



TALLINNA TEHNICAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**TALLINNA JAOTUSALAJAAMA NR 5 JA SELLE  
TOITEPIIRKONNA ÜLEVIIMINE 6 KV  
PINGESÜSTEEMILT 10 KV PINGESÜSTEEMILE**

**TRANSFER OF DISTRIBUTION SUBSTATION NO 5 AND  
ITS SUPPLY AREA FROM 6 KV VOLTAGE SYSTEM TO 10  
KV VOLTAGE SYSTEM IN TALLINN**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Railo Aimse

Üliõpilaskood 179502EAAB

Juhendaja: Ülo Treufeldt, vanemlektor

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“19” mai 2020.

Autor: Railo Aimse

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“20” mai 2020.

Juhendaja: Ülo Treufeldt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Railo Aimse (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 21.07.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tallinna jaotusalajaama nr 5 ja selle toitepiirkonna üleviimine 6 kV pingesüsteemilt 10 kV pingesüsteemile,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on Ülo Treufeldt,

*(juhendaja nimi)*

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

\_\_\_\_\_ (*allkiri*)

19.05.2020 (*kuupäev*)

# Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Tallinna jaotusalaajaama nr 5 ja selle toitepiirkonna üleviimine 6 kV pingesüsteemilt 10 kV pingesüsteemile</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Transfer of distribution substation No 5 and its supply area from 6 kV voltage system to 10 kV voltage system in Tallinn</b>
Üliõpilane:	<b>Railo Aimse, 179502EAAB</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Ülo Treufeldt</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>31.12.2020</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>20.05.2020</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

### 1. Teema põhjendus

Vastavalt jaotusvõrgu arengu põhimõtetele ei ole keskpingevõrgus 6 kV eelispinge. Aja jooksul suurenenud tarbimisvõimsuse ja koormuse tõttu on 6 kV võrgu läbilaskevõime ammendunud, mille tõttu on vaja keskpingevõrgu tööpinget suurendada perspektiivselt 20 kV-ni, kuid vaheetapina kasutatakse 10 kV pinget. 20 kV-le ei minda üle kohe, sest see oleks liialt kulukas ning Tallinna koormusi arvestades ei ole 20 kV pinge kasutamine veel vajalik. Samuti on 6 kV võrgus kasutusel palju eluea ületanud õlikaableid. Antud töö raames uuritakse konkreetset 6 kV pingel töötavat jaotusalaajaama ning koostatakse tehniline lahendus selle alajaama üleviimiseks 10 kV tööpingele.

### 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on jaotusalaajaama nr 5 pingeklassi muutmise tehnilise lahenduse koostamine ning projekteerimise lähteülesande mustandi valmistamine.

### **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

- Uurida võimsuskadude vähenemist 10 kV toitepingel;
- Uurida võrgu läbilaskevõime suurenemist 10 kV toitepingel;
- Selgitada välja, milliseid olemasolevaid seadmeid ja kaableid on võimalik kõrgema toitepingega edasi kasutada ning millised tuleb asendada;
- Selgitada välja töö mahud ja investeeringu maksumus;
- Võrrelda võimsuskadusid, läbilaskevõimet ja investeeringu maksumust 10 kV ja 20 kV vahel.

### **4. Lähteandmed**

Töö käigus uuritakse vastavasisulisi väljaandeid, Elektrilevi OÜ juhendeid ning seadmete ja kaablite tootelehti ja katalooge. Arvutused teostatakse käsitsi ja Elektrilevi OÜ võrgu haldamise tarkvaraga Trimble NIS.

### **5. Uurimismeetodid**

Planeeritakse analüüsida olemasoleva võrgu seisukorda ning kasutusel olevaid seadmeid ja kaableid. Selleks kasutatakse Elektrilevi OÜ infohaldussüsteemi ja alajaamades kogutud vaatlusandmeid. Uute seadmete ja kaablite valikul lähtutakse kogutud andmetest, arvutustest ning võrgu koormusest. Andmete analüüsiks kasutatakse muuhulgas ka Exceli graafikuid ja raampartneri hinnakirja.

### **6. Graafiline osa**

Graafiline osa on tööpõhiosas välja toodud tekstijoonistena, lisades kajastatakse alajaamade jooniseid, skeeme, võrgu asendiplaane ning teisi suuremõõtmelisi skeeme või jooniseid.

### **7. Töö struktuur**

- Eessõna
- Sissejuhatus
- Lühiülevaade Tallinna elektrivõrgu ajaloost
- Keskpingevõrkude konfiguratsioon ja ehitus
- Tallinna keskpingevõrgus kasutatavad kaablid ja nõuded
- Tallinna keskpingevõrgus kasutatavad seadmed ja nõuded
- Olemasoleva keskpingevõrgu analüüs
- Võrgu arvutused
- Järeldused
- Tehnilise lahenduse ja lähteülesande koostamine

- Kokkuvõte
- Kasutatud kirjandus
- Lisad

## 8. Kasutatud kirjanduse allikad

Töös planeeritakse allikatena kasutada erinevaid raamatuid, varasemaid lõputöid, Elektrilevi OÜ juhendeid ning toodete ja seadmete katalooge.

- [1] M. Meldorf, H. Tammoja, Ü. Treufeldt ja J. Kilter, Jaotusvõrgud, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2007.
- [2] Ü. Treufeldt, Lühised, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2002.
- [3] K. Hein, Viiskümmend aastat Eesti energiasüsteemi, Tallinn: Valgus, 1991.
- [4] Tekla Corporation, „Xpower PSA Teooria juhend: Xpower 6.11 Elektrisüsteemi analüüs,“ 2001. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 23.02.2020].

## 9. Lõputöö konsultandid

Puuduvad

## 10. Töö etapid ja ajakava

- Andmete kogumine ja kirjanduse läbitöötamine: 01.02.2020 – 20.03.2020
- Alajaamade külastused: 02.03.2020 – 20.03.2020
- Teoreetilise osa kirjutamine: 09.03.2020 – 13.04.2020
- Arvutuste teostamine: 19.03.2020 – 03.04.2020
- Järelduste kirjutamine ning tehnilise lahenduse koostamine: 03.04.2020 – 10.04.2020
- Kokkuvõtte kirjutamine ja lõplik vormistamine: 13.04.2020 – 17.04.2020
- Töö esimene versioon valmis: 20.04.2020
- Juhendajale läbilugemiseks saatmine: 20.04.2020
- Paranduste sisseviimine: 27.04.2020 – 03.05.2020
- Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine: 04.05.2020
- Töö lõplik versioon valmis: 14.05.2020

# SISUKORD

EESSÕNA .....	9
Lühendite ja tähiste loetelu .....	10
SISSEJUHATUS .....	11
1 KESKPINGEVÕRGUD.....	13
1.1 Keskpingevõrkude liigitus ja konfiguratsioon .....	13
1.2 Kaablid ja muhvid keskpingevõrgus .....	14
1.3 Trafod.....	15
2 ÜLEVAADE TALLINNA ELEKTRIVÕRKUDE AJALOOST .....	17
3 ELEKTRILEVI OÜ PÕHIMÕTTED JA NÕUDED VÕRGU ARENDAMISES.....	18
3.1 Võrgu planeerimise põhimõtted .....	18
3.2 Nõuded keskpingevõrgus kasutatavatele kaablitele .....	19
3.3 Nõuded keskpinge jaotusseadmetele .....	20
4 JAOTUSALAJAAMA NR 5 JA SELLE TOITEPIIRKONNA HETKE SEISUKORRA ANALÜÜS.....	21
4.1 Jaotusalajaama nr 5 kirjeldus .....	22
4.2 Jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonna kirjeldus .....	23
4.3 Jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonna parameetrite arvutamine .....	30
5 JAOTUSALAJAAMA NR 5 JA SELLE TOITEL OLEVATE ALAJAAMADE PINGESÜSTEEMI MUUTMINE .....	41
5.1 Pingesüsteemi muutmise tehnilise lahenduse koostamine .....	41
5.1.1 Alajaamade 310, 405 ja 184 pingesüsteemi muutmine .....	42
5.1.2 Alajaama nr 5 ja selle toitel olevate alajaamade pingeklassi muutmine .....	43
5.2 6 kV võrgu säilitamiseks vajalikud tööd .....	46
5.3 Pingeklassi muutmise tehnilise lahendusega kaasnevate tööde mahud ja investeeringu maksumus.....	48
5.4 Võrgu parameetrite arvutamine 10 kV pingesüsteemiga võrgus.....	53
6 10 KV PINGESÜSTEEMI TEHNILISE LAHENDUSE MAKSUMUSE JA PARAMEETRITE VÕRDLUS 20 KV PINGESÜSTEEMIGA.....	60
6.1 Võrgu parameetrite arvutused 20 kV pingesüsteemil.....	60
6.2 Pingeklassi 20 kV üleviimise tehnilise lahendusega kaasnevate tööde mahud ja investeeringu maksumus .....	64
KOKKUVÕTE .....	68
SUMMARY.....	71
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	74
Lisa 1 JAJ 5 kiirteskeem .....	77
Lisa 2 JAJ 5 KP skeemid .....	78

Lisa 3 AJ 310 KP skeemid .....	79
Lisa 4 AJ 405 KP skeemid .....	80
Lisa 5 AJ 184 KP skeemid .....	81
Lisa 6 AJ 1572 KP skeemid .....	82
Lisa 7 AJ 1141 KP skeemid .....	83
Lisa 8 AJ 423 KP skeemid .....	84
Lisa 9 AJ 205 KP skeemid .....	85
Lisa 10 AJ 137 KP skeemid .....	86
Lisa 11 AJ 4524 KP skeemid.....	87
Lisa 12 AJ 1480 KP skeemid.....	88
Lisa 13 AJ 97 KP skeemid .....	89
Lisa 14 kaabli AHXAMK-W heakskiidutunnistus .....	90
Lisa 15 kaabli AHXAMK-W 12/20 kV andmeleht .....	91
Lisa 16 PAJ Tõnismäe ja Elektriijaama 10 kV kiirteskeem enne uue võrgu lisandumist	93
Lisa 17 10 kV pingesüsteemile üle viidud alajaamade kiirteskeem.....	94



## EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema osutus valituks seoses töötamisega Elektrilevi OÜ võrgu planeerimise üksuses madalpinge võrgu planeerijana. Olen oma töös igapäevaselt kokku puutunud madalpingel uute tarbimise liitumiste, elektritootjate liitumiste, võrgu ümberehituse ning investeringuobjektide lahenduste koostamisega. Huvist ja soovist hakata tegelema ka keskpinge töödega ning seeläbi ametialaselt areneda, pakuti mulle Tallinna üldplaneerija poolt võimalus lahendada ühe Tallinna jaotusalajaama pingesüsteemi muutmise töö, milles nägin ka võimalust lõputöö koostada.

Käesoleva töö jaoks on kasutatud vastavasisulisi raamatuid Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogust, Elektrilevi OÜ normdokumente ning erinevaid bakalaureuse- ja magistritöid. Kõik vajalikud andmed olemasolevast võrgust ja võrgu arvutustulemused on kogutud Elektrilevi võrguhaldussüsteemist Trimble NIS.

Soovin tänada oma lõputöö juhendajat, Ülo Treufeldti, ning Elektrilevi Tallinna üldplaneerijat, Jüri Pakostat.

keskpinge, pingeklass, alajaam, bakalaureusetöö

## Lühendite ja tähiste loetelu

2|| - kaks paralleelühenduses kaablit

AJ - alajaam

ELV - Elektrilevi OÜ

IIs - teine sektsioon

JAJ - jaotusalajaam

KOL - koormuslüliti

KP - keskpinge

mil - miljon

ML - maanduslüliti

MP - madalpinge

PAJ - piirkonnaalajaam

PEX - ristseotud polüeteen

T1 - esimene trafo

VL - võimsuslüliti

## SISSEJUHATUS

Eestis Elektrilevi poolt hallatavas jaotusvõrgus hoitakse töös mitme erineva pingeklassiga keskpingevõrke. Levinud on võrgud pingeklassiga 10 kV ja 20 kV, kuid leidub ka veel 6 kV ja 15 kV nimipingetega keskpingevõrkusid. 6 kV ja 15 kV loetakse taandarenevateks pingeteks. Elektrilevi on seadnud eesmärgiks erinevate pingeklasside vähendamiseks võtta kasutusele ainult kaks pingeaset – 10 kV ja 20 kV, ning perspektiivselt jätta kasutusele ainult 20 kV pingega keskpingevõrk.

20 kV nimipingega võrgud on levinud pigem hajaasustustega piirkondades, 6 kV pingesüsteemil töötab arvestatav osa Tallinna keskpingevõrgust. Linnades planeeritakse vaheetapina kasutada 10 kV pingeklassi. Kuna 6 kV keskpingevõrku hakati Tallinnas arendama 1950-ndatel aastatel ning esimesed 6 kV nimipingega kaablid paigaldati juba 1930-ndatel, on suur osa praegu antud nimipingel töös olevatest maakaablitest ja seadmetest amortiseerunud ja eluea ületanud. Madala pingega ja vananenud võrgus on suured võimsuskadod, mis moodustavad ka ühe osa võrgutasudest. Võrgutasu on elektrienergia tarbija suurim valukoht, sest reeglina on see kallim elektrienergiast. Võimsuskadude vähenemine võrgus võib kaasa aidata võrgutasu vähenemisele. Lisaks võimsuskadude vähenemisele on võimalik võrgu tööpinge tõstmisega suurendada elektrienergia müüki, vähendada amortiseerunud võrgu avariisust ja rikete arvu ning remondi- ja hoolduskulusid.

Käesoleva bakalaureusetöö põhiline eesmärk on koostada konkreetsele Tallinna jaotusalajaama toitepiirkonnale 6 kV pingesüsteemilt 10 kV pingesüsteemile üleviimise tehniline lahendus ning selle käigus leida võimalikke põhjusi, miks olemasoleva võrgu töös hoidmine ei ole enam mõistlik ning milliseid eeliseid pakuks kõrgemale tööpingele üleminek. Lisaks selgitatakse välja, kas linnavõrkudes oleks mõttekas 6 kV pingega võrgud üle viia kohe 20 kV pingesüsteemile.

Lõputöö esimeses peatükis antakse ülevaade keskpingevõrkudest ja selles kasutatavatest kaablitest ja seadmetest. Teises peatükis kirjeldatakse lühidalt Tallinna elektrivõrkude arengu ajalugu. Kolmandas peatükis tutvustatakse Elektrilevi võrgu arendamise üldiseid nõudeid ja põhimõtteid.

Neljandas peatükis antakse ülevaade vaadeldava võrgu seisukorrast ja jaotusalajaama toitepiirkonnast. Analüüsitakse kaablite vanust, ristlõikeid ja läbilaskevõimet 6 kV tööpingel. Lisaks leitakse arvutustega olemasolevas võrgus maksimaalne kasutatud

aktiivvõimsus, koormusvoolud, võimsuskaod, pingekaod sõlmedes, võimsuskaost tulenev aktiivenergiakadu aastas ning selle maksumus.

Viiendas peatükis on autor koostanud lahenduse vaadeldava võrgu üleviimiseks 10 kV pingesüsteemile ja leiab kaablite läbilaskevõime suurenemise pingemuutuse korral. Läbilaskevõime suurenemise võrra suureneb ka elektrienergia müügi võimalus. Samuti teostatakse uued arvutused ning võrreldakse erinevaid parameetreid olukorraga, kus võrk oli 6 kV pingesüsteemil. Peatükis selgitatakse lahti ka 6 kV võrgu säilitamiseks vajalikud tööd ning tuuakse välja kogu investeeringu tööde mahud ja ligikaudne maksumus.

Kuuendas peatükis selgitatakse välja, miks linnades 6 kV pingesüsteemilt ei minda üle kohe 20 kV pingesüsteemile ning selle näitlikustamiseks viiakse teoreetiliselt viiendas peatükis koostatud 10 kV uue võrgu lahenduse baasil see võrk üle 20 kV pingele. Seejärel leitakse, kui palju suureneb kaabli läbilaskevõime pinge tõstmisel ning antakse ligikaudne hinnang tööde mahtudele ja maksumusele ning võrreldakse erinevaid võrgu parameetreid eelmise peatüki 10 kV nimipingega võrgu parameetritega.

# 1 KESKPINGEVÕRGUD

Keskpingevõrkude ülesanne on elektrienergia ülekandmine piirkonnaalajaamast jaotusalajaamadesse, kus toimub pinge transformeerimine ja elektri edasine jaotamine. Umbes 50% elektrienergia maksumusest on seotud elektri jaotamisega, mille tõttu tuleb jaotusvõrkudele pöörata suurt tähelepanu. [1] Eesti suurim jaotusvõrgu ettevõtte on Elektrilevi OÜ.

## 1.1 Keskpingevõrkude liigitus ja konfiguratsioon

Jaotusvõrke liigitatakse tarbijate iseloomu järgi tööstusvõrkudeks, linnavõrkudeks ja maavõrkudeks. Edaspidises tekstis keskendutakse töö teema tõttu peamiselt linnavõrkudele. Linnavõrke iseloomustavad konfiguratsiooni keerukus, tarbijate rohkus ning maakaabelliinid. [1]

Keskpingevõrgu ehitus sõltub ka nimipingest. Soome kogemustel on parimaks lahenduseks ainult üks pingeklass – 20 kV. Eestis on keskpingevõrkudes kasutusel pinged 6 kV, 10 kV, 15 kV ja 20 kV. Pingetel 6 ja 10 kV toimub jaotamine peamiselt linnades ning pingetel 15 kV ja 20 kV maapiirkondades. Eestis on võetud suund pingeastmete vähendamisele. Perspektiivseteks pingeastmeteks linnavõrkudes on 10 kV (tulevikus 20 kV) ning hajaasustusega piirkondades 20 kV. [1]

Tarbijate elektrivarustuskindlus on otseselt seotud elektrivõrgu konfiguratsiooniga, mistõttu viimase sobiv valik omab suurt tähtsust jaotusvõrgu ettevõttele ja kliendile. Keskpingevõrke liigitatakse konfiguratsiooni järgi: [1]

- Radiaalvõrk;
- Suletuna rajatud radiaalselt talitlev võrk;
- Ringvõrk;
- Topeltfiidritega võrk.

Lihtsaimaks jaotusvõrgu konfiguratsiooniks on radiaalvõrk, mille puhul alajaama ja piirkonnaalajaama vahel eksisteerib ainult üks vooluteekond, mille riknemisel elektrivarustus katkeb, ehk radiaalvõrk tagab ühepoolse toite. Suletuna rajatud radiaalselt talitlevas võrgus on töökindluse tõstmiseks ehitatud tüviliinid kahepoolse toitega, kuid käitatakse neid radiaalfiidritena, lahutades tüviliinid lahuspunktides. Ringvõrgu puhul varustatakse tarbijaid reeglina sama piirkonnaalajaama erinevatelt

seksioonidelt. Ringvõrgu lülititest on kõik peale ühe suletud, avatud lüliti määrab ära normaallahutuskoha. Ringliinilt võivad hargneda ka haruliinid. Tiheda ja ülitiheda varustuskindlusepiirkonna maakaabelvõrgu väga töökindlaks lahenduseks on toide topeltfiidrite kaudu. Selle puhul on liitumispunkti lülititest üks alati suletud ning teine avatud. Väga suure elektrivarustuskindluse tagab kahe kiirega skeem, mille puhul on paralleelfiidrid omavahel ühendatavad. [2]

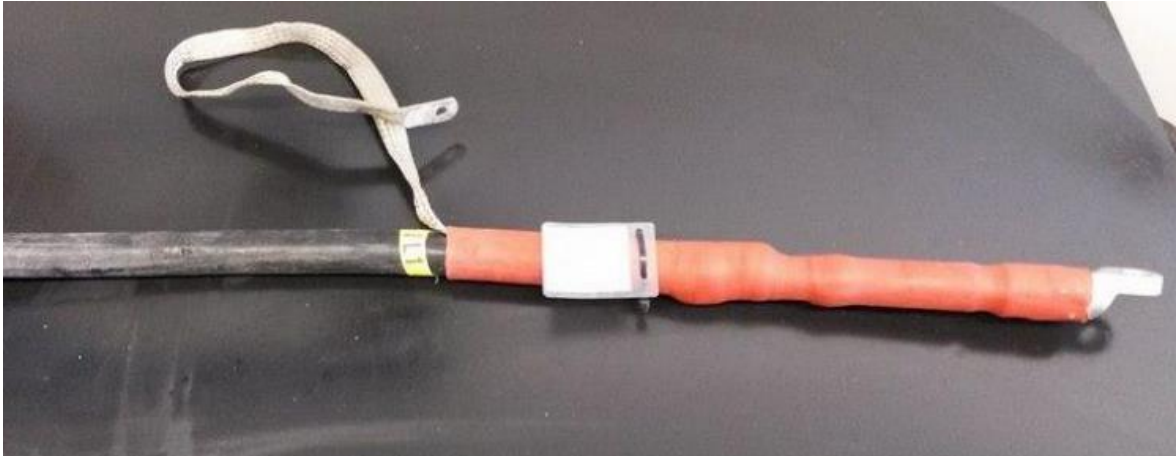
## 1.2 Kaablid ja muhvid keskpinge võrgus

Maakaabelliinide töökindlustase on õhuliinide omast tunduvalt suurem. Nad nõuavad vähem ruumi, on välismõjude eest paremini kaitstud ja ohutumad. Kaabelliine rajatakse põhiliselt linnades ja muudes tiheda asustusega piirkondades. Polümeerisolatsiooniga kaablite kõrval on endiselt kasutusel ka eelmisel sajandil paigaldatud paber-õliisolatsiooniga kaablid, mille kaablihood on isoleeritud viskoosse õliga immutatud paberiga. Nende puuduseks on suurem kaal, õlilekke võimalus, hooldevajadus ja muhvide väiksem töökindlus. [1] Nende kaablite massiline paigaldamine lõpetati umbes 20 aastat tagasi, kui hakati kasutama plastisolatsiooniga kaableid [4].



