

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektrotehnika instituut

ATV70LT

Vassili Skindar

**PUIDUTÖÖSTUSETTEVÕTTE  
ELEKTRIVARUSTUS**

Magistritöö

Instituudi direktor ..... prof. Tõnu Lehtla  
Juhendaja ..... dots. Raivo Teemets  
Konsultant ..... Vjatšeslav Jefimov  
Lõpetaja ..... Vassili Skindar

Tallinn 2015

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Deklareerin, et käesolev magistritöö on minu iseseisva töö tulemus. Kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Varem ei ole selle alusel kutse- ega teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud.

Tallinn, 16.01.2015

..... Vassili Skindar



ATV70LT

**Электроснабжение деревоперерабатывающего завода**

**Василий Скиндарь**, код студента 100260АААМ, январь 2015. – 88 стр.

ТАЛЛИННСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический факультет

Институт электротехники

Кафедра электропривода и электроснабжения

Руководитель работы: доцент Райво Тээметс.

Консультант работы: Вячеслав Ефимов

**Ключевые слова:** деревоперерабатывающий завод, электроснабжение, электрические нагрузки, трансформаторы подстанций, дизельный генератор, мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей, заземление и выравнивание потенциалов, обновление подстанции.

**Реферат:**

Дипломная работа на 88 страницах, включает в себя 13 таблиц и 29 рисунков.

Объектом исследования является деревоперерабатывающий завод.

Цель работы – проектирование системы электроснабжения деревоперерабатывающего завода и разработка мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей завода.

Расчеты и анализ выполнены по методикам, изложенным в учебной и справочной, нормативной и научно-технической литературе.

В результате произведен расчет электрических нагрузок завода, выбрано необходимое силовое оборудование и трансформаторы, произведен расчет устройств молниезащиты и заземления, в качестве мероприятий по повышению надежности предложено использование дизельного генератора как резервного источника питания.

ATV70LT

**Wood Processing Plant Power Supply**

**Vassili Skindar**, student code 100260AAAM, january. – 88 pages

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Power Engineering

Department of Electrical Drives and Power Electronics

Chair of Electrical Drives and Electricity Supply

Tutor of the work: ass. professor Raivo Teemets

Consultant: Vjatcheslav Efimov

**Key words:** Wood processing plant power supply system, electric loads of wood processing plant, substation transformers, diesel generator, reliability increasing actions of power supply consumers, protection earth and substation renewal.

**Summary:**

Master's thesis contains 88 pages, 13 tables and 29 drawings.

Object of investigation is wood processing plant.

The aim of work – designing of wood processing plant power supply system and reliability increasing actions of power supply consumers.

Calculations and analysis were done by the methods published in the scientific, scientific-technical and information literature.

As a result were done calculations of wood processing plant electrical loads, choosed essential power equipment and transformers, calculation of equipment of lightening protection. For reliability increasing actions of power supply consumers were offered diesel generator usage as a reserve power supply unit.

## SISUKORD

<b>Lõputöö ülesanne</b> -----	<b>8</b>
<b>1. Eessõna</b> -----	<b>10</b>
<b>2. Lühendite ja tähistelotelu</b> -----	<b>11</b>
<b>3. Sissejuhatus</b> -----	<b>12</b>
3.1. Puidutööstusettevõtte üldkirjeldus-----	12
3.2. Tehnoloogilised seadmed-----	16
3.3. Puidutööstusettevõtte elektervalgustus-----	19
<b>4. Ettevõtte elektriliste koormuste arvutamine</b> -----	<b>21</b>
4.1. Tehnoloogiliste seadmete arvutusliku võimsuse määramine-----	24
4.1.1. Sisendjaotussõlme SJS1 võimsuse arvutus-----	25
4.1.2. Sisendjaotussõlme SJS2 võimsuse arvutus-----	26
4.1.3. Sõlme JK3 võimsuse arvutus-----	27
4.1.4. Sõlme KSP JHK võimsuse arvutus-----	28
4.1.5. Sõlme FPP JHK võimsuse arvutus-----	29
4.1.6. Sõlme PLM JHK võimsuse arvutus-----	30
4.1.7. Sisendjaotussõlme SJS5 võimsuse arvutus-----	31
4.1.8. Sisendjaotussõlme SJS6 võimsuse arvutus-----	32
4.1.9. Sisendjaotussõlme SJS7 võimsuse arvutus-----	33
4.1.10. Sisendjaotussõlme SJS8 võimsuse arvutus-----	34
4.1.11. Sisendjaotussõlme SJS9 võimsuse arvutus-----	36
4.1.12. Sisendjaotussõlme SJS10 võimsuse arvutus-----	37
4.2. Katlamaja arvutusliku võimsuse määramine-----	38
4.2.1. Sisendjaotussõlme SJS4 võimsuse arvutus-----	38
4.2.2. Sõlme VSK1 JK võimsuse arvutus-----	39
4.3. Puidutööstusettevõtte välisvalgustusseadmete arvutusliku võimsuse määramine-----	40
4.3.1. Prožektorite koguse arvutamine-----	41
4.3.2. Sõlme VJHK võimsuse arvutus-----	42
4.4. Alajaama summaarse arvutusliku koormuse määramine-----	43
<b>5. Komplektalajaam</b> -----	<b>45</b>
5.1. Alajaama trafode võimsuse ja arvu valik-----	46
5.2. Reaktiivvõimsuse kompenseerimine-----	49
5.3. Projekteeritava komplektalajaama struktuur-----	51

5.3.1. Komplektalajaama ülempingeseade-----	53
5.3.2. Komplektalajaama alampingeseade-----	55
<b>6. Ettevõtte madalpingevõrgu skeemi valik ja arvutus-----</b>	<b>57</b>
6.1. Madalpingevõrgu kaablite koormusvoolude ja pingekadude arvutus-----	57
6.2. Madalpinge võrgu lühisvoolude arvutamine, kaablite ja kaitseseadmete valik-----	60
6.2.1. Madalpingevõrgu lühisvoolude arvutamine-----	60
6.2.2. Kaitseseadmete valik-----	67
<b>7. Maandamine ja piksekaitse-----</b>	<b>69</b>
7.1. Maandusseadme arvutus-----	69
7.2. Piksekaitse valik-----	73
<b>8. Puidutööstusettevõtte elektrivarustuskindluse tõstmine -----</b>	<b>75</b>
8.1. Reservtoiteallika valik-----	75
<b>9. Ohutuse tagamine komplektalajaama teenindamisel-----</b>	<b>79</b>
9.1. Ohutegurid-----	79
9.2. Komplektalajaama ülevaatus-----	79
9.3. Ohutuse põhinõuded lülitustoimingutel alajaamas-----	82
9.4. Ohutusnõuded elektrikpersonalile alajaama käidul-----	82
<b>Kokkuvõte-----</b>	<b>86</b>
<b>Kirjanduse loetelu-----</b>	<b>87</b>





Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

1. Ettevõtte elektriliste koormuste arvutamine.
2. Komplektalajaama kavandamine.
3. Ettevõtte madalpingevõrgu skeemi valik ja arvutus.
4. Maandamine ja piksekaitse.
5. Puidutööstusettevõtte elektrivarustuskindluse tõstmine.
6. Ohutuse tagamine komplektalajaama teenindamisel.

Magistritöö esitada hiljemalt 21.01.15 eesti keeles 2 eksemplaris, referaatidega eesti ja kahes võõrkeeles.

Juhendaja:

Ülesande vastu võtnud:

dots. R. Teemets .....

Üliõpilane V. Skindar .....

## 1. EESSÕNA

Autor soovib tänada kõiki, kes on abikäe ulatanud. Eelkõige tänuavaldused on suunatud lõputöö autori juhendajale dotsent Raivo Teemetsale, kelle abi on olnud märkimisväärne.

Lõputöö autorit on jätkuvalt innustanud tema vanemad ema Valentina Skindar, isa Vladimir Skindar ja vend Vladislav Skindar ning ülikooli teeraja kaaslased, kallid kolleegid ning sõbrad.

## 2. LÜHENDITE JA TÄHISTE LOTELU

PSL – Palkide sorteerimisliin	VL – Vakuumlüli
KEP – Koore-eemaldamispink	KVT – Kõrgepinge voolutrafo
KSP 1, 2, 3 – Ketassaepink 1, 2, 3	JT1 ja JT2 – Jõutrafo 1, 2
FPP – Freespalgi pink	MVL – Magistraalvoolulatt
PLM – Põiklõikamismoodul	JS – Jaotusseade
TS1, 2, 3 – Tehnoloogilised seadmed 1, 2, 3	SKL – Selektiivne kaitselüliti
VSK1, 2 – Veesoojenduskatlad 1, 2	MVT – Madalpinge voolutrafo
KTS – Katlamaja tehnoloogiline seade	RVKS – Reaktiivvõimsuse kompenseerimisseade
KK1, 2 – Kuivatuskambrid 1, 2	KL – Kaitselüliti
KKTS – Kuivatuskambriga tehnoloogiline seade	VSK1 JK ja VSK2 JK – Veesoojenduskatla jaotuskilp
KSL1, 2 – Kuivsorteerimisliin 1 ja 2	FPP JHK – Freespalgi pingi juhtimiskilp
NSL – Niiskesorteerimisliin	PLM JHK – Põiklõikamismooduli juhtimiskilp
PP1, 2 – Personalipääslad 1 ja 2	VV JHK – Välisvalgustuse juhtimiskilp
TPJ – Tuletõrjepumbajaam	RTAS – Reservtoite automaatne sisselülitamine
VTL – Valmistoodete ladu	KI – Kaabelliin
JK – Jaotuskilp	PAJ – Peaalajaam
SJS – Sisendjaotussõlm	KSP JHK – Ketassaepingi juhtimiskilp
JHK – Juhtimiskilp	AL – Automaatlüliti
PSLVK – Palkide sorteerimisliini valgustuskilp	ALS – Automaatlüliti selektiivne
VVP – Välisvalgustuse prožektorid	VT – Voolutrafo
MVL1 ja MVL2 – Magistraalvoolulatt 1 ja 2	NSL VK – Niiskesorteerimisliini valgustuskilp
SPK – Sisendpinge kamber	LJK – liini jaotuskilp
SP – Sisendpaneel	SJK – sektsiooni jaotuskilp

### **3. SISSEJUHATUS**

Elektroenergeetika on baasala kogu maailmas, mis tagab elektri- ja soojusenergia rahvamajanduse ja rahvastiku sisevajaduste jaoks ning ka elektrienergia eksporti. Stabiilne areng ja usaldustäratav toimimine on tähtsad tegurid energeetikaohutuse tagamisel.

Tänapäeva maailmas on pidev ja kvaliteetne elektrienergiaga varustamine üks tähtsamaid tegureid, mis annab inimkonnale võimaluse luua ühiskondlikuks ja tootmistegevuseks optimaalsed tingimused. Elektrivarustus on energeetikakompleksi juhiv haru, mis haarab suured ja töömahukad etapid: elektrienergia tootmine, edastamine ja müük tarbijale. Iga etappi on aja jooksul tehnoloogiliselt moderniseeritud võrreldes algperioodi elektrivarustussüsteemidega.

Eesti energeetika arendamine, tehnoloogiate uuendamine tootmissektoris, Eesti ja naaberriikide energiasüsteemide ühenduste tugevdamine - see kõik nõuab elektroenergeetika objektide ehituse laiendamist. Tänapäeval võib konkreetselt öelda, et on näha positiivseid ja progressiivseid muutusi Eesti linnade elektrivarustuse alal, uuendatud tehnoloogilisi seadmeid ja energiasüsteemide kommunikatsioone.

Eesti Vabariigi arengustrateegia metsanduse valdkonnas määrab puidu toormaterjalide varumise ja töötlemise, realiseerimismeetodite, prioriteetprojektide investeerimise ja metsatöötlemise arengu prioriteetsed arengusuunad.

#### **3.1. Puidutööstusettevõtte üldkirjeldus**

Puidutööstusettevõtte põhiülesanded on:

- saetud okaspuumaterjali töötlemine,
- edukas konkurents saematerjali kohalike ja välismaiste tootjatega jne.

Eksisteerivad väga tähtsad nõuded ja eeldused, et täita neid põhiülesandeid:

- puidutooraine varude olemasolu, sealhulgas okaspuidu liigid,
- on olemas reaalne võimalus tagada ettevõtte töötajatega.

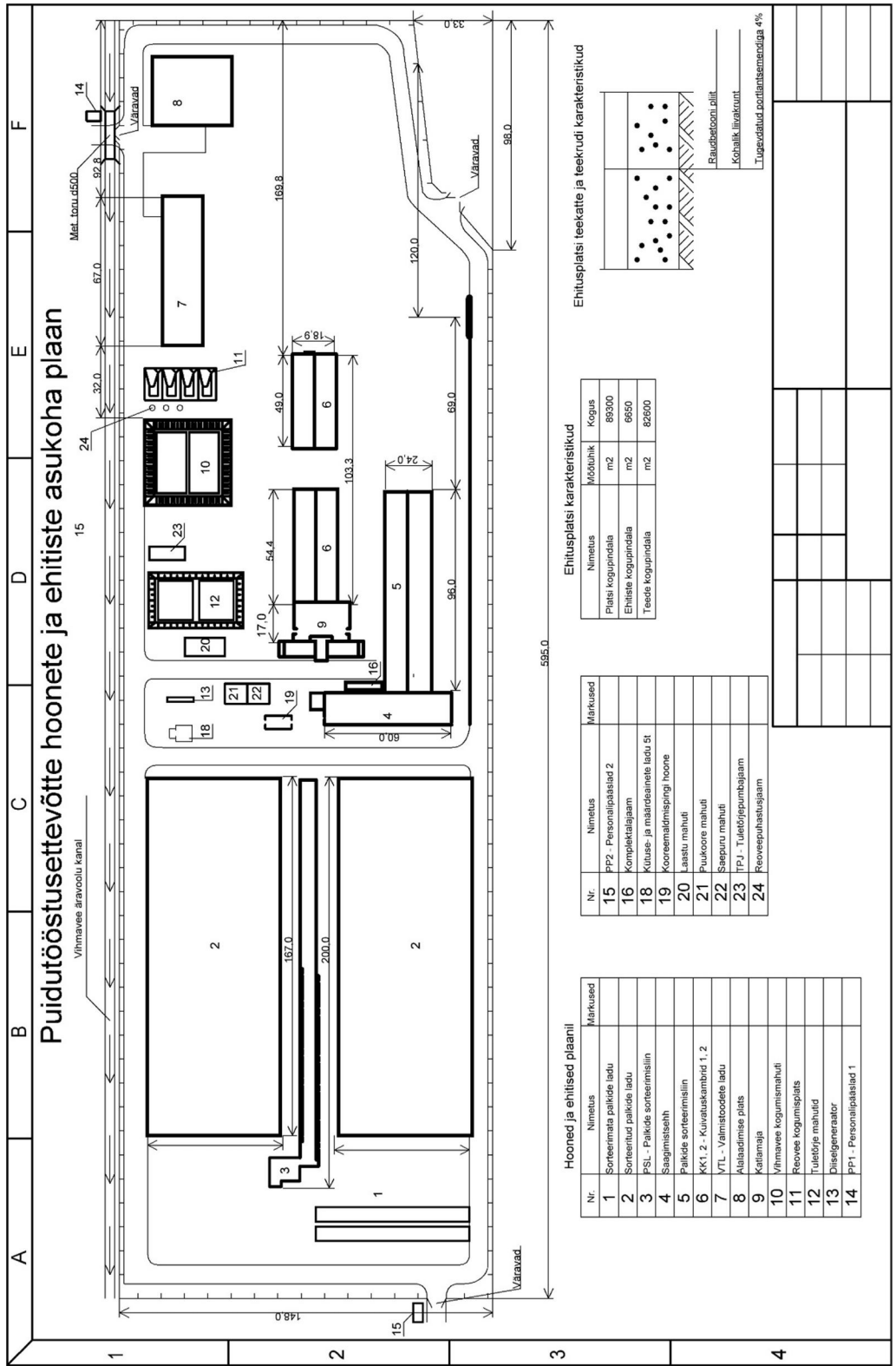
Puidutööstusettevõtte ehitamine ja käikuandmine annab võimaluse luua uusi töökohti, edendab puidutööstuse arendamist ja toob lisa sissetulekuallika riigile.

