



**ČVUT**

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

**KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD**  
DEPARTMENT OF ECONOMICS, MANAGEMENT AND HUMANITIES

**NÁVRH ELEKTRICKÉHO NAPÁJENÍ A VNITŘNÍ INSTALACE V  
PRŮMYSLVÉM PODNIKU**  
DESIGN OF POWER SUPPLY AND INDOOR INSTALLATION FOR INDUSTRIAL COMPANY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE:**  
AUTHOR

**Vladislav Kan**

**VEDOUCÍ PRÁCE:**  
SUPERVISOR

**Ing. Stanislav Bouček**

**KONZULTANT PRÁCE:**  
ADVISER

**Ing. Miroslav Vitek, CSc**

**PRAHA 2021**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kan** Jméno: **Vladislav** Osobní číslo: **469800**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh elektrického napájení a vnitřní instalace v průmyslovém podniku**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of power supply and indoor installation for industrial company**

Pokyny pro vypracování:

1. Základní legislativní a normativní požadavky na projekt průmyslového podniku.
2. Charakteristika a technologický popis závodu.
3. Seznam el. spotřebičů včetně jejich základních parametrů (soudobost, využití výkonu, účinnost, záběrové proudy).
4. Návrh základních el. rozvodů VN a NN (transformátory, rozvaděče, vodiče až po koncové spotřebiče včetně ochrany a osvětlení).
5. Kontrolní výpočty (zátížení, úbytky, zkratové proudy, kompenzace).
6. Ekonomické vyhodnocení návrhu rozvodů.

Seznam doporučené literatury:

František Fencel. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Vyd. 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04351-6  
ČSN 33 2000-5-523. Dovolené proudy v elektrických rozvodech. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Stanislav Bouček, katedra elektroenergetiky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Stanislav Bouček  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Bibliografická citace práce:

Kan V. *Návrh elektrického napájení a vnitřní instalace v průmyslovém podniku*.  
Bakalářská práce. Praha: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL  
ČVUT v Praze, 2021, 60 stran.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Vladislav Kan

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Stanislavu Boučkovi a Ing. Miroslavu Vítovi za čas, ochotu a cenné rady, které mi pomohly k vypracování této práce.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem napájení průmyslového podniku z rozvodné sítě a návrhem vlastního elektrického rozvodu pro uvedený podnik (včetně jednotlivých komponent).

V teoretické části, za účelem seznámení, je uveden krátký popis průmyslového objektu a základní legislativní požadavky na projekt.

Technická část práce je zaměřena pouze na elektrické napájení a návrh vnitřní instalace, a neřeší stavební konstrukce a rozmístění na území podniku. V této části je proveden výpočet a návrh transformátoru, rozváděčů, kompenzace, vodičů, ochran a osvětlení.

Dále je v projektu uveden popis struktury trhu s elektřinou v Kazachstánu. Je provedeno ekonomické zhodnocení výběru, počtu a výkonu transformátorů pro napájení podniku včetně ekonomického porovnání dvou variant kompenzace jalového výkonu.

**KLÍČOVÁ SLOVA: Elektrické napájení, transformátor, kompenzace, jištění.**

## **ABSTRACT**

This work deals with the design of power supply of an industrial enterprise from the distribution network and the design of its own electrical distribution for the enterprise (including individual components).

In the theoretical part, to get acquainted, there is a short description of the industrial building and the basic legislative requirements for the project.

The technical part of the work is focused only on the power supply and the design of the internal installation and does not address the building structure and location in the company. In this part, the calculation and design of the transformer, switchboards, compensation, conductors, protections and lighting is performed.

The project also describes the structure of the electricity market in Kazakhstan. An economic evaluation of the selection, number and power of transformers for powering the company is performed, including an economic comparison of two variants of reactive power compensation.

**KEY WORDS: Power supply, transformer, compensation, protection.**

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	3
SEZNAM TABULEK .....	4
1. ÚVOD A CÍL PRÁCE.....	6
1.1 Úvod .....	6
1.2 Cíl práce.....	6
2. ZÁKLADNÍ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA PROJEKT .....	7
3. CHARAKTERISTIKA ZÁVODU .....	7
3.1 Krátký popis .....	7
3.2 Stručné technologické charakteristiky závodu. ....	8
4. NÁVRH ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ VN A NN.....	10
4.1 Výpočet elektrického zatížení v dílně (na straně VN a NN). ....	10
4.2 Kompenzace jalového výkonu.....	12
4.3 Výběr způsobu napájení. ....	15
4.4 Výběr počtu a výkonu výkonových transformátorů v rozvodnách. ....	15
4.5 Výpočet napájecího vedení.....	18
5. VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ. ....	20
5.1 Výpočet zkratových proudů na straně VN. ....	20
5.2 Výpočet zkratových proudů na straně NN. ....	25
6. VÝBĚR VN ZAŘÍZENÍ.....	27
6.1 Výběr vodičů. ....	27
6.2 Výběr podpěrných izolátorů. ....	29
6.3 Průchodkové izolátory. ....	29
6.4 Výběr vakuového vypínače. ....	30
6.5 Výběr odpínačů transformátorů.....	30
6.6 Výběr předřazených pojistek. ....	30
6.7 Výběr měřicího transformátoru proudu.....	31
6.8 Výběr měřicího transformátoru napětí ( MTN ).....	32
7. VÝBĚR NN ZAŘÍZENÍ.....	33
7.1 Výběr vodičů. ....	33
7.2 Podpěrné izolátory.....	34
7.3 Napájení spotřebičů a rozdělení na skupiny. ....	35
7.4 Výběr jističů. ....	35
7.5 Výběr kabelů. ....	37
7.6 Výběr vypínač pro rozvodné skříňe.....	38

7.7 Návrh stykače pro pohon mlýnu o výkonu $P_N = 100 \text{ kW}$ .....	39
8. VÝPOČET OSVĚTLENÍ .....	42
9. EKONOMICKÁ ČÁST .....	45
9.1 Trh elektřiny v Kazachstáně .....	45
9.2 Výpočet investičních a provozních nákladů transformátorů .....	48
9.3 Výpočet investičních a provozních nákladů na instalaci KB na stranách VN a NN .....	51
10. ZÁVĚR .....	54
11. LITERATURA .....	55

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Dispoziční schéma obohacovacího závodu	8
Obr. 2 – Technologické schéma závodu na výrobu železného koncentrátu	9
Obr. 3 – Schémata napájení dílny s jedním (a) a dvěma (b) transformátory	16
Obr. 4 – Výpočetní schéma zkratových proudů na straně VN	21
Obr. 5 – Náhradní schéma zkratových proudů na straně VN	21
Obr. 6 – Zjednodušení náhradního schématu	22
Obr. 7 – Zjednodušení náhradního schématu 2	23
Obr. 8 – Zjednodušené náhradní schéma	23
Obr. 9 – Závislost $K_y$ na $X/R$	24
Obr. 10 – Schéma napájení transformátoru	26
Obr. 11 – Ilustrační obrázek zapojení měřicích přístrojů na transformátor proudu	32
Obr. 12 – Ilustrační obrázek zapojení měřicích přístrojů na transformátor napětí	33
Obr. 13 – Model přenosové soustavy Kazachstánu	45
Obr. 14 – Rozdělení trhu	46
Obr. 15 – Model velkoobchodního trhu	47



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Výpočet elektrického zatížení dílny (prostoru) .....	11
Tab. 2 – Vypočtený výkon a účinník před a po kompenzaci .....	14
Tab. 3 – Technické údaje transformátorů .....	18
Tab. 4 – Porovnání parametru vybraného kabelu .....	20
Tab. 5 – Výsledky zkratu na stranách 10 kV a 0,4 kV .....	27
Tab. 6 – Porovnání parametru vybraného vodiče s vypočtenými hodnotami .....	29
Tab. 7 – Porovnání parametru vybraného podpěrného izolátoru .....	29
Tab. 8 – Porovnání parametru průchodkového izolátoru s vypočtenými hodnotami.....	29
Tab. 9 – Porovnání parametru vakuového vypínače s vypočtenými hodnotami.....	30
Tab. 10 – Porovnání parametru odpínače s vypočtenými hodnotami .....	30
Tab. 11 – Porovnání parametru pojistky s vypočtenými hodnotami.....	31
Tab. 12 – Porovnání parametru MTP s vypočtenými hodnotami.....	31
Tab. 13 – Porovnání parametru vybraného pásu 0,4 kV s vypočtenými hodnotami.....	34
Tab. 14 – Porovnání parametru průchodkového izolátoru 0,4 kV .....	34
Tab. 15 – Porovnání parametru vybraného jističe s vypočtenými hodnotami .....	34
Tab. 16– Porovnání parametru jističe s vypočtenými hodnotami .....	36
Tab. 17 – Vybrané jističe.....	36
Tab. 18 – Vybrané kabely.....	38
Tab. 19 – Porovnání vypočtených hodnot s katalogovými údaji. ....	38
Tab. 20 – Vybrané odpínače pro napájení rozvaděčů .....	39
Tab. 21 – Vybrané stykače .....	39
Tab. 22 – Soupis vybraných komponentu .....	40
Tab. 23 – Ekonomické porovnání .....	51
Tab. 24 – Ekonomické porovnání kompenzačních baterií .....	53

## Seznam použitých zkratek a symbolů

KB	kondenzátorová baterie
KKJ	kompletní kondenzátorová jednotka
ZJV	zdroj jalového výkonu
NN	nízké napětí
VN	vysoké napětí
WACC	vážený průměr nákladů kapitálu
RCF	roční hotovostní tok
NVR	roční výrobní náklady
RS	rozvodná skříň
$P_N$	celkový jmenovitý výkon
$K_c$	koeficient využití
$\beta$	soudobost
$P_{vyp}$	vypočtený činný výkon
$Q_{vyp}$	vypočtený jalový výkon
$Q_{pk}$	jalový výkon po kompenzaci
$S_{pk}$	zdánlivý výkon po kompenzaci
$S_0$	minimálně možný výkon transformátoru
$S_{N.tr}$	jmenovitý výkon jednoho transformátoru

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojedinelé s vysvětlením v textu

## Seznam příloh

Příloha 1 – Schéma napájení elektrických spotřebičů.

# 1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

## 1.1 Úvod

Průmyslová provozovna je prostor určený pro průmyslové účely, vyjímaje kanceláře a prostory sloužící pro sociální zařízení, pokud jsou v samostatných budovách.

Průmyslovou provozovnou se rozumí jak provozovna přízemní (hala), tak i provozovna o více podlažích; může být také celý závod, podnik, provozní celek, soubor apod.

Obvykle průmyslový podnik napájen z vlastního transformátoru. Dodávka elektrické energie je zajištěna na základě rozdělení do třech skupin (stupňů) důležitosti provozu.

- Provoz 1. stupně: dodávka zajištěna za každých okolností, přerušení by mělo za následek ohrožení života nebo velké národohospodářské škody.
- Provoz 2. stupně mají být dodávky pokud možno zajištěny, při výpadku nehrozí ohrožení, jako v předchozím případě.
- Provoz 3. stupně již nevyžaduje zajištění dodávky zvláštními opatřeními.

Rozvod elektrické energie v průmyslovém objektu je proveden jako paprskový, průběžný, okružní, hřebenový, mřížový nebo dvou paprskový. Elektrickými instalacemi průmyslových objektů se zabývá především norma ČSN 34 1610 (Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách).[8]

Hlavními požadavky na elektroinstalace jsou bezpečnost osob a zařízení, spolehlivost provozu, hospodárnost provedení. Na tyto požadavky je nutno dbát při tvorbě projektu.

Dále bych chtěl definovat pojem projekt. Dle ČSN ISO 10 006 je projekt jedinečný proces sestávající z řady koordinovaných a řízených činností s daty zahájení a ukončení, prováděný pro dosažení předem stanoveného cíle, který vyhovuje specifikovaným požadavkům, včetně omezení daných časem, náklady a zdroji. Projekt vytvářen autorizovanou osobou, která je zodpovědná za správné vypracování projektu, na základě výchozích podkladů, s dodržováním určitých podmínek (platné normy, bezpečnost osob a veřejných zájmů, ekonomika apod.). Tuto osobu nazýváme projektantem.

## 1.2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je se seznámit se základy projektování elektrických instalací. Navrhnout napájení průmyslového podniku, včetně vnitřních rozvodů, a porovnat zvolené technické řešení z hlediska ekonomické efektivity.

## **2. ZÁKLADNÍ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA PROJEKT**

Při projektování je nutno respektovat platné zákony a vyhlášky zveřejněné ve Sbírce zákonů České republiky v systému technické normalizace ČR a EU. Tyto dokumenty jsou ve sporných případech vždy nadřazeny projektu.

Samozřejmě nikde u uváděných požadavků ČSN a TNI není uvedeno, k jakému stupni projektové dokumentace se vlastně vztahují. Předně se zcela jistě budou vztahovat na všechny projektové dokumentace, kde se projekční subjekt v objednávce či ve smlouvě o dílo zaváže, že vypracuje projektovou dokumentaci dle platných českých technických norem.

Pak je nutno mít na paměti, že se toto ustanovení nevztahuje pouze na samotnou bezpečnost návrhu, ale i na obsah a vzhled dokumentace (typicky pak zejména v případě realizační projektové dokumentace, jejíž obsah není upraven vyhláškou č. 499/2006 Sb. [2])

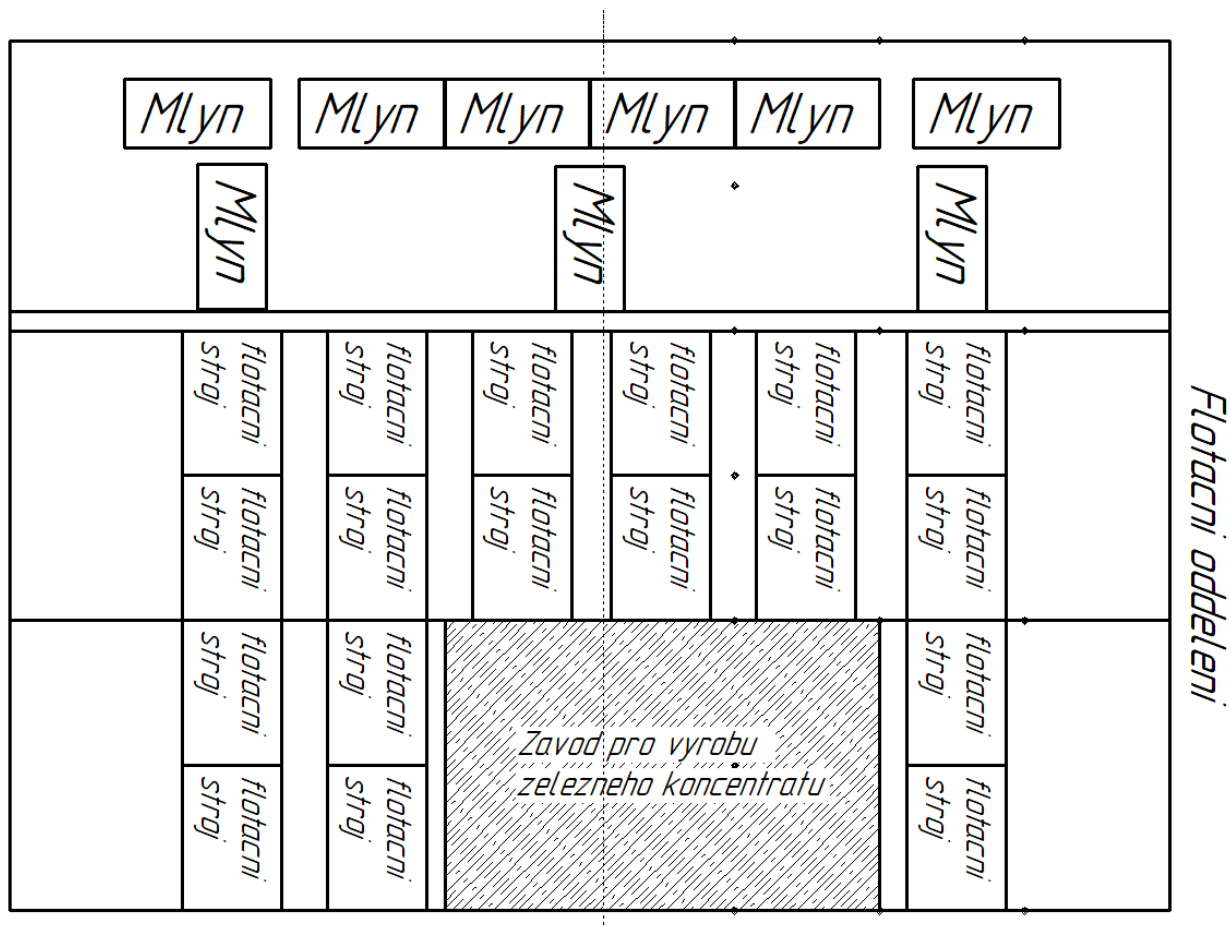
## **3. CHARAKTERISTIKA ZÁVODU**

### **3.1 Krátký popis**

Závod na výrobu železného koncentráту, jehož napájení elektrickou energií je předmětem mé BP, se nachází ve flotačním oddělení hlavní budovy obohacovacího (zpracovatelského) závodu korporace „Kazachmys“, poblíž města Balkhash.

Závod na zpracování železného koncentráту pracuje v oblasti nízké požadované spolehlivosti provozu. V BP pracuji s reálnými podklady odpovídajícími současné instalaci spotřebičů.

