor $S_T = 400 \text{ kVA}$; $u_k\% = 4\%$; $\Delta P_k = 6 \text{ kW}$:

$$\bar{Z}_S = (R_C + j \cdot X_C) \cdot \frac{1}{p^2} = (9,787 + j \cdot 6,835) \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 3,235 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,259 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{400 \cdot 10^3} = 0,016 \Omega$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_{NT}} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{6 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{400 \cdot 10^3} = 0,006 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{\bar{Z}_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,016^2 - 0,006^2} = 0,015 \Omega$$

$$R_C = R_S + R_T = 3,235 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 10^{-3} = 9,235 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_C = X_S + X_T = 2,259 \cdot 10^{-3} + 15 \cdot 10^{-3} = 17,259 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_C = R_C + j \cdot X_C = 9,235 \cdot 10^{-3} + j \cdot 17,259 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Úbytek napětí pro transformátor $S_T = 400 \text{ kVA}$:

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= R_C \cdot I_r \cdot \cos \varphi_r + X_C \cdot I_r \cdot \sin \varphi_r = \\ &= 9,235 \cdot 10^{-3} \cdot 120,3 \cdot 0,3 + 17,259 \cdot 10^{-3} \cdot 120,3 \cdot 0,954 = 2,296 \text{ V} \end{aligned}$$

$$d = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 2,296}{400} \cdot 100 = 0,994\% < 6\%$$

Transformátor $S_T = 250kVA$; $u_k\% = 4\%$; $\Delta P_k = 4,1kW$:

$$\bar{Z}_S = (R_S + j \cdot X_S) \cdot \frac{1}{p^2} = (9,787 + j \cdot 6,835) \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 3,235 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,259 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$\bar{Z}_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 25,6 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_{NT}} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{4,1 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 10,5 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{\bar{Z}_T^2 - R_T^2} = \sqrt{(25,6 \cdot 10^{-3})^2 - (10,5 \cdot 10^{-3})^2} = 23,35 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$R_C = R_S + R_T = 3,235 \cdot 10^{-3} + 10,5 \cdot 10^{-3} = 13,735 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_C = X_S + X_T = 2,259 \cdot 10^{-3} + 23,35 \cdot 10^{-3} = 25,609 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$\bar{Z}_C = R_C + j \cdot X_C = 13,735 \cdot 10^{-3} + j \cdot 25,609 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Úbytek napětí pro transformátor $S_T = 250kVA$:

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= R_C \cdot I_r \cdot \cos \varphi_r + X_C \cdot I_r \cdot \sin \varphi_r = \\ &= 13,735 \cdot 10^{-3} \cdot 120,3 \cdot 0,3 + 25,609 \cdot 10^{-3} \cdot 120,3 \cdot 0,954 = 3,408V \end{aligned}$$

$$d = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,408}{400} \cdot 100 = 1,476\% < 6\%$$

Na základě výše uvedených výpočtů je možné říci, že procentní úbytek napětí v síti splňuje podmínku a tedy chod ostatních zařízení je jen minimálně ovlivněn.

Dále je třeba ověřit přetížení transformátoru při rozběhu největšího motoru. Zde platí podmínka [8]:

$$S_M = \frac{P}{\cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.19)$$

$$\left(\sum S_p - S_M\right) + i_k \cdot S_M \leq 125\% S_{NT} \quad (2.20)$$

Z rovnice 2.19 se stanoví zdánlivý výkon největšího motoru. Z podmínky 2.20 vyplývá, že při rozběhu největšího motoru nesmí přetížení transformátoru překročit $125\% S_{NT}$. Jedná se o častější rozběhy v sítích NN. Následující výpočet je proveden jen pro transformátor 250 kVA. Vzhledem k výpočtovému zatížení, nehrozí toto přetížení u transformátoru 400 kVA.

$$\begin{aligned} S_M &= \frac{P}{\cos \varphi \cdot \eta} = \frac{12}{0,8 \cdot 0,9} = 16,667kVA \\ \frac{(\sum S_p - S_M) + i_k \cdot S_M}{S_{NT}} \cdot 100 &\leq 125\% \\ \frac{(230,985 - 16,667) + 5 \cdot 16,667}{250} \cdot 100 &= 119,061\% \leq 125\% \end{aligned}$$

Z výpočtu je patrné, že transformátor bude přetížen při rozběhu největšího motoru na $119,061\%S_{NT}$. Tím je splněna podmínka 2.20.

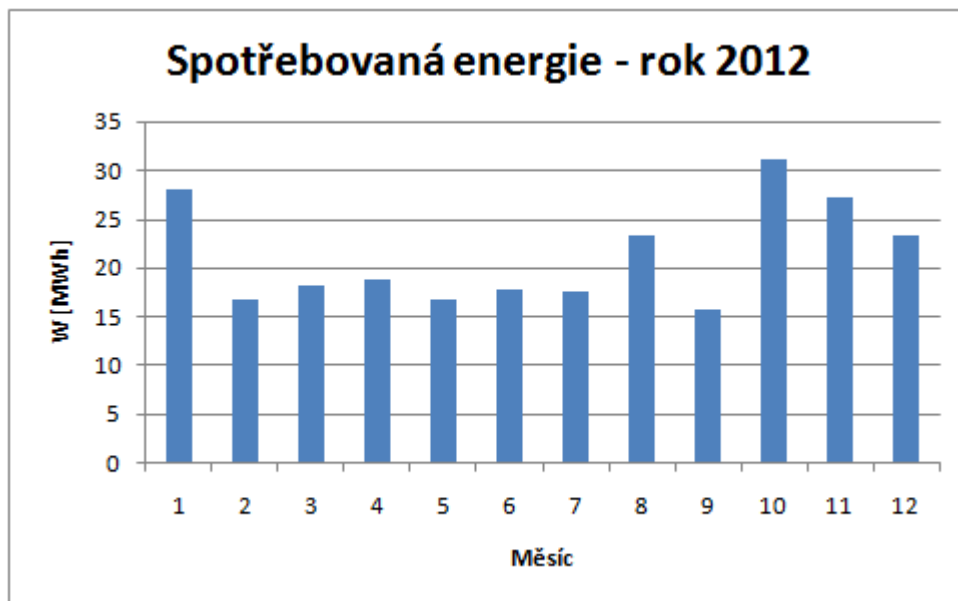
2.3 Doba využití maxima, doba plných ztrát a ekonomická výhodnost transformátoru

Aby mohla být posouzena ekonomická výhodnost transformátoru, je potřeba stanovit dobu využití maxima a s ní související dobu plných ztrát transformátoru. Tyto dvě veličiny mají velký vliv na výpočet ekonomické výhodnosti transformátoru. Také mají informativní charakter o zatížení transformátoru a také se s jejich pomocí počítají ztráty na transformátorech.

Základem výpočtu těchto dob jsou naměřené hodnoty spotřebované elektrické energie podnikem za sledované období. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 2 v příloze A na straně II.

Nutno říci, že z těchto naměřených hodnot se jeví vzájemný činitel náročnosti budov menší, než s jakou je počítáno v části **Výpočtové zatížení**. To bude ukázáno v následujících částech kapitoly.

Obrázek 2.4 ukazuje graf spotřebované elektrické energie za rok 2012 v MWh. Je také z něho vidět, že nejvyšší hodnota spotřebované energie je za měsíc říjen.



Obrázek 2.4: Graf spotřebované energie za rok 2012

2.3.1 Doba využití maxima

Je to doba, při které by bylo stejné množství elektrické energie W přenášeno konstantním maximálním zatížením transformátoru P_m , jako proměnným zatížením transformátoru za dobu provozu T_{prov} , která obvykle činí 8760 hodin ročně. Doba provozu je čas, po který je transformátor v chodu.

Doba využití maxima se vypočítá dle následujících rovnic [9, 10]:

$$T_m = \frac{W}{P_m} \quad (2.21)$$

$$k_m = \frac{T_m}{T_{prov}} \quad (2.22)$$

Dobu využití maxima je možné uvést i jako poměrnou dobu využití maxima k_m vztahenou k době provozu, jak je vidět z rovnice 2.22. Tato poměrná doba využití maxima je poté použita pro výpočet doby plných ztrát.

Maximální výkon P_m , se kterým se počítá v rovnici 2.21, se změří měřičem špičkového výkonu přímo v odběrném místě. Vzhledem k tomu, že v areálu ZD Jivina není toto měření instalováno, vychází se z nejvyšší měsíční hodnoty elektroměrem změřené spotřebované energie W_i dosažené ve sledovaném roce. Dostane se tedy přibližný maximální výkon, který je průměrem výkonů za daný měsíc. Jedná se tedy o měsíc, kde byla nejvyšší hodnota spotřebované elektrické energie. Pro tento maximální výkon platí rovnice:

$$P_m = \frac{W_i}{T} \quad (2.23)$$

Pro tuto rovnici 2.23 platí, že T je počet hodin v jednom měsíci.

V následujícím výpočtu jsou uplatněny výše zmíněné rovnice a počítají s hodnotami pro rok 2012 z tabulky 2 v příloze A na straně II.

Hodnoty pro výpočet T_m :

provozní doba $T_{prov} = 8760 \text{ hod/rok}$; odebraná el. energie za rok 2012 $W = 254,588 \text{ MWh}$;
odebraná el. energie za říjen $W_{10} = 31,135 \text{ MWh}$

$$P_m = \frac{31,135}{24 \cdot 31} = 0,04185 \text{ MW} = 41,85 \text{ kW}$$

$$T_m = \frac{254,588}{41,85 \cdot 10^{-3}} = 6083,345 \text{ hod}$$

$$k_m = \frac{6083,345}{8760} = 0,694$$

Z tohoto výpočtu se dříve zmíněný vzájemný činitel náročnosti jeví menší než s jakým je počítáno výpočtové zatížení transformátoru.

Obdobně je možné vypočítat střední zatížení transformátoru. Pro tento výpočet se uplatňují stejné rovnice, ale již trochu upravené. Zde se také už vychází z průměrné měsíční hodnoty spotřebované elektrické energie, která odpovídá střednímu zatížení transformátoru ve sledovaném roce.

$$\begin{aligned} W_{str} &= \frac{W}{12} = \frac{254,588}{12} = 21,216 MWh \\ \bar{T} &= \frac{T_{prov}}{12} = \frac{8760}{12} = 730 \text{ hod/m} \\ P_{str} &= \frac{W_{str}}{\bar{T}} = \frac{21,216}{730} = 29,06 \text{ kW} \end{aligned}$$

Po dosažení P_{str} do rovnice 2.21 na místo P_m bude $T_{prov} = T_m = 8760 \text{ hod}$. Podle tohoto výpočtu středního zatížení je možné říci, že průměrně by byly v areálu připojeny stroje a zařízení o celkovém výkonu 29,06 kW každý měsíc a tím by se dosáhlo velmi vyrovnaného diagramu zatížení, respektive střední zatížení transformátoru.

2.3.2 Doba plných ztrát

Tato doba udává čas, za který by byly stejné ztráty elektrické energie na transformátoru, jako při proměnném zatížení ve sledovaném období. Pro výpočet doby plných ztrát v případě ZD Jivina je použita následující rovnice [9]:

$$T_{\Delta} = [0,3 \cdot k_m + 0,7 \cdot k_m^2] \cdot T_{prov} \quad (2.24)$$

Z rovnice 2.24 je vidět, že počítá s poměrnou hodnotou doby využití maxima, která byla spočtena v předešlé části. Výpočet níže aplikuje tuto rovnici pro výpočet doby plných ztrát pro počítaný podnik.

$$T_{\Delta} = [0,3 \cdot 0,694 + 0,7 \cdot 0,694^2] \cdot 8760 = 4777 \text{ hod}$$

Výsledná doba plných ztrát napájecího transformátoru v podniku činí 4777 hodin za rok 2012. Tato hodnota je přibližná s ohledem na výše spočtený maximální výkon.

Jestliže se provede stejný výpočet podle rovnic 2.22 a 2.24 pro střední zatížení, bude $T_{\Delta} = T_m = T_{prov} = 8760 \text{ hod}$, protože k_m pro střední zatížení bude rovno jedné.

2.3.3 Ekonomická výhodnost transformátoru

Zde vyvstává otázka pro investora, jaký transformátor použít do areálu podniku, přes který se připojí do DS.

Na trhu je již více druhů transformátorů, které mají standardní či nižší ztráty. Zde platí, že čím jsou nižší ztráty, tím vyšší je pořizovací cena. Záleží tedy na investovi, zda-li má dostatek finančních prostředků na pořízení konkrétního transformátoru a na jeho provoz.

Ztráty naprázdno transformátoru mají neměnný vliv na provozní náklady, protože transformátor je v chodu nepřetržitě, ať je jeho zatížení téměř nulové nebo je přetížen. Avšak ztráty nakrátko jsou prakticky proměnné podle zatížení. Zde hraje roli, v předešlé části spočtená, doba plných ztrát T_{Δ} .

Pro výpočet celkových nákladů na pořízení a provoz navrhovaného transformátoru je použita rovnice **metody diskontovaných nákladů** [28]:

$$N_n = C + \sum_{k=1}^n \left[T_{prov} \cdot \Delta P_0 + T_{\Delta} \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{pmax}}{S_{NT}} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left(\frac{1 + \frac{a}{100}}{1 + \frac{e}{100}} \right)^k \quad (2.25)$$

Rovnice 2.25 v tomto tvaru je pro výpočet nákladů při výpočtovém maximálním zatížení S_{pmax} ve sledovaném roce. Po dosažení středního výpočtového zatížení S_{pstr} a tedy i při podmínce $T_{prov} = T_{\Delta} = 8760hod$ bude upravený tvar rovnice vypadat:

$$N_n = C + \sum_{k=1}^n 8760 \cdot \left[\Delta P_0 + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{pstr}}{S_{NT}} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left(\frac{1 + \frac{a}{100}}{1 + \frac{e}{100}} \right)^k \quad (2.26)$$

Kde:

- a odhadovaný procentní nárůst ceny el. energie za vyhodnocené období [%/rok]
- B kalkulační cena za 1kWh [Kč]
- C pořizovací cena transformátoru [Kč]
- e inflační míra [%]

Rovnice 2.25 a 2.26 jsou na první pohled rozdělené na dvě části. První část před sumou představuje pořizovací náklady. Druhá část za sumou představuje provozní náklady za jednotlivé roky k .

Rovnice jsou aplikovány v následujícím modelovém příkladě. V něm se počítají náklady

pro transformátor oběma způsoby, tj. pro plné a střední zatížení.

Parametry transformátoru od firmy POWER-ENERGO, typ TOh, standardní ztráty:
 $S_{NT} = 400kVA$; ztráty naprázdno $\Delta P_0 = 0,93kW$; ztráty nakrátko $\Delta P_k = 6kW$

Parametry pro výpočet podle rovnice 2.25 (pro S_{pmax}):

cena transformátoru $C = 125000Kč$; nárůst ceny $a = 1,9\%/rok$ [26];

inflační míra $e = 2,1\%$ [26]; cena za el. energii $B = 5,12Kč/kWh$ [27];

$S_{pmax}/S_{NT} = 0,1308$; doba plných ztrát $T_{\Delta} = 4777hod$

$$N_n = 125000 + \sum_{k=1}^n (8760 \cdot 0,93 + 4777 \cdot 6 \cdot 0,1308^2) \cdot 5,12 \cdot \left(\frac{1 + \frac{1,9}{100}}{1 + \frac{2,1}{100}} \right)^k$$

Provozní náklady v Kč
pro 7 let:

$$\begin{aligned} pn_1 &= 44136, - \\ pn_2 &= 44049, - \\ pn_3 &= 43963, - \\ pn_4 &= 43877, - \\ pn_5 &= 43791, - \\ pn_6 &= 43705, - \\ pn_7 &= 43619, - \end{aligned}$$

Celkové náklady v Kč na pořízení transformátoru
a provoz 7 let:

$$\begin{aligned} N_7 &= 125000 + 44136 + 44049 + 43963 + 43877 + \\ &+ 43791 + 43705 + 43619 = 432140, - \end{aligned}$$

Parametry pro výpočet podle rovnice 2.26 (pro S_{pstr}):

cena transformátoru $C = 125000Kč$; nárůst ceny $a = 1,9\%/rok$ [26];

inflační míra $e = 2,1\%$ [26]; cena za el. energii $B = 5,12Kč/kWh$ [27]; $S_{pstr}/S_{NT} = 0,091$

$$N_n = 125000 + \sum_{k=1}^n 8760 \cdot (0,93 + 6 \cdot 0,091^2) \cdot 5,12 \cdot \left(\frac{1 + \frac{1,9}{100}}{1 + \frac{2,1}{100}} \right)^k$$

Provozní náklady v Kč
pro 7 let:

$$\begin{aligned}pn_1 &= 43854, - \\pn_2 &= 43768, - \\pn_3 &= 43682, - \\pn_4 &= 43597, - \\pn_5 &= 43511, - \\pn_6 &= 43426, - \\pn_7 &= 43341, -\end{aligned}$$

Celkové náklady v Kč na pořízení transformátoru
a provoz 7 let:

$$\begin{aligned}N_7 &= 125000 + 43854 + 43768 + 43682 + 43597 + \\&+ 43511 + 43426 + 43341 = 430180, -\end{aligned}$$

Provozní náklady vypočítané oběma způsoby se liší jen jednotkami stovek v ceně, což může být považováno za souměřitelné. Rozdíl v celkových nákladech pro 7 let činí cca 2 000 Kč, samozřejmě rozdíl ve spočtených nákladech oběma způsoby se bude zvyšovat rostoucím počtem let, pro které budou tyto náklady spočteny. Stále však to představuje minimum v poměru s hodnotami nákladů, které jdou u některých transformátorů do více než milionu korun.

Pro srovnání pořizovacích a provozních nákladů je v tomto případě použit výpočet pro střední zatížení.

Tabulky 2.2 až 2.4 ukazují porovnání cen a provozních nákladů transformátorů 400 kVA a 250 kVA, včetně stávajícího transformátoru v areálu. Provozní náklady pro stávající transformátor jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Společnost	Typ	Cena [Kč]	Ztráty	N_5 [Kč]	N_7 [Kč]	N_{20} [Kč]	N_{25} [Kč]
neznámá	T0h	neznámá	EoDk	218 413	305 180	860 949	1 070 962

Tabulka 2.2: Provozní náklady stávajícího transformátoru 400kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$

V takovýchto velkých projektech, jako je kompletní modernizace nebo nová výstavba podniku, se musí učinit poptávka na transformátor na základě charakteru podniku, jeho výpočtového zatížení a následného určení minimálního výkonu transformátoru. Výrobní společnosti, např. ty uvedené v tabulkách, reagují nabídkou, kde sdělí cenu a parametry transformátoru.

Sám investor nebo projektant spočte jejich celkové náklady na několik let a porovná

Společnost	Typ	Cena [Kč]	Ztráty	N_5 [Kč]	N_7 [Kč]	N_{20} [Kč]	N_{25} [Kč]
POWER-ENERGO	TOh	125 000	EoDk	343 413	430 180	985 949	1 195 962
		152 000	CoCk	296 487	353 886	721 544	860 475
	TSz	179 000	std.	455 392	565 192	1 268 492	1 534 255
		209 000	red.	427 427	514 200	1 070 004	1 280 031
ABB	TOh	103 000	std.	321 413	408 180	963 949	1 173 962
	TSz	245 000		522 684	632 997	1 339 586	1 606 591
BEZ KOČÍ-VALÁŠEK	TOh	143 000	EoDk	361 413	448 180	1 003 949	1 213 962
		155 000	CoCk	299 487	356 886	724 544	863 475
		204 000	AoBk	306 973	347 880	609 902	708 915

Tabulka 2.3: Srovnání cen a nákladů transformátorů 400kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$

Společnost	Typ	Cena [Kč]	Ztráty	N_5 [Kč]	N_7 [Kč]	N_{20} [Kč]	N_{25} [Kč]
Elpro-Energo	TOh	141 400	EoDk	287 695	345 812	718 071	858 740
		166 400	CoCk	276 384	320 077	599 940	705 694
		190 500	AoBk	298 140	340 902	614 802	718 302

Tabulka 2.4: Srovnání cen a nákladů transformátorů 250kVA - S_{pstr} a $T_{\Delta} = T_{prov} = 8760hod$

je. V tabulce 2.4 je zvýrazněn tučně jeden transformátor od firmy Elpro-Energo, jehož náklady jsou nejnižší. Z toho vychází, že z dlouhodobého hlediska je finančně výhodnější transformátor od firmy Elpro-Energo za 166 400 Kč. A však je nutné říci, že investor zvažuje koupi transformátoru také podle momentální finanční situace. V zásadě nemusí zakoupit dražší transformátor, který je doporučován z hlediska hospodárnosti, a zakoupí levnější transformátor, jehož náklady na provoz jsou vyšší než provozní náklady u doporučeného transformátoru. Investorův rozpočet zahrnuje i náklady na rozvodnou síť v areálu podniku, té se věnuje další kapitola této práce.

Zde je tedy pro ZD Jivina vybrán transformátor, jehož náklady jsou zvýrazněné v tabulce 2.4.

Kapitola 3

Dimenzování a jištění kabelů

Tato kapitola se věnuje kontrole stávajících a dimenzování nových kabelů od transformovny k podružným rozvaděčům.

Zde je nutné dávat pozor na podmínky prostředí, zvolit vhodné uložení kabelů a vhodně zvolit trasy pro kabely. K tomu jsou koeficienty k_1 , k_2 až k_n , které slouží pro přepočet hodnot lišících se od základních podmínek při dimenzování kabelů.

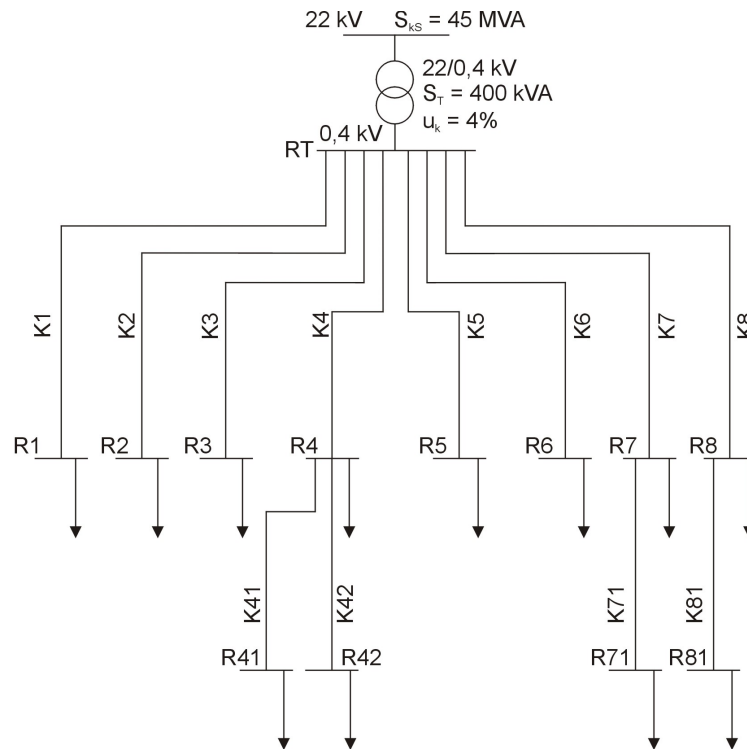
Impedance kabelů se určí na základě jejich parametrů z katalogu a délek, jež jsou dány dispozičním řešením areálu.

Na obrázku 3.1a je vyobrazeno stávající dispoziční řešení bez dojírny. Kvůli kompletní modernizaci podniku, je nutné v areálu vystavět ještě budovu dojírny, jak je ukázáno na obrázku 3.1b.



Obrázek 3.1: a) Dispoziční mapa areálu bez dojírny [24] b) Dispoziční mapa areálu s dojírnou

Od dispozičního řešení se odvíjí i způsob zapojení areálu, které je paprskové. To je ukázáno na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Paprskové zapojení provozů v areálu

Jestliže se jedná o kontrolu stávajícího vedení v areálu, je nutné vyhledat údaje o typech kabelů a jejich délkách, které jsou použity pro rozvody v podniku. V tabulce 3.1 je uveden soupis kabelů k provozům a jejich délek. Dále je v této tabulce uvedený neznámý kabel u dojírny jako X. To znamená, že v areálu bude nově navrhován pro nově vybudovanou dojírnu.

3.1 Výpočet rázového zkratového proudu za transformátorem

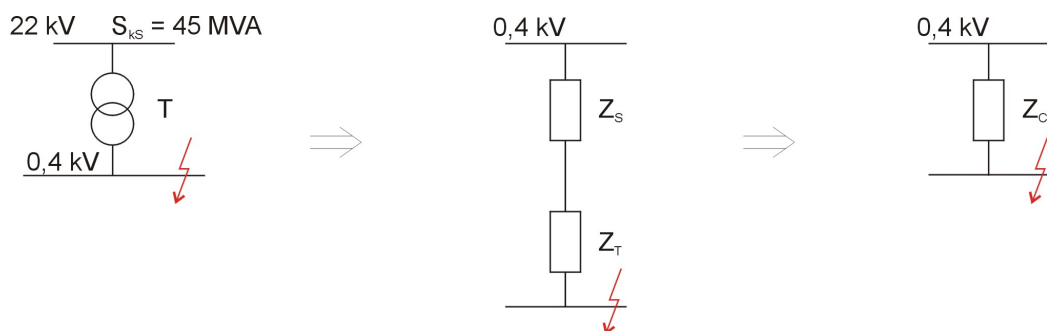
Pro výpočet je důležitá hodnota rázového zkratového proudu $I_k^{//}$ za transformátorem na straně NN, jak je znázorněno na obrázku 3.3. Tato hodnota tvoří základ pro výpočty tepelných účinků zkratového proudu na vodič a pro návrh jistění vedení. Zde se vychází z již dříve vypočtených hodnot podle rovnice 2.11. Výpočet impedance transformátoru je spočtena podle rovnic 2.12, 2.13 a 2.14. Celková impedance do místa zkratu je podle

Rozvaděč	Budova	Kabel	Délka [m]	Značení kabelu
R1	Čistička	AYKY 3x120+70	96	K1
R2	Kanceláře	CYKY 4x10	140	K2
R3	Čerpací stanice	AYKY 3x120+70	145	K3
R4	Progres		110	K4
R5	Seník		60	K5
R6	OMD		50	K6
R7	Drůbežárna		70	K7
R8	Kravín		135	K8
R41	Sušička		CYKY J4x70	75
R42	Dílny	AYKY 3x120+70	100	K42
R71	Krůtárna		50	K71
R81	Dojírna	X	50	K81

Tabulka 3.1: Soupis kabelů a jejich délek k provozům [19]

rovnice 2.4 a 2.5. Výpočet samotné efektivní hodnoty rázového zkratového proudu $I_k^{//}$ je spočtena podle rovnice [2]:

$$I_k^{//} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_C} \quad (3.1)$$

Obrázek 3.3: Rázový zkratový proud $I_k^{//}$ za transformátorem

Potom je výpočet následující:

spočtená hodnota na str. 18 $\Rightarrow \bar{Z}_S = 3,235 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,259 \cdot 10^{-3}$

$$\bar{Z}_T = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 25,6 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_{NT}} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{3,25 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 8,32 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_T = \sqrt{\bar{Z}_T^2 - R_T^2} = \sqrt{(25,6 \cdot 10^{-3})^2 - (8,32 \cdot 10^{-3})^2} = 24,21 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_C = R_S + R_T = 3,235 \cdot 10^{-3} + 8,32 \cdot 10^{-3} = 11,555 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_C = X_S + X_T = 2,259 \cdot 10^{-3} + 24,21 \cdot 10^{-3} = 26,469 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_C = R_C + j \cdot X_C = 11,555 \cdot 10^{-3} + j \cdot 26,469 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(11,555 \cdot 10^{-3})^2 + (26,469 \cdot 10^{-3})^2} = 27,06 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_k^{//} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_C} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 27,06 \cdot 10^{-3}} = 8,795 \text{ kA}$$

Náhradní schéma je ukázáno na obrázku 3.3. Dále je z výpočtu patrné, že hodnota $I_k^{//}$ za transformátorem činí 8,795 kA. Pro tuto hodnotu se kontrolují nebo se dimenzují přívodní kabely z transformovny do jednotlivých provozů.