Puidutööstusettevõttel on tehnoloogilise seadmete lai valik kvaliteetse puidu töötlemiseks, ladustamiseks ja toode realiseerimiseks. Tehase tehnoloogiliste seadmete komplekti kuuluvad:

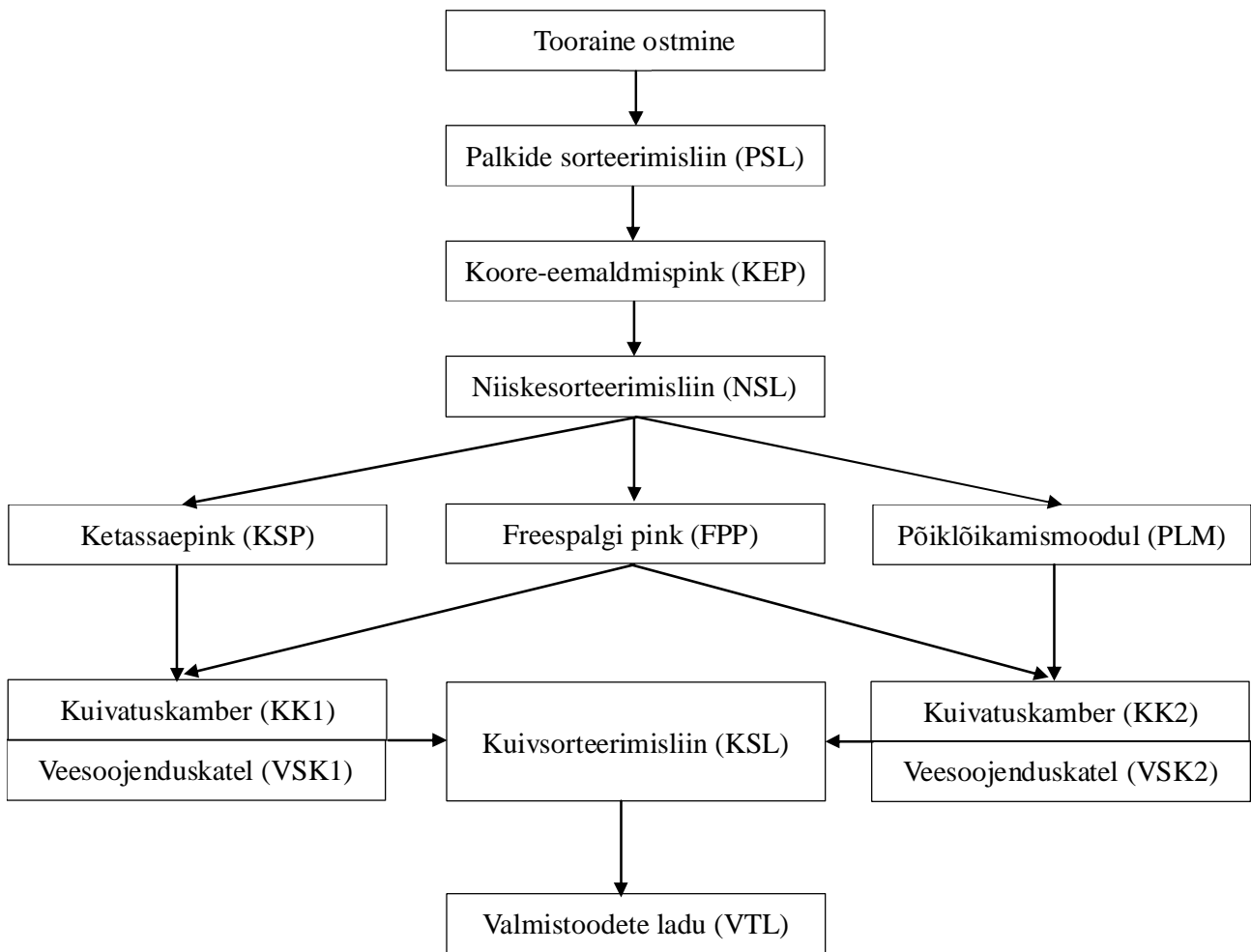
- palkide sorteerimisliin: antud seade on ette nähtud ümarpuidu automaatsortimiseks pikkuse ja läbimõõdu järgi,
- koore-eemaldamispink: antud seade on ette nähtud koore eemaldamiseks palkide pealt; pink töötleb erinevaid palgiliike.
- niiskesorteerimisliin on ette nähtud palkide automaatsortimiseks pärast koore eemaldamist gruppide, pikkuse, läbimõõdu ja kvaliteedi järgi,
- ketassaepink on ette nähtud puidu põik ja pikilõikamise jaoks; antud pingi lõikeriistaks on ketassaag,
- freespalgi pink on mõeldud kooritud oksapuupalkide ümbertootamiseks kandilisteks prussideks.
- kuvatuskambrid on ette nähtud toore saematerjali kuivatamiseks ja edasiseks töötlemiseks.

Puidutööstusettevõtte hoonete ja ehitiste asukoha plaan toodud joonisel 3.1.

Puidutööstusettevõtte tehnoloogilise protsessi plokk skeem on esitatud joonisel 3.2.



Joonis 3.1. Puidutööstusettevõtte hoonete ja ehitiste asukoha plaan



Joonis 3.2. Tehnoloogilise protsessi plokk skeem.

### 3.2. Tehnoloogilised seadmed

Tehnoloogiliste seadmete nimekiri ja nende elektrilised parameetrid on esitatud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Tehnoloogiliste seadmete nimekiri.

Tähistamine	Teenindusruumi või tehnoloogilise seadme nimetus	Paigaldatud aktiivvõimsus P ,kW	Nõudlustegur $K_n$	Võimsustegur $\cos\varphi$	Reaktiivsu stegur $\operatorname{tg}\varphi$
3	PSL	262	0,5	0,8	0,75
19	KEP	200	0,7	0,8	0,75
<b>SAAGIMISTSEHH</b>					
4	KSP1	320	0,7	0,8	0,75
	KSP 2	320	0,7	0,8	0,75
	KSP 3	320	0,7	0,8	0,75
	FPP	280	0,7	0,8	0,75
	PLM	160	0,7	0,8	0,75
	TS1	254	0,7	0,8	0,75
	TS2	270	0,7	0,8	0,75
	TS3	276	0,7	0,8	0,75
<b>KATLAMAJA</b>					
9	VSK1	265	0,7	0,8	0,75
	VSK2	265	0,7	0,8	0,75
	KTS	80	0,7	0,8	0,75
<b>KUIVATUSKAMBRID</b>					
6	KK1	214	0,85	0,8	0,75
	KK2	286	0,85	0,8	0,75
	KKTS	80	0,7	0,8	0,75





Joonis 3.3. Palkide sorteerimisliin (PSL)



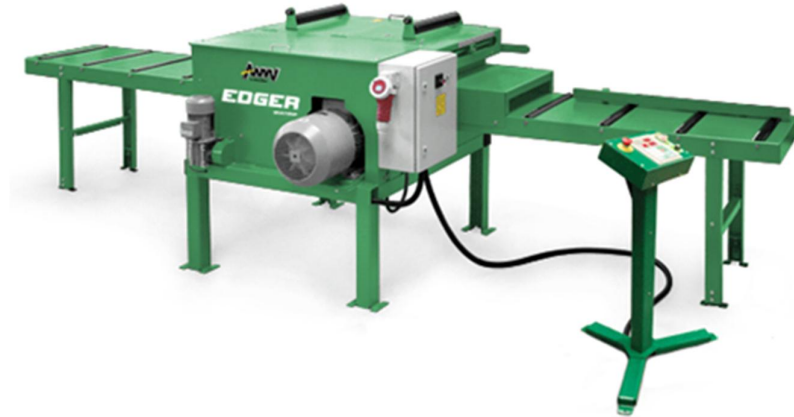
Joonis 3.4. Kooremaldmispink (KEP)



Joonis 3.5. Ketassaepink (KSP)



Joonis 3.6. Freespalgi pink (FPP)



Joonis 3.7. Põiklõikamismoodul (PLM)



Joonis 3.8. Veesoojenduskatel (VSK)



Joonis 3.9. Kuivatuskamber (KK)



Joonis 3.10. Niiskesorteerimisliin (NSL)



Joonis 3.11. Kuivsorteerimisliin (KSL)



Joonis 3.12. Tuletõrjepumbajaam

### 3.3. Puidutööstusettevõtte elektervalgustus.

Puidutööstusettevõttes on ette nähtud järgmised valgustuse liigid:

- töövalgustus,
- avarii ja evakuatsioonvalgustus,
- välisvalgustus, sealhulgas tootmisterritooriumi valgustus.

Antud projektis on teostatud ainult välisvalgustuse koormuse arvutus. Vastavalt püstitatud lähteülesandele kasutatakse välisvalgustuses naatriumkõrgrõhulampidega prožektoreid, mis on paigaldatud fassaadidele kinnituspunktile ja konsoolide peale. Välis- ja valvevalgustite juhtimine on tsentraliseeritud ja toimub personali läbipääsupunktidest.

Väliselektrivalgustuse võrgud teostatakse kaablitega, mis on paigaldatud kaevikutesse ja ehituskonstruksioonide peale.

Töö ja avarii valgustuse arvutus antud projektis ei kuulu.

Välis- ja avariivalgustuse elektrilised koormused on esitatud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Puidutööstusettevõtte elektervalgustuse koormused.

Tähistus	Valgustatava teenindusruumi või tehnoloogilise seadme nimetus	Paigaldatud aktiivvõimsus P, kW	Nõudetegur $K_n$	Võimsustegur $\cos\phi$	Reaktiiv sustegur $\tan\phi$
3	Palkide sorteerimisliin	50	1,0	0,8	0,75
4	Saagimistsehh	20	1,0	0,8	0,75
5	Niiskesorteerimisliin	50	1,0	0,8	0,75
5	Kuivsorteerimisliin	50	1,0	0,8	0,75
6, 2	Valmistoodete ladu ja kuivatuskambrid	23	1,0	0,8	0,75
9	Katlamaja	20	1,0	0,8	0,75
19	Koore-eemaldmispink	15	1,0	0,8	0,75

## 4. ETTEVÖTTE ELEKTRILISTE KOORMUSTE ARVUTAMINE

Elektrivarustussüsteemi projekteerimise esimene etapp on elektriliste koormuste määramine. Tööstusettevõtete arvutusliku elektriliste koormuste määramine on vajalik toiteliinide ja kaitseaparatuuri valikuks. Arvestama peab elektritarbijate koormusega, nende mitteüheaegse tööga, juhuslike elektritarbijate sisse- ja väljalülitamitega, mis olenevad tehnoloogilise protsessi iseloomust. Arvutuslike elektriliste koormuste õige määramine ja toite hädavajaliku katkestmatuse tagamine omavad väga suurt tähtsust. Nendest arvutusest sõltuvad ühest küljest lähteandmed elementide valikuks ettevõtte elektrivarustussüsteemi jaoks ja teisest küljest finantskulutused elektriseadmete paigaldamisel ja käidul. Asjatult kõrged arvutuslikud elektrilised koormused viivad ehituse kallinemisele, võrkude materjali ülekulule, transformaatorite võimsuse tõusule ja muude elektriseadmete kallinemisele. Liiga madalad arvutuslikud koormused põhjustavad elektrivõrgu läbilaskevõime vähendamist, liigseid võimsuskadusid, juhtide, kaablite ja transformaatorite ülekuumunemist ja järelekult ka tööea vähenemist.

Elektritarbijate elektriliste koormuste arvutamine toitepingega kuni 1 kV teostatakse iga toitesõlme (nt jaotuspunkti, kilbi, jaotuslati, juhtimiskilbi, magistraali jaotuslati, ettevõtte transformaatorialajaama jaoks) jaoks eraldi, samuti ka kogu tsehhi või objekti jaoks üldiselt.

Puidutööstusettevõtte põhilised elektritarbijad on tehnoloogilised seadmed, valgustusseadmed, katlamaja seadmed, mille elektrilised parameetrid on toodud tabelites 3.1 ja 3.2.

Ettevõtte elektritarvitite elektritoide teostatakse jaotuskilbidest (JK), sisejaotussõlmedest (SJS), juhtimiskilbidest (JHK), mis saavad toide transformaatorialajaama latti juhtidelt.

Elektritarvitite sõlmedesse rühmitamisel arvestatakse nende tehnilisi näitajaid (nimivõimsus ja talitus) ja territoriaalset paiknemist.

Tehnoloogiliste seadmete jaotamine sõlme järgi oli teostatud järgmisel viisil:

SJS1 – palkide sorteerimisliin (PSL), personalipääsla 2 (PP2), palkide sorteerimisliini valgustus kilp (VK),

SJS2 – koore-eemaldamispink (KEP), koore-eemaldmispingi ruumi valgustuskilp (VK),

JK3 – saetsehhi tehnoloogilised seadmed (TS1, TS2, TS3), saetsehhi valgustuskilp (VK),

KSP1 JHK – Ketassaepingi1 juhtimiskilp,

KSP2 JHK – Ketassaepingi 2 juhtimiskilp,

KSP3 JHK – Ketassaepingi 3 juhtimiskilp,

FPP JHK – Freespalkimispingi juhtimiskilp,

PLM JHK – Põiklõikamismooduli juhtimiskilp,

SJS4 – Katlamaja tehnoloogiline seade (KTS), katlamaja valgustuskilp (VK),

VSK1 JK – Veesoojenduskatla 1 jaotuskilp,

VSK2 JK – Veesoojenduskatla 2 jaotuskilp,

SJS5 – Kuivatuskamber 1 (KK1), kuivkambrite valgustus kilp (VK),

SJS6 – Kuivatuskamber 2 (KK2),

SJS7 – Valmistoodangu ladu (VTL), personalipääsla PP1, valmistoodangu lao valgustuskilp (VK),

SJS8 – Kuivmaterjali sorteerimisliinid 1 ja 2 (KSL1, KSL2), kuivmaterjali sorteerimisliini valgustus kilp (VK),

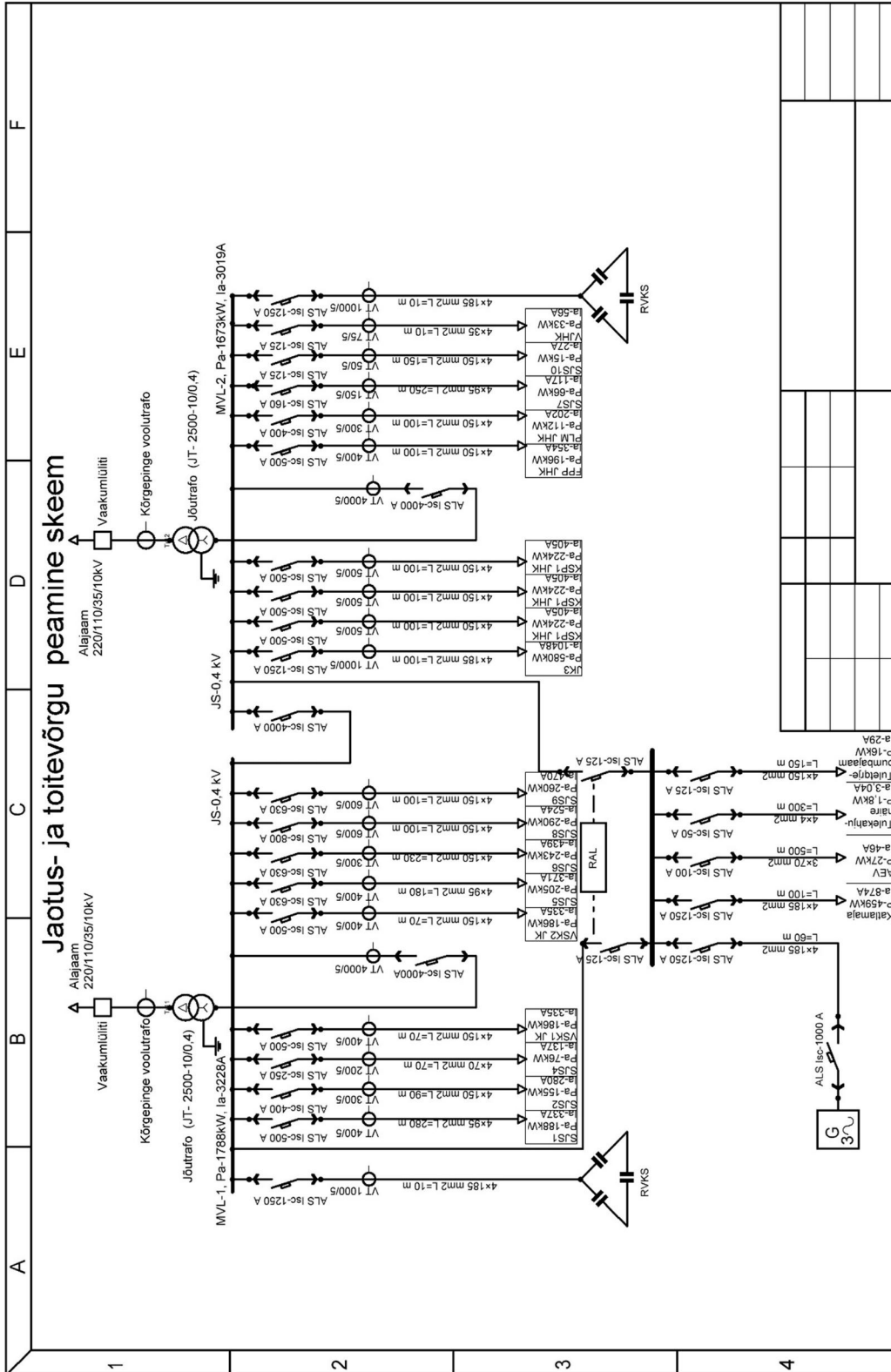
SJS9 – Niiskesorteerimisliin (NSL), niiskesorteerimisliini valgustuskilp (VK),

SJS10 – Tuletõrjepumbajaam (TPJ),

VJK – Ettevõtte valgustuse juhtimiskilp,

VJHK – Valgustuse juhtimiskilp.