Joonis 1.1 Vasksoonega paber-õliisolatsiooniga kaabel SB-6 [24]

Kasutusel on ka kaablimuhvid, millega on võimalik omavahel ühendada paber- ja polümeerkaableid [1]. Kaablite jätkamiseks on kasutusel jätkumuhvid. Otsamuhve on vaja paigaldada uute alajaamade ehitamisel või kaablite vahetamisel alajaamas. Plastisolatsiooniga kaabli otsamuhvi monteerides tuleb teada, kuhu muhv monteeritakse (kas sise- või välistingimustesse). Siirdemuhve ehk üleminekumuhve paigaldatakse paber-õlikaablite üleminekul plastisolatsiooniga kaablile. Harumuhvi ehk kolmikmuhvi tegemine on keelatud. [4]



Joonis 1.2 Otsamuhv kaabli AHXAMK-W ühel soonel [4]

### 1.3 Trafod

Trafod on alajaama tähtsaimad seadmed. Trafode arv alajaamas sõltub varustuskindluse piirkonnast, kus alajaam asub ning võrguettevõtja nõuetest. Keskpinge võrkude trafode nimivõimsuste jada on 50, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1600 ja 2500 kVA. Trafod on enamasti viieastmelised reguleerimisdiapasoniga  $\pm 2 \times 2,5\%$ . Piirkonnaalajaamade trafodel võib reguleerimisastmeid olla rohkem. [1]

Keskpinge võrkudesse ülesseatavate uute trafode nimi- ja nimitalitluspinged on: [1]

- 6 – 6,3  $\pm 2 \times 2,5\%$  / 0,41 kV
- 10 – 10,5  $\pm 2 \times 2,5\%$  / 0,41 kV
- 15 – 15,75  $\pm 2 \times 2,5\%$  / 0,41 kV
- 20 – 21,00  $\pm 2 \times 2,5\%$  / 0,41 kV

6 kV ja 15 kV nimipingega võrke edasi ei arendata, kuid uue alajaama paigaldamise vajadusel sellise tööpingega võrku või koormuse suurenemise tõttu tingitud trafo vahetamisel paigaldatakse ka taandarenevaks peetavates pingeklassiga võrkudes uusi trafosid. Paigaldatakse ka kahe ülempingemahisega trafosid nimitalitluspingetega 6,3 ja 10,5 kV ning 10,5 ja 21,0 kV. Eesmärgiks on kiirendada elektrivõrgu rekonstrueerimist tulevikus, kui toimub üleminek 6 kV pingesüsteemilt 10 kV pingesüsteemile või 10 kV-lt 20kV-le. Jaotusvõrgus kasutatakse nii õliisolatsiooniga kui ka kuivisolatsiooniga trafosid. Kuivtrafod on õlitrafodega võrreldes 10-15% kallimad ja leiavad eelkõige kasutamist tuleohtlikes kohtades. Jaotusvõrgu käidu seisukohalt on oluline trafo lülitusgrupi valik. Keskpinge võrkude trafodes kasutatakse kolme erinevat lülitusgruppi: kuni 100 kVA trafode korral Yzn lülitusgruppi, 160-2500 kVA trafode

korral Dyn lülitusgruppi. Varasemalt on ka kasutusel olnud Yzn lülitusgrupp. Yzn lülitusgrupi eeliseks on, et asümmeetrilisel koormamisel ei teki trafo madalpingepolel olulisi faasipingete erinevusi. Dyn lülitusgrupi kasutamisega takistatakse kõrgemate harmoonikute levikut elektrivõrgus ning tagatakse, et trafo faaside koormus primaarpolel on sekundaarkoormuste ebavõrdsuse korral ühtlasem. Yzn lülitusgrupiga trafode asümmeetrilisel koormamisel tekivad madalpingepolel suured faasipingete erinevused ning täiendavad võimsuskao. [1]



## 2 ÜLEVAADE TALLINNA ELEKTRIVÕRKUDE AJALOOST

Kuni 1950. aasta lõpuni korraldasid elektrijaamade ja elektrivõrkude eksploatatsiooni energiarajoonid (Ellamaa, Virumaa, Ulila ja Tallinn), siis aga, seoses töömahu suurenemisega elektrivõrkudes, eraldati elektrivõrgud elektrijaamadest ning 1. jaanuaril 1951. aastal moodustati kolm võrguettevõtet: [5]

1. Põhja Kõrgepingevõrgud,
2. Lõuna Kõrgepingevõrgud,
3. Tallinna Linnavõrgud.

Esimesed ulatuslikud elektrivõrgu ehitustööd algasid 1912. aasta maikuu. Esialgse projekti järgi ehitati 26 alajaama 3 kV keskpinge-kaablivõrguga. Elektrivõrk ehitati välja kesklinna, venitatuna tähtsamate magistraaltänavate suunas. [5]

Alates 1928. aastast hakati ehitama 6 kV nimipingega keskpingekaableid, pidades silmas hilisemat võrgu üleminekut sellele pingele. Samal põhjusel telliti „Volta“ tehast 1930. aastatel kahe ülepingemähisega trafosid, mida oli võimalik kasutada nii 3 kV kui ka 6 kV pingega. Esimene 6 kV alampingega piirkonnaalajaam valmis 1951. aastal. Tegemist on Järve 110/35/6 alajaamaga, mida toideti Ahtmest 110 kV liini kaudu. 1953. aastal valminud Ülemiste 35/6 alajaam lõi eeldused Tallinna elektrivõrgu rekonstrueerimiseks. 1953. aastal alustati võrgu üleviimist 6 kV pingele – tuli asendada 28 väikesegabariidilist raudkioski, 30 alajaamas vahetada välja keskpingeseadmed, asendada vanu 3 kV kaableid uute 6 kV kaablitega ning ehitada uusi 6 kV kaabelliine. Alles 1962. aastaks likvideeriti täielikult Tallinna keskpingevõrgus 3 kV pingesüsteem. [5]

Ajavahemikus 1974-1977 ehitati välja Väike-Õismäe elamurajooni 10/0,4 kV elektrivõrk toitega Veskimetsa alajaamast. Esimest korda võeti kasutusele 10 kV pingesüsteem. Tallinna kesklinna elektrivarustuse parandamiseks ning elektrijaama koormuse vähendamiseks ehitati ja anti 1980. aastal kasutusse ühe 25 MVA trafoga piirkonnaalajaam Ranna 110/6. Alajaama toiteks ehitati 110 kV õhuliin Lasnamäe piirkonnaalajaamast. 1989. aasta alguses oli Tallinna Elektrivõrgu teenindada 110/10...6 kV alajaamu 3 tk, 35/6 kV alajaamu 9 tk, 6...10/0,4 kV alajaamu 1213 tk. Liinide kogupikkus oli 2408 km. [5]

### **3 ELEKTRILEVI OÜ PÕHIMÕTTED JA NÕUDED VÕRGU ARENDAMISES**

Jaotusvõrgu ettevõttes Elektrilevi on kasutusel erinevad normdokumendid, juhendid ja nõuded tehniliste lahenduste koostamiseks, tehnilise arengu suunamisel ning need on aluseks elektrivõrgu toimimiseks vajalike lahenduste väljatöötamisel.

#### **3.1 Võrgu planeerimise põhimõtted**

Võrgu planeerimine on kuni 15 aastasesse tulevikku suunatud Elektrilevi varahalduse eesmärkide, arendus- ja liitumiskohustuste täitmist tagavate võrgu tehnilismajandusliku lahenduse koostamine. [6]

Plaanide realiseerimisel lähtutakse võrguvara strateegilisest varahaldusplaanist, mille kohaselt korrastatakse võrgu optimaalseks ja läbipaistvaks arendamiseks nimipingete süsteemi. Korrastuse eesmärk on vähendada elektrivõrgu nomenklatuuri seniselt neljalt keskpingeastmelt kahele keskpingeastmele ehk 10 kV ja 20 kV, kusjuures nimipinge 10 kV kasutatakse eelkõige tiheasustuses. Nimipinged 6 kV ja 15 kV on loetud taandarenevaks ja viiakse üle kõrgemale pingestmele. [27]

Jaotusvõrk on liigitatud lähtudes asustustihedusest varustuskindlusepiirkondadeks: [7]

- Ülitihedus – asub kolme suurima tõmbekeskuse ehk Tallinna, Tartu ja Pärnu linnakeskuses, iseloomulikud on kõrghooned, äri ja avalike teenuste osutamine;
- Tihe – suuremate tõmbekeskuste kesklinnades, linnaosades ja äärelinnade keskustes, üle 4000 elanikuga linnade keskustes, tehnoпаркides, liftidega korterelamute linnaosades;
- Kesktihe – üle 4000 elanikuga linna äärelinnades, endistes agraarkeskustes, alevikes, alevites, aiandusühistutes, alla 4000 elanikuga linnades;
- Haja – asub hajaasustustes ja külades, iseloomulikud on talud, eramud väikeste gruppidega ja kodutarbimine.

Kuna lõputöös keskendutakse Tallinna kesklinnas asuvale keskpingevõrgu seisukorrale, kirjeldatakse allpool ainult tihedas ja ülitihedas piirkonnas kehtestatud nõudeid.

Tihedas varustuskindlusepiirkonnas peab võrgu skeem olema ringtoiteskeem sama või erinevate piirkonnaalajaama sektsioonidelt, haruliinid ei ole lubatud. Ülitihedas kahe

kiire skeem, kiired ringtoitel sama või erinevate piirkonnaalajaamade sektsioonidelt, samuti ei ole lubatud haruliinid. Tihedas piirkonnas paiknevad alajaamad valdavalt eraldi hoonetes, ülitihedas eelistatavalt hoonetes sees või maa all. Tihedas piirkonnas asuvates alajaamades sõltub kaugjuhtimise võimaluse olemasolu väljalülitatavast ja rikkelisest võrguosa suuruselt, ülitihedas on kõik alajaamad kaugjuhitavad ja varustatud automaatikaga. Tihedas piirkonnas paiknevad kaablid üldjuhul torustikes, harvem kaevudega torustikes, ülitihedas peavad kaablid asuma kaevudega kanalisatsioonis. [6]

Uue võrgu planeerimisel eelistatakse kahepingeliste ülempinge mähistega jaotustrafode kasutamist, et vähendada erinevate ülempingetega trafode nomenklatuuride arvu ja edendada pingeklasside korrastamise võimaldamist. Jaotusvõrgus kasutatakse järgmisi kahepingeliste ülempinge mähistega trafosid: [6]

- 10,5(6,3)/0,41 kV võimsustel 160 kuni 2500 kVA;
- 21(10,5)/0,41 kV võimsustel 250, 400, 630, 800, 1250, 1600, 2500 kVA.

## **3.2 Nõuded keskpingevõrgus kasutatavatele kaablitele**

Plastisolatsiooniga keskpingekaablite projekteerimisel, valikul ja paigaldamisel tuleb lähtuda järgmistest nõuetest: [3]

- Paigaldatavate kaablite vanus võib kaabli paigaldamise hetkel olla maksimaalselt kaks aastat (kaasa arvatud);
- Kaabli suurim lubatav kestevpinge peab olema 24 kV;
- Kaabli nimipinge peab olema 20 kV;
- Kaabel peab vastama standardile EVS-HD 620 S2:2010;
- Faasijuhi materjaliks on alumiinium ning juhid peavad olema ümarad, mitmekiulised ja tihendatud;
- Isolatsiooni materjaliks on XLPE ja väliskesta materjaliks LLDPE või HDPE;
- Nõutud on UV-kiirguse kindel väliskest, veekindlus pikisuunas kaablisooone sees (ühises kestas kaabli korral ka soonte vahel) ja veekindlus ristisuunas;
- Faasijuhi maksimaalne lubatud temperatuur kestevkasutusel on 90 °C, lühisel kestusega 5 s 250 °C
- Kaabli kestal peab olema markeering kaabli tüübi ja tootja kohta, faasijuhtide ristlõike suurus, pinge suurus, valmistamisaasta ja meetrimärk;
- Ristlõigetel 25 ja 50 mm<sup>2</sup> kasutatakse ühises kestas 3-soonelist kaablit (AXAL-TT Pro, AXLJ-TT);

- Ristlõigetel 120, 240 ja 300 mm<sup>2</sup> kasutatakse 3-soonelist keerutatud kaablit, kus iga soon on oma kestaga (AHXAMK-W).

Kaabli AHXAMK-W andmeleht on näidatud lisas 15.

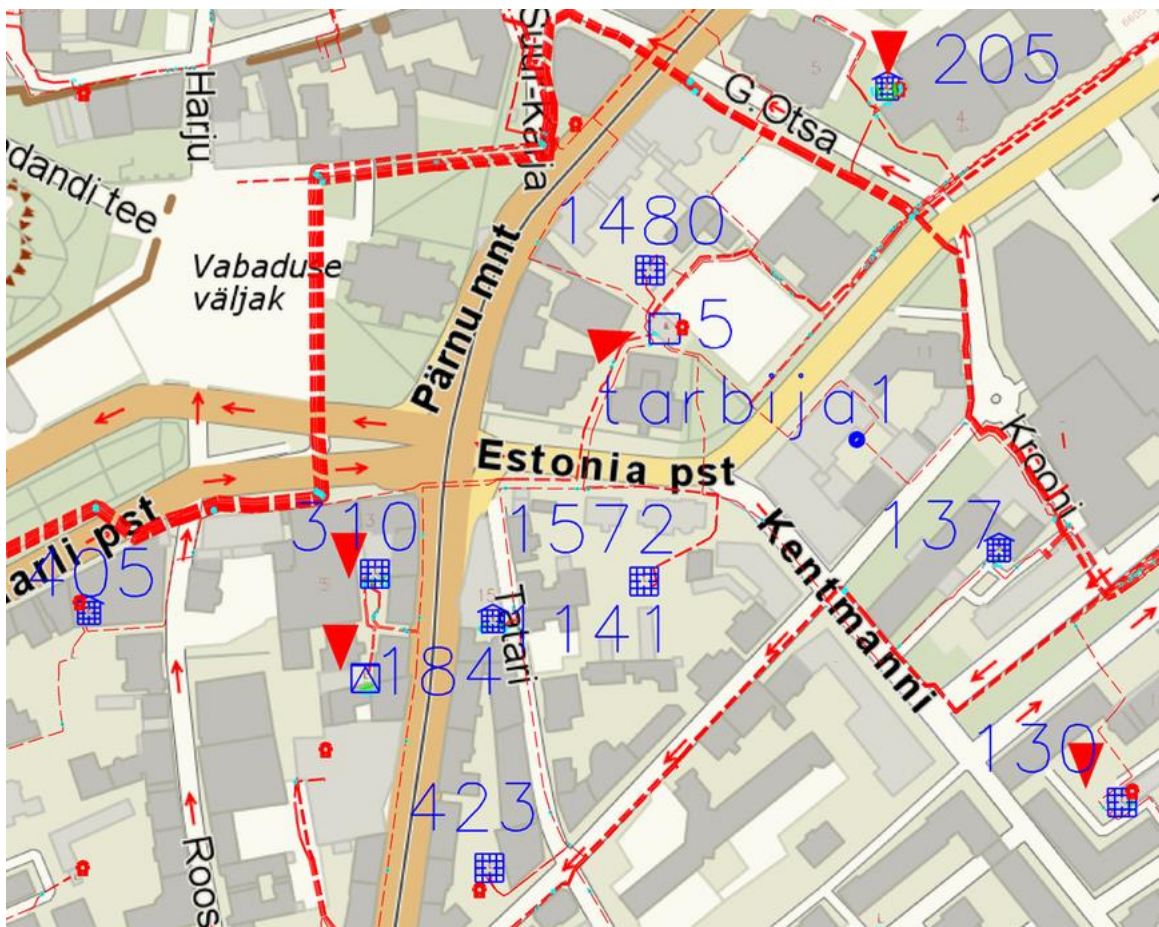
### 3.3 Nõuded keskpinge jaotusseadmetele

KP/MP alajaamade keskpinge jaotusseadmetele kehtestatud nõuete eesmärk on tagada Elektrilevi võrguga funktsionaalselt sobivate ja ühilduvate, pika kasutuseaga, töökindlate, optimaalsete omaduste ja hooldusvajadusega ning keskkonnasõbralike seadmete hankimine. Üldised nõuded kõigile jaotusseadmetele: [12]

- Ühefaasilise maalühise pikim kestus on 8 tundi;
- Nimipinge peab olema 24 kV ja nimisagedus 50 Hz;
- Sularite, pingeindikaatorite, liigpingepiirikute, (mõõte)trafode tööpinge peab vastavalt võrgu tööpingele olema 6,3 kV, 10,5 kV, 15,75 kV või 21 kV;
- Normitud välguimpulsstaluvuspinge on vähemalt 125 kV;
- Dünaamilise nimitalitlusvoolu suurus peab olema 2,5 kordne koormusvoolu suurus, kuid mitte vähem kui 40 kA;
- Sularite tüüp peab vastama standardile EVS-EN 60282-1:2006, sularite lubatud pikkus on 442 mm, pikendamiseks mõeldud adapterite kasutamine ei ole lubatud;
- Nõutud on ka lülitite asendinäitajad, kõikide lülitite lukustamise võimalus ning eestikeelne lülitamiste juhend.

## 4 JAOTUSALAJAAMA NR 5 JA SELLE TOITEPIIRKONNA HETKE SEISUKORRA ANALÜÜS

Käesolevas lõputöös vaadeldakse Tallinna jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonda, mis asub Kesklinna linnaosas ja piirneb Kaarli pst, Estonia pst, Pärnu mnt, Sakala ja Roosikrantsi tänavatega. Vaadeldav piirkond on näidatud joonisel 4.1, lõputöös käsitletavat 6 kV pingel töötavad alajaamad on märgitud joonisel sinisega.



Joonis 4.1 JAJ 5 toitepiirkonna võrguvaade

Elektrilevi OÜ varahalduse valdkonnajuhi Rasmus Armase otsusel ei või lõputöös olla nähtaval kaablite tunnused ning madalpinge kaablid ja seadmed alajaamades, sest MP osa antud töös ei käsitleta.

Lisas 1 on toodud alajaama toitepiirkonnast parema ülevaate saamiseks kiirteskeem. Arusaadavuse mõttes on kiirteskeemilt eemaldatud kõik ülejäänud alajaamad ning piirkonnaalajaama seksioonid, mis antud töösse ei kuulu. Lisaks on kiirteskeemil märgitud alajaamadele, millel kuulub ainult üks seksioon jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonda või mida JAJ 5 reserveerib, teist seksiooni või tervet alajaama toitvat

piirkonnavalajaama nimi. Kiirteskeemil olev alajaam 205, läbi mille toidetakse tarbija1 alajaama, on 10 kV toitel, kuid selle teises ruumis asub 6 kV jaotla, et oleks võimalik alajaama tarbija1 toiteliin välja lülitada.

## 4.1 Jaotusalajaama nr 5 kirjeldus

Jaotusalajaam nr 5 saab toite Ranna piirkonnavalajaama III ja IV 6 kV sektsioonidelt. Ranna piirkonnavalajaama ajalugu on tutvustatud teises peatükis. See asub aadressil Gonsiori 3a, Tallink City hotelli taga. Tänapäeval on see kahe 40 ja 25 MVA, nimipingetega 110/10/6 kV trafoga piirkonnavalajaam, mille esimene 110 kV sektsioon on ühendatud maakaablitega Ida ja Volta piirkonnavalajaamadega ning teine 110 kV sektsioon Ida ja Elektriijaama piirkonnavalajaamadega. Ranna piirkonnavalajaama kolmandast ja neljandast 6 kV sektsioonist toidetakse jaotusalajaama nr 5 kahe 240mm<sup>2</sup> soone ristlõikega maakaabliga. Alajaamadevaheliste liinilõikude täpsem jagunemine on toodud tabelis 4.1.

Jaotusalajaam nr 5 on 1934. aastal ehitatud alajaam, millel on oma kinnistu Estonia pst 8 kinnistul. Joonisel 4.2 on näidatud alajaama välisilme. Riigis kehtestatud eriolukorra tõttu ei olnud võimalik autoril alajaamades kohal käia ning neid pildistada, nagu algselt planeeritud oli, seega on töös kasutatav fotomaterjal võetud Elektrilevi partnerite portaalist (EPP).



Joonis 4.2 JAJ 5 hoone [10]

Alajaama keskpinge jaotla kui ka madalpinge jaotla on samuti aastast 1934 ning vahetatud on kõik keskpinge koormus- ja võimsuslülitid. Lülitid asuvad vankritel. Sellise fiidri kaitselahutamise tekitatakse vankri väljatõmbamisega lahtrist [1]. Keskpinge jaotla koosneb kahest sektsioonist, mõlemas sektsioonis on sisenevate ja väljuvate fiidrite jaoks kuus kaugjuhitavat võimsuslülitit, esimeses sektsioonis on kaks trafot ning nende ees kaugjuhitavad koormuslülitid, teises sektsioonis on üks trafo koormuslülitiga, sektsioonide vahel on kaugjuhitav võimsuslülitit ning reservlülitusautomaat (RLA). Alajaamas olevad kolm trafot on kõik Yyn lülitusgrupiga, nimipingetega 6,3/0,23 kV ning võimsustega 320 kVA. Alajaama skeem on näidatud lisas 2.

Jaotusalajaama nr 5 toitel on 3 madalpinge klienti, kelle viimase ühe aasta summaarne tarbimine ajavahemikus 22.04.2019 – 22.04.2020 on olnud 66058 kWh, viimase aasta koormustipp on olnud 24,31 kW.