3.2 Kontrola kabelů a jejich dimenzování

Jak bylo v předešlé části zmíněno, kabely jsou kontrolovány nebo dimenzovány na hodnotu zkratového proudu, aby byly schopné jej převést a nebyly tím poškozeny. Dále se podle hodnoty $I_k^{//}$ provádí volba elektrických přístrojů a zařízení. Také podle této hodnoty je zvolené nastavení ochran, jež zkraty vypínají. Z toho vyplývá i volba velikostí a charakteristik pojistek, jističů a jiných ochranných přístrojů. [8]

Pro názornost je tu uvedena kontrola kabelu K8 z transformovny do kravína a dimenzování nového kabelu K81 z kravína do dojírny.

3.2.1 Kontrola kabelu K8 do kravína

Nejdříve je nutné stanovit výpočtové zatížení kabelu, tj. jakým proudem bude zatížen za normálních okolností. Hodnoty výpočtového zatížení jsou vypočteny podle rovnice 2.8 a uvedeny v tabulce 2.1. Potom výpočtové zatížení pro dimenzování kabelu je:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} = 81,55 + 6,01 = 87,56 \text{ kW}$$

Z této hodnoty se dále stanoví procházející výpočtový proud vodičem podle rovnice [8]:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_{str}} \quad (3.2)$$

Po dosazení bude výpočet:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_{str}} = \frac{87,56 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 157,97A$$

Stanovený proud představuje zatížení kabelu a tedy výpočtový proud pro oba provozy, tedy kravín a dojírnu, dohromady.

Určení parametrů kabelu

Po stanovení výpočtového zatížení kabelu se musí určit jeho parametry a dovolené zatížení, respektive dovolený proud vodiče I_Z .

Reaktance, odpor a oteplovací časová konstanta τ kabelu, se určí z katalogových listů, jež jsou přiloženy v příloze B na straně IV až VI.

Parametry stávajícího kabelu **AYKY 3x120+70 mm²**:

$$l = 135m = 0,135km$$

Pro fázové vodiče:

$$x_k = 0,081\Omega/km; r_k = 0,258\Omega/km; \tau = 1490s;$$

$$I_N = 245A$$

Pro ochranný vodič PE:

$$x_k = 0,083\Omega/km; r_k = 0,4423\Omega/km$$

Odpor a reaktance kabelu jsou opět spočteny podle rovnic 2.2 a 2.3:

Pro fázové vodiče:

$$R_{K8} = r_k \cdot l = 0,258 \cdot 0,135 = 34,83 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8} = x_k \cdot l = 0,081 \cdot 0,135 = 10,935 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Pro ochranný vodič PE:

$$R_{K8PE} = r_k \cdot l = 0,4423 \cdot 0,135 = 59,711 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8PE} = x_k \cdot l = 0,083 \cdot 0,135 = 11,205 \cdot 10^{-3}\Omega$$

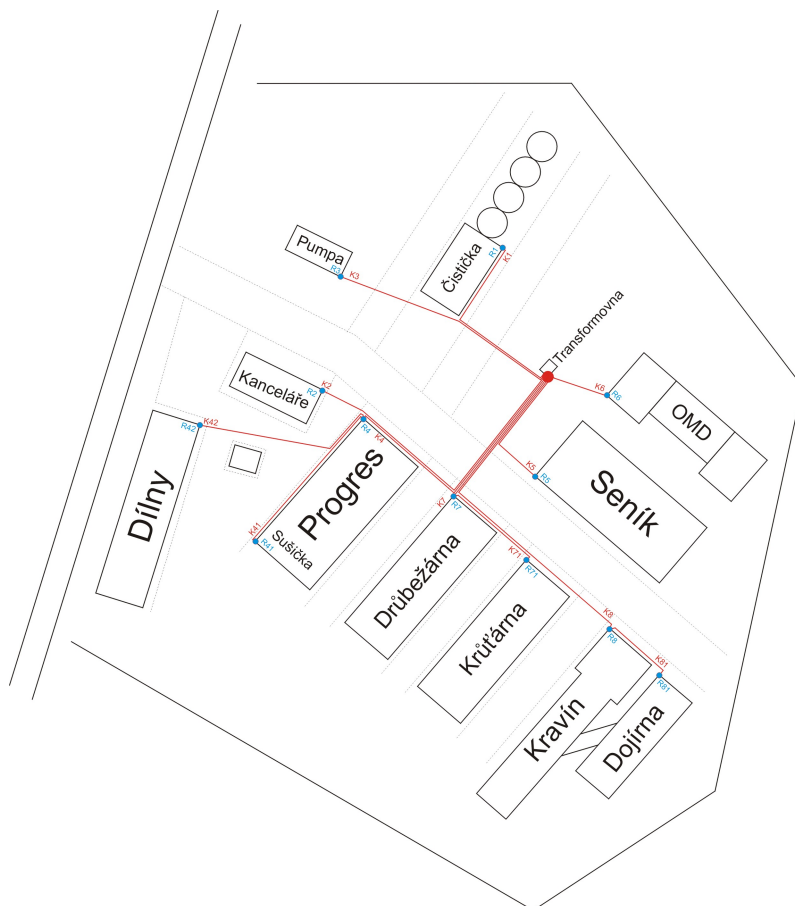
Určení dovoleného zatížení kabelu

Dovolený proud se vypočítá ze jmenovitého proudu vodiče I_N a přepočítávacích koeficientů k_i podle rovnice [5]:

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_N \quad (3.3)$$

Přepočítávací koeficienty k_i závisí na podmínkách prostředí, typu uložení, počtu kabelů vedle sebe v trase. Tyto podmínky ovlivňují, jak může být kabel zatížen, aby nedošlo k přehřátí kabelu a tím degradaci nebo zničení jeho izolace.

Prívodní kabely v areálu jsou uloženy v trubkách v zemi a na obrázku 3.4 jsou zakresleny trasy vedení z transformovny k podružným rozvaděčům.



Obrázek 3.4: Dispoziční řešení areálu s vyznačením tras vedení

Kontrola a dimenzování se provádí pro nejhorší podmínky provozu, aby byl zajištěn spolehlivý provoz a bezpečnost při poruše.

Nejdříve je nutné stanovit měrný tepelný odpor půdy M_{TP} , podle kterého se určí přepočítávací koeficient k_1 . Areál podniku je postaven na jílovité půdě, která má vlhkost 30 - 40%. To odpovídá $M_{TP} = 0,7 \text{ Km/W}$, to také představuje základní nezhoršující podmínku. [5]

Dále je podle dovolené provozní teploty a teploty prostředí stanoven přepočítávací koeficient k_2 . Izolace kabelu je označena v názvu kabelu AYKY 3x120+70 mm², jako písmeno Y na druhé pozici. První pozice je materiál vodiče (A - hliník Al, C - měď Cu), druhá pozice je materiál izolace (Y - PVC), třetí pozice je označení pro kabel (K - silový kabel) a čtvrtá pozice je materiál pláště vodiče (Y - PVC). Je vidět, že kabel je celoplastový (PVC izolace a plášť) a pro tento typ je dovolená provozní teplota 70 °C. Teplota prostředí v oblasti je 20 °C. [4]

Třetí přepočítávací koeficient k_3 závisí na počtu a uspořádání kabelů v trase a vzdálenosti mezi nimi. Jak je naznačeno v obrázku 3.4, v jedné trase je pět kabelů od transformovny, které jsou uloženy v trubkách a ty se vzájemně dotýkají. I když se postupně mění počet kabelů v trase, vždy se uvažuje nejhorší podmínka. [5]

Potom jsou parametry:

$$M_{TP} = 0,7 \text{ Km/W}; k_1 = 1; k_2 = 1; k_3 = 0,65$$

Výpočet dovoleného proudu se určí podle rovnice 3.3:

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_N = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 245 = 159,25 \text{ A}$$

$$\text{Musí platit podmínka: } I_p \leq I_Z \Rightarrow 157,97 \text{ A} < 159,25 \text{ A}$$

Z výpočtu je vidět, že podmínka platí a kabel snese zatížení. A však je patrné, že kabel je na hranici dovoleného zatížení a není zde prostor pro návrh jištění kabelu. To vychází z podmínky $I_p \leq I_{PN} \leq I_Z$. Na základě této podmínky kabel nevyhovuje a je nutné zvolit kabel o vyšším průřezu, který bude mít vyšší jmenovitý proud I_N .

Zde se projevuje dopad modernizace podniku na stávající rozvody. Stávající kabel byl původně dimenzován pro výpočtové zatížení samotného kravína bez automatizované dojírny. Protože dojírna představuje přenášený výkon navíc, stávající kabel není vyhovující.

3.2.2 Volba nového kabelu

Volba nového kabelu se stanoví podle podmínky [8]:

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \quad (3.4)$$

Po dosazení se dostane:

$$I_N \geq \frac{157,97}{1 \cdot 1 \cdot 0,65} = 243,031A$$

Jestliže stávající kabel měl jmenovitý proud $I_N = 245A$, potom je nutné zvolit nejbližší vyšší jmenovitý proud kabelu a tím určit jeho průřez z katalogu.

V tomto případě je zvolen kabel AYKY 3x150+70 mm² se jmenovitým proudem $I_N = 278A$. Pro určení parametrů a dovoleného zatížení je aplikován stejný postup uvedený v předešlé části.

Parametry a dovolené zatížení kabelu **AYKY 3x150+70 mm²**:

$$l = 135m = 0,135km$$

Pro fázové vodiče:

$$x_k = 0,081\Omega/km; r_k = 0,2064\Omega/km; \tau = 1730s;$$

$$I_N = 278A$$

Pro ochranný vodič PE:

$$x_k = 0,083\Omega/km; r_k = 0,4423\Omega/km$$

Vypočtená reaktance a odpor:

Pro fázové vodiče:

$$R_{K8} = r_k \cdot l = 0,2064 \cdot 0,135 = 27,864 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8} = x_k \cdot l = 0,081 \cdot 0,135 = 10,935 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Pro ochranný vodič PE:

$$R_{K8PE} = r_k \cdot l = 0,4423 \cdot 0,135 = 59,711 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8PE} = x_k \cdot l = 0,083 \cdot 0,135 = 11,205 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Dovolené zatížení kabelu:

$$M_{TP} = 0,7Km/W; k_1 = 1; k_2 = 1; k_3 = 0,65$$

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_N = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 278 = 180,7A$$

3.2.3 Podmínky jištění kabelu

Jištění kabelů se provádí, aby nedocházelo k poškození samotného kabelu a napájeného zařízení nebo k jejich destrukci při nadproudech nebo zkratových proudech. Vhodná volba jistících přístrojů je tedy zásadní pro návrh z hlediska bezpečnosti provozu.

V tomto případě je zvolen jistič Modeion BH630N od firmy OEZ. Jeho katalogový list je přiložen v příloze B na straně IX.

Musí platit podmínky [8, 14]:

$$\begin{aligned} I_p &\leq I_{PN}(I_R) \leq I_Z \\ I_k^{//} &\leq I_{CU} \\ I_k^{//} &\leq I_{CS} \leq I_{CU} \\ i_p &\leq I_{cm} \end{aligned}$$

Z těchto podmínek je vidět, že výpočtový proud (I_p) musí být menší nebo roven jmenovitému nebo redukovanému proudu jističe (I_{PN}, I_R) a ten musí být zároveň menší nebo roven dovolenému zatížení kabelu (I_Z). Dále rázový zkratový proud ($I_k^{//}$) je menší nebo roven jmenovité mezní zkratové vypínací schopnosti jističe (I_{CU}), přičemž ve třetím vztahu je podmínka, kdy provozní zkratová schopnost jističe (I_{CS}) je větší nebo rovna $I_k^{//}$ a zároveň menší nebo rovna I_{CU} . Ve čtvrté podmínce musí být zapínací schopnost jističe (I_{cm}) větší nebo rovna vrcholové hodnotě nárazového zkratového proudu (i_p). Tyto podmínky musí platit, aby nedošlo k poškození jisticího prvku nebo k jeho zničení.

Hodnoty I_{PN}, I_{CU}, I_{CS} a I_{cm} se vyhledají v katalogovém listu přiloženém v příloze B na straně IX. V případě hodnoty I_R je nutné vyhledat v katalogu [23] zobrazení ovládacích prvků konkrétního jističe a z něj odečíst potřebnou hodnotu, která se poté nastaví při realizaci jištění.

Hodnota vrcholové hodnoty nárazového proudu se stanoví za pomoci koeficientu κ . Pro jejich výpočty jsou dány rovnice [2]:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_C}{X_C}} \quad (3.5)$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k^{//} \quad (3.6)$$

Po dosazení bude:

$$I_k'' = 8,795kA$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{11,555 \cdot 10^{-3}}{26,469 \cdot 10^{-3}}} = 1,2845$$

$$i_p = 1,285 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,795 = 15,977kA$$

Potom dosazení do podmínek je následující:

$$I_p = 157,97A; I_k'' = 8,795kA; I_{PN} = 160A; I_Z = 180,7A; I_{CU} = 36kA; I_{CS} = 18kA; I_{cm} = 75kA; i_p = 15,977kA$$

$$I_p \leq I_{PN}(I_R) \leq I_Z \Rightarrow 157,97A \leq 160A \leq 180,7A$$

$$I_k'' \leq I_{CU} \Rightarrow 8,795kA \leq 36kA$$

$$I_k'' \leq I_{CS} \leq I_{CU} \Rightarrow 8,795kA \leq 18kA \leq 36kA$$

$$i_p \leq I_{cm} \Rightarrow 15,977kA \leq 75kA$$

Z uvedených podmínek jistění, je kabel vyhovující, včetně jističího prvku. V této fázi je však vhodné vypočítat výpočtové zatížení kabelu K81 z kravína do dojírny. Kabel K81 je zobrazen v zapojení areálu na obrázku 3.2 a na obrázku 3.4, kde je zobrazeno dispoziční řešení podniku s vyznačenými trasami vedení.

Z těchto dvou obrázků je patrné, že zde musí být zachována selektivita jistění, a proto se provádí kontrolní výpočet na zatížení kabelu K81. Výpočtový proud kabelem K81 je stanoven podle rovnice 3.2:

$$\text{Výpočtové zatížení dojírny: } P_{p1} = 81,55kW$$

$$I_p = \frac{P_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_{str}} = \frac{81,55 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 147,13A$$

Z výpočtu vyplývá, že pro jistění kabelu K81 bude použit jistič o jmenovitém nebo redukovaném proudu nejméně $I_{PN} = 150A$. V tomto případě nebude zajištěna selektivita jistění z důvodů překrývání pásem vypínacích charakteristik.

Musí se zvolit takový jmenovitý proud jističe, aby pásma vypínacích charakteristik se nepřekrývala. Proto pro jistění kabelu K8 je zvolený jistič s $I_{PN} = 210A$. To znamená, že podmínka $I_p \leq I_{PN}(I_R) \leq I_Z$ nebude pro kabel AYKY 3x150+70 mm² platit. Kvůli této podmínce se vybere kabel s větším průřezem podle postupu uvedeného v části **Volba nového kabelu**, u kterého platí podmínka $I_{PN} \leq I_Z$.

Proto je zvolený kabel **AYKY 3x240+120 mm²**:

Parametry a dovolené zatížení kabelu:

$$l = 135m = 0,135km$$

Pro fázové vodiče:

$$x_k = 0,08\Omega/km; r_k = 0,129\Omega/km; \tau = 2370s;$$

$$I_N = 359A$$

Pro ochranný vodič PE:

$$x_k = 0,081\Omega/km; r_k = 0,258\Omega/km$$

Vypočtená reaktance a odpor:

Pro fázové vodiče:

$$R_{K8} = r_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,135 = 17,415 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8} = x_k \cdot l = 0,08 \cdot 0,135 = 10,8 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Pro ochranný vodič PE:

$$R_{K8PE} = r_k \cdot l = 0,258 \cdot 0,135 = 34,83 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$X_{K8PE} = x_k \cdot l = 0,081 \cdot 0,135 = 10,935 \cdot 10^{-3}\Omega$$

Dovolené zatížení kabelu:

$$M_{TP} = 0,7Km/W; k_1 = 1; k_2 = 1; k_3 = 0,65$$

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_N = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 359 = 233,35A$$

Potom platí podmínky pro stejný jistič Modeion BH630N s $I_{PN} = 210A$:

$$I_p \leq I_{PN}(I_R) \leq I_Z \Rightarrow 157,97A \leq 210A \leq 233,35A$$

$$I_k^{//} \leq I_{CU} \Rightarrow 8,795kA \leq 36kA$$

$$I_k^{//} \leq I_{CS} \leq I_{CU} \Rightarrow 8,795kA \leq 18kA \leq 36kA$$

$$i_p \leq I_{cm} \Rightarrow 15,977kA \leq 75kA$$

3.2.4 Ověření jištění proti přetížení

V předešlé části platí podmínky jištění pro jistič Modeion BH630N s $I_{PN} = 210A$ a pro kabel AYKY 3x240+120 mm². Na základě toho se může pokračovat v další fázi

dimenzování. V té se ověřuje jistění proti přetížení. To znamená, jak rychle jistič vybaví v případě nadproudů, aby nedocházelo k přílišnému oteplení kabelu a tím jeho případnému poškození. [11]

Jistící prvek tedy vypne ještě dříve než dojde k překročení mezní dovolené teploty při přetížení nadproudem. Za tímto účelem je počítáno oteplení při zatížení výpočtovým proudem I_p a při nadproudech, které jsou násobky jmenovitého proudu jističe I_{NP} . [11] Rovnice pro výpočet oteplení jsou následující [11]:

$$\Delta\vartheta_Z = \vartheta_m - \vartheta_0 \quad (3.7)$$

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_Z \cdot \left(\frac{I}{I_Z}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{vyp}}{\tau}}\right) \quad (3.8)$$

$$t_c = \vartheta_0 + \Delta\vartheta \quad (3.9)$$

Pro výpočet oteplení při zatížení výpočtovým proudem se použije upravená rovnice 3.8:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_Z \cdot \left(\frac{I_p}{I_Z}\right)^{2,492} \quad (3.10)$$

Pro uvedený případ je dostatečné počítat s nadproudy, které představují násobky jmenovitého nebo regulovaného proudu jističe I_{NP} :

1,15 1,2 1,25 1,3 1,5 2 2,5 3 5

Vypínací čas t_{vyp} se pro každý nadproud odečte z vypínací charakteristiky jističe, to je možné učinit v programu SICHR od společnosti OEZ. Dále jsou pro výpočet potřebné hodnoty základní teploty okolí a vodiče ϑ_0 nejvyšší provozní teplota vodiče ϑ_m uvedeny v normě ČSN 33 2000-4-43 [4] a vypočteny v předešlých částech.

Potom je výpočet následující:

$I_p = 157,97A$; $I_Z = 233,35A$; $\tau = 2370s$; $I = 1,15 \cdot I_{NP} = 241,5A \Rightarrow t_{vyp} = 2718s$;
 $\vartheta_0 = 20^\circ C$; $\vartheta_m = 70^\circ C$

$$\Delta\vartheta_Z = \vartheta_m - \vartheta_0 = 70 - 20 = 50^\circ C$$

Pro zatížení výpočtovým proudem:

$$\begin{aligned} \Delta\vartheta &= \Delta\vartheta_Z \cdot \left(\frac{I_p}{I_Z}\right)^{2,492} = 50 \cdot \left(\frac{157,97}{233,35}\right)^{2,492} = 18,913K \\ t_c &= \vartheta_0 + \Delta\vartheta = 20 + 18,913 = 38,913^\circ C \end{aligned}$$

Pro přetížení nadproudy:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_Z \cdot \left(\frac{I}{I_Z}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{vyp}}{\tau}}\right) = 50 \cdot \left(\frac{241,5}{233,35}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2718}{2370}}\right) = 37,165K$$

$$t_c = \vartheta_0 + \Delta\vartheta = 20 + 37,165 = 57,165^\circ C$$

Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	241,5	2718	37,165	57,165
1,2	252	2490	39,381	59,381
1,25	262,5	2280	41,426	61,426
1,3	273	2094	43,373	63,373
1,5	315	1542	50,509	70,509
2	420	282	24,263	44,263
2,5	525	72	11,286	31,286
3	630	25	6,234	26,234
5	1050	0,038	0,034	20,034

Tabulka 3.2: Vypočtené hodnoty oteplení kabelu K8 při přetížení

V tabulce 3.2 jsou uvedeny vypočtené hodnoty oteplení při přetížení nadproudy. Je z ní patrné, že kabel K8 se nejvíce oteplí při nadproudu $I = 315A$ na teplotu $t_c = 70,509^\circ C$. Z toho plyne, že jistič vybaví ještě dříve, než kabel dosáhne své nejvyšší dovolené teploty při přetížení, která pro tento kabel činí $120^\circ C$. Je možné říci, že jištění je vyhovující.

3.2.5 Kontrola na tepelné účinky zkratového proudu

Každý kabel musí být zkontrolován, jestli jeho průřez je vyhovující pro oteplení při průchodu zkratového proudu I_k'' . Pro tento účel je vypočítán ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} v závislosti na **době trvání zkratu t_k** . Tato doba je čas vypnutí jističe při nastalém zkratu uvedená v katalogu. Ekvivalentní oteplovací zkratový proud je „*efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění.*“ [2]

Aby mohl být I_{th} spočítán, musí být stanoveny přepočítávací koeficienty m a n , které vyjadřují tepelné účinky stejnosměrné a střídavé složky zkratu. Přepočítávací koeficient n závisí na poměru rázového zkratového proudu I_k'' ku ustálenému zkratovému proudu

I_k . Výpočet pro I_k je méně přesný a proto podle normy ČSN EN 60909-0 koeficient bude $n = 1$. [2]

Přepočítávací koeficient m je stanoven za pomoci koeficientu κ , jež byl vypočítán v části **Podmínky jištění a jištění kabelu** podle rovnice 3.6. Výpočet koeficientu m a I_{th} je podle rovnic [2]:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \quad (3.11)$$

$$I_{th} = I_k^{//} \cdot \sqrt{m + n} \quad (3.12)$$

Dále musí platit podmínka pro jistič $I_{CW,1} \geq I_{th,1}$, kde $I_{CW,1}$ je krátkodobý výdržný proud jističe pro dobu trvání zkratu 1 s udaný výrobcem a $I_{th,1}$ je ekvivalentní oteplovací proud přepočten na tuto dobu. Potom je přepočet podle rovnice [8]:

$$I_{th}^2 \cdot t_k = I_{th,1}^2 \cdot t_{k,1} \quad \Rightarrow \quad I_{th,1}^2 = I_{th}^2 \cdot \frac{t_k}{t_{k,1}} \quad \Rightarrow \quad I_{th,1} = I_{th} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{k,1}}} \quad (3.13)$$

Výpočet bude tedy následující:

$I_k^{//} = 8,795 \text{ kA}$; $\kappa = 1,2845$; $n = 1$; $f = 50 \text{ Hz}$; $t_k = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ s}$ (z katalogu jističe - str. IX); $t_{k,1} = 1 \text{ s}$;

$I_{CW,1} = 6,5 \text{ kA}$

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,02 \cdot \ln(1,2845 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,02 \cdot \ln(1,2845 - 1)} - 1] = 0,395 \end{aligned}$$

$$I_{th} = I_k^{//} \cdot \sqrt{m + n} = 8,795 \cdot \sqrt{0,395 + 1} = 10,388 \text{ kA}$$

$$I_{th,1} = I_{th} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{k,1}}} = 10,388 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{1}} = 1,469 \text{ kA}$$

Podmínka bude platit:

$$I_{CW,1} \geq I_{th,1} \Rightarrow 6,5 \text{ kA} \geq 1,469 \text{ kA}$$

Z výpočtu vyplývá, že ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} je vyšší než rázový zkratový proud $I_k^{//}$, který působí na vodiče. Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu je také důležitý pro stanovení minimálního průřezu vodiče, který snese tyto tepelné

účinky. Tím se tedy zkontroluje průřez kontrolovaného nebo navrhovaného vodiče. Pro výpočet je použita rovnice [8]:

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \leq S \quad (3.14)$$

Kde K je koeficient pro stanovení minimálního průřezu a volí se podle provozní teploty vodiče před zkratem a podle nejvyšší dovolené teploty vodiče. [8, 6]

Koeficient K je zvolen pro materiál vodiče a jeho izolace z normy ČSN 38 1754 [6]. Pro hliníkový vodič s izolací z PVC je jeho hodnota $K = 73$.

Potom výpočet bude:

$$K = 73$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \leq S$$

↓

$$S_{min} = \frac{11571 \cdot \sqrt{0,02}}{73} = 15,852mm^2 \leq 240mm^2$$

Z výpočtu je vidět, že navrhovaný vodič vyhovuje z hlediska tepelných účinků zkratu. Tato podmínka, kdy nejmenší průřez S_{min} , který snese tyto účinky, je menší než vlastní průřez vodiče S , platí.

3.2.6 Kontrola na úbytek napětí vodiče

Dále je potřebné stanovit úbytek napětí na vodiči a ověřit tak, že na něm nebude úbytek napětí vyšší než 5 %. Protože jsou zvoleny základní teplotní podmínky $\vartheta_0 = 20^\circ C$, v obecné praxi se uvádí 1,2 násobek činného odporu vodiče, což představuje ohřátí vodiče na provozní teplotu $\vartheta = 70^\circ C$. Pro výpočet změny napětí na vodiči bude použita upravená rovnice 2.15:

$$\Delta U_f = 1,2 \cdot R \cdot I_p \cdot \cos \varphi_{str} + X \cdot I_p \cdot \sin \varphi_{str} \quad (3.15)$$

Pro výpočet procentní změny napětí d na vodiči bude použita rovnice 2.16. Hodnoty odporu a reaktance zvoleného kabelu jsou vypočteny na straně 37. Výpočet výpočtového proudu je na straně 31.