Elektrivarustuse jaotus- ja toitevõrgu peamise skeemi vaadake joonisel 4.1.



Joonis 4.1. Jaotus- ja toitevõrgu põhiskeem.

## 4.1. Tehnoloogiliste seadmete arvutusliku võimsuse määramine

Tehnoloogiliste seadmete elektrilised koormused võime määrata nõudlusteguri meetodi abil. Vastavalt antud meetodile elektritarvitite grupi arvutuslikud koormused leitakse valemiga:

$$P_a = P_{paig} \cdot K_n \quad (4.1)$$

kus  $P_a$  – elektritarvitite grupi arvutuslik aktiivvõimsus, kW,  
 $P_{paig}$  – elektritarvitite grupi paigaldatud nimiaktiivvõimsuste summa, kW,  
 $K_n$  – antud elektritarvitite grupi nõudlustegur,

$$Q_a = P_a \cdot tg\varphi \quad (4.2)$$

kus  $Q_a$  – elektritarvitite grupi arvutuslik reaktiivvõimsus, kVAr,  
 $P_a$  – elektritarvitite grupi arvutuslik aktiivvõimsus, kW,  
 $tg\varphi$  – reaktiivvõimsuse tegur.

Elektrivarustussüsteemi sõlme arvutuslik koormus leitakse elektritarvitite gruppide arvutusliku koormuste summeerimisel, arvestades koormuste maksimumide ajalist mittekokkulangevust,

$$S_a = \sqrt{(\sum P_a)^2 + (\sum Q_a)^2} \cdot K_{e.m.} \quad (4.3)$$

kus  $S_a$  – elektritarvitite arvutuslik näivvõimsus, kVA,  
 $\sum P_a$  – elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus, kW,  
 $\sum Q_a$  – elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus, kVAr,  
 $K_{e.m.}$  – elektritarvitite üksikgruppide koormuse maksimumide eriajalisuse tegur, antud arvutustes on võetud  $K_{e.m.} = 1$

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (4.4)$$

kus  $I_a$  – sõlme elektritarvitite arvutuslik vool,  
 $S_a$  – sõlme elektritarvitite arvutuslik näivvõimsus,  
 $U_n$  – võrgu nimipinge,  $U_n = 0,4$  kV.



#### 4.1.1. Sisendjaotussõlme SJS1 võimsuse arvutus

Sõlme SJS1 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil.

Palkide sorteerimisliini PSL arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aPSL} = 262 \cdot 0,5 = 131 \text{ kW}$$

Personalipääsla PP2 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aPP2} = 8 \cdot 0,9 = 7,2 \text{ kW}$$

Palkide sorteerimisliini PSL valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aPSLVK} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ kW}$$

Sisendjaotussõlme SJS1 elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS1} = P_{aPSL} + P_{aPP2} + P_{aPSLVK} \quad (4.5)$$

$$\sum P_{aSJS1} = 131 + 7,2 + 50 = 188,2 \text{ kW}$$

Sõlme SJS1 sisenevate elektritarvitite arvutusliku reaktiivvõimsuse leiame 4.2 valemi abil.

Palkide sorteerimisliini PSL arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{a.PSL} = 131 \cdot 0,75 = 98,25 \text{ kVAr}$$

Personalipääsla PP2 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aPP2} = 7,2 \cdot 0,33 = 2,376 \text{ kVAr}$$

Palkide sorteerimisliini PSL valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aPSLVK} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ kVAr}$$

Sisendjaotussõlme SJS1 elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS1} = Q_{aPSL} + Q_{aPP2} + Q_{aPSLVK} \quad (4.6)$$

$$\sum Q_{aSJS1} = 98,25 + 2,376 + 37,5 = 138 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS1 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil.

$$S_{aSJS1} = \sqrt{188,2^2 + 138^2} \cdot 1 = 233,5 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS1 elektritarvite arvutusliku voolu leiame valemi 4.4 abil.

$$I_{aSJS1} = \frac{233,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 337,4 \text{ A}$$

#### 4.1.2. Sisendjaotussõlme SJS2 võimsuse arvutus

Sõlme SJS2 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Koore-eemaldmispingi KEP arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKEP} = 200 \cdot 0,7 = 140 \text{ kW}$$

Koore-eemaldmispingi ruumi valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKEPVK} = 15 \cdot 1 = 15 \text{ kW}$$

Sisendjaotussõlme SJS2 elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS2} = P_{aKEP} + P_{aKEPVK} \tag{4.7}$$

$$\sum P_{aSJS2} = 140 + 15 = 155 \text{ kW}$$

Sõlme SJS1 sisenevate elektritarvite arvutusliku reaktiivvõimsuse leiame 4.2 valemi abil:

Koore-eemaldmispingi KEP arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKEP} = 140 \cdot 0,75 = 105 \text{ kVAr}$$

Koore-eemaldmispingi ruumi valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKEPVK} = 15 \cdot 0,75 = 11,25 \text{ kVAr}$$

Sisendjaotussõlme SJS2 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS2} = Q_{aKEP} + Q_{aKEPVK} \tag{4.8}$$

$$\sum Q_{aSJS2} = 105 + 11,25 = 116,25 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS2 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS2} = \sqrt{155^2 + 116,25^2} \cdot 1 = 193,75 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS2 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil

$$I_{aSJS2} = \frac{193,75}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 280 \text{ A}$$

#### 4.1.3. Sõlme JK3 võimsuse arvutus

Sõlme JK3 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aTS1} = 254 \cdot 0,7 = 177,8 \text{ kW}$$

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS2 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aTS2} = 270 \cdot 0,7 = 189 \text{ kW}$$

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS3 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aTS3} = 276 \cdot 0,7 = 193,2 \text{ kW}$$

Saetsehhi valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aVK} = 20 \cdot 1,0 = 20 \text{ kW}$$

Sõlme JK3 arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aJK3} = P_{aTS1} + P_{aTS2} + P_{aTS3} + P_{aVK} \quad (4.9)$$

$$\sum P_{aJK3} = 177,8 + 189 + 193,2 + 20 = 580 \text{ kW}$$

Sõlme JK3 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame 4.2 valemi abil:

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aTS1} = 177,8 \cdot 0,75 = 133,35 \text{ kVAr}$$

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS2 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aTS2} = 189 \cdot 0,75 = 141,75 \text{ kVAr}$$

Saetsehhi tehnoloogilise seadme TS3 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aTS3} = 193,2 \cdot 0,75 = 144,9 \text{ kVAr}$$

Saetsehhi valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aVK} = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ kVAr}$$

Sõlme JK3 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aJK3} = Q_{aTS1} + Q_{aTS2} + Q_{aTS3} + Q_{aVK}, \quad (4.10)$$

$$\sum Q_{aJK3} = 133,35 + 141,75 + 144,9 + 15 = 435 \text{ kVAr}$$

Sõlme JK3 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemil abil:

$$S_{aJK3} = \sqrt{580^2 + 435^2} = 725 \text{ kVA}$$

Sõlme JK3 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemil abil:

$$I_{aJK3} = \frac{725}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1048 \text{ A}$$

#### 4.1.4. Sõlmi KSP1 JHK võimsuse arvutus

Sõlme KSP1 JHK sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemil 4.1 abil:

Ketassaepingi KSP1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKSP1} = 320 \cdot 0,7 = 224 \text{ kW}$$

Sõlme KSP1 JHK elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aKSP1JHK} = P_{aKSP1} \quad (4.11)$$

$$\sum P_{aKSP1JHK} = 224 \text{ kW}$$

Sõlme KSP1 JHK sisenevate elektritarvitite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame 4.2 valemi abil:

Ketassaepingi KSP1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKSP1} = 224 \cdot 0,75 = 168 \text{ kVAr}$$

Sõlme KSP1 JHK elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aKSP1JHK} = Q_{aÜSP1} \quad (4.12)$$

$$\sum Q_{aKSP1JHK} = 168 \text{ kVAr}$$

Sõlme KSP1 JHK elektritarvitite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aKSP1JHK} = \sqrt{224^2 + 168^2} = 280 \text{ kVA}$$

Sõlme KSP1 JHK elektritarvitite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aKSP1JHK} = \frac{280}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 405 \text{ A}$$

Sõlme KSP1 JHK jaoks leitud väärtused  $P_a$ ,  $Q_a$ ,  $S_a$ ,  $I_a$  on samasugused ka sõlmede KSP2 JHK ja KSP3 JHK jaoks, mistõttu nende arvutusi ei ole esitatud.

#### 4.1.5. Sõlme FPP JHK võimsuse arvutus

Sõlme FPP JHK sisenevate elektritarvitite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Freespalkimisingi FPP arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aFPP} = 280 \cdot 0,7 = 196 \text{ kW}$$

Sõlme FPP JHK elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aFPPJHK} = P_{aFPP} \quad (4.13)$$

$$\sum P_{aFPPJHK} = 196 \text{ kW}$$

Sõlme FPP JHK sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame 4.2 valemi abil:

Freepalkimisingi FPP arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aFPP} = 196 \cdot 0,75 = 147 \text{ kVar}$$

Sõlme FPP JHK elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aFPPJHK} = Q_{aFPP} \tag{4.14}$$

$$\sum Q_{aFPPJHK} = 147 \text{ kVAr}$$

Sõlme FPP JHK elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aFPPJHK} = \sqrt{196^2 + 147^2} = 245 \text{ kVA}$$

Sõlme FPP JHK elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aFPPJHK} = \frac{245}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 354 \text{ A}$$

#### 4.1.6 Sõlme PLM JHK võimsuse arvutus

Sõlme PLM JHK sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Põiklõikamismooduli PLM arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aPLM} = 160 \cdot 0,7 = 112 \text{ kW}$$

Sõlme PLM JHK elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aPLMJHK} = P_{aPLM} \tag{4.15}$$

$$\sum P_{aPLMJHK} = 112 \text{ kW}$$

Sõlme PLM JHK sisenevate elektritarvitite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame 4.2 valemil abil:

Pöiklõikamismooduli PLM arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aPLM} = 112 \cdot 0,75 = 84 \text{ kVAr}$$

Sõlme PLM JHK elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aPLMJHK} = Q_{aPLM} \tag{4.16}$$

$$\sum Q_{aPLMJHK} = 84 \text{ kVAr}$$

Sõlme PLM JHK elektritarvitite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemil abil:

$$S_{aLMJHK} = \sqrt{112^2 + 84^2} = 140 \text{ kVA}$$

Sõlme PLM JHK elektritarvitite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemil abil:

$$I_{aLMJHK} = \frac{140}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 202 \text{ A}$$

#### 4.1.7. Sisendjaotussõlme SJS5 võimsuse arvutus

Sõlme SJS5 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemil 4.1 abil:

Kuivatuskambri 1 KK1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKK1} = 214 \cdot 0,85 = 189,9 \text{ kW}$$

Kuivatuskambri 1 KK1 valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKK1VK} = 23 \cdot 1,0 = 23 \text{ kW}$$

Sõlme SJS5 elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS5} = P_{KK1} + P_{aKK1VK} \tag{4.17}$$

$$\sum P_{aSJS5} = 189,9 + 23 = 204,9 \text{ kW}$$

Sõlme SJS5 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Kuivatuskambri KK1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKK1} = 1819 \cdot 0,75 = 136,42 \text{ kVAr}$$

Kuivatuskambri KK1 valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKK1VK} = 23 \cdot 0,75 = 17,25 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS5 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS5} = Q_{aKK1} + Q_{aKK1VK} \quad (4.18)$$

$$\sum Q_{aSJS5} = 136,42 + 17,25 = 153,67 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS5 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS5} = \sqrt{204,9^2 + 153,67^2} = 256,12 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS5 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS5} = \frac{256,12}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 371 \text{ A}$$

#### 4.1.8. Sisendjaotussõlme SJS6 võimsuse arvutus

Sõlme SJS6 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Kuivatuskambri KK2 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKK2} = 286 \cdot 0,85 = 243,1 \text{ kW}$$

Sõlme SJS6 elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS6} = P_{aKK2} \quad (4.19)$$

$$\sum P_{aSJS6} = 243,1 \text{ kW}$$



Sõlme SJS6 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Kuivatuskambri KK2 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKK2} = 2431 \cdot 0,75 = 18232 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS6 elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS6} = Q_{aKK2} \quad (4.20)$$

$$\sum Q_{aSJS6} = 182,32 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS6 elektritarvitite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS6} = \sqrt{2431^2 + 182,32^2} = 303,87 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS6 elektritarvitite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS6} = \frac{303,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 439 \text{ A}$$

#### 4.1.9. Sisendjaotussõlme SJS7 võimsuse arvutus

Sõlme SJS7 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Valmistoodete lao VTL arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aVTL} = 51 \cdot 0,7 = 35,7 \text{ kW}$$

Personalipääspla PP1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aPP1} = 8 \cdot 0,9 = 7,2 \text{ kW}$$

Valmistoodete lao valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aVTLVK} = 23 \cdot 1,0 = 23 \text{ kW}$$

Sõlme SJS7 elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS7} = P_{aVTL} + P_{aPP1} + P_{aVTLVK} \quad (4.21)$$

$$\sum P_{aSJS7} = 35,7 + 7,2 + 23 = 65,9 \text{ kW}$$

Sõlme SJS7 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Valmistoodete lao VTL arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aVTL} = 35,7 \cdot 0,75 = 26,7 \text{ kWAr}$$

Personalipääspla PP1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aPP1} = 7,2 \cdot 0,33 = 2,37 \text{ kWAr}$$

Valmistoodete lao valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aVTLVK} = 23 \cdot 0,75 = 17,25 \text{ kWAr}$$

Sõlme SJS7 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS7} = Q_{aVTL} + Q_{aPP1} + Q_{aVTLVK} \quad (4.22)$$

$$\sum Q_{aSJS7} = 26,7 + 2,37 + 17,25 = 46,32 \text{ kWAr}$$

Sõlme SJS7 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame valemi 4.3 abil:

$$S_{aSJS7} = \sqrt{65,9^2 + 46,32^2} = 80,91 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS7 elektritarvite arvutusliku voolu leiame valemi 4.4 abil:

$$I_{aSJS7} = \frac{80,91}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 117 \text{ A}$$