## **4.2 Jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonna kirjeldus**

Et oleks võimalik koostada nii tehniliselt kui ka majanduslikult kõige optimaalsem lahendus pingeklassi muutmiseks, on vaja olla kursis võrgus hetkel olevate alajaamade seadmetega, kaablitega, koormustega ja muude võrgu parameetritega. Tabelites 4.1, 4.2 ja 4.3 on välja toodud kogu vajaminev info JAJ 5 toitel olevate alajaamade, kaablite ja seadmete kohta. Olemasolevas võrgus käidus olevate kaablite andmete põhjal on võimalik teada saada nende nimipinge, millised neist on eluea ületanud ja liiga väikese ristlõikega, mis seetõttu piiravad alajaamadevahelist läbilaskevõimet. Lisas 1 näidatud kiirteskeemilt on näha, et jaotusalajaama sektsioonidelt saavad toite 9 alajaama. Lisaks reserveerib see Endla, Kesk ja Elavhõbe piirkonnaalajaamade erinevate 6 kV fiidrite toitepiirkondasid.

Tabel 4.1 Alajaamade vaheliste liinilõikude andmed

Alajaamad	Liinilõikude arv	Kaabli mark	Pikkus, m	Paigaldamise aasta
Ranna IIs – JAJ 5 Is	1	ASB-10 3x240	434	1979
	2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	469	2002
Ranna IVs – JAJ 5 IIs	1	ASB-10 3x240	434	1979
	2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	470	2002
JAJ 5 Is – 1480 s	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	26	2016
JAJ 5 Is – 310 IIs	1	ASB-10 3x240	17	1994
	2	AAB-10 3x240	17	1989
	3	ASB-6 3x240	59	1959
	4	SB-6 3x150	191	1935
JAJ 5 Is – tarbija6	1	SB-6 3x95	1262	1646
	2	ASB-10 3x240	211	1975
	3	SB-6 3x185	1070	1935
	4	AXCEL 3x240+35 24 kV	19	2004
	5	ASB-6 3x120	26	1965
JAJ 5 IIs – 405 Is	1	AAB-10 3x185	294	1976
	2	ASB-10 3x240	89	1996
JAJ 5 IIs – 205	1	ASB-10 3x240	260	1983
JAJ 5 IIs – 137	1	AAB-10 3x240	123	1978
	2	SB-6 3x185	105	1948
	3	AABL-10 3x240	61	1984
310 IIs – 184 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	2005
310 Is – 184 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	2010
310 Is – 1450 Is	1	ASB-10 3x150	61	1958
	2	ASB-10 3x240	20	1989
	3	ASB-6 3x240	65	1958
	4	SB-6 3x150	21	1934
	5	AAB-10 3x240	146	1995
1480 Is – 1572 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	130	1998
	2	AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV	40	2016
	3	SB-6 3x150	99	1938
1572 IIs – 1141 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	138	1998
	2	AXCEL 3x185 12 kV	13	1997
	3	SB-6 3x150	99	1938
1141 Is – 423 IIs	1	AXCEL 3x185 12 kV	11	1998
	2	SB-6 3x150	93	1938
	3	AHXCMK 3x240 10 kV	75	2002
423 Is – 1642 Is	1	ASB-10 3x240	77	1999
	2	AHXCMK 3x240 10 kV	58	2002
205 – tarbija1 Is	1	AAB-10 3x120	312	1993
137 IIs – 97 IIs	1	SB-6 3x150	22	1953
	2	ASB-10 3x185	21	1988

Tabelist 4.1 on näha, enamike alajaamadevahelised ühendused koosnevad mitmetest ja erinevate kaablitega liinilõikudest. Põhjus võib olla selles, et aastate jooksul on asendatud vigaseid liinilõike või muudetud kaablite trasse. Kokku on JAJ 5 toitepiirkonnas 7230 meetrit keskpinge maakaableid. 2018. aasta seisuga oli Tallinna linna 6 kV kaablite maht 962 km, sellest 256 km on üle eluea [29]. Kuni 1953. aastani paigaldati paber-õliisolatsiooniga, vasksoonega 6 kV nimipingega kaableid SB-6. Alates 1958. aastast hakati paigaldama alumiiniumisoonega 6 kV ja 10 kV nimipingega kaableid ASB-6 ja ASB-10. Hiljem lisandusid kaablite margid AAB ja AABL. Esimesed



plastisolatsiooniga kaablid JAJ 5 toitepiirkonnas paigaldati 1998. aastal: AXCEL ja AHXAMK-W marki kaablid.

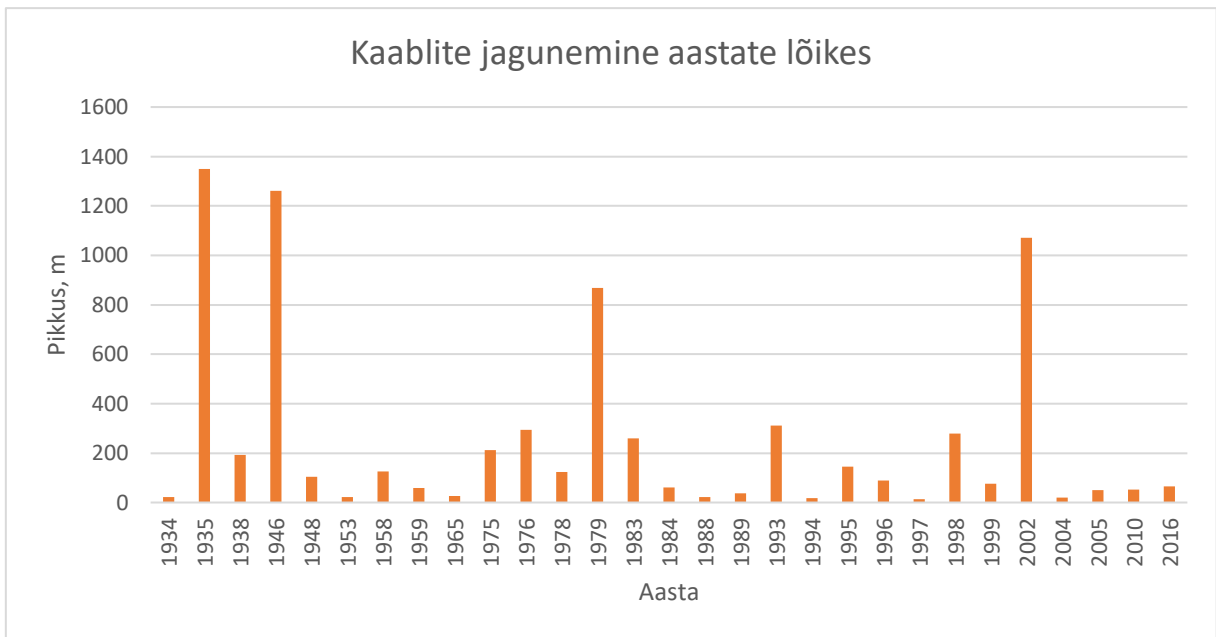
Töökindluse taseme vähenemist kaablivõrgus põhjustavad vähese töökindlusega kaablimargid AAB ja AABL. Kaablite analüüsi tulemused ei toeta väidet, et mida vanem on kaabel, seda rohkem esineb rikkeid. Kaablite keskmine vanus rikke toimumise hetkel on 30-33 aastat ja kõige kõrgema rikete esinemise sagedusega on kaablid, mis on paigaldatud aastatel 1975-1989. [28]

Kaabli markide ASB ja AAB puhul on tegu alumiiniumist faasijuhtmega, paber-õliisolatsiooniga ja soomustatud maakaabliga. Kaitsekate on valmistatud bituumenist ja lõngast. Nende peamine erinevus on kaabli mantli materjalis: ASB kaablil on see valmistatud pliist, AAB kaablil alumiiniumist. Kaablitel AAB ja AABL on väike erinevus ainult isolatsiooni ehituses. [21, 22, 23]

Kaabel SB on vasest faasijuhtmega, paber-õliisolatsiooniga ja soomustatud maakaabel. Kaabli mantel on valmistatud pliist ning väliskest koosneb bituumenist ja lõngast. [24]

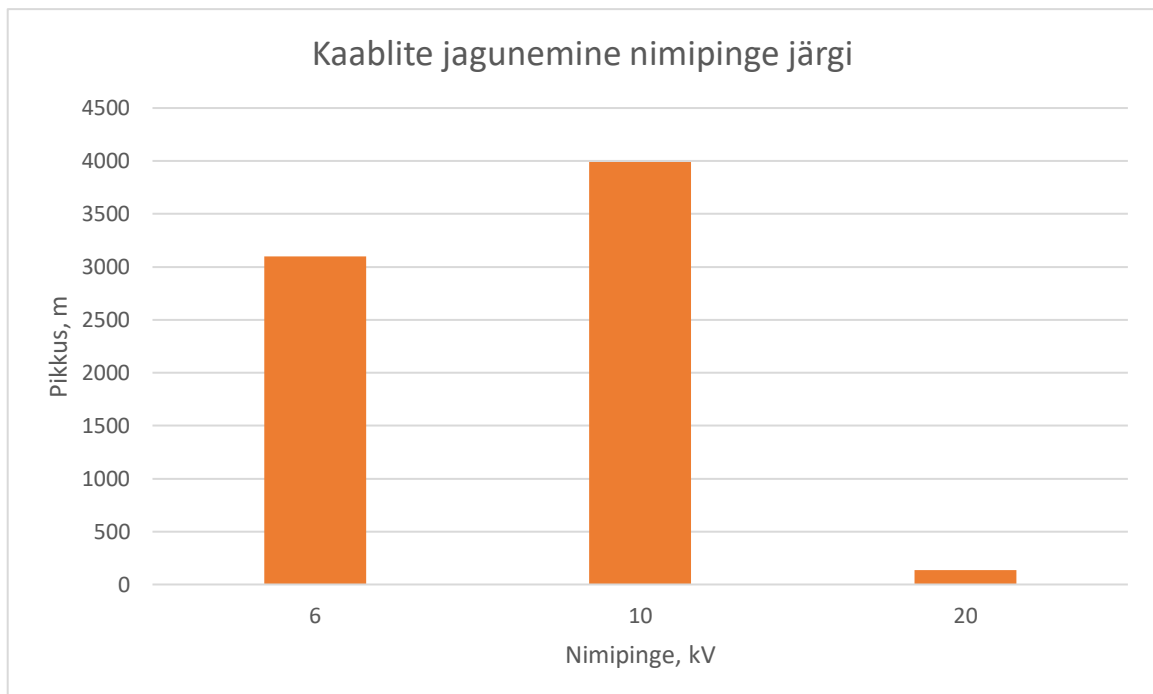
AHXAMK-W ja AHXCMK on keerutatud ja alumiiniumjuhtmega kaablid. AHXCMK kaablil keskjuhe puudub, AHXAMK-W kaablil on vasest keskjuhe, mille ümber on keerutatud faasijuhtmed. Mõlema isolatsioon on valmistatud PEX-st, väliskest koosneb polüeteenist. [20, 25]

AXCEL on keerutatud alumiiniumjuhtmega kaabel, mille isolatsioon on valmistatud PEX-st, väliskest koosneb polüeteenist. Kaablil on vasest keskjuhe. [26]



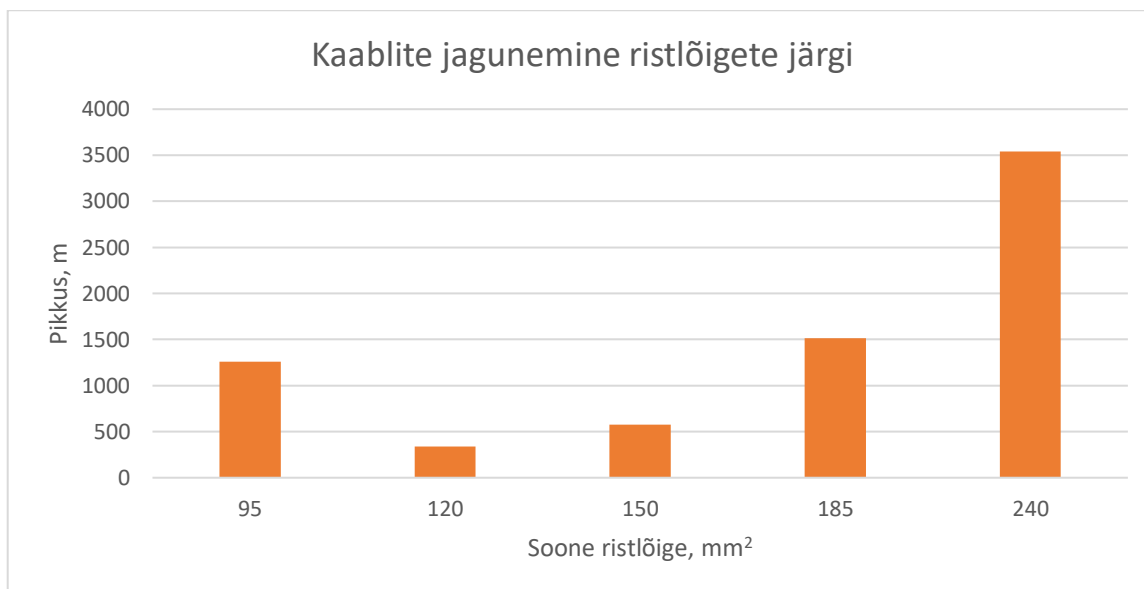
Joonis 4.3 Paigaldatud kaablite pikkuste jagunemine aastate lõikes

Jooniselt 4.3 on näha, millistel aastatel kui palju erinevaid kaableid on paigaldatud. Vastavalt Elektrilevi põhivara klassifikaatori dokumendile on 6-20 kV maakaabli kulumi norm 45 aastat ehk uue lahendusega viiakse tööst välja kõik kaablid, mis on paigaldatud enne 1975 aastat (kaasaarvatud) [8]. Selliste kaablite pikkus on kokku 3373 meetrit.



Joonis 4.4 Paigaldatud kaablite pikkuste jagunemine nimipingete järgi

Jooniselt 4.4 selgub, et kõige rohkem on JAJ 5 toitepiirkonnas 10 kV nimipingega kaableid, 3992 meetrit. 20 kV nimipingega kaableid on 137 meetrit ning 6 kV pingega 3101 meetrit. 10 kV pingesüsteemile üleminekul on vaja kõik 6 kV kaablid tööst välja viia.



Joonis 4.5 Paigaldatud kaablite pikkuste jagunemine soone ristlõikepindala järgi

Jooniselt 4.5 on näha, et JAJ 5 toitepiirkonnas on kõige rohkem 240 mm<sup>2</sup> soone ristlõikepindalaga kaableid, 3541 meetrit. Kõige vähem on paigaldatud 120 mm<sup>2</sup> soone ristlõikepindalaga kaableid, 338 meetrit. Uue lahendusega jäävad maksimaalse läbilaskevõime saavutamiseks ning perspektiivseks koormuse suurenemiseks kasutusele ainult 240 mm<sup>2</sup> soone ristlõikepindalaga kaablid, välja arvatud juhul, kui kahe alajaama vahel on kasutusel ainult ühe ja sama ristlõikega kaabel, see on paigaldatud pärast 1975. aastat ning on vähemalt 10 kV nimipingega.

Tabel 4.2 JAJ 5 ja selle toitepiirkonna alajaamades töös olevad trafod

Alajaam	Trafo			
	Nimipinged, kV	Võimsus, kVA	Arv	Paigaldamise aasta
JAJ 5	6,3/0,23	320	3	1960/1972
1480	6,3/0,41	630	2	2000
310	6,3/0,41	630	2	2018
tarbija6	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub			
405	6,3/0,41	800	2	1996
137	6,3/0,41	800	2	2000
184	6,3/0,41	1000	2	2006
1450	6,3/0,41	630/800	4	1996/1997
1572	6,3/0,41	1000	2	2014
1141	6,3/0,41	800	2	1998
423	6,3/0,41 ja 6,3/0,23	630/400	2	1999/1997
1642	6,3/0,41	800	2	2018
97	6,3/0,41	250	2	1988
tarbija1	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub			

Tabel 4.3 JAJ 5 ja selle toitepiirkonna alajaamades olevad keskpinge jaotlad

Alajaam	Keskpinge jaotla				
	VL arv sektsioonides	KOL arv sektsioonides	Sektsoonide vaheline lüliti	Nimipinge, kV	Paigaldamise aasta
JAJ 5	6+6	2+1	VL	Lülitid - 10	1934
1480	0	3+2	KOL	6	1995
310	0	2+3	KOL	6	1989
tarbija6	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub				
405	0	3+3	KOL	6	1995
137	0	2+2	KOL	6	1982
184	1+1	1+1	KOL	10	2005
1450	0	4+4	KOL	6	1995
1572	0	2+2	KOL	10	1998
1141	1+1	1+1	KOL	10	1998
423	0	3+3	KOL	6	1962
1642	1+1	2+2	KOL	10	1999
97	0	3+3	KOL	6	1988
tarbija1	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub				

Kõik liinilõikude, trafode ja keskpinge jaotlate andmed on võetud Elektrilevi võrguhaldussüsteemist Trimble NIS. Tabelites 4.2 ja 4.3 on välja toodud JAJ 5 ja selle toitepiirkonnas olevate alajaamade trafode ja keskpinge jaotlate andmed. Mitte üheski alajaamas ei ole kahe ülempingemähisega trafot, seega kuuluvad kõik trafod väljavahetamisele. Kahes alajaamas, nr 5 ja 423, on kasutusel trafod, mille sekundaarmähise nimipinge on 0,23 kV. Selliste trafodega hoitakse töös Tallinna üksikutes piirkondades säilinud, IT juhistikuga nn „vana pinge“ süsteemi. Samuti on enamike alajaamade keskpinge jaotlates 6 kV nimipingega Nõukogude Liidus toodetud seade, mida iseloomustab võimsuslülitite puudumine ning trafo ahelas olev koormuslülitid koos sulavkaitsmega. Kaks alajaama kuuluvad tarbijale, seega täpne info nendes alajaamades olevate trafode ja seadmete kohta puudub. Kõikide alajaamade 6 kV skeemid on näidatud lisades 2-13.

Allolevas tabelis 4.4 on JAJ 5 ja teiste alajaamade sektsioonide kaupa näidatud nende ühe aastane tarbimine ning sama ajavahemiku maksimaalne koormus, ajavahemikuks on 22.04.2019 – 22.04.2020. Tarbimisandmed põhinevad kliendiinfosüsteemist. Antud koormuste põhjal teostab programm võrgumudeli ning arvutab püsitalitluse.

Tabel 4.4 JAJ 5 ja selle toitepiirkonna alajaamade tarbimisandmed

<b>Alajaam ja sektsioon</b>	<b>Maksimaalne aktiivkoormus, kW</b>	<b>Aastane tarbimine, kWh 22.04.2019-22.04.2020</b>
JAJ 5 Is	24,31	66058
JAJ 5 IIs	0	0
1480 Is	288,95	453739
1480 IIs	576,51	1220255
310 Is	81,79	486995
310 IIs	57,97	345162
405 Is	308,03	776534
405 IIs	233,34	588242
205 Is	892,91	1024168
205 IIs	271,56	684599
137 Is	401,25	660492
184 Is	478,31	685608
184 IIs	265,68	372941
1450 Is	679,06	1756003
1450 IIs	332,49	905184
1572 Is	183,21	508316
1572 IIs	290,21	770828
1141 Is	290,61	741035
1141 IIs	180,21	540914
423 Is	414,78	1109363
423 IIs	56,16	152979
1642 Is	539,79	775401
1642 IIs	379,71	566186
137 IIs	73,4	254027
97 Is	76,13	107495
97 IIs	227,24	320865

Kui võrrelda omavahel tabelis 4.4 toodud maksimaalseid aktiivkoormusi ning tabelis 4.2 alajaamades olevate trafode andmeid, siis selgub, et reaktiivvõimsust arvesse võtmata on enamikes alajaamades trafod üledimensioneeritud. Sellised olukorrad tekivad seetõttu, et kliendid tarbivad väga harva ära maksimaalselt seda võimsust, mis neil peakaitsme suurusega sätestatud on. Samuti vähendab trafo koormust vajadus arvestada üheaegsustegurit, mis arvestab ühe fiidri klientide liitumispunktides samaaegselt tarbitavat voolu. Aga kuna Elektrilevi peab klientidele tagama võimaluse

tarbida igal ajahetkel lepingus toodud peakaitsme suuruse ulatuses, peavad ka trafod olema valitud just sellise võimsusega, et võrgus ei tekiks ülekoormust.

### 4.3 Jaotusalajaama nr 5 toitepiirkonna parameetrite arvutamine

Käesolevas peatükis tuleb leida lõputöös vaadeldavas võrgus kasutusel olevate kaablite läbilaskevõime 6 kV pingel. Seejärel leitakse Elektrilevi võrguhaldussüsteemi Trimble NIS abil arvutades olemasolevate liinilõikude maksimaalsed aktiivkoormused, koormusvoolud, pingekaod sõlmedes, liinide aktiivvõimsuskadu ja maksimaalse koormuse aeg. Lisaks võrreldakse kaablite, mille nimipinge on 10 kV, läbilaskevõime suurenemist 10 kV pingesüsteemile üleminekul. Hilisemas peatükis võrreldakse saadud andmete põhjal võrgu läbilaskevõime suurenemist ja kadude vähenemist pärast 10 kV pingesüsteemile ülemineku tehnilise lahenduse koostamist ja arvutuste teostamist.

Alljärgnevasse tabelisse on kogutud kõikide vaadeldavas võrgus kasutatavate kaablite läbilaskevõime. Kuna AXCEL marki kaabli läbilaskevõime kohta infot ei leitud, arvestati see võrdseks AHXAMK-W marki sama ristlõike suurusega kaabliga. Teades kaablite maksimaalset lubatud koormusvoolu, on võimalik analüüsida konkreetse liinilõigu koormatust võrgus.