Závod je samostatnou částí komplexního systému zpracovávajícího měděnou rudu, pracuje v nepřetržitém provozu. Závod se zabývá zpracováním odpadů z flotačního oddělení obohacovacího závodu Jeho cílem je dostat produkt s původního obsahu 25-35 % Fe na obsah železa (65 až 75 % Fe)

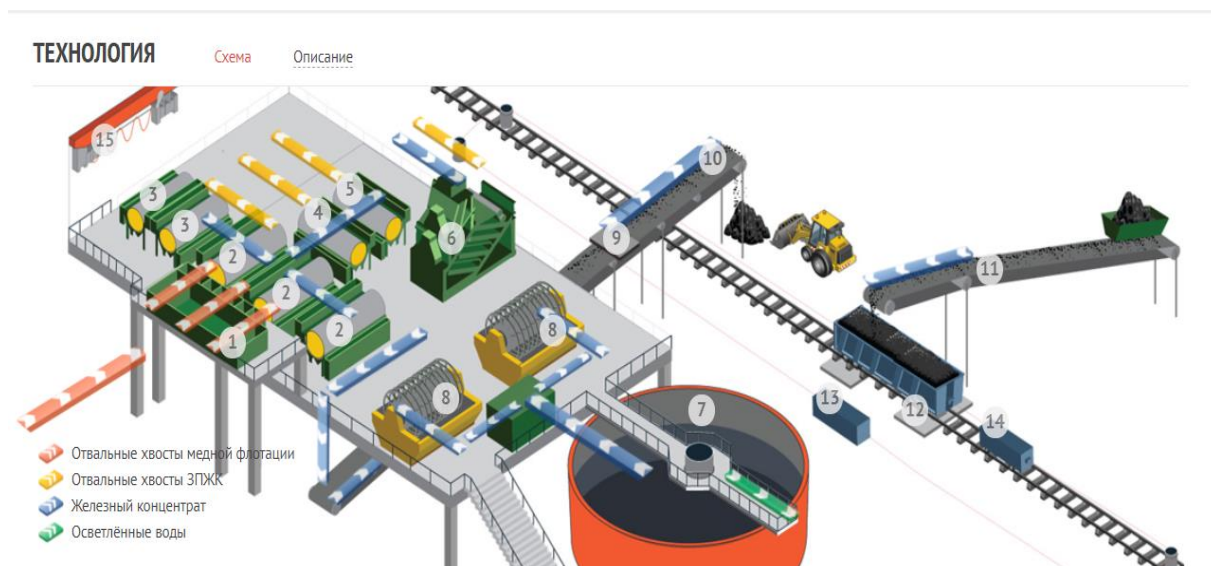


**Obr. 1 – Dispoziční schéma obohacovacího závodu**

### 3.2 Stručné technologické charakteristiky závodu.

Odtok flotace je zajištěn koncovými čerpadly č. 6,8,10 sekcí č. 1, 2 v objemu 1 300 m<sup>3</sup>/h. Ten pak vstoupí do rozdělovací nádrže. Proces magnetické separace zahrnuje hlavní separaci (2), (3) a dvě čištění (4), (5).

Hlavní magnetická separace (2) se provádí na 3 magnetických separátorech. Produktivita jednoho separátoru pro suché hlušiny od 110 do 220 t/h; na buničině od 320 do 470 m<sup>3</sup>/h. Výkon elektromotoru - 11 kW. Spotřeba vody - 30 m<sup>3</sup>/hod. Výstup koncentráту je namontován na konci bez pohonu. Převodovky používají ozubená kola s tvrdými zuby. Hlušiny ze spojovací skříňky přicházejí ve 3 paralelních proudech do 3 magnetických separátorů, kde se provádí hlavní magnetický separační proces. Výsledkem jsou 2 produkty: primární separační koncentrát železa a zbytky. Výtěžek koncentráту železa je asi 12 až 15 %, obsah železa je 35,5 až 45 %. V hlušině hlavní magnetické separace je obsah železa 5 %. Železný koncentrát ze 3 magnetických separátorů je smíchan v jímce o objemu 9,8 m<sup>3</sup> a odeslán čerpadlem s objemovým průtokem 192 m<sup>3</sup>/h do druhého čištění (4), (5).



**Obr. 2 – Technologické schéma závodu na výrobu železného koncentrátu**

Následně se provádí druhé čištění na magnetických separátorech. Oddělovací schopnost jednoho separátoru pro suché hlušiny je od 60 do 120 t/h; mokrá hlušina buničinou od 185 do 270 m<sup>3</sup>/h. Povrch magnetického systému je pro ochranu potažen nemagnetickou nerezovou ocelí. Koncentrát po druhém čištění přiváděn do třídičky (mokrý sítu typu Derik), kde dochází k oddělení podle velikostních tříd.

Výsledkem jsou dva produkty: velká třída (písky) a malá třída (koncentrát). Malá třída (produkt prošel sítím (6)) je připravena a poslána ke snížení objemu vody v koncentrátu. Výsledný koncentrát železa obsahuje 58 až 64% železa.

Zbytky hlavní separace (první a druhé) a velká třída (písky) získané při procesu třídění (v případě nízkého obsahu magnetitu) jsou gravitačně přiváděny do koncových čerpadel č. 90, 92, 94, které jsou umístěny v čerpací místnosti hlavní budovy obohacovacího závodu Balkhash za účelem jejich dalšího převodu na skládku.

Malá třída (koncentrát) s čerpadlem o hltnosti 96 m<sup>3</sup>/h, dopravní výškou 15 m, je čerpán do 1. stupně dehydratace v zahušťovadle (7).

Zahušťovadlo je určeno k dehydrataci železného koncentrátu. Zahušťovač má průměr 11 metrů a má centrální pohon. Při procesu zahušťování se získají dva produkty: kondenzovaný koncentrát s obsahem pevných látek 50 až 75 % a vyčištěná voda, která se shromažďuje po obvodu prstencovité drážky a vypouští se do kolektoru obohacovacího závodu a dále do skládky odpadů. Zavláždění povrchu v zahušťovacím systému koncentrátu železa není nutné. Počáteční průtok vody k uvedení do provozu je 300 m<sup>3</sup>, pak není potřeba žádný přívod vody.

Zhuštěný koncentrát s obsahem 50 -75 % je odeslán do filtračního procesu, který se provádí na dvou keramických filtrech. Keramický kapilární filtr je diskový filtr. Filtr KERAMEK (8) je určen k dehydrataci buničiny. Uplatňuje jedinečný princip, při kterém nedochází k úniku vzduchu. Nejvýznamnějším rozdílem od ostatních filtrů je keramický materiál. Filtrační plocha je 50 m<sup>2</sup>, počet desek 120, počet disků 10. Činnost filtru je založena na čtyřech fázích: formování koláče, dehydratace koláče,

vyprazdňování koláče a zpětné čištění. Disky jsou ponořeny do buničinné lázně a jsou navrženy tak, že voda, která je s nimi v kontaktu, je odstraněna působením kapilárních sil. Pevné látky v buničině zůstávají na povrchu disků a dehydratace pokračuje, dokud není volná tekutina zcela odstraněna. Disky jsou ponořeny do buničiny a vytváří se v nich vakuum. Rozdíl tlaku vede k tvorbě koláče. Na povrchu desek je vytvořena rovnoměrná vrstva koláče. Vzduch neprochází filtračním materiálem. Poté se koláč dehydratuje a vyčistí se noží. Po 8 až 12 hodinách je třeba filtr vyčistit, aby se filtrační destičky a mikro póry udržovaly čisté a umyté. Ultrazvukové čištění je doprovázeno chemickým čištěním (kyselé mytí) a zpravidla trvá vždy od 45 minut do 60 minut a zcela eliminuje přítomnost pevných látek na desce, která není odstraněna zpětným proplachováním z filtru, což poskytuje vysokou účinnost pro další start. Ultrazvukové čištění lze provádět společně s praním kyselinou nebo samostatně. Potřeba vody pro provoz filtru není nutná. Během filtračního procesu se získají dva produkty - filtrát, který se v technologii opakovaně používá jako recyklovaná voda a koncentrovaný železný koláč s obsahem vlhkosti 8 až 11%, který je odeslán do skladu k prodeji dopravním pásem.

Přeprava koncentráту železa se provádí pomocí nakloněného dopravníku č. 2 (11) s nakládací násypkou

Množství získaného železného koncentráту je fixováno pásovými dopravníkovými váhami.

Železný koncentrát je dodáván do železničních vozů firmy Inno freight.

## 4. NÁVRH ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ VN A NN

### 4.1 Výpočet elektrického zatížení v dílně (na straně VN a NN).

Podle velikosti zátěže zvolím elektrické zařízení napájecího systému a určím ztráty výkonu.

Jednou z metod pro výpočet maxima elektrického zatížení je metoda instalované kapacity a koeficientu využití.

Počáteční data pro stanovení vypočteného zatížení touto metodou jsou instalovaný výkon skupiny spotřebičů, účinník ( $\cos \varphi$ ) a koeficient využití  $K_C$  daných spotřebičů. Pro všechny spotřebitele energie z vyhledávacích tabulek určíme  $\cos \varphi$  ( $tq\varphi$ , resp.) A koeficient využití. Koeficient využití je to poměr vypočteného výkonu ( $P_{vyp}$ ) k celkovému jmenovitému výkonu ( $P_N$ ) této skupiny elektrických spotřebičů.[3]

Celkový instalovaný výkon skupiny spotřebičů o stejném výkonu a parametrech:

$$P = \sum_1^n P_n \quad (1)$$

kde  $P_N$  je jmenovitý výkon jednoho spotřebiče dané skupiny [kW].

$n$  počet spotřebičů.

Výpočtové zatížení:

$$P_{vyp} = K_c \Sigma P \quad (2)$$

kde  $K_c$  je koeficient využití;

Jalový výkon:

kde  $tq \varphi$  je úhel fázového posuvu, převzatý z  $\cos \varphi$  spotřebiče.

$$Q_{vyp} = P_{vyp} \cdot tq \varphi \quad (3)$$

Příklad výpočtu pro jeden typ spotřebiče – mlýnské čerpadlo:

Mlýnské čerpadlo:  $P_N=22$  kW;  $n=4$

$$P = P_N \cdot n = 22 \cdot 4 = 88 \text{ kW}$$

$$P_{vyp} = K_c \Sigma P = 0,75 \cdot 88 = 66 \text{ kW}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6,$$

$$tq \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi = 0,6 / 0,8 = 0,75$$

$$Q_{vyp} = P_{vyp} \cdot tq \varphi = 66 \cdot 0,75 = 49,5 \text{ kVAr}$$

Výpočet zatížení pro ostatní spotřebiče je podobný, výpočty jsou shrnuté v tabulce 1.1

**Tab. – 1 Výpočet elektrického zatížení dílny (prostoru)**

Název spotřebičů	$P_N$ , [kW]	Množství [kus]	$\Sigma P$ [kW]	$\cos \varphi$ [ - ]	$K_c$ [ - ]	$\beta$ [ - ]	Vypočtený výkon	
							$P_{vyp}$ [kW]	$Q_{vyp}$ [kVAr]
mlýnské čerpadlo	22	4	88	0,8	0,75	0,75	66	29,7
drenážní čerpadlo	7,5	3	22,5	0,8	0,8	0,7	18	8,1
pomocné čerpadlo	30	1	30	0,7	0,75	1	22,5	16,39
pomocné čerpadlo	22	1	22	0,7	0,75	1	16,5	12,02
odpadkové čerpadlo	22	8	176	0,8	0,8	0,8	140,8	63,36
vodní čerpadlo	1,1	1	1,1	0,7	0,75	1	0,825	0,6
oběhové vodní čerpadlo	4	2	8	0,7	0,75	0,5	6	4,37
filtrační čerpadlo	2	2	4	0,7	0,75	0,5	3	2,18
vakuové čerpadlo	30	2	60	0,95	0,85	0,5	51	5,23
olejové čerpadlo	7,5	1	7,5	0,7	0,75	1	5,625	4,09
pohon dopravníku	30	1	30	0,75	0,8	1	24	154
pohon dopravníku	22	1	22	0,75	0,8	1	17,6	14



Název spotřebičů	P <sub>N</sub> , [kW]	Množství [kus]	ΣP [kW]	cos φ [ - ]	K <sub>c</sub> [ - ]	β [ - ]	Vypočtený výkon	
							P <sub>vyp</sub> [kW]	Q <sub>vyp</sub> [kVAr]
pohon mlýnu	100	2	200	0,9	0,95	1	190	10,27
pohon keramického filtru	3	2	6	0,6	0,7	0,5	4,2	4,48
pohon míchadla keramického filtru	5,5	2	11	0,6	0,7	0,5	7,7	8,2
pohon magnetického odlučovače	11,5	5	57,5	0,7	0,45	0,8	25,875	18,8
pohon magnetického odlučovače	7,5	4	30	0,7	0,45	0,75	13,5	9,83
třídíč	6	1	6	0,65	0,7	1	4,2	3,7
posunovací zařízení	30	1	30	0,65	0,7	1	21	18,6
čelistový drtič	3	1	3	0,75	0,8	1	2,4	1,4
diskový drtič	1,1	2	2,2	0,75	0,8	1	1,76	1,02
větrák	33	3	99	0,7	0,8	1	19,8	14,42
Světla SATURN	2,4	8	19,2	0,8	0,95	1		
<b>Celkem</b>			<b>817,5</b>				<b>662</b>	<b>478</b>

Na straně 0,4 kV:

Zdánlivý výkon:

$$S_{vyp} = \sqrt{P_{vyp}^2 + Q_{vyp}^2} = \sqrt{662^2 + 478^2} = 817,5 \text{ (kVA)} \quad (4)$$

Účinník:

$$\cos\varphi_{vyp} = \frac{P_{vyp}}{S_{vyp}} = \frac{662}{817,5} = 0,8 \quad (5)$$

#### 4.2 Kompenzace jalového výkonu.

Podle výsledků výpočtu elektrického zatížení dílny se ukázalo, že účinník je nižší než přípustný (přípustný  $\cos\varphi = 0,95$  a vyšší), proto je nutné kompenzovat jalový výkon.

Nejúčinnějším a nejefektivnějším způsobem snížení jalového výkonu spotřebovaného ze sítě je použití kondenzátorových baterií.

Použití kondenzátorových jednotek pro kompenzace jalového výkonu umožňuje:

- snížení zátěží na elektrickém vedení, transformátorech a rozvaděčích;
- snížení ztrát v rozvodu elektřiny;

- použití určitého typu nastavení nižší úroveň vyšších harmonických;
- potlačení rušení sítě, snížení nesymetrie fáze;
- zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti distribučních sítí.

Kondenzátory se obvykle používají ve formě kompletních kondenzátorových jednotek (KKJ). Z hlediska úspory energie a regulace napětí je nejvýhodnější kompenzovat jalovou energii přímo u spotřebičů.

K tomuto účelu se v sítích pro všeobecné použití používají kondenzátorové baterie (KB) NN.

V průmyslových podnicích jsou základní spotřebiče jalového výkonu připojené k sítí NN. Zdroje jalového výkonu (ZJV) VN jsou levnější než odpovídající ZJV NN, ale přenos energie do sítě VN může vést ke zvýšení počtu transformátorů a ke zvýšení energetických ztrát v síti a transformátorech. Proto navrhuji nejprve kompenzace jalového výkonu na straně NN.

Pokud je v podniku nainstalován jeden nebo dva transformátory 10/0,4 kV, pak, při změně stupně kompenzace jalového výkonu v síti NN, nelze počet transformátorů změnit kvůli podmínkám napájení, umístění dílny, požadavkům na spolehlivost atd.

V této dílně jsou k přípojnicím s napětím 10 kV připojeny 2 transformátory 10/0,4 kV pro napájení zátěže:  $P_{vyp} = 0,662$  MW;  $Q_{vyp} = 0,478$  MVar;  $K_c = 0,75$ ; kompenzace jalového výkonu lze provést nastavením KB na 10 kV nebo 0,4 kV pro zvýšení  $\cos\varphi$ . KB je navržena jako centrální, a vzhledem k možné změně zatížení je regulovatelná. Určím optimální výkon transformátoru a KB při 10 kV a 0,4 kV.

V tomto případě určím minimální možný výkon transformátoru:

$$S_0 = \frac{P_{vyp}}{K_c * \cos\varphi * n} = \frac{0,662}{0,75 * 1 * 2} = 0,44 \text{ MVA} \quad (6)$$

Kde:  $P$  – celkový spotřebovaný činný výkon v sítích NN, v MW;

$K_c$  – koeficient využití instalovaného výkonu transformátoru;

$\cos\varphi$  – účinnost

$n$  – počet transformátorů.

Největší možný jalový výkon, který může být předán ze sítě 10 kV do sítě 0,4 kV, bez zvětšení počtu transformátorů.

$$Q_1 = \sqrt{(n * K_c * S_{N.tr})^2 - P_{vyp}^2} = \sqrt{(2 * 0,75 * 0,630)^2 - 0,662^2} = 0,67 \text{ MVar} \quad (7)$$

$S_{N.tr}$  - jmenovitý výkon jednoho transformátoru, s výkonem blízkým k  $S_0$

Přídavný jalový výkon pro plnou kompenzaci na straně 0,4 kV

$$Q_2 = Q_{vyp} - Q_1 = 0,479 - 0,67 = -0,191 \text{ MVar} \quad (8)$$

při  $\cos\varphi = 1$

Protože se ukázalo, že  $Q_2$  je menší než nula, vybraný transformátor je schopen přenést veškerý odhadovaný jalový výkon, nepovažují možnosti instalace transformátoru s výkonem o jeden stupeň vyšší. Ale pro zvýšení účinnosti provedeme výpočet kompenzací jalového výkonu.

Určíme optimální výkon KB při 10 kV a 0,4 kV:

Určíme  $tq\varphi$  odpovídající

$$\cos\varphi = \frac{P_{vyp}}{S_{vyp}} = \frac{662}{817} = 0,81$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 + \cos\varphi^2} = \sqrt{1 + 0,81^2} = 0,5864$$

$$tg\varphi_{0,4} = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{0,5751}{0,81} = 0,7239$$

$$Q_{KB} = Q_{vyp} - Q_3 = P_{vyp}(tg\varphi_{0,4} - tg\varphi_3) = 662(0,7239 - 0,14) = 386,5 \text{ kVAr} \quad (9)$$

$tg\varphi_{0,4}$  je skutečný tangens úhlu odpovídající vypočtenému výkonu  $P_{vyp}$ ;  $Q_{vyp}$ ;

$tq\varphi_3$  je optimální tangens úhlu odpovídající podmínkám stanoveným podnikem pro příjem od energetického systému potřebného výkonu. Optimální tangens úhlu z energetického systému odpovídá  $\cos\varphi = 0,99$ ;  $tq\varphi_3 = 0,14$

Výkon kondenzátorové jednotky:

$$Q_{kj} = 662(0,71 - 0,14) = 386,5$$

Určíme výkon jedné kondenzátorové baterie:

$$Q_{kb} \frac{Q_{kj}}{n} = \frac{386,5}{2} = 193,3 \text{ kVAr}$$

Na základě ekonomického porovnání provedeného v části 9.3

Vybírám standardní typ KB BAPHET-A-200.

KB typu BAPHET-A-200 je regulovatelná, určena pro kompenzaci jalového výkonu skupiny spotřebičů s proměnným zatížením. Regulace jalového výkonu se provádí regulátorem. Regulátor provádí měření korekčního úhlu mezi fázovým napětím a proudem, pak na základě měření zapojuje kompenzační jednotky uvnitř baterie.