#### 4.1.10. Sisendjaotussõlme SJS8 võimsuse arvutus

Sõlme SJS8 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Kuivsorteerimisliini KSL1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKSL1} = 200 \cdot 0,6 = 120 \text{ kW}$$

Kuivsorteerimisliini KSL2 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKSL2} = 200 \cdot 0,6 = 120 \text{ kW}$$

Kuivsorteerimisliinide KSL1 ja KSL2 valgustuskilbi VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKSLVK} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ kW}$$

Sõlme SJS8 elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS8} = P_{aKSL1} + P_{aKSL2} + P_{aKSLVK} \quad (4.23)$$

$$\sum P_{aSJS8} = 120 + 120 + 50 = 290 \text{ kW}$$

Sõlme SJS8 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Kuivsorteerimisliini KSL1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKSL1} = 120 \cdot 0,75 = 90 \text{ kVAr}$$

Kuivsorteerimisliini KSL2 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKSL2} = 120 \cdot 0,75 = 90 \text{ kVAr}$$

Kuivsorteerimisliinide KSL1 ja KSL2 valgustuskilbi VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKSLVK} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS8 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS8} = Q_{aKSL1} + Q_{aKSL2} + Q_{aKSLVK} \quad (4.24)$$

$$\sum Q_{aSJS8} = 90 + 90 + 37,5 = 217,5 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS8 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS8} = \sqrt{290^2 + 217,5^2} = 362,5 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS8 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS8} = \frac{362,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 524 \text{ A}$$

#### 4.1.11. Sisendjaotussõlmi SJS9 võimsuse arvutus

Sõlme SJS9 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Niiskesorteerimisliini NSL arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aNSL} = 350 \cdot 0,6 = 210 \text{ kW}$$

Niiskesorteerimisliini valgustuskilbi NSL VK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aNSLVK} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ kW}$$

Sõlme SJS9 elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS9} = P_{aNSL} + P_{aNSLVK} \quad (4.25)$$

$$P_{aSJS9} = 210 + 50 = 260 \text{ kW}$$

Sõlme SJS9 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Niiskesorteerimisliini NSL arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aNSL} = 210 \cdot 0,75 = 157,5 \text{ kVAr}$$

Niiskesorteerimisliini valgustuskilbi NSL VK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aNSLVK} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS9 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS9} = Q_{aNSL} + Q_{aNSLVK} \quad (4.26)$$

$$\sum Q_{aSJS9} = 157,5 + 37,5 = 195 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS9 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS9} = \sqrt{260^2 + 195^2} = 325 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS9 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS9} = \frac{325}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 470 \text{ A}$$

#### 4.1.12. Sisendjaotussõlme SJS10 võimsuse arvutus

Sõlme SJS10 sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Tuletõrjepumbajaama TPJ arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aTPJ} = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ kW}$$

Sõlme SJS10 elektritarvite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS10} = P_{aTPJ} \tag{4.27}$$

$$\sum P_{aSJS10} = 15 \text{ kW}$$

Sõlme SJS10 sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Tuletõrjepumbajaama TPJ arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aTPJ} = 15 \cdot 0,62 = 11,25 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS10 elektritarvite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS10} = Q_{aTPJ} \tag{4.28}$$

$$\sum Q_{aSJS10} = 11,25 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS10 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS10} = \sqrt{15^2 + 11,25^2} = 18,75 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS10 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS10} = \frac{18,75}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 27 \text{ A}$$

## 4.2. Katlamaja arvutusliku võimsuse määramine

Katlamaja seadmed saavad elektritoite sisendjaotussõlme SJS4 ja veesoojenduskatelde jaotuskilpide VSK1 JK ja VSK2 JK kaudu.

### 4.2.1. Sisendjaotussõlme SJS4 võimsuse arvutus

Sõlme SJS4 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Katlamaja tehnoloogiline seade KTS arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKTS} = 80 \cdot 0,7 = 56 \text{ kW}$$

Katlamaja valgustuskilbi KVK arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aKVK} = 20 \cdot 1,0 = 20 \text{ kW}$$

Sõlme SJS4 elektritarvitite arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aSJS4} = P_{aKTS} + P_{aKVK} \tag{4.29}$$

$$\sum P_{aSJS4} = 56 + 20 = 76 \text{ kW}$$

Sõlme SJS4 sisenevate elektritarvitite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Katlamaja tehnoloogilise seade KTS arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKTS} = 56 \cdot 0,75 = 42 \text{ kVAr}$$

Katlamaja valgustuskilbi KVK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aKVK} = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS4 elektritarvitite arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aSJS4} = Q_{aKTS} + Q_{aKVK} \tag{4.30}$$

$$\sum Q_{aSJS4} = 42 + 15 = 57 \text{ kVAr}$$

Sõlme SJS4 elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aSJS4} = \sqrt{76^2 + 57^2} = 95 \text{ kVA}$$

Sõlme SJS4 elektritarvite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aSJS4} = \frac{95}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 137 \text{ A}$$

#### 4.2.2. Sõlme VSK1 JK võimsuse arvutus

Sõlme VSK1 JK sisenevate elektritarvite arvutuslikud aktiivvõimsused leiame valemi 4.1 abil:

Veesoojenduskatla VSK1 arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aVSK1} = 265 \cdot 0,7 = 185,5 \text{ kW}$$

Sõlme VSK1 JK arvutuslik võimsus

$$\sum P_{aVSK1JK} = P_{aVSK1} \tag{4.31}$$

$$\sum P_{aVSK1JK} = 185,5 \text{ kW}$$

Sõlme VSK1 JK sisenevate elektritarvite arvutuslikud reaktiivvõimsused leiame valemi 4.2 abil:

Veesoenduskatla VSK1 arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aVSK1} = 185,5 \cdot 0,75 = 139,12 \text{ kVAr}$$

Sõlme VSK1 JK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aVSK1JK} = Q_{aVSK1} \tag{4.32}$$

$$\sum Q_{aVSK1JK} = 139,12 \text{ kVAr}$$

Sõlme VSK1 JK elektritarvite arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aVSK1JK} = \sqrt{185,5^2 + 139,12^2} = 231,87$$

Sõlme VSK1 JK elektritarvitite arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{aVSK1JK} = \frac{231,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 335 \text{ A}$$

Sõlme VSK1 JK jaoks leitud väärtused  $P_a$ ,  $Q_a$ ,  $S_a$ ,  $I_a$  on samasugused ka sõlme VSK2 JK jaoks, seoses sellega neid arvutusi ei esitata.

### **4.3. Puiduettevõtte välisvalgustusseadmete arvutusliku võimsuse määramine**

Reeglina on välisvalgustus üldine ja peab tagama transpordi ning inimeste vaba liikumise. Tööstusobjektidel valgustatakse autoteed, jalakäijate ülekäigurajad, hoonete juurdesõiduteed, avatud tööplatsid, territooriumite piired (valvetsoonid).

Valgustusallikate valikul tuleb arvestada valgustehnilisi nõudeid nagu:

- valgustatava pindala suurus,
- vajalikud valgustustihedused,
- vajalikud konstruktsioonid valgustite paigaldamiseks.

Välisvalgustuse jaoks kasutatakse tavavalgusteid või prožektoreid. Kuna pindala 5000 m<sup>2</sup> ei ole võimalik valgustada tavavalgustitega, kasutan prožektoreid. [4].

Puiduettevõtte territooriumi valgustamiseks valin prožektorid tüübiga UMS1000H metallhalogeenlampidega, nimivõimsusega  $P_n = 1000 \text{ W}$ ,  $\cos\varphi = 0,85$ . Eeldame et prožektorid kinnitatakse hoonete ja ehitiste fassaadide külge.





Joonis 4.1. Prožektor UMS1000H

#### 4.3.1. Prožektorite koguse arvutamine

Antud lõputöö ülesannete hulgas ei ole välisvalgustuse valgustusliku osa arvutust, mis prožektorite kasutamisel kujutab endast väga keerulist protsessi. Elektrivarustuse seisukohalt on oluline määrata välisvalgustuspaigaldise üldvõimsus. Selleks kasutan tuntud erivõimsuse meetodit, mis põhineb valgustuspaigaldise nõutaval elektrilisel võimsusel valgustatava pindala ühe ruutmeetri kohta normeeritud valgustustiheduse juures (valem 4.33). Meetod on seda täpsem, mida ühtlasem on valgustus.

$$\omega = m \cdot E_n \cdot K_v \quad (4.33)$$

kus  $\omega$  – erivõimsus,  $\text{W/m}^2$

$E_n$  - normeeritud valgustustihedus, antud juhul  $E_n = 2 \text{ lx}$ ;

$K_v$  – varutegur, mida kasutatakse prožektorvalgustamisel,  $K_v = 1,5$

$m$  – tegur, mida kasutatakse prožektorvalgustamisel,  $m = 0,14$ .

$$\omega = 0,14 \cdot 2 \cdot 1,5 = 0,42 \text{ W/m}^2$$

Kõigi prožektorite summarse paigaldatud võimsuse leiame valemi abil:

$$P_p = \omega \cdot S \quad (4.34)$$

kus  $S$  – valgustatav pindala,  $S = 77500 \text{ m}^2$

$$P_p = 0,42 \cdot 77500 = 32,55 \text{ kW}$$

Vajalik prožektorite koguse N mis tagab valgustustiheduse  $E_n$ , leiame valemi abil:

$$N = \frac{P_i}{P_p} \quad (4.35)$$

kus  $P_p$  – ühe prožektorite võimsus, kW

$$N = \frac{32,55}{1} = 33 \text{ tk.}$$

Paigaldamiseks võtan 33 prožektorit UMS1000H võimsusega  $P_n = 1000 \text{ W}$ .

### 4.3.2. Sõlme VJHK võimsuse arvutus

Sõlme VJHK elektritarbijate arvutusliku aktiivvõimsuse leiame valemi 4.1. abil, nõudlustegur  $K_n$  võrdub antud juhul ühega [1]:

Välisvalgustuse prožektorite VVP arvutuslik aktiivvõimsus

$$P_{aVVP} = 32,55 \cdot 1,0 = 32,55 \text{ kW}$$

Sõlme VJHK arvutuslik aktiivvõimsus

$$\sum P_{aVJK} = P_{VVP} \quad (4.36)$$

$$\sum P_{aVJK} = 32,55 \text{ kW}$$

Sõlme VJHK arvutuslik reaktiivvõimsuse leiame 4.2 valemi abil.

Välisvalgustuse prožektorite VVP arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_{aVVP} = 32,55 \cdot 0,62 = 20,18 \text{ kVAr}$$

Sõlme VJHK arvutuslik reaktiivvõimsus

$$\sum Q_{aVJK} = Q_{aVVP} \quad (4.37)$$

$$\sum Q_{aVJK} = 20,18 \text{ kVAr}$$

Sõlme VJHK arvutusliku näivvõimsuse leiame 4.3 valemi abil:

$$S_{aVJK} = \sqrt{32,55^2 + 20,18^2} = 38,3 \text{ kVA}$$

Sõlme VJHK arvutusliku voolu leiame 4.4 valemi abil:

$$I_{avJK} = \frac{38,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 56 \text{ A}$$

#### 4.4. Alajaama summaarse arvutusliku koormuse määramine

Alajaama summaarse arvutusliku koormuse määramine on hädavajalik, et õigesti valida kõik elemendid komplektalajaama jaoks, selised nagu:

- automaatika- ja mõõteaparatuur,
- jõutraford,
- kaablid,
- reaktiivvõimsuse kompenseerimisseadmed, jne.

Tabel 4.1. Alajaama arvutusliku summaarse võimsuse määramine

Toitesõlmede nimetus	Arvutuslik aktiivvõimsus, $\Sigma P_a$ , kW	Arvutuslik reaktiivvõimsus, $\Sigma Q_a$ , kVAr	Arvutuslik näivvõimsus, $S_a$ , kVA	Arvutuslik vool, $I_a$ , A
Magistraalvoolulatt №1				
SJS1	188,2	138,12	233,45	337,4
SJS2	155	116,25	193,75	280
SJS4	76	57	115,1	137
VSK1 JK	185,5	139,12	231,87	335
VSK2 JK	185,5	139,12	231,87	335
SJS5	204,9	153,67	256,12	371
SJS6	243,1	182,32	303,87	439
SJS8	290	217,5	362,5	524
SJS9	260	195	325	470
Kokku:	1788	1338	2253	3228

Magistraalvoolulatt №2				
JK3	580	435	725	1048
KSP1 JHK	224	168	280	405
KSP2 JHK	224	168	280	405
KSP3 JHK	224	168	280	405
FPP JHK	196	147	245	354
PLM JHK	112	84	140	202
SJS7	65,9	46,32	80,91	117
SJS10	15	11,25	18,75	27
VJHK	32,55	20,18	38,3	56
Kokku:	1673	1248	2088	3019
Alajaama kokku:	3461	2586	4342	6247

Leiame alajaama magistraalvoolulattide №1 ja №2 arvutusliku voolu valemiga (4.4) abil:

$$I_{a.MVL1} = \frac{2253}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3256 \text{ A}$$

$$I_{a.MVL2} = \frac{2088}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3017 \text{ A}$$

## 5. KOMPLEKTALAJAAM

Komplektalajaama tüübi valik ja transformaatorite arv on määratud elektrilise koormuste iseloomuga, koormuste paigutusega ettevõtte territooriumil ja samuti tootmise, ehituslike ja eksploatatsiooni nõudmistega, arvestades tootmisruumide konfiguratsiooni, tehnoloogiaseadmete paigutust, keskkonnatingimusi, ventilatsiooni nõudeid, tule- ja elektriohutusest tulenevaid tingimusi ja kasutatavate seadmete liikidega.

Et tagada puiduettevõtte elektrivarustus, pakun antud projektis ehitada komplektalajaama, mille välisvaade on esitatud joonisel 4.2. Komplektalajaam on ehitis, mida tarnitakse kohale täielikult komplekteerituna [1].



Joonis 5.1. Komplektalajaama välisvaade

Kaasaegsed komplektalajaamad koosnevad järgmistest sõlmedest:

- ülepingeseade,
- transformaatorid,
- alampingeseade.

Vastavalt p.4.2.13 [1] peavad elektriseadmed, pingestatud osad, isolaatorid, kinnitused, piirded ja muud konstruktsioonid olema valitud nii et:

- elektriseadme töös tekkida võivad rikkenähtused, näiteks kuumenemine, elektrikaar või muud nähtused (sädemed, gaaside väljapaiskumine jne.) ei oleks ohtlik personalile, seadmetele ja ei tekitaks lühist või maaihendusriket,
- elektriseadme rikketalitluse tekkel peab olema tagatud rikke lokaliseerimine,
- mingi ahela pinge mahavõtmisel peab olema võimalik teostada ohutult hooldust ja remonti naaberahelate talitlust rikkumata,
- oleks tagatud elektriseadmete mugav transportimise võimalus.

## **5.1. Alajaama trafode võimsuse ja arvu valik**

Tootmisettevõtete jõutrafode võimsuse ja arvu valik pea- ja tsehhialajaamade jaoks peab olema tehniliselt ja majanduslikult põhjendatud, kuna see avaldab olulist mõju elektrivarustuse projekteerimisele.

Jõutrafode võimsuse ja arvu valiku olulised kriteeriumid on:

- elektrivarustusekindlus,
- värvilise metalli kulu,
- trafo vajalik võimsus.

Jõutrafode võimsus tavatalitluses peab tagama tootmisettevõtte kõigi elektritarvitite toide. Jõutrafode võimsuse valik peab arvestama nende talitluse majanduslikku otstarbekohasust ja tagama tarbijate reservtoite ühe trafo väljalülitumisel. Tuleb silmas pidada, et trafo koormus tavatalitluses ei tohi vähendada tema loomulikku eluiga [2].