Tabel 4.5 Võrgus kasutatavate kaablite läbilaskevõime

<b>Kaabli mark</b>	<b>Maksimaalne koormusvool, A</b>
ASB-10 3x240	314
AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	385
AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	385
AAB-10 3x240	314
ASB-6 3x240	351
SB-6 3x150	358
SB-6 3x95	280
AXCEL 3x240+35 24 kV	385
ASB-6 3x120	243
AAB-10 3x185	275
SB-6 3x185	396
AABL-10 3x240	314
ASB-10 3x150	246

Tabel 4.5 järg

Kaabli mark	Maksimaalne koormusvool, A
AXCEL 3x185 12 kV	330
AHXCMK 3x240 10 kV	400
AAB-10 3x120	218
ASB-10 3x185	275

Kõikide kaablite läbilaskevõime on toodud, tingimustel, et kaabel on paigaldatud maas vähemalt 0,7 m sügavusele, maksimaalne juhi temperatuur on 90 °C ja pinnase temperatuur 15 °C.

Kuna kõik alajaamadevahelised liinilõigud on paigaldatud kas osaliselt või täielikult torusse, tuleb parandustegureid kasutades leida kaablite läbilaskevõime torus. Elektrilevi juhendi „Nõuded keskpingeakaablitele alajaamades ja nende koormatavusele“ järgi tuleb torus paikneva kaabli puhul täiendavalt arvestada parandusteguriga 0,80 [13]. Järelikult saab kaabli koormusvoolu torusse paigaldatuna leida valemiga 4.1:

$$I_T = I_{kaabel} * 0,80 \quad (4.1)$$

kus  $I_T$  – kaabli maksimaalne koormusvool torusse paigaldatuna, A,  
 $I_{kaabel}$  – kaabli maksimaalne koormusvool pinnasesse paigaldatuna, A.

Seega kaabli ASB-10 3x240 maksimaalne koormusvool torusse paigaldatuna on:

$$I_T = 314 * 0,8 = 251,2 \text{ A}$$

Kui arvestada pinnase temperatuuriks +15 °C, siis Elektrimontööri käsiraamatus oleva paber-öliisolatsiooniga kaablite koormamise juhendi järgi on temperatuuri parandustegur +15 °C juures 1,0, seega jäetakse see edasistes arvutustes arvestamata. [9]

Et teada saada kaabli maksimaalne läbilaskevõime 6 kV pingel, tuleb leida aktiivvõimsus maksimaalse torusse paigaldatud koormusvoolu juures, selleks kasutatakse valemit 4.2.

$$P = \sqrt{3} * U * I_T * \cos \varphi \quad (4.2)$$

kus  $P$  – kaabli läbilaskevõime 6 kV pingel, kW  
 $U$  – võrgu nimipinge, kV

$I_T$  – kaabli maksimaalne koormusvool torusse paigaldatuna, A  
 $\cos \varphi$  – võimsustegur

Kuna vaadeldavas võrgus reaktiivvõimsust mõõteandmete puudumise tõttu ei arvestata, siis loetakse võimsustegur võrdseks 1-ga.

Kaabli ASB-10 3x240 maksimaalne läbilaskevõime 6 kV pingel on:

$$P = \sqrt{3} * 6 * 251,2 * 1 = 2610,55 \text{ kW}$$

Ülejäänud kaablite maksimaalsed koormusvoolud torusse paigaldatuna ja läbilaskevõime 6 kV pingel on näidatud tabelis 4.6.

Tabel 4.6 Võrgus kasutatavate kaablite läbilaskevõime torus ja 6 kV pingel

<b>Kaabli mark</b>	<b>Maksimaalne koormusvool torus, A</b>	<b>Läbilaskevõime 6 kV pingel, kW</b>
ASB-10 3x240	251,2	2610,55
AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	308	3200,83
AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	308	3200,83
AAB-10 3x240	251,2	2610,55
ASB-6 3x240	280,8	2918,16
SB-6 3x150	286,4	2976,36
SB-6 3x95	224	2327,88
AXCEL 3x240+35 24 kV	308	3200,83
ASB-6 3x120	194,4	2020,26
AAB-10 3x185	220	2286,31
SB-6 3x185	316,8	3292,28
AABL-10 3x240	251,2	2610,55
ASB-10 3x150	196,8	2045,21
AXCEL 3x185 12 kV	264	2743,57
AHXCMK 3x240 10 kV	320	3325,54
AAB-10 3x120	174,4	1812,42
ASB-10 3x185	220	2286,31

Tabeli 4.6 põhjal saab järeldada, et hetkel piiravad võrgu läbilaskevõimet kõige rohkem väiksema kui 240 mm<sup>2</sup> soone ristlõikepindalaga paber-õliisolatsiooniga alumiiniumikaablid. Vasest faasijuhtmega kaabel laseb sama ristlõike juures läbi rohkem kui alumiiniumkaabel. Lisaks on vana paber-õliisolatsiooniga, 240 mm<sup>2</sup> soone ristlõikepindalaga kaabli läbilaskevõime umbes 20% väiksem kui uuel, plastisolatsiooniga AHXAMK-W kaablil.



Alljärgnevates tabelites on välja toodud liinilõikude arvutustulemused. Kõik arvutused on tehtud arvestades ajavahemiku 22.04.2019 – 22.04.2020 reaalseid koormusi. Arvutustes on võrgu koormustena kasutatud tabelis 4.4 toodud alajaamade maksimaalseid aktiivkoormusi. Kuna reaktiivvõimsuse tarbimist kõik kommerts mõõteseadmed ei mõõda, siis seda arvutustes ei arvestata. Tulemustes välja toodud aktiivkoormus on maksimaalne koormus, mis antud ajavahemikul on võrgus olnud. Arvutuspingeks piirkonnaalajaama lattidel on juhtimiskeskuse soovitusel valitud 6,3 kV, mille suhtes on ka leitud pingekaod sõlmedes. Võrgukadude leidmisel ei võeta arvesse piirkonnaalajaama trafode kadusid. Nende alajaamadevaheliste liinilõikude, mille kohta on kirjutatud tulemuseks „reservis“, arvutustulemusi ei ole, sest arvutuse ajavahemiku jooksul ei ole need liinid töös olnud. Liinide maksimaalne aktiivvõimsus ja koormusvoolud on leitud, et analüüsida kaablite koormatust ja läbilaskevõime kasutamist. Kuna pingekadu peab vastama nõuetele, arvutatakse ka selle väärtus eesmärgiga kontrollida nõuetele vastavust ja seda hiljem 10 kV pingel võrrelda. Koormuse maksimaalne kasutamise aeg on leitud elektrienergia aastase kao ja selle maksumuse arvutamise eesmärgil.

Tabel 4.7 Liinilõikude arvutustulemused

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Aktiivvõimsus, kW	Aktiivvõimsuskadu, kW
Ranna IIs – JAJ 5 Is	ASB-10 3x240	434	1847,2	4,887
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	469	1847,4	5,333
Ranna IVs – JAJ 5 IIs	ASB-10 3x240	434	1100,3	1,513
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	470	1101,3	1,645
JAJ 5 Is – 1480 s	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	26	1631,7	0,212
JAJ 5 Is – 310 IIs	ASB-10 3x240	17	313,2	0,003
	AAB-10 3x240	17	313,2	0,003
	ASB-6 3x240	59	313,1	0,006
	SB-6 3x150	191	313,1	0,006
JAJ 5 Is – tarbija6	SB-6 3x95	1262	Reservis	
	ASB-10 3x240	211		
	SB-6 3x185	1070		
	AXCEL 3x240+35 24 kV	19		
	ASB-6 3x120	26		
JAJ 5 IIs – 405 Is	AAB-10 3x185	294	308,0	0,086
	ASB-10 3x240	89	308,0	0,021
JAJ 5 IIs – 205	ASB-10 3x240	260	721,4	0,356
JAJ 5 IIs – 137	AAB-10 3x240	123	242,6	0,019
	SB-6 3x185	105	242,6	0,013
	AABL-10 3x240	61	242,6	0,01
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	210,5	0,003
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	Reservis	
310 Is – 1450 Is	ASB-10 3x150	61	Reservis	
	ASB-10 3x240	20		
	ASB-6 3x240	65		
	SB-6 3x150	21		
	AAB-10 3x240	146		
1480 Is – 1572 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	130	1279,7	0,65
	AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV	40	1279,7	0,199
	SB-6 3x150	99	1279,7	0,41
1572 IIs – 1141 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	138	987,9	0,856
	AXCEL 3x185 12 kV	13	987,9	0,256
	SB-6 3x150	99	987,9	0,046
1141 Is – 423 IIs	AXCEL 3x185 12 kV	11	687,5	0,016
	SB-6 3x150	93	687,3	0,111
	AHXCMK 3x240 10 kV	75	687,3	0,097
423 Is – 1642 Is	ASB-10 3x240	77	391,0	0,026
	AHXCMK 3x240 10 kV	58	391,0	0,019
205 – tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	721,0	0,859
137 IIs – 97 IIs	SB-6 3x150	22	Reservis	
	ASB-10 3x185	21		

Tabel 4.8 Liinilõikude arvutustulemused

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Koormusvool, A	Pingekadu, %
Ranna IIs – JAJ 5 Is	ASB-10 3x240 AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	434 469	178,2	0,550 0,367
Ranna IVs – JAJ 5 IIs	ASB-10 3x240 AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	434 470	106,2	0,381 0,215
JAJ 5 Is – 1480 s	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	26	158,4	0,689
JAJ 5 Is – 310 IIs	ASB-10 3x240 AAB-10 3x240 ASB-6 3x240 SB-6 3x150	17 17 59 191	30,3	0,691 0,691 0,689 0,689
JAJ 5 Is – tarbija6	SB-6 3x95 ASB-10 3x240 SB-6 3x185 AXCEL 3x240+35 24 kV ASB-6 3x120	1262 211 1070 19 26	Reservis	
JAJ 5 IIs – 405 Is	AAB-10 3x185 ASB-10 3x240	294 89	29,8	0,423 0,432
JAJ 5 IIs – 205	ASB-10 3x240	260	69,8	0,448
JAJ 5 IIs – 137	AAB-10 3x240 SB-6 3x185 AABL-10 3x240	123 105 61	23,4	0,395 0,394 0,396
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	20,4	0,693
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	Reservis	
310 Is – 1450 Is	ASB-10 3x150 ASB-10 3x240 ASB-6 3x240 SB-6 3x150 AAB-10 3x240	61 20 65 21 146	Reservis	
1480 Is – 1572 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV SB-6 3x150	130 40 99	124,2	0,809 0,710 0,748
1572 IIs – 1141 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AXCEL 3x185 12 kV SB-6 3x150	138 13 99	96,1	0,856 0,887 0,893
1141 Is – 423 IIs	AXCEL 3x185 12 kV SB-6 3x150 AHXCMK 3x240 10 kV	11 93 75	66,9	0,898 0,918 0,936
423 Is – 1642 Is	ASB-10 3x240 AHXCMK 3x240 10 kV	77 58	38,1	0,953 0,954
205 – tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	69,9	0,596
137 IIs – 97 IIs	SB-6 3x150 ASB-10 3x185	22 21	Reservis	

Trimble NIS ei kasuta iteratiivset lahendusmeetodit, mis annab täpse lõpptulemuse, vaid kiiret ligikaudset meetodit. Programm alustab radiaalvõrgu püsitalitluse arvutamist vajaliku võrgumudeli loomisega, seejärel leiab võrgu ühe lõppsõlme ja sellega liituvat koormust. Koormuse andmete alusel arvutab programm aktiivvõimsuse ja võimsuskao lõppsõlmele eelnevas liinilõigis, seejuures kasutatakse pingearvutuslikku väärtust, mis on toitepunktile ette antud. [14]

Aktiivvõimsuskadusid arvutab programm valemiga: [14]

$$P_{hi} = \left( \frac{P_{wi}}{U \cdot \cos \varphi_i} \right)^2 * l_i * r_i \quad (4.3)$$

- kus  $P_{hi}$  –  $i$ -nda liinilõigu aktiivvõimsuskadu, kW,  
 $P_{wi}$  –  $i$ -nda liinilõigu maksimaalne aktiivvõimsus, kW,  
 $U$  – arvutuslik pinge, kV,  
 $\cos \varphi_i$  –  $i$ -nda liinilõigu võimsustegur,  
 $l_i$  –  $i$ -nda liinilõigu pikkus, km,  
 $r_i$  –  $i$ -nda liinilõigu kilomeetrine aktiivtakistus,  $\Omega$ /km.

Kuna koormusvoolu väärtused pole tegelikult teada, on pingekaod leitavad järgneva valemiga: [14]

$$U_{hi} = \frac{P_{wi}}{U \cdot \sqrt{3}} * (\tan \varphi_i * (r_i * l_i + x_i * l_i)) \quad (4.4)$$

- kus  $U_{hi}$  –  $i$ -nda liinilõigu pingekadu, %,  
 $P_{wi}$  –  $i$ -nda liinilõigu maksimaalne aktiivvõimsus, kW,  
 $U$  – arvutuslik pinge, kV,  
 $\tan \varphi_i$  –  $i$ -nda reaktiivvõimsuse ja aktiivvõimsuse suhte tangens,  
 $l_i$  –  $i$ -nda liinilõigu pikkus, km,  
 $r_i$  –  $i$ -nda liinilõigu kilomeetrine aktiivtakistus,  $\Omega$ /km,  
 $x_i$  –  $i$ -nda liinilõigu kilomeetrine reaktiivtakistus,  $\Omega$ /km.

Koormusvoolud kolmefaasilistes liinides arvutatakse valemiga: [14]

$$I_{imax} = \frac{P_{wi}}{U \cdot \cos \varphi_i \cdot \sqrt{3}} \quad (4.5)$$

- kus  $I_{imax}$  –  $i$ -nda liinilõigu koormusvool, A,  
 $P_{wi}$  –  $i$ -nda liinilõigu maksimaalne aktiivvõimsus, kW,  
 $U$  – arvutuslik pinge, kV,  
 $\cos \varphi_i$  –  $i$ -nda liinilõigu võimsustegur.

Pinge liinilõigu lõppsõlmes arvutab programm alljärgneva valemiga: [14]

$$U_i = \frac{P_{wi}}{U \cdot \sqrt{3}} * (l_i * (r_i + x_i) * \tan \varphi_i) \quad (4.6)$$

- kus  $U_i$  – pinge liinilõigu lõppsõlmes, kV,  
 $P_{wi}$  –  $i$ -nda liinilõigu maksimaalne aktiivvõimsus, kW,  
 $U$  – arvutuslik pinge, kV,  
 $\tan \varphi_i$  –  $i$ -nda reaktiivvõimsuse ja aktiivvõimsuse suhte tangens,  
 $l_i$  –  $i$ -nda liinilõigu pikkus, km,  
 $r_i$  –  $i$ -nda liinilõigu kilomeetrine aktiivtakistus,  $\Omega$ /km,  
 $x_i$  –  $i$ -nda liinilõigu kilomeetrine reaktiivtakistus,  $\Omega$ /km.

Pingemuut esitatakse parema arusaamise huvides tulemuste tabelites protsentuaalsel kujul, mis leitakse seosega:

$$\Delta U = \frac{U - U_i}{U} * 100\% \quad (4.7)$$

kus  $\Delta U$  – pingemuut, %,

$U$  – arvutuslik pinge, kV,

$U_i$  – pinge liinilõigu lõppsõlmes, kV.

Kuna võrgus ei ole tootmisseadmeid ja seetõttu piirkonnaalajaamast kaugenedes pinge ainult langeb, siis nimetatakse edaspidi valemis (4.7) esitatud pingemuutu pingekaoks.

Tabel 4.9 Liinilõikude maksimaalse koormuse kestus

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Aktiivvõimsus, kW	Max koormuse aeg, h
Ranna IIs – JAJ 5 IIs	ASB-10 3x240	434	1847,2	2634
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	469	1847,4	
Ranna IVs – JAJ 5 IIs	ASB-10 3x240	434	1100,3	2637
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	470	1101,3	
JAJ 5 Is – 1480 s	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	26	1631,7	312
JAJ 5 Is – 310 IIs	ASB-10 3x240	17	313,2	1133
	AAB-10 3x240	17	313,2	
	ASB-6 3x240	59	313,1	
	SB-6 3x150	191	313,1	
JAJ 5 Is – tarbija6	SB-6 3x95	1262	Reservis	
	ASB-10 3x240	211		
	SB-6 3x185	1070		
	AXCEL 3x240+35 24 kV	19		
	ASB-6 3x120	26		
JAJ 5 IIs – 405 Is	AAB-10 3x185	294	308,0	2634
	ASB-10 3x240	89	308,0	
JAJ 5 IIs – 205	ASB-10 3x240	260	721,4	2521
JAJ 5 IIs – 137	AAB-10 3x240	123	242,6	207
	SB-6 3x185	105	242,6	
	AABL-10 3x240	61	242,6	
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	210,5	1133
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	Reservis	
310 Is – 1450 Is	ASB-10 3x150	61	Reservis	
	ASB-10 3x240	20		
	ASB-6 3x240	65		
	SB-6 3x150	21		
	AAB-10 3x240	146		
1480 Is – 1572 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	130	1279,7	311
	AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV	40	1279,7	
		99	1279,7	
	SB-6 3x150			
1572 IIs – 1141 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	138	987,9	313
		13	987,9	
	AXCEL 3x185 12 kV	99	987,9	
	SB-6 3x150			
1141 Is – 423 IIs	AXCEL 3x185 12 kV	11	687,5	313
	SB-6 3x150	93	687,3	
	AHXCMK 3x240 10 kV	75	687,3	

Tabel 4.9 järg

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Aktiivvõimsus, kW	Max koormuse aeg, h
423 Is – 1642 Is	ASB-10 3x240	77	391,0	310
	AHXCMK 3x240 10 kV	58	391,0	
205 – tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	721,0	2521
137 IIs – 97 IIs	SB-6 3x150	22	Reservis	
	ASB-10 3x185	21		

Aktiivvõimsuskadude ja maksimaalkoormuse kasutusaja järgi leitakse antud võrgus aastane aktiivenergiakadu, kasutades kaoaega. Kaoaeg on fiktiivne aeg, millele tippkoormusega talitluses vastaks sama energiakadu, kui talitluses tegeliku koormusgraafiku järgi kogu aasta vältel [30]. Aktiivenergiakao kaudu on võimalik leida selle maksumus. Kaoaja järgi mingi perioodi aastase energiakao leidmine on mugav ja lihtsustatud meetod selliste andmete arvutamiseks.

Alloleva valemi järgi arvutatakse kaoaeg:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 * 8760 \quad (4.8)$$

kus  $\tau$  – kaoaeg, h

$T_m$  – maksimaalkoormuse kasutusaeg, h

Seejärel on võimalik leida aastane aktiivenergiakadu, kasutades valemit:

$$\Delta W = \Delta P * \tau \quad (4.9)$$

kus  $\Delta W$  – aastane aktiivenergiakadu, kWh

$\Delta P$  – võrgu aktiivvõimsuskadu, kW

$\tau$  – kaoaeg, h

Valemite (4.8) ja (4.9) abil on võimalik leida alajaamade Ranna IIs ja JAJ 5 Is vahelise esimeses liinilõigis tekkiv aastane aktiivenergiakadu.

$$\tau = \left(0,124 + \frac{2634}{10000}\right)^2 * 8760 = 1314,7 \text{ h}$$

$$\Delta W = 4,887 * 1314,7 = 6424,89 \text{ kWh}$$

Elektrilevis arvestatakse, et ühe kWh kao maksumus on 0,04 €, seega selle liinilõigu kadude peale kulub aastas:  $6424,89 * 0,04 = 257$  €.

Ülejäänud liinilõikude kooaeg, aastane aktiivenergiakadu ja kao maksumus on näidatud tabelis 4.10.