Hodnoty výkonu a účinniku po kompenzaci:

$$Q_{PK} = 78 \text{ kVAr}$$

$$S_{PK} = \sqrt{P_{vyp}^2 + Q_{PK}^2} = \sqrt{662^2 + 78^2} = 666,7 \text{ kVA}$$

$$\cos\varphi_{pk} = \frac{P_{vyp}}{S_{PK}} = \frac{662}{666,7} = 0,993$$

**Tab. 2 - Vypočtený výkon a účinník před a po kompenzaci**

Kompenzace	$P_{vyp}$ [kW]	$Q_{vyp}$ [kVAr]	$S_{vyp}$ [kVA]	$\cos\varphi$ [ - ]
Před	662	478	817,5	0,81
Po	662	78	666,7	0,993

### 4.3 Výběr způsobu napájení.

Po určení elektrického zatížení spotřebičů vzniká otázka, jak jim zajistit spolehlivé, hospodárné a vysoce kvalitní napájení.

Požadavky na spolehlivost závisí na kategorii spotřebičů a vlastnostech procesu. Současně je nutné dbát na povahu rozložení zatížení v provozu, spotřebu energie a dostupnost zdrojů energie. Všechny tyto podmínky ovlivňují výběr zdroje napájení pro spotřebiče.

V závislosti na instalovaném výkonu, lze dělit objekty na objekty o velkém (75 až 100 MW nebo více), středním (5 až 75 MW) a nízkém výkonu (do 5 MW). Pro podniky a jednotlivé provozy s malým a středním výkonem se používají schémata s jedním napájecím místem elektřiny, kterým může být transformátorová stanice nebo rozvodna.

Jsou-li spotřebiče II kategorie, je zajištěno rozdělení sběrnic přijímacího místa a napájení každé sekce od jedné samostatné linky. K distribuci elektřiny v celém provozu, v jeho části nebo v jiném objektu se používají průběžné (paprskové), radiální (okružní) nebo smíšené obvody.

Při použití radiálního obvodu všechny spotřebiče, či podružné rozvaděče jsou napájené samostatnými linkami. Radiální obvody navrhované pro zátěže umístěné v různých směrech od rozvodny.

Paprskové zapojení zahrnuje následující výhody:

- Jednoduchost.
- Vypnutí jednoho vedení v radiální síti nemá podstatný vliv na ostatní spotřebiče v radiální síti.

Ale to má své nevýhody:

- Vyšší spotřeba kabelů a tím i vyšší výdaje na rozvod.
- Pro jednotlivé paprskové linie je nižší spolehlivost napájení.

Navrhují paprskové schéma napájení s možným zálohováním.

K napájení dílny se používá třífázové střídavé napětí 10 kV. U nízkonapětových motorů se používá třífázové střídavé napětí 0,4 kV. A pro osvětlení se používá jednofázové napětí 220 V.

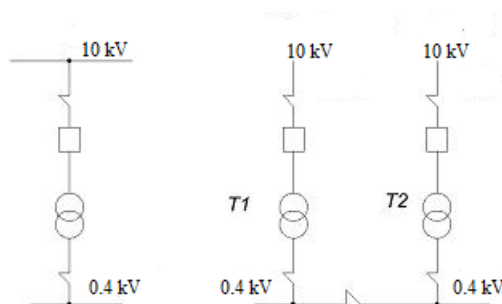
### 4.4 Výběr počtu a výkonu výkonových transformátorů v rozvodnách.

Při navrhování schématu napájení je jedním z hlavních problémů výběr počtu a výkonu výkonových transformátorů v rozvodně. Nejčastěji se rozvodny navrhují s dvěma transformátory, které zajišťují dostatečnou spolehlivost a nepřetržité napájení spotřebičů všech kategorií. Správná volba počtu a výkonu transformátorů v rozvodnách průmyslových podniků je jednou z důležitých otázek dodávky energie a výstavby racionálních sítí. Za normálních podmínek by transformátory měly dodávat energii všem zákazníkům při jmenovitém zatížení.

Počet transformátorů v rozvodně je určen požadavkem spolehlivého napájení. S tímto přístupem je nejlepší volbou instalace aspoň dvou transformátorů, které poskytují nepřetržité napájení spotřebičů v dílně

jakékoli kategorie. Pokud jsou v dílně nainstalovány spotřebiče pouze kategorií II a III, pak jsou výhodnější rozvodny s jedním transformátorem.

Při navrhování sítí v závodě se instalace rozvodu s jedním transformátorem provádí, když je zajištěné rezervní napájení spotřebičů prostřednictvím sítě NN anebo když je možné vyměnit poškozený transformátor.



**Obr. 3 – Schémata napájení dílny s jedním (a) a dvěma (b) transformátory**

Rozvodny se dvěma transformátory se používají u velkého počtu spotřebičů kategorie II nebo spotřebičů kategorie I. Kromě toho jsou vhodné dvě trafostanice s nerovnoměrným denním a ročním plánem zatížení podniku, se sezónním provozním režimem, a velkým rozdílem v zatížení ve směnách.

Úkolem výběru počtu transformátorů je, vybrat variantu s nejlepšími technickými a ekonomickými ukazateli z obou variant (obr. 3 (a) a (b))

V zásadě instalace dvou transformátorů zajišťuje spotřebičům větší spolehlivost napájení. To znamená, že pokud je jeden transformátor poškozen, poskytuje druhý, s ohledem na jeho schopnost vydržet přetížení a zajistit tak 100 % spolehlivost napájení během doby potřebné k opravě transformátoru.

Existují však případy, kdy výkon stávajících dvou transformátorů nestačí k napájení všech spotřebičů, například při instalaci výkonnějšího zařízení, při změně provozního režimu přijímačů atd. Poté jsou zváženy možnosti instalace výkonnějších transformátorů v rozvodně nebo instalace třetího transformátoru pro pokrytí zvýšeného výkonu.

Druhá možnost se zdá být výhodnější, protože se zvyšuje spolehlivost rozvodny, není třeba prodávat staré transformátory a kapitálové náklady na instalaci třetího transformátoru jsou zpravidla mnohem menší než při přeměně celé rozvodny.

Při výběru počtu transformátorů by se kromě požadavků na spolehlivost měl brát v úvahu také provozní režim spotřebičů. Například při nízkém pracovním cyklu je ekonomicky proveditelné instalovat ne jeden, ale dva transformátory.

U velkých transformátorových stanic počet transformátorů obvykle nepřevyšuje dva. Důvodem je zejména skutečnost, že náklady na přepínací zařízení na straně vysokého napětí jsou úměrné nákladům na transformátor.

Příkladem je postup výpočtu a výběru výkonových transformátorů.

V provozu jsou spotřebiče kategorie II a III, takže počet transformátorů by měl být alespoň dva.

S ohledem na kompenzaci je dílčí zatížení 0,4 kV:  $P_{vyp} = 662 \text{ kW}$ ;  $Q_{vyp} = 78 \text{ kVAr}$ ;  $S_{vyp} = 666,7 \text{ kVA}$  (je-li kompenzace prováděna KB na straně 10 kV nebo synchronními motory, pak je pro výpočet používám výkon před kompenzací a pokud je kompenzace na straně 0,4 kV, používám hodnoty výkonu po kompenzaci).

Výběr počtu transformátorů v rozvodně.

Protože v provozu jsou spotřebiče kategorie II, musí být v rozvodně nainstalovány 2 výkonové transformátory nebo 4.

Porovnávám dvě možné varianty instalace transformátorů.

$$S_0 = \frac{S_{vyp}}{n * \beta} \quad (10)$$

kde:  $n$  je počet transformátorů v rozvodně;

$\beta = 0,75$  – přípustný koeficient zatížení transformátoru.

I Varianta

$$S_{0I} = \frac{817,5}{2 * 0,75} = 545 \text{ kVA}$$

Vybírám transformátor o výkonu  $S_{N.I} = 630 \text{ kVA}$

II Varianta:

$$S_{0II} = \frac{817,5}{4 * 0,75} = 235 \text{ kVA}$$

Vybíráme transformátor o výkonu  $S_{N.II} = 250 \text{ kVA}$

Vybrané možnosti transformátorů kontrolujeme podle technických údajů.

Koeficient zatížení určujeme hodinách maxima (doporučený koeficient zatížení je 0,57-0,75).

Kontroluj

$$\beta_I = \frac{S_{vyp}}{S_{N.T} * n} \quad (11)$$

kde:  $S_{N.tr}$  – Nominální výkon vybraného transformátoru.

I Varianta

$$\beta_I = \frac{S_{vyp}}{S_{N.tr} * n} = \frac{817,5}{2 * 630} = 0,65$$

II Varianta:

$$\beta_{II} = \frac{817,5}{4 * 250} = 0,82$$

Z výpočtu je vidět že koeficient zatížení ve druhé variante je větší než doporučený. Bez ohledu na to provedu další kontrolu.

Ověřím možnost provozu předpokládaných transformátorů, když je jeden z nich vypnutý. V případě potřeby může výkonový transformátor pracovat s přetížením 40 % po krátkou dobu (za podmínky že v normálním stavu koeficient zatížení činí méně 90 %). Transformátor pracuje s přetížením jenom krátkou dobu (což činí podle technických parametru daných výrobcem nejvíc půl hodiny) [11] pro zajištění bezpečného přizpůsobení provozu technickým personálem.

Pokud je jeden z transformátorů vypnut, zbývající transformátor umožňuje dodat výkon rovný:

I Varianta

$$1,4 * S_{N.tr.I}(n - 1) = 1,4 * 630 = 882 > 817,5 \text{ kVA}$$

II Varianta

$$1,4 * S_{N.tr.II}(n - 1) = 1,4 * 250 * 3 = 1050 > 817,5 \text{ kVA}$$

Proto jsou obě možnosti přijatelné.

Určím ekonomicky proveditelnou možnost instalace transformátorů.

**Tab. 3 – Technické údaje transformátorů**

Typ transformátorů	$S_{N.tr}$ [kVA]	$P_{np}$ [kW]	$P_{nk}$ [kW]	$I_{np}$ [%]	$U_{nk}$ [%]	Cena [tis.tg]
TMG-630-10/0,4	630	0,94	7,6	1,6	5,5	1940
TMG-250-10/0,4	250	0,55	3,7	1,9	4,5	1260

#### 4.5 Výpočet napájecího vedení.

Dlouhodobé špičkové zatížení vodičů a kabelů je určováno zahříváním. Jakýkoli nepřetržitě proud za stálých vnějších podmínek odpovídá dobře definované ustálené teplotě vodiče. Vedení musí být navržena s ohledem na velikost protékajícího proudu, úbytek napětí, provozní režim.

Počáteční data pro výpočet napájecího vedení:  $S_{vyp} = 666,6 \text{ kVA}$ ,  $n$  - počet kabelových vedení (KV) -2, napětí 10 kV, délka 1 km,  $T_{max} = 8760 \text{ h}$ ;  $j_e = 1,2$  - ekonomická proudová hustota;

$t_{str.norm} = 20^\circ$  – nastavená okolní teplota;

$t_{pr}^0 = 60^\circ$  – přípustná teplota;

$t_{str}^0 = 15^\circ$  – podmíněná teplota média.

Jako napájecí vedení zásobující provoz jsem vybral dvě kabelové vedení značky ACB. Průřez kabelu se vypočítá podle ekonomické hustoty proudu na základě jmenovitého proudu zjištěného z celkového zatížení 0,4 kV a 10 kV:

$$I_{vyp} = \frac{S_{vyp}}{\sqrt{3} * U * n} \quad (12)$$

Určím ekonomický průřez a výpočetní proud:

$$I_{vyp} = \frac{666,7}{1,73 * 10 * 2} = 23,6 \text{ A} \quad (13)$$

$$S_3 = I_{vyp} / j_3 \quad (14)$$

Kde  $j_3$  – ekonomická hustota proudu

Podle ekonomického průřezu jsem zvolil kabel ASB ( $3 \times 16$ );  $I_{max} = 75$  (A),  $r_0 = 1,95$  Ohm/km,  $x_0 = 0,113$  Ohm / km je odpor a reaktance kabelové linie. Kabel ASB je to silový hliníkový kabel s třemi žílymi, s impregnovanou papírovou izolací, stíněním a kovovým opletením.

Kontroluju ohřev kabelového vedení

Určím skutečnou teplotu:

$$t_{sk} = t_{str.nor} + (t_{pr}^{\circ} + t_{str}^{\circ}) * (I_{vyp} / I_{pr})^2 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (15)$$

$$I_{pr} = 75 * 1.15 * 0.9 = 77,6 \text{ A} \quad (16)$$

kde  $t_{sk}$  – skutečná teplota kabelu

$t_{str.nor}^{\circ}$  – teplota okolí.

$t_{pr}^{\circ}$  – přípustná teplota.

$$I_{pr} = I_{pr.kab} * K * K_n$$

$K$  - korekční faktor pro proudy kabelů.

$K_n$  - korekční faktor pro počet pracovních kabelů.

$I_{pr}$  - přípustný proud pro vybraný úsek kabelu.

$$t_{sk} = 20 + (60^{\circ} + 15^{\circ}) * \left(\frac{23,6}{77,6}\right)^2 = 27^{\circ}\text{C}$$

Protože je podmínka splněna  $27^{\circ} = t_{sk}^{\circ} \leq t_{pr}^{\circ} = 60^{\circ}$ , zvolený kabel splňuje podmínky ohřevu kabelu:

Stanovení úbytku napětí třífázového vedení se zátěží na konci.

Při rovnoměrném zatížení na 3 fázích a se stejným odporem vodičů lze stanovit úbytek napětí pro jednu fázi.

Určím úbytek napětí:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} * I_{vyp} * l * (r_0 * \cos\varphi + x_0 * \sin\varphi)}{U_N} * 100\% \quad (17)$$



$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} * 23,6 * 1 * (1,95 * 0,993 + 0,113 * 0,1)}{10^3} * 100\% = 0,65\%$$

Zvolený kabel nespĺňuje podmínky pro úbytek napětí,  $\Delta U \% < 5$ .

Zvolím větší kabel ASB (3 × 25);  $I_{\max} = 90$  (A),  $r_0 = 1,24$  Ohm/km,  $x_0 = 0,099$  Ohm / km.

$$t_{sk} = 20 + (60^0 + 15^0) * \left(\frac{23,6}{93}\right)^2 = 24,8^{\circ}\text{C}$$

$$I_{pr} = 90 * 1.15 * 0.9 = 93 \text{ A}$$

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} * 23,6 * 1 * (1,24 * 0,993 + 0,099 * 0,1)}{10^3} * 100\% = 4,8\%$$

Tab. 4 – Porovnání parametru vybraného kabelu

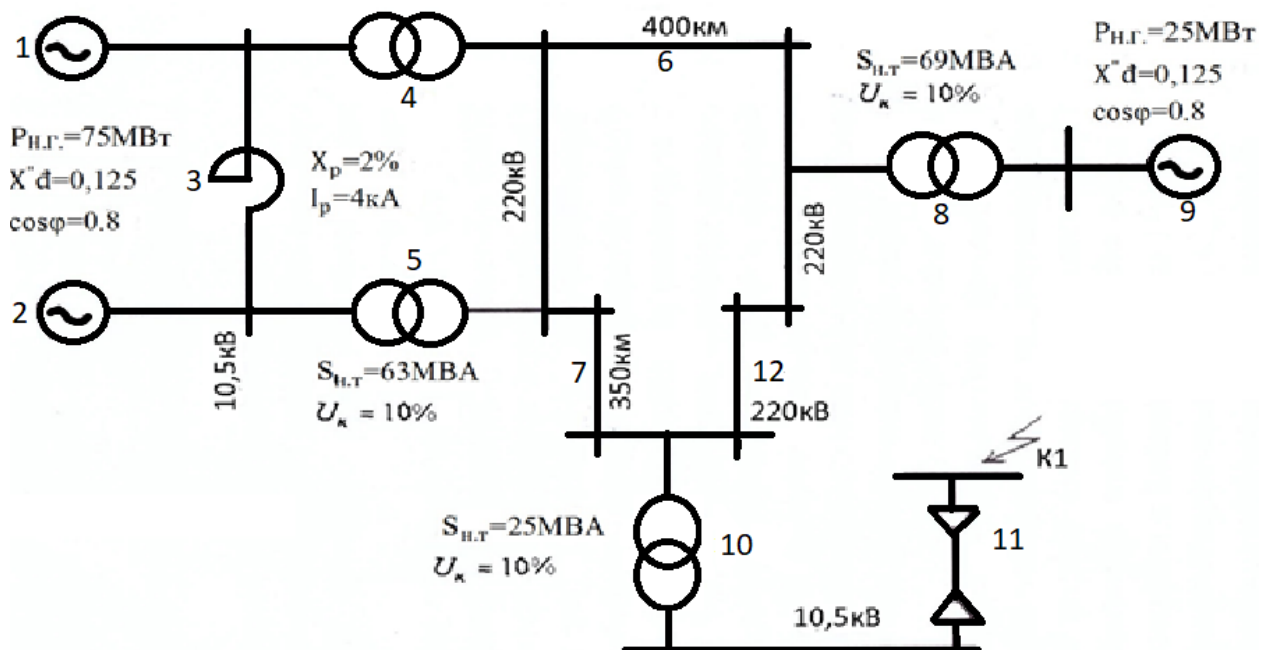
Vypočtené hodnoty	Tabulkové hodnoty
$I_{\text{vyp.}} = 23,6 \text{ A.}$ $t_{\text{sk.}} = 24,8^{\circ}\text{C.}$ $\Delta U. = 4,8 \%$	$I_{\text{pr.}} = 90 \text{ A}$ $T_{\text{pr.t.}} = 60^{\circ}\text{C}$ $\Delta U_{\text{pr.}} = 5 \%$

## 5. VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ.

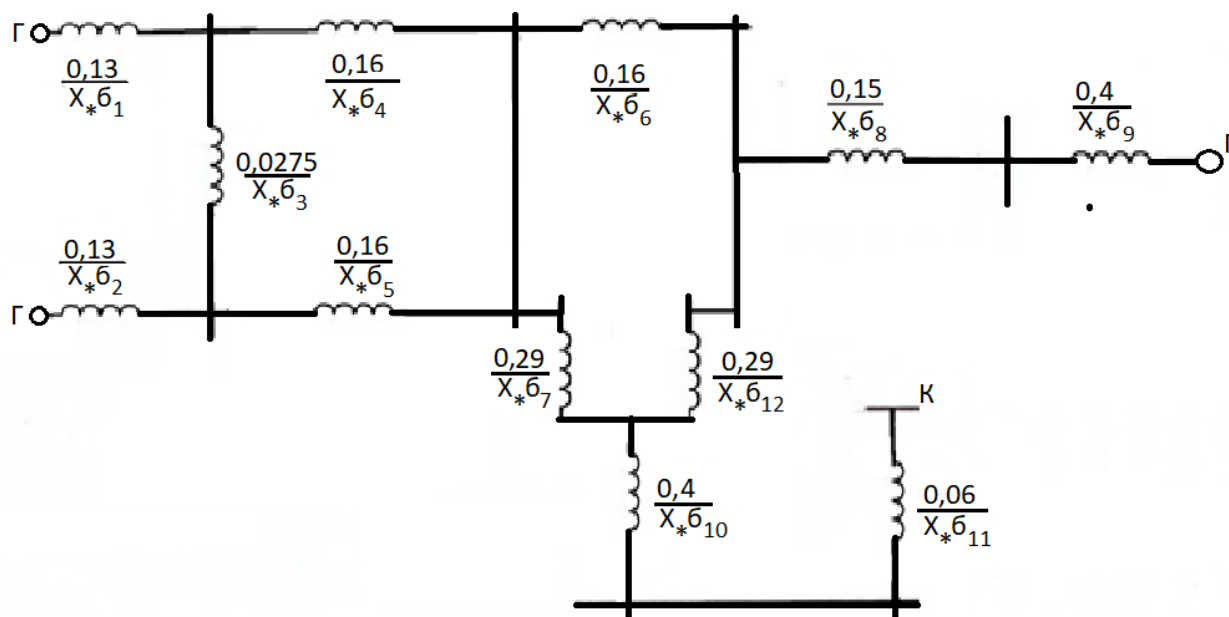
### 5.1 Výpočet zkratových proudů na straně VN.