Trafode arv sõltub nõudest tarvitite elektrivarustuskindluse tasemele alajaamast [5]. Valisin komplektalajaama paigaldamiseks kaks trafot. Ühe trafo nimivõimsus on [6]:

$$S_t = \frac{S_{a.kaj}}{N \cdot K_{tk}} \quad (5.1)$$

kus  $S_t$  – ühe trafo nimivõimsus,  
 $S_{a.kaj}$  – trafode arvutuslik summaarne võimsus,  
 $N$  – trafode arv,  
 $K_{tk}$  – trafode koormatustegur.

Kõige otstarbekam tsehhitrafode koormamine sõltub tarbija nõutavast elektrienergia katkematus kategooriast, trafode arvust ja toite reserveerimise meetodist. Trafode vastastikuse reserveerimise puhul alam(madal)pinge poolal on soovitatav võtta koormatusteguriks  $K_{tk} = 0,7$  [6].

Seega

$$S_t = \frac{4320}{2 \cdot 0,7} = 3085 \text{ kVA}$$

Valin komplektalajaama jaoks kaks trafot võimsusega  $S_t = 2500$  kVA. Kontrollin trafo võimsuse piisavust avariitalitluses ühe trafo väljalülitamisel või väljalangemisel. Sel juhul võib töössejäänud trafot koormata 140 % tema nimikoormusest. Peab olema täidetud tingimus [7]:

$$1,4 \cdot S_t \succ 0,7 \cdot S_{a.kaj} \quad (5.2)$$

$$1,4 \cdot S_t = 1,4 \cdot 2500 = 3500 \succ 0,7 \cdot S_{a.kaj} = 0,7 \cdot 4320 = 3024 \text{ kVA}$$

Järelikult valitud trafode võimsus tagab puiduettevõtte elektrivarustuse nii normaal- kui ka avariitalitluses. Konkreetseks trafo tüübiks valin jõutrafo JT-2500-10/0,4.

### **Jõutrafo JT-2500-10/0,4 tehniline kirjeldus**

Trafo on hermeetiline. Trafoõli kaitseks kasutatakse kuiva lämmastiku õli pinna ja trafo katte vahel). Jõutrafo JT-2500-10/0,4 kolmesambaline magnetahel on valmistatud lamineeritud külmaltsitud elektrotehnilise lehtterasest. Mähised on mitmekihilised ja silindrilised, valmistatud alumiiniumjuhtmest. Trafo paak on keevitatud, ristkülikukujuline ja täidetakse trafoõliga.



Joonis 5.2. Jõutrafo 2500-10/0,4 välisvaade

Trafo kate on tasane, kinnitatud poltidega paagi raamile. Kõrgepingesisendite läbiviikisolaatorid on eemaldatavad. Madalpingeväljundid on teostatud latistikuga. Trafo sisendid on paigutatud paagi külgsuinale. Trafot transporditakse täielikult komplekteerituna ja täidetuna trafoõliga.

Transformaatori parameetrite maksimaalne hälve:

- Lühis pinge –  $\pm 10\%$ ,
- Lühiskaod pea harul –  $+10\%$ ,
- Tühijooksukaod –  $+15\%$ ,
- Täismass –  $10\%$ .

Tabel 5.1. Tehnilised andmed

Nõ	Parameeter	Ühik	Väärtus
1	Nimivõimsus	kVA	2500
2	Nimikõrgepinge	kV	10
3	Nimimadalpinge	kV	0,4
4	Tühijooksu kaod	kW	3,75
5	Lühiskaod	kW	26,0
6	Tühijooksu vool	%	0,8
7	Lühispinge	%	6,0
8	Gabariitsuurus	Mm	2460 × 1600 × 2600
9	Täismass	Kg	7045



Ekspluatatsioonitingimused:

Kõrgus merepinnast – kuni 1000 m,

Keskkonna temperatuur :

- Mõõduka kliima jaoks -  $-45^{\circ}\text{C}$  kuni  $+40^{\circ}\text{C}$ ,
- Külma kliima jaoks -  $-60^{\circ}\text{C}$  kuni  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Suhteline õhuniiskus – temperatuuril  $+25^{\circ}\text{C}$  mitte rohkem kui 80%,

Trafo ei ole loodud töötama:

- plahvatavusohtlikus või agressiivses keskkonnas,
- rappumisel või vibratsiooni tingimustes,
- toide sagedastel sisselülitamisel/väljalülitamisel mitte üle 10 korra ööpäevas.

## 5.2. Reaktiivvõimsuse kompenseerimine

Tootmisettevõtte madalpingevõrku ühendatakse suur osa reaktiivvõimsuse tarbijaid. Madalpingelise koormuse võimsustegur ei ületa tavaliselt 0,8. Madalpingetarbijad toitepingega 400/690 V asuvad tavaliselt toiteallikatest eemal ning sellepärast nõuaks reaktiivvõimsuse ülekandmine madalpingevõrgu kaudu juhtmete läbimõõdu ja jõutrafoode võimsuse suurendamist. Reaktiivvõimsuse ülekandest põhjustatud kulusid on võimalik vähendada või isegi täielikult kompenseerida, kui teostada reaktiivvõimsuse kompenseerimist just madalpingevõrgus, kasutades kondensatorpatareisid kui reaktiivvõimsuse allikaid.

Puiduettevõtte kompensatsiooniseadme vajaliku reaktiivvõimsuse  $Q_K$  võib defineerida kui erinevuse tegeliku maksimaalse reaktiivvõimsuse  $\sum Q_{a.kaj}$  ja piirreaktiivvõimsuse  $Q_p$  vahel, mis antakse ettevõttele ette elektrivõrku poolt [6]:

$$Q_K = \sum Q_{a.kaj} - Q_p = \sum P_{a.kaj} \cdot (tg\varphi_a - tg\varphi_p) \quad (5.3)$$

kus  $tg_a$  – tegelik faasinurga tangens, vastavalt koormuse võimsustele  $\sum Q_{a.kaj}$  ja  $\sum P_{a.kaj}$   
 $\cos\varphi = 0,8$ , – võimsustegur enne kompenseerimist,

$tg \varphi_p = \frac{\sum Q_{a.kaj}}{\sum P_{a.kaj}} = 0,35$  – optimaalne faasinurga tangens, mis on iseloomulik antud tüüpi tootmisele,

$$\cos \varphi_a = 0,94 \text{ [8]}$$

$$tg \varphi_p = \frac{2585}{3461} = 0,74$$

$$Q_K = 3461 \cdot (0,74 - 0,35) = 3461 \cdot 0,39 = 1350 \text{ kvar}$$

Reaktiivvõimsuse pärast kompenseerimist leiame valemi (5.4) valemi abil [7]:

$$Q_{P.K} = \sum Q_{a.kaj} - Q_K \tag{5.4}$$

$$Q_{P.K} = 2585 - 1350 = 1235 \text{ kvar}$$

Näivvõimsuse pärast kompenseerimist leiame valemi (5.5) abil [7]:

$$S_{P.K} = \sqrt{(\sum P_{a.kaj})^2 + Q_{P.K}^2} \tag{5.5}$$

$$S_{P.K} = \sqrt{3461^2 + 1235^2} = 3675 \text{ kvar}$$

Võimsusteguri pärast kompenseerimist leiame valemi (5.6) abil [7]:

$$\cos \varphi_{P.K} = \frac{\sum P_{a.kaj}}{S_{P.K}} \tag{5.6}$$

$$\cos \varphi_{P.K} = \frac{3461}{3675} = 0,94$$

Reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks valisin kaks seadet 0,4-675-25, mis ühendatakse jaotusseadme 0,4 kV lattidele.



Joonis 5.3. Reaktiivvõimsuse kompenseerimisseade.

### 5.3. Projekteeritava komplektalajaama struktuur

Komplektalajaamad võimsusega kuni 3200 kVA on ette nähtud pingega 10 kV ja sagedusega 50 Hz kolmefaasilise vahelduvvoolu vastuvõtmiseks ja selle muundamiseks 0,4 kV ja 50 Hz vahelduvvooluks ning selle jaotamiseks madalpingevõrku. Komplektalajaamu kasutatakse põllumajandusobjektide, nafta- ja gaasimaardlate, üksikute asulate ja tööstushoonete elektrivarustuseks.

Võtame kasutamiseks komplektalajaama 2500/10/0,4.

Põhilised tehnilised andmed komplektalajaama 2500/10/0,4 on toodud tabelis 5.2.

Tabel 5.2. Komplektalajaama 2500/10/0,4 põhilised tehnilised andmed

Jrk.nr.	Parameetri nimi	Parameetri väärtus
1	Nimipinge ülempinge poolel, kV	10
2	Suurim tööpinge ülempinge poolel, kV	12
3	Nimipinge alampinge poolel, kV	0,4
4	Termilise vastupidavuse vool ülempinge poolel, kA	31,5
5	Elektrodünaamilise vastupidavuse vool ülempinge poolel, kA	51
6	Termilise vastupidavuse vool alampinge poolel, kA	100
7	Elektrodünaamilise vastupidavuse vool alampinge poolel, kA	40
8	Madalpingevõrgu lattide vool, kA	3,61

Komplektalajaama elektriühenduspunktide skeemi vaadake joonisel 5.4.



### 5.3.1. Komplektalajaama ülempingeseade

Komplektalajaama 10 kV sisend teostatakse kõrgepingejuhtme abil. Ülempingeseade koosneb tupiktüüpi ühepoolse teenidamisega sisendpinge kambritest.



Joonis 5.5. Kõrgepingekamber

Ühepoolse teenindamisega kambrid on ette nähtud 10 kV ja 50 Hz kolmefaasilise vahelduvvoolu vastuvõtmiseks ja jaotamiseks maandatud neutraaliga süsteemis. Kambri metallkonstruktsioon on kokku pandud metallprofiilide abil. Kambri sees on peaahelate aparatuur. Ajamite ja juhtimisaparatuuride käepidemed on paigutatud kambri esipaneelile. Kaitserelee, juhtimise, signalisatsiooni, arvestus- ja mõõteseadmed on paigutatud nii esipaneeli peale kui ka kambri sisse. Kambri seadmete kontrollimiseks on paigutatud valgustuslambid. Kogu kambrisse paigaldatud aparatuur ja seadmed on maandatud.

Kambri raam on keevitatud metallalusele, mis on maandatud. Elektripersonali ohutu töö tagamiseks on indikaator, mis näitab lüliti olekut, samuti elektrilised ja mehaanilised kaitseseadmed, mis välistavad personali eksklikud tegevused.

Kõrgepingekambrisse on vajalik paigutada vaakumkaitselüliti.



Joonis 5.6. Vaakumkaitselüliti üldvaade

Tabel 5.3. Vakuumkaitselüliti põhilised tehnilised andmed.

Jrk.nr.	Parameetri nimetus	Parameetri väärtus
1	Nimivool $I_n$ , kA	1,6
2	Nimilahutusvool $I_v$ , kA	20
3	Elektrodünaamilise vastupidavuse vool $I_{e,d}$ , kA	20
4	Ahelate nimipinge $U_n$ , V	230

Sinna paigaldatakse ka kõrgepinge volutrafod.

Tabel 5.4. Kõrgepinge volutrafo põhilised tehnilised andmed.

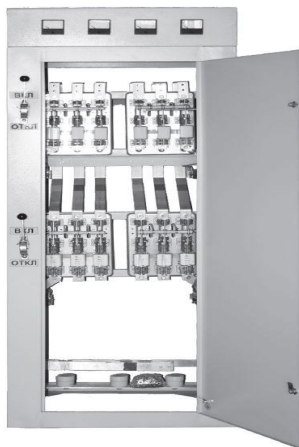
Jrk.nr.	Parameetri nimetus	Parameetri väärtus
1	Ülekandetegur	50-1500/5
2	Termilise vastupidavuse vool, kA	40



Joonis 5.7. Kõrgepinge volutrafo.

### 5.3.2. Komplektalajaama alampingeseade

Alampinge jaotusseadme jaoks on kasutusele võetud järgmine skeem. Voolulattide sektsioonid saavad toite jõutrafo delt kaitseülilitite kaudu. 0,4 kV jaotusseade on komplekteeritud paneelidega.



Joonis 5.8. 0,4 kV jaotusseadme paneelid

Jaotuskilpide paneelid on ettenähtud pingega 400/230 V ja 50 Hz vahelduvvoolu jaotusseadmete komplekteerimiseks, elektrienergia vastuvõtmiseks, jaotamiseks ja liinide kaitsmiseks ülekoormuse ja lühisvoolu eest.

0,4 kV jaotusseadme koosseis:

1. Sisendpaneelid – lattide sisend.

Sisendpaneelidele on paigutatud kommutatsiooni- ja kaitseaparatuur, voolutrafo, ampermeetrid ja voltmeetrid, samuti aktiiv- ja reaktiivenergia arvestid ning kaitselülitid 2500 A ja 4000A voolule.

2. Liinide paneelid

Väljuvate liinide jaoks on paigaldatud paneelid kommutatsiooni- ja kaitseaparatuuridega, voolutrafoodega ja ampermeetritega. Paneelid on varustatud sulavkaitsmetega, vinnakülilititega ja kaitselülititega. Kaitselülitid paneelidel on nimivooludega 100, 160, 250, 400 ja 630, 800, 1000, 1250 ja 1600 A.

### 3. Sektsiooni paneelid

Sektsiooni paneelid on ettenähtud jaotusseadme lattide eraldamiseks juhul, kui iga sektsiooni toidetakse normaaltalitusel eraldi trafo poolt. Selliste paneelidega komplekteeritakse kahetrafoliste alajaamade jaotusseadmed. Paneelid on varustatud vinnaklülitite ja kaitselülititega. Kaitselülitid paneelidel on nimivooluga 4000A.

### 4. Reservi automaatse sisselülitamise paneel.

Antud paneel on ette nähtud kahe trafoga alajaama jaoks, kus on vajalik reservi automaatne sisselülitamine. Väliskomplektalajaamas kasutatakse reservtoite automaatseks sisselülitamiseks türistorlülitit. Reserviautomaadi sisselülitamine on tagatud paneelidesse paigutatud aparatuuriga. Jaotusseadme paneelidesse on ette nähtud ka voolutrafo paigutamine.

Komplektalajaama elektriühenduspunktide skeem on näidatud joonisel 5.3.



## 6. ETTEVÖTTE MADALPINGEVÕRGU SKEEMI VALIK JA ARVUTUS

Madalpinge elektrivarustuse skeem sõltub tarbijate võimsusest ja elektritarvitite arvust, varustuskindluse astmest, paigutusest ettevõtte territooriumil ning peab vastama järgmisele nõuetele [9]:

- tagama vajaliku elektrivarustuskindluse ja ohutu hoolduse,
- skeem peab olema paindub ja lihtne ekspluatatsioonis,
- omama optimaalseid tehnilisi ja majanduslikke näitajaid,
- kiire ja lihtne paigaldamine.

Tsehhide võrgud võivad olla väljaehitatud radiaal-, magistraal- või segaskeemi alusel. Silmas pidades, et puiduettevõtte territoorium on tulekahjuohtlik ala, võtame ettevõtte elektrivarustamise aluseks radiaalskeemi.

Radiaalskeeme kasutatakse:

- elektritarvitite väikete gruppide jaoks, mis asuvad erinevates kohtades ja mis asuvad eemal tsehhialajaama madalpingejaotlast,
- võimsate elektritarvitite gruppide jaoks,
- vastutusrikaste elektritarvitite jaoks,
- ettevõtte ebasoodsa keskkonna juhul.

### 6.1. Madalpingevõrgu kaablite koormusvoolude ja pingekadude arvutus

Lähtuvalt vastuvõetud elektrivarustuse skeemist ja keskkonna tingimustest teostatakse tsehhi elektrivõrgud kaabelliinidega ja juhtmedega. Näidiseks võtame ühe ahela juhtmed jaotusseadme 0,4 kV paneelist kuni jaotusseadmeni SJS2.