Tabel 4.10 Liinilõikude kooaeg, aktiivenergiakadu ja kao maksumus

Alajaamad	Kaabli mark	Kooaeg, h	Aktiivenergiakadu, kWh	Kao maksumus, €
Ranna IIs – JAJ 5 Is	ASB-10 3x240 AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	1314,7	6424,89 7011,24	257,00 280,45
Ranna IVs – JAJ 5 IIs	ASB-10 3x240 AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	1316,7	1992,21 2166,02	79,69 86,64
JAJ 5 Is – 1480 s	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	211,1	44,73	1,79
JAJ 5 Is – 310 IIs	ASB-10 3x240 AAB-10 3x240 ASB-6 3x240 SB-6 3x150	493,3	1,48 1,48 2,96 15,30	0,06 0,06 0,12 0,61
JAJ 5 Is – tarbija6	SB-6 3x95 ASB-10 3x240 SB-6 3x185 AXCEL 3x240+35 24 kV ASB-6 3x120		Reservis	
JAJ 5 IIs – 405 Is	AAB-10 3x185 ASB-10 3x240	1314,7	113,06 27,61	4,52 1,11
JAJ 5 IIs – 205	ASB-10 3x240	1239,1	441,12	17,64
JAJ 5 IIs – 137	AAB-10 3x240 SB-6 3x185 AABL-10 3x240	183,4	3,48 2,39 1,83	0,14 0,11 0,07
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	493,3	1,48	0,06
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV		Reservis	
310 Is – 1450 Is	ASB-10 3x150 ASB-10 3x240 ASB-6 3x240 SB-6 3x150 AAB-10 3x240		Reservis	
1480 Is – 1572 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV SB-6 3x150	210,7	136,97 41,94 86,40	5,48 1,68 3,46
1572 IIs – 1141 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AXCEL 3x185 12 kV SB-6 3x150	211,2	180,85 54,09 9,72	7,23 2,16 0,39
1141 Is – 423 IIs	AXCEL 3x185 12 kV SB-6 3x150 AHXCMK 3x240 10 kV	211,2	3,38 23,45 20,49	0,14 0,94 0,82
423 Is – 1642 Is	ASB-10 3x240 AHXCMK 3x240 10 kV	210,5	5,47 4,00	0,22 0,16
205 – tarbija1 Is	AAB-10 3x120	1239,1	1064,40	42,58
137 IIs – 97 IIs	SB-6 3x150 ASB-10 3x185		Reservis	

Tabelitest 4.7 ja 4.8 järeldub, et mitte ühegi kaabli maksimaalset läbilaskevõimet ei ole ületatud. Piirkonnaalajaamast jaotusalajaama kulgevatel toiteliinidel oleks veel ligi 760

kW ja 1500 kW vaba võimsust. Kaablite koormusvoolud on väikesed, jäädes alla maksimaalse lubatud piiri. Lisaks on aktiivvõimsuskadod liinides suhtelised väikesed. Kõige suuremad kaod on Ranna piirkonnaalajaama II sektsiooni ja jaotusalajaama nr 5 I sektsiooni vahelistel kaablitel: 4,887 kW ja 5,333 kW. Väikeste kadude peamisteks põhjusteks on liinilõikude suhteliselt lühike pikkus ning liinide vähene koormatus. Standardi EVS-EN 50160:2010 järgi ei tohi toitepinge aeglased muutused ületada  $\pm 10\%$  nimipingest [11]. Elektrilevis järgitakse head tava, mille puhul uue võrgu pingekadu ei ületa 5% ja olemasoleva võrgu puhul ei tohi pingekadu ületada 10%. Nagu näha, siis olemasolevas võrgus pingekaoga probleeme ei ole, need jäävad kõikides liinilõikudes alla 1 %-i. Nende andmete põhjal on tegelikult hetkel võrgu läbilaskevõime 6 kV pingel piisav ning vaba võimsust jätkuks veel mitme uue tarbija liitumiseks antud võrku. Tabelis 4.9 näidatud maksimaalse koormuse aja on programm leidnud koormuse poolt tarbitud energia ja tippkoormuse kaudu. Tabelist 4.10 selgub, et summaarne aastane aktiivenergiakadu maksimaalse koormuse juures on ligi 19900 kWh ning Elektrilevi kaotab sellega iga-aastaselt ligikaudu 795 €. See ei pruugi esialgu tunduda suure summana, kuid kui oletada, et selline on Ranna piirkonnaalajaama iga 6 kV fiidri kao keskmine maksumus aastas, siis umbes 40 fiidri kohta, mis selles piirkonnaalajaamas töös on, on kao maksumuseks ligikaudu 31 000 €.



## **5 JAOTUSALAJAAMA NR 5 JA SELLE TOITEL OLEVATE ALAJAAMADE PINGESÜSTEEMI MUUTMINE**

Käesolevas peatükis kirjeldatakse, milliste põhimõtete järgi ning kuidas lõputöös vaadeldavad alajaamad 10 kV pingesüsteemile üle viiakse, milliseks muutuvad selle tulemusel võrgu parameetrid, kui palju konkreetne investering hinnanguliselt maksma läheb ning milliseid töid selleks on vaja teha. Geodeetilisi teostusjooniseid olemasolevatest kaablitest ei ole võimalik lõputöö avalikkuse tõttu töösse lisada. Lisaks ei lahendata antud lõputöö mahus tehnilise lahendusega alajaamade madalpingeseadmete rekonstrueerimist ning olemasolevate vanapinge klientide elektrivarustuse taastamist.

### **5.1 Pingesüsteemi muutmise tehnilise lahenduse koostamine**

Pingesüsteemi muutmise investeeringu tehnilise lahenduse koostamisel peab alguses leidma majanduslikult kõige mõistlikumad variandid. Kuna olemasoleva võrgu koormus ei ole suur, siis ei oleks mõistlik hakata ehitama uusi liine Ranna piirkonnaalajaamast. Kuigi PAJ Ranna ja JAJ 5 vaheliste liinilõikude eluiga ei ole veel ületatud, siis 4 aasta pärast saab sellel liinilõigul olevate 1979. aastal paigaldatud ning ligi 400 meetrit pikkade ASB-10 3x240 kaablite eluiga täis, seega ei ole otstarbekas neid töösse jätta. Seega peab üritama nendel kahel põhjusel leida lahenduse koostamisel lähedalasuvaid 10 kV võrkusid, mille toitele oleks võimalik vaatluse all olevad alajaamad võtta. Teiseks on Elektrilevi eesmärk jaotusalajaamade osakaalu võrgus vähendada, seega peab JAJ 5 muutuma läbijooksvaks alajaamaks. Sellega seoses kaotab see jaotusalajaama nimetuse ning edaspidi nimetatakse seda alajaam nr 5-ks.

Lõputöö autor on leidnud lahendused vaadeldavate alajaamade 10 kV võrguga ühendamiseks iseseisvalt, otsustanud alajaamade seadmete vahetamise vajalikkuse üle, arvutanud võrgu parameetrid ning need üldplaneerijaga kooskõlastanud.

Uute 3x120 mm<sup>2</sup>, 3x240 mm<sup>2</sup> ja 3x300 mm<sup>2</sup> ristlõigetega kaablite planeerimisel peab kasutama ainult kaablit AHXAMK-W, sest see omab Elektrilevi OÜ poolset heakskiidutunnistust (lisa 14). Kõik uued kaablid tuleb planeerida perspektiivset koormuse suurenemist silmas pidades 3x240 mm<sup>2</sup> ristlõikega.

### 5.1.1 Alajaamade 310, 405 ja 184 pingesüsteemi muutmine

Esmalt on mõistlik vaadelda Pärnu mnt ja Kaarli pst tänavatega piirnevaid alajaamasid 310, 184 ja 405. Alajaama 310 toitekaabel on kõige pikemas lõigus 85 aastat vana ja alajaama 405 toitekaabli eluiga saab täis ühe aasta pärast. Lisaks koosnevad nende toitekaablite liinilõigud 6 kV nimipingega kaablitest, seega neid liinilõikusid ei ole uue lahendusega võimalik kasutada. Pärnu mnt ja Estonia pst all reservtorusid ei ole, seega ei oleks majanduslikult otstarbekas olemasolevate kaablitega samas trassis uusi kaableid ehitada. Joonisel 4.1 nähtav maakaablite pakett, mis kulgeb mööda Kaarli puiesteed ja üle Vabaduse väljaku, saab alguse Tõnismäe 110/10 piirkonnaalajaamast. Kuna Vabaduse väljaku ja Kaarli puiestee all on kaablikanaliseerimine ning kaevetöid peaks teostama minimaalselt (Kaarli pst ja Roosikrantsi tn algusest kuni AJ 405-ni), siis oleks mõistlik nendele alajaamadele 10 kV toide võtta sisselõikega ühte neist kaablitest. Alajaama 405 II sektsioon saab toite alajaamast 4524 ja alajaama 310 kaudu toidetakse alajaama 184. Kõikide alajaamade vahel on vähemalt 10 kV nimipingega kaabel AHXAMK-W 3x240+35Cu, seega tuleb ka need viia 10 kV pingesüsteemile. Kuigi ka alajaamade 310 ja 1450 vahel on üks reservtoiteliin, tuleb see kaabel tööst välja ning uuega seda ei asendata, sest AJ 1450 viiakse 10 kV pingesüsteemile piirkonnaalajaama Kesk likvideerimise projektiga.

Lisadest 3-5 on näha, et alajaamades 310 ja 184 on madalpinge sektsioonide vahel RLA ning alajaamas 405 on kliendil keskpinge liitumine (trafod kuuluvad kliendile), seega tuleb uue lahendusega tagada nende alajaamade mõlema sektsiooni toide piirkonnaalajaama erinevatelt sektsioonidelt, et ühe sektsiooni rikke tõttu oleks võimalik lülitada alajaamad teise sektsiooni toitele.

Reservlülituse eesmärk on toite taastamine automaatselt pärast ühe toiteallika väljalülitumist mistahes põhjusel reservtoite sisselülitamise teel. Reservtoite sisselülitamise käsu annab töötoite võimsuslülitite automatika oma abikontakti kaudu. [15] Reservlülitusautomaat peab rakenduma kiiresti peale pinge kadumist toiteallikast. Arvestama peab sellega, et momentselt ei tohi ümberlülitamist teostada lühiajaliste pingelohkude puhul. RLA ei tohi rakenduda, kui sektsioonil on lühis. [16]

Pidades silmas ülal nimetatud asjaolusid, selgub kiirteskeemi vaadates, mis asub lisas 16, et kui teha Vabaduse väljaku kaablitunnelis sisselõige alajaamade 5930 ja 1378 vahelisse kaablistesse, ühte otsa pikendada AJ 405-ni ning teist otsa 4524-ni ja likvideerida lahutuskoht AJ 1378 KP sektsioonide vahel, on võimalik tekitada uus ringtoiteskeem, kus alajaama 405 mõlemad sektsioonid saavad toite piirkonnaalajaama erinevate

seksioonide fiidritelt. Seejärel peab planeerima uued kaabelliinid AJ 405-e mõlemast seksioonist AJ 310-ni. Kuna selles vahemikus reservtorud puuduvad, tuleb tööde mahtu arvestada terves ulatuses kaevamine.

Alajaamas 310 on hetkel vana 6 kV keskpingejaotla, seega tuleb see asendada. Uue jaotla seade peab olema kahe seksiooniga, et oleks võimalik tekitada lahuskoht ning mõlemas seksioonis peab olema neli lüliti: 1 trafole, 1 seksioonidevaheline lüliti, 1 siseneva liini lüliti ja 1 väljuva liini lüliti. Seadmete skeemi valikul peab lähtuma Elektrilevi dokumendist P358 „Nõuded komplektalajaamadele, jaotuspunktile ja madalpingeseadmetele“. Samuti peab uus jaotla olema automatiseeritud, sest selle alajaama toitel on olulise prioriteediga klient. Uute seadmete skeem on näha lisa 3. Sellega on ilma ulatuslike töödeta 10 kV pingesüsteemile üle viidud ka alajaam 184.

Alajaamas 405 tuleb paigaldada uus keskpinge jaotla. Uus jaotla peab olema kahe seksiooniga ning mõlemas seksioonis peab olema neli lüliti nagu alajaamas 310. Uute seadmete skeem on toodud lisa 4.

Kuna alajaamades 4524 ja 184 on juba 10 kV nimipingega keskpinge jaotla seadmed, siis nendes alajaamades neid ei ole vaja asendada, vt lisa 5 ja 11.

Igas nimetatud alajaamas on vaja asendada trafo sama võimsusega, kuid vastavalt planeerimise põhimõtetele kahe ülempingemähisega trafoga. Kõikide rekonstrueeritavate alajaamade uute trafode info on näidatud tabelis 5.2.

### **5.1.2 Alajaama nr 5 ja selle toitel olevate alajaamade pingeklassi muutmine**

Järgnevalt tulevad vaatluse alla AJ nr 5 ja selle toitel olevad alajaamad. Kuna alajaamadele 310, 405 ja 184 on uus lahendus koostatud, siis need jäävad edaspidi AJ 5 toitepiirkonnast välja. Alles on jäänud alajaamad 5, 1480, 1572, 1141, 1642, 423, 137, 130, tarbija1 ja tarbija6.

Tallinnas 10.01.2018 kehtestatud detailplaneeringu DP023450 järgi ühendatakse alajaama nr 1480 madalpinge tarbijad jaotusalajaama nr. 5 toitele peale aj 5-e renoveerimist ning aj 1480 kuulub likvideerimisele [19]. Seega AJ 1480-te ei ole vaja rekonstrueerida, selle toiteliin tuleb viia tööst välja ning AJ 5-te paigaldada MP klientide toiteks sama võimsusega trafod, mis AJ 1480-s hetkel käidus on. Peatüki alguses

selgitati, et PAJ Ranna ja AJ 5 vahelisi kaableid ei ole enam otstarbekas töös hoida. Alajaam 205 on 10 kV toitel ning selle mõlemas sektsioonis on üks vaba fiider. Tabeli 4.1 järgi on AJ 5 ja AJ 205 vaheline kaabel 3x240 mm<sup>2</sup> ristlõikega ning sellel on veel 7 aastat eluiga. Seega on võimalik terve AJ 5 toitepiirkonna pingesüsteem 10 kV-le üle viia ühendades antud kaabli AJ 205 6 kV jaotlast 10 kV jaotla vabale fiidril. Nimetatud kaabli võib ühendada AJ 205 esimesse sektsiooni, mis omakorda saab toite Tõnismäe piirkonnaalajaamast läbi alajaama 1169, vt lisa 16.

Kuna lülitid, voolutrafod, vankrid jm seadmed on alajaamas nr 5 suhteliselt uued, paigaldatud vahemikus 2005 – 2014, ning see alajaam on automatiseeritud, siis uut jaotlat sellesse alajaama ei ole vaja paigaldada.

Kiirteskeemi järgi sai AJ 1572 toite AJ 1480-st. Nüüd oleks mõistlik see alajaam ühendada AJ 5 toitele. Kuna liinilõik AJ 1480 ja 1572 vahel, mis kulgeb üle Estonia pst, koosneb 1938. aastal paigaldatud SB-6 3x150 kaablist, siis tuleb see tööst välja viia ning ehitada uus 20 kV nimipingega AHXAMK-W 3x240+35Cu kaabelliin AJ 5-st kuni Estonia pst ja Kentmanni tn ristini, kus see olemasoleva 1998. aastal paigaldatud 10 kV nimipingega AHXAMK-W 3x240+35Cu kaabliga kokku muhitakse. Kuna reservtorud puuduvad, tuleb uus kaabel Estonia pst alt paigaldada kinnisel meetodil. Tööst välja viidud kaablilõigud jäävad maha. Alajaamas 1572 keskpinge jaotlat uuega ei ole vaja asendada.

Alajaamade 1572 ja 1141 vahelises liinilõigus peab paigaldama SB-6 3x150 ja AXCEL 3x185 kaablite asemele uue kaabli. Põhjus on selles, et SB-6 3x150 on oma eluea ületanud ning AXCEL 3x185 piirab oma ristlõikepindala tõttu võrgu läbilaskevõimet. Samuti ei ole vaja vahetada alajaamas 1141 keskpinge jaotla seadmeid, vaid kasutatakse olemasolevaid. Ka alajaamade 1141 ja 423 vahelises liinilõigus tuleb asendada olemasolevad SB-6 3x150 ja AXCEL 3x185 kaablid uue AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV kaabliga samadel põhjustel, nagu 1572 ja 1141 alajaamade vahel. Kõik asendatavad kaablid alates alajaamast 1572 kuni alajaamani 423 on mõistlik paigaldada olemasolevatega samas trassis ning eelistatud paigaldusviis mööda Estonia pst ja Tatari tn on paigaldamine kaeve teel. Alajaamas 423 on vaja keskpinge jaotla asendada uue, 3+3 lülitite konfiguratsiooniga seadmetega.

Et tagada ringtoite konfiguratsiooniga võrk, siis tuleb leida kõige mõistlikum võimalus, kuidas sama piirkonnaalajaama erinevalt sektsioonilt või teisest piirkonnaalajaamast vaadeldavat võrku reserveerida. Lisas 1 olevalt kiirteskeemilt on näha, et alajaamani 1672 on ehitatud kaabel otse Ranna piirkonnaalajaamast. Kuna selle kaabli ja alajaama

1642 kaudu saavad toite ka PAJ Veerenni 6 kV fiidri toitepiirkonnas olevad alajaamad, siis AJ 1642-te 10 kV pingele üle viia ei saa. Nimetatud liin on umbes 1 km pikk ning ehitatud 2010 aastal AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV kaabliga. See tuleb alajaamas 1642 lahti ühendada, kokku muhvida AJ 423 ja 1642 vahelise kaabliga ning ühendada Ranna piirkonnaalajaamas 10 kV sektsiooni toitele. Kuna alajaam nr 5 on automatiseeritud ning seal on sektsioonide vahel RLA, siis kulude kokkuhoiu huvides lahutuskoht jäetaksegi sellesse alajaama. Seega jäi Tõnismäe piirkonnaalajaama toitele alajaama 5 II sektsioon ning Ranna piirkonnaalajaama 10 kV fiidri toitele alajaamad 1572, 1141, 423 ja AJ 5 I sektsioon, vt lisa 17.

Ligikaudu 2,6 km pikk kaabelliin, mis lisas 1 näidatud kiirteskeemil kulgeb AJ 5 ja AJ tarbija6 vahel, reserveerib alajaama tarbija6 ning see on mõistlik tööst välja viia. Selle alajaama ringtoite taastamise lahendust antud töös ei käsitleta.

Alajaama tarbija1 elektrivarustuse taastamiseks peab selle alajaama kaabli alajaamas 205 ümber tõstma teise sektsiooni vabale fiidrile, mis saab toite Elektriijaama piirkonnaalajaamast läbi alajaama 1169. Et nimetatud alajaamas tagada ringvõrgu skeem, peab teise sektsiooni samuti 10 kV pingele üle viima. 6 kV võrgus toidetakse selle alajaama teist sektsiooni alajaamast 97, mis omakorda saab toite jaotusalajaamast nr 32. Kuna AJ 97-le asub väga lähedal 10 kV jaotusalajaam nr 1169 ning AJ 5 6 kV toitepiirkonnas olnud alajaam 137, millele veel pingeklassi muutmise lahendust ei ole koostatud, siis on kõik kolm alajaama võimalik sama lahendusega üle 10 kV pingele. Ringtoite tagamiseks tuleb planeerida alajaama 1169 mõlema sektsiooni vabalt fiidrilt uued kaablid alajaamani 97. Kuna sellel lõigul on teostusjoonise järgi reservtorusid, siis saab need kaablid ehitada minimaalsete kuludega. Alajaam 97 tuleb rekonstrueerida: olemasolev keskpinge jaotla asendada uute automatiseeritud seadmetega ning sektsioonile näha ette lahutuskoht. Samuti peab lahti ühendama jaotusalajaama 32 suunduvad kaablid, sest see jaotusalajaam on 6 kV pingel.

Alajaama 137 pingeklassi muutmiseks tuleb planeerida uued 3x240 mm<sup>2</sup> ristlõikega maakaablid alajaama 97 mõlemast sektsioonist. Kuna selles lõigus torud puuduvad, tuleb uued kaablid paigaldada kaevamise teel. Samuti peab selles alajaamas asendama keskpinge jaotla ning sektsioonide vahele tekitama lahutuskoha.

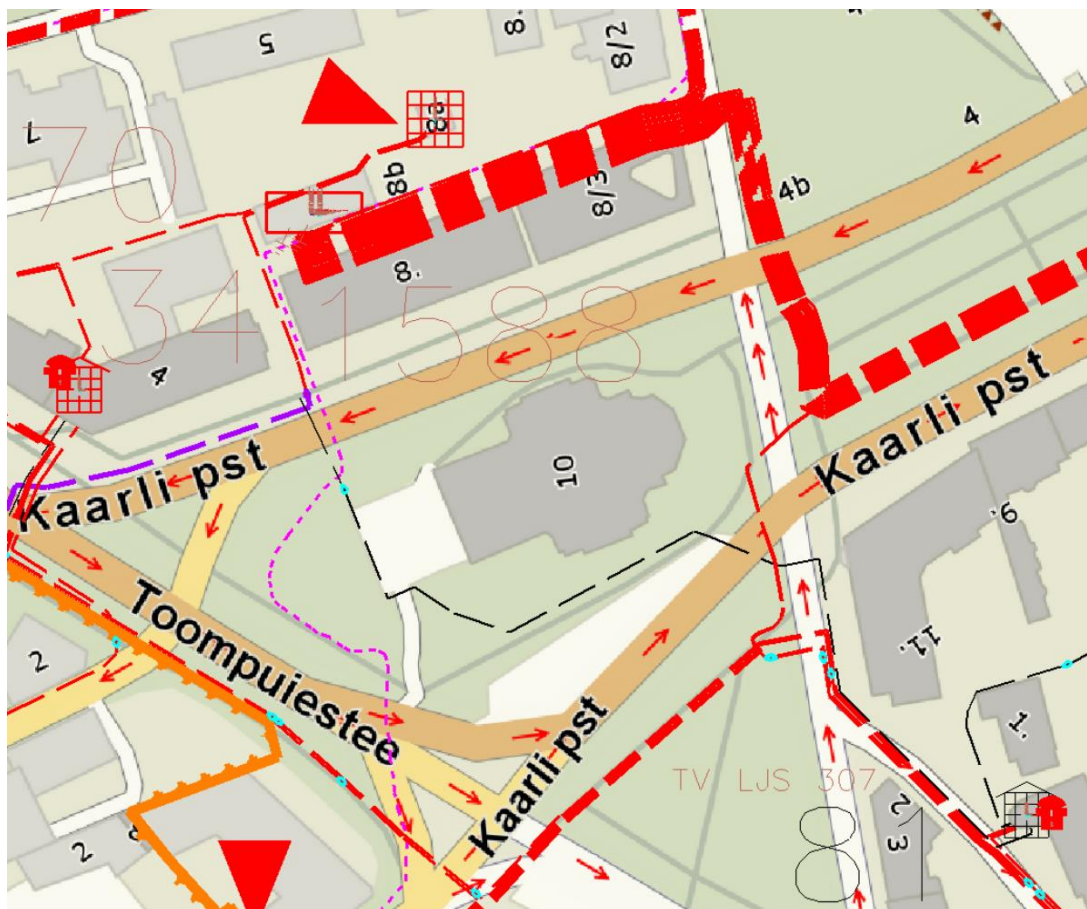
Kuna tarbija1 alajaama üks sektsioon saab toite läbi alajaama 205 Elektriijaama piirkonnaalajaamast, siis alajaamas 137 on tarbija1 kaabel vaja ühendada sektsioonile, mis saab toite Tõnismäe piirkonnaalajaamast. Kuna tarbija1 alajaam ei kuulu Elektrilevile, siis selle seadmeid ega trafosid ELV oma kuludega ei asenda.