Po dosazení bude výpočet:

$$I_p = 157,97A; R_{K8} = 17,415 \cdot 10^{-3}\Omega; X_{K8} = 10,8 \cdot 10^{-3}\Omega; \cos \varphi_{str} = 0,8 \Rightarrow \sin \varphi_{str} = 0,6$$

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= 1,2 \cdot R \cdot I_p \cdot \cos \varphi_{str} + X \cdot I_p \cdot \sin \varphi_{str} = \\ &= 1,2 \cdot 17,415 \cdot 10^{-3} \cdot 157,97 \cdot 0,8 + 10,8 \cdot 10^{-3} \cdot 157,97 \cdot 0,6 = 3,665V \\ d &= \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,665}{400} \cdot 100 = 1,587\% < 5\% \end{aligned}$$

Z výpočtu je vidět, že kabel z hlediska úbytku napětí vyhovuje, protože procentní změna napětí d i s dvaceti procentním navýšením hodnoty činného odporu kabelu je menší než dovolená procentní změna napětí $d_Z = 5\%$.

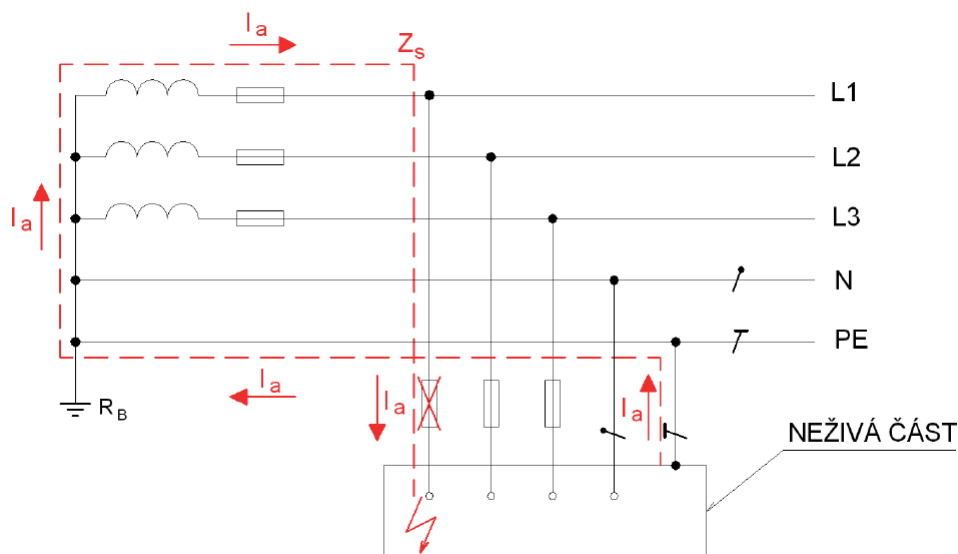
3.2.7 Ověření ochrany proti nebezpečnému dotyku

Při dimenzování vedení v podnicích, domech apod. je nutné vždy ověřit ochranu proti nebezpečnému dotyku. V podstatě se jedná o to, že všechny živé části (části pod napětím) zařízení nebo vedení musí být nepřístupné a zakrytovány a všechny přístupné neživé, ale vodivé, části, u nichž je možnost nebezpečného dotyku, musí být včas vypnuty. K nebezpečnému dotyku nesmí dojít za normálních podmínek provozu ani za podmínek jedné poruchy. Ochrana před nebezpečným dotykem je v rozvodné síti **TN** podniku realizována pomocí **automatického odpojení od zdroje při poruše**, kdy neživé části musí být spojeny ochranným vodičem PE s hlavní uzemňovací přípojnici a ta je spojena s uzemněným bodem silové napájecí sítě. [3, 14, 16]

Na obrázku 3.5 je ukázán princip ochrany při poruše, kdy při zkratu vznikne poruchový proud I_a , který vyvolá funkci ochrany a tím časově nezávislá spoušť jističe vypne.

Pro distribuční síť TN, kterou je rozvodná síť v podniku, je dána maximální doba odpojení od zdroje $t_{max} = 5s$ a dovolené dotykové napětí $U_{dL} = 50V$. Pro t_{max} je nutné odečíst hodnotu proudu ve vypínací charakteristice jističe. Jelikož časově nezávislá zkratová spoušť působí v rozmezí $\pm 10\%$, musí se odečtená hodnota proudu zkratové spouště I_i vynásobit konstantou 1,1. Výsledná hodnota poruchového proudu I_a respektuje horní hranici tolerančního pásma. Proud zkratové, časově nezávislé spouště I_i je nastavitelný. [16]

Pro tento účel se počítá impedance poruchové smyčky \bar{Z}_s , která zahrnuje zdroj, pracovní vodič k místu poruchy a ochranný vodič mezi zdrojem a místem poruchy. Dále vypočtená impedance poruchové smyčky \bar{Z}_{sv} , která zahrnuje impedance vodičů při maximální provozní teplotě a zdrojů, jako jsou např. transformátory, do místa poruchy. Pro úplnou kontrolu se může počítat ještě maximální délka poruchové smyčky l_{max} . [3, 16]



Obrázek 3.5: Princip ochrany při poruše automatickým odpojením od zdroje v síti TN[16]

Rovnice pro výpočty výše uvedených rovnic jsou následující [3, 14, 16, 18]:

$$\bar{Z}_s(t_{max}) = \frac{U_0}{1,1 \cdot I_i} = \frac{U_0}{I_a} \quad (3.16)$$

$$\bar{Z}_{sv} = \sqrt{(R_S + R_T + r_\vartheta \cdot R + r_\vartheta \cdot R_{KiPE})^2 + (X_S + X_T + X + X_{KiPE})^2} \quad (3.17)$$

$$l_{max} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot \rho_k \cdot (1 + m_S) \cdot I_a} \quad (3.18)$$

V rovnicích je možné si povšimnout činitelů r_ϑ a m_S . První z nich je v této práci zaveden pro lehčí přepočítání hodnot odporů při základní teplotě 20°C na hodnoty odporů při maximální provozní teplotě 70°C, jedná se tedy o součinitel teplotní závislosti činných odporů. Druhý představuje poměr průřezu fázového vodiče ku průřezu ochranného vodiče. Pro r_ϑ platí následující rovnice [22]:

$$r_\vartheta = 1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_0) \quad (3.19)$$

Kde α_{20} je teplotní součinitel materiálu vodiče při 20°C.[22]

Pro m_S platí rovnice [14]:

$$m_S = \frac{S}{S_{PE}} \quad (3.20)$$

Parametry pro výpočet jsou již známy z předcházejících částí této práce. Potom po dosazení bude výpočet následující:

$$\begin{aligned} R_S &= 3,235 \cdot 10^{-3}\Omega; X_S = 2,259 \cdot 10^{-3}\Omega; R_T = 8,32 \cdot 10^{-3}\Omega; X_T = 24,21 \cdot 10^{-3}\Omega; \\ R_{K8} &= 17,415 \cdot 10^{-3}\Omega; X_{K8} = 10,8 \cdot 10^{-3}\Omega; R_{K8PE} = 34,83 \cdot 10^{-3}\Omega; \\ X_{K8PE} &= 10,935 \cdot 10^{-3}\Omega; S = 240\text{mm}^2; S_{PE} = 120\text{mm}^2; I_i = 841\text{A}; U_0 = 230\text{V}; \\ \rho_k &= 0,0285\Omega\text{mm}^2/\text{m}; \alpha_{20} = 3,77 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}; t_{max} = 5\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_S &= \frac{S}{S_{PE}} = \frac{240}{120} = 2 \\ r_\vartheta &= 1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_0) = 1 + 3,77 \cdot 10^{-3} \cdot (70 - 20) = 1,1885 \\ I_a &= 1,1 \cdot I_i = 1,1 \cdot 841 = 925,1\text{A} \\ \bar{Z}_s(5) &= \frac{U_0}{1,1 \cdot I_i} = \frac{230}{1,1 \cdot 841} = 248,62 \cdot 10^{-3}\Omega \\ R_C &= R_S + R_T + r_\vartheta \cdot R_{K8} + r_\vartheta \cdot R_{K8PE} = \\ &= (3,235 + 8,32 + 1,1885 \cdot 17,415 + 1,1885 \cdot 34,83) \cdot 10^{-3} = 73,648 \cdot 10^{-3}\Omega \\ X_C &= X_S + X_T + X_{K8} + X_{K8PE} = \\ &= (2,259 + 24,21 + 10,8 + 10,935) \cdot 10^{-3} = 48,204 \cdot 10^{-3}\Omega \\ \bar{Z}_{sv} &= \sqrt{(R_S + R_T + r_\vartheta \cdot R_{K8} + r_\vartheta \cdot R_{K8PE})^2 + (X_S + X_T + X_{K8} + X_{K8PE})^2} = \\ &= \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(73,648 \cdot 10^{-3})^2 + (48,204 \cdot 10^{-3})^2} = 88,021 \cdot 10^{-3}\Omega \\ l_{max} &= \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot \rho_k \cdot (1 + m_S) \cdot I_a} = \frac{0,8 \cdot 230 \cdot 240}{1,5 \cdot 0,0285 \cdot (1 + 2) \cdot 925,1} = 372,21\text{m} \end{aligned}$$

Aby jistič byl v pořádku ověřen, musí platit podmínky [3, 16]:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{sv} &\leq \bar{Z}_s(t_{max}) \\ l &\leq l_{max} \\ \bar{Z}_{PE} &\leq \frac{U_{dL}}{U_0} \cdot \bar{Z}_s \end{aligned}$$

Z podmínek je jasné, že vypočtená impedance poruchové smyčky nesmí překročit velikost impedance poruchové smyčky pro dobu vypnutí t_{max} , délka nesmí překročit maximální délku smyčky a v poslední podmínce nesmí impedance ochranného vodiče \bar{Z}_{PE} překročit velikost impedance poruchové smyčky vynásobené poměrem dovoleného dotykového napětí U_{dL} ku jmenovitému efektivnímu napětí proti zemi U_0 . Pro výpočet impedance ochranného vodiče je použita upravená rovnice 2.6:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{PE} &= \sqrt{R_{K8PE}^2 + X_{K8PE}^2} = \sqrt{(34,83 \cdot 10^{-3})^2 + (10,935 \cdot 10^{-3})^2} = 36,506 \cdot 10^{-3}\Omega \\ \frac{U_{dL}}{U_0} \cdot \bar{Z}_s &= \frac{50}{230} \cdot 248,62 = 54,048 \cdot 10^{-3}\Omega \end{aligned}$$

Potom po dosazení do podmínek bude:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{sv} \leq \bar{Z}_s(t_{max}) &\Rightarrow 88,021 \cdot 10^{-3}\Omega \leq 248,62 \cdot 10^{-3}\Omega \\ l \leq l_{max} &\Rightarrow 135m \leq 372,21m \\ \bar{Z}_{PE} \leq \frac{U_{dL}}{U_0} \cdot \bar{Z}_s &\Rightarrow 36,506 \cdot 10^{-3}\Omega \leq 54,048 \cdot 10^{-3}\Omega\end{aligned}$$

Jak je vidět, podmínky platí a tím se může říci, že kabel je správně nadimenzován. Z tohoto důvodu se může pokračovat v návrhu kabelu K81 z kravína do dojírny.

3.3 Návrh nového kabelu K81 z kravína do dojírny

Při návrhu úplně nového kabelu se jedná v podstatě o stejný postup, jako při kontrole stávajícího vedení, jen s tím rozdílem, že žádné stávající vedení není kontrolováno. Zde se začíná volbou jmenovitého proudu kabelu I_N podle výpočtového zatížení I_p a přepočítávacích koeficientů daných podmínkami prostředí.

V tomto případě nejsou žádné zhoršující podmínky, protože kabel v trubce je v trase položen samostatně. Přepočítávací koeficient tedy bude $k_3 = 1$. Ostatní koeficienty budou stejné.

Po dosazení do podmínky 3.4 se dostane:

$$k_1 = 1; k_2 = 1; k_3 = 1; I_p = 147,13A$$

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \Rightarrow I_N \geq \frac{147,13}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 147,13A$$

Podle této podmínky je vybrán nejvyšší bližší jmenovitý proud kabelu a tím i jeho průřez. Je tedy vybrán kabel AYKY 4x70 mm²

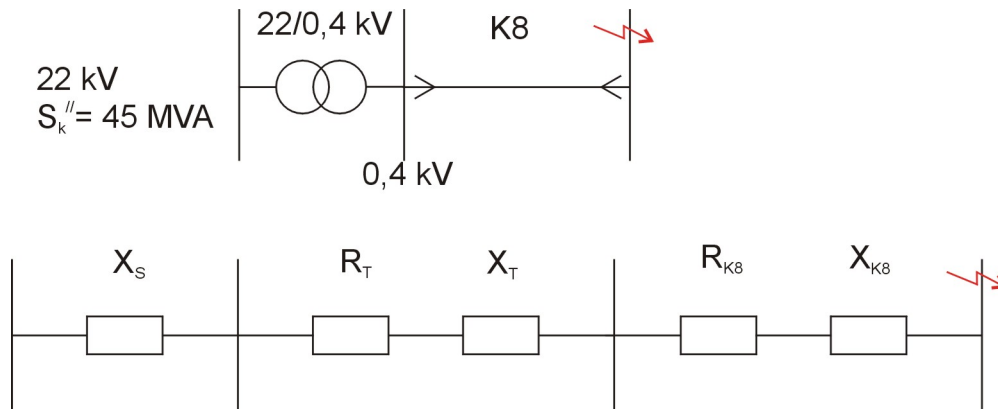
3.3.1 Výpočet rázového zkratového proudu na rozvaděči R8

Jak je vidět na obrázku 3.6, je pro další dimenzování nového kabelu nutné stanovit rázový zkratový proud I_k'' na rozvaděči R8. Uvažuje se již s kabelem K8, který byl kontrolován a následně nově nadimenzován v předešlé části.

Postup výpočtu je stejný jako v první části této kapitoly.

Výpočet bude následující:

$$R_S = 3,235 \cdot 10^{-3}\Omega; X_S = 2,259 \cdot 10^{-3}\Omega; R_T = 8,32 \cdot 10^{-3}\Omega; X_T = 24,21 \cdot 10^{-3}\Omega;$$

Obrázek 3.6: Rázový zkratový proud I_k'' na rozvaděči R8

$$R_{K8} = 17,415 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{K8} = 10,8 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_C = R_S + R_T + R_{K8} = 3,235 \cdot 10^{-3} + 8,32 \cdot 10^{-3} + 17,415 \cdot 10^{-3} = 28,97 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_C = X_S + X_T + X_{K8} = 2,259 \cdot 10^{-3} + 24,21 \cdot 10^{-3} + 10,8 \cdot 10^{-3} = 37,269 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_C = R_C + j \cdot X_C = 28,97 \cdot 10^{-3} + j \cdot 37,269 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\bar{Z}_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(28,97 \cdot 10^{-3})^2 + (37,269 \cdot 10^{-3})^2} = 47,204 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_C} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 47,204 \cdot 10^{-3}} = 5,382 \text{ kA}$$

3.3.2 Vypočtené hodnoty pro dimenzování kabelu K81

Následující parametry a hodnoty pro dimenzování uvedené v tabulkách jsou spočteny pomocí programu **MATLAB** podle rovnic, které byly uvedené v této kapitole. Uvedené podmínky v tabulkách platí pro zvolený jistič Modeion BD250N a $t_k = 0,01 \text{ s}$.

$I_k^{//} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CS} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CU} [\text{kA}]$
5,382		18		36
$P_p [\text{kW}]$		$\kappa [-]$		
81,549		1,115		
$I_p [\text{A}]$	\leq	$I_{PN} [\text{A}]$	\leq	$I_Z [\text{A}]$
147,13		150		183
$i_p [\text{kA}]$	\leq	$I_{cm} [\text{kA}]$		
8,488		75		
$I_{th,1} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CW} [\text{kA}]$	Vztaženo na	
0,65		2,5	$t_k = 1s$	

Tabulka 3.3: Kabel K81 - Dojírna: Návrh jističe, spočtené parametry

n	m	$I_{th} [\text{kA}]$	$S_{min} [\text{mm}^2]$	\leq	$S [\text{mm}^2]$
1	0,457	6,495	8,898		70

Tabulka 3.4: Kabel K81 - Dojírna: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

$\Delta U_f [\text{V}]$	$d [\%]$	\leq	$d_z [\%]$
3,49	1,511		5

Tabulka 3.5: Kabel K81 - Dojírna: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

<i>Pro výpočtový proud:</i>				
I_p [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
147,13	29,032	49,032		
<i>Pro nadproudy I_{nad}:</i>				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	172,5	2598	33,793	53,793
1,2	180	2382	36,164	56,164
1,25	187,5	2280	39,227	59,227
1,3	195	2094	41,484	61,484
1,5	225	1476	48,556	68,556
2	300	282	26,194	46,194
2,5	375	72	12,392	32,392
3	450	25	6,871	26,871
5	750	0,019	0,019	20,019

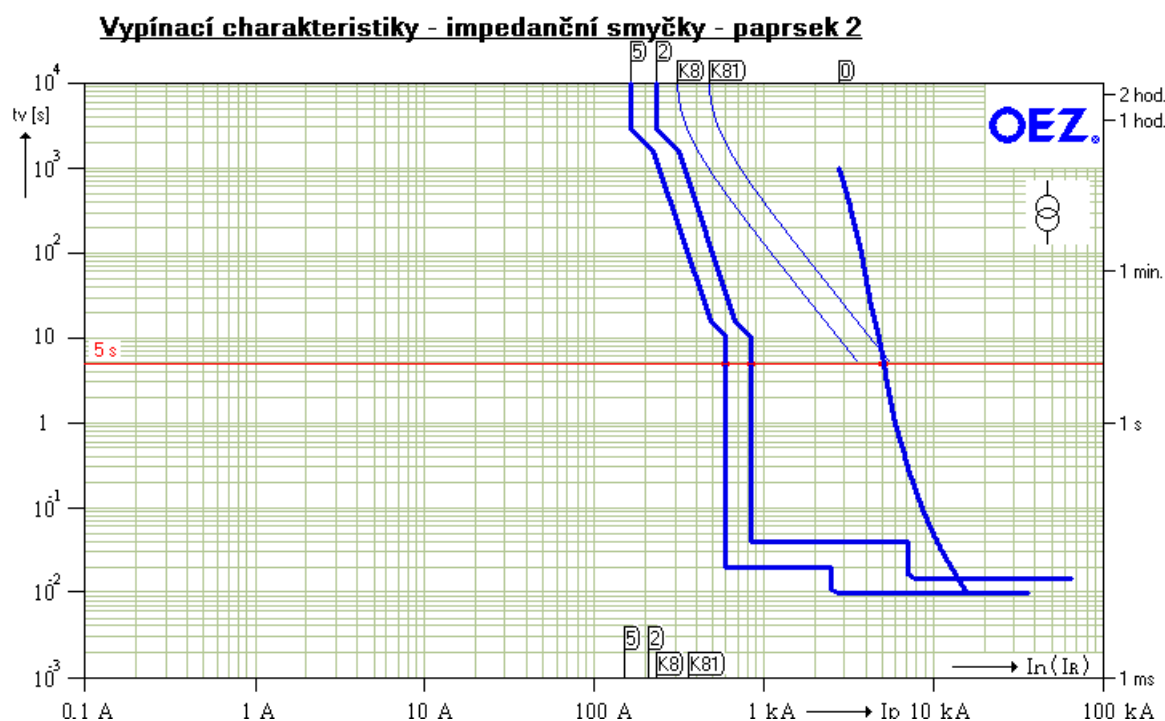
Tabulka 3.6: Kabel K81 - Dojírna: ověření jistění proti přetížení

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	\leq	\bar{Z}_s [mΩ]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
594	138,29		352	50		230,55

Tabulka 3.7: Kabel K81 - Dojírna: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

Zde je možné říci, že kabel z kravína do dojírny je nadimenzován správně. Také vzhledem k podmínkám jištění a časů vypnutí, respektive dob trvání zkratu t_k , lze říci, že je zajištěna i selektivita jištění.

Na obrázku 3.7 je ukázána zajištěná selektivita jištění pomocí vypínacích charakteristik jističů Modeion BD250N a BH630N, kde praporek s číslem 5 je charakteristika pro BD250N a praporek s číslem 2 je pro BH630N. Praporek s číslem 0 ukazuje vypínací charakteristiku VN pojistek před transformátorem. Dále je tam zobrazena červená linka, která značí maximální dovolený čas vypnutí 5s při poruše, tj. **Ochrana proti nebezpečnému dotyku**.



Obrázek 3.7: Ukázka vypínacích charakteristik jističů Modeion - program SICHR od OEZ

Program SICHR od společnosti OEZ byl použit pro kontrolu výpočtů. Je však nutno říci, že mezi hodnotami v programu a v této práci je malý rozdíl, který je průměrně v řádech jednotek. Tento rozdíl je dán zaokrouhlováním při řešení výpočtu a také způsobem řešení problematiky samotným programem. Ten na základě vložených dat zohledňuje přesné oteplení při průchodu proudem kabelem a také ztráty na všech prvcích v obvodu.

3.4 Ekonomická optimalizace návrhu průřezu kabelů

Jak bylo v předešlé kapitole řečeno, tak i zde hraje svou roli hospodárnost provozu. Po dimenzování nastupuje porovnání finančních nákladů na pořízení a provoz kabelů. Lze tedy říci, že se tato ekonomická úvaha provádí u těch kabelů, u nichž je to možné. To znamená, že je navržen kabel s nejmenším průřezem, který splňuje všechna kritéria, ale vzhledem k charakteru provozu a výpočtového zatížení by jeho celkové náklady mohly být vyšší než u kabelu s vyšším průřezem. To je dáno činnými ztrátami. Pokud již je průřez nadimenzovaného kabelu tak velký, že už není v nabídce výrobců kabel s vyšším průřezem, ekonomická výhodnost není potřeba, protože není s čím porovnávat.

Ekonomická optimalizace kabelů je v této práci provedena pomocí programu SICHR od společnosti OEZ, kde je provedena i kontrola výpočtů pro dimenzování a jistění kabelů.

Tento program používá následující rovnice, u nichž je značení ponecháno z literatury [21] - „ELEKTRO - Ekonomická optimalizace kabelu.“

Pořizovací náklady:

$$N_K = C_K \cdot S \cdot l \quad (3.21)$$

Kde:

N_K pořizovací náklady na kabel [Kč]

C_K cena kabelu na 1 m délky vztažená k 1 mm² průřezu fázového vodiče [Kč/mm²·m]

S průřez jedné fáze vedení [mm²]

l délka vedení [m]

Provozní náklady:

$$N_Z = 3 \cdot 0,001 \cdot \rho_{45} \cdot \frac{l}{S} \cdot I_p^2 \cdot T \cdot C_W \cdot \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \quad (3.22)$$

$$B = \sum_{n=1}^{t_r} (r^{n-1}) = \frac{1 - r^{t_r}}{1 - r} \quad (3.23)$$

$$r = \frac{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b}{100}\right)}{1 + \frac{i}{100}} \quad (3.24)$$

Kde:

- N_Z současná hodnota nákladů na ztráty [Kč]
 ρ_{45} měrný elektrický odpor vodičů [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]
 I_p výpočtový proud tekoucí vodičem [A]
 T doba plných ztrát [h/rok]
 C_W cena elektrické energie [Kč/kWh]
 B součinitel zahrnující nárůst zatížení, cenu el. energie a diskontní (inflační) sazbu
 i diskontní (inflační) sazba [%]
 t_r ekonomická životnost vodiče [rok]
 a roční nárůst zatížení [%/rok]
 b roční nárůst ceny elektrické energie [%/rok]

Celkové náklady:

$$N_C = N_K + N_Z$$

$$N_C = (C_K \cdot S \cdot l) + \left(3 \cdot 0,001 \cdot \rho_{45} \cdot \frac{l}{S} \cdot I_p^2 \cdot T \cdot C_W \cdot \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \right) \quad (3.25)$$

Kde:

- N_C celkové náklady na provoz a pořízení kabelu [Kč]

Hospodárný průřez vodiče se poté stanoví z nulové derivace minimální hodnoty celkových nákladů kabelu za jeho ekonomickou životnost podle průřezu.[21]

Třífázové vedení:

$$\frac{dN_C}{dS} = 0$$

$$(C_K \cdot l) - \left(3 \cdot 0,001 \cdot \rho_{45} \cdot l \cdot S_0^{-2} \cdot I_p^2 \cdot T \cdot C_W \cdot \frac{B}{1 + \frac{i}{100}} \right) = 0$$

$$S_0 = 0,055 \cdot I_p \cdot \sqrt{\frac{C_W}{C_K} \rho_{45} \cdot T \cdot \frac{B}{1 + \frac{i}{100}}} \quad (3.26)$$

Obdobně pro jednofázové vedení:

$$S_0 = 0,045 \cdot I_p \cdot \sqrt{\frac{C_W}{C_K} \rho_{45} \cdot T \cdot \frac{B}{1 + \frac{i}{100}}} \quad (3.27)$$

Kde:

S_0 hospodárný průřez vedení [mm²]

Doba plných ztrát pro tento výpočet je zvolena podle literatury [10] - „Ztráty v přenosu a rozvodu elektrické energie“. Tato doba činí $T = 1000h/rok$. Životnost kabelů je zvolena $t_r = 20let$

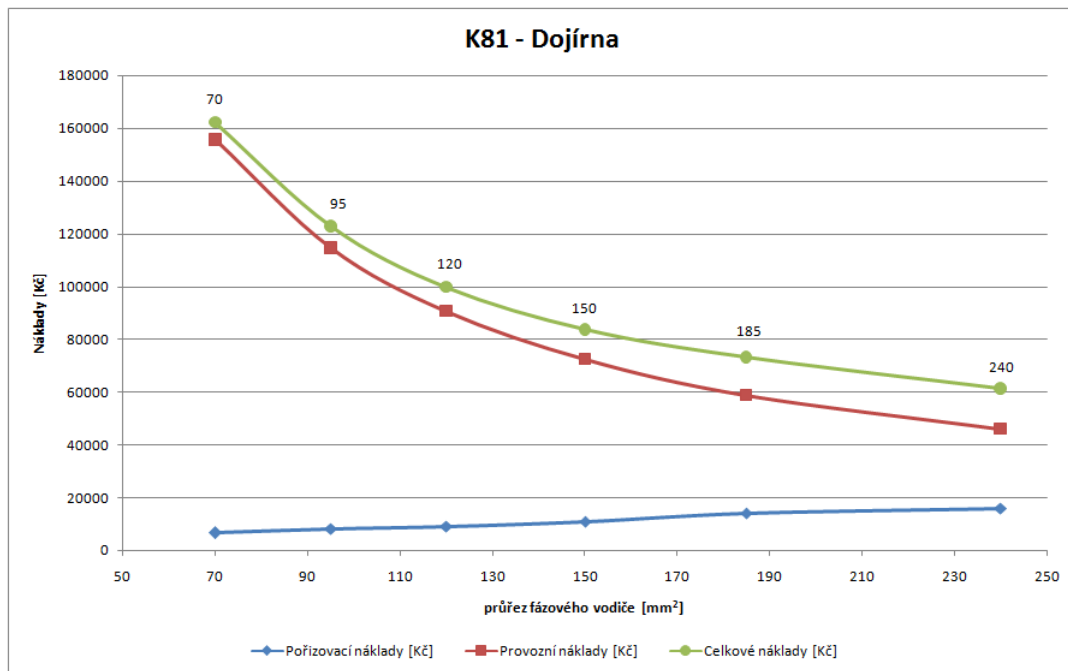
Porovnání jednotlivých variant ekonomické optimalizace průřezu kabelů K81 - Dojima

Varianta	1	2	3	4	5	6
Kabel	1-AYKY 4x70	1-AYKY 3x95+70	1-AYKY 3x120+70	1-AYKY 3x150+70	1-AYKY 3x185+95	1-AYKY 3x240+120
Cena vedení [Kč / m]	131	163	180	220	283	318
Cena elektrické energie [Kč / kWh]	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12
Ekonomická životnost vedení [roků]	20	20	20	20	20	20
Doba plných ztrát [hodin / rok]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Plné ztráty [kW]	1,58	1,164	0,922	0,737	0,598	0,461
Diskontní sazba [%]	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Roční nárůst zatížení [% / rok]	0	0	0	0	0	0
Roční nárůst ceny elektrické energie [% / rok]	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Pořizovací náklady [Kč]	6550	8150	9000	11000	14150	15900
Provozní náklady [Kč]	155549	114594	90770	72557	58872	45385
Celkové náklady [Kč]	162099	122744	99770	83557	73022	61285

Obrázek 3.8: Ukázka výstupu pro porovnání ekonomické hospodárnosti kabelů z programu SICHR

Ukázka výstupu ekonomické optimalizace je zobrazena na obrázku 3.8, kde jsou vypsány vstupní i vypočtené hodnoty. Vstupní hodnoty jsou pořizovací cena kabelu za metr, cena elektrické energie, životnost kabelu, doba plných ztrát, inflační míra a roční nárůst ceny elektrické energie. [29, 10, 26] Spočtené výstupní hodnoty jsou pořizovací a celkové náklady kabelu.