Juhtme ristlõige määratakse nimivooluga soojenemise järgi valemi 6.1 abil [6]:

$$I_{\text{lub}} \geq \frac{I_p}{K_p} \quad (6.1)$$

Kus  $I_{lub}$  – lubatud vool võetud tabelitest [1], A  
 $I_p$  – pikaajaline nimivool, mis on võetud elektritarvitite gruppide jaoks, A,  
 $K_p$  – parandustegur. Antud juhul  $K_p = 1$ , kuna kaabel paikneb 0,5 m sügavusel pinnases [1].

Pingekaod tsehhide võrkudes, mis on teostatud juhtmega või kaabliga, võime leida 6.2 valemil abil:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_a \cdot L \cdot 100}{U} \cdot (r_e \cdot \cos \varphi + x_e \cdot \sin \varphi) \quad (6.2)$$

kus  $I_a$  – liini arvutuslik vool, A,  
 $L$  – liini pikkus, m,  
 $\cos \varphi, \sin \varphi$  – vastavad elektritarbija tegurid,  
 $r_e, x_e$  – kaablite aktiiv- ja induktiiv-eritakistused [6], mΩ/m.

Arvutuste näide 0,4 kV jaotusseadme SJS2 jaoks.

$I_a = 280$  A,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $\sin \varphi = 0,75$ ,  $L = 90$  m.

$$\frac{I_p}{K_p} = \frac{280}{1} = 280 \text{ A}$$

0,4 kV liini jaoks jaotusseadmele SJS2 valime jõukaabli  $4 \times 150 \text{ mm}^2$  alumiiniumsoontega, mille pikaajaline pidevvoovool on  $I_p = 310$  A, ja eritakistused  $r_e = 0,124 \text{ m}\Omega/\text{m}$ ,  $x_e = 0,079 \text{ m}\Omega/\text{m}$ .



Joonis 6.1. Jõukaabel  $4 \times 150 \text{ mm}^2$

Valitud kaabli jaoks teostame kontrolli pingekao järgi. Pingekadu ei tohi ületada 5% [9].

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 294,37 \cdot 90 \cdot 100}{400} \cdot (0,21 \cdot 0,8 + 0,079 \cdot 0,75) = 1,4\%$$

Pingekadu kaablis ei ületa 5%, järelekuult JS-0,4 kV – SJS2 jaoks valitud kaabel 4×150 mm<sup>2</sup> sobib. Kaablite arvutustulemused ülejäänud elektritarvitite on toodud tabelis 6.1.

Jõukaablite põhilised andmed on toodud tabelis 6.1.

Tabel 6.1. Jõukaablite valik ettevõtte 0,4 kV jaotusseadmete jaoks.

Jaotusseadmete nimetus	Arvutuslik vool I <sub>a</sub> , A	Jõukaabli ristlõige, mm <sup>2</sup>	Pikaajaline lubatud vool, I <sub>lub</sub> , A	Liini pikkus, L, m	Pingekadu, ΔU, %
SJS1	354,7	4×95	240	280	2,45
SJS2	294,37	4×150	310	90	2,4
JK3	950	4×185	384	100	1,5
SJS4	174,8	4×70	201	70	1,4
SJS5	389,13	4×95	240	180	3,43
SJS6	461,7	4×150	310	230	3,3
SJS7	123	4×95	240	250	3
SJS8	550,76	4×150	310	100	1,86
SJS9	493,8	4×150	310	100	1,77
SJS10	493,8	4×150	310	150	2,5
VJHK	58,19	4×35	137	10	0,12
KSP1	425,4	4×150	310	100	1,4
KSP2	425,4	4×150	310	100	1,4
KSP3	425,4	4×150	310	100	1,4
FPP	372,2	4×150	310	100	1,2
PLM	212,7	4×150	310	100	1,4
VSK1	352,2	4×150	310	70	1,6
VSK2	352,2	4×150	310	70	1,6

## 6.2. Madalpingevõrgu lühisvoolude arvutamine ja kaitseseadmete valik

### 6.2.1. Madalpingevõrgu lühisvoolude arvutamine

Tootmisettevõtete madalpingeelektrivõrke iseloomustab nende suur pikkus. Pingel kuni 1 kV mõjutab isegi väike takistus oluliselt lühisvoolu väärtust. Sellepärast arvestatakse lühisvoolude arvutamisel kõiki lühisahela aktiiv- ja induktiivtakistusi, kaasaarvatud kogu ahela kontaktide aktiivtakistus. Kui puuduvad usaldatavad andmed kontaktidest ja nende üleminekutakistustest, soovitatakse lühisvoolude arvutamisel arvesse võtta nende takistused järgmisel viisil: alajaamade jaotusseadmete jaoks 15 mΩ, tsehhi primaarjaotuspunktide jaoks 20 mΩ [6]. Lühisvoolude arvutamisel eeldatakse, et toitesüsteemi võimsus ei ole piiratud ja et pinge trafo kõrgepinge pool on muutumatu. Elektrivarustuse kõrgepingesüsteemi elementide takistused taandatakse madalpingepolele järgmise valemi abil:

$$x_m = x_k \cdot \left( \frac{U_{MP}}{U_{KP}} \right)^2 \quad (6.3)$$

kus  $x_m$  - madalpinge elemendi reaktiivtakistus, mΩ,  
 $x_k$  - kõrgepinge elemendi reaktiivtakistus, mΩ,  
 $U_{MP}$ ,  $U_{KP}$  - nimipinged madal- ja kõrgepinge poolel, V;

Kaitseseadmete valik teostatakse pärast lüüdvoolude arvutust [6]:

$$i_l = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot K_l \quad (6.4)$$

kus  $I_k$  - kolmefaasiline väljakujunenud lühisvool, kA,  
 $K_l = f(x/r)$  - löögiteguri väärtus, mis määratakse kõvera järgi [6], kui  $x/r \leq 0,5$   
siis  $K_l = 1$ .

Arvutame lühisvoolu punktis K1, vaata joonis 6.2.

Määrame kõrgepinge poole ühe liini elementide takistused valemite (6.5) ja (6.6) abil :

$$x_{\sum 10} = x_l \cdot L \quad (6.5)$$

$$r_{\sum 10} = r_l \cdot L \quad (6.6)$$

kus  $L$  - liini pikkus, mille kaudu antakse toide transformatorile JT,  $L=420$  m.

$$x_{\Sigma 10} = 0,077 \cdot 420 = 32,34 \text{ m}\Omega$$

$$r_{\Sigma 10} = 0,13 \cdot 420 = 54,6 \text{ m}\Omega$$

Süsteemi kõrgepinge poole takistused taandame madalpinge poolele valemi (6.3) abil:

$$x_{\Sigma 10;0,4} = x_{\Sigma 10} \cdot \left( \frac{U_{MP}}{U_{KP}} \right)^2 \quad (6.7)$$

$$r_{\Sigma 10;0,4} = r_{\Sigma 10} \cdot \left( \frac{U_{MP}}{U_{KP}} \right)^2 \quad (6.8)$$

Asendame arvvaartused valemisse:

$$x_{\Sigma 10;0,4} = 32,34 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,051 \text{ m}\Omega$$

$$r_{\Sigma 10;0,4} = 54,6 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,08 \text{ m}\Omega$$

Leiame transformaatori JT takistused valemi 6.7. abil:

$$r_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_{nt}^2} \quad (6.9)$$

$$x_T = \sqrt{\left( \frac{u_K \%}{100} \right)^2 - \left( \frac{\Delta P_K}{S_{nt}} \right)^2} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nt}} \cdot 10^6 \quad (6.10)$$

kus  $U_n$  – võrgu nimipinge,  $U_n = 0,4 \text{ kV}$ ,

$S_{nt}$  - trafo nimivõimsus, kVA,

$\Delta P_K$  - lühisvoolu kaovõimsus,  $\Delta P_K = 25 \text{ kW}$ ,

$u_K$  - lühis-pinge,  $u_K = 5,5\%$ .

$$r_T = \frac{25 \cdot 0,4^2}{2500^2} = 0,64 \text{ m}\Omega$$

$$x_T = \sqrt{\left( \frac{5,5}{100} \right)^2 - \left( \frac{25}{2500} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{2500} \cdot 10^6 = 3,46 \text{ m}\Omega$$



Määrame summaarsed aktiiv- ja reaktiivtakistused kuni lühispunktini K1 valemite abil:

$$x_{\Sigma K1} = x_{\Sigma 10;0,4} + x_m \quad (6.11)$$

$$r_{\Sigma K1} = r_{\Sigma 10;0,4} + r_m + r_{\text{lisa}} \quad (6.12)$$

kus  $r_{\text{lisa}}$  – lisatakistus, mis arvestab kontaktide siirdetakistust,  $r_{\text{lisa}} = 15 \text{ m}\Omega$ .

$$x_{\Sigma K1} = 0,051 + 3,46 = 3,5 \text{ m}\Omega$$

$$r_{\Sigma K1} = 0,08 + 0,64 + 15 = 15,72 \text{ m}\Omega$$

Määrame liini kogutakistuse, mis sisaldab toiteliini, trafo ja lisatakistust

$$z_{K1} = \sqrt{(x_{\Sigma K1})^2 + (r_{\Sigma K1})^2} \quad (6.13)$$

$$z_{K1} = \sqrt{3,5^2 + 15,72^2} = 16 \text{ m}\Omega$$

Kuna skeemis on paralleelliin elementidega L', JT2,  $r'_{\text{lisa}}$ , mis on samade parameetridega nagu liinil L, T1,  $r_{\text{lisa}}$ , siis elementide näivtakistuse lühispunktini K1 leiame 6.14 valemi abil:

$$z_{\Sigma K1} = \frac{z_{K1}}{2} \quad (6.14)$$

$$z_{\Sigma K1} = \frac{16}{2} = 8 \text{ m}\Omega$$

Lühisvoolu punktis K1 alajaama madalpinge väljundis leiame (6.15) valemi abil:

$$I_{K1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K1}} \quad (6.15)$$

$$I_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8} = 29 \text{ kA}$$

Löökvoolu punktis K1 leiame (6.4) valemi abil, kusjuures  $K_1 = 1$ .

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 29 \cdot 1 = 41 \text{ kA}$$

Järgnevalt arvutan lühisvoolud ja löökvoolud jaotusseadmete sisendites, mis varustavad tehase elektritarbijad. Näitena teostame lühisvoolu ja löökvoolu arvutused punktis K3. Et leida

lühisvoolu punktis K3, on vaja teada magistraalvoolulati MVL takistust kaabelliinide ja kontaktide siirdetakistusi.

Magistraalvoolulati takistused on  $r_{MVL} = 0,013 \text{ m}\Omega/\text{m}$ ,  $x_{MVL} = 0,015 \text{ m}\Omega/\text{m}$ , magistraalvoolulati pikkus  $L_{MVL} = 70 \text{ m}$ .

Kaabelliini JS-0,4 kV – SJS2 takistused on  $r_e = 0,124 \text{ m}\Omega/\text{m}$ ,  $x_e = 0,079 \text{ m}\Omega/\text{m}$ , kaabelliini pikkus  $L_2 = 90 \text{ m}$ .

Leiame magistraalvoolulati aktiiv- ja induktiivtakistuse valemite 6.16 ja 6.17 abil:

$$x_{\sum MVL} = x_{MVL} \cdot L_{MVL} \quad (6.16)$$

$$r_{\sum MVL} = r_{MVL} \cdot L_{MVL} \quad (6.17)$$

$$x_{\sum MVL} = 0,015 \cdot 70 = 1,05 \text{ m}\Omega$$

$$r_{\sum MVL} = 0,013 \cdot 70 = 0,91 \text{ m}\Omega$$

Leiame kaabelliini aktiiv- ja induktiivtakistuse valemite 6.18 ja 6.19 abil:

$$x_{\sum KL} = x \cdot L_2 \quad (6.18)$$

$$r_{\sum KL} = r \cdot L_2 \quad (6.19)$$

$$x_{\sum KL} = 0,079 \cdot 90 = 7,11 \text{ m}\Omega$$

$$r_{\sum KL} = 0,124 \cdot 90 = 11,16 \text{ m}\Omega$$

Leiame punkti K3 summaarsed aktiiv- ja induktiivtakistused valemitega:

$$x_{\sum K3} = \frac{x_{\sum K1}}{2} + x_{\sum MVL} + x_{\sum KL} \quad (6.20)$$

$$r_{\sum K3} = \frac{r_{\sum K1}}{2} + r_{\sum MVL} + r_{\sum KL} + r_{\text{lisa1}} + r_{\text{lisa4}} + r_{\text{lisa5}} \quad (6.21)$$

kus  $r_{\text{lisa1}}$ ,  $r_{\text{lisa4}}$ ,  $r_{\text{lisa5}}$  – lisatakistused, mis arvestavad kontaktide siirdetakistusi  $r_{\text{lisa1}}$ ,  $r_{\text{lisa4}}$ ,  $r_{\text{lisa5}} = 20 \text{ m}\Omega$ .

$$x_{\sum K3} = \frac{3,5}{2} + 1,05 + 7,11 = 9,91 \text{ m}\Omega$$



$$r_{\Sigma K3} = \frac{15,72}{2} + 0,91 + 11,16 + 20 + 20 + 20 = 79,93 \text{ m}\Omega$$

Näivtakistuse punktini K3 leiame valemi abil 6.22:

$$z_{K3} = \sqrt{(x_{\Sigma K3})^2 + (r_{\Sigma K3})^2} \quad (6.22)$$

$$z_{K3} = \sqrt{9,91^2 + 79,93^2} = 80,54 \text{ m}\Omega$$

Leiame lühisvoolu punktis K3 valemiga:

$$I_{K3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot z_{K3}} \quad (6.23)$$

$$I_{K3} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 80,54} = 2,87 \text{ kA}$$

Löökvoolu leiame 6.4 valemi abil, kus  $K_1 = 1$ :

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 2,87 \cdot 1 = 4,06 \text{ kA}$$

Samamoodi määrän lühis- ja löökvoolud teiste punktide jaoks (Tabel 6.2):

Tabel 6.2. Lühis- ja löökvoolude arvutusväärtused.

Lühispunkt skeemil	Näivtakistus lühis punktini, $z_K$ , m $\Omega$	Lühisvool $I_K$ , kA	Löökvool $i_i$ , kA
K1	8	29	41
K2	76,58	3,02	4,72
K3	80,54	2,87	4,06
K4	40,59	5,7	8,05
K5	86,77	2,66	3,7
K6	66,19	3,5	4,9
K7	63,38	3,6	5,1
K8	118,97	1,94	2,7
K9	54,4	4,25	6
K10	54,4	4,25	6
K11	57,83	3,99	5,65
K12	73,24	3,15	4,46

K13	54,4	4,25	6
K14	54,4	4,25	6
K15	54,4	4,25	6
K16	54,4	4,25	6
K17	54,4	4,25	6
K18	52,44	4,4	6,2
K19	52,44	4,4	6,2

Jaotusseadmete kaitselülitite valikul on järgmised nõuded:

- kaitselüliti nimipinge ei tohi olla madalam kui võrgupinge, väljalülitusvõime peab vastama maksimaalsetele lühisvooludele;
- kaitselüliti nimivool  $I_{n.kl.}$  peab olema mitte-väiksem kui suurim arvutuslik pikaajaline koormusvool  $I_a$ .

$$I_{n.kl} \geq I_a \quad (6.24)$$

Kaitselüliti elektrodünaamilise vastupidavuse vool  $i_{ed}$  ei tohi olla väiksem tekkida võivast löökvoolust  $i_a$ .

$$i_{el.dün} \geq i_1 \quad (6.25)$$

Näitena-kaitselüliti valik jaotuspunkti SJS2 jaoks:

$I_{a.SJS2} = 294,37$  A,  $i_{l.SJS2} = 4,06$  kA. Tema nimivool on  $I_n = 400$  A, vabastamise vool  $I_{vab} = 310$  A, elektrodünaamiline vastupidavuse vool on  $i_{ed} = 30$  kA, nimipinge  $U_n = 400$  V.



Joonis 6.3. Kaitselüliti.

Kontrollin valikut valemite 6.24 ja 6.25 abil:

$$I_{\text{vab}} = 310 \geq I_{\text{a.SJS2}} = 294,34 \text{ A}$$

$$i_{\text{ed}} = 30 \text{ kA} \geq i_{\text{l.SJS2}} = 4,06 \text{ kA}$$

Järelikult valitud kaitselüliti on sobiv SJS2-sse paigaldamiseks.