Kõikide alajaamade keskpinge seadmete skeemid on näidatud lisades 2-13. Kiirteskeem uue planeeritud lahendusega on lisas 17.

## 5.2 6 kV võrgu säilitamiseks vajalikud tööd

Lõputöös vaadeldavas võrgus on alajaamasid, mida 10 kV pingesüsteemile üle ei viida või mille ringtoite taastamiseks on vaja ehitada uus 6 kV kaabelliin.

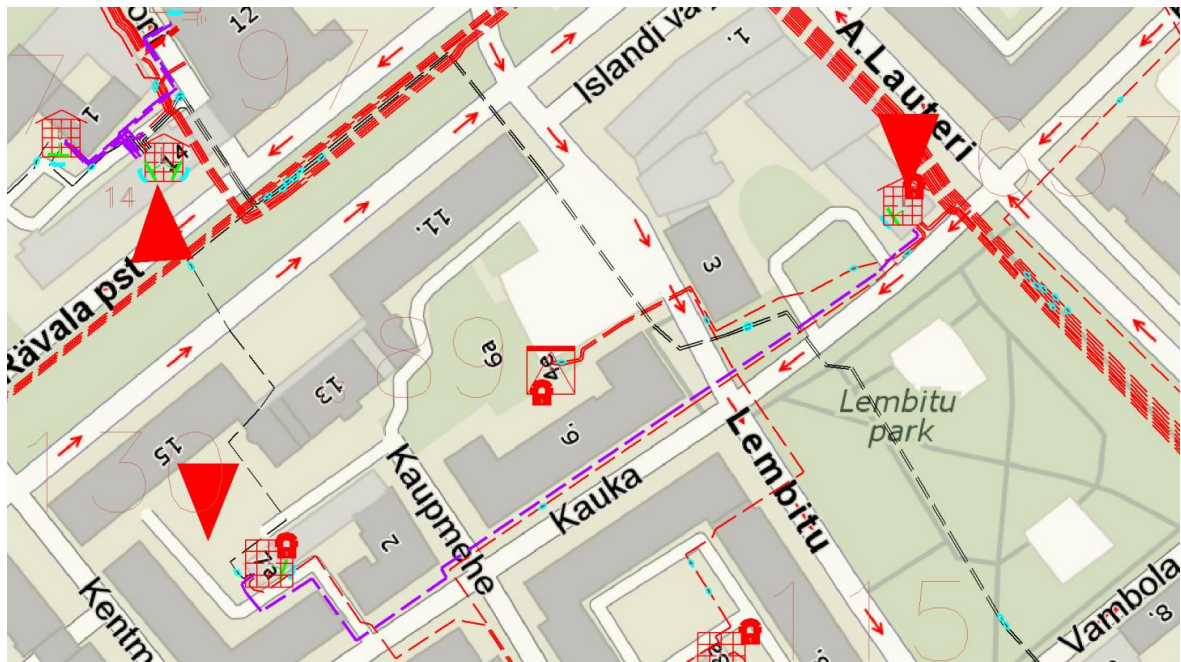
Pärast alajaama 4524 pingeklassi muutmist on kavas likvideerida 6/0,23 kV alajaam 81. Kuna alajaamast 81 saab toite Tõnismäe PAJ kõrval olev AJ 1588 I sektsioon, siis tuleb see kaabel mõne teise töös oleva 6 kV kaabliga kokku ühendada. Tõnismäe PAJ juures peab tegema sellele kaablile sisselõike, seda pikendama mööda Kaarli pst alajaamani 34, alajaamas 34 ühendama lahti AJ 241-st tuleva kaabli ning uue kaabli sellega kokku muhvima. Seejärel jääb AJ 1588 Endla PAJ toitepiirkonda. Joonisel 5.1 on mustaga märgitud tööst välja viidav kaabel ning mööda Kaarli pst lillaga uus planeeritav kaabel.



Joonis 5.1 Alajaama 1588 esimese sektsiooni toite taastamine

Samuti peab 6 kV pingesüsteemile jääma AJ 1642 ja selle toitepiirkond. Kuna Ranna PAJ-st 1642 alajaama siseneva kaabli peab lahti ühendama, tuleb selle alajaama ees teha sisselõige AJ 1450 ja Kesk 35/6 PAJ vahelisele kaablile ning mõlemad otsad ühendama alajaama 1642. Nii säilib alajaama 1450 toide ning alajaama 1642 ja selle toitepiirkonna ringvõrgu konfiguratsioon.

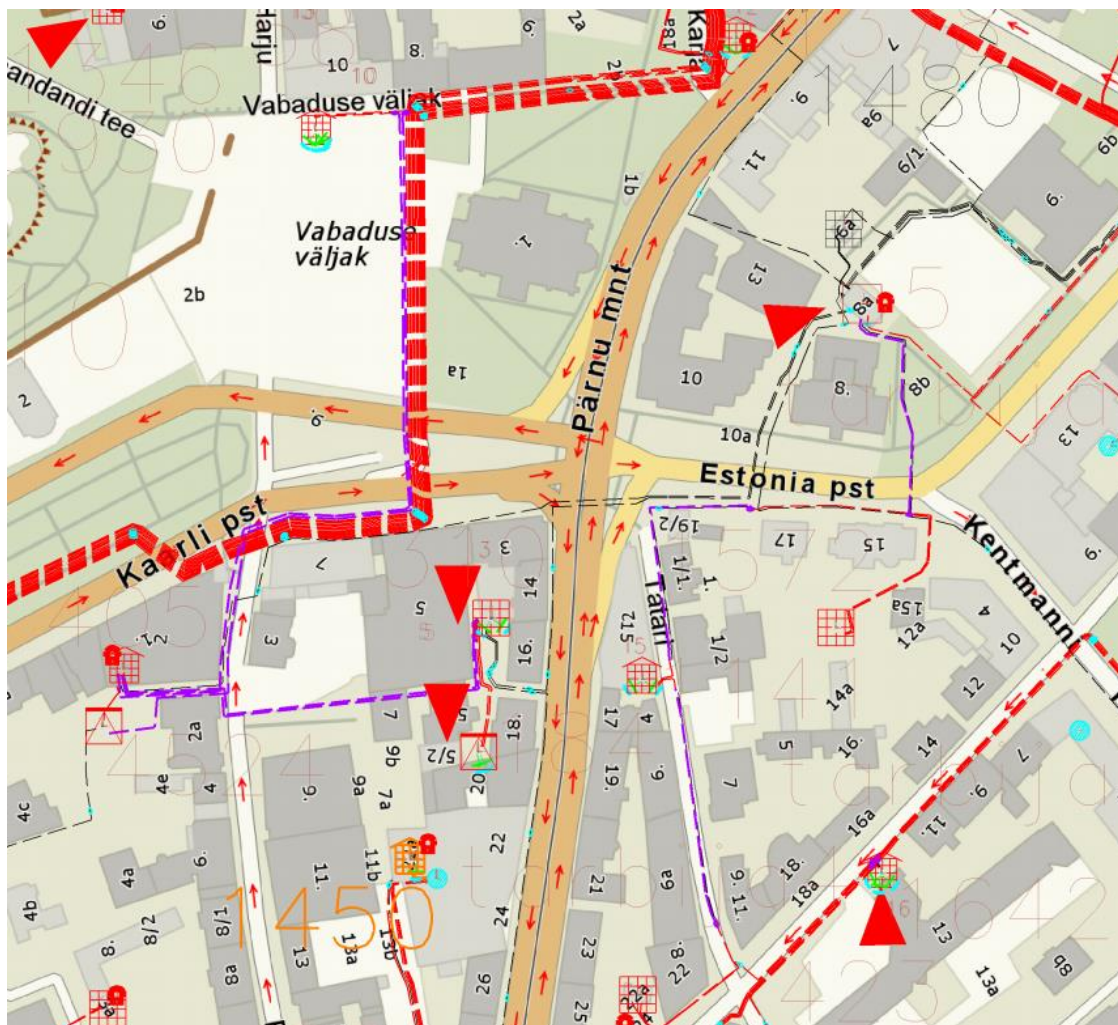
6 kV pingesüsteemile jääb ka alajaam 130, mis muidu kuulus AJ 5-e toitepiirkonda. Selleks tuleb viia alajaamade 137, 97 ja 130 vaheline kaabel tööst välja. Ringtoite taastamiseks on vaja planeerida alajaamani 130 uus maakaabel alates alajaamast 637.



Joonis 5.2 Alajaama 130 reservtoite taastamine

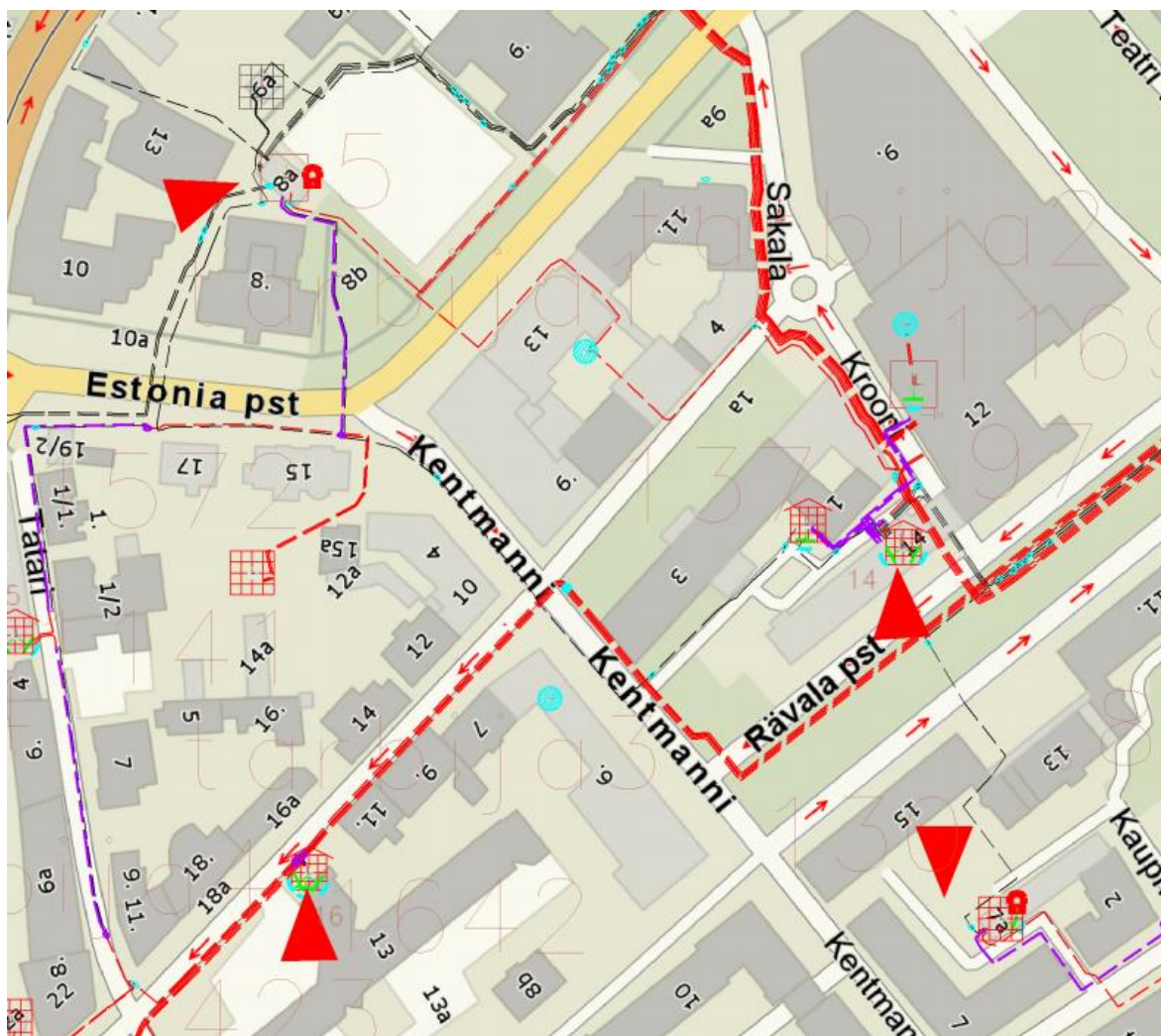
### 5.3 Pingeklassi muutmise tehnilise lahendusega kaasnevate tööde mahud ja investeeringu maksumus

Mahuka võrgu pingeklassi muutmise planeerimisega kaasnevad ka kõrged kulud ja suur tööde maht. Alljärgnevatel joonistel 5.3 ja 5.4 on uue lahenduse võrguvaade, kus kõik lillaga märgitud kaablid on uued ning mustaga on tähistatud kõik liinid ja alajaamad, mis kuuluvad likvideerimisele ja tööst välja viimisele.



Joonis 5.3 Planeeritud lahenduse võrguvaade





Joonis 5.4 Planeeritud lahenduse võrguvaade

Tabelitesse 5.1, 5.2 ja 5.3 on kantud andmed, millised on planeeritud lahendusega alajaamade vahelised liinilõigud ning alajaamades kasutusel olevad trafod ning keskpinge seadmed.

Tabel 5.1 Alajaamade vaheliste liinilõikude andmed

Alajaamad	Liinilõikude arv	Kaabli mark	Pikkus, m	Paigaldamise aasta
Tõnismäe IIs – JAJ 1019 IIs	1	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	2010
5930 IIs – 405 Is	1 2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	33 332	2009 2020
405 Is – 310 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	2020
310 Is – 184 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	2010
Tõnismäe Is – JAJ 1019 Is	1	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	2010
1378 IIs – 4524 Is	1 2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	2009 2020
4524 IIs – 405 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	20	2005

Tabel 5.1 järg

Alajaamad	Liinilõikude arv	Kaabli mark	Pikkus, m	Paigaldamise aasta
405 IIs – 310 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	2020
310 IIs – 184 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	2005
Ranna 10 kVf – 423 IIs	1 2 3	ASB-10 3x240 AHXCMK 3x240 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	74 58 1017	1999 2002 2010
423 Is – 1141 Is	1 2	AHXCMK 3x240 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	75 93	2002 2020
1141 IIs – 1572 IIs	1 2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	130 114	1998 2020
1572 Is – 5 Is	1 2	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	73 90	1998 2020
Tõnismäe Is – JAJ 1169 Is	1	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	2009
205 Is - 5 IIs	1	ASB-10 3x240	260	1983
1169 Is - 97 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	2020
97 Is - 137 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	2020
137 IIs – tarbija1 IIs	1 2	AAB-10 3x120 AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	96 28	1993 2020
Elektrijaama IIs – 1169 IIs	1	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	2009
205 IIs - tarbija1 Is	1	AAB-10 3x120	312	1993
1169 IIs – 97 IIs	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	2020
97 IIs – 137 Is	1	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	2020

Tabelis 5.1 kaldkirjas olevad alajaamad ja kaablite andmed näitavad, millisest piirkonnaalajaamast ja jaotusalajaamast tabelis alumistele positsioonidele jäävad alajaamad toite saavad. Kõikide uute planeeritud liinilõikude kaablid, pikkused ja paigaldamise (planeerimise) aasta on tabelis 5.1 punaseks värvitud. Tõnismäe piirkonnaalajaamast jaotusalajaamadesse 1019 ja 1169 kulgevad suurema läbilaskevõime tagamiseks kaks rööbiti ühendatud AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV kaablit. Ka Elektrijaama piirkonnaalajaamast jaotusalajaama 1169 suunduvad rööbiti ühendatud kaablid.

Sellest tabelist järeldub, et vaadeldavas võrgupiirkonnas ei ole enam kaablite ristlõigete rohkust, ülekaalus on 3x240 mm<sup>2</sup> ristlõikega kaablid, 3x120 mm<sup>2</sup> ristlõikega on ainult tarbija1 alajaama toitekaablid. Samuti on olnud võimalik tööst välja viia väga suur osa paber-öliisolatsiooniga kaableid, neid jäi võrku varasema 5689 meetri asemel 668 meetrit. Kokku saab viia tööst välja umbes 6 km erinevaid maakaableid. Vaadeldava võrgu liinilõikude kogupikkus on 4105 meetrit (mitte arvestades Tõnismäe ja Elektrijaama piirkonnaalajaamade ja jaotusalajaamade vahelisi liine).

Tabel 5.2 Vaadeldavatesse alajaamadesse planeeritud uued trafod

Alajaam	Trafo			
	Nimipinged, kV	Võimsus, kVA	Arv	Paigaldamise aasta
5	6,3/0,23 ja 10,5(21,0)/0,41	320/630 2 tk	3	1960/2020
310	10,5(21,0)/0,41	630	2	2020
tarbija6	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub			
405	10,5(21,0)/0,41	800	2	2020
137	10,5(21,0)/0,41	800	2	2020
184	10,5/0,41	1000	2	2020
1572	10,5/0,41	1000	2	2020
1141	10,5(21,0)/0,41	800	2	2020
423	10,5(21,0)/0,41	630	2	2020
97	10,5(21,0)/0,41	250	2	2020
4524	10,5(21,0)/0,41	400	2	2020
tarbija1	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub			

Tabel 5.3 Vaadeldavatesse alajaamadesse planeeritud keskpinge jaotla seadmed

Alajaam	Keskpinge jaotla				
	VL arv sektsoonides	KOL arv sektsoonides	Sektsoonide vaheline lüliti	Nimipinge, kV	Paigaldamise aasta
5	6+6	2+1	VL	Lülitid – 10	1934
310	2+2	1+1	KOL+VL	24	2020
tarbija6	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub				
405	1+1	2+2	KOL+KOL	24	2020
137	1+1	2+2	KOL+KOL	24	2020
184	1+1	1+1	KOL+KOL	10	2005
1572	0	2+2	KOL	10	1998
1141	1+1	1+1	KOL+KOL	10	1998
423	1+1	1+1	KOL+KOL	24	2020
97	2+2	1+1	KOL+VL	24	2020
4524	1+1	2+2	KOL+KOL	10	2002
tarbija1	Kliendile kuuluv alajaam, info puudub				

Tabelitest 5.2 ja 5.3 on näha, et igas alajaamas tuleb vahetada trafo. Tabelites on uute trafode ja seadmete paigaldamise aasta puhul silmas peetud selle planeerimise aastat. Vastavalt planeerimise põhimõtetele paigaldatakse uued trafod kahe ülepingemähisega, välja arvatud 1000 kVA võimsusega trafod. Lisaks asendatakse viies alajaamas jaotusseadmed. Kõik uued seadmed on valitud kehtivate nõuete ja raamlepingu järgi, uute jaotusseadmete nimipinge on 24 kV, mis muudab tulevikus ülemineku 20 kV pingesüsteemile lihtsamaks ja odavamaks. Alajaamas 405 ei kuulu küll trafod Elektrilevile, kuid klient peab need siiski ära vahetama, seega eeldatakse, et ka selles alajaamas on uued trafod, kuid kuludesse neid ei arvestata.

Tabelisse 5.4 on välja toodud uue lahenduse realiseerimiseks vajalike seadmete ja kaablite hulk, töövõtja hind ning materjali hind. Kõik hinnad vastavad kehtivatele raamlepingutele. Kuna raamlepingud on konfidentsiaalsed, siis on kõiki hindasid vähesel määral ümardatud.

Tabel 5.4 Tööde mahud ning neile vastavad hinnad

<b>Nimetus</b>	<b>Kogus, jm/tk</b>	<b>Töövõtja hind, €</b>	<b>Materjali hind, €</b>	<b>Hind kokku, €</b>
Projekteerimine	1	20000	0	20000
Kaablikaitsetoru	1370	1	4	6850
Kaeviku rajamine ja katete taastamine	950	100	0	95000
Surumine kinnisel meetodil	45	140	0	6300
Paigaldus olemasolevasse torusse	550	5	0	2750
Keskpinge otsamuhv	63	390	420	51030
Maakaabel 120 mm <sup>2</sup> KP	130	4	12	2080
Maakaabel 240 mm <sup>2</sup> KP	1800	4	16	36000
Keskpinge jätkumuhv	12	460	420	10560
Jaotusseade 3+3	1	600	11700	12300
Jaotusseade 4+4	2	650	14600	30500
Jaotusseade 4+4, automatiseeritud	2	900	56000	113800
Trafo 250 kVA	2	620	4800	10840
Trafo 400 kVA	2	620	5800	12840
Trafo 630 kVA	6	670	7200	47220
Trafo 800 kVA	4	670	8400	36280
Trafo 1000 kVA	4	720	9300	40080
Kioskalajaama demontaaž	1	1300	0	1300
Trafo demontaaž	20	550	0	11000
SUMMA				546730

Ülalolevast tabelist selgub, et pingeklassi muutmise lahenduse realiseerimine on üsna kulukas – ligi 550 000 €. Kõige kallimad on automatiseeritud keskpinge jaotusseadmed ning kaeve- ja taastamistööd. Projekteerimise maksumus leitakse ligikaudselt, tavaliselt on see 4-5% kõikide tööde hinnast. Kuna tegu on tiheda varustuskindluse piirkonnaga, tuleb kõik kaablid paigaldada torusse, mille hind kogu maksumuse juures on üsna tühine. Uusi kaableid tuleb ehitada umbes 1,9 km ulatuses. Tööde mahtudes ja lõppsummas sisalduvad ka 6 kV võrgu säilitamiseks vajalikud tööd. Reaalne maksumus kallineb, sest lõputöö raames ei lahendatud alajaamade madalpinge seadmete rekonstrueerimist.