Na obrázku 3.9 je zobrazen graf ekonomického porovnání průřezů, z něhož vyplývá, že nejnižší celkové náklady jsou pro kabel o průřezu 240 mm². To je dáno tím, že čím vyšší průřez, tím nižší ztráty. Na základě charakteru provozu, ekonomické hospodárnosti a pořizovacích nákladů může investor zvolit kabel až do průřezu 240 mm² (kabel AYKY 3x240+120 mm²), který se jeví jako nejoptimálnější z pohledu ekonomiky. Pro větší průřez kabelu nejsou již potřebné kontrolní výpočty, protože jsou všechny podmínky splněné s větší rezervou.



Obrázek 3.9: Graf porovnání nákladů kabelu K81 do dojírny pro různé průřezy

3.5 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza se provádí u ekonomické výhodnosti z důvodu, že průřez kabelu, který je navržen nyní při současných podmínkách a cenách jako hospodárný, nemusí být hospodárný v budoucnu za jiných podmínek a cen. Jinými slovy jde o to, jestli investor při koupi kabelu dnes, neudělal z budoucího hlediska vývoje nákladů a provozu velkou chybu.

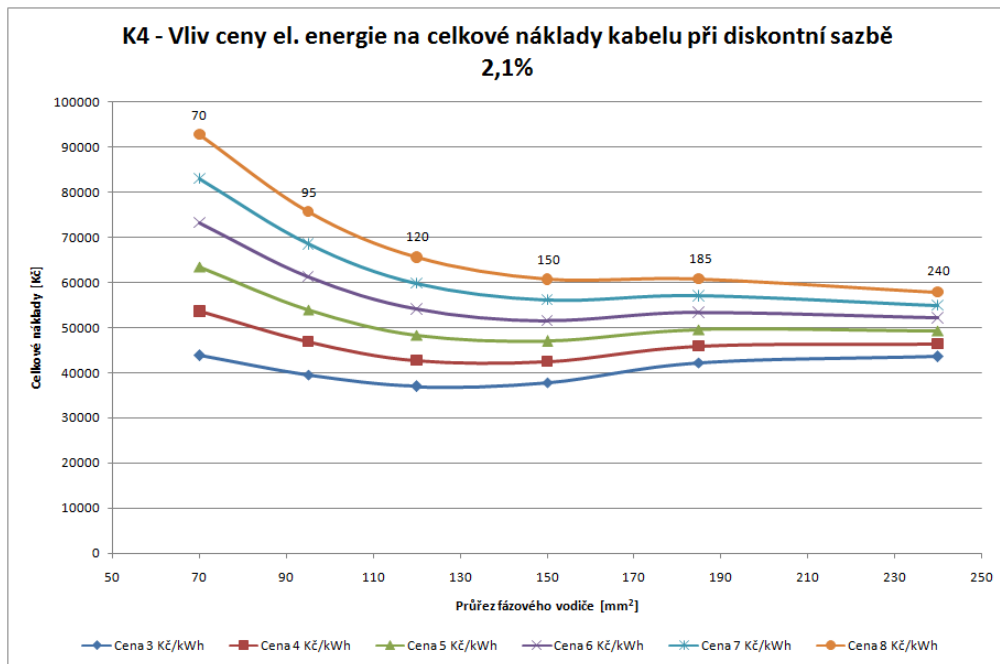
Pro citlivostní analýzu jsou vybrány dva reprezentativní vzorky ze všech kabelů. Jsou to kabely K4 a K5. V těchto případech se analýza provedla pro změnu ceny elektřiny v rozmezí od 3 Kč/kWh do 8 Kč/kWh při současné diskontní sazbě 2,1 % a při 5 %.

Kabel K4 k progresu:

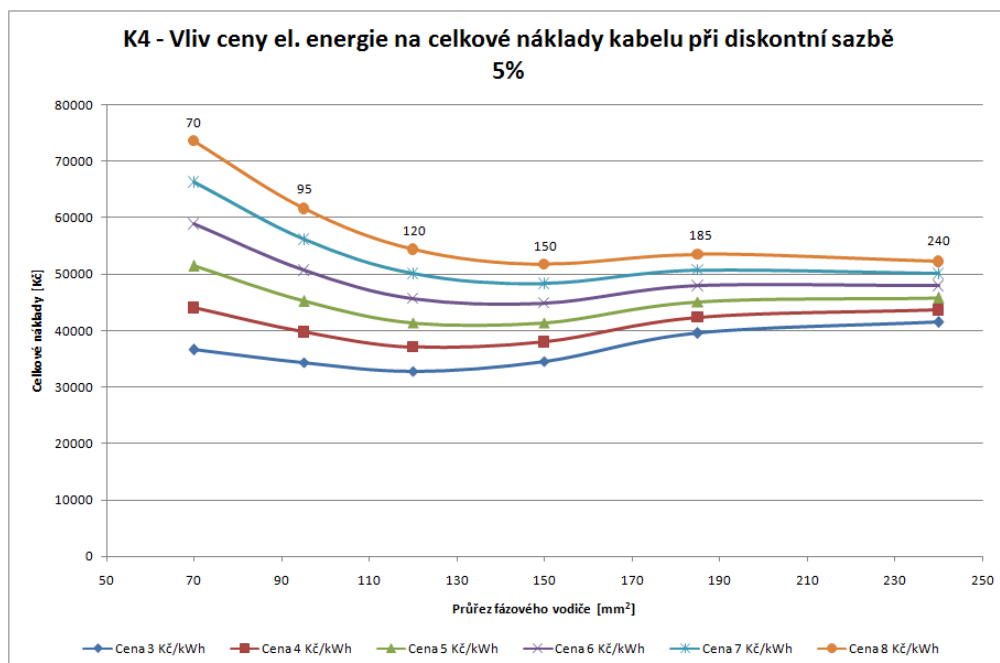
Celkové náklady při změně ceny za el. energii pro diskontní sazbu 2,1 %:							
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Cena el. energie [Kč/kWh]					
		3	4	5	6	7	8
4x70	70	43 771	53 558	63 346	73 133	82 920	92 707
3x95+70	95	39 561	46 772	53 983	61 193	68 404	75 615
3x120+70	120	36 932	42 643	48 354	54 064	59 775	65 486
3x150+70	150	37 871	42 428	46 985	51 542	56 099	60 657
3x185+95	185	42 205	45 897	49 589	53 281	56 972	60 664
3x240+120	240	43 517	46 363	49 209	52 054	54 900	57 746

Celkové náklady při změně ceny za el. energii pro diskontní sazbu 5 %:							
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Cena el. energie [Kč/kWh]					
		3	4	5	6	7	8
4x70	70	36 617	44 020	51 422	58 825	66 228	73 630
3x95+70	95	34 291	39 744	45 198	50 652	56 106	61 560
3x120+70	120	32 758	37 077	41 396	45 716	50 036	54 355
3x150+70	150	34 540	37 987	41 433	44 881	48 327	51 774
3x185+95	185	39 506	42 299	45 091	47 884	50 676	53 469
3x240+120	240	41 437	43 589	45 742	47 894	50 047	52 199

Tabulka 3.8: Kabel K4 - Progres: Celkové náklady při citlivostní analýze



Obrázek 3.10: Graf citlivostní analýzy pro kabel K4 k progresu při diskontní sazbě 2,1 %



Obrázek 3.11: Graf citlivostní analýzy pro kabel K4 k progresu při diskontní sazbě 5 %

Kabel K5 k seníku:

Celkové náklady při změně ceny za el. energii pro diskontní sazbu 2,1 %:							
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Cena el. energie [Kč/kWh]					
		3	4	5	6	7	8
4x70	70	43 509	55 393	67 276	79 159	91 042	102 925
3x95+70	95	36 026	44 776	53 525	62 273	71 022	79 771
3x120+70	120	31 566	38 489	45 411	52 333	59 256	66 178
3x150+70	150	29 813	35 351	40 889	46 427	51 964	57 502
3x185+95	185	30 478	34 978	39 477	43 977	48 476	52 976
3x240+120	240	29 463	32 924	36 386	39 847	53 308	46 769

Celkové náklady při změně ceny za el. energii pro diskontní sazbu 5 %:							
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Cena el. energie [Kč/kWh]					
		3	4	5	6	7	8
4x70	70	34 823	43 811	52 799	61 787	70 774	79 762
3x95+70	95	29 631	36 249	42 866	49 483	56 100	62 718
3x120+70	120	26 506	31 742	36 978	42 214	47 449	52 685
3x150+70	150	25 765	29 954	34 142	38 331	42 519	46 708
3x185+95	185	27 189	30 593	33 996	37 399	40 802	44 205
3x240+120	240	26 933	29 551	32 169	34 787	37 405	40 022

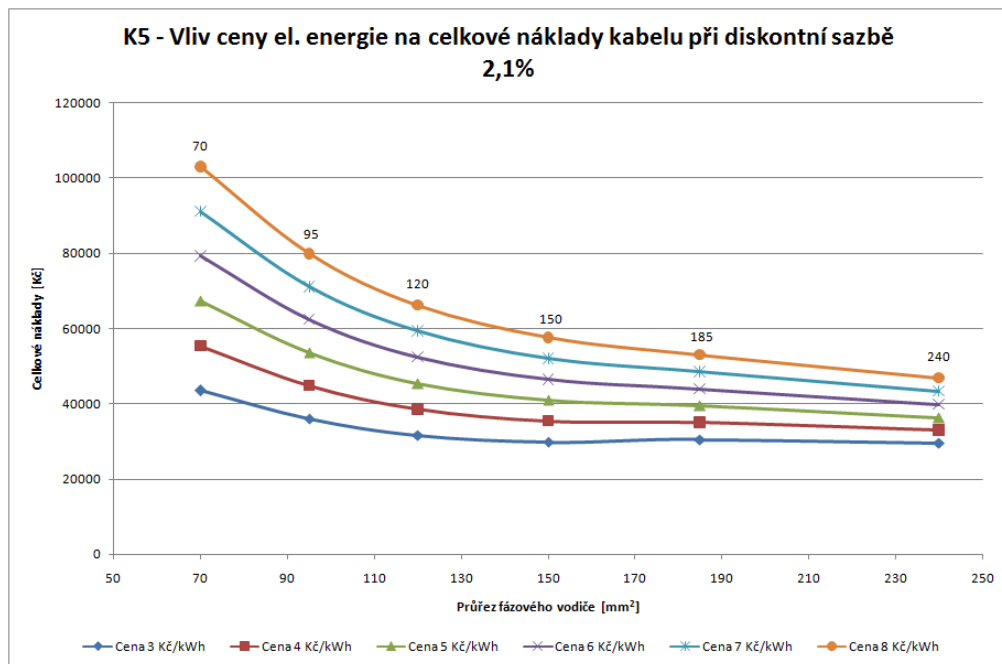
Tabulka 3.9: Kabel K5 - Seník: Celkové náklady při citlivostní analýze

V tabulkách 3.8 a 3.9 jsou vypsány celkové náklady různých variant kabelů při různých cenách el. energie a různé diskontní sazbě. Je možné si povšimnout, že náklady při 5% sazbě jsou levnější než při 2,1 % sazbě.

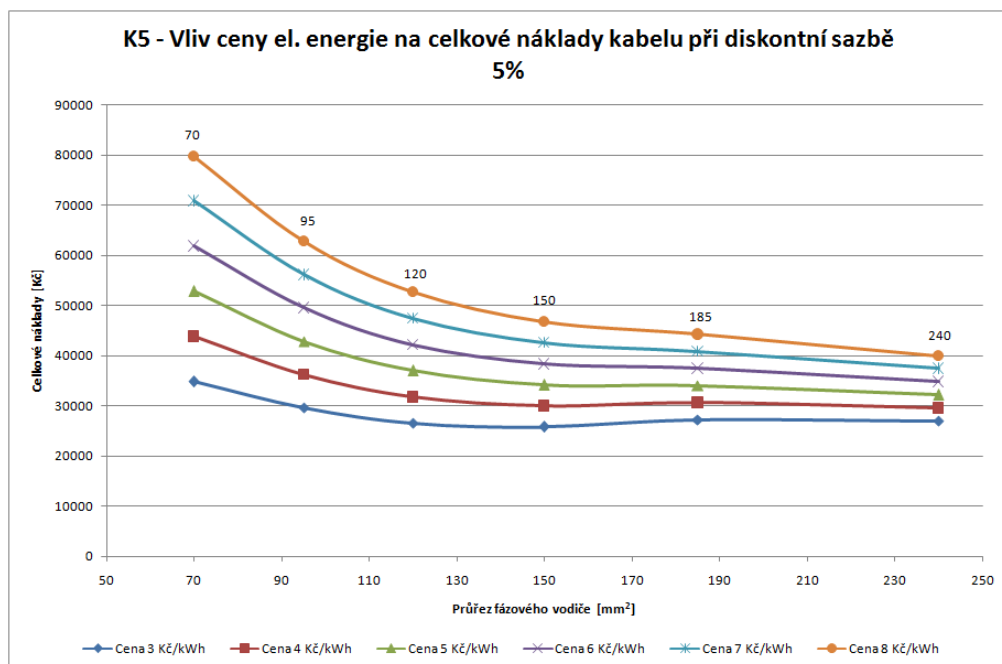
Na obrázcích 3.10 až 3.13 jsou grafy, na nichž jsou hodnoty z tabulek vyobrazeny graficky a je možné tedy porovnat jejich vývoj.

Tyto mají dva nejextrémnější průběhy ekonomické hospodárnosti, proto lze zde říci, že změny cen za el. energii a diskontní sazby se projeví obdobně i u dalších kabelů.

Záleží tedy na investorovi, jaký kabel bude chtít zakoupit. Jak ale bylo řečeno již v první kapitole, záleží na jeho finančních prostředcích, zda jich má dostatek nebo ne.



Obrázek 3.12: Graf citlivostní analýzy pro kabel K5 k seníku při diskontní sazbě 2,1 %



Obrázek 3.13: Graf citlivostní analýzy pro kabel K5 k seníku při diskontní sazbě 5 %

3.6 Volba průřezu kabelu podle návrhu a ekonomické optimalizace

V předešlých částech byla ukázána volba kabelů s ohledem na podmínky prostředí, jištění a přetížení a s ohledem na ekonomickou optimalizaci průřezu.

V areálu byla provedena kontrola stávajících a návrh nových kabelů. V tabulce 3.10 jsou uvedeny stávající průřezy kabelů v areálu a minimální zvolený průřez nového kabelu. V posledním sloupci jsou uvedeny optimální průřezy z ekonomického hlediska. Jsou zde uvedeny jen kabely, u nichž bylo možné provést ekonomickou optimalizaci.

Zn.	Provoz	Stávající kabel	Stávající S [mm ²]	Optimální S [mm ²]
K1	Čistička	AYKY 3x120+70	120	240
K3	Čerpací stanice	AYKY 3x120+70	120	25
K4	Progres	AYKY 3x120+70	120	150
K42	Dílny	AYKY 3x120+70	120	120
K5	Seník	AYKY 3x120+70	120	240
K6	OMD	AYKY 3x120+70	120	25
K7	Drůbežárna	AYKY 3x120+70	120	240
K71	Kruťárna	AYKY 3x120+70	120	150
Zn.	Provoz	Navržený kabel	Zvolený S [mm ²]	Optimální S [mm ²]
K81	Dojírna	AYKY 4x70	70	240

Tabulka 3.10: Tabulka stávajících nebo minimálních průřezů kabelů a optimálních průřezů kabelů z hlediska ekonomiky

V tabulce 3.10 jsou silně zvýrazněny kabely, které jsou doporučeny vyměnit za jiný průřez, jestliže fyzický stav stávajících kabelů již nevyhovuje spolehlivosti provozu. Na základě charakteru provozu a uložení vedení je doporučován průřez $S = 70\text{mm}^2$ (kabel AYKY 4x70 mm²).

V rozmezí hodnot uvedených v tabulce 3.10 je investorem zvažován nákup nového a hospodárnějšího kabelového vedení nebo ponechání stávajícího. Na základě uvedených grafů celkových nákladů kabelů a finanční situaci investora je volen buď optimální průřez kabelu nebo je učiněn kompromis a je volen takový průřez, pro který nejsou příliš velké rozdíly v celkových nákladech na pořízení a provoz kabelu a je blízký k optimálnímu.

Kapitola 4

Kompenzace účinníku

Jak je vidět z tabulky 1 na straně I v příloze A, v podniku je velké množství asynchronních motorů. Jako v každém podniku, ať je to zemědělský nebo průmyslový, je potřebná kompenzace účinníku. Účinník je poměr činného ku zdánlivému výkonu. Aby asynchronní motor mohl přeměnit činný výkon na práci, potřebuje odebrat jalový výkon. Ten je potřebný k vytvoření magnetického pole v asynchronním motoru. Z toho vyplývá, že přívodní vedení je zatíženo nejen činným, ale i jalovým výkonem, respektive proudem. [8]

Omezením odebíraného jalového výkonu z vedení se snižují úbytky napětí a ztráty na vedení. Omezují se paralelním připojením kompenzačního zařízení do blízkosti zařízení, jež odebírají jalový proud potřebný pro svou činnost. Připojují se buď do těsné blízkosti k jednotlivým zařízením, ke skupině zařízení nebo je jedno kompenzační zařízení určené pro celý podnik. [8]

Kompenzace účinníku se dělí na 4 druhy [8]:

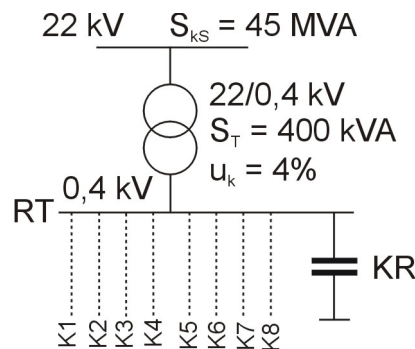
1. **Individuální kompenzace** - kompenzační zařízení je připojeno v těsné blízkosti jednotlivých zařízení nebo strojů, které jsou kompenzovány. Hlavní výhodou je jednoduchost a také přívodní vedení není zatíženo jalovou složkou energie až ke spotřebiči. Nevýhodou je prostorová náročnost a riziko překompenzování.
2. **Skupinová kompenzace** - kompenzační zařízení je připojeno na přípojnici skupinového rozvaděče, který napájí skupinu zařízení nebo strojů. Kompenzační zařízení je rozdělené na jednotlivé výkonové stupně. Výhoda je lepší regulovatelnost výkonu. Nevýhoda je nutnost opatřit spínací a regulační prvky pro kompenzační zařízení.

3. **Centrální kompenzace** - kompenzační zařízení je připojeno na přípojnici vstupního rozvaděče, který je za hlavním transformátorem v podniku. Výhodou je menší potřebný kompenzační výkon a jen jedno kompenzační zařízení. Nevýhodou je skutečnost, že vedení v podniku je nevykompenzováno a kompenzační zařízení se musí opatřit regulační automatikou.
4. **Smíšená kompenzace** - tato kompenzace je kombinací tří předešlých druhů a často je tak řešena kompenzace účinníku u velkých průmyslových podniků.

Kompenzace se tedy provádí z důvodů odlehčení přívodního vedení od přenášeného jalového proudu a omezení ztrát na hodnotu $\cos \varphi_0 = 0,95$ až $\cos \varphi_0 = 1$ induktivního charakteru. Za nedodržení této hodnoty účinníku hrozí odběratelům finanční postih ve formě cenových přírážek, které jsou v procentech platby za výkon a elektrickou energii. [13]

Tyto přírážky jsou uvedeny v tabulce 3 na straně XLI v příloze C.

Vzhledem k charakteru a velikosti podniku je uvažována centrální kompenzace umístěná na přípojnici vstupního rozvaděče. Kompenzační rozvaděč je tedy umístěn v hlavní rozvodně. Schéma zapojení s kompenzačním rozvaděčem je vyobrazen na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Schéma zapojení s kompenzačním rozvaděčem KR

Aby mohl být zvolen správný výkon a stupně kompenzačního rozvaděče, je nutné stanovit celkový kompenzační výkon pro podnik. Ten se stanoví podle rovnic [8]:

$$Q_{puv} = \sum S_{puv} \cdot \sin \varphi_{str} \quad (4.1)$$

$$Q_{pokom} = \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_0} \cdot \sin \varphi_0 \quad (4.2)$$

$$Q_{kom} = Q_{puv} - Q_{pokom} \quad (4.3)$$

Rovnice 4.1 stanovuje původní odebíraný jalový výkon Q_{puv} **před kompenzací**. Rovnicí 4.2 se počítá jalový výkon Q_{pokom} odebíraný **po kompenzaci**. Rozdíl těchto hodnot je v rovnici 4.3, která počítá **kompenzační** jalový výkon Q_{kom} .

Podle obecně vedené praxe se kompenzační výkon zvyšuje o 20 %, aby opravdu byla zajištěna kompenzace na předepsanou nebo vyšší hodnotu.

$$Q_{KR} = 1,2 \cdot Q_{kom} \quad (4.4)$$

Stanovení počtu stupňů kompenzační rovnice se stanoví podle podmínky [13]:

$$N \geq \frac{Q_{puv} - P \cdot \tan \varphi_0}{Q_{C1}} \quad (4.5)$$

Kde Q_{C1} je velikost 1. kompenzačního stupně, který udává jemnost regulace.

Po zjednodušení bude vypadat [13]:

$$N \geq \frac{Q_{puv} - P \cdot \tan \varphi_0}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{puv} - Q_{pokom}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{kom}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{KR}}{Q_{C1}}$$

Dále se musí ověřit, zda-li není překompenzováno nebo nedokompenzováno podle podmínky [13]:

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \quad (4.6)$$

Kde $\tan \varphi_0 = 0,33 \Rightarrow \cos \varphi_0 = 0,95$.

4.1 Volba kompenzačního rozvaděče

Výše je nastíněn postup volby kompenzačního rozvaděče KR. Podle rovnic 4.1 až 4.4 se stanoví potřebný kompenzační výkon kompenzačního rozvaděče pro celý podnik. A však nedílnou částí je volba takového rozvaděče, který správně kompenzuje i nejnižší možný odebíraný výkon. Ten je dán nepřetržitými provozy v podniku.

Postup volby KR:

1. stanovení celkového kompenzačního výkonu pro podnik - výkon KR
2. stanovení nejnižšího kompenzačního výkonu pro trvalé provozy
3. volba KR podle spočteného kompenzačního výkonu a výkonu prvního stupně KR
4. výpočet počtu kompenzačních stupňů (ověření vhodnosti KR)

5. ověření na překompenzování nebo nedokompenzování celého podniku
6. ověření na překompenzování nebo nedokompenzování nejnižšího odebíraného výkonu trvalými provozy

Pro výpočet nejmenšího kompenzačního výkonu jsou použity stejné rovnice jako pro celkový výkon.

Potom výpočet bude:

Stanovení Q_{KR} :

$$\sum S_{puv} = 230,958 \text{ kVA}; \quad \sum P_p = 184,788 \text{ kW};$$

$$\cos \varphi_{str} = 0,8 \Rightarrow \sin \varphi_{str} = 0,6;$$

$$\cos \varphi_0 = 0,95 \Rightarrow \sin \varphi_0 = 0,31$$

$$\begin{aligned} Q_{puv} &= \sum S_{puv} \cdot \sin \varphi_{str} = 230,958 \cdot 0,6 = 138,591 \text{ kVAr} \\ Q_{pokom} &= \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_0} \cdot \sin \varphi_0 = \frac{184,788}{0,95} \cdot 0,31 = 60,299 \text{ kVAr} \\ Q_{kom} &= Q_{puv} - Q_{pokom} = 138,591 - 60,299 = 78,292 \text{ kVAr} \\ Q_{KR} &= 1,2 \cdot Q_{kom} = 1,2 \cdot 78,292 = 93,95 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Podle výpočtu je potřeba zvolit kompenzační rozvaděč o jalovém výkonu 93,95 kVAr nebo vyšším.