Výpočet zkratových proudů provádím na základě údajů provozovatele distribuční soustavy.

Ve výpočtu zkratových proudů pro zjednodušení uvažuji pouze reaktanci.



Obr. 4 – Výpočetní schéma zkratových proudů na straně VN



Obr. 5 – Náhradní schéma zkratových proudů na straně VN

Spočtu zdánlivý výkon generátorů:

$$S_{G9} = \frac{25}{0,8} = 31,25 \text{ MVA}$$

$$S_{G1,2} = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{75}{0,8} = 91,75 \text{ MVA}$$

Zadávám vztažný (referenční) výkon a napětí:

$$S_{\delta} = 100 \text{ MVA}, U_{\delta} = 10 \text{ kV}.$$

Referenční proud:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100}{1,73 \cdot 10} = 5,5 \text{ kA}$$

Určím referenční hodnoty odporu každého úseku schématu v bezrozměrných veličinách.

Reaktance systému:

$$x_s = x_{II} = 0$$

Reaktance generátorů:

$$X_{*61} = X_{*62} = x_a^{II} \frac{S_{\delta}}{S_{G1,2}} = 0,125 \frac{100}{91,75} = 0,13;$$

$$X_{*69} = x_a^{II} \frac{S_{\delta}}{S_{G9}} = 0,125 \frac{100}{31,25} = 0,4;$$

Reaktance transformátorů:

$$X_{*64} = X_{*65} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{T4,5}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,16;$$

$$X_{*68} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{T8}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{69} = 0,15;$$

$$X_{*610} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{T10}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,4;$$

Reaktance vedení:

$$X_*\delta_7 = X_*\delta_{12} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{V7}^2} = 0,4 \cdot 350 \cdot \frac{100}{220^2} = 0,28;$$

$$X_*\delta_6 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{V7}^2} = 0,4 \cdot 400 \cdot \frac{100}{220^2} = 0,33;$$

Pro napájecí kabel:

$$X_0 = 0,4 \text{ и } l = 1 \text{ и } r_0 = 1,95;$$

$$X_*\delta_{11} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{V11}^2} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{100}{10^2} = 0,36;$$

$$r_*\delta_{11} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{V11}^2} = 1,95 \cdot 1 \cdot \frac{100}{10^2} = 1,77;$$

Reaktance reaktoru:

$$X_*\delta_3 = \frac{X_p\%}{100\%} \cdot \frac{I_6 \cdot U_{R3}}{U_6 \cdot I_{R3}} = \frac{2}{100} \cdot \frac{5,5 \cdot 10,5}{10 \cdot 4} = 0,0275;$$

Zjednodušíme náhradní schéma.

Přepočítávám trojúhelníky  $X_3;X_4;X_5$  и  $X_6;X_7;X_{12}$  do ekvivalentních hvězd:

$$X_*\delta_{13} = \frac{X_*\delta_4 \cdot X_*\delta_5}{X_*\delta_4 + X_*\delta_5 + X_*\delta_3} = \frac{0,16 \cdot 0,16}{0,16 + 0,16 + 0,0275} = 0,07;$$

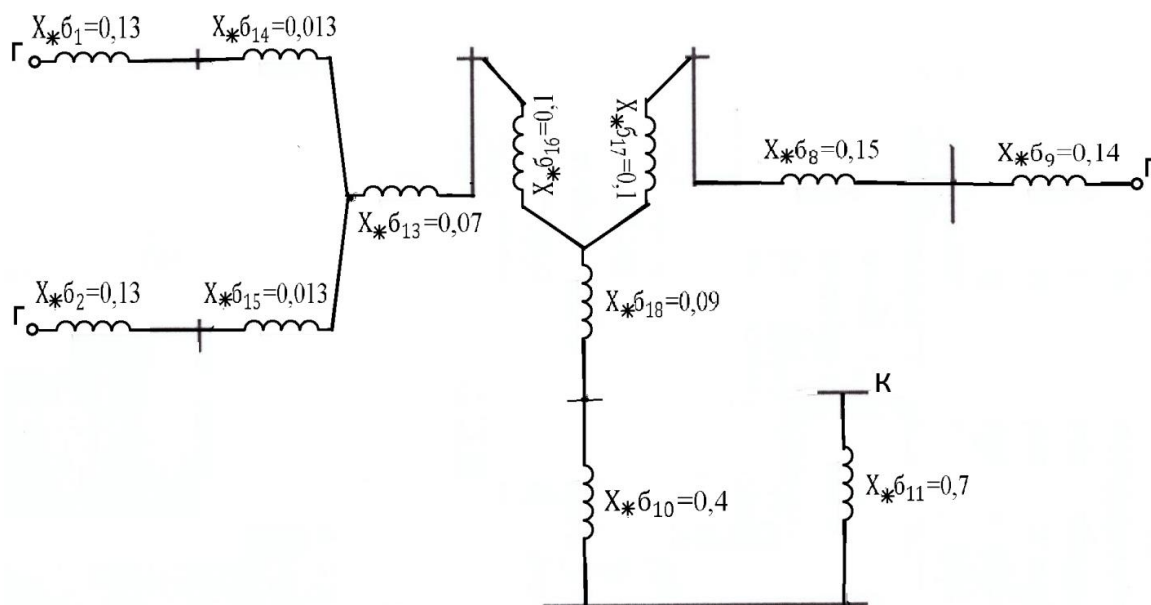
$$X_*\delta_{14} = \frac{X_*\delta_4 \cdot X_*\delta_3}{X_*\delta_4 + X_*\delta_3 + X_*\delta_5} = \frac{0,16 \cdot 0,0275}{0,16 + 0,0275 + 0,16} = 0,013;$$

$$X_*\delta_{15} = \frac{X_*\delta_5 \cdot X_*\delta_3}{X_*\delta_5 + X_*\delta_3 + X_*\delta_4} = \frac{0,0275 \cdot 0,16}{0,0275 + 0,16 + 0,16} = 0,013;$$

$$X_*\delta_{16} = \frac{X_*\delta_6 \cdot X_*\delta_7}{X_*\delta_6 + X_*\delta_7 + X_*\delta_{12}} = \frac{0,33 \cdot 0,29}{0,33 + 0,29 + 0,29} = 0,1;$$

$$X_*\delta_{17} = \frac{X_*\delta_6 \cdot X_*\delta_{12}}{X_*\delta_6 + X_*\delta_{12} + X_*\delta_7} = \frac{0,33 \cdot 0,29}{0,33 + 0,29 + 0,29} = 0,1;$$

$$X_*\delta_{18} = \frac{X_*\delta_7 \cdot X_*\delta_{12}}{X_*\delta_7 + X_*\delta_{12} + X_*\delta_6} = \frac{0,29 \cdot 0,29}{0,29 + 0,29 + 0,33} = 0,09;$$



Obr. 6 – Zjednodušení náhradního schématu

Reaktance  $X_{*b_1}$  a  $X_{*b_{14}}$ ;  $X_{*b_2}$  a  $X_{*b_{15}}$  zapojeny do série:

$$X_{*b_{19}} = X_{*b_1} + X_{*b_{14}} = 0,13 + 0,013 = 0,143 ;$$

$$X_{*b_{20}} = X_{*b_2} + X_{*b_{15}} = 0,13 + 0,013 = 0,143 ;$$

Reaktance  $X_{*b_{19}}$  a  $X_{*b_{20}}$  zapojeny paralelně:

$$X_{*b_{21}} = \frac{X_{*b_{19}}}{2} = \frac{0,143}{2} = 0,07 ;$$

Reaktance  $X_{*b_{21}}$  a  $X_{*b_{13}}$  a  $X_{*b_{16}}$  zapojeny do série:

$$X_{*b_{22}} = X_{*b_{21}} + X_{*b_{13}} + X_{*b_{16}} = 0,07 + 0,07 + 0,1 = 0,24 ;$$

Reaktance  $X_{*b_{17}}$  a  $X_{*b_8}$  a  $X_{*b_9}$  zapojeny do série:

$$X_{*b_{23}} = X_{*b_{17}} + X_{*b_8} + X_{*b_9} = 0,1 + 0,15 + 0,14 = 0,39 ;$$

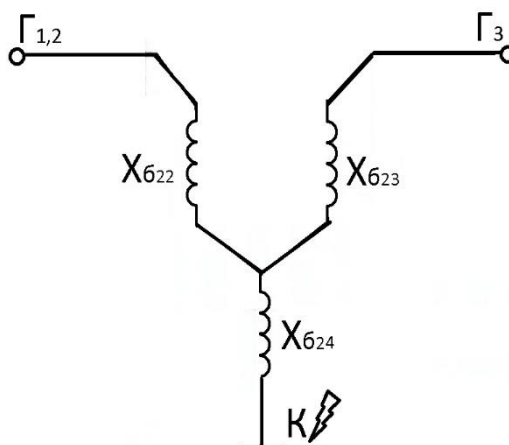
Reaktance  $X_{*b_{18}}$  a  $X_{*b_{10}}$  a  $X_{*b_{11}}$  zapojeny do série:

$$X_{*b_{24}} = X_{*b_{18}} + X_{*b_{10}} + X_{*b_{11}} = 0,09 + 0,4 + 0,36 = 0,85 ;$$

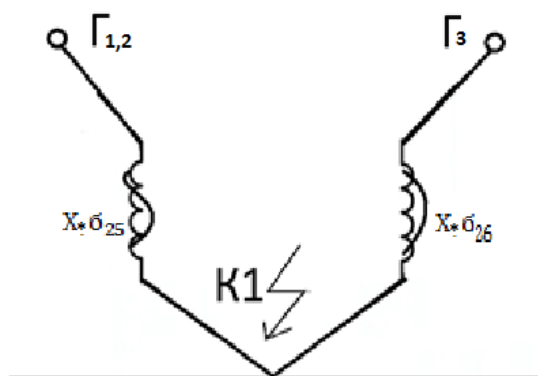
Reaktance  $X_{*b_{22}}$ ,  $X_{*b_{23}}$ ,  $X_{*b_{24}}$  jsou zapojené do hvězdy, kterou přepočítám na ekvivalentní trojúhelník:

$$X_{*b_{25}} = X_{*b_{22}} + X_{*b_{24}} + \frac{X_{*b_{22}} \cdot X_{*b_{24}}}{X_{*b_{23}}} = 0,24 + 0,85 + \frac{0,24 \cdot 0,85}{0,39} = \mathbf{1,61} ;$$

$$X_{*b_{26}} = X_{*b_{23}} + X_{*b_{24}} + \frac{X_{*b_{23}} \cdot X_{*b_{24}}}{X_{*b_{22}}} = 0,39 + 0,85 + \frac{0,39 \cdot 0,85}{0,24} = \mathbf{2,62} ;$$



Obr. 7 – Zjednodušení náhradního schématu 2



Obr. 8 – Zjednodušené náhradní schéma

Možnost spojení zdrojů napětí můžeme ověřit pomocí vztahu:

$$\frac{S_{\Sigma r_{1,2}} \cdot X_{*025}}{S_{\Sigma r_3} \cdot X_{*026}} = \frac{2 \cdot 91,75 \cdot 1,61}{31,25 \cdot 2,62} = \mathbf{3,62}$$

Z důvodu překročení meze ( $0,4 \div 2,5$ ), spojení zdrojů není možné. Další parametry obvodu při zkratu určím zvlášť od generátoru G1,2 a G3

### Výpočet zkratového proudu od G<sub>1,2</sub>

Ověřím nutnost počítání s odporem napájecího kabelu,

$$\frac{x_{*022}}{3} = \frac{0,24}{3} = 0,08 \leq r_{*011} = 1,77$$

Podmínka splněná musím počítat s odporem.

Určím impedance obvodu od G<sub>1,2</sub>

$$z_{*025} = \sqrt{r^2 + X_{*025}^2} = \sqrt{1,77^2 + 1,61^2} = 2,39$$

Spočítám ustálený proud zkratu:

$$I_{zkG_{1,2}} = \frac{I_0}{z_{*025}} = \frac{5,5}{2,39} = 2,3 \text{ kA};$$

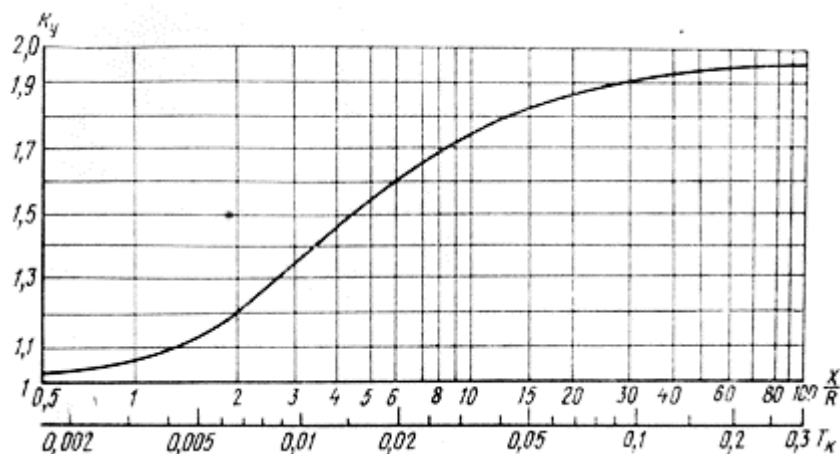
Spočítám rázový proud zkratu od G<sub>1,2</sub>:

$$i_{r.G_{1,2}} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zkG} \text{ kA}$$

kde:  $K_y = 1,1$  koeficient, odečítám z grafu, vycházím z podílu,

$$\frac{x_{*025}}{r_{*0}} = \frac{1,61}{1,13} = 1,42$$

$$i_{r.G_{1,2}} = 1,1 \cdot 1,4 \cdot 2,3 = 3,58 \text{ kA}$$



Obr. 9 – Závislost  $K_y$  na  $X/R$

Určím výkon nakrátko od generátoru:

$$S_{zk.G_{1,2}} = \frac{S_0}{z_{*025}} = \frac{100}{1,61} = 62,1 \text{ MVA}$$

### Výpočet zkratových proudů od G<sub>3</sub>

Ověřím nutnost počítání s odporem napájecího kabelu,

$$\frac{x_{*623}}{3} = \frac{0,39}{3} = 0,35 \leq r_{*69} = 1,77$$

Podmínka splněná musím počítat s odporem.

Určím impedanci obvodu od G<sub>3</sub>

$$z_{*626} = \sqrt{r^2 + X_{*626}^2} = \sqrt{1,77^2 + 2,62^2} = 3,16$$

Spočítám ustálený proud zkratu:

$$I_{zkG3} = \frac{I_6}{z_{*626}} = \frac{5,5}{3,16} = 1,74 \text{ kA};$$

Spočítám rázový proud zkratu od G<sub>1,2</sub>:

$$i_{r.g} = K_y * \sqrt{2} * I_{zkG} \text{ kA}$$

kde:  $K_y = 1,22$  koeficient, odečítám z grafu, vycházím z podílu,

$$\frac{x_{*626}}{r_{*60}} = \frac{2,62}{1,13} = 2,32;$$

$$i_{r.G3} = 1,22 \cdot 1,4 \cdot 1,74 = 3, \text{ kA}$$

Určím výkon nakrátko od generátoru G<sub>3</sub>:

$$S_{zk.G3} = \frac{S_6}{z_{*626}} = \frac{100}{3,16} = 31,65 \text{ MVA}$$

Určím výsledné značení parametru od generátorů:

$$S_{zk} = S_{zk.G1,2} + S_{zk.G3} = 62,1 + 31,65 = 93,75 \text{ MVA}$$

$$I_{zk} = I_{zk.G1,2} + I_{zk.G3} = 2,3 + 1,74 = 4,04 \text{ kA}$$

$$i_r = i_{r.G1,2} + i_{r.G3} = 3,58 + 3 = 6,58 \text{ kA}$$

### 5.2 Výpočet zkratových proudů na straně NN.

Referenční hodnoty.