Kaitselüliti kasutatakse voolu operatiivseks sisse- ja väljalülitamiseks tavatalitluses, samuti elektrimootorite ja jaotusvõrkude kaitseks liigkoormamus- ja lühisvoolude eest. SJS2-na võtan kasutusele jaotusseadme, mida kasutatakse kolmefaasilistes 400/230 V 50 Hz võrkudes elektrienergia vastuvõtmiseks ja jaotamiseks ning liigkoormuse ja lühisvoolude eest.

### 6.2.2. Kaitseseadmete valik

Rohkem kui ühe kaitselüliti paigaldamisel ühele liinile peab järgima selektiivsust [1]. Selle tingimuse järgi valitakse komplektalajaama lahküliti vool.

Komplektalajaama liini SJS2 kaitsmiseks võtame kasutusele kaitselüliti nimivooluga  $I_n = 400 \text{ A}$ , lahküliti vool on  $I_{\text{sc}} = 400 \text{ A}$ , ja elektrodünaamilise voolu vastupidavus on  $I_{\text{edv}} = 55 \text{ kA}$ .

$$I_{\text{sc}} < I_{\text{edv}} \tag{6.26}$$

Samamoodi teeme kaitselülite valiku teiste jaotuspunktide jaoks.

Tabel 6.3. Jaotuspunktide kaitselülite valik

Sisend kaitselüliti			
Nimetus plaanil	Nimivool, $I_n$	Lahklüliti vool, $I_{sc}$	Kogus
SJS1	400	400	1
JK3	1250	1000	2
SJS4	250	200	1
SJS5	500	500	1
SJS6	630	500	1
SJS7	160	125	1
SJS8	630	630	1
SJS9	630	500	1
SJS10	160	100	1
VV JHK	160	100	1
KSP1	400	400	2
KSP2	400	400	2
KSP3	400	400	2
FPP JHK	400	400	2
PLM JHK	400	310	2
VSK JHK1	400	400	1
VSK JHK2	400	400	1

Tabel 6.4. Väljundliinide kaitselülite valik

Väljund kaitselüliti			
Nimetus plaanil	Nimivool, $I_n$	Lahklüliti vool, $I_{sc}$	Kogus
SJS1	630	500	1
JK3	1250	1250	2
SJS4	250	250	1
SJS5	630	630	1
SJS6	630	630	1
SJS7	160	160	1
SJS8	800	800	1
SJS9	630	630	1
SJS10	160	125	1
VV JHK	160	125	1
KSP1	630	500	1
KSP2	630	500	1
KSP3	630	500	1
FPP JHK	630	500	1
PLM JHK	400	400	1
VSK JHK1	630	500	1
VSK JHK2	630	500	1

Jaotus ja toitevõrgu peamine skeem esitatud joonisel 4.1.

## 7. MAANDAMINE JA PIKSEKAITSE VALIK

### 7.1. Maandusseadme arvutus

Kuni 1 kV kolmefaasilistes võrkudes ei tohi maanduspaigaldise takistus olla rohkem kui 4 oomi [1].

Maandurites kasutatakse terasest vertikaalelektroode diameetriga 12 - 16 mm, süsinikterast seinapaksusega mitte alla 4 mm või terastorusid seinapaksusega mitte alla 3,5 mm; horisontaalelektroodidena kasutatakse vähemalt 4 mm paksust latt-terast või ümarterast diameetriga vähemalt 6 mm.

Vertikaalelektroodide pikkuseks soovitatakse valida 2 ... 5 m, süsinikelektroodide puhul aga 2,5 m. Vertikaalelektroodi ülemine ühendusots soovitatakse sukeldada 0,5 ... 0,7 m sügavusele. Horisontaalelektroode kasutatakse kas vertikaalelektroodide omavaheliseks ühendamiseks või iseseisvate maanduritena.

Näitena toon lõikamistsehhi maanduspaigaldise arvutuse.

Selleks määrän pinnase eritakistuse  $\rho$ , kasutades parandustegurit  $K_k$ , mis arvestab pinnase kuivamist suvel ja külmumist talvel ([6], tabel 26). Selle tabeli alusel  $\rho = 100 \Omega/m$ .

Määrän ühe vertikaalelektroodi takistuse:

$$R_v = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \quad (7.1)$$

kus,  $l$  – vertikaal-elektroodi pikkus, m,

$d$  – vertikaal-elektroodi läbimõõt, m,

$t$  – kaugus vertikaal-elektroodi keskkohast maapinnani, m.

Võtan kasutusele terasvardad läbimõõduga  $d = 0,016$  m ja pikkusega  $l = 5$  m, keskkoha kaugus maapinnast = 3 m.

$$R_v = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 22 \Omega$$

Määran vertikaalmaanduselektroodide arvu valemiga 7.2:

$$N = \frac{R_v}{K_{vmk} \cdot R_m} \quad (7.2)$$

kus,  $K_{vmk}$  – vertikaalmaanduselektroodi kasu tegur,  $K_{vmk} = 0,62$  (Tabel 28 [6])

$$N = \frac{22}{0,62 \cdot 4} = 10$$

Kümne vertikaalmaanduselektroodi summaarne takistus:

$$R_s = \frac{R_v}{N \cdot K_{vmk}} \quad (7.3)$$

$$R_s = \frac{22}{10 \cdot 0,62} = 3,54 \, \Omega$$

Määran horisontaalelektroodi ekvivalentse takistuse valemi 7.4 abil:

$$R_{HE} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h} \right) \quad (7.4)$$

kus,

L – horisontaalelektroodi pikkus, m,

b - horisontaalelektroodi paksus, m,

h – horisontaalelektroodi-paigaldussügavus, m

Horisontaalelektroodina võtan kasutusele latt-terase pikkusega  $L = 45$  m, paksusega  $b = 0,004$  m, paigaldussügavusega  $h = 0,5$  m.

$$R_{HE} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 45} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 45^2}{0,004 \cdot 0,5} \right) = 5,1 \, \Omega$$

Leian horisontaalelektroodide arvutusliku takistuse valemi 7.5 abil:

$$R_H = \frac{R_{HE}}{K_{hmk}}, \quad (7.5)$$

kus,  $K_{hmk}$  - horisontaalmaandusjuhi kasutegur,  $K = 0,62$   $\Omega$

$$\text{Om} \quad R_H = \frac{5,1}{0,62} = 8,28 \, \Omega$$

Kontrollin arvutatud maandusseadme sobivust 7.6 valemi abil:

$$R_{m.v} \leq R_m \quad (7.6)$$

kus,  $R_{m.v}$  –maanduri valgumistakistus, mille arvutan valemi 7.7 abil

$$R_{m.v} = \frac{R_e \cdot R_H}{R_e + R_H} \quad (7.7)$$

$$R_{m.v} = \frac{3,54 \cdot 8,28}{3,54 + 8,28} = 2,48 \ \Omega$$

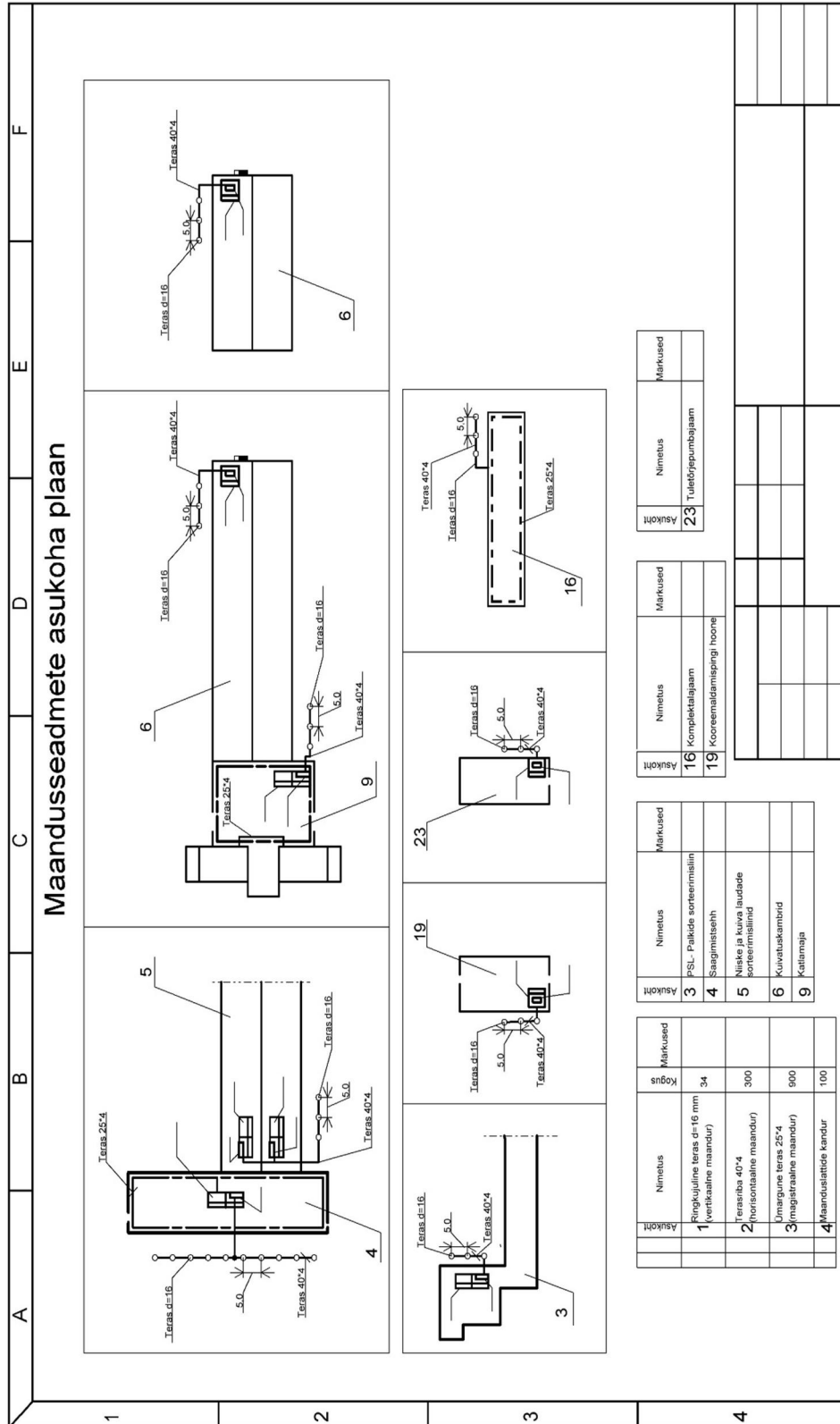
Seega maanduri valgumistakistus vastab tingimusele 7.6:

$$R_{m.v} \leq R_m = 2,48 \leq 4 = 4 \ \Omega$$

Saetsehi maandusseade koosneb kümnest vertikaalelektroodist läbimõõduga 16 mm, pikkusega 5 m ja mis on omavahel seotud ühendatud terasribaga pikkusega 45 m ja paksusega 4 mm ning mis paigutatakse tsehhi. Teiste tööstushoonete maandusseade koosneb kolmest vertikaal-elektroodist läbimõõduga 16 mm, pikkusega 5 m ja mis on omavahel ühendatud terasribaga pikkusega 10 m ja paksusega 4 mm ning paigaldussügavusega 0,5 m.

Tööstushoonete teostatakse üldmaandusseade elektripaigaldise jaoks pingega kuni 1 kV.

Maandusseadmete asukoha plaan on toodud joonisel 7.1.



Joonis 7.1. Maandusseadmete asukoha plaan



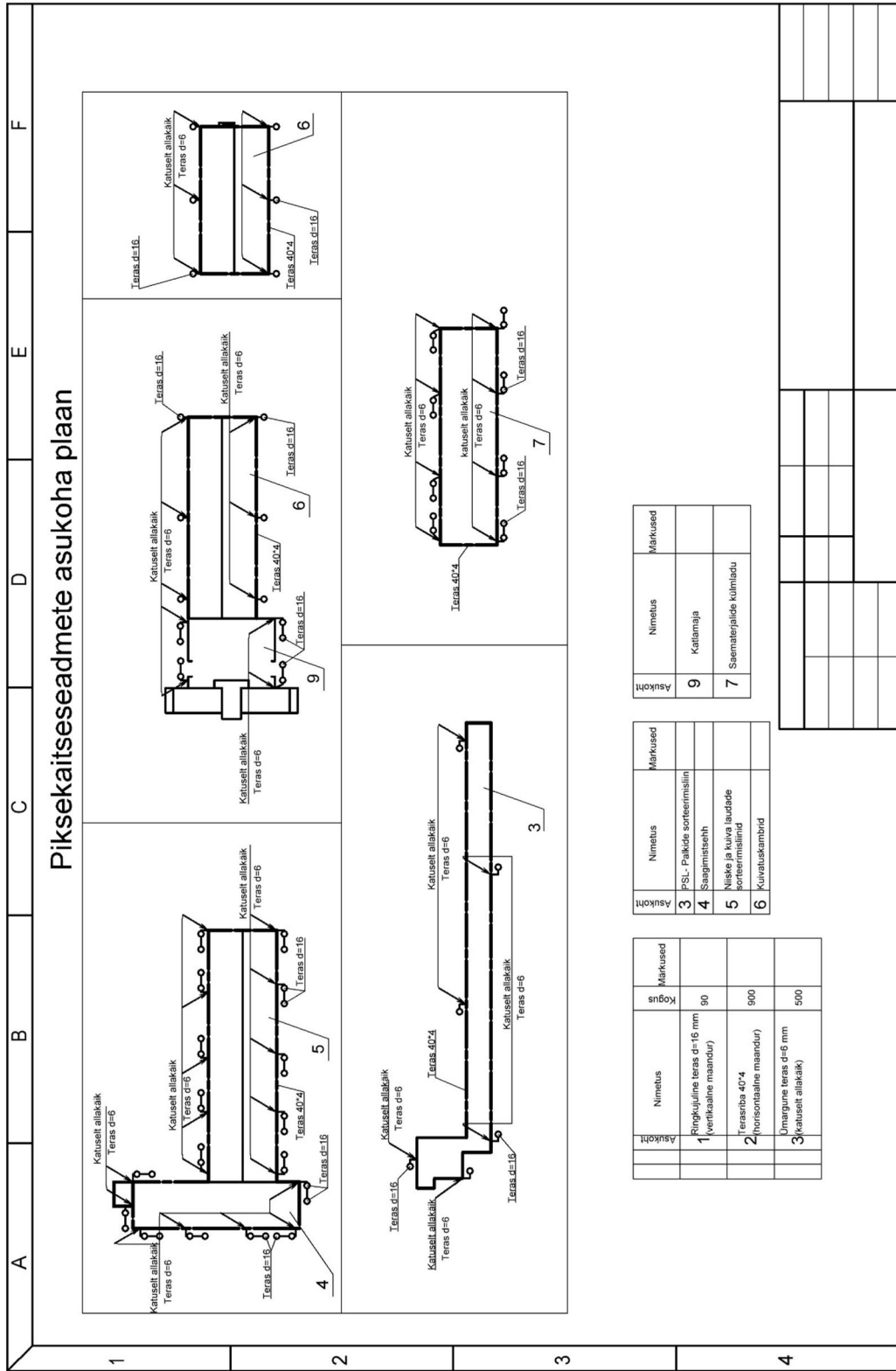
## 7.2. Piksekaitse valik

Hoonete piksekaitse teostatakse maandatud metallvõrgu abil, mis on paigutatud mittemetallist katuse all. Piksekaitsevõrk peab olema valmistatud vähemalt 6 mm läbimõõduga terrastraadist ja paigutatud tulekindla isolatsiooni või hüdroisolatsiooni alla. Rakkude samm peab olema mitte suurem kui 6×6 m. Võrgu sõlmed peavad olema keevitatud. Väljaulatuvad metallosad katusel (torud, ventilatsioonseadmed jne. ) peavad olema ühendatud piksekaitsevõrguga. Piksekaitsevõrgu vertikaalmaandusjuhid peavad olema ühendatud maandusjuhtidele mitte suurema vahemaa järel kui 25 m hoone parameetril. Kõikidel võimalikel juhtudel on vajalik piksekaitsemaandus ühendada elektripaigaldise maandusega [10].