Stanovení nejmenšího výpočtového výkonu trvalých provozů:

Provoz	P_p
Kravín	6,01 kW
Krůfárna	33,12 kW
Drůbežárna	42,07 kW
OMD	4,39 kW
P_{pCmin}	85,59 kW

V této části je nejmenší celkový výpočtový výkon pro nepřetržité provozy značen P_{pCmin} a po vynásobení vzájemným součinitelem náročnosti β je minimální výpočtový činný výkon pro tyto provozy značen $\sum P_{pmin}$.

$$\sum P_{pmin} = P_{pCmin} \cdot \beta = 85,59 \cdot 0,6 = 51,354 \text{ kW}$$

Stanovení nejmenšího kompenzačního výkonu pro trvalé provozování:

$$\begin{aligned} Q_{puv} &= \frac{\sum P_{pmin}}{\cos \varphi_{str}} \cdot \sin \varphi_{str} = \frac{51,354}{0,8} \cdot 0,6 = 38,516 \text{ kVAr} \\ Q_{pokom} &= \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_0} \cdot \sin \varphi_0 = \frac{51,354}{0,95} \cdot 0,31 = 16,758 \text{ kVAr} \\ Q_{kom} &= Q_{puv} - Q_{pokom} = 38,516 - 16,758 = 21,758 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Podle výše uvedených výpočtů je možné zvolit velikost výkonu kompenzačního rozvaděče. Z katalogu od společnosti EMCOS s.r.o. [30] jsou vybrány rozvaděče VARKOM B EV 100/16, VARKOM B 93/15 a F-KOM 99/9.

Logika číselného značení znamená *celkový výkon KR/počet stupňů*. Příklad logiky odstupňování je:

pro VARKOM B EV 100/16 - $2 \times 6,25 + 12,5 + 25 + 50$ kVAr

Důležitá je velikost prvního stupně, která udává jemnost regulace, tj. regulační krok.

Potom bude ověření počtu stupňů a kompenzace následující:

VARKOM B EV 100/16:

$Q_{C1} = 6,25 \text{ kVAr}$; $Q_C = 100 \text{ kVAr}$

Počet stupňů:

$$N \geq \frac{Q_{KR}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{93,95}{6,25} = 15,032$$

Počet stupňů vyhovuje.

Ověření na překompenzování nebo nedokompenzování:

pro $\sum P_p = 184,788 \text{ kW}$

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{138,591 - 16 \cdot 6,25}{184,788} = 0,209 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,209 \Rightarrow \cos \varphi = 0,979$, je tedy správně vykompenzováno.

pro $\sum P_{pmin} = 51,354 \text{ kW} \Rightarrow$ použije se stupeň, který je součtem čtyř $Q_{C1} \Rightarrow 25$ kVAr.

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{38,516 - 4 \cdot 6,25}{51,354} = 0,263 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,263 \Rightarrow \cos \varphi = 0,967$, je tedy správně vykompenzováno.

F-KOM 99/9:

$$Q_{C1} = 11kVAr; Q_C = 99kVAr$$

Počet stupňů:

$$N \geq \frac{Q_{KR}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{93,95}{11} = 8,541$$

Počet stupňů vyhovuje.

Ověření na překompenzování nebo nedokompenzování:

$$\text{pro } \sum P_p = 184,788kW$$

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{138,591 - 9 \cdot 11}{184,788} = 0,214 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,214 \Rightarrow \cos \varphi = 0,978$, je tedy správně vykompenzováno.

pro $\sum P_{pmin} = 51,354kW \Rightarrow$ použijí se stupně, které jsou součtem tří $Q_{C1} \Rightarrow 33$ kVAr.

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{38,516 - 3 \cdot 11}{51,354} = 0,107 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,107 \Rightarrow \cos \varphi = 0,994$, je tedy správně vykompenzováno. Pokud je použit stupeň, který je součtem dvou $Q_{C1} \Rightarrow 22$ kVAr, bude výpočet následující:

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{38,516 - 2 \cdot 11}{51,354} = 0,322 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,322 \Rightarrow \cos \varphi = 0,952$, je tedy správně vykompenzováno, ale na hodnotu, která je těsně nad předepsanou hodnotou účinníku.

VARKOM B 93/15:

$$Q_{C1} = 6,25kVAr; Q_C = 93kVAr$$

Počet stupňů:

$$N \geq \frac{Q_{KR}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{93,95}{6,25} = 15,032$$

$$N \geq \frac{Q_{kom}}{Q_{C1}} \Rightarrow N \geq \frac{78,292}{6,25} = 12,527$$

Počet stupňů vyhovuje, jestliže je přímo brána hodnota Q_{kom} bez navýšení o 20 %, jak je to u Q_{KR}

Ověření na překompenzování nebo nedokompenzování:

pro $\sum P_p = 184,788 \text{ kW}$

$$\frac{Q_{p_{uv}} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{138,591 - 15 \cdot 6,25}{184,788} = 0,243 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,243 \Rightarrow \cos \varphi = 0,972$, je tedy správně vykompenzováno.

pro $\sum P_{p_{min}} = 51,354 \text{ kW} \Rightarrow$ použije se stupeň, který je součtem čtyř $Q_{C1} \Rightarrow 25 \text{ kVAr}$.

$$\frac{Q_{p_{uv}} - N \cdot Q_{C1}}{\sum P_p} \leq \tan \varphi_0 \Rightarrow \frac{38,516 - 4 \cdot 6,25}{51,354} = 0,263 \leq 0,33$$

Potom $\tan \varphi = 0,263 \Rightarrow \cos \varphi = 0,967$, je tedy správně vykompenzováno.

Jak je vidět z výpočtů, lze říci, že ve všech případech je správně vykompenzováno a všechny rozvaděče splňují podmínky. Riziko finančních sankcí za nedodržení účinníku $\cos \varphi_0 = 0,95$ je nulové. A však podle obecně vedené praxe jsou zde nejvhodnější volbou kompenzační rozvaděče VARKOM B EV 100/16 a F-KOM 99/9. Cena těchto rozvaděčů se podle výkonu pohybuje v rozmezí od 40 700 Kč do 44 200 Kč za jeden kus. Opět záleží na úvaze investora, jak bude chtít mít vykompenzovaný účinník a podle toho zakoupí kompenzační rozvaděč. Ceny jsou orientační od společnosti EMCOS s.r.o. Ceny jsou sděleny formou nabídky, která je reakcí společnosti na poptávku od investora.

4.2 Investiční návratnost kompenzačního rozvaděče

Po zvolení kompenzačního rozvaděče je vhodné určit návratnost investice. Ta se určí primárně z přírážek za nedodržení účinníku (tabulka 3 v příloze C na straně XLI).

4.2.1 Zjednodušený výpočet investiční návratnosti

Zjednodušený výpočet vychází z již zmíněných procentních cenových přírážek za nedodržení hodnoty účinníku $\cos \varphi = 0,95$, ceny za elektrickou energii a ze středního zatížení transformátoru ve sledovaném období.

Pro zjednodušený výpočet investiční návratnosti kompenzačního rozvaděče se použije a upraví následující rovnice:

$$N_{str} = \left(1 + \frac{\text{přirážka}\%}{100}\right) \cdot B \cdot W_{str} \quad (4.7)$$

Kde:

B cena za elektrickou energii [Kč/kWh]

N_{str} náklady za odebranou el. energii včetně přirážky za nedodržení účinníku [Kč/měsíc]

W_{str} střední zatížení transformátoru [MWh/měsíc]

Zde se jedná o výpočet, který je vztahován na jeden měsíc průměrně odebrané elektrické energie.

Výpočet nákladů za elektrickou energii, včetně přirážek za nedodržení účinníku, bude následující:

Roční spotřebovaná el. energie $W_C = 254,588 \text{ MWh}$; střední spotřebovaná energie $W_{str} = 21,216 \text{ MWh/měsíc} = 21216 \text{ kWh/měsíc}$; cena za el. energii $B = 5,12 \text{ Kč/měsíc}$; přirážka% = 12,38%

Pro účinník $\cos \varphi = 0,8$ a přirážku% = 12,38%

$$N_{str0,8} = \left(1 + \frac{\text{přirážka}\%}{100}\right) \cdot B \cdot W_{str} = \left(1 + \frac{12,38}{100}\right) \cdot 5,12 \cdot 21216 = 122074 \text{ Kč/měsíc}$$

Pro účinník $\cos \varphi = 0,95$ a přirážku% = 0%

$$N_{str0,95} = \left(1 + \frac{\text{přirážka}\%}{100}\right) \cdot B \cdot W_{str} = \left(1 + \frac{0}{100}\right) \cdot 5,12 \cdot 21216 = 108626 \text{ Kč/měsíc}$$

Stanovení cenové přirážky c_p je rozdíl nákladů za el. energii $N_{str0,8}$ a $N_{str0,95}$.

$$c_p = N_{str0,8} - N_{str0,95} = 122074 - 108626 = 13448 \text{ Kč/měsíc}$$

Investiční návratnost NI se potom stanoví z ceny za kompenzační rozvaděč C_{KR} ku cenové přirážce c_p :

$$NI = \frac{C_{KR}}{c_p} \quad (4.8)$$

Výpočet pro kompenzační rozvaděč VARKOM B EV 100/16 bude následující:

$$C_{KR} = 44200 \text{ Kč}$$

$$NI = \frac{C_{KR}}{c_p} = \frac{44200}{13448} = 3,29 \text{ měsíců}$$

Z tohoto zjednodušeného výpočtu je možno říci, že návratnost investice do kompenzačního rozvaděče bude ve 3,29 měsících.

4.2.2 Zpřesněný výpočet investiční návratnosti

Zpřesněný výpočet se provádí nejen na základě procentních přírážek za nedodržení hodnoty účinnosti, ale také na základě nejvyšších čtvrt hodinových výkonů a znalosti cen za použití sítí, rezervovanou kapacitu a silovou elektřinu. Ty jsou zveřejněny v každoročním cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ). [32]

Pro výpočet cenové přírážky platí následující rovnice [32]:

$$c_p = [P_{max} \cdot c_{rk} \cdot u] + [(c_{ps} + c_{se}) \cdot u \cdot W] \quad (4.9)$$

Kde:

c_p	cenová přírážka [Kč]
P_{max}	nejvyšší naměřený čtvrt hodinový výkon za vyhodnocené období [MW]
c_{rk}	cena za rezervovanou kapacitu na příslušné napěťové hladině [Kč/MW]
u	procentní přírážka za nedodržení účinnosti [%/100]
c_{ps}	cena za použití sítí na příslušné napěťové hladině [Kč]
c_{se}	cena za silovou elektřinu podle cenového rozhodnutí ERÚ [Kč]
W	množství elektřiny za vyhodnocované období [MWh]

Jelikož v areálu není k dispozici měření nejvyššího čtvrt hodinového výkonu P_{max} , je tento údaj nahrazen výpočtovým zatížením P_p . Vzhledem k tomu, že odebraná elektrická energie W_C je měřena na sekundární straně transformátoru, musí být tato hodnota navýšena o 4% z důvodu činných ztrát na transformátoru. [32]

Potom výpočet bude následující:

Měsíční cena za roční rezervovanou kapacitu $c_{rkm} = 156625 \text{ Kč}/\text{MW}$; $u = 12,38\% \Rightarrow u = 0,1238$; $c_{ps} = 56,11 \text{ Kč}/\text{MWh}$; $c_{se} = 1205,98 \text{ Kč}/\text{MWh}$; [32]

$$P_{max} = P_p = 184,788 \text{ kW} = 184,788 \cdot 10^{-3} \text{ MW};$$

$$W = 1,04 \cdot W_C = 1,04 \cdot 254,588 = 264,772 \text{ MWh}$$

$$c_{rk} = c_{rkm} \cdot 12 = 156625 \cdot 12 = 1879500 \text{ Kč}/\text{MW}$$

$$\begin{aligned} c_p &= [P_{max} \cdot c_{rk} \cdot u] + [(c_{ps} + c_{se}) \cdot u \cdot W] = \\ &= [184,788 \cdot 10^{-3} \cdot 1879500 \cdot 0,1238] + [(56,11 + 1205,98) \cdot 0,1238 \cdot 264,772] = \\ &= 84366,62 \text{ Kč} \doteq 84367 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Vypočtená cenová přírážka je vztažena na celý rok. Potom investiční návratnost pro kompenzační rozvaděč VARKOM B EV 100/16 bude:

$$C_{KR} = 44200 \text{ Kč}$$

$$NI = \frac{C_{KR}}{c_p} = \frac{44200}{84367} = 0,524 \text{ roku} \Rightarrow 0,524 \cdot 12 = 6,288 \text{ měsíců}$$

Ze zpřesněného výpočtu je vidět, že investiční návratnost bude lehce přes půl roku.

Z toho vyplývá, že zjednodušený výpočet je velmi nepřesný, jestliže budou porovnány výsledky obou metod mezi sebou. V tomto případě je vhodné uplatnit zpřesněný výpočet, aby investor měl přesnější představu o době návratnosti investice do kompenzačního rozvaděče.

Záleží tedy na investorovi, jaký kompenzační rozvaděč zakoupí do areálu. Jeho rozhodnutí jsou ovlivněna všemi výše uvedenými aspekty, od volby výkonu kompenzačního rozvaděče, přes pořizovací cenu až po investiční návratnost.

Kapitola 5

Návrh záložního napájení

Jak již bylo naznačeno v předešlé kapitole, v podniku jsou nepřetržité provozy, u nichž výpadek elektrické energie má za následek velké finanční a také živočišné ztráty.

Tato kapitola se zabývá stupni dodávek zajištění elektrické energie do ZD Jivina, které se dělí právě na 3 stupně [1]:

1. **Dodávky 1. stupně** - jsou dodávky, které musí být zajištěny za všech okolností ze dvou nebo více na sobě nezávislých zdrojů. Jejich přerušení znamená ohrožení života nebo obrovské finanční a existenční ztráty, které značně převyšují náklady na zajištění dodávek 1. stupně.
2. **Dodávky 2. stupně** - tyto dodávky by měly být pokud možno zajištěny. Jejich přerušení představuje jen zmenšení nebo zastavení výroby bez ohrožení na životech nebo bez obrovských finančních a existenčních ztrát.
3. **Dodávky 3. stupně** - tyto dodávky nemusí být zajištěny pomocí zvláštních opatření, jelikož při jejich přerušení nedochází k žádným škodám nebo velkému zdržení a znehodnocení výroby.

5.1 Rozdělení provozů podle stupně zajištění dodávky

V tabulce 5.1 jsou rozděleny provozy podle stupňů zajištění dodávek elektrické energie. Z ní je vidět, že do první patří provozy s živočišnou výrobou, do druhé patří provozy s rostlinnou výrobou a do třetí jsou podpůrné provozy a administrativní budova.

U provozů v prvním stupni dodávky elektrické energie jsou velké finanční ztráty hlavně z důvodu úhynu drůbeže.

1. stupeň	2. stupeň	3. stupeň
Dojírna	Čistička	Čerpací stanice
Drůbežárna	Progres	Dílny
Kravín	Sušička	Kanceláře
Krůfárna	Seník	
OMD		

Tabulka 5.1: Rozdělení provozů do kategorií podle stupně dodávky

V tabulce 5.2 jsou vyčísleny ztráty v penězích při výpadku elektrické energie na jeden den. Nejvyšší ztráty jsou u krůt a kuřat, kde při výpadku elektrické energie přestanou pracovat ventilátory a vodní čerpadla na výměnu vody. Zde je hlavní riziko úhynu drůbeže udušením.

Produkt	Ztráty [Kč/den]
Mléko	80 000
Drůbež - kuřata	1 500 000
Drůbež - krůty	2 500 000

Tabulka 5.2: Ekonomické zhodnocení ztrát při výpadku elektrické energie na jeden den

Další vyčíslené ztráty jsou v mléce. To musí být chlazeno na určitou teplotu (cca 4 °C) a promícháváno. Jestliže je přerušena dodávka el. energie do dojírny, přestanou pracovat míchače a chlazení a tím se mléko znehodnotí a zkysne.

Z těchto důvodů je nutné zajistit dodávku elektrické energie záložním zdrojem. Vzhledem k tomu, že obec Jivina a areál ZD je napájen jen jedním přírodním VN vedením 22 kV z rozvodny v Mladé Boleslavi, nepřichází v úvahu záložní transformátor, ale jiný druh záložního napájení.

5.2 Volba záložního napájení

V tomto případě jsou vhodné záložní zdroje ve formě motorových agregátů u provozů v kategorii 1. stupně dodávky a alespoň jedné mobilní elektrocentrály pro ostatní provoz.

Jelikož kravín a dojírna jsou velmi blízko u sebe, mohou být napájeny z jednoho záložního zdroje, který je umístěn mezi budovami těchto provozů. Pro provoz dojírny,

kravína, drůbežárny a krůťárny, které mají velké výpočtové zatížení jsou vhodné venkovní zakapotované motorové agregáty. Pro provoz OMD je vzhledem k jeho malému výpočtovému zatížení postačující přenosná elektrocentrála.

Pro ostatní provozy 2. a 3. stupně dodávky je zvolena jedna mobilní elektrocentrála, jejíž výkon je volen podle největšího výpočtového zatížení z těchto provozů. V tomto případě má nejvyšší výpočtové zatížení provoz čističky se síly.

Provoz	P_p [kW]	S_p [kVA]	Výrobce	Typ	P_N [kW]	S_N [kVA]
Dojírna	81,55	101,94	FOGO-IVECO	FI130	104	130
Kravín	6,01	7,51				
OMD	4,39	5,49	FOGO-HONDA	FH7540R	6,3	7,8
Drůbežárna	42,07	52,59	FOGO-IVECO	FI60	48	60
Krůťárna	33,12	41,4	FOGO-IVECO	FI50	40	50
Ostatní (Čistička)	52	65	FOGO-IVECO	FI80	60	75

Tabulka 5.3: Záložní napájení provozů

V tabulce 5.3 jsou zvolené záložní zdroje napájení pro podnik. Všechny záložní zdroje, kromě jednoho, jsou poháněny dieslovým motorem od firmy IVECO. Elektrocentrála v OMD je s benzínovým motorem od firmy HONDA. Mobilní centrála pro provozy 1. a 2. stupně dodávky el. energie je postavená na homologovaném podvozku za automobil nebo za traktor a je zakapotovaná. [31]

Na trhu je mnoho elektrocentrál a dieselagregátů, v tabulce 5.3 jsou uvedeny jen příklady, které jsou vhodné vzhledem k výpočtovému zatížení provozů, je pouze na investorech, aby učinil poptávku a na základě nabídek mohl porovnat jejich ekonomickou výhodnost. Ta záleží na více faktorech, mezi nimiž je i spotřeba paliva, doba provozu a udávaná životnost.

Kapitola 6

Závěr

Cílem této práce byl kompletní návrh napájení a rozvodů pro celkovou modernizaci areálu zemědělského družstva v obci Jivina. Tato modernizace zahrnuje i výstavbu budovy dojírny, která v areálu dosud nebyla, proto je zde na místě kontrola kabelových rozvodů.

Ve druhé kapitole navrhuji na základě naměřených hodnot odebrané elektrické energie, výpočtového zatížení a ekonomické hospodárnosti napájecí transformátor o výkonu 250 kVA a redukovanými ztrátami $\Delta P_0 = 425W$ a $\Delta P_k = 3,25kW$. Jeho celkové náklady jsou ve srovnání s jinými navrhovanými transformátory a se stávajícím transformátorem nejnižší.

V další kapitole kontroluji a dimenzuji kabelové rozvody v areálu. Na modelovém příkladě bylo nutné, abych zkontroloval stávající napájecí kabel vedoucí ke kravínu, protože po přístavění dojírny bude zatížen vyšším proudem. Jak je z tohoto příkladu vidět, při kontrole jsem zjistil, že stávající kabel není vyhovující. Při volbě nového kabelu vycházím z výpočtového zatížení provozů, podmínek prostředí a uložení. Jestliže nový kabel vyhovuje, kontroluji jej také na ochranu proti přetížení, ochranu proti nebezpečnému dotyku a na tepelné účinky zkratových proudů. Tímto způsobem postupuji u všech kabelových vedení k podružným rozvaděčům v areálu. Dále jsem provedl návrh kabelů podle ekonomické hospodárnosti a citlivostní analýzu, kde ukazují, jestli průřez navrženého kabelu bude hospodárný na provoz i při změnách diskontních sazeb a cen elektřiny.

V této části také provádím kontrolu výpočtů programem SICHR od společnosti OEZ. Mnou vypočtené výsledky se liší jen velmi málo v řádech jednotek od výsledků vypočtených programem. Tento program volím také proto, že ve výpočtech používám produkty společnosti OEZ.

Při výměně kabelů není potřeba úpravy hlavního rozvaděče za transformátorem. Jeho

velikost odpovídá počtu jisticích přístrojů a vypínačů s rezervou, jelikož se uvažovalo o budoucím rozšíření areálu. Rozvaděč R8 u kravína je nutné vyměnit a vystavět novou kapličku z důvodu přistavění dojírny a jejího napájení z toho rozvaděče, protože ve stávajícím rozvaděči není dostatek místa pro připojení dalších přístrojů a vedení.

V následující kapitole zabývající se kompenzací účinníku v areálu jsem podle charakteru a velikosti podniku zvolil centrální kompenzaci. Tu jsem volil na základě maximálního a minimálního potřebného kompenzačního výkonu. Zde bych doporučil jeden ze dvou kompenzačních rozvaděčů VARKOM B EV 100/16 a F-KOM 99/9, které jsou nejvhodnější podle obecně vedené praxe, kdy se vypočtený kompenzační výkon navyšuje o 20 %, aby byla zajištěna správná kompenzace na požadovanou hodnotu účinníku.

A v poslední kapitole zvažuji záložní zdroj napájení. Jelikož do areálu vede jen jedno přívodní vedení VN, nepřipadá záložní transformátor v úvahu. Podle rozdělení provozů podle stupňů dodávek elektrické energie (tabulka 5.1) volím k provozům v prvním stupni samostatné dieselagregáty. Pro ostatní provozu navrhuji mobilní elektrocentrálu, která je volena podle nejvyššího zatížení v těchto provozech, které představuje zatížení čističky.

Literatura

- [1] Úřad pro normalizaci a měření, *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*, norma ČSN 34 1610, ÚNM Praha, 1963.
- [2] Český normalizační institut, *Zkratové proudy v trojfázových soustavách*, norma ČSN EN 60909-0, ČNI Praha, 2002.
- [3] Český normalizační institut, *Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 4: Bezpečnost - Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Norma ČSN 33 2000-4-41, ČNI Praha, 2000.
- [4] Český normalizační institut, *Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 4: Bezpečnost - Oddíl 43: Ochrana před nadproudy*. Norma ČSN 33 2000-4-43, ČNI Praha, 2010.
- [5] Český normalizační institut, *Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - Oddíl 523: Dovolené proudy v elektrických rozvodech*. Norma ČSN 33 2000-5-523, ČNI Praha, 1974.
- [6] Český normalizační institut, *Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů*. Norma ČSN 38 1754, ČNI Praha, 2002.
- [7] ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce, E.ON ČR, PRE Distribuce, ČEPS, ZSE, *Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie - Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*. Norma PNE 33 3430-0, 4. vydání, 2009.
- [8] Tesařová M., Štroblová M, *Průmyslová elektroenergetika*, ZČU Plzeň, 2000.
- [9] Froněk P. *Posouzení přesnosti určení ztrát výkonu a energie na transformaci v distribuční síti*. Diplomová práce, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2007

- [10] Pavlovský B., *Ztráty v přenosu a rozvodu elektrické energie*, SNTL Praha, 1959.
- [11] Hudeczek M., Santarius P., Pantůček E., Cichoň B., Satinský A., *CHRÁNĚNÍ I. - elektrická zařízení do 1000V*, IRIS Havířov, 2004.
- [12] Kříž M., *Dimenzování a jistění elektrických zařízení - tabulky a příklady*, IN-EL Praha, 2001
- [13] Korenc V., Holoubek J., *Kompensace jalového výkonu v praxi*, IN-EL Praha, 1999
- [14] OEZ kolektiv autorů, *Příručka elektrikáře*, OEZ.
- [15] Faltus I., *Příručka elektrotechnika - JISTÍCÍ PŘÍSTROJE I*, Letohrad, 2011.
- [16] Faltus I., *Příručka elektrotechnika - JISTÍCÍ PŘÍSTROJE II*, Letohrad, 2012.
- [17] Drtina R., Lokvenc J., Maněna V., *Elektrické rozvody v praxi*, Media4u Magazine Praha, 2009.
- [18] Drtina R., Lokvenc J., Maněna V., *Doplňující materiály k předmětu Technická praktika - elektro*, Media4u Magazine Praha, 2009
- [19] ZD Loukovec, *Soubor revizních zpráv pro budovy a provozy*, 2012
- [20] ČEZ Distribuce, a.s., *Pravidla provozování distribučních soustav*, 2011
- [21] Faltus I., Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů, *ELEKTRO*, 2010, roč. 2010, č. 5, s. 42-43.
- [22] Košťál J., Teplotní závislost odporu kovových vodičů, *ELEKTRO*, 2008, roč. 2008, č. 1, s. 22-23.
- [23] OEZ Kompaktní jističe Modeion, www.oez.cz [online]. [cit. 29.1.2014]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/ke-stazeni>
- [24] Státní správa zeměměřictví a katastru, www.cuzk.cz [online]. [cit. 14.1.2014]. Dostupné z: <http://geoportál.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [25] Mapy.cz, www.mapy.cz [online]. [cit. 11.3.2014]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#!x=14.991431&y=50.480562&z=10>
- [26] Ministerstvo práce a sociálních věcí, www.mpsv.cz [online]. [cit. 13.11.2013]. Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/cs/869>

- [27] Skupina ČEZ, www.cez.cz [online]. [cit. 13.11.2013]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/elektrina.html>
- [28] TRASFOR.CZ, www.trasfor.cz [online]. [cit. 15.11.2013]. Dostupné z: <http://www.trasfor.cz/ke-stazeni.php>
- [29] E-shop s elektroinstalačním materiálem, www.shopelektro.cz [online]. [cit. 2.2.2014]. Dostupné z: <http://www.shopelektro.cz/kabely/silove-kabely-pro-pevne-ulozeni-cyky,-ayky>
- [30] EMCOS s. r. o., www.emcos.cz [online]. [cit. 27.3.2014]. Dostupné z: http://www.emcos.cz/pdf/katkomp_KE-51-011-2012.pdf
- [31] BUNAT CZ s. r. o., <http://www.stroje-honda.cz/> [online]. [cit. 29.3.2014]. Dostupné z: <http://www.stroje-honda.cz/>
- [32] Energetický regulační úřad, <http://www.eru.cz/> [online]. [cit. 16.4.2014]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/480760/ERV8_2013titul_konec-fin.pdf/133bfd09-2f67-4a08-844f-7ffce87b082a

Přílohy

Příloha A

Soupis velkých strojů v areálu z dostupných štítkových hodnot

č.	Místo	Počet	U [V]	P [kW]	I [A]	cos φ
1	Sušička - motor venku	1	400	11	19,9	0,89
2	Sušička - dopravník (pod podlahou)	2	230/400	3	11,3/6,54	0,8
3	Sušička - lávka 1 a 2	3	230/400	2,2	9/5,22	0,74
4	Sušička - lávka 2	3	230/400	0,18	1,18/0,68	0,64
5	Čistička - skladovací věž 1 - 4	4	380-420	5,5	10,9	0,88
6	Čistička - dopravník	4	400/690	4	8,3/4,79	0,8
7	Dojírna - vývěva	1	230/400	12		
8	Dojírna - ventilace	4	230/400	4		
9	Dojírna - kompresor	1	230/400	3	11,1/6,4	0,82
10	Dojírna - vápka	1	400/3	5,5	11,4	
11	Dojírna - přiřaněč	1	230/400	2		
12	Dojírna - mixéry	3	230/400	1,1	4,25/2,45	0,8
13	Kravín - žlaby	8	230/400	0,515		
14	Seník - větráky	18	230/400	5,5		
15	Seník - jeřáb	1	230/400	10		
16	Čerpací stanice - čerpadlo 1	1	230/400	1,1		
17	Čerpací stanice - čerpadlo 2	1	230/400	4,4		

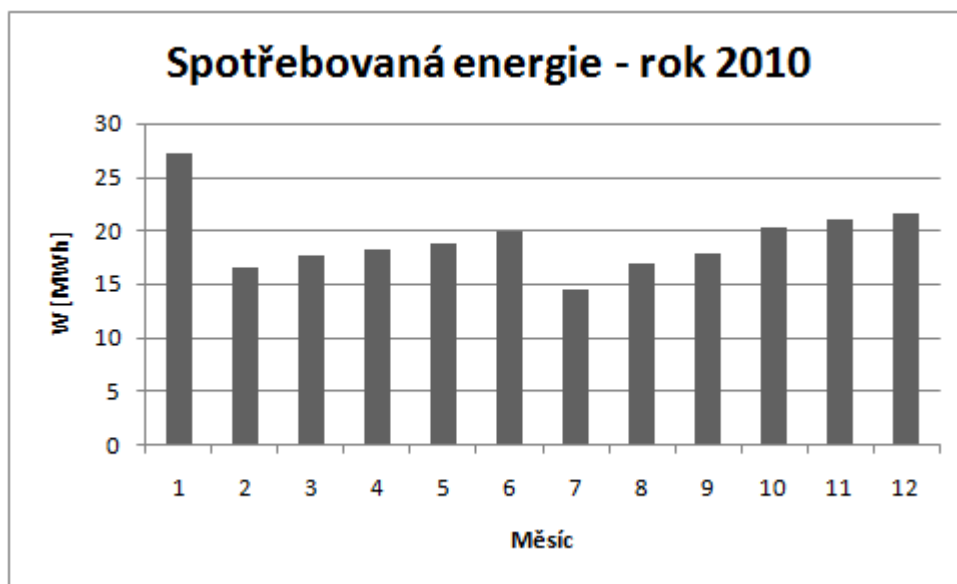
Tabulka 1: *Soupis motorů a jejich výkonů v areálu*

Pozn.: Nevyplněné kolonky v tabulce 1 \Rightarrow nečitelné štítkové hodnoty nebo štítek nebyl k dispozici.