TS – 10/630;  $S_{N.tr} = 630 \text{ kVA}$ ;  $U_{nk} = 5,5\%$ ;  $\Delta P_{nk} = 7,6 \text{ kBT}$

Na straně 10 kV:

Výpočetní proud:

$$I_{vyp10} = \frac{S_{vyp}}{\sqrt{3} \times U_{N10}} = \frac{817,5}{1,73 \times 10} = 47,2 \text{ A}$$

Odpojovač střídavého napětí na straně 10 kV

BHA– 10/400 – 20V3,  $S_{vypn} = 200 \text{ MVA}$

Na straně 0,4 kV

Výpočetní proud:

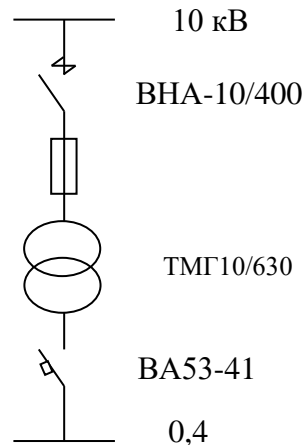
$$I_{vyp0,4} = \frac{S_{vyp}}{\sqrt{3} \times U_{N0,4}} = \frac{817,5}{1,73 \times 0,4 \times 2} = 590 \text{ A}$$

Vstup na 0,4kV :

Jistič BA53- 41

Měděný pás AT ( $25 \times 3$ ),  $I_{přip} = 625 \text{ A}$ ;  $r_0 = 0,074$ ;  $x_0 = 0,189$ ;

$b = 3$ ;  $a = 300 \text{ mm}$ ;  $l = 1,5 \text{ m}$ ;



Obr. 10 – Schéma napájení transformátoru

Výpočet provádíme v souměrných hodnotách.

Určím odpor systému:

$$x_c = \frac{U_N^2}{S_{vypn}} = \frac{400^2}{200 \cdot 10^6} = 0,8$$

Určím odpor transformátoru:

$$r_{*tr} = \frac{\Delta P_{nk}}{S_{N.tr}} = \frac{7,6}{630} = 0,012$$

$$x_{*tr} = \sqrt{\left(\frac{U_{nk}\%}{100}\right)^2 - r_{*tr}^2} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - 0,012^2} = 0,04$$

Určím odpor a reaktance transformátoru:

$$r_{tr} = \frac{r_{*tr} \times U_N^2}{S_{N.tr}} = \frac{0,012 \cdot 400^2}{630} = 3,05 \text{ m}\Omega$$

$$x_{tr} = \frac{x_{*tr} \times U_N^2}{S_{N.tr}} = \frac{0,04 \cdot 400^2}{630} = 10,16 \text{ m}\Omega$$

Přechodný odpor kontaktů jističe přijímáme  $r_k = 0,08 \text{ m}\Omega$ . Přechodný odpor spojení pásu (tyče) a místě zkratu bereme  $r_{pr} = 15 \text{ m}\Omega$ , odpor jističe  $r_j = 0,3 \text{ m}\Omega$

Určím odpor pásu:

$$r_{pás} = r_0 \cdot l = 0,074 \cdot 1,5 = 0,111$$

$$x_{pás} = x_0 \cdot l = 0,189 \cdot 1,5 = 0,28$$

Určím celkový odpor a reaktanci:

$$\sum r = r_{tr} + r_j + r_k + r_{pr} + r_{pás} = 3,05 + 0,3 + 1,5 + 0,08 + 0,111 = 18,54 \text{ m}\Omega$$

$$\sum x = x_{tr} + x_c + x_{pás} = 11,24 \text{ m}\Omega$$

Impedance:

$$Z = \sqrt{\sum r^2 + \sum x^2} = \sqrt{18,54^2 + 11,24^2} = 21,7 \text{ m}\Omega$$

Určím proudy nakrátko:

$$I_{zk} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{1,73 \cdot 21,7} = 10,51 \text{ kA}$$

Určím rázový proud nakrátko:

$$i_r = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_r = 1,4 \cdot 1 \cdot 10,51 = 14,7 \text{ kA}$$

kde  $K_y=1$  Určujeme podle grafu  $\frac{\sum x}{\sum r} = 0,25$

Určím výkon zkratu na straně nn:

$$S_{zk} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I = 1,73 \cdot 0,4 \cdot 47,2 = 32,4 \text{ MVA}$$

Údaje zadáváme do tabulky.

**Tab. 5 – Výsledky zkratu na stranách 10 kV a 0,4 kV**

Bod zkratu	$I_{zk}$ , kA	$i_r$ , kA	$S_{zk}$ , MVA
K-1 10kV	4,04	6,58	93,75
K-2 0.4kV	10,51	14,7	32,4

## 6. VÝBĚR VN ZAŘÍZENÍ

### 6.1 Výběr vodičů.

Veškerá zařízení dělíme na třídy podle napětí. Obvykle dělíme na zařízení vysokého (vn) a nízkého (nn) napětí. Zařízení vybírám na základě vypočtených veličin a porovnáním posledních s přípustnými hodnotami vybraných zařízení, výpočet provádím jak v normálním stavu tak i při zkratu.

Výběr průřezu vedení (kabelů, drátů, pásů (pásová sběrnice)) provádím na základě dovoleného oteplení, a největšího přípustného proudu při nominálním zatížení se zahrnutím ekonomické hustoty proudu (pro vedení a kabely vn). Pak provádím kontrolu přetížení v po havarijním stavu, elektromechanické pevnosti pásů, termické odolností při zkratu.

Údaje pro výběr zařízení vysokého napětí pro rozváděč na 10kV :

$$S_{vyp} = 817,5 \text{ kVA}, S_{N,tr} = 630 \text{ kVA}, i_r = 6,58 \text{ kA}, i_{zk} = 4,04 \text{ kA}, S_k = 93,75 \text{ MVA}$$



Pásky vybírám na základě vypočteného proudu.

Určím proud:

$$I_{vyp} = \frac{S_{vyp}}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{817,5}{1,73 * 10} = 47,2 A$$

Podle proudu z katalogu vybírám hliníkový pás s průřezem:

AT ( 15×3) mm<sup>2</sup>, I<sub>prip</sub>=165A (h = 15mm, b=3mm)

Provádím kontrolu elektrodynamických a po té elektrotermických namáhání vybraného vodiče.

Maximální síla působící na pás:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} * I_{vyp} * l * (r_0 * \cos\varphi + x_0 * \sin\varphi)}{U_N} * 100\% \quad (18)$$

$$F = 0,176 * \frac{L}{a} * i_r^2 = 0,176 * \frac{150}{30} * 6,58^2 = 38 N$$

Kde:

- L – vzdálenost mezi podpěry
- a – vzdálenost mezi osami pásů
- i<sub>r</sub> – rázový proud zkratu

Maximální mechanický moment působící na pás, vytvořený zkratovým proudem:

$$M = 0,1 * F * L = 0,1 * 38 * 150 = 571 N * cm \quad (19)$$

$$W = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0,3 * 1,5^2}{6} = 0,1125 cm^3 \quad (20)$$

Mechanické napětí v metalu při ohýbání:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{571}{0,1125} = 5080 N/cm^2 \quad (21)$$

Pro splnění mechanické pevnosti musí být splněno  $\sigma \leq \sigma_{prip}$ ,

$$5080 = \sigma \leq \sigma_{prip} = 7000 N/cm^2$$

Podmínka splněná.

Minimálně přípustný průřez:

$$S_{min} = \alpha * I_{zk} * \sqrt{t_{prip}} = 11 * 6,58 * \sqrt{0,95} = 113 mm^2 \quad (22)$$

Kde:  $\alpha = 11$ , pro hliník

Pro splnění teplotní odolnosti musí být splněno  $S_{min} \leq S_{pas}$ ,

$$66 = S_{min} \leq S_{pas} = 45 mm^2$$

S důvodu že podmínka není splněná, pás AT (15×3) mm<sup>2</sup> musíme zvětšit na AT (25×3). Znovu provádíme kontrolu elektrodynamických a elektrotermických namáhání na vybraný vodič.

$$W = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0,3 * 2,5^2}{6} = 0,3125 cm^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{975}{0,3125} = 1827 \text{ N/cm}^2$$

$$1827 = \sigma \leq \sigma_{prip} = 7000 \text{ N/cm}^2$$

$$66 = S_{min} \leq S_{pas} = 75 \text{ mm}^2$$

**Tab. 6 – Porovnání parametru vybraného vodiče s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené hodnoty		Katalogové údaje hliníkového vodiče
$I_{vyp} = 47,2 \text{ A}$ $\sigma_{vyp} = 5080 \text{ N/cm}^2$ $S_{pás} = 25 \cdot 3 = 75 \text{ mm}^2$	$\leq$ $\leq$ $\geq$	$I_{prip} = 265 \text{ A}$ $\sigma_{prip} = 7000 \text{ N/mm}^2$ $S_{min} = 66 \text{ mm}^2$

### 6.2 Výběr podpěrných izolátorů.

Podpěrné izolátory pro upevnění hliníkových pásů v rozváděči navrhuji ИО-10-3,75 У3, pro které  $U_N = 10 \text{ kV}$ ,  $F_{prip} = 3750 \text{ N}$ .

Provádím kontrolu mechanické pevností izolátorů.

Maximální síla působící na izolátor:

$$F = 0,176 \cdot \frac{L}{a} \cdot i_r^2 = 0,176 \cdot \frac{150}{30} \cdot 6,58^2 = 38 \text{ N}$$

$$38 \text{ N} = F_{vyp} \leq F_{prip} = 0,6 \cdot 3750 = 2250 \text{ N}$$

**Tab. 7 – Porovnání parametru vybraného podpěrného izolátoru s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N = 10 \text{ kV}$	$\leq$	10 kV
$F_{vyp} = 38 \text{ N}$	$\leq$	$0,6F_{prip} = 2250 \text{ N}$

### 6.3 Průchodkové izolátory.

Průchodkové izolátory navrhuji typu ИПУ-10/630-7,5 УХЛ1,  $U_N = 10 \text{ kV}$

$$I_N = 630 \text{ A}, F_{prip} = 7500 \text{ N}$$

Kontrola mechanické pevností izolátoru:

$$38 \text{ N} = F_{vyp} \leq F_{prip} = 0,6 \cdot 7500 = 4500 \text{ N}$$

**Tab. 8 – Porovnání parametru průchodkového izolátoru s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N = 10 \text{ kV}$	$\leq$	10 kV
$I_{vyp} = 47,2 \text{ A}$	$\leq$	630 A
$F_{vyp} = 38 \text{ N}$	$\leq$	$0,6F_{prip} = 4500 \text{ N}$

#### 6.4 Výběr vakuového vypínače.

Vakuový vypínač je vysokonapěťový přístroj, který je používán pro spínání a rozepínání obvodů v normálním a nouzovém režimech. Používáme jej při výrobě a distribuci elektrické energie při jištění kabelu transformátorových stanic.

Vybírám vakuové vypínače na vstup na straně 10 kV.

Navrhuji vypínač typu BPO-10-12,5/630Y2

$$I_{zk}^2 \cdot t_{priv} = 4,04^2 \cdot 0,95 = 15,5 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$$

$$I_{odp}^2 \cdot t = 12,5^2 \cdot 3 = 468 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$$

$$S_{odp} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{odp} = 1,73 \cdot 10 \cdot 12,5 = 216 \text{ MVA}$$

**Tab. 9 – Porovnání parametru vakuového vypínače s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené parametry		Katalogové údaje
$U_N = 10 \text{ kV}$	$\leq$	$U_N = 10 \text{ kV}$
$I_{vyp} = 47,2 \text{ A}$	$\leq$	$I_N = 630 \text{ A}$
$i_r = 6,58 \text{ kA}$	$\leq$	$i_{max} = 32 \text{ kA}$
$I_{zk} = 4,04 \text{ kA}$	$\leq$	$I_{odp} = 12,5 \text{ kA}$
$I_{zk}^2 \cdot t = 15,5 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$	$\leq$	$I^2 \cdot t = 468 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$
$S_{zk} = \sqrt{3} \times U \times I_{zk} = 93,75 \text{ MVA}$	$\leq$	$S_{odp} = \sqrt{3} \times U \times I = 216 \text{ MVA}$

#### 6.5 Výběr odpínačů transformátorů.

Odpínač elektrický přístroj sloužící k viditelnému odpojení elektrického zařízení od napětí a to i při jmenovitém zatížení.

Navrhuju odpínač typu BHA – 10/400-20<sub>3</sub>

**Tab. 10 – Porovnání parametru odpínače s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené parametry		Katalogové údaje
$U_N = 10 \text{ kV}$	$\leq$	$U_N = 10 \text{ kV}$
$I_{vyp} = 47,2 \text{ A}$	$\leq$	$I_N = 400 \text{ A}$
$i_r = 6,58 \text{ kA}$	$\leq$	$i_{max} = 51 \text{ kA}$
$I_{zk} = 4,04 \text{ kA}$	$\leq$	$I_{odp} = 20 \text{ kA}$
$I_{zk}^2 \cdot t_{priv} = 15,5 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$	$\leq$	$I_t^2 \cdot t = 400 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$

#### 6.6 Výběr předřazených pojistek.

Pojistka vypíná zkratové proudy. Vybírám na základě konstrukčního provedení, nominálního napětí a proudu a maximálnímu proudu odpojení. Na základě údajů z katalogu navrhuju pojistku typu ПКТ-10-160-20.

**Tab. 11 – Porovnání parametru pojistky s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené parametry		Katalogové údaje
$U_N=10$ kV	$\leq$	$U_N=10$ kV
$I_{vyp}=39$ A	$\leq$	$I_N=400$ A
$I_{zk}=6,13$ kA	$\leq$	$I_{N.odp}=31,5$ kA
$S_{zk}=90,7$ MVA	$\leq$	$S_{odp}=544$ MVA

### 6.7 Výběr měřicího transformátoru proudu.

Měřicí transformátor proudu (MTP) se používá jako pomocný přístroj, který umožňuje měřit proud v obvodech vn pomocí přístrojů na nn. Primární cívku transformátoru zapojujeme sériově, na sekundární vinutí připojíme měřicí přístroje.

Vybírám MTP na základě nominálního napětí, zatížení primárního a sekundárního vinutí, třídy přesnosti a dynamické odolnosti vzhledem k zkratovým proudům.

Provádím výběr MTP pro měření na vstupu do transformátorové stanice.

Podmínka elektrodynamické odolnosti je splněná pokud,

$$K_{dyn} \geq \frac{i_r}{I_{N1}\sqrt{2}} \rightarrow K_{dyn} * I_{N1}\sqrt{2} \geq i_r \quad (23)$$

kde:

- $K_{dyn}$  – bereme z katalogu
- $I_{N1}$  – nominální proud na primární straně MTP

Podmínka termické odolnosti.

$$I_{mtp} = I_{N1}K_t \geq I_{zk}\sqrt{t_{priv}} \quad (24)$$

Nominální výkon sekundárního vinutí MTP  $S_2$  musí být větší než součet výkonů spotřebovávaného v přístrojích  $S_{pr}$  a ztrát ve vodičích a na kontaktech.

$$S_2 \geq S_{pr} + I_2^2(R_v + R_k)$$

$R_v$  a  $R_k$  – odpor vodičů a kontaktů-

Odpor přechodných kontaktů předpokládám v řádu 0,1  $\Omega$ , proud na sekundárním vinutí  $I_2 = 5$  A, pak odpor vodičů se rovná:

$$R_v = \frac{S_2 - S_{pr} - I_2^2 * R_k}{I_2^2}$$

**Tab. 12 – Porovnání parametru MTP s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené parametry		Katalogové údaje
$U_N=10$ kV	$\leq$	$U_N=10$ kV
$I_{vyp}=47,2$ A	$\leq$	$I_N=75$ A
$i_r=6,13$ kA	$\leq$	$I_{max}=K_{dyn} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1НОМ} = 265 \cdot 1,4 \cdot 0,075 = 28 \text{ kA}$
$I_{zk}^2 \cdot t_{priv}=15,5$ kA <sup>2</sup> ·s	$\leq$	$(K_t \cdot I_N)^2 \cdot t_{priv} = (60 \cdot 0,04)^2 \cdot 3 = 42 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}$

Transformátor proudu kontrolujeme na sekundární zatížení.

Sekundárním zatížením transformátoru  $Z_{N.tp}$  nazýváme impedance, která se rovna součtu všech sériově impedanci zapojených cívek přístrojů  $Z_{civ}$ , kabelů  $Z_{kab}$  a kontaktu:

$$Z_{N.tp} = \sum Z_{civ} + Z_{drat} + 0,01 * n_k$$

$n_k$  – počet kontaktů.

$$\sum Z_k = 0,1 \Omega = 0,01 \cdot n_k$$

Podle tabulek přijímáme hodnoty  $Z_{N.tt}$  a součet zapojených přístrojů  $\sum Z_{civ}$ , můžeme zjistit, průřez spojovacích kabelů:

$$Z_{kab} = Z_{N.tp} - \sum Z_{civ} - \sum Z_k$$

$$Z_{kab} \approx R_{kab};$$

$$S_{kab} = \frac{l_{vyp}}{\gamma \cdot R_{kab}} (mm^2);$$

$$l_{vyp} = 1,5 \cdot l_{skut};$$

$$l_{skut} = 20;$$

$\gamma$  – pro měď 54.

Impedance přístrojů.

Určuji  $Z_{N.tp}$  podle katalogu při třídě přesnosti 0,5:  $Z_{N.tp} = 0,4 \Omega$ .

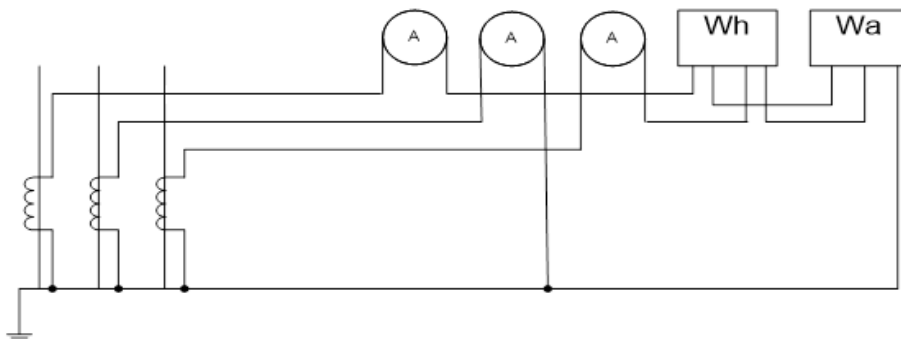
Impedance kabelu:

$$Z_{kab} = Z_{N.tp} - \sum Z_{civ} - Z_k = 0,4 - (0,07 \cdot 3 + 0,04 + 0,02) - 0,1 = 0,03 \Omega;$$

Průřez kabelu:

$$S_{drat} = \frac{l_{vyp}}{\gamma \cdot R_{kab}} = \frac{1,5 \cdot 20}{24 \cdot 0,03} = 18,52 mm^2.$$

Přijímám nejbližší možný standartní 25 mm<sup>2</sup>.