Selliste mahukate keskpingevõrgu rekonstrueerimise tööde teostamine Tallinnas on kallis. Olemasoleva lahendusega ei arvestata piirkonna arengu perspektiivi – kuigi kõik

uued paigaldatavad kaablid on 20 kV nimipingega, oleks mõistlik rajada ka kaablikanaliseerimise silmas pidades koormuste suurenemist, sellega kaasnevate uute alajaamade ja nende toiteks vajalike kaablite jaoks. Hajaasustusega piirkonnas, kus on radiaalvõrgu konfiguratsioon, leebemad nõuded klientide varustuskindlusele ning õhuliinivõrk, oleks sarnase investeeringu maksumus tõenäoliselt väga palju odavam.

## 5.4 Võrgu parameetrite arvutamine 10 kV pingesüsteemiga võrgus

Esmalt vaadeldakse kaablite läbilaskevõime suurenemist. Lähtudes valemist (4.2), arvutatakse vaadeldavasse võrku alles jäänud kaablite läbilaskevõime torusse paigaldatuna 10 kV pingel. Näiteks on tabeli 4.6 järgi kaabli AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV maksimaalne koormusvool torus 308 A. Leian selle kaabli läbilaskevõime 10 kV pingel:

$$P = \sqrt{3} * 10 * 308 * 1 = 5334,72 \text{ kW}$$

Samadel põhimõtetel on leitud ka kaablite AHXCMK 3x240 10 kV, ASB-10 3x240 ja AAB-10 3x120 läbilaskevõime 10 kV pingel. Tulemused koos 6 kV läbilaskevõimega on kantud allolevasse tabelisse 5.5.

Tabel 5.5 Kaablite läbilaskevõime võrdlus

Kaabli mark	Läbilaskevõime – 6 kV, kW	Läbilaskevõime – 10 kV, kW
AHXAMK-W 3x240+35Cu 10kV/24kV	3200,83	5334,72
AHXCMK 3x240 10 kV	3325,54	5542,56
ASB-10 3x240	2610,55	4347,45
AAB-10 3x120	1812,42	3020,70

Tabelist selgub, et kõikide kaablite läbilaskevõime on 10 kV pingega üle 60% algsest läbilaskevõimest suurem. Tegelik läbilaskevõime on kaablitel natuke väiksem, sest enamik neist asuvad torupakettides üksteise kõrval, mis maksimaalset koormusvoolu vähendab.

Kui uus lahendus on koostatud, tuleb arvutada, kas olemasoleva 10 kV võrgu läbilaskevõime on piisav lisanduvale koormusele. Arvutustulemustes vaadeldakse ainult

Tõnismäe ja Elektriijaama piirkonnaalajaamade fiidrite toitepiirkonda lisandunud võrgu parameetreid, et neid oleks võimalik võrrelda võrgu eelneva konfiguratsiooniga, kui see töötas 6 kV pingesüsteemil. Kõik arvutused on tehtud täpselt samadel põhimõtetel nagu peatükis 4.3 ning võrreldakse samu parameetreid, mis arvutati peatükis 4.3. Trimble NIS koostab olemasolevaid tarbimisandmeid kasutades võrgumudeli uues kõrgema pingeklassiga süsteemis, mille järgi leitakse liinide koormused.

Tabelitesse 5.6, 5.7, 5.8 ja 5.9 on kantud liinilõikude maksimaalne aktiivvõimsuse suurus, aktiivvõimsuskadu, koormusvool, pingekadu, maksimaalse koormuse kestus, kaoaeg, aastane aktiivenergiakadu ja kao maksumus. Arvutuspingeks piirkonnaalajaama lattidel on valitud 10,6 kV, mille suhtes on leitud ka pingekaod sõlmedes. Võimsuskadude leidmisel ei võeta arvesse piirkonnaalajaama trafode kadusid.

Tabel 5.6 Liinilõikude maksimaalne koormus ja aktiivvõimsuskaod

<b>Alajaamad</b>	<b>Kaabli mark</b>	<b>Pikkus, m</b>	<b>Aktiivvõimsus, kW</b>	<b>Aktiivvõimsuskadu, kW</b>
<i>Tõnismäe IIs - JAJ 1019 IIs</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1007</i>	<i>5857,4</i>	<i>19,708</i>
5930 IIs - 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	33 <u>332</u>	572,3 572,3	0,01 0,107
405 Is - 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	443,7	0,017
310 Is - 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	383,6	0,004
<i>Tõnismäe Is - JAJ 1019 Is</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1007</i>	<i>5492</i>	<i>17,382</i>
1378 IIs - 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	597,2 572,3	0,053 0,136
4524 IIs - 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	20	388,7	0,003
405 IIs - 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	278,4	0,007
310 IIs - 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	210,5	0,003
<i>Ranna 10kVf - 423 IIs</i>	<i>ASB-10 3x240 AHXCMK 3x240 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV</i>	<i>74 58 1017</i>	<i>1109,6 1109,6 1110,8</i>	<i>0,105 0,083 1,439</i>
423 Is - 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXCMK 3x240 10 kV	75 93	760,2 760,2	0,067 0,049
1141 IIs - 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	138 114	519,4 519,4	0,042 0,035
1572 Is - JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	73 90	187,3 187,3	0,002 0,002
<i>Tõnismäe Is - 1169 Is</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1220</i>	<i>1633,7</i>	<i>1,236</i>
205 Is - 5 IIs	ASB-10 3x240	260	343,6	0,033
1169 Is - 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	718,7	0,026
97 Is - 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	601,8	0,01
137 IIs - tarbija1 IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AAB-10 3x120	96 28	481,4 481,4	0,012 0,071
<i>Elektrijaama IIs - 1169 IIs</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1220</i>	<i>1222</i>	<i>2,608</i>
205 IIs - tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	720,4	0,303
1169 IIs - 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	137,6	0,002
97 IIs - 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	73,4	0,002

Tabel 5.7 Liinilõikude maksimaalne koormus ning selle kestus

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Aktiivvõimsus, kW	Max koormuse aeg, h
Tõnismäe IIs – JAJ 1019 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	5857,4	2634
5930 IIs – 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	33 332	572,3 572,3	2634 2634
405 Is – 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	433,7	1133
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	383,6	1133
Tõnismäe Is – JAJ 1019 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	5492	2634
1378 IIs – 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	597,2 597,2	2634 2634
4524 IIs – 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	20	388,7	2634
405 IIs – 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	278,4	1133
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	210,5	1133
Ranna 10 kVf – 423 IIs	ASB-10 3x240	74	1109,6	313
	AHXCMK 3x240 10 kV	58	1109,6	313
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	1017	1110,8	313
423 Is – 1141 Is	AHXCMK 3x240 10 kV	75	760,2	313
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	93	760,2	313
1141 IIs – 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	138	519,4	313
	AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV	114	519,4 519,4	313 313
1572 Is – 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	73	187,3	203
	AHXAMK-W 3x240+3Cu 24 kV	90	187,3	203
Tõnismäe Is – JAJ 1169 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	1633,7	3658
205 Is – 5 IIs	ASB-10 3x240	260	343,6	2521
1169 Is – 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	718,7	2521
97 Is – 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	601,8	2521
137 IIs – tarbija1 IIs	AAB-10 3x120	96	481,4	2521
	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	28	481,4	
Elektrijaama IIs – 1169 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	1222	2521
205 IIs – tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	720,4	2521
1169 IIs – 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	137,6	307
97 IIs – 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	73,4	307



Tabel 5.8 Liinilõikude arvutustulemused

<b>Alajaamad</b>	<b>Kaabli mark</b>	<b>Pikkus, m</b>	<b>Koormusvool, A</b>	<b>Pingekadu, %</b>
<i>Tõnismäe IIs - JAJ 1019 IIs</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1007</i>	<i>335,8</i>	<i>0,412</i>
5930 IIs - 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	33 332	32,8	0,526 0,551
405 Is - 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	25,4	0,558
310 Is - 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	21,9	0,56
<i>Tõnismäe Is - JAJ 1019 Is</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1007</i>	<i>314,9</i>	<i>0,383</i>
1378 IIs - 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	34,2	0,457 0,484
4524 IIs - 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	20	22,1	0,432
405 IIs - 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	16,0	0,493
310 IIs - 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	51	12,1	0,494
<i>Ranna 10 kVF - 423 IIs</i>	<i>ASB-10 3x240 AHXCMK 3x240 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV</i>	<i>74 58 1017</i>	<i>63,6</i>	<i>0,172 0,181 0,181</i>
423 Is - 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXCMK 3x240 10 kV	75 93	43,5	0,202 0,193
1141 IIs - 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	138 114	29,8	0,225 0,208
1572 Is - JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	73 90	10,7	0,227 0,226
<i>Tõnismäe Is - 1169 Is</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1220</i>	<i>93,7</i>	<i>0,103</i>
205 Is - 5 IIs	ASB-10 3x240	260	19,7	0,136
1169 Is - 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	41,2	0,111
97 Is - 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	34,2	0,115
137 IIs - tarbija1 IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AAB-10 3x120	96 28	27,6	0,119 0,126
<i>Elektrijaama IIs - 1169 IIs</i>	<i>2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)</i>	<i>1220</i>	<i>70,1</i>	<i>0,148</i>
205 IIs - tarbija1 Is	AAB-10 3x120	312	41,4	0,236
1169 IIs - 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	8	0,154
97 IIs - 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	4,2	0,156

Tabel 5.9 Liinilõikude aktiivenergiakaod ja kadude maksumus

<b>Alajaamad</b>	<b>Kaabli mark</b>	<b>Kaoteg, h</b>	<b>Aktiivenergiakadu, kWh</b>	<b>Kao maksumus, €</b>
<i>Tõnismäe IIs – JAJ 1019 IIs</i>	2  ( <i>AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV</i> )	1314,69	25909,91	1036,40
5930 IIs – 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1137,82	11,38 121,75	0,46 4,87
405 Is – 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	8,39	0,36
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	1,97	0,078
<i>Tõnismäe Is – JAJ 1019 Is</i>	2  ( <i>AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV</i> )	1314,69	22851,94	914,08
1378 IIs – 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1314,69	69,68 178,79	2,41 6,19
4524 IIs – 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	1314,69	2,63	1,05
405 IIs – 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	3,45	0,14
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV	493,29	1,48	0,06
<i>Ranna 10 kVf – 423 IIs</i>	<i>ASB-10 3x240</i> <i>AHXCMK 3x240 10 kV</i> <i>AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV</i>	211,27	22,18 17,53 304,02	0,89 0,70 12,16
423 Is – 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXCMK 3x240 10 kV	211,27	14,16 10,35	0,57 0,41
1141 IIs – 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	211,27	8,87 7,39	0,35 0,30
1572 Is – JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 10 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182,40	0,36 0,36	0,01 0,01
<i>Tõnismäe Is – 1169 Is</i>	2  ( <i>AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV</i> )	2101,56	2597,53	103,90
205 Is – 5 IIs	ASB-10 3x240	1239,11	40,89	1,63
1169 Is – 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1239,11	32,22	1,29
97 Is – 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1239,11	12,39	0,50
137 IIs – tarbijal IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AAB-10 3x120	1239,11	14,87 87,98	0,59 3,52
<i>Elektrijaama IIs – 1169 IIs</i>	2  ( <i>AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV</i> )	1239,11	3231,61	129,26
205 IIs – tarbijal Is	AAB-10 3x120	1239,11	375,45	15,02
1169 IIs – 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	209,65	0,42	0,02
97 IIs – 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	209,65	0,42	0,02

Maksimaalne võimsus, aktiivvõimsuskadu, koormusvool ja aktiivenergiakadu on rööbiti ühendatud kaablite puhul arvestatud mõlema kaabli kohta kokku. Tõnismäe PAJ ja 1019 JAJ vaheliste kaablite maksimaalseks koormuseks uue lahendusega on ligi 5,5 MW. Kuna kaablid töötavad rööpühenduses, siis on nende maksimaalne läbilaskevõime ~10,6 MW. Seega oleks kaableid võimalik koormata veel kuni kaks korda suurema koormusega, samuti suudaksid need vastu pidada avariitalitluses, kui üks PAJ sektsioon peaks tööst välja minema. Ka ülejäänud kaablite koormused ei ole suured, üle 1 MW koormust on ainult piirkonnaalajaamast alguse saavatel kaablitel. Pingeklassi suurenemisega on ka koormusvoolud liinides väiksemaks muutunud.

Kui varasemalt oli pingekadu sõlmedes umbes 0,3 – 0,7% vahemikus, siis 10 kV pingesüsteemiga jäävad need pigem 0,1 – 0,5% vahemikku. Standardi järgi on lubatud pingekadu  $\pm 10\%$ , seega võib järeldada, et väikese koormuse ja eelkõige lühikeste liinilõikude tõttu linnavõrkudes pingekaoga probleeme reeglina ei teki.

Uuel pingesüsteemil on liinide aktiivvõimsuskaod 2,62 kW. Arvesse võeti ainult lisandunud võrgu kadusid, Tõnismäe ja Elektriijaama PAJ ning JAJ-de vaheliste kaablite kadusid ei arvestata, tabelisse on need kantud informatiivsel eesmärgil. Nendele aktiivvõimsuskadudele vastav aasta aktiivenergiakadu on umbes 1350 kWh, mille maksumuseks kujuneb kao hinda arvestades 54 €, mis võrreldes eelneva võrgu olukorraga, kus kao maksumuseks kujunes 795 €, on üsna suur võit.

## **6 10 KV PINGESÜSTEEMI TEHNILISE LAHENDUSE MAKSUMUSE JA PARAMEETRITE VÕRDLUS 20 KV PINGESÜSTEEMIGA**

Käesolevas peatükis selgitatakse välja, kas olemasolevaid võrgu koormusi arvesse võttes võiks teoreetiliselt üle minna ka 20 kV pingesüsteemile, arvutatakse võrgu parameetrid ning võrreldakse neid uue planeeritud 10 kV võrgu parameetritega ja leitakse selle ligikaudne maksumus.

### **6.1 Võrgu parameetrite arvutused 20 kV pingesüsteemil**

Kõigepealt leitakse, kui palju suureneks AHXAMK-W 3x240+35Cu maakaabli läbilaskevõime 20 kV pingel torusse paigaldatuna. Selleks lähtutakse valemist (4.2).

$$P = \sqrt{3} * 20 * 308 * 1 = 10669,43 \text{ kW}$$

Võrreldes 10 kV pingega, suureneks läbilaskevõime 5330 kW võrra. See tähendaks, et samade kaablitega, mis on ka 10 kV pingesüsteemiga võrgus, oleks võimalik elektrienergia müüki kahekordistada.

Allolevates tabelites on sama võrgu, mille lahendus koostati 5-ndas peatükis, arvutustulemused 20 kV pingesüsteemiga. Kuna maksimaalne tippkoormuse kasutamise aeg ei muutunud, siis seda tabelit käesolevas peatükis uuesti välja ei toodud. Arvutuspingeks valiti 21 kV.

Tabel 6.1 Liinilõikude maksimaalne koormus ja aktiivvõimsuskaod

<b>Alajaamad</b>	<b>Kaabli mark</b>	<b>Pikkus, m</b>	<b>Aktiivvõimsus, kW</b>	<b>Aktiivvõimsuskadu, kW</b>
<i>Tõnismäe IIs - JAJ 1019 IIs</i>	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	5857,4	5,36
5930 IIs - 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	32,6 332	572,3 572,3	0,004 0,027
405 Is - 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	443,7	0,004
310 Is - 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	383,6	0,002
<i>Tõnismäe Is - JAJ 1019 Is</i>	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	5492	3,47
1378 IIs - 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	597,2 572,3	0,011 0,028
4524 IIs - 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	20	388,7	0,002
405 IIs - 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	278,4	0,002
310 IIs - 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	210,5	0,001
<i>Ranna 10kVf - 423 IIs</i>	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	74 58 1017	1109,6 1109,6 1110,8	0,026 0,020 0,348
423 Is - 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	93 75	760,2 760,2	0,014 0,012
1141 IIs - 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	138 114	519,4 519,4	0,010 0,008
1572 Is - JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	73 90	187,3 187,3	0,001 0,001
<i>Tõnismäe Is - 1169 Is</i>	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	1633,7	0,212
205 Is - 5 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	260	343,6	0,025
1169 Is - 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	718,7	0,011
97 Is - 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	601,8	0,005
137 IIs - tarbija1 IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	29 96	481,4 481,4	0,003 0,003
<i>Elektrijaama IIs - 1169 IIs</i>	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	1222	0,274
205 IIs - tarbija1 Is	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	312	720,4	0,075
1169 IIs - 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	137,6	0,001
97 IIs - 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	73,4	0,001

Tabel 6.2 Liinilõikude arvutustulemused

Alajaamad	Kaabli mark	Pikkus, m	Koormusvool, A	Pingekadu, %
Tõnismäe IIs – JAJ 1019 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	161,0	0,105
5930 IIs – 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	32,6 332	15,7	0,133 0,139
405 Is – 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182	12,2	0,140
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	10,5	0,141
Tõnismäe Is – JAJ 1019 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1007	151,0	0,084
1378 IIs – 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	134 332	16,4	0,099 0,106
4524 IIs – 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	20	11,0	0,106
405 IIs – 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	183	7,7	0,107
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	52	6,0	0,108
Ranna 10 kVf – 423 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	74 58 1017	30,5	0,044 0,042 0,039
423 Is – 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	93 75	20,9	0,049 0,046
1141 IIs – 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	138 114	14,3	0,054 0,052
1572 Is – JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	73 90	5,1	0,055 0,055
Tõnismäe Is – 1169 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	44,9	0,024
205 Is – 5 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	260	9,4	0,031
1169 Is – 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	19,8	0,025
97 Is – 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	16,5	0,026
137 IIs – tarbija1 IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	29 96	13,2	0,027 0,030
Elektrijaama IIs – 1169 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1220	33,6	0,035
205 IIs – tarbija1 Is	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	312	20,7	0,058
1169 IIs – 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	56	3,8	0,035
97 IIs – 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	30	2,1	0,036

Tabel 6.3 Liinilõikude aktiivenergiakaod ja kadude maksumus

Alajaamad	Kaabli mark	Kaod, h	Aktiivenergiakadu, kWh	Kaod maksumus, €
Tõnismäe IIs – JAJ 1019 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1314,69	7046,74	281,87
5930 IIs – 405 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1137,82 1137,82	4,55 30,72	0,18 1,23
405 Is – 310 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	1,97	0,08
310 Is – 184 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	0,99	0,04
Tõnismäe Is – JAJ 1019 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1314,69	4561,97	182,48
1378 IIs – 4524 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1314,69 1314,69	14,46 36,81	0,58 1,47
4524 IIs – 405 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1314,69	2,63	0,11
405 IIs – 310 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	0,99	0,04
310 IIs – 184 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	493,29	0,49	0,02
Ranna 10 kVf – 423 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	211,27 211,27 211,27	5,49 4,23 73,52	0,22 0,17 2,94
423 Is – 1141 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	211,27 211,27	2,96 2,54	0,12 0,10
1141 IIs – 1572 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	211,27 211,27	2,11 1,69	0,08 0,07
1572 Is – JAJ 5 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	182,40 182,40	0,18 0,18	0,01 0,01
Tõnismäe Is – 1169 Is	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	2101,56	445,53	17,82
205 Is – 5 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1239,11	13,63	0,55
1169 Is – 97 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1239,11	6,20	0,25
97 Is – 137 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	1239,11	3,72	0,15
137 IIs – tarbija1 IIs	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	1239,11 1239,11	3,72 22,30	0,15 0,89
Elektrijaama IIs – 1169 IIs	2   (AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV)	1239,11	339,52	13,58
205 IIs – tarbija1 Is	AHXAMK-W 3x120+35Cu 24 kV	1239,11	92,93	3,72
1169 IIs – 97 IIs	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	209,65	0,21	0,01
97 IIs – 137 Is	AHXAMK-W 3x240+35Cu 24 kV	209,65	0,21	0,01

Punase tekstiga on tabelites 6.1, 6.2 ja 6.3 märgitud kaablid, mis olid 10 kV nimipingega ning 20 kV arvutuste jaoks oli vaja asendada uutega.

Kuna Tõnismäe ja Elektriijaama piirkonnaalajaamade ja jaotusalajaamade vahelised liinilõigud koosnevad rööbiti ühendatud kaablitest, siis nende läbilaskevõime suureneks pingesüsteemi muutmisega 21 300 kW-ni. Sama koormuse juures, mis 10 kV pingega võrgus, väheneks kaablite koormusvool umbes poole võrra. Kaablite läbilaskevõimet ja maksimaalset lubatud koormusvoolu ei ole vaadeldava võrguosa väikese koormuse tõttu ühegi pingeklassiga ületatud.