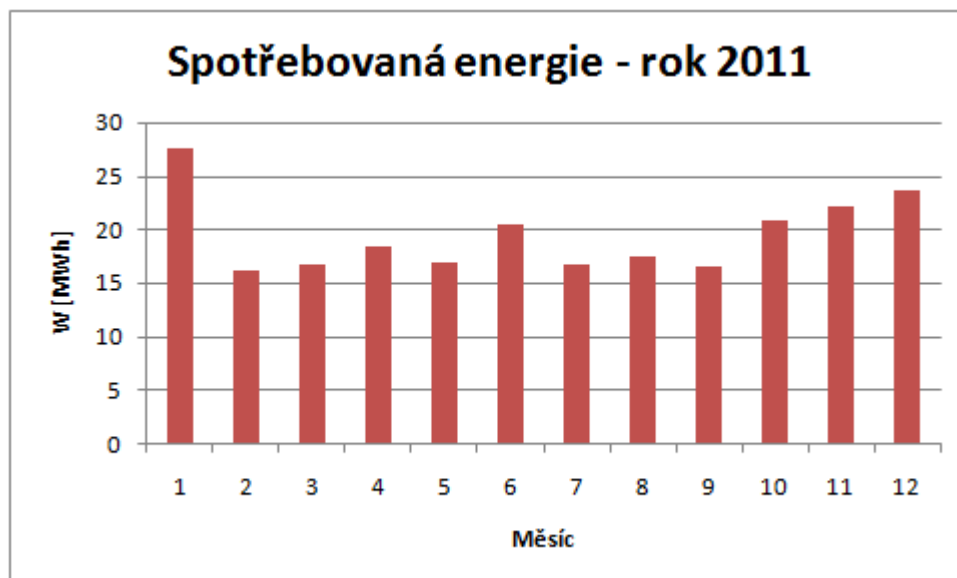
Naměřené hodnoty spotřebované elektrické energie + grafy

měsíc / rok	2012	2011	2010	2009	2008
1.	27,945	27,628	27,268	84,108	99,366
2.	16,853	16,154	16,474		
3.	18,293	16,598	17,688		
4.	18,879	18,31	18,19		
5.	16,679	16,928	18,688		
6.	17,786	20,4	19,9	124,778	113,742
7.	17,599	16,668	14,478		
8.	23,259	17,498	16,938		
9.	15,704	16,5	17,76		
10.	31,135	20,838	20,288		
11.	27,268	22,148	21,01		
12.	23,191	23,704	21,598		
celkem	254,588	233,374	230,28	208,886	213,108

Tabulka 2: Roční spotřebovaná elektrická energie podnikem v MWh



Obrázek 1: Graf spotřebované energie za rok 2010



Obrázek 2: Graf spotřebované energie za rok 2011

Příloha B

Katalogové listy jističů a kabelů

Katalogové listy kabelů AYKY a CYKY - KabloEnergó

Tab. 1 – Konstrukce jader • Construction of conductors

Průřez jader • Cross-sectional area of conductors (mm ²)	Nejméně počet drátů v jádrech [Al] • Min. number of wires in conductors [Al]	Nejméně počet drátů v jádrech [Cu] • Min. number of wires in conductors [Cu]	Odpor jader při 20 °C [Al] • Conductor resistance at 20 °C [Al] (Ω/km)	Odpor jader při 20 °C [Cu] • Conductor resistance at 20 °C [Cu] (Ω/km)
10	1	1	3,0960	1,8800
16	1	1	1,9350	1,1750
25	1	1 nebo/or 7	1,2384	0,7519
35	1	1 nebo/or 7	0,8846	0,5371
50	1	7	0,6192	0,3759
70	1	14	0,4423	0,2685
95	7	16	0,3259	0,1979
120	16	18	0,2580	0,1566
150	16	18	0,20640	0,12531
185	18	36	0,16735	0,10161
240	18	36	0,12900	0,07832

Tab. 2 – Tloušťka izolace • Thickness of insulation

Průřez jádra • Cross-sectional area of conductor (mm ²)	Jmenovitá tloušťka izolace • Nominal thickness of insulation (mm)	Minimální tloušťka izolace • Minimum thickness of insulation (mm)	Minimální izolační odpor při 70 °C • Minimum insulation resistance at 70 °C (MΩ·km)
10	1,0	0,8	0,0070
16	1,0	0,8	0,0058
25	1,2*	0,8	0,0049
35	1,2*	0,8	0,0042
50	1,4*	1,0	0,0043
Al 70	1,4*	1,0	0,0036
Cu 70	1,4*	1,0	0,0030
95	1,6*	1,2	0,0030
120	1,6*	1,2	0,0027
150	1,8*	1,4	0,0028
185	2,1*	1,6	0,0029
240	2,1*	1,6	0,0026

* hodnoty jsou pouze informativní • values are for information only

Tab. 4 – Jmenovitý proud I_N a časová oteplovací konstanta τ kabelu 1–AYKY, 1–AYKE
Rated current I_N and time warming constant τ of cables 1–AYKY and 1–AYKE

Průřez jádra + Cross-sectional area of conductor (mm ²)	Uložení v zemi dvě žíly zatíženy + Laying in the ground – two cores loaded	Uložení v zemi tři žíly zatíženy + Laying in the ground – three cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded
	I_{Nz} (A)	I_{Nz} (A)	I_{Nv} (A)	τ (s)	θ (°C)	I_{Nv} (A)	τ (s)	θ (°C)
10	75	63	54	565	59	45	565	59
16	97	81	73	675	95	61	680	59
25	125	103	93	995	59	78	995	59
35	150	125	114	1195	59	96	1195	59
50	177	147	139	1455	59	117	1455	59
70	219	183	178	1700	59	150	1700	59
95	259	216				182	1390	59
120	295	245				212	1490	59
150	333	278				245	1730	59
185	375	313				280	2050	59
240	432	359				330	2370	59

Tab. 5 – Jmenovitý proud I_N a časová oteplovací konstanta τ kabelu 1–CYKY, 1–CYKE
Rated current I_N and time warming constant τ of cables 1–CYKY and 1–CYKE

Průřez jádra + Cross-sectional area of conductor (mm ²)	Uložení v zemi dvě žíly zatíženy + Laying in the ground – two cores loaded	Uložení v zemi tři žíly zatíženy + Laying in the ground – three cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu dvě žíly zatíženy + Installation on air – two cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded	Uložení ve vzduchu tři žíly zatíženy + Installation on air – three cores loaded
	I_{Nz} (A)	I_{Nz} (A)	I_{Nv} (A)	τ (s)	θ (°C)	I_{Nv} (A)	τ (s)	θ (°C)
10	98	81	70	620	59	60	680	59
16	127	105			59	80	900	59
25	163	134				101	1160	59
35	195	161				126	1350	59
50	231	191				153	1550	59
70	286	236				196	1340	59
95	338	280				238	1650	59
120	384	317				276	1830	59
150	434	359				319	2150	59
185	488	401				364	2520	59
240	563	464				430	2910	59

Jmenovitý proud I_N

Pro hodnoty proudové zatížitelnosti platí tyto výchozí podmínky:

- Teplota jádra: +70 °C
- Teplota vzduchu: +30 °C
- Teplota země: +20 °C
- Hloubka uložení: 0,7 m

Měrný tepelný odpor:

- země 0,7 Km/W
- PVC 5,0 Km/W

Pro jiná prostředí, teploty a způsoby uložení platí přílohy jmenovitého proudu podle ČSN 33 2000-5-523.

Rated current I_N

These initial conditions are valid for values of rated current:

- Conductor temperature: +70 °C
- Air temperature: +30 °C
- Ground temperature: +20 °C
- Depth of laying: 0.7 m

Specific thermal resistivity:

- Ground 0.7 Km/W
- PVC 5.0 Km/W

Conversions of rated current according to ČSN 33 2000-5-523 should be used for other environments, temperatures and installation methods.

Obrázek 4: Jmenovitý proud I_N a oteplovací konstanta τ kabelu

Tab. 6 – Induktivní reaktance • Inductive reactance

Průřez jádra * Cross-sectional area of conductor	Induktivní reaktance (ωL) 2 a 3 žíly * Inductive reactance (ωL) 2 and 3 cores	Induktivní reaktance (ωL) 4 a 5 žíly * Inductive reactance (ωL) 4 and 5 cores	Průřez jádra * Cross-sectional area of conductor	Induktivní reaktance (ωL) 2 a 3 žíly * Inductive reactance (ωL) 2 and 3 cores	Induktivní reaktance (ωL) 4 a 5 žíly * Inductive reactance (ωL) 4 and 5 cores
(mm ²)	(Ω /km)	(Ω /km)	(mm ²)	(Ω /km)	(Ω /km)
10	0,087	0,095	95	0,074	0,082
16	0,082	0,090	120	0,073	0,081
25	0,081	0,089	150	0,073	0,081
35	0,078	0,086	185	0,073	0,081
50	0,078	0,086	240	0,073	0,080
70	0,075	0,083			

Číselné údaje jsou bez záruky a podléhají změnám bez předchozího oznámení.


Numerical data are not guaranteed, they are subjected to change without prior notice.

Obrázek 5: *Induktivní reaktance*


Katalogové listy jističů - OEZ

OEZ⁺
BC160N
Technické informace
Modeion

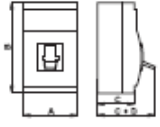
JISTIČE, ODPÍNAČE




Jistič



Jistič




Odpínač

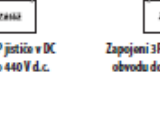


Odpínač


Rozměry



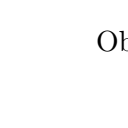
Montážní polohy







Zapojení 4P jističe v DC obvodu do 440 V d.c.




Zapojení 3P jističe v DC obvodu do 250 V d.c.



Parametry	JISTIČ		ODPÍNAČ	
	BC160NT...		BC160NT...-V	
Typ	NORMAL			
Řada	NORMAL			
Rozměry A x B x C + D (3P/4P provedení)	75/100x130x70+23mm		75/100x130x70+23mm	
Hmotnost (3P/4P provedení)	1/1,3 kg		1/1,3 kg	
Normy	ČSN EN 60947-2, IEC 60947-2		ČSN EN 60947-3, IEC 60947-3	
Certifikační značky	 		 	
Počet pólů	3, 4		3, 4	
Jmenovitý proud	I_n	16 ÷ 160 A ^{*)}	-	
Jmenovitý trvalý proud	I_{tr}	16 ÷ 160 A ^{*)}	160 A	
Jmenovitý pracovní proud	I_p	-	160 A	
Jmenovité pracovní napětí	U_n	max. 690 V a.c. max. 250 V d.c. (3P) max. 440 V d.c. (4P)	max. 690 V a.c. max. 250 V d.c. (3P) max. 440 V d.c. (4P)	
Jmenovitý kmitočet	f_n	50/60 Hz	50/60 Hz	
Jmenovité impulsní výžehné napětí	U_{imp}	8 kV	8 kV	
Jmenovité izolační napětí	U_i	690 V	690 V	
Kategorie síťi (selektivita)		A	-	
Kategorie síťi (režim spínání)		AC-3 (16 ÷ 100 A) AC-2 (125 ÷ 160 A) DC-22A	AC-23 A DC-22A	
Jmenovitý krátkodobý výžehný proud	I_{sc} / t	-	2 kA/1 s	
Jmenovitá mezí skratová vypínací schopnost (efektivní hodnota) ¹⁾	I_{sc} / U_n	6 kA/690 V a.c. 12 kA/500 V a.c. 25 kA/415 V a.c. 40 kA/230 V a.c. 25 kA/250 V d.c. t = max. 15 ms (3P) 20 kA/440 V d.c. t = max. 15 ms (4P)	-	
Doba při vypnutí t_{off}		7 ms	-	
Jmenovitá provozní skratová vypínací schopnost (efektivní hodnota)	I_{sc} / U_n	3 kA/690 V a.c. 6 kA/500 V a.c. 13 kA/415 V a.c. 20 kA/230 V a.c. 13 kA/250 V d.c. t = max. 10 ms (3P) 13 kA/440 V d.c. t = max. 10 ms (4P)	-	
Jmenovitá skratová zapínací schopnost (efektivní hodnota)	I_{sc} / U_n	52 kA/415 V a.c.	2,8 kA/415 V a.c.	
Ztráty na 1 pól při $I_n = 160$ A		15 W	15 W	
Mechanická trvanlivost		20 000 cyklů	20 000 cyklů	
Elektrická trvanlivost ($U_n = 415$ V a.c.)		6 000 cyklů	6 000 cyklů	
Hustota spínání		120 cyklů/hod	120 cyklů/hod	
Ovládací síla (3P/4P provedení)		55/65 N	55/65 N	
Krytí z jedné strany přístroje		IP40	IP40	
Krytí srozek		IP20	IP20	
Pracovní podmínky				
Referenční teplota okolí		40 °C	40 °C	
Rozsah teploty okolí		-40 °C ÷ +55 °C	-40 °C ÷ +55 °C	
Pracovní prostředí		suché a tropické klima	suché a tropické klima	
Klimatická odolnost		ČSN EN 60068	ČSN EN 60068	
Stupeň ochrany		3	3	
Max. nadmořská výška		2 000 m	2 000 m	
Seznamová odolnost		3g (8 ÷ 50) Hz	3g (8 ÷ 50) Hz	
Konstrukční modifikace				
Přívod - přední/zadní		•/•	•/•	
Odhmatelné provedení		-	-	
Výsavné provedení		-	-	
Příslušenství				
Spínače - pomocný/selativní/světelný/předstíhový		•/•/•/•	•/•/•/•	
Napěťová spojení/se signalačním spínačem		•/•	•/•	
Podpěťová spojení/s předstíh. spínačem/se signalačním spínačem		•/•/•	•/•/•	
Ruční (elektr. pohon) /boční pohon praxylisový		•/•/•	•/•/•	
Mechanické blokování/blokování /s ručním pohonem		-/•	-/•	
Motorný pohon/s počítadlem cyklů		•/•	•/•	
Uzamykací páka		•	•	

• je k dispozici, - není k dispozici, + připravuje se
¹⁾ - připoáčen připojení jističe (stápní svorky 2, 4, 6, výžehpní svorky 1, 3, 5) se I_{sc} nemění
²⁾ - rozsahy jmenovitých proudů se liší podle charakteristiky vzt. str. D17
 - jističe odpínače Modeion na str. 8


D15 

Obrázek 6: Jistič BC160N


OEZ[▲]
BD250N, BD250S
Technické informace
Modeion

JISTIČE, ODPÍNAČE

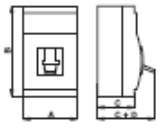
3P 4P




Jistič



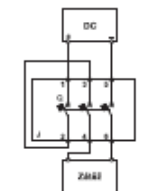
Odpínač



Rozměry



Montážní polohy - pevná, odnímatelná i výsvorná provedení



Zapojení odpínače pro DC obvody


Parametry	JISTIČ		ODPÍNAČ
Typ	BD250N, BD250S		
Rozměry A x B x C + D (3P/4P provedení)	105/140x225x105 + 43mm		105/140x225x105 + 43mm
Hmotnost (3P/4P provedení)	3 kg/4 kg		3 kg/4 kg
Normy	ČSN EN 60947-2, IEC 60947-2		ČSN EN 60947-3, IEC 60947-3
Certifikační značky			
Počet pólů	3, 4		3, 4
Jmenovitý proud	I_n	100, 160, 200, 250 A	-
Jmenovitý trvalý proud	I_{cs}	250 A	250 A
Jmenovitý pracovní proud	I_p	-	250 A
Jmenovité pracovní napětí	U_n	max. 690 V a.c.	max. 690 V a.c. max. 440 V d.c.
Jmenovitý kmitočet	f_n	50/60 Hz	50/60 Hz
Jmenovité impulzní výdržné napětí	U_{imp}	8 kV	8 kV
Jmenovité izolační napětí	U_i	690 V	690 V
Kategorie užiti (selektivita)		A	-
Kategorie užiti (režim spínání)		690 V a.c.	AC-23B
		440 V d.c.	DC-23B
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud při $U_n = 690$ V a.c.	I_{sc} / t	2,5 kA/1 s	3 kA/5 s
Rada	NORMAL BD250N	SUPERIOR BD250S	U_n
Jmenovité mezní zkratová vypínací schopnost (efektivní hodnota) ^{*)}	I_{cs}	60kA 36kA 16kA 10kA	230 V a.c. 415 V a.c. 500 V a.c. 690 V a.c.
Jmenovité provozní zkratová vypínací schopnost (efektivní hodnota)	I_{cs}	30kA 18kA 8kA 5kA	230 V a.c. 415 V a.c. 500 V a.c. 690 V a.c.
Jmenovité zkratová zapínací schopnost (vncholová hodnota)	I_{sc} / U_n	75kA	140kA 415 V a.c. 4 kA/415 V a.c. 4 kA/440 V d.c.
Doba vypnutí při I_{sc}		10 ms	-
Ztráty na 1 pól pevně / výsvorné provedení		18 W/25 W	18 W/25 W
Mechanická trvanlivost		30 000 cyklů	30 000 cyklů
Elektrická trvanlivost		3 000 cyklů	3 000 cyklů
Hustota spínání		120 cyklů/hod	120 cyklů/hod
Ovládací síla		80 N	80 N
Krytí z obou stran přístroje		IP40	IP40
Krytí svorek		IP20	IP20
Pracovní podmínky			
Referenční teplota okolí		40 °C	40 °C
Rozsah teploty okolí		-40 °C ~ +55 °C	-40 °C ~ +55 °C
Pracovní prostředí		suché a tropické klima	suché a tropické klima
Klimatická odolnost		ČSN EN 60668	ČSN EN 60668
Stupeň ochrany		3	3
Max. nadmořská výška		2 000 m	2 000 m
Setravná odolnost		3g (8 ~ 50) Hz	3g (8 ~ 50) Hz
Konstrukční modifikace			
Přívod - přední/zadní		•/•	•/•
Odnímatelné provedení 3P/4P		•/•	•/•
Výsvorné provedení 3P/4P		•/•	•/•
Příslušenství			
Spínač - pomocný/radenní/návěsto/předřadový		•/•/•/•	•/•/•/•
Napěťová spojič		•	•
Podpěťová spojič s předřadným spínačem		•/•	•/•
Ruční tělní pohon/sv. stavěcího pákou		•/•	•/•
Mechanické blokování bovlérem/A ručním pákou		•/•	•/•
Motorný pohon/s počítadlem cyklů		•/•	•/•
Uzámkovací páka		•	•
Přiborovací vložka (ruční/přídavný kryt nadproudové spojič)		•/•	•/•

• je k dispozici, - není k dispozici, + připojuje se
 *) při opačném připojení jističe (vstupní svorky 2, 4, 6, výstupní svorky 1, 3, 5) se I_{sc} nesmějí
 - jižní odpínač Modeion na str. 8


Obrázek 7: Jistič BD250N/S

OEZ[▲]
BH630N, BH630S
Technická informace
Modeion

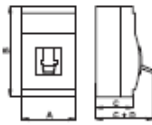
JISTIČE, ODPÍNAČE




Jistič



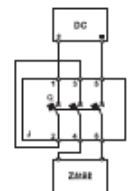
Odpínač



Rozměry



Montážní polohy - pevná, odnímatelná i výsuvná provedení



Zapojení odpiňača pro DC obvody

Parametry	JISTIČ		ODPÍNAČ
	BH630N, BH630S		
Typ	BH630N, BH630S		
Rozměry A x B x C + D (3P/4P provedení)	140/185 x 275 x 105 + 49 mm		140/185 x 275 x 105 + 49 mm
Hmotnost (3P/4P provedení)	5,47 / 6 kg		5,4 kg
Normy	ČSN EN 60947-2 EN 60947-2 IEC 60947-2	ČSN EN 60947-3 EN 60947-3 IEC 60947-3	
Certifikační značky			
Počet pólů	3, 4		3, 4
Jmenovitý proud	I_n	250, 315, 400, 500, 630 A	-
Jmenovitý trvalý proud	I_{tr}	630 A	630 A
Jmenovitý pracovní proud	I_p	-	630 A
Jmenovité pracovní napětí	U_n	max. 690 V a.c.	max. 690 V a.c. max. 440 V d.c.
Jmenovitá kmitočet	f_n	50/60 Hz	50/60 Hz
Jmenovité impulsní výřizné napětí	U_{imp}	8 kV	8 kV
Jmenovité izolační napětí	U_i	690 V	690 V
Kategorie užití (selektivita)		A	-
Kategorie užití (v režim spínání)		-	AC-23B DC-23B
Jmenovitý krátkodobý výřizný proud při $U_n = 690$ V a.c.	I_{sc} / t	8 kA/50 ms, 7 kA/300 ms, 6,5 kA/1 s	7,5 kA/5 s
řada		NORMAL BASIC	SUPERIOR BASIC
Jmenovitá mezi drátová vypínací schopnost (efektivní hodnota) ^{*)}	I_{sc}	60 kA 36 kA 20 kA 15 kA	230 V a.c. 415 V a.c. 500 V a.c. 690 V a.c.
Jmenovitá provozní drátová vypínací schopnost (efektivní hodnota)	I_{sc}	40 kA 18 kA 10 kA 8 kA	230 V a.c. 415 V a.c. 500 V a.c. 690 V a.c.
Jmenovitá drátová zapínací schopnost (inhobová hodnota)	I_{sc} / U_n	75 kA -	415 V a.c. 16 kA / 415 V a.c. 14 kA / 440 V d.c.
Doba vypnutí při I_{sc}		20 ms	-
Zrýchlost na 1 pól pevné/výsuvné provedení		75W/85W	75W/85W
Mechanická trvanlivost		20 000 cyklů	20 000 cyklů
Elektrická trvanlivost		5 000 cyklů	5 000 cyklů
Hurtota spínání		120 cyklů/hod	120 cyklů/hod
Ovládací síla		110 N	110 N
Krytí z obou stran přístroje		IP40	IP40
Krytí svorek		IP20	IP20
Pracovní podmínky			
Referenční teplota okolí		40 °C	40 °C
Rozsah teploty okolí		-40 -- +55 °C	-40 -- +55 °C
Pracovní prostředí		suché a tropické klima	suché a tropické klima
Klimatická odolnost		ČSN EN 60068	ČSN EN 60068
Stupeň ochrany		3	3
Max. nadmořská výška		2 000 m	2 000 m
Setrvačná odolnost		3g (8 - 50) Hz	3g (8 - 50) Hz
Konstrukční modifikace			
Přívod předstřihu		o/e	o/e
Odnímatelné provedení 3P/4P		o/e	o/e
Výsuvné provedení 3P/4P		o/e	o/e
Příslušenství			
Spínače - pomocný/relé/obložení/předstřihový		o/e/o/e	o/e/o/e
Napěťová spojit		•	•
Podpěťová spojit s předstřihovým spínačem		o/e	o/e
Ruční (čelní) pohon / se startovním pákou		o/e	o/e
Mechanický blokování / bovlěním / ručním pohonu		o/e	o/e
Motový pohon / s počítadlem cyklů		o/e	o/e
Uzamykací páka		•	•
Plombovací vložka / brzdový / přídatný levý nadprůhledový		o/e	o/e

• je k dispozici, - není k dispozici, + připravuje se
^{*)} - při opačném připojení jističe (výstupní svorky 2, 4, 6, výstupní svorky 1, 3, 5) se I_{sc} nemění
 - jističe odpiňača Modeion na str. 8