**Obr. 11 – Ilustrační obrázek zapojení měřicích přístrojů na transformátor proudu**

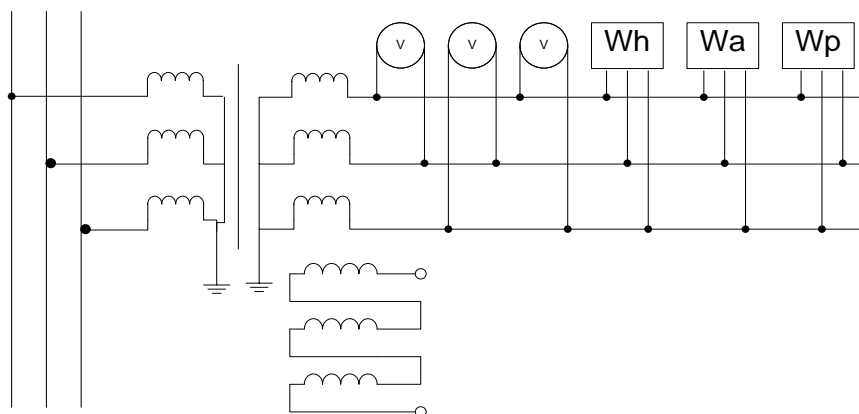
### 6.8 Výběr měřicího transformátoru napětí ( MTN )

Určen pro zvětšení rozsahu střídavého měřicího přístroje, k zapojení ochranných jednotek a automatiky.

MTN umožňuje použití standartních měřicích přístrojů zvětšením jejich rozsahu. Jinak pro měření v síti vn by bylo zapotřebí použití velkých přístrojů, což při napětí vyšším než 35 kV skoro není možné.

Takže umožňuje galvanicky oddělit měřicí přístroje a další relé.

Primární vinutí se zapojuje místo měřicího přístroje, sekundární vinutí se připojí na měřicí přístroj.



Obr. 12 – Ilustrační obrázek zapojení měřicích přístrojů na transformátor napětí

Vybírám třífázový MTN typu HTMI-10, který je schopen propouštět do 120A při třídě přesnosti 0,5.

## 7. VÝBĚR NN ZAŘÍZENÍ.

### 7.1 Výběr vodičů.

Výpočet pásů na 0,4 kV je analogický výpočtu pásů na straně vn, jenom že používám zkratové proudy na straně nn.

Na základě zkratových proudů na straně nn navrhnu pás typu AT (50x5) a provádím kontrolu.

Maximální síla působící na pás:

$$F_{0,4} = 0,176 * \frac{L}{a} * i_r^2 = 0,176 * \frac{150}{30} * 14,7^2 = 190 \text{ N}$$

Maximální mechanický moment působící na pás, vytvořený zkratovým proudem:

$$M_{0,4} = 0,1 * F * L = 0,1 * 190 * 150 = 2853 \text{ N} * \text{cm}$$

Mechanická pevnost hliníkového pásu:

$$W_{0,4} = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0,5 * 5^2}{6} = 2,08 \text{ cm}^3$$

Mechanické napětí v hliníku při ohýbání:

$$\sigma_{0,4} = \frac{M_{0,4}}{W_{0,4}} = \frac{2853}{2,08} = 1372 \text{ N/cm}^2$$

Pro splnění mechanické pevnosti musí být splněno  $\sigma \leq \sigma_{prip}$ .

$$1372 = \sigma_{0,4} \leq \sigma_{prip} = 7000 \text{ N/cm}^2$$

Podmínka elektrodynamické pevnosti splněna, dále provádím kontrolu termické odolnosti.

Minimálně přípustný průřez:

$$S_{min} = \alpha * I_{zk} * \sqrt{t_{prip}} = 11 * 10,51 * \sqrt{0,95} = 113 \text{ mm}^2$$

Pro splnění teplotní odolnosti musí být splněno  $S_{min} \leq S_{prip}$ ,

$$113 \text{ mm}^2 = S_{min} \leq S_{prip} = 250 \text{ mm}^2 \text{ podmínka splněna.}$$

**Tab. 13 – Porovnání parametru vybraného pásu 0,4 kV s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$I_{vyp}=590 \text{ A}$	$\leq$	$I_{prip} = 670 \text{ A}$
$\sigma_{vyp} = 1372 \text{ N/cm}^2$	$\leq$	$\sigma_{prip} = 7000 \text{ N/cm}^2$
$S_{st} = 50*5=250 \text{ mm}^2$		$S_{min} = 113 \text{ mm}^2$

## 7.2 Podpěrné izolátory.

Postup výpočtu podpěrného izolátoru z hlediska pevností je analogický výpočtu na straně vn

Podpěrné izolátory pro upevnění pásů na straně 0,4 kV vybírám izolátory typu ИО-1/2,5 У3,

$$F_{prip}=2500 \text{ N}, U_N=1 \text{ kV.}$$

Kontroluju mechanickou pevnost.

Maximální síla působící na pás:

$$F_{0,4} = 0,176 * \frac{L}{a} * i_r^2 = 0,176 * \frac{150}{30} * 10,51^2 = 190 \text{ N}$$

**Tab. 14 – Porovnání parametru průchodkového izolátoru 0,4 kV s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N=0,4 \text{ kV}$	$\leq$	0,4 kV
$I_{vyp}=590 \text{ A}$	$\leq$	630 A
$F_{vyp}=190 \text{ N}$	$\leq$	$0,6F_{prip}=4500 \text{ N}$

Pro připojení pásů na straně 0,4 kV vybírám jistič typu BA53-41.

**Tab. 15 – Porovnání parametru vybraného jističe s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N = 0,4 \text{ kV}$	$<$	$U_N=0,4 \text{ kV}$
$I_{vyp} = 590 \text{ A}$	$<$	$I_{N,jis}=1600\text{A}$
$1,1 \cdot I_{vyp} = 650 \text{ A}$	$<$	$I_{N.odp}=1280\text{A}$
$1,25 \cdot I_{Nj} = 8334 \text{ A}$	$<$	$I_{r(zk)}=K_r \cdot I_{N.odp}=7 \cdot 1280=8960\text{A}$
$I_{zk} = 10,51 \text{ kA}$	$<$	$I_{odp}=31\text{kA}$

### 7.3 Napájení spotřebičů a rozdělení na skupiny.

Spotřebiče o výkonu větším než 40 kW jsou napájeny na straně 0,4 kV přes jistič, kabel a stykač.

Spotřebiče o výkonu menším než 40 kW rozdělíme do skupin, a jejich napájení provádíme přes rozvodné skříně, v rozvodných skříních jsou umístěné jističe a stykače. Rozvodná skříň napájena přes jistič, kabel a odpínač.

Dále rozdělím všechny jednotky do několika rozvodných skříní.

Přípojnice č.1

$$RS - 1 = 107 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,75$$

22	30	30	3	7,5	3	7,5	4
----	----	----	---	-----	---	-----	---

$$RS - 2 = 120 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,675$$

22	22	22	2	2,2	30	Rezerva	Rezerva
----	----	----	---	-----	----	---------	---------

$$RS - 3 = 117,5 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,725$$

22	22	7,5	11,5	30	7,5	11,5	5,5
----	----	-----	------	----	-----	------	-----

Přípojnice č.2

$$RS - 1 = 115,2 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,69$$

22	22	30	30	2,2	3	2	4
----	----	----	----	-----	---	---	---

$$RS - 2 = 122,5 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,67$$

22	22	30	22	6	7,5	7,5	5,5
----	----	----	----	---	-----	-----	-----

$$RS - 3 = 123,5 \text{ kW}, \text{Cos}\varphi = 0,74$$

22	22	30	11,5	11,5	11,5	7,5	7,5
----	----	----	------	------	------	-----	-----

### 7.4 Výběr jističů.

Provádím výběr napájecích jističů v hlavní rozvodné stanici a v rozvodných skříních.

Jističe kontrolujeme podle nominálního proudu, který jistič schopen trvale přenášet, jmenovité zkratové vypínací schopnosti.

$$I_{N,odp} \geq 1,25 \cdot I_{vyp} - \text{pro napájení jednoho motoru};$$

$$I_{N,odp} \geq 1,1 \cdot I_{vyp} - \text{pro napájení obvodu s několika motory}$$



Příklad výpočtu: RS – 1,  $P_N = 107 \text{ kWh}$ ,  $\text{Cos}\varphi = 0,75$

Vypočtený maximální proud, který může odebírat RS – 1:

$$I_{vyp} = \frac{P_N}{\sqrt{3} * U_N * \text{cos}\varphi * \eta} \quad (25)$$

$$I_{vyp} = \frac{P_N}{\sqrt{3} * U_N * \text{cos}\varphi * \eta} = \frac{107}{\sqrt{3} * 0,4 * 0,75 * 0,85} = 243 \text{ A}$$

Záběrný proud:

$$I_{zab} = 7 * I_{vyp} \quad (26)$$

$$I_{zab} = 7 * I_{vyp} = 7 * 243 = 1698 \text{ A}$$

Nominální vypínací proud.

$$I_{N.odp} = 1,1 * I_{vyp} \quad (27)$$

$$I_{N.odp} = 1,1 * I_{vyp} = 1,1 * 243 = 267 \text{ A}$$

$$I_{N.jis} \geq I_{N.odp}$$

Vybírám jistič typu BA 51-37,

**Tab. 16 – Porovnání parametru jističe s vypočtenými hodnotami**

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N = 0,4 \text{ kV}$		$U_N = 0,4 \text{ kV}$
$I_{vyp} = 243 \text{ A}$	<	$I_{N.jis} = 400 \text{ A}$
$1,1 \cdot I_{vyp} = 267 \text{ A}$	<	$I_{N.odp} = 320 \text{ A}$
$1,25 \cdot I_{zab} = 2123 \text{ A}$	<	$I_{r(zk)} = K_r \cdot I_{h.p.} = 10 \cdot 320 = 3200 \text{ A}$
$I_{zk} = 10,51 \text{ kA}$	<	$I_{odp} = 25 \text{ kA}$

Analogickým způsobem provádím výpočet všech zařízení, výsledky výpočtu a vybraný jistič zapisuju do tabulky číslo 17

**Tab. 17 – Vybrané jističe**

Název spotřebiče	$I_{vyp}$ , A	$1,25 \cdot I_{vyp}$ A	$1,25 \cdot I_{zab}$ A	Typ jističe	$I_N$	$I_{N.odp}$	$I_{r(zk)}$
mlýnské čerpadlo	46	58	379	BA 52r-31	100	50	500
drenážní čerpadlo	15	19	129	BA 52r-31	100	16	
pomocné čerpadlo	53	66	434	BA 52r-31	100	80	560
pomocné čerpadlo	72	91	592	BA 52r-31	100	80	800
odpadkové čerpadlo	46	58	379	BA 52r-31	100	50	500
vodní čerpadlo	2	2	22	BA 52r-31	100	16	112
oběhové vodní čerpadlo	9	12	78	BA 52r-31	100	16	112
filtrační čerpadlo	4	6	39	BA 52r-31	100	16	112
vakuové čerpadlo	53	67	436	BA 52r-31	100	63	441
olejové čerpadlo	18	22	148	BA 52r-31	100	20	200
pohon dopravníku	49	62	405	BA 52r-31	100	80	560
pohon dopravníku	68	85	552	BA 52r-31	100	80	560
pohon keramického filtru	13	16	108	BA 52r-31	100	16	112

Název spotřebiče	$I_{vyp}$ , A	$1,25 \cdot I_{vyp}$ A	$1,25 \cdot I_{zab}$ A	Typ jističe	$I_N$	$I_{N.odp}$	$I_{r(zk)}$
pohon míchadla keramického filtru	8	10	69	BA 52Г-31	100	16	112
Třídíč	15	19	127	BA 52Г-31	100	31,5	220
posunovací zařízení	78	98	637	BA 52Г-31	100	80	800
pohon magnetického odlučovače	18	22	148	BA 52Г-31	100	20	200
pohon magnetického odlučovače	27	34	226	BA 52Г-31	100	40	280
čelistový drtič	6	8	55	BA 52Г-31	100	16	112
diskový drtič	4	6	40	BA 52Г-31	100	16	112
Větrák	63	79	414	BA 52Г-31	100	80	560
RS-1	243	267	2123	BA 51-37	400	320	3200
RS -2	302	332	2643	BA 51-37	400	400	4000
RS -3	275	302	2407	BA 51-37	400	320	3200
RS -1	283	311	2478	BA 51-37	400	320	3200
RS -2	310	341	2712	BA 51-37	400	400	4000
RS -3	283	311	2478	BA 51-37	400	320	3200

## 7.5 Výběr kabelů.

Příklad výpočtu: RS – 1,  $P_N = 107 \text{ kWh}$ ,  $\cos\varphi = 0,75$

Vypočtený maximální proud, který může odebírat RS – 1:

$$I_{vyp} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{107}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,75 \cdot 0,85} = 243 \text{ A}$$

Podle hodnoty proudu vybírám kabel typu

АСБ ( 3 x 95 + 1 x 35 ),  $I_{prip} = 255 \text{ A}$  ,

$x_0 = 0,08 \text{ Ohm/km}$  (pro jakýkoliv průřez kabelu při  $U_N < 1000 \text{ V}$ )

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{31,7 \cdot 25} = 1,26,$$

где  $\gamma = 31,7 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$  konduktance hliníku 65°C,

S – průřez jedny žily kabelu,  $\text{mm}^2$ .

Kontrolujeme úbytek napětí na kabelu:

$$U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{vyp} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi)}{U_N} = \frac{1,73 \cdot 107,7 \cdot 0,05 \cdot (1,26 \cdot 0,7 + 0,08 \cdot 0,71)}{400} \cdot 100$$

$$= 2,19\% < 5$$

Kabel má přípustný úbytek.

Analogický provádím výpočet a výběr kabelu pro ostatní spotřebiče. Výsledky vnáším do tabulky číslo 18.

**Tab. 18 – Vybrané kabely**

Název spotřebiče	$I_{\text{vyp}}, \text{ A}$	Typ kabelu	Průřez	$I_{\text{prip}}, \text{ A}$
mlýnské čerpadlo	46,75	ABBГ	3*10+1*6	70
drenážní čerpadlo	15,94	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
pomocné čerpadlo	53,43	ABBГ	3*10+1*6	70
pomocné čerpadlo	72,86	ABBГ	3*16+1*10	90
odpadkové čerpadlo	46,75	ABBГ	3*10+1*6	70
vodní čerpadlo	2	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
oběhové vodní čerpadlo	9,71	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
filtrační čerpadlo	4,86	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
vakuové čerpadlo	53,69	ABBГ	3*10+1*6	70
olejové čerpadlo	18,22	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
pohon dopravníku	49,87	ABBГ	3*10 1*6	70
pohon dopravníku	68	ABBГ	3*10+1*6	70
pohon keramického filtru	13,36	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
pohon míchadla keramického filtru	8,5	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
Třidič	15,69	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
posunovací zařízení	78,47	ABBГ	3*16+1*10	90
pohon magnetického odlučovače	18,22	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
pohon magnetického odlučovače	27,93	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
čelistový drtič	6,8	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
diskový drtič	4,99	ABBГ	3*2,5+1*2,5	29
Větrák	63,75	ABBГ	3*10+1*6	70
RS – 1	242	ACБ	3*95+1*35	255
RS – 2	302	ACБ	3*150+1*50	335
RS – 3	275	ACБ	3*120+1*35	295
RS – 1	283	ACБ	3*120+1*35	295
RS – 2	310	ACБ	3*150+1*50	335
RS – 3	283	ACБ	3*120+1*35	295

### 7.6 Výběr vypínačů pro rozvodné skříně.

Na základě vypočteného proudu vybírám vypínač typu P34

**Tab. 19 – Porovnání vypočtených hodnot s katalogovými údaji.**

Vypočtené		Katalogové údaje
$I_{\text{vyp}} = 243 \text{ kA}$	<	$I_N = 400 \text{ A}$
$i_r = 14,7 \text{ kA}$	<	$i_{\text{dyn}} = 30 \text{ kA}$
$I_{\text{zk}}^2 * t = 105 \text{ kA}^2 * \text{s}$	<	$I_t^2 * t = 400 \text{ kA}^2 * \text{s}$

**Tab. 20 – Vybrané vypínače pro napájení rozvaděčů**

Název spotřebiče	$P_{vyp}$ , kW	$I_{vyp}$ , A	$i_r$ , kA	$I_{zk}^2 \cdot t$ , kA <sup>2</sup> · s	Typ vypínače	$I_N$ , A	$i_{max}$ , kA	$I_t^2 \cdot t$ , kA <sup>2</sup> · s
Osvětlení	2.4	18	10	16	P31	100	0.1	20
RS – 1	107	224	312	125	P34	400	30	144
RS – 2	120	302	400	125	P34	400	30	144
RS – 3	117	275	400	125	P34	400	30	144
2. přípojnice								
RS – 1	115	283	400	125	P34	400	30	144
RS – 2	122	310	400	125	P34	400	30	144
RS – 3	123	283	400	125	P34	400	30	144

### 7.7 Návrh stykače pro pohon mlýnu o výkonu $P_N = 100$ kW

Stykač je zařízení pro spínání nebo rozepínání elektrických spojení (je schopen zapínat, přenášet a vypínat proudy). Stykače se používají v ovládacích obvodech u zařízení s většími výkony, jako jsou například motory. Mají aretovanou pouze jednu polohu (v drtivé většině vypnutou), v druhé poloze je musí držet cizí síla.

Vypočtené		Katalogové údaje
$U_N = 0,4$ kV $I_{vyp} = 314,55$ A	= ≤	$U_N = 0,4$ kV $I_N = 400$ A

Vybírám stykač typu KT6042Б.

Vypočet pro ostatní zařízení je analogický, soupis vybraných přístrojů uveden v následující tabulce.