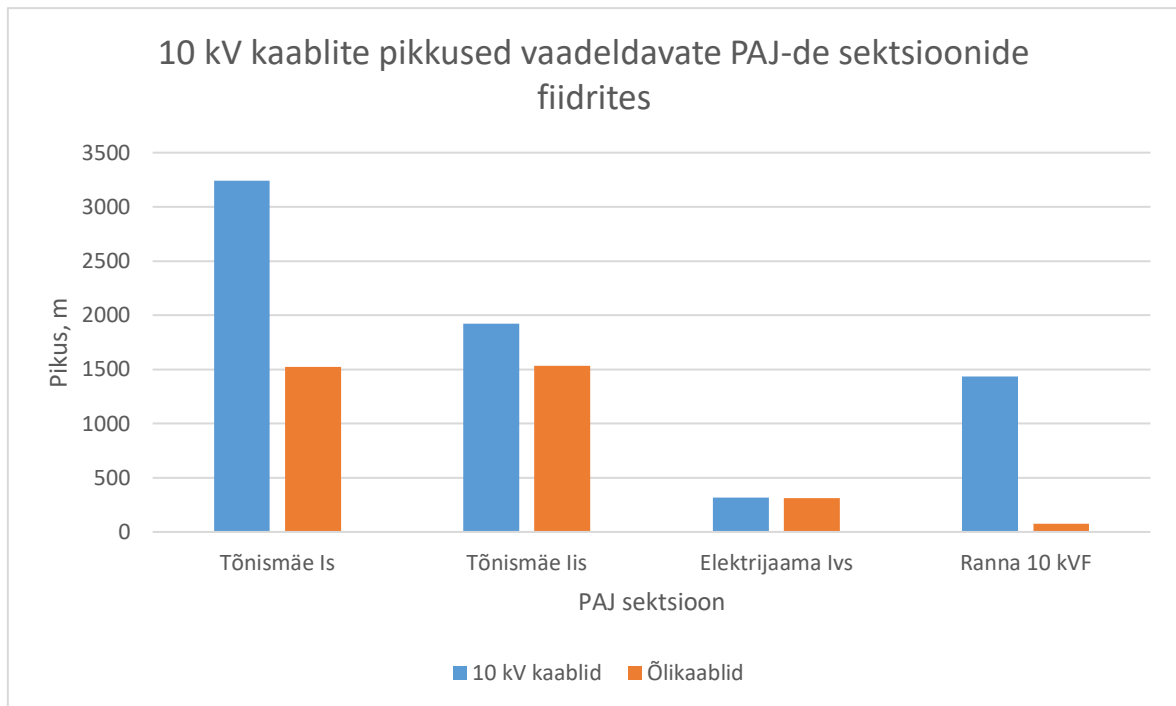
Samuti väheneksid 20 kV pingesüsteemi kasutusele võtmisega võrgukaod – summaarne aastane energiakadu liinides, jättes arvestamata Tõnismäe ja Elektriijaama PAJ ning JAJ-de vaheliste kaablite kadusid, oleks umbes 330 kWh ning selle maksumuseks kujuneks 13 eurot. Aastane energiakadu väheneks pingemuutusega ligi 1000 kWh ning kao maksumus umbes 40 eurot. Arvestades ülalloodud vajaliku investeeringu maksumust, mis kuluks 20 kV pingesüsteemile üleminekuks, ei ole kadude vähenemine märkimisväärne ning nendelt ei oleks võimalik nii palju säästa, et investeering end ära tasuks.

Pingekaod väheneksid pingeklassi tõstmisega veelgi ning ei ületaks 0,15%, see tähendab, et võrk talitleks vähemalt vaadeldavas osas sisuliselt nimipingega. Pingekaod ei ole mitte ühegi pingeklassiga probleemiks osutunud.

## **6.2 Pingeklassi 20 kV üleviimise tehnilise lahendusega kaasnevate tööde mahud ja investeeringu maksumus**

Kuna uue lahendusega hakatakse praegu 6 kV pingesüsteemil olevaid alajaamu toitma nii Ranna, Tõnismäe kui ka Elektriijaama piirkonnaalajaamadest, siis tuleks 20 kV pingesüsteemile viia terve fiider, mille toitele uue lahenduse koostamise käigus alajaamasid lisati. Joonisel 6.1 on näidatud, kui palju on iga piirkonnaalajaama sektsiooni mingi fiidri toitel olevate alajaamade vahelistes liinilõikudes 10 kV nimipingega kaableid.





Joonis 6.1 10 kV kaablite pikkused piirkonnaalajaamade seksioonide fiidrites

Joonisel on sinise tulbaga näidatud kogu 10 kV nimipingega kaablite pikkus ning oranžiga 10 kV paber-õliisolatsiooniga kaablite osakaal. Kokku on 10 kV nimipingega kaableid umbes 7 km, mis vajaksid kõik väljavahetamist. Kõige rohkem on neid Tõnismäe piirkonnaalajaama toitepiirkonnas. Vaadeldavatelt Tõnismäe PAJ fiidritelt saavad toite umbes kolmandik Tallinna vanalinnas asuvatest alajaamadest, seega oleks nende kaablite vahetamine üsna tülikas ja problemaatiline.

Tõnismäe piirkonnaalajaamas on kaks 110/10 kV, 25 MVA trafot. Elektriijaama piirkonnaalajaamas on kaks 110/35/10 kV, 25 MVA trafot. Ranna piirkonnaalajaamas on kaks 110/10/6 kV trafot. Tõnismäe piirkonnaalajaamas peaks olemasolevad trafod asendada 110/20/10 trafodega, et tagada teiste 10 kV klientide elektrivarustuse säilimine. Elektriijaama piirkonnaalajaamas peaks samuti asendada olemasolevad trafod 110/20/10 trafodega, (kuna 35 kV võrk planeeritakse tööst välja viia, siis sellega edaspidi ei arvestata) ning Ranna piirkonnaalajaamas tuleks samuti olemasolevad trafod asendada 110/20/10 trafodega. Kuna Ranna PAJ-s on ka palju 6 kV võrku, peaks sellel pingeklassil olevate alajaamade toite taastamiseks kasutama vahetrafosid.

Kuna praktiliselt kõikide vaadeldavate piirkonnaalajaamade fiidrite toitepiirkonnas olevate alajaamade keskpinge jaotla ja KP/MP trafod on 10 kV nimipingega, siis nende mahtusid eraldi välja ei tooda, vaid arvestatakse, et kõikide rekonstrueerimise kulu võib olla suurusjärgus 2 mil €.

Tabelist 5.4 selgus, et 1 meetri 3x240 mm<sup>2</sup> kaabli hind koos paigaldusega on 20 €, sellele veel lisaks kaablikaitsetoru – kokku 25 €/m. Kui kõik 7 km väljavahetamist vajavat kaablit tuleks paigaldada kaeve teel, siis lisanduks veel kaeviku rajamise ja katete taastamise kulu, umbes 100 €/m. Arvestades, et mitu kaablit võib samas trassis kulgeda kõrvuti, siis kaeve mahuks võiks lugeda umbes 3000 meetrit. Kaablite asendamise kulu kokku oleks umbes 850 000 €.

Ühe 40(25) MVA, 110/20/10 trafo hinnaks koos selle paigaldamisega tingitud töödega on väga ligikaudselt 900 000€. Kuna Ranna PAJ-sse on vaja kahte sellist trafot, siis oleks maksumuseks kokku 1,8 mil €.

Tõnismäe ja Elektriijaama PAJ-sse on vaja samasuguste nimipingete ja nimivõimsusega trafosid, kokku 4 tk. Kuna 40 MVA-ne trafo maksab ligikaudu 900 000€, siis 25 MVA-se hinnaks arvestame 800 000€. Sellisel juhul oleks nelja sellise trafo hind 3,2 mil €.

Tabel 6.4 20 kV pingesüsteemile üle mineku maksumus

<b>Nimetus</b>	<b>Kogus, jm/tk</b>	<b>Hind, €</b>	<b>Summa, €</b>
Maakaabel 240 mm <sup>2</sup> KP	7000	20	140000
Kaablikaitsetoru	7000	5	35000
Kaeviku rajamine ja katete taastamine	3000	100	300000
Alajaamade rekonstrueerimine	-	-	2000000
Trafo 40 MVA	2	900000	1800000
Trafo 25 MVA	4	800000	3200000
SUMMA			7475000

Tabelisse 6.4 on kantud väga ligikaudsete koguste ja maksumustega ainult mahukamad ja teadaolevad tööd, mida oleks vaja teha, kui töös vaadeldavate alajaamade pingeklassi tõsta 20 kV-le. Vajaminevaid töid oleks kindlasti rohkem, kuid juba olemasoleva info ja maksumuse põhjal võib öelda, et selline investeering ei oleks otstarbekas ega tasuks ära. Üleminek 10 kV-le läheb tabeli 5.4 järgi maksma umbes 500 000€ (lisandub madalpinge osa), üleminek 20 kV-le oleks üle 10 korra kallim.

Kuna praeguses olukorras on 10 kV pingesüsteemil läbilaskevõime piisav ning koormused ei ole suured, siis selgub, et 20 kV kasutamisel linnavõrkudes ei ole mõtet. Ka kaod ei ole 10 kV pingega linnavõrgus suured, seega ei oleks ka võimalik kadude pealt 20 kV-le üle minnes kokku hoida. Samuti ei teki probleeme pingekadudega. Tallinna linnas on piirkonnaalajaamasid palju ning tarbijate koormus on võimalik

erinevate PAJ-de seksioonide peale ühtlaselt ära jaotada. 20 kV pingeklassi kasutamine on otstarbekas hajaasustusega ja erinevates maapiirkondades, kus ühe keskpingefiidri pikkus võib olla kümneid kilomeetreid pikk ning selle toitel palju tarbijaid. Selliselt oleks tagatud suur läbilaskevõime tervel fiidril ja nii oleks võimalik vähendada ka pingekadusid fiidri lõpus.

## KOKKUVÕTE

Elektrilevi on seadnud eesmärgiks vähendada jaotusvõrgus keskpingel kasutatavaid pingeastmeid. Praegu on kasutusel neli erinevat pingeklassi: 6, 10, 15 ja 20 kV. 6 kV ja 15 kV pingeklassid on määratud taandarenevateks ning nendel pingetel töötavad võrgud viiakse üle astme võrra kõrgemale pingele. Perspektiivis soovitakse Soome näitel jääda võrgus kasutama ainult 20 kV pinget. Tallinna linnas, kus on 6 kV keskpingevõrk kasutusel kõige suuremas mahus, kasutatakse üleviimisel 20 kV pingeastmele vaheetapina 10 kV pingeklassi.

Käsitletava bakalaureusetöö eesmärgiks oli analüüsida ühe Tallinna 6 kV pingesüsteemiga jaotusalajaama ja selle toitepiirkonda, leida olemasoleva võrgu puudused, koostada tehniline lahendus nende alajaamade 10 kV pingesüsteemile üleviimiseks ja leida kõrgema pingeklassi kasutamise eeliseid. Töö eesmärgi täitmiseks on analüüsitud vaadeldavas võrgus olevaid kaableid ja seadmeid ning arvatud erinevaid võrgu parameetreid, nagu näiteks aktiivvõimsuskadu, kaablite koormusvoolu, pingekadu ning kao maksumust. Lisaks on uuritud uue planeeritud võrgu baasil, kas nii tehniliselt kui ka majanduslikult oleks otstarbekas minna üle 20 kV pingesüsteemile.

Lõputöö teema oli pakutud tööandja Elektrilevi OÜ poolt ning teemas käsitletavate eesmärkide saavutamisel konkretiseerusid arusaamad keskpingevõrkudest ja nende planeerimisest ning teave erinevate kaablite ja seadmete eelistest ja puudustest.

Töö alguses on antud ülevaade keskpingevõrkudest, Tallinna elektrivõrkude ajaloost ning Elektrilevi erinevatest nõuetest ja põhimõtetest.

Töö teises osas on analüüsitud olemasolevat jaotusalajaama nr 5 ja selle toitepiirkonda. Välja on toodud kõik võrgus kasutuses olevad kaablid, trafod ja keskpinge jaotla seadmed, et välja selgitada, millised sobivad kasutamiseks 10 kV võrgus ja millised on eluea ületanud. Selgus, et üle normaalse eluea on vaadeldavas võrgupiirkonnas 3373 meetrit kaableid, 6 kV nimipingega 3101 meetrit ning ükski trafo ei ole kahe ülempingemähisega. Lisaks on ära toodud nende kaablite maksimaalne lubatud koormusvool ja arvatud selle põhjal maksimaalne läbilaskevõime 6 kV pingega võrgus. Plastisolatsiooniga 3x240mm<sup>2</sup> ristlõikega kaabli läbilaskevõime on 6 kV pingel 3200 kW. Piirkonna maksimaalne aastane koormusvool on olnud 178 A, maksimaalne aktiivvõimsus 1847 kW, suurim pingekadu 0,954% võrgu toitepunktis olevast pingest ning aktiivenergiakaod võrgus 19900 kWh, mille maksumuseks kujuneb aastas umbes 795 €. Saadud tulemuste põhjal järeldati, et vaadeldavas võrgus ei ole ühegi kaabli

läbilaskevõimet ega koormusvoolu ei ole ületatud ning pingekadu vastab kehtivale standardile.

Töö kolmandas osas on selgitatud vaadeldava võrgu pingesüsteemi muutmise tehnilise lahenduse koostamist, kaablite läbilaskevõime suurenemist pingemuutuse korral ning arvatud samad parameetrid, mis 6 kV pingega võrgus. Lahenduse realiseerimiseks on igas alajaamas vaja asendada trafo, viies alajaamas asendada keskpinge jaotla ning paigaldada ligi 1900 meetrit keskpinge maakaablit. Käidust on võimalik välja viia umbes 6000 meetrit kaablit. Järelikult on lahendus väga optimaalne, sest maakaablit oli võimalik tööst välja viia rohkem kui uut ehitada. Tulemustest selgus, et 10 kV pingesüsteemil on samasuguse kaabli läbilaskevõime umbes 1,6 korda suurem kui 6 kV pingel ning vähenesid ka aktiivenergia- ja pingekadud, uues võrgus on need vastavalt 1350 kWh ja keskmiselt 0,4 %. Investeeringu maksumuse suuruseks kujuneb umbes 550 000 €.

Töö neljandas on lähtunud kolmandas osas koostatud tehnilisest lahendusest ning viidud see 20 kV pingele. On arvatud võrgu parameetrid ning võrreldud neid 10 kV võrgus saadud tulemustega. Kaablite läbilaskevõime suurenes võrreldes 10 kV pingesüsteemiga 5300 kW võrra 10 600 kW-ni. Aktiivenergiakadud vähenesid 20 kV pingesüsteemiga võrgus 330 kWh-ni ning pingekadud ei ületa 0,15% võrgu toitepunktis olevast pingest. Kõige kallimad tööd, mis 20 kV pingesüsteemile minnes tuleks teha, oleks piirkonnaalajaamade trafode vahetamine. Kogu keskpinge osa maksumus kujuneks ligi 7,5 miljoni euroni.

Kuigi 6 kV võrgus ei pruugi kaablite läbilaskevõime olla ületatud ning ka muud võrgu parameetrid võivad vastata nõuetele, siis on enamasti probleemiks eluea ületanud kaablite ja seadmete kasutamine, millest osa on paigaldatud juba 1930-ndatel. 6 kV pingesüsteemil oleva võrgu üleviimine 10 kV pingesüsteemile võimaldab Elektrilevil säästa võimsuskadudelt ja hoolduskuludelt, suurendada kaablite läbilaskevõime suurenemise võrra elektrienergia müüki ning vähendada amortiseerunud võrgu osakaalu.

Tööst järeldub, et linnavõrkudes ei ole hetkel veel otstarbekas üle minna 20 kV pingesüsteemile, sest olenemata võrgu läbilaskevõime suurenemisest ning võrgukadude vähenemisest võrreldes 10 kV pingesüsteemiga, oleks investeeringu maksumus liiga suur ning hetkel, vähemalt vaadeldava võrgu väikese koormuse tõttu ei tasuks nii kulukad investeeringud end ära. Kuna Tallinnas on võrreldes hajaasustustega piirkondadega palju piirkonnaalajaamasid, on võimalik koormust erinevate piirkonnaalajaamade fiidritele hajutada ning keskpingefiidrid ei ole seetõttu

ka väga pikad. 20 kV pingesüsteemi eelised ilmnevad hetkel pigem hajaasustusega piirkondades.

Käesolev bakalaureusetöö annab ühtlasi ülevaate võrguettevõtja keskpingevõrgu pingeklassi muutmise tehnilise lahenduse koostamise etappidest ning keskpingevõrkude planeerimisest. Antud lahendus peab veel saama kinnituse Elektrilevi tehniliste lahenduste komiteelt ning programmijuhilt, seejärel suunatakse see projekteerimisele. Lõputöö raames ei lahendatud alajaamade madalpingeseadmete rekonstrueerimist ja vana pingesüsteemi klientide ettevalmistusi 0,41 kV liinipingele üleviimiseks.

Koostatud lõputöö edasiarenduseks oleks võimalik lahendada vaadeldava võrgu madalpinge osa rekonstrueerimine, arvutada lühis- ja löökvoolud, et leida, kas nende väärtused on väiksemad kui kaablite ja keskpinge seadmete maksimaalsed lubatud lühisvoolu väärtused, arvutada maaühendusvoolu suurus ning koostada automaatikaskeemid.

## SUMMARY

Elektrilevi has set a goal to reduce voltage levels used in distribution network at medium voltage. There are currently four different voltage classes in use: 6, 10, 15 and 20 kV. The 6 kV and 15 kV voltage classes are designated as regressive and the networks operating at these voltages are converted to a step higher voltage. In the long run it is desired to use only the 20 kV voltage in the distribution network, as it is done in Finland. In the city of Tallinn, where the 6 kV voltage class is used to the biggest extent, the 10 kV voltage class is used as an intermediate stage in the transition to a 20 kV voltage class.

The aim of this bachelor's thesis was to analyze one Tallinn distribution substation with 6 kV voltage system and its supply area, to find the shortcomings of the existing network, compile a technical solution for switching these substations to 10 kV voltage system and to find the advantages of using a higher voltage class. To reach the purpose of the thesis, the cables, medium voltage switchgears and transformers in the observed network have been analyzed and various network parameters have been calculated, such as active power losses, load currents, voltage drop and the cost of the active energy loss. In addition to that it has been researched on the basis of the new planned network whether it would be technically and economically feasible to switch to a voltage system above 20 kV.

The topic of the dissertation was proposed by the employer Elektrilevi OÜ, and in realizing the goals discussed in the thesis, it was learnt to better understand medium voltage networks and their planning, and to know the advantages and disadvantages of various cables and equipment.

At the beginning of the work an overview of distribution network, the history of Tallinn electricity networks and the various requirements and principles of Elektrilevi has been given.

The second part of the work analyzed the existing distribution substation nr 5 and its supply area. All cables, transformers and medium voltage switchgears used in the network have been identified to determine which ones are suitable for use in a 10 kV network and which have exceeded their service life. It appeared that in the observed network area there are 3373 meters of cables with exceeded normal service life, 3101 meters with 6 kV nominal voltage and none of the transformers are multiple winding transformers. In addition, the maximum allowable load current of these cables has been

found and the maximum capacity in a 6 kV network has been calculated. The capacity of the plastic insulated 3x240 mm<sup>2</sup> cross-section cable is 3200 kW at a 6 kV voltage level. The maximum annual load current in the supply area has been 178 A, the maximum active power has been 1847 kW, the maximum voltage drop has been 0,954% of the voltage on the bus of the regional substation and the active energy loss has been 19900 kWh, which costs about 795 € per year. Based on the results, it was concluded that the capacity of the cables and the maximum current rating of the cables have not been exceeded and the voltage loss meets the current standard.

In the third part of the work, compiling a technical solution for switching these substations to 10 kV voltage system and the increase in cables capacity when changing the voltage system has been explained, the same parameters have been calculated as in the 6 kV network. In order to implement the solution, it is necessary to replace the transformer in each substation, to replace the medium voltage switchgear in five substations and to install almost 1900 meters of medium voltage underground cable. It is possible to decommission about 6000 meters of underground cable. Consequently, the solution is very optimal, because it was possible to decommission more cables than install new cables. The results showed that a same cable at a 10 kV voltage level has a capacity 1,6 times higher than at a 6 kV voltage system, the active energy losses and voltage drop were also reduced. In the new system, active energy losses are 1350 kWh and voltage drop is 0,4 % on average. The cost of the investment will be approximately 550 000 €.

In the fourth part of the work, the technical solution compiled in the third part has been examined and it has been transferred to 20 kV voltage system. The network parameters have been calculated and compared with the results obtained in the 10 kV network. Compared to the 10 kV voltage system, the capacity of the cables increased by 5300 kW to 10600 kW. Active energy losses in the network decreased to 330 kWh and the voltage drop does not exceed 0,15%. The most expensive work that would have to be done when switching to 20 kV voltage system would be the replacement of the transformers in the regional substations. The total cost of the medium voltage part would be almost 7,5 million euros.

Although the capacity of the cables in a 6 kV network may not be exceeded and the other network parameters may also meet the requirements, the use of cables and equipment with exceeded normal service life, some of which were installed as early as the 1930s, is mostly a problem. Switching the network from a 6 kV voltage system to a 10 kV voltage system will allow Elektrilevi to save on power losses and maintenance



costs, increase electricity sales by increased cables capacity and reduce the share of depreciated network.

As a result of the work, it was concluded that it is not yet rational to switch to a 20 kV voltage system in urban networks, because despite the increase in network capacity and reduction of network losses compared to the 10 kV network, the investment cost would be too high and due to the low load in the observable network, such a costly investment would not be worthwhile. As there are many regional substations in Tallinn compared to sparsely populated areas, it is possible to spread the load on the feeders of different regional substations and therefore the medium voltage lines are not very long. The advantages of the 20 kV voltage system become more apparent in sparsely populated areas.

This bachelor's thesis provides an overview of the stages of compiling a technical solution for switching from one voltage system to another and on the basis of this, it may be possible to learn about medium voltage network planning. This solution has yet to be approved by Elektrilevi's technical solutions committee and program manager. The reconstruction of substations's low voltage switchgears and the preparations to transfer the "old-voltage" customers to 0,41 kV voltage system were not solved within this thesis.

To further develop the dissertation, it would be possible to solve the reconstruction of the low voltage part of the observed network, calculate short-circuit and peak current to find if the values are lower than the maximum allowable short-circuit current values for cables and medium voltage switchgears, calculate earth fault current and compile automation diagrams.