F15

Obrázek 8: Jistič BH630N/S

Výpočtový skript pro dimenzování - MATLAB

```
clear;
clc;
format short g;
fprintf('K1 - CISTICKA')
%K1 - CISTICKA: AYKY 3x120+70mm2
%PARAMETRY PRO DIMENZOvani
Ikzkrat = 8.795; %Zkratovy proud v A
Rsn=3.235*10(-3);
Xsn=2.259*10(-3);
RT=8.32*10(-3);
XT=24.21*10(-3);
Un = 400; %Jmenovite napeti ve V
f = 50; %frekvence v siti v Hz

tk = 0.01; %doba trvani zkratu nebo vypinaci cas jisticice v s
tki = 1; %doba trvani zkratu udana vyrobce m jisticice
%pro kratkodoby vydrzny proud

k1 = 1; %prepocitavaci soucinitel podle Mtp a druhu kabelu
k2 = 1; %prepocitavaci soucinitel podle teploty prostredi
%a dovolene provozni teploty jadra
k3 = 0.85; %prepocitavaci soucinitel podle ulozeni v trubkach
%(pocet a jak jsou u sebe a dotykaji se)
K = 73; %koeficient pro tepel. ucinky zkrat. proudu
%- podle provoz. teploty, materialu vodice a izolace

ROk = 0.0285; %rezistivita kabelu pro Al nebo Cu
In = 245; %jmenovity proud kabelu
Rk = 0.258; %odpor kabelu Ohm/km
Xk = 0.081; %reaktance kabelu Ohm/km
Skabel = 120; %prurez kabelu v mm2
Spe = 70; %prurez ochraneho vodice kabelu v mm2
l = 0.096; %delka kabelu v km
```

```
tau = 1490;          %casova oteplovací konstanta kabelu v s
RkPE =0.4423;       %odpor vodice PE kabelu v Ohm/km
XkPE =0.083;        %reaktance vodice PE kabelu v Ohm/km
alpha20 = 3.77*10(-3); %teplotni soucinitel pro Cu nebo Al pri 20°C v K(-1)

COSfistr = 0.8;      %stredni ucinik
SINfistr = 0.6;      %sinova hodnota ze stredniho uciniku

Pi = 65*103;        %instalovany vykon
beta = 0.8;          %cinitel narocnosti
Rczkrat = Rsnn+RT;   %celkový odpor vedeni do mista zkratu
Xczkrat= Xsnn+XT;    %celkova reaktance vedeni do mista zkratu

%PARAMETRY PRO OVERENI JISTENI PROTI PRETIZENI JISTICE A KABELU
Ij = 100;            %jmenovity nebo regulovany proud jistice
THETAm = 70;         %nejvyssi provozni teplota vodice
THETAo = 20;         %zakladni teplota okolniho prostredi
deltaTHETAz = THETAm - THETAo; %maximalni dovolene otepleni
%casý vypnuti jistice pri danem nadproudu v sekundach
t1 = 2658;
t2 = 2382;
t3 = 2184;
t4 = 2094;
t5 = 1614;
t6 = 282;
t7 = 78;
t8 = 26;
t9 = 0.019;
%Nadproudy - nasobky Ij
I1 = 1.15;
I2 = 1.2;
I3 = 1.25;
I4 = 1.3;
I5 = 1.5;
I6 = 2;
```

I7 = 2.5;

I8 = 3;

I9 = 5;

%PARAMETRY PRO OVERENÍ OCHRANY PROTI NEBEZPEČNEMU DOTYKU - DO 50V A DO 5s

Ia = 402; %proud z vypinací charakteristiky jistice pro 5s

Uo = 230;

%VÝPOČET VÝPOČTOVÉHO PROUDU Ip A DOVOLENEHO PROUDU Iz

Pp = Pi * beta

Ip = Pp / (sqrt(3) * Un * COSfistr)

Iz = k1 * k2 * k3 * In

%VÝPOČET KOEFICIENTU kappa PRO VÝPOČET NARAZOVÉHO PROUDU ip

%A KOEFICIENTU m

kappa = 1.02 + 0.98*exp((-3)*(Rczkrat/Xczkrat))

%VÝPOČET NARAZOVÉHO PROUDU ip PRO PODMINKY JISTENÍ

ip = kappa * sqrt(2) * Ikzkrat

%KONTROLA NA PRUREZ A OTEPLOVACÍ ÚČINKY ZKRATU NA VODIC

n = 1

%n je přepočítávací koeficient podle Ikzkrat/Ik,

%kde Ik je ustálený zkrat. proud je stejný jako Ikzkrat - vzdálený zkrat

m = (1/(2*f*tk*log(kappa-1)))*((exp(4*f*tk*log(kappa-1)))-1)

%m přepočítávací koeficient pro Ith - ekvivalentní oteplovací proud

%Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu Ith

Ith = Ikzkrat * sqrt(m+n)

%Kontrola na průřez

Smin = (Ith * 10³ * sqrt(tk) / K)

%Vztahování Ith na dobu trvání zkratu pro splnění podmínky I_{cwi} > I_{thi},

%I_{cwi} je udán výrobcem jisticu, kde i=1 nebo 2 s

$$I_{thi} = I_{th} * \sqrt{t_k/t_{ki}}$$

%KONTRLA NA UBYTEK NAPETI

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= 1.2 * R_k * l * I_p * \cos \varphi_{istr} + X_k * l * I_p * \sin \varphi_{istr} && \% \text{ubyték fazoveho napeti ve V} \\ d &= ((\sqrt{3}) * \Delta U_f) / U_n * 100 && \% \text{ubyték napeti v \%} \end{aligned}$$

%OVERENI JISTENI PROTI PRETIZENI PRO ZVOLENY JISTIC

%pro zatizeni proudem I_p

$$\Delta \theta_{Ao} = \Delta \theta_{Az} * (I_p / I_z)^{2.492}$$

$$T_{co} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{Ao}$$

%pro nadproudy - nasobky I_j

$$\Delta \theta_{A1} = \Delta \theta_{Az} * (((I_1 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_1 / \tau));$$

$$T_{c1} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A1};$$

$$\Delta \theta_{A2} = \Delta \theta_{Az} * (((I_2 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_2 / \tau));$$

$$T_{c2} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A2};$$

$$\Delta \theta_{A3} = \Delta \theta_{Az} * (((I_3 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_3 / \tau));$$

$$T_{c3} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A3};$$

$$\Delta \theta_{A4} = \Delta \theta_{Az} * (((I_4 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_4 / \tau));$$

$$T_{c4} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A4};$$

$$\Delta \theta_{A5} = \Delta \theta_{Az} * (((I_5 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_5 / \tau));$$

$$T_{c5} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A5};$$

$$\Delta \theta_{A6} = \Delta \theta_{Az} * (((I_6 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_6 / \tau));$$

$$T_{c6} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A6};$$

$$\Delta \theta_{A7} = \Delta \theta_{Az} * (((I_7 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_7 / \tau));$$

$$T_{c7} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A7};$$

$$\Delta \theta_{A8} = \Delta \theta_{Az} * (((I_8 * I_j) / I_z)^{2.492}) * (1 - \exp(-t_8 / \tau));$$

$$T_{c8} = \theta_{Ao} + \Delta \theta_{A8};$$


```

deltaTHETA9 = deltaTHETAz * (((I9 * Ij) / Iz)^2.492) * (1 - exp(-t9 / tau));
Tc9 = THETAo + deltaTHETA9;

Nadproudy = [I1 * Ij; I2 * Ij; I3 * Ij; I4 * Ij; I5 * Ij; I6 * Ij;
             I7 * Ij; I8 * Ij; I9 * Ij];
ti = [t1; t2; t3; t4; t5; t6; t7; t8; t9];
deltaTHETA = [deltaTHETA1; deltaTHETA2; deltaTHETA3; deltaTHETA4;
             deltaTHETA5; deltaTHETA6; deltaTHETA7; deltaTHETA8; deltaTHETA9];
Tc = [Tc1; Tc2; Tc3; Tc4; Tc5; Tc6; Tc7; Tc8; Tc9];
tabulka = [Nadproudy, ti, deltaTHETA, Tc];
%Tabulka vypoctenych a dosazenych hodnot pro overeni proti pretizeni
% obrazovka
fprintf('%10s\t%10s\t%10s\t%10s\n', 'I [A]', 'tvyp [s]', 'DeltaTHETA [°C]',
        'Tc [°C]');
for radek = 1:size(tabulka,1)
    for sloupec = 1:size(tabulka,2)
        fprintf('%10.4f', tabulka(radek,sloupec));
        if (sloupec ~= size(tabulka,2))
            fprintf('\t');
        end
    end
    fprintf('\n');
end

% soubor csv (pro Excel)
soubor = fopen('K1_Cisticka_dTHETA.csv', 'w');
fprintf(soubor,'%s;%s;%s;%s\n', 'I [A]', 'tvyp [s]', 'DeltaTHETA [°C]',
        'Tc [°C]');
for radek = 1:size(tabulka,1)
    for sloupec = 1:size(tabulka,2)
        fprintf(soubor,'%10.4f', tabulka(radek,sloupec));
        if (sloupec ~= size(tabulka,2))
            fprintf(soubor, ';');
        end
    end
end

```

```

end
fprintf(soubor, '\n');
end
fclose(soubor);

%VYPOCET OCHRANY PROTI NEBEZPECNEMU DOTYKU - DO 50V A 5s
Zs = Uo / (Ia * 1.1)           %poruchova impedancni smycka
lmax = (0.8 * Uo * Skabel) / (1.5 * ROk * (1 + (Skabel/Spe)) * (Ia*1.1))
%lmax je maximalni delka poruchove smycky v metrech;
rtheta = 1+ alpha20*(THETAm - THETAo) %Konstatna pro vypocet zmeny odporu
%vodice pro danou teplotu
Zsv = sqrt(((Rczkrat+rtheta*1*(Rk+RkPE))^2)+((Xczkrat+1*(Xk+XkPE))^2))
%Zsv je poruchova smycka pro dany kabel

```

Tabulky vypočtených hodnot pro kontrolu a dimenzování kabelů

K1 - Čistička: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 0,85$; Modeion BD250N

Kabel K1 - Čistička: Návrh jističe, spočtené parametry

I_k'' [kA]	\leq	I_{CS} [kA]	\leq	I_{CU} [kA]
8,795		18		36
P_p [kW]		κ [-]		
52		1,285		
I_p [A]	\leq	I_{PN} [A]	\leq	I_Z [A]
93,819		100		208,25
i_p [kA]	\leq	I_{cm} [kA]		
15,977		75		
$I_{th,1}$ [kA]	\leq	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
1,157		2,5	$t_k = 1s$	

Kabel K1 - Čistička: Kontrola na tepelné účinky I_k^{II} a průřez kabelu

n	m	$I_{th}[\text{kA}]$	$S_{min}[\text{mm}^2]$	\leq	$S[\text{mm}^2]$
1	0,731	11,572	15,852		120

Kabel K1 - Čistička: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f[\text{V}]$	$d[\%]$	\leq	$d_z[\%]$
2,669	1,156		5

Kabel K1 - Čistička: ověření jistění proti přetížení

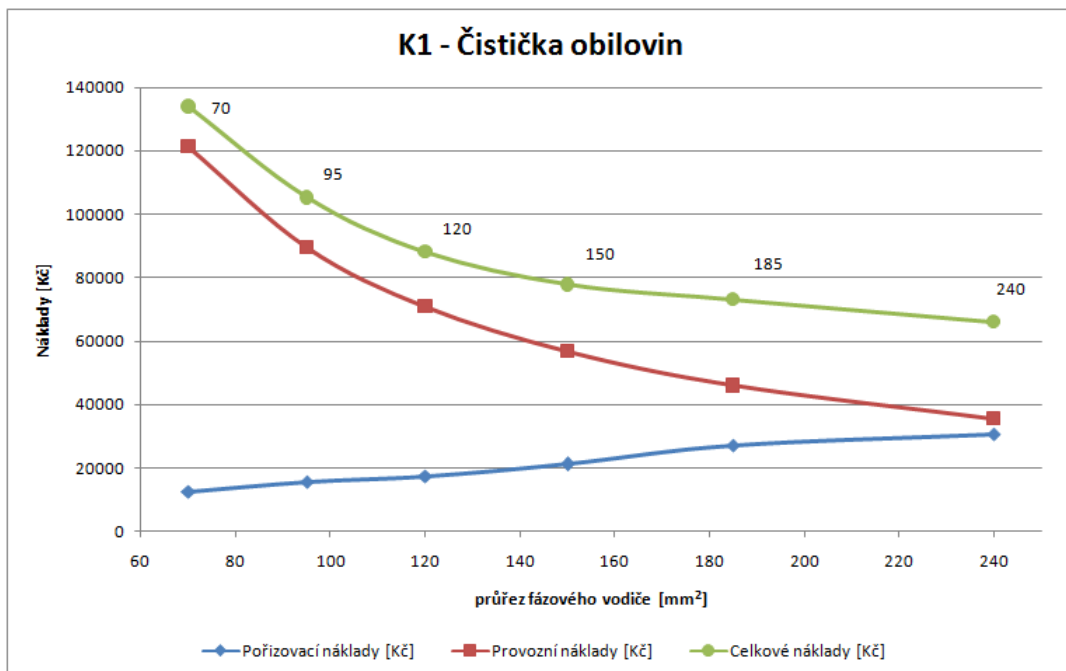
Pro výpočtový proud:				
$I_p[\text{A}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$		
93,819	6,855	26,855		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	$I [\text{A}]$	$t_{vyp}[\text{s}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$
1,15	115	2658	9,472	29,472
1,2	120	2382	10,099	30,099
1,25	125	2184	10,778	30,778
1,3	130	2094	11,663	31,663
1,5	150	1614	14,602	34,602
2	200	282	7,795	27,795
2,5	250	78	4,021	24,021
3	300	26	2,148	22,148
5	500	0,019	0,006	20,006

Kabel K1 - Čistička: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

$I_i[\text{A}]$	$\bar{Z}_{sv} [m\Omega]$	\leq	$\bar{Z}_s [m\Omega]$	$l[\text{m}]$	\leq	$l_{max}[\text{m}]$
402	100,73		520,13	50		430,32

Kabel K1 - Čistička: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K1 k čističce obilovin				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Požizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x70	70	12 576	121 387	133 963
3x95+70	95	15 648	89 490	105 138
3x120+70	120	17 280	70 785	88 065
3x150+70	150	21 120	56 706	77 826
3x185+95	185	27 168	45 975	73 143
3x240+120	240	30 528	35 441	65 969



Obrázek 9: Graf porovnání nákladů kabelu K1 k čističce pro různé průřezy

K2 - Kanceláře: CYKY 4x10mm²

$k_3 = 0,65$; $K = 114$ (PVC, Cu); Modeion BC160N

Kabel K2 - Kanceláře: Návrh jističe, spočtené parametry

$I_k^{//} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CS} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CU} [\text{kA}]$
8,795		13		25
$P_p [\text{kW}]$		$\kappa [-]$		
8,93		1,285		
$I_p [\text{A}]$	\leq	$I_{PN} [\text{A}]$	\leq	$I_Z [\text{A}]$
16,112		20		52,65
$i_p [\text{kA}]$	\leq	$I_{cm} [\text{kA}]$		
15,977		52		
$I_{th,1} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CW} [\text{kA}]$	Vztaženo na	
-		neuveдена	$t_k = 1s$	

Kabel K2 - Kanceláře: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	$I_{th} [\text{kA}]$	$S_{min} [\text{mm}^2]$	\leq	$S [\text{mm}^2]$
1	0,941	12,253	8,993		10

Kabel K2 - Kanceláře: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f [\text{V}]$	$d [\%]$	\leq	$d_Z [\%]$
4,2	1,819		5

Kabel K2 - Kanceláře: ověření jištění proti přetížení

Pro výpočtový proud:				
I_p [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
16,112	2,615	22,615		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	23	10080	6,349	26,349
1,2	24	10080	7,059	27,059
1,25	25	2598	7,643	27,643
1,3	26	1686	7,895	27,895
1,5	30	420	5,672	25,672
2	40	132	4,448	24,448
2,5	50	66	4,066	24,066
3	60	38	3,764	23,764
5	100	12	4,326	24,326
10	200	3,5	7,143	27,143

Kabel K2 - Kanceláře: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	\leq	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
161	643,32		1,299	140		194,56

Pozn.: Ekonomická optimalizace není potřeba. Cena měděných vodičů je velmi vysoká a daleko převyšuje provozní náklady. \Rightarrow navržený průřez je nejvýhodnější

K3 - Čerpací stanice: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 0,85$; Modeion BC160N

Kabel K3 - Čerpací stanice: Návrh jističe, spočtené parametry

$I_k^{//} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CS} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CU} [\text{kA}]$
8,795		13		25
$P_p [\text{kW}]$		$\kappa [-]$		
2,16		1,285		
$I_p [\text{A}]$	\leq	$I_{PN} [\text{A}]$	\leq	$I_Z [\text{A}]$
3,898		16		208,25
$i_p [\text{kA}]$	\leq	$I_{cm} [\text{kA}]$		
15,977		52		
$I_{th,1} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CW} [\text{kA}]$	Vztaženo na	
-		neuveдена	$t_k = 1s$	

Kabel K3 - Čerpací stanice: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	$I_{th} [\text{kA}]$	$S_{min} [\text{mm}^2]$	\leq	$S [\text{mm}^2]$
1	0,941	12,253	14,043		120

Kabel K3 - Čerpací stanice: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f [\text{V}]$	$d [\%]$	\leq	$d_Z [\%]$
0,167	0,073		5

Kabel K3 - Čerpací stanice: ověření jistění proti přetížení

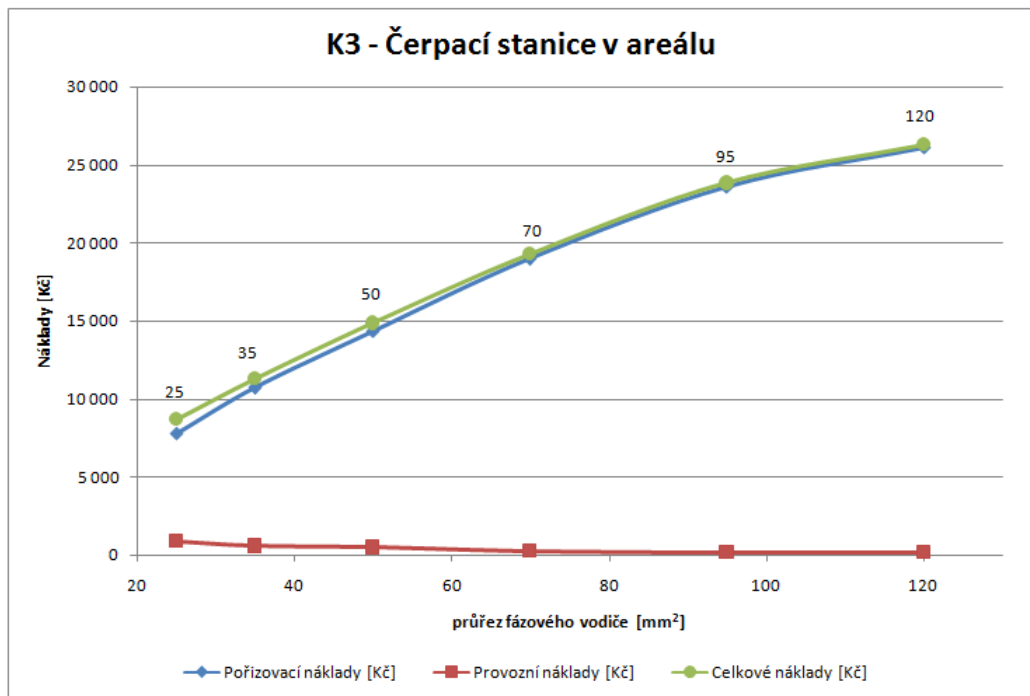
Pro výpočtový proud:				
I_p [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
3,898	0,002	20,002		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	18,4	10080	0,118	20,118
1,2	19,2	10080	0,131	20,131
1,25	20	2490	0,118	20,118
1,3	20,8	2382	0,128	20,128
1,5	24	420	0,056	20,056
2	32	120	0,036	20,036
2,5	40	60	0,032	20,032
3	48	40	0,034	20,034
5	80	13	0,04	20,04

Kabel K3 - Čerpací stanice: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [$m\Omega$]	\leq	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
130	141,46		1,608	145		1330,7

Kabel K3 - Čerpací stanice: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K3 k čerpací stanici				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x25	25	7 830	886	8 716
4x35	35	10 730	591	11 320
4x50	50	14 355	492	14 847
4x70	70	18 995	295	19 290
3x95+70	95	23 635	197	23 831
3x120+70	120	26 100	197	26 296



Obrázek 10: Graf porovnání nákladů kabelu K3 k čerpací stanici pro různé průřezy

Vzhledem k výpočtovému zatížení, charakteru provozu, uložení a ekonomické hospodárnosti je vhodnější volbou kabel **AYKY 4x70mm²**:

Kabel K3 - Čerpací stanice: Podmínka jistění u nového kabelu

I_p [A]	\leq	I_{PN} [A]	\leq	I_Z [A]
3,898		16		155,55

Kabel K3 - Čerpací stanice: Kontrola na úbytek napětí na vodiči pro nový kabel

ΔU_f [V]	d [%]	\leq	d_Z [%]
0,268	0,116		5

Kabel K3 - Čerpací stanice: ověření jistění proti přetížení pro nový kabel

Pro výpočtový proud:				
I_{NP} [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
3,898	0,005	20,005		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	18,4	10080	0,244	20,244
1,2	19,2	10080	0,271	20,271
1,25	20	2490	0,232	20,232
1,3	20,8	2382	0,25	20,25
1,5	24	420	0,104	20,104
2	32	120	0,066	20,066
2,5	40	60	0,059	20,059
3	48	40	0,062	20,062
5	80	13	0,073	20,073

Kabel K3 - Čerpací stanice: Ochrana proti nebezpečnému dotyku pro nový kabel

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	≤	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	≤	l_{max} [m]
130	171,61		1,608	145		1053,4

K4 - Progres: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 0,65$; Modeion BH630N

Kabel K4 - Progres: Návrh jističe, spočtené parametry

I_k [kA]	≤	I_{CS} [kA]	≤	I_{CU} [kA]
8,795		18		36
P_p [kW]		κ [-]		
31,194		1,285		
I_p [A]	≤	I_{PN} [A]	≤	I_Z [A]
56,28		100		159,25
i_p [kA]	≤	I_{cm} [kA]		
15,977		75		
$I_{th,1}$ [kA]	≤	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
1,469		6,5	$t_k = 1s$	

Kabel K_4 - Progres: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	$I_{th}[\text{kA}]$	$S_{min}[\text{mm}^2]$	\leq	$S[\text{mm}^2]$
1	0,395	10,388	20,125		120

Kabel K_4 - Progres: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f[\text{V}]$	$d[\%]$	\leq	$d_z[\%]$
1,834	0,794		5

Kabel K_4 - Progres: ověření jistění proti přetížení

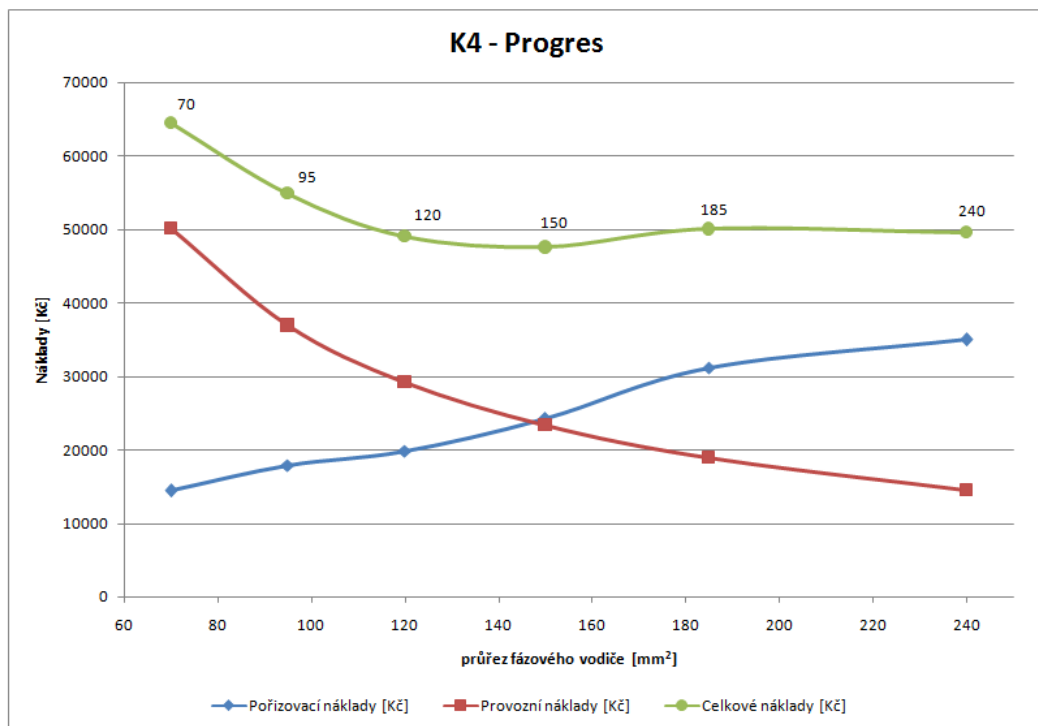
Pro výpočtový proud:				
$I_p[\text{A}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$		
56,28	3,744	23,744		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	$I [\text{A}]$	$t_{vyp}[\text{s}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$
1,15	115	2598	18,33	38,33
1,2	120	2490	20,056	40,056
1,25	125	2280	21,426	41,426
1,3	130	2094	22,757	42,757
1,5	150	1614	28,493	48,493
2	200	282	15,211	35,211
2,5	250	78	7,846	27,846
3	300	25	4,032	24,032
5	500	0,038	0,022	20,022

Kabel K_4 - Progres: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

$I_i[\text{A}]$	$\bar{Z}_{sv} [m\Omega]$	\leq	$\bar{Z}_s [m\Omega]$	$l[\text{m}]$	\leq	$l_{max}[\text{m}]$
402	112,31		520,13	110		430,32

Kabel K4 - Progres: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K4 k progresu				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x70	70	14 410	50 110	64 520
3x95+70	95	17 930	36 918	54 848
3x120+70	120	19 800	29 239	49 039
3x150+70	150	24 200	23 332	47 532
3x185+95	185	31 130	18 902	50 032
3x240+120	240	34 980	14 570	49 550



Obrázek 11: Graf porovnání nákladů kabelu K4 k progresu pro různé průřezy

K41 - Sušička: CYKY J4x70mm² $k_3 = 1$; Modeion BC160N*Kabel K41 - Sušička: Návrh jističe, spočtené parametry*

$I_k^{//} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CS} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CU} [\text{kA}]$
4,823		13		25
$P_p [\text{kW}]$		$\kappa [-]$		
0,0256		1,053		
$I_p [\text{mA}]$	\leq	$I_{PN} [\text{A}]$	\leq	$I_Z [\text{A}]$
46,188		16		196
$i_p [\text{kA}]$	\leq	$I_{cm} [\text{kA}]$		
7,183		52		
$I_{th,1} [\text{kA}]$	\leq	$I_{CW} [\text{kA}]$	Vztaženo na	
-		neuveдена	$t_k = 1s$	

Kabel K41 - Sušička: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	$I_{th} [\text{kA}]$	$S_{min} [\text{mm}^2]$	\leq	$S [\text{mm}^2]$
1	0,479	5,865	6,722		70

Kabel K41 - Sušička: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f [\text{V}]$	$d [\%]$	\leq	$d_Z [\%]$
0,001	0,0005		5