**Tab. 21 – Vybrané stykače**

Název spotřebiče	$I_{vyp}$ , A	Typ stykače	$I_N$ , A
mlýnské čerpadlo	46	KMA(p)6510	65
drenážní čerpadlo	15	KMA(p)1810	18
pomocné čerpadlo	53	KMA(p)6510	65
pomocné čerpadlo	72	KMA(p)8010	80
odpadkové čerpadlo	46	KMA(p)6510	65
vodní čerpadlo	1,1	KMA(p)0910	9
oběhové vodní čerpadlo	9	KMA(p)1210	12
filtrační čerpadlo	4	KMA(p)0910	9
vakuové čerpadlo	53	KMA(p)6510	65
olejové čerpadlo	18	KMA(p)2510	25
pohon dopravníku	49	KMA(p)6510	65
pohon dopravníku	68	KMA(p)8010	80
pohon keramického filtru	13	KMA(p)1810	18
pohon míchadla keramického filtru	8,5	KMA(p)0910	9

Název spotřebiče	I <sub>vyp</sub> , A	Typ stykače	I <sub>N</sub> , A
Třidič	15	KMA(p)1810	18
posunovací zařízení	78	KMA(p)8010	80
pohon magnetického odlučovače	18	KMA(p)2510	25
pohon magnetického odlučovače	27	KMA(p)3210	32
Čelistový drtič	6,8	KMA(p)0910	9
diskový drtič	5	KMA(p)0910	9
Větrák	64	KMA(p)6510	65

Plný soupis vybraných komponentů vnitřní instalaci uvádím v následující tabulce

**Tab. 22 – Soupis vybraných komponentů**

Název spotřebiče	P <sub>N</sub> , kW	I <sub>vyp</sub> , A	Typ stykače	Typ odpínače	Typ jističe	Typ kabelu	Průřez kabelu
<b>RS – 1</b>	<b>107</b>			<b>P34</b>		<b>ACB</b>	<b>1*95 1*35</b>
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Posunovací zařízení	30	78	KMA(p)80 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*16+1*10
Vakuové čerpadlo	30	54	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Míchadlo keramického filtru	3	9	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Olejové čerpadlo	7,5	18	(p)2510	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Čelistový drtič	3	7	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Drenážní čerpadlo	7,5	16	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Oběhové čerpadlo	4	10	KMA(p)12 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
<b>RS – 2</b>	<b>120</b>	-	-	<b>P34</b>	-	<b>ACB</b>	<b>3*120+1*35</b>
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Filtrační čerpadlo	2	5	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*2,5+1*2,5
Pohon dopravníku	22	50	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Větrák	30	64	KMA(p)25 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
<b>RS – 3</b>	<b>117</b>	-	-	<b>P34</b>	-	<b>ACB</b>	<b>3*150+1*50</b>
Mlýnské čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Mlýnské čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Pohon magnetického odlučovače	7,5	18	KMA(p)25 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	11,5	28	KMA(p)32 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pomocné čerpadlo	30	73	KMA(p)80 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*16+1*10
Pohon magnetického odlučovače	7,5	18	KMA(p)25 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	11,5	28	KMA(p)32 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon keramického filtru	5,5	13	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)

Název spotřebiče	PN, kW	I <sub>vyp</sub> , A	Typ stykače	Typ odpínače	Typ jističe	Typ kabelu	Průřez kabelu
<b>RS – 1</b>	<b>115</b>			<b>P34</b>		<b>ACB</b>	
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Větrák	30	255	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Vakuové čerpadlo	30	54	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Čelistový drtič	2,2	5	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Míchadlo keramického filtru	3	9	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Filtrační čerpadlo	2	5	KMA(p)09 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Oběhové čerpadlo	4	10	KMA(p)12 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
<b>RS – 2</b>	<b>122</b>			<b>P34</b>		<b>ACB</b>	
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Odpadkové čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Větrák	30	255	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Pomocné čerpadlo	22	53	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Třídíč	6	16	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Drenážní čerpadlo	7,5	16	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Drenážní čerpadlo	7,5	16	(p)1810	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon keramického filtru	5,5	16	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
<b>RS – 3</b>	<b>123</b>			<b>P34</b>		<b>ACB</b>	
Mlýnské čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Mlýnské čerpadlo	22	47	KMA(p)65 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Pohon dopravního pásu	30	68	KMA(p)80 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	3*10+1*6
Pohon magnetického odlučovače	11,5	28	KMA(p)32 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	11,5	28	KMA(p)32 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	11,5	28	KMA(p)32 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	7,5	18	KMA(p)25 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon magnetického odlučovače	7,5	18	KMA(p)25 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)
Pohon keramického filtru	5,5	16	KMA(p)18 10	-	BA 52r-31	ABBΓ	(4x2,5)

## 8. VYPOČET OSVĚTLENÍ.

Příklad vypočtu..

Máme: A=40 m; B=18 m; H= 10 m

Určím výšku umístění světla nad pracovní plochou:

$$h = H - (h_c + h_p) \quad (28)$$

kde  $h_p$  – Výška pracovní plochy nad podlahou,

$H$  – výška stropu;

$h_c$  – vzdálenost od stropu do světelného centra světla.

$$h = 10 - (0,5 + 1) = 8,5 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi světly.

$$L = h * \lambda \quad (29)$$

kde  $h$  – výpočetní výška světla nad pracovní plochou.

$\lambda$  – bereme podle katalogu 1,4.

$$L = 8,5 * 1,4 = 11,9 \text{ m}$$

Vzdálenost od zdí do krajních světél.

$a = 0,25 * L$  - v případě, že u zdí stojí zařízení,

$a = 0,3 - 0,4 * L$  - v případě že u zdí nic není

$$a = 0,3 - 0,4 * 10 = 3,7 \text{ m}$$

Celkový počet světél.

Určím počet řad.

$$n_p = \frac{B - 2 * a}{L} + 1 \quad (30)$$

kde  $B$  – šířka provozovny, m;

$$n_p = \frac{18 - 2 * 3,7}{10} + 1 = 2 \text{ řady}$$

Počet světél v řadách.

$$n_n = \frac{A - 2 * a}{L} + 1 \quad (31)$$

kde  $A$  – délka provozovny, m;

$$n_n = \frac{40 - 2 * 3,7}{10} + 1 = 4 \text{ kusy}$$

Celkový počet světél

$$n = n_p * n_n \quad (32)$$

kde  $n_p$  – počet řad;  
 $n_n$  – počet světel v řadách;

$$n = 4 * 2 = 8 \text{ kusů}$$

Metoda využití světelného toku.

Index provozovny.

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{40 * 18}{8,5 * (40 + 18)} = 1,5$$

Plocha provozovny.

$$S = A * B = 40 * 18 = 720 \text{ m}^2$$

Určím nutný světelný tok.

$$F_l = \frac{E_N * K * Z * S}{n * \eta} \quad (33)$$

kde  $E_H$  – normou stanovená intenzita osvětlení, pro tento typ budovy je roven 60 lux.

$K$  – koeficient stárnutí, který zahrnuje zašpinění a samotné stárnutí světel. (pro provozovny s velkým obsahem prachů je roven 1,7;

$Z$  – korekce působení sousedních světel je roven 1,15;

$S$  – plocha provozovny;

$n$  – počet světel;

$\eta$  – koeficient využití světelného toku je roven 0,6.

$$F_s = \frac{150 * 1,7 * 1,15 * 720}{0,59 * 8} = 44733 \text{ lm}$$

Na základě vypočtených údajů vybírám indukční průmyslové svítidlo typu SATURN o výkonu  $P_s = 300 \text{ W}$

Instalovaný výkon světel.

$$P_{ins} = P_s * n = 300 * 8 = 2400 \text{ W}$$

Výpočetní proud.

$$I_{vyp} = K * K_c * (n * a * P_s * 10^{-3})$$

gde  $K_c$  – koeficient využití. Pro předložený typ provozovny je roven 0,85

$a$  – koeficient ztrát, které vznikají při zapnutí světel;

Vybírám kabel pro spojení svítidel a kabel pro napájení.



$$I_{vyp.sv} = 8 * 0,85 * (4 * 1,1 * 300 * 10^{-3}) = 9 \text{ A}$$

Napájecí kabel

$$I_{vyp.nap} = K * K_c * (n * a * P_{\pi} * 10^{-3})$$

$$I_{vyp.nap} = 2,53 * 0,95 * (8 * 1,1 * 300 * 10^{-3}) = 18 \text{ A}$$

Vybírám typ kabelů.

Napájecí kabel АВВГ (4\*2,5 mm<sup>2</sup>) I<sub>rip</sub> = 25 A

Kabel pro spojení АППВ (2\*2,5 mm<sup>2</sup>) I<sub>rip</sub> = 21 A

Přenášený výkon.

Kabel pro spojení АППВ (2\*2,5 mm<sup>2</sup>) I<sub>rip</sub>=21 A

$$P_{vyp.sv} = n * a * P_{\pi} * 10^{-3} = 4 * 1,1 * 300 * 10^{-3} = 1,32 \text{ kW}$$

Napájecí kabel АВВГ (4\*2,5 mm<sup>2</sup>) I<sub>rip</sub>=25 A

$$P_{vyp} = n * a * P_{\pi} * 10^{-3} = 8 * 1,1 * 300 * 10^{-3} = 2,64 \text{ kW}$$

Havarijní osvětlení.

$$E = 0,1 * E_n = 0,1 * 150 = 15 \text{ lux}$$

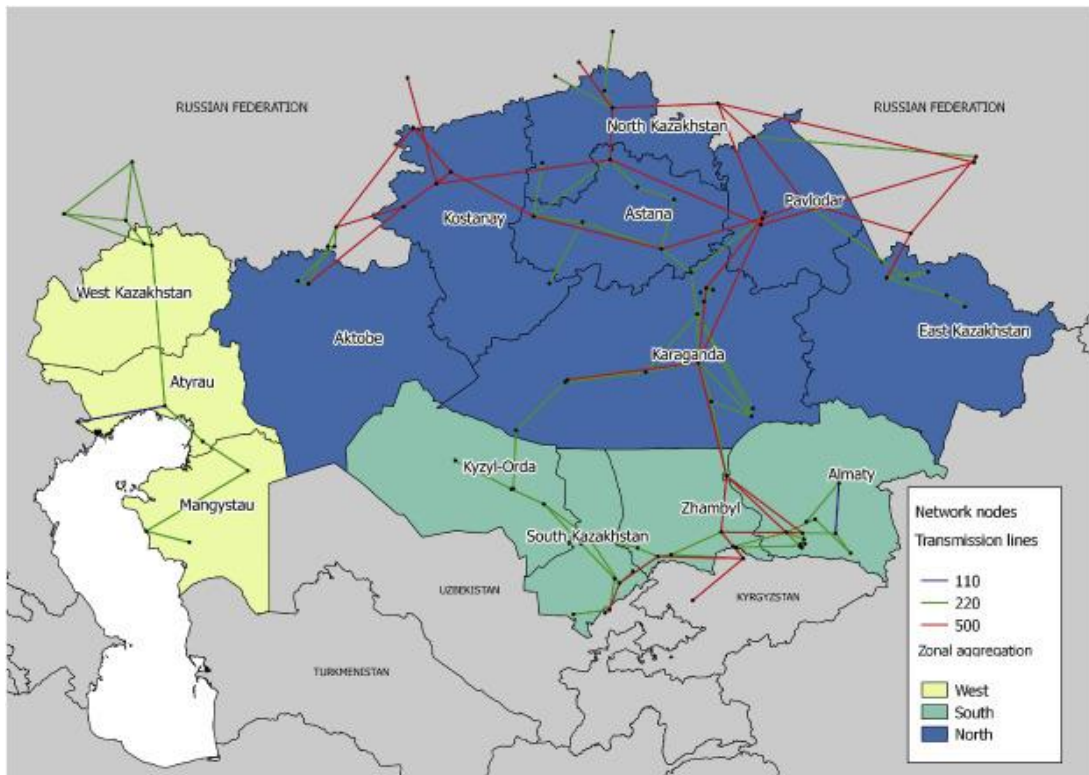
Vybírám diodové žárovky o výkonu P = 15 W

$\Phi_D = 1300 \text{ lm}$ , svítidlo ПСС-С-100

$$n = \frac{E_n * K * Z * S}{\Phi_{\pi} * \eta} = \frac{15 * 1,8 * 1,5 * 720}{13000 * 0,61} = 3,7 = 4 \text{ kusy. [ 4 ]}$$

## 9. EKONOMICKÁ ČÁST.

### 9.1 Trh elektřiny v Kazachstáně



Obr. 13 – Schéma přenosové soustavy Kazachstánu

### Úvod

Geograficky trh elektřiny rozdělen do třech oblastí: severní, jižní a západní.

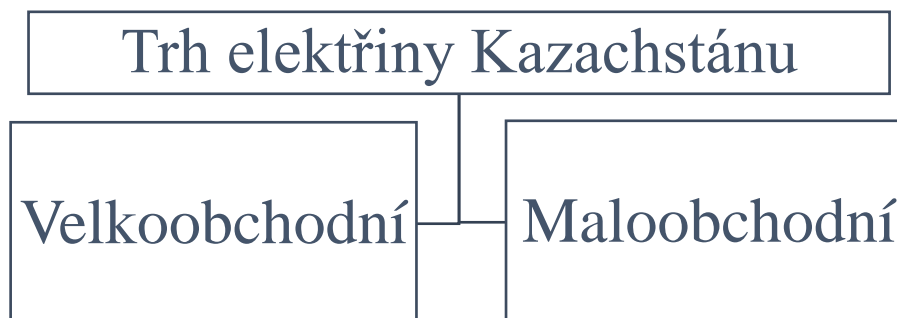
Elektroenergetika má velký vliv na ekonomiku Kazachstánu. Důvodem je vysoká spotřeba v hlavních odvětvích průmyslů (metalurgie a těžba ropy a plynu). Pak konkurence těžkého průmyslu a spokojenost obyvatelů je závislá na kvalitě a spolehlivosti dodávky elektřiny spotřebitelům. Dalším důležitým faktorem je cena.

Elektroenergetika zahrnuje několik odvětví:

1. Výroba elektrické energie (výrobu zajišťuje 179 elektráren, celkový instalovaný výkon je 23622 MW. 83% celkové energie vyrábějí v tepelných elektrárnách).
2. Přenosová soustava (zahrnuje trafostanice, rozvaděče a vedení VVN a ZVN. Zajišťuje přenos od výrobce velkoobchodním spotřebitelům a provoz soustavy mezi kraji a sousedními státy (Rusko, Kyrgyzstán, Uzbekistán).
3. Distribuční soustava (organizace zajišťující zásobování elektrickou energií, provádějí, nakup elektrické energie u výrobce nebo na burze pak prodávají koncovým spotřebitelům)
4. Spotřeba
5. Jiné působení ve sféře elektroenergetiky

## Trh elektřiny v Kazachstánu

Trh elektřiny tvořen rozdělen na dvě části, velkoobchodní a maloobchodní.

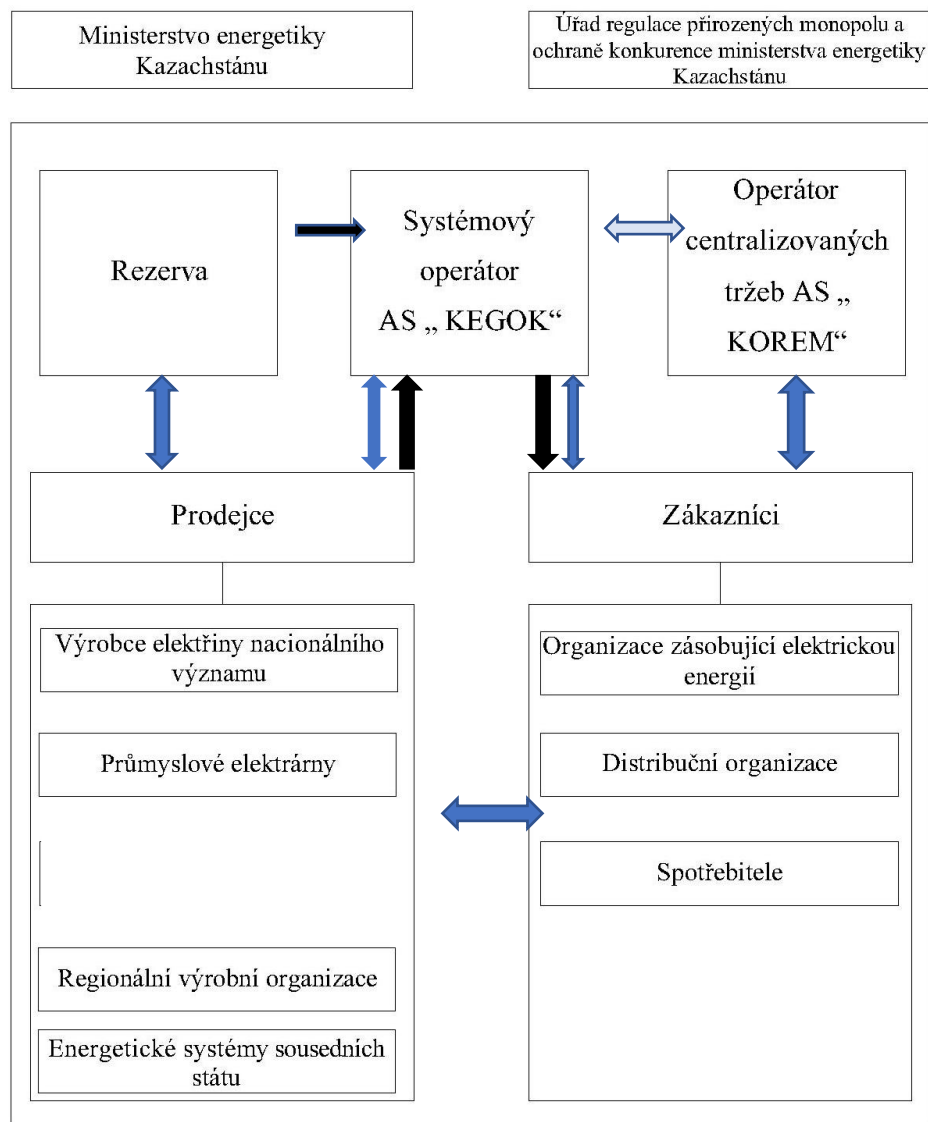


**Obr. 14 – Rozdělení trhu**

Systémové operátory, v Kazachstánu je to akciová společnost «KEGOC», regionální distribuční společnosti a další organizace, provozující elektrické sítě, zajišťují volný přístup k trhu elektrické energii, a to v pořadí určeným státním orgánem, který provádí řízení ve sféře přirozených monopolů a regulovatelných trhů.