Vertikaalmaandusjuht see on terasvarras läbimõõduga 16 mm, pikkusega 5 m. Horisontaalmaandusjuht see on terasriba ristlõikega 40×4 mm. Maandusjuhtide paigutamise sügavus on 0,5 m.

Kõik ühendused teostatakse keevitusega. Kui hoone pindala on väiksem kui 900 m<sup>2</sup>, siis voolusisendite ja maandusseadme ühenduspunktides keevitatakse vertikaalmaandusjuhid ühekaupa, kui aga pindala on suurem, siis kahekaupa.

Piksekaitseadmete asukoha plaan toodut joonisel 7.2.



Joonis 7.2. Piksekaitseadmete asukoha plaan.









## 9. OHUTUSE TAGAMINE KOMPLEKTALAJAAMA TEENINDAMISEL

### 9.1. Ohutegurid

Komplektalajaama teenindava personali töö on ohutegurid võimalik jagada gruppidesse:

- Füüsikalised: ohtlik elektrivõrgu pinge, elektrimagnetilised kiirgused, loomuliku valguse puudumine,
- Keemilised: kokkupuude trafoõliga,
- Psühho-füsioloogilised: tööks elektriseadmetega nõutav kõrge tähelepanikkuse tase, mis viib närvi-psühilise vaimsele ülekoormusele.

### 9.2. Komplektalajaama ülevaatus

Ohutuse tagamisel on oluline komplektalajaama üldseisundi kontroll. Isikute nimekiri, kellel on ainuisikuline õigus teostada komplektalajaama ülevaatus, peab olema kinnitatud ettevõtte juhi poolt. Komplektalajaama elektripaigaldiste perioodiline ülevaatus teostatakse juhtkonna poolt kinnitatud graafikute järgi. Ülevaatus ajaks peavad kõik tööd olema peatatud. Elektripaigaldiste ülevaatus jooksul on keelatud läheneda pingestatud osadele lähemale kui:

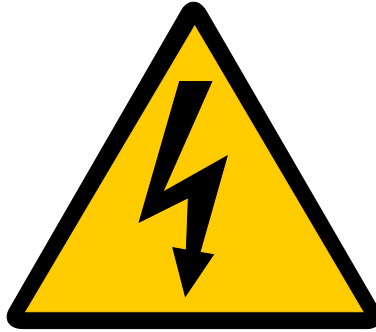
- pingel kuni 1000 V – normeerimata (puudutuseta),
- pingel 6 ... 10 kV – 0,6 m.

Kõrgepingepaigaldise ülevaatus jooksul on keelatud avada ruumide uksi, mis ei ole varustatud barjääridega või võrkkaitsega. Kui ruumid on varustatud eelnimetatud kaitsega, siis on keelatud minna nende taha. Madalpingelise elektripaigaldise ülevaatus jooksul on lubatud avada kilpide, juhtimispuultide ja muude seadmete uksi.

Komplektalajaama ehitusliku osa ülevaatusel peab olema kontrollitud:

- Komplektalajaama ümbritseva territooriumi seisund: autotranspordi juurdesõidutee on vaba, prügi ja muude esemete puudus, talvisel ajal lume puudumine, komplektalajaama ümber on tagatud vihma äravool.
- Seinade krohvi korralikkus, vee läbijooksu puudumine, avade puudumine põrandas ja seintes, jaotusseadmete ja traforuumide uste seisukord, vajadusel nende värvimine. Ruumide põrand peab olema tasane, puuduma astangud ja läved ning tsemendi tolm.
- Hoone maandusjuhtide sisseviigud seinte kaudu peavad olema teostatud torudes. Kõik maandusjuhtide sisenemiskohad peavad olema varustatud vastavate tingmärkidega.
- Komplektalajaama ukсед peavad olema valmistatud mittesüttivast materjalist ja avanema väljapoole. Tavaolukorras peavad ukсед olema lukustatud. Välisuste peal peavad olema sildid „ELEKTRIOHT“, komplektalajaama number, ettevõtte nimetus ja aadress, ja elektriõhu märk (joonis 9.2.).
- Trafokambri ukse avamisel peab sissepääsu juures olema barjäär sildiga „ELEKTRIOHT“. Barjäärid paigutatakse 1,2 m kõrgusele.
- Transformaatori klemmide lähedal seinal peab olema pealdis trafo pinge väärtusega vastavalt 10 kV või 0,4 kV.
- Üleliigse esemete puudumine.
- Tulekustutusvahendite olemasolu.
- Kaablite sisendid peavad olema korras.
- Ukсед on lukustatud.





Joonis 9.1. Elektriõhu märk.

Komplektalajaama elektrilise osa ülevaatusel peab olema kontrollitud:

- tugiisolaatorite seisund – tolmu ja pragude puudumine,
- valgustus peab olema korras. Peab olema tagatud tema ohutu hooldus (lampide vahetus jne.),
- kõrvalise müra puudumine töötavas trafos, sädelahenduse, praksumise ja reostuse puudumine trafo klemmidel,
- trafoõli lekkimise ja nõrgumise puudumine tihendi kaudu, õli puudumine trafo all, trafo paagi ja katte maanduse olemasolu,
- trafo ühendused lattidega, ja termoidnakaatorid on korras,
- trafo värvimise kvaliteet, iga kambri peal ja jaotusseadisel pealdise olemasolu, aparaatide peal peab olema pealdis tema nimetusega,
- maanduse olemasolu,
- kaitse- ja lülitusaparaatidel peavad olema seadmed lülitushoobade lukustamiseks väljalülitatud asendis, kaitselülitid peavad olema korras, puudub kuumenemine ühenduskontaktidel,
- 10 kV jaotusseadme ukсед on võimalik sulgeda tavaliste või isesulguvate lukkude abil. 10 kV jaotusseadme võtmed ei tohi sobida 0,4 kV jaotusseadme omadega.
- Madalpingekilbid peavad olema tähistatud. Pealdised paigaldatakse kaitselülitite juurde ja nad peavad vastama ühenduse nimetusele. Lülitite asendid peavad olema märgitud siltidega “Sisselülitatud”, “Väljalülitatud”,
- Lattide värvide õigsus peab olema kontrollitud,
- Jaotusseadme sees peavad pingestatud osad olema piisavalt kaitstud, et vältida ekskliku puudutust.

### **9.3. Ohutuse põhinõuded lülitustoimingutel alajaamas**

Lülitustoimingud on ette nähtud elektripaigaldise elektrilise seisundi muutmiseks. Lülitustoimingud võib teha kohapeal või kaugjuhtimise teel. Väljalülitamist enne või sisselülitamist pärast pingevaba tööd võivad sooritada elektrialaisikud või ohuteadlikud isikud vastavalt pingevabade tööde korrale. Hädaolukorras peab seadme elektritoite väljalülitamine toimuma rahvuslike või kohalike nõuete kohaselt. Avalikes elektri jaotuspaiagaldistes tohivad hädalülitamisi teha ainult elektrialaisikud või ohuteadlikud isikud. Kui elektripaigaldises pingega üle 1 kV on maaühendus välja lülitamata, tuleb rakendada meetmed maaühenduskoha kindlakstegemiseks ja, vastavalt olukorrale, töötajate elektriohutuse tagamiseks [5].

### **9.4. Ohutusnõuded elektripersonalile alajaama käidul**

Enne käiduga seotud tegevust elektripaigaldistes, selle juures või lähedal tuleb välja selgitada elektrilised riskid. Selle alusel tuleb määrata, kuidas toiming tuleb sooritada ja milliseid ohutusmeetmeid tuleb ohutuse tagamiseks rakendada. Vastutus nii töötoimingutega seotud isikute ohutuse eest kui ka töötoimingu tagajärjel kahjustada saanud või kahjustada võivate isikute eest tuleb määrata rahvusliku seadusandlusega.

Eestis on selline vastutus määratud Eesti Vabariigi tööohutusseadusega, elektriohutusseadusega, kehtivate tööohutuseeskirjadega ja ettevõttesisesel töökorraldusega. Töötajate vähimalt nõutava vanuse ja pädevuskriteeriumid võivad olla sätestatud rahvusliku seadusandlusega. Eestis lubatakse elektritöödele isikuid, kes on vähimalt 18 aastat vanad ja kelle pädevus ja tervislik seisund vastavad tehtavale tööle. Mitteiseseisvale tööle võidakse lubada ka elektriala õpilasi ja praktikante, kes on alla 18 aastat vanad. Töö keerukus tuleb kindlaks teha enne töö alustamist, et valida töö teostamiseks vastavalt vajadusele elektrialaisikuid, ohuteadlikke või tavaisikuid.

Elektriohu vältimiseks tuleb lülitus- ja talitluskontrollitoimingutel kasutada sobivaid tööriistu ja – seadmed selliselt, et inimeste elektrioht oleks välditud. Toimingud peavad olema kooskõlastatud elektripaigaldise eest vastava isikuga või, kui vaja, töötoimingute ajaks elektripaigaldise juhtijaks määratud isikuga. Elektripaigaldise eest vastavat isikut või, kui vaja, töötoimingute ajaks elektripaigaldise juhtijaks määratud isikut tuleb teavitada ka käidutoimingute lõpetamisest [5].

Kannatanu või tunnistaja iga õnnetuse puhul peab teatama viivitamata oma juhendajale. Iga töötaja peab teadma esmaabikomplekti asukoha ja oskama seda kasutada. Defektsete tööriistade ja kaitse ning töövahendite avastamise korral peab teatama viivitamata oma juhendajale. Ei ole lubatud tööd teostada vigastatud seadmete ja tööriistade abil. Et vältida elektritraumat, ei tohi puudutada lahtirebitud või ripnevaid juhtmeid või astuda nende peale.

Komplektalajaama hooldustsoonis võivad tekkida ohtlikud ja/või kahjulikud mõjurid:

- elektrivõrgu kõrgendatud pingeväärtus,
- ebapiisav tööpiirkonna valgustus,
- madal õhutemperatuur.

Et kaitsta ennast ohtlike ja kahjulike tegurite eest, tuleb kasutada vastavad isikukaitsevahendid. Elektrilöögi vastu tuleb kasutada järgmisi kaitsevahendeid:

- pingeindikaatorid,
- isoleer-käepidemetega käsitööriistad,
- dielektrilised kindad, saapad, jalamatid, isoleerkatted ja –alustoed,
- kaasaskantavad maandused,
- kaitseseadmed, dielektrilised katted, plakatid ja ohutusmärgid.

Et kaitsta pead juhusliku löögi eest jaotusseadmetes, tuleb kanda kaitsekiivrit. Puuduliku valgustuse korral tuleb kasutada täiendavat lisavalgustust. Sel juhul peab kasutama tehases valmistatud kaasaskantvat valgustit. Kaasaskantav valgusti peab olema varustatud metallvõrguga, riputuskonksuga ja pistikuga toitejuhe. Madalate temperatuuride korral töötamisel peab kandma sooja kombinesooni.

Töötamisel elektrivälja mõjutsoonis on vaja piirata selles tsoonis viibimise aega, mis sõltub elektrivälja tugevusest või siis kasutada kaitsevahendeid ning kaitseriidetust. Elektrik peab kasutama kaitsevahendeid, mis vastavad tema töö iseloomule. Elektrikule antakse välja järgmised individuaalkaitsevahendid:

- kaitsekiiver,
- puuvillane poolkombinesoon,
- kindad,
- dielektrilised jalatsid,
- dielektrilised kindad.

Alajaama käiduelektrik peab vahetuse vastuvõtmisel:

- korda seadma oma tööriietuse, varrukad kinni nõöpima, on keelatud tööriietuse varrukad üles käärida,
- tutvuma eelmise vahetuse kõikide üleskirjutustega ja korraldustega,
- kätte saada info alajaama elektriseadmete seisundist vahetust üleandva personali poolt, sealhulgas:
  - teated elektriseadmete kohta mis vajavad järele vaatamist,
  - remondis või reservis olevad seadmed,
  - eelmise vahetuse jooksul tehtud skeemide muudatused,
  - instruktaaži skeemide muutmise ja üleskirjutamise kohta žurnalis.
- kontrollima ja vastu võtma kaitsevahendid, aparatuuri, tööriistad, ruumide võtmed, operatiivtöö dokumentatsiooni,
- vahetuse vastuvõtmine vormistada kirjalikult operatiivžurnalis,
- Piirata pingestatud osad, mis paiknevad töökoha lähedal.

Käidutööde teostamisel pingestatud osadel kuni 1000 V on vaja lähtuda standardist „Elektripaigaldiste käit“ ja Eesti Energia poolt koostatud juhendist „Elektripaigaldiste käidu ohutusjuhend“ .

Ohuolukorra tekkimisel (õnnetusjuhtum, tulekahju jne.) viivitamata katkestada kõik tööd ja teavitada ülempersonali.

Tulekahju tekkimisel:

- teavitada tulekahjust kõiki kes töötavad tootmisruumides ja võtta kasutusele abinõusid tule kustutamiseks. Pinge all olevad põletavad elektripaigaldiste osad ja elektrijuhistik on vaja kustutada süsihappe tulekustuti abil,
- kutsuda tulekahjukohale ülempersonal,
- tegutseda vastavalt tulekustutamisele,
- õnnetuse puhul viivitamata vabastada kannatanu trauma faktori mõju alt, osutada esmaabi ja teatada ülempersonalile. Kannatanu vabastamisel elektrivoolu alt peab jälgima, et ise mitte kontakteeruda pingestatud osadega või sattuda sammupinge alla.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Правила устройства электроустановок (Издание 7) [Текст]: ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» - М.: НЦ ЭНАС, 2009. – 640 с.
2. Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. Электроснабжение [Текст]/ Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.: ил.
3. Г.М.Кнорринг, И.М.Фадин, В.Н.Сидоров, Справочная книга для проектирования электрического освещения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Спб.: Энергосамиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1992. 240 с.
4. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения [Текст]/ Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.: ил.
5. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст]/ под ред. Д.Л. Файбисовича – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 349 с.
6. Пашнин, В.М. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности «Электроснабжение промышленных предприятий» [Текст]/ В.М. Пашнин – Хабаровск: ДВГУПС, 1999 – 49 с.
7. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст]/ Б.Ю. Липкин – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 366 с.: ил.
8. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» [Текст]/ НИИСФ - М.: Тяжпромэлектропроект, 1993. – 23 с.
9. Сюсюкин, А.И. Основы электроснабжения предприятий: В 2 ч. Ч1. [Текст]/ А.И. Сюсюкин – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 204 с.
10. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД
11. Endel Risthein, Madalpinge-võrkude juhistiku-süsteemid – Eesti Elektritööde Ettevõtjate Liit, EETEL-EKSPERT 2001, Tallinn, lk. 36, TNC-S-Juhistik.
12. Elektrihoituse seadusandlus ja elektripaigaldiste kädutoimingud. Loengusarja I päev, Lülitustoimingud, . 20.05.2014, Tallinn, Inspecta Koolitused, Telliskivi 59, lk 77.
13. Elektripaigaldustööd, 3 osa, 2009, Lk. 47...65.
14. ABB Аппараты среднего напряжения. Выключатель нагрузки внутренней установки типа NAL. 2012, Lk 36
15. ABB, Technical Catalogue/ 1STC008001D0203 January 2013, Distribution Switchgear, Gemini Switchboards, 2013, 2, Lk. 1...23.
16. AS Siemens kodulehekülг www.siemens.com

17. Rööp, A. Magistriõppe üliõpilaste lõputööde vormistamise juhend. - Tallinn: TTÜ elektriainite ja jõuelektronika instituut, 2012. – 21 lk.
18. EVS- EN 12464-2-2007. Välistöökohad.- Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2008. – 36 lk.
19. EVS- EN 50110-1:2013. Elektripaigaldiste käit.- Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2013. – 44 lk.
20. Elektripaigaldiste käidu ohutusjuhend. - Tallinn: Eesti Energia, 2007. -73 lk.