Kabel K41 - Sušička: ověření jistění proti přetížení

Pro výpočtový proud:				
I_p [mA]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
41,188	$3,646 \cdot 10^{-8}$	30		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	18,4	10080	0,11	30,11
1,2	19,2	10080	0,122	30,122
1,25	20	2490	0,114	30,114
1,3	20,8	2382	0,124	30,124
1,5	24	420	0,057	30,057
2	32	120	0,037	30,037
2,5	40	60	0,033	30,033
3	48	40	0,035	30,035
5	80	13	0,041	30,041

Kabel K41 - Sušička: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	≤	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	≤	l_{max} [m]
130	160,17		1,608	75		1686,7

K42 - Dílny: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 1$; Modeion BD250N

Kabel K42 - Dílny: Návrh jističe, spočtené parametry

I_k [kA]	≤	I_{CS} [kA]	≤	I_{CU} [kA]
4,823		18		36
P_p [kW]		κ [-]		
24,928		1,053		
I_p [mA]	≤	I_{PN} [A]	≤	I_Z [A]
44,976		48		245
i_p [kA]	≤	I_{cm} [kA]		
7,183		75		
$I_{th,1}$ [kA]	≤	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
0,558		2,5	$t_k = 1s$	

Kabel K42 - Dílny: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	I_{th}[kA]	S_{min}[mm²]	\leq	S[mm²]
1	0,34	5,583	7,647		120

Kabel K42 - Dílny: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

ΔU_f[V]	d[%]	\leq	d_z[%]
1,333	0,577		5

Kabel K42 - Dílny: ověření jistění proti přetížení

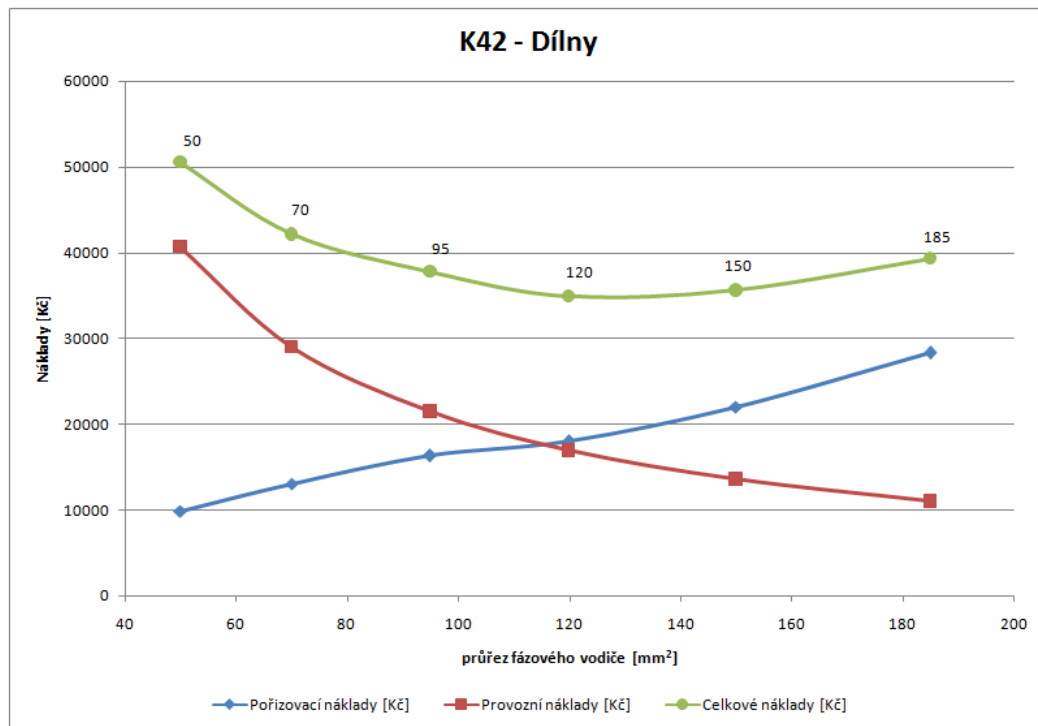
Pro výpočtový proud:				
I_p[mA]	$\Delta\vartheta$[K]	t_c[°C]		
41,188	0,732	20,732		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp}[s]	$\Delta\vartheta$[K]	t_c[°C]
1,15	55,2	2718	1,022	21,022
1,2	57,6	2490	1,101	21,101
1,25	60	2280	1,176	21,176
1,3	62,4	2094	1,249	21,249
1,5	72	1476	1,486	21,486
2	96	402	1,145	21,145
2,5	120	72	0,398	20,398
3	144	25	0,221	20,221
5	240	0,019	0,001	20,001

Kabel K42 - Dílny: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i[A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	\leq	\bar{Z}_s [Ω]	l[m]	\leq	l_{max}[m]
192	196,04		1,089	100		900,98

Kabel K42 - Dílny: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K42 k dílnám				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x50	50	9 900	40 659	50 559
4x70	70	13 100	29 042	42 142
3x95+70	95	16 300	21 461	37 761
3x120+70	120	18 000	16 933	34 933
3x150+70	150	22 000	13 586	35 586
3x185+95	185	28 300	11 026	39 326



Obrázek 12: Graf porovnání nákladů kabelu K42 k dílnám pro různé průřezy

K5 - Seník: AYKY 3x120+70mm² $k_3 = 0,65$; Modeion BD250N*Kabel K5 - Seník: Návrh jističe, spočtené parametry*

$I_k^{//}[\text{kA}]$	\leq	$I_{CS}[\text{kA}]$	\leq	$I_{CU}[\text{kA}]$
8,795		18		36
$P_p[\text{kW}]$		$\kappa[-]$		
46,55		1,285		
$I_p[\text{mA}]$	\leq	$I_{PN}[\text{A}]$	\leq	$I_Z[\text{A}]$
83,986		100		159,25
$i_p[\text{kA}]$	\leq	$I_{cm}[\text{kA}]$		
15,977		75		
$I_{th,1}[\text{kA}]$	\leq	$I_{CW}[\text{kA}]$	Vztaženo na	
1,157		2,5	$t_k = 1s$	

Kabel K5 - Seník: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	$I_{th}[\text{kA}]$	$S_{min}[\text{mm}^2]$	\leq	$S[\text{mm}^2]$
1	0,731	11,572	15,852		120

Kabel K42 - Dílny: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f[\text{V}]$	$d[\%]$	\leq	$d_Z[\%]$
1,493	0,646		5

Kabel K5 - Seník: ověření jistění proti přetížení

Pro výpočtový proud:			
I_p [mA]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]	
83,986	10,151	30,151	

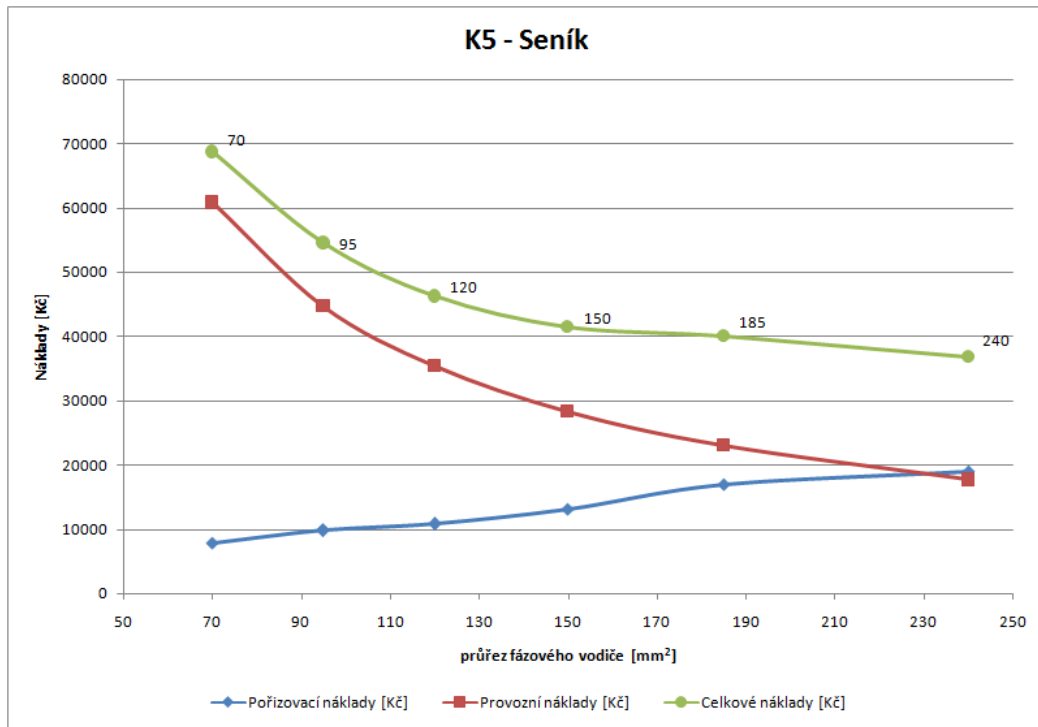
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	115	2658	18,483	38,483
1,2	120	2382	19,707	39,707
1,25	125	2184	21,032	41,032
1,3	130	2094	22,757	41,757
1,5	150	1614	28,493	48,793
2	200	282	15,211	35,211
2,5	250	78	7,846	27,846
3	300	26	4,192	24,192
5	500	0,019	0,011	20,011

Kabel K5 - Seník: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [$m\Omega$]	\leq	\bar{Z}_s [$m\Omega$]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
402	71,413		520,13	60		430,32

Kabel K5 - Seník: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K5 k seníku				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x70	70	7 860	60 841	68 701
3x95+70	95	9 780	44 794	54 574
3x120+70	120	10 800	35 441	46 241
3x150+70	150	13 200	28 353	41 553
3x185+95	185	16 980	23 037	40 017
3x240+120	240	19 080	17 121	36 801



Obrázek 13: Graf porovnání nákladů kabelu K5 k seníku pro různé průřezy

K6 - OMD: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 1$; Modeion BC160N

Kabel K6 - OMD: Návrh jističe, spočtené parametry

$I_k^{//}$ [kA]	\leq	I_{CS} [kA]	\leq	I_{CU} [kA]
8,795		13		25
P_p [kW]		κ [-]		
4,392		1,285		
I_p [A]	\leq	I_{PN} [A]	\leq	I_Z [A]
7,924		16		245
i_p [kA]	\leq	I_{cm} [kA]		
15,977		52		
$I_{th,1}$ [kA]	\leq	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
-		neuveдена	$t_k = 1s$	

Kabel K6 - OMD: Kontrola na tepelné účinky $I_k^{//}$ a průřez kabelu

n	m	I_{th} [kA]	S_{min} [mm ²]	\leq	S [mm ²]
1	0,941	12,253	14,043		120

Kabel K6 - OMD: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

ΔU_f [V]	d [%]	\leq	d_z [%]
0,117	0,051		5

Kabel K6 - OMD: ověření jistění proti přetížení

Pro výpočtový proud:			
I_p [A]	$\Delta \vartheta$ [K]	t_c [°C]	
7,924	0,01	20,01	

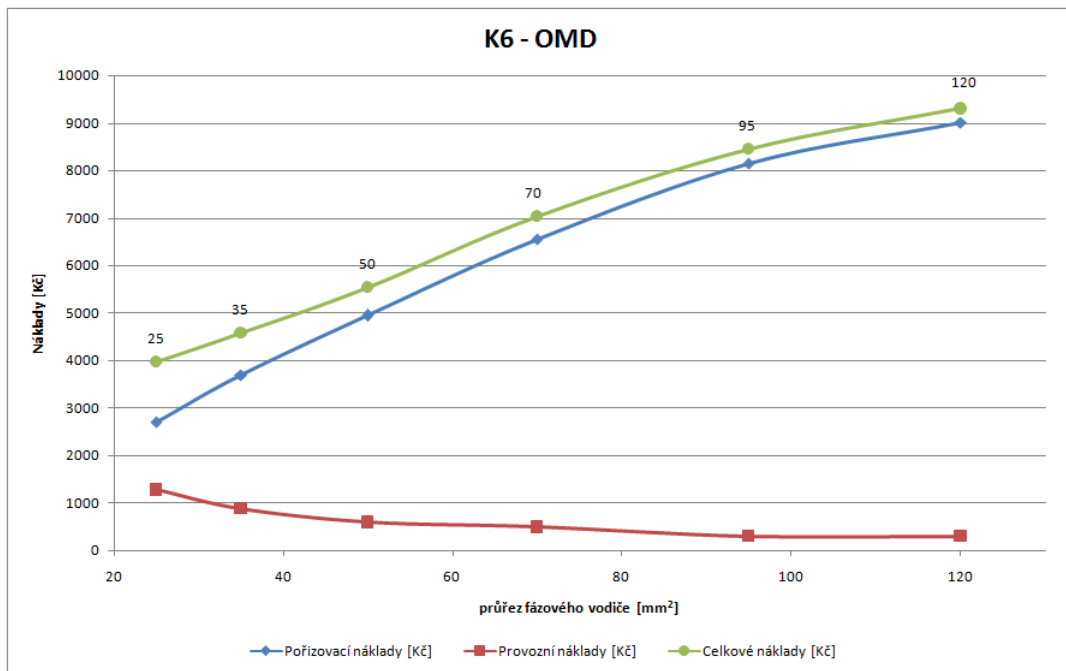
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta \vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	18,4	10080	0,079	20,079
1,2	19,2	10080	0,088	20,088
1,25	20	2490	0,079	20,079
1,3	20,8	2382	0,085	20,085
1,5	24	420	0,038	20,038
2	32	120	0,024	20,024
2,5	40	60	0,022	20,022
3	48	40	0,023	20,023
5	80	13	0,027	20,027

Kabel K6 - OMD: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [$m\Omega$]	\leq	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
130	72,942		1,608	50		1053,4

Kabel K6 - OMD: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K6 k OMD				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x25	25	2 700	1 279	3 979
4x35	35	3 700	886	4 586
4x50	50	4 950	591	5 540
4x70	70	6 550	492	7 042
3x95+70	95	8 150	295	8 442
3x120+70	120	9 000	255	9 295



Obrázek 14: Graf porovnání nákladů kabelu K6 k OMD pro různé průřezy

Vzhledem k výpočtovému zatížení, charakteru provozu, uložení a ekonomické hospodárnosti je vhodnější volbou kabel **AYKY 4x50mm²**:

Kabel K6 - OMD: Podmínka jistění u nového kabelu

I_p [A]	\leq	I_{PN} [A]	\leq	I_Z [A]
7,924		16		147

Kabel K6 - OMD: Kontrola na úbytek napětí na vodiči pro nový kabel

ΔU_f [V]	d [%]	\leq	d_Z [%]
0,256	0,111		5

Kabel K6 - OMD: ověření jistění proti přetížení pro nový kabel

Pro výpočtový proud:				
I_{NP} [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
7,924	0,035	20,035		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	18,4	10080	0,282	20,282
1,2	19,2	10080	0,313	20,313
1,25	20	2490	0,284	20,284
1,3	20,8	2382	0,308	20,308
1,5	24	420	0,137	20,137
2	32	120	0,089	20,089
2,5	40	60	0,079	20,079
3	48	40	0,083	20,083
5	80	13	0,098	20,098

Kabel K6 - OMD: Ochrana proti nebezpečnému dotyku pro nový kabel

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	≤	\bar{Z}_s [Ω]	l [m]	≤	l_{max} [m]
130	92,086		1,608	50		1053,4

K7 - Drůbežárna: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 0,65$; Modeion BH630N

Kabel K7 - Drůbežárna: Návrh jističe, spočtené parametry

I_k [kA]	≤	I_{CS} [kA]	≤	I_{CU} [kA]
8,795		18		36
P_p [kW]		κ [-]		
75,186		1,285		
I_p [A]	≤	I_{PN} [A]	≤	I_Z [A]
135,65		144		159,25
i_p [kA]	≤	I_{cm} [kA]		
15,977		75		
$I_{th,1}$ [kA]	≤	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
1,469		6,5	$t_k = 1s$	

Kabel K7 - Drůbežárna: Kontrola na tepelné účinky I_k^{II} a průřez kabelu

n	m	I_{th} [kA]	S_{min} [mm²]	\leq	S [mm²]
1	0,395	10,388	20,125		120

Kabel K7 - Drůbežárna: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

ΔU_f [V]	d [%]	\leq	d_z [%]
2,813	1,218		5

Kabel K7 - Drůbežárna: ověření jistění proti přetížení

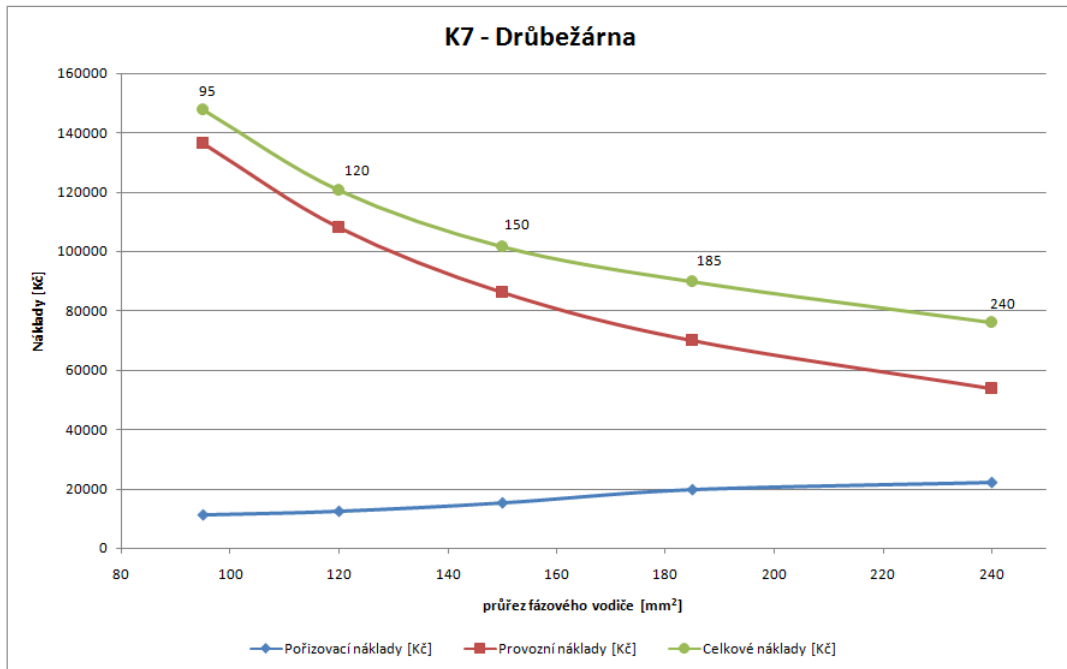
Pro výpočtový proud:				
I_p [A]	$\Delta \vartheta$ [K]	t_c [°C]		
135,65	33,527	53,527		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta \vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	165,6	2598	45,478	65,478
1,2	172,8	2490	49,761	69,761
1,25	180	2184	52,181	72,181
1,3	187,2	2094	56,463	76,463
1,5	216	1476	67,182	87,182
2	288	282	37,74	57,74
2,5	360	72	18,005	38,005
3	432	25	10,003	30,003
5	720	0,038	0,055	20,055

Kabel K7 - Drůbežárna: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	\leq	\bar{Z}_s [mΩ]	l [m]	\leq	l_{max} [m]
581	79,464		359,88	70		297,74

Kabel K7 - Drůbežárna: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K7 k čerpací stanici				
Kabel AYKY	Průřez [mm²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
3x95+70	95	11 410	136 352	147 762
3x120+70	120	12 600	107 998	120 598
3x150+70	150	15 400	86 339	101 739
3x185+95	185	19 810	69 997	89 807
3x240+120	240	22 260	53 950	76 210



Obrázek 15: Graf porovnání nákladů kabelu K7 k drůbežárně pro různé průřezy

Vzhledem k výpočtovému zatížení, charakteru provozu, uložení a ekonomické hospodárnosti je vhodnější volbou kabel **AYKY 3x240+120mm²**:

Kabel K7 - Drůbežárna: Podmínka jistění u nového kabelu

I_p [A]	\leq	I_{PN} [A]	\leq	I_Z [A]
135,65		144		235,35

Kabel K7 - Drůbežárna: Kontrola na úbytek napětí na vodiči pro nový kabel

ΔU_f [V]	d [%]	\leq	d_Z [%]
1,632	0,707		5

Kabel K7 - Drůbežárna: ověření jistění proti přetížení pro nový kabel

Pro výpočtový proud:				
I_p [A]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]		
135,65	12,939	32,939		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	I [A]	t_{vyp} [s]	$\Delta\vartheta$ [K]	t_c [°C]
1,15	165,6	2598	14,164	34,164
1,2	172,8	2490	15,38	35,38
1,25	180	2184	15,765	35,765
1,3	187,2	2094	16,939	36,939
1,5	216	1476	19,118	39,118
2	288	282	9,476	29,476
2,5	360	72	4,408	24,408
3	432	25	2,435	22,435
5	720	0,038	0,013	20,013

Kabel K7 - Drůbežárna: Ochrana proti nebezpečnému dotyku pro nový kabel

I_i [A]	\bar{Z}_{sv} [mΩ]	≤	\bar{Z}_s [mΩ]	l [m]	≤	l_{max} [m]
581	57,779		359,88	70		538,77

K71 - Krůčárna: AYKY 3x120+70mm²

$k_3 = 0,85$; Modeion BD250N

Kabel K71 - Krůčárna: Návrh jističe, spočtené parametry

I_k [kA]	≤	I_{CS} [kA]	≤	I_{CU} [kA]
6,666		18		36
P_p [kW]		κ [-]		
33,12		1,163		
I_p [A]	≤	I_{PN} [A]	≤	I_Z [A]
59,756		63		208,25
i_p [kA]	≤	I_{cm} [kA]		
10,962		75		
$I_{th,1}$ [kA]	≤	I_{CW} [kA]	Vztaženo na	
0,826		2,5	$t_k = 1s$	

Kabel K71 - Krůtárna: Kontrola na tepelné účinky I_k^{II} a průřez kabelu

n	m	$I_{th}[\text{kA}]$	$S_{min}[\text{mm}^2]$	\leq	$S[\text{mm}^2]$
1	0,536	8,263	11,319		120

Kabel K71 - Krůtárna: Kontrola na úbytek napětí na vodiči

$\Delta U_f[\text{V}]$	$d[\%]$	\leq	$d_z[\%]$
0,885	0,383		5

Kabel K71 - Krůtárna: ověření jistění proti přetížení

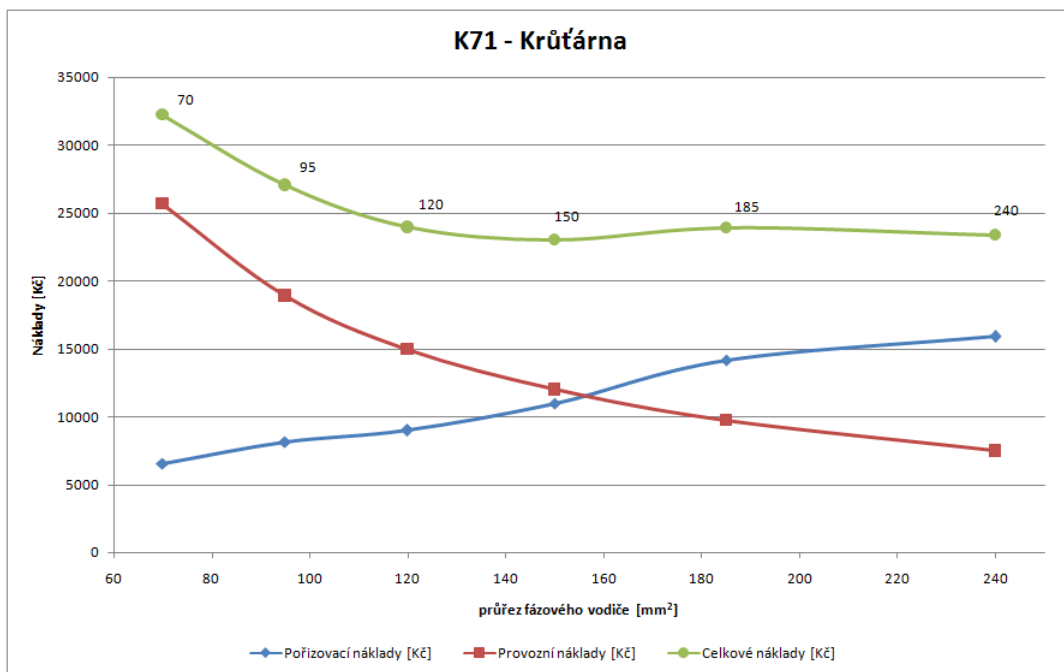
Pro výpočtový proud:				
$I_p[\text{A}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$		
59,756	2,227	22,227		
Pro nadproudy I_{nad} :				
Násobky I_{NP}	$I [\text{A}]$	$t_{vyp}[\text{s}]$	$\Delta\vartheta[\text{K}]$	$t_c[^\circ\text{C}]$
1,15	72,45	2598	2,97	22,97
1,2	75,6	2490	3,25	23,25
1,25	78,75	2280	3,472	23,472
1,3	81,9	2094	3,688	23,688
1,5	94,5	1476	4,388	24,388
2	126	282	2,465	22,465
2,5	157	78	1,271	21,271
3	189	26	0,679	20,679
5	315	0,019	0,002	20,002

Kabel K71 - Krůtárna: Ochrana proti nebezpečnému dotyku

$I_i[\text{A}]$	$\bar{Z}_{sv} [m\Omega]$	\leq	$\bar{Z}_s [m\Omega]$	$l[\text{m}]$	\leq	$l_{max}[\text{m}]$
254	96,943		823,19	50		681,05

Kabel K71 - Krůtárna: Porovnání nákladů různých kabelů pro ekonomickou optimalizaci

Ekonomická optimalizace kabelu K71 ke krůtárně				
Kabel AYKY	Průřez [mm ²]	Pořizovací náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
4x70	70	6 550	25 695	32 245
3x95+70	95	8 150	18 902	27 052
3x120+70	120	9 000	14 964	23 964
3x150+70	150	11 000	12 010	23 010
3x185+95	185	14 150	9 746	23 896
3x240+120	240	15 900	7 482	23 382



Obrázek 16: Graf porovnání nákladů kabelu K71 ke krůtárně pro různé průřezy

Příloha C

Cenové přírázky při nedodržení předepsané hodnoty účinníku

Pásma účinníku	Rozsah $\tan \varphi$ [kvarh/kWh]	Rozsah $\cos \varphi$	Přírázky [%]
1	0 - 0,328	0,95 - 1	-
2	0,329 - 0,484	0,9 - 0,949	2,85
3	0,485 - 0,75	0,8 - 0,899	12,38
4	0,751 - 1,02	0,7 - 0,799	28,07
5	1,021 - 1,333	0,6 - 0,699	48,58
6	1,334 - a více	0 - 0,599	100,00

Tabulka 3: Cenové přírázky za nedodržení předepsané úrovně $\cos \varphi_0$ [32]