Funkční struktura velkoobchodního trhu elektrické energii zahrnuje:

- **Trh decentralizované koupě a prodeje** (obousměrné smlouvy)
- **Trh centralizovaného prodeje** (provádějí krátkodobý (spot trade), střednědobý (týden, měsíc) a dlouhodobý (čtvrtletí, rok) prodej).
  - **Bilanční trh v aktuálním čase**, kde systémový operátor zajišťuje fyzickou a pak ekonomickou regulaci disproporce, vznikající mezi faktickými a smluvními veličinami výroby a spotřeby.
- **Trh systémových a pomocných služeb**
- **Trh instalovaného výkonu** (cílem je získání investic na zvětšení instalovaného výkonu v republice za účelem pokrytí poptávky na elektrickou energii)



Obr. 15 – Model velkoobchodního trhu

Subjekty velkoobchodního trhu s elektřinou:

- **Výrobci elektrické energie**, dodávající elektrickou energii na velkoobchodní trh a to v objemu nejméně 1 MW.
- **Spotřebitele elektrické energie**, kupující elektrickou energii na velkoobchodním trhu a to v objemu nejméně 1 MW.
- **Organizace zajišťující přenos elektrické energie.**
- **Organizace zajišťující distribuci elektrické energie.**
- **Systémový operátor**, funkcí kterého splňuje akciová společnost «KEGOC» provádějící řízení elektrických sítí.
- **Operátor centralizovaných tržeb**, akciová společnost «KOREM». [4]

## 9.2 Výpočet investičních a provozních nákladů transformátorů.

Pro výpočet RCF transformátorů měl bych použít WACC, ale z důvodu nedostatku údajů bylo rozhodnuto, že jako náhradní hodnotu použiji průměrnou hodnotu úrokové míry úvěrů od Kazachstánských bank.

### I Varianta

Výdaje na pořízení transformátorů

$$K_I = n \cdot K_{630} \quad (34)$$

kde  $K_{630}$  – cena transformátoru

$$K_I = 2 \cdot 1940 = 3880 \text{ tis. tg}$$

Náklady na ztracenou elektrickou energii v transformátorech.

$$N_{ZI} = C_0 \cdot \Delta Z_{aI}$$

$$C_0 = 5 \text{ tg/kWh}$$

$\Delta Z_{aI}$  kWh – celkové ztráty za rok

Roční doba využití maxima zatížení

$$T_m = 8760 \cdot K_c = 8760 \cdot 0,75 = 6570 \text{ h/r}$$

Doba plných ztrát

$$T_z = \left[ 0,2 \cdot \frac{T_m}{8760} + 0,8 \cdot \left( \frac{T_m}{8760} \right)^2 \right] \cdot 8760 \quad (35)$$

$$T_z = 0,6 \cdot 8760 = 5256 \text{ [ h/r ]}$$

Vypočítám ztráty výkonu a energie v transformátorech, kdy transformátory pracují v ekonomicky proveditelném režimu.

$$\Delta Q_{npI} = S_{N.tr} \frac{I_{np}\%}{100} \quad (36)$$

kde  $\Delta Q_{npI}$  – ztráty jalového výkonu při chodu transformátoru naprázdno v kVAr

$I_{np}$  – proud transformátoru naprázdno [%]

$$\Delta Q_{np} = 630 \frac{1,6}{100} = 10,08 \text{ kVAr}$$

$$\Delta Q_{nkl} = S_{N.tr} \frac{U_{nk}\%}{100} \quad (37)$$

kde  $\Delta Q_{nkl}$  – ztráty jalového výkonu při chodu transformátoru nakrátko v kVAr  
 $U_{nk}$  – napětí transformátoru nakrátko [%]

$$\Delta Q_{nk} = 630 \frac{5,5}{100} = 34,65 \text{ kVAr}$$

$$\Delta P_{npl} = P_{np} + K_{zz} * \Delta Q_{np} \quad (38)$$

kde  $P_{npl}$  – ztráty činného výkonu při chodu transformátoru naprázdno v kW  
 $K_{zz}$  – koeficient zvýšení ztrát, který je nastaven energetickým systémem

$$K_{zz} = 0,05 \text{ kW / kVAr}$$

$$\Delta P_{np} = 0,94 + 0,05 * 10,08 = 1,444 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{nkl} = 2(P_{nk} + K_{zz} * \Delta Q_{nk}) * \left( \frac{S_N}{2 * S_{N.tr}} \right)^2 \quad (39)$$

kde  $P_{nkl}$  – ztráty činného výkonu při chodu transformátoru nakrátko v kW

V případě, jestli kompenzaci provádím na straně 0,4 kV

$$\Delta P_{nk} = 2 * (7,6 + 0,05 * 34,65) * \left( \frac{667}{2 * 630} \right)^2 = 5,23 \text{ kW}$$

V případě, jestli kompenzaci provádím na straně 10 kV

$$\Delta P_{nk} = 2 * (7,6 + 0,05 * 34,65) * \left( \frac{817,5}{2 * 630} \right)^2 = 7,86 \text{ kW}$$

V případě, jestli kompenzaci provádím na straně 10 kV bude rozdíl ve ztrátách variant dán především rozdílem ztrát v transformátorech nakrátko se snížením o činné ztráty v přívodních vedení 10 kV a výše způsobené přenosem jalových ztrát v transformátorech.

$$\Delta P_{kII} = 1,444 + 7,86 = 9,3 \text{ kW}$$

Rozdíl ztrát subvariant kompenzace je  $9,3 - 6,8 = 2,63 \text{ kW}$ .

Velikost ztrát v transformátorech za rok při provedení kompenzaci na straně 10 kV.

$$Z_{np \ 630} = \Delta P_{np} * 8760 = 2 * 0,94 * 8760 = 16 \ 469 \text{ kWh}$$

$$Z_{nk \ 630} = \Delta P_{nk} * T_z * \left( \frac{S_N}{2 * S_{N.tr}} \right)^2 = 7,86 * 5256 * \left( \frac{817}{2 * 630} \right)^2 = 17 \ 369 \text{ kWh}$$

$$\Delta Z_{al \ 630} = Z_{np} + Z_{nk} = 33 \ 838 \text{ kWh}$$

Náklady na ztráty energii v transformátorech za rok

$$N_{Zl} = 5 * 33 \ 838 = 169 \ 191 = 169,2 \text{ tis. tg}$$

Roční výrobní náklady

$$NVR_I = N_{II} * a(r, T\check{z}) + n(2 * N_{udI}) + N_{zI} \quad (40)$$

$$NVR_I = N_{II} * a(r, T\check{z}) + n(2 * N_{udI}) + N_{zI} = 366\,362 + 2 * (2 * 127,345) + 169,2 = 1\,045 \text{ tis. tg}$$

$N_{udI}$  – cena údržby trať (jednou za 6 měsíců)

## II Varianta

$$K_{II} = 4 * 1260 = 5040 \text{ tis. tg}$$

$$\Delta Q_{npII} = 250 \frac{1,9}{100} = 4,75 \text{ kVAr}$$

$$\Delta Q_{nkII} = 250 \frac{4,5}{100} = 11,25 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{npII} = (0,55 + 0,05 * 4,75) = 4 * 0,79 = 3,16 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{nkII} = 4 * (3,7 + 0,05 * 11,25) \left( \frac{667}{4 * 250} \right)^2 = 4,59 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{nkII} = 4 * (3,7 + 0,05 * 11,25) \left( \frac{817,5}{4 * 250} \right)^2 = 7,17 \text{ kW}$$

Celkové ztráty v transformátorech při kompenzaci na straně 10 kW:

$$\Delta P_{II} = 3,16 + 7,17 = 10,525 \text{ kW}$$

Rozdíl ztrát subvariant kompenzace je  $10,33 - 7,75 = 2,58 \text{ kW}$ .

$$Z_{np} = n * \Delta P_{npII} * 8760 = 4 * 0,78 * 8760 = 27594 \text{ kWh}$$

$$Z_{nk} = \Delta P_{nkII} * T_z * \left( \frac{S_N}{4 * S_{N.tr}} \right)^2 = 7,17 * 5256 * \left( \frac{817}{4 * 250} \right)^2 = 25\,155 \text{ kWh}$$

$$\Delta Z_{al} = Z_{np} + Z_{nk} = 52\,749 \text{ kWh}$$

$$N_{zII} = 5 * 52\,749 = 263\,745 = 263,745 \text{ tis. tg}$$

$$NVR_{II} = N_{III} * a(r, T\check{z}) + n(2 * N_{udII}) + N_{pII} = 264\,258 + 4 * (2 * 76,696) + 263,745 = 1\,141,6 \text{ tis. tg}$$

Porovnání výsledků

$$N_{I} = 5131 \text{ tis. tg} < N_{II} = 7402 \text{ tis. tg}$$

$$NVR_{pI} = 1\,372,6 \text{ tis. tg} < NVR_{pII} = 1\,755 \text{ tis. tg}$$

$N_i$  – investiční náklad

$NVR_p$  – roční ekvivalentní náklady

**Tab. 23 - Ekonomické porovnání**

Typ transformátoru	TMG 630–10/0,4	TMG 250–10/0,4
Výkon [kVA]	630	250
Počet transformátoru	2	4
Pořizovací cena [ tis.tg ]	1 940 ₣	1 260 ₣
Cena instalace [tis. tg ]	625,513 ₣	590,513 ₣
Provoz (jednou za 6 měsíců) [ tis.tg ]	127,345 ₣	76,696 ₣
Diskontní sazba	14%	14 %
Životnost [let]	30	30
Roční výdaje na ztráty v transformátorech [ tis. tg ]	161,2 ₣	263,8 ₣
Poměrná anuita	0,1428	0,1428
<b>Celkové investiční náklady [tis.tg]</b>	<b>5 131 ₣</b>	<b>7 402 ₣</b>
Anuita	643,400 ₣	804,053 ₣
Roční provozní náklady	678,571 ₣	877,313 ₣
<b>Celkové roční ekvivalentní náklady [tis.tg]</b>	<b>1,321,971 ₣</b>	<b>1 681,366 ₣</b>

Na základě vypočtených hodnot vybíráme transformátor s nižšími celkovými ročními náklady. Vybírám transformátor TMG 630–10/0,4

### 9.3 Výpočet investičních a provozních nákladů na instalaci KB na stranách VN a NN

Návrhová data a označení: v případě 10 kV KB jsou náklady na připojovací zařízení;

$$N_{i10} = 670 \text{ tis. tg};$$

Investiční výdaje na kompenzační zařízení:

$$n_{i10} = 1\,600 \text{ tis. tg/MVAr na } 10 \text{ kV};$$

$$n_{i0,4} = 3\,000 \text{ tis. tg/MVAr na } 0,4 \text{ kV}.$$

$$N_{i1} = N_{i0} + n_{i10} * n \quad (41)$$

I varianta

$$N_{i1} = N_{i0} + n_{i10} * n = 670 + 1\,600 * 2 = 3\,870 \text{ tis. tg}$$

II varianta

$$N_{i2} = N_{0,4} * n = 300\,000 * 2 = 6\,000 \text{ tis. tg}$$



Odhadované náklady:

Celkový výkon po kompenzaci:  $S_{po} = 666,7 \text{ kVA}$

Celkový výkon před kompenzací:  $S_{pred} = 817,5 \text{ kVA}$

Roční doba využití maxima zatížení

$$T_m = 8760 * K_c = 8760 * 0,75 = 6570 \text{ h/r}$$

Celková spotřeba za rok po a před provedení kompenzací:

$$SP_{po} = S_{vyp} * T_m = 666,7 * 6570 = 4\,382,2 \text{ MWh}$$

$$SP_{pred} = S_{vyp} * T_m = 817,5 * 6570 = 5\,371 \text{ MWh}$$

Velikost ztrát v transformátoru za rok

$$Z_{np} = \Delta P_{np} * 8\,760 = 2 * 0,94 * 8\,760 = 16\,469 \text{ kWh}$$

Při kompenzaci na straně 0,4 kV

$$Z_{nk0,4} = \Delta P_{nk} * T_z * \left( \frac{S_N}{2 * S_{N.tr}} \right)^2 = 5,23 * 5\,256 * \left( \frac{666,7}{2 * 630} \right)^2 = 7\,696 \text{ kWh}$$

$$\Delta Z_{al0,4} = Z_{np} + Z_{nk0,4} = 24\,165 \text{ kWh}$$

Při kompenzaci na straně 10 kV

$$Z_{nk\,630} = \Delta P_{nk} * T_z * \left( \frac{S_N}{2 * S_{N.tr}} \right)^2 = 7,86 * 5\,256 * \left( \frac{817}{2 * 630} \right)^2 = 17\,369 \text{ kWh}$$

$$\Delta Z_{al\,630} = Z_{np} + Z_{nk} = 33\,838 \text{ kWh}$$

Náklady na ztráty energii v transformátoru za rok

$$N_{Z0,4} = 5 * 24\,165 = 120\,826 = 120,8 \text{ tis. tg}$$

$$N_{Z10} = 5 * 33\,838 = 169\,191 = 169,2 \text{ tis. tg}$$

**Tab. 24 - Ekonomické porovnání kompenzačních baterií**

Typ kompenzační baterie	BAPHET–A–200/25-10	BAPHET–AΦ–200/25-0,4
Výkon [kVAr]	200	200
Počet baterií [kus]	2	2
Pořizovačí cena [tis.tg ]	1,600 ₺	3,000 ₺
Připojovací zařízení [ tis. tg ]	670 ₺	0 ₺
Diskontní sazba	14%	14%
Životnost [let]	25	25
Roční výdaje na ztráty v transformátorech [ tis. tg ]	169,2	120,8
Poměrná anuita	0,1428	0,1428
<b>Celkové investiční náklady [tis.tg]</b>	<b>3,870 ₺</b>	<b>6,000 ₺</b>
Anuita	330 ₺	436 ₺
<b>Celkové roční ekvivalentní náklady [tis.tg]</b>	<b>499 ₺</b>	<b>557 ₺</b>

Z důvodu že KB na straně nn a vn snižují jalový výkon o stejnou hodnotu, celková úspora elektrické energie bude stejná u obou variant. Takže instalace KB na straně nn nevede k předimenzování napájecího vedení na straně vn, což znamená, že nedochází ke změně investičních výdajů.

Takže lze zanedbat provozní náklady pro obě varianty z důvodu, že KB na 0,4 kV a 10 kV mají stejnou dobu životnosti, a dobu běžné údržby.

Pak na základě uvedené informace v tab. 24 lze říct, že nejnižší roční náklady na kompenzaci jalového výkonu budou při instalaci kondenzátorové baterii na straně 10 kV.

Při volbě kompenzačních zařízení se potvrzuje jejich potřeba udržovat napěťový režim v síti a kompenzovat jalový výkon.

Vybírám standardní typ regulovatelné KB BAPHET–A–200/25-10.

## 10. ZÁVĚR

Moje bakalářská práce vychází z podkladů od firmy s.r.o. ICC, kde jsem byl na praxi jako student střední odborné školy. Na základě toho jsem se obrátil na tuto firmu s žádostí o podklady potřebné k vypracování bakalářského projektu.

Cílem této práce byl návrh bezpečného a spolehlivého napájení uvedeného podniku. Při praxi jsem zjistil, že jednotlivé provozní části nebyly zálohovány z hlediska pohonu, takže nebylo provedeno zálohování napájení podniku, tím při výrobě dochází k omezení provozu, což snižuje efektivitu podniku.

Pro zvýšení spolehlivosti byla navržena instalace dvou transformátorů (oproti dříve instalovanému jednomu), napájených základním zálohovaným vedením. Pro zvýšení efektivnosti z hlediska výdajů za odběr elektrické energie, jsem navrhl kompenzaci jalového odběru v podniku, kompenzaci jsem umístil na straně 10 kV před oba vstupní transformátory. Elektrické komponenty vnitřní instalace byly navrženy také s ohledem na zvýšení bezpečností a spolehlivostí provozu.

V ekonomické části jsem uvedl krátký popis trhu s elektřinou v Kazachstánu. Provedl jsem ekonomické porovnání variant napájení dvěma nebo čtyřmi transformátory (2x630 kVA nebo 4x250 kVA). Na základě informací dodaných podnikem, provedených výpočtů i vlastní úvahy jsem zvolil variantu instalaci dvou transformátorů 2x630 kVA. Do tohoto porovnání jsem nezahrnul počet výpadků a snížení prostoru pro umístění transformátorů. Pro snížení výdajů za elektrickou energii jsem navrhl kompenzaci jalového výkonu odebíraného podnikem. Kompenzaci jsem navrhnul s regulací podle odebíraného jalového výkonu tak, aby účinník byl v dovoleném rozmezí. Při porovnání dvou variant kompenzací (na straně 0,4kV nebo 10 kV) z výpočtu vychází, že nižší roční náklady budou při instalaci kompenzačního zařízení na straně 10 kV.

Při návrhu projektu uvažuji s možným rozšířením výroby, proto veškeré vybavení jsem navrhl s určitou rezervou tak, aby tyto změny neměly velký vliv na bezpečnost a spolehlivost provozu.

## 11. LITERATURA

- [1] CABAL, Jan. *Návrh elektroinstalace průmyslového objektu*. Bakalářská práce, FEKT VUT v Brně, 2013, 52 stran.
- [2] HLAVATÝ, Jan. *Požadavky norem na projektové dokumentace* [online]. 4.11.2014 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/hla68-8-pozadavky-norem-na-projektove-dokumentace/view>
- [3] Katalog produkce «Alageumgroup»
- [4] Электроэнергетика Казахстана: ключевые факты. *KEGOC* [online]. Kazachstán: AS "KEGOC", 2021, 1.1.2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://kegoc.kz/ru/elektroenergetika-kazahstana-klyuchevye-fakty>
- [5] КНОРРИНГ, Г.М., Ю.Б. ОБОЛЕНЦЕВ, Р.И. БЕРИМ, В.М. КРЮЧКОВ. *Справочная книга для проектирования электрического освещения*. 1. 1976: Энергия, 1976. ISBN 5-283-04464-5.
- [6] Б.Ю. ЛИПКИН. *Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Для учащихся электротехнических специальностей средних спец. учебн. заведений*. 4. Москва: М.:Высшая школа, 1990. ISBN 5-06-000749-9.
- [7] ČSN 33 2130 Vnitřní elektrické rozvody.
- [8] ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách.
- [9] НЕКЛЕПАЕВ, Б.Н., И.О. КРЮЧКОВ. *Электрическая часть станций и подстанций: Пособие для курсового и дипломного проектирования: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования*. 4. Москва: Энергоатомиздат, 1988. ISBN 978-5-9775-0833-9.
- [10] *Alageum Electric* [online]. Almaty: Arctica, 2005 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://alageum.com/ru/katalog/transformatory/tmg-25-2500-6-10-ky>
- [11] *Допустимые перегрузки трансформаторов* [online]. 2021, , 1 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <http://electricalschool.info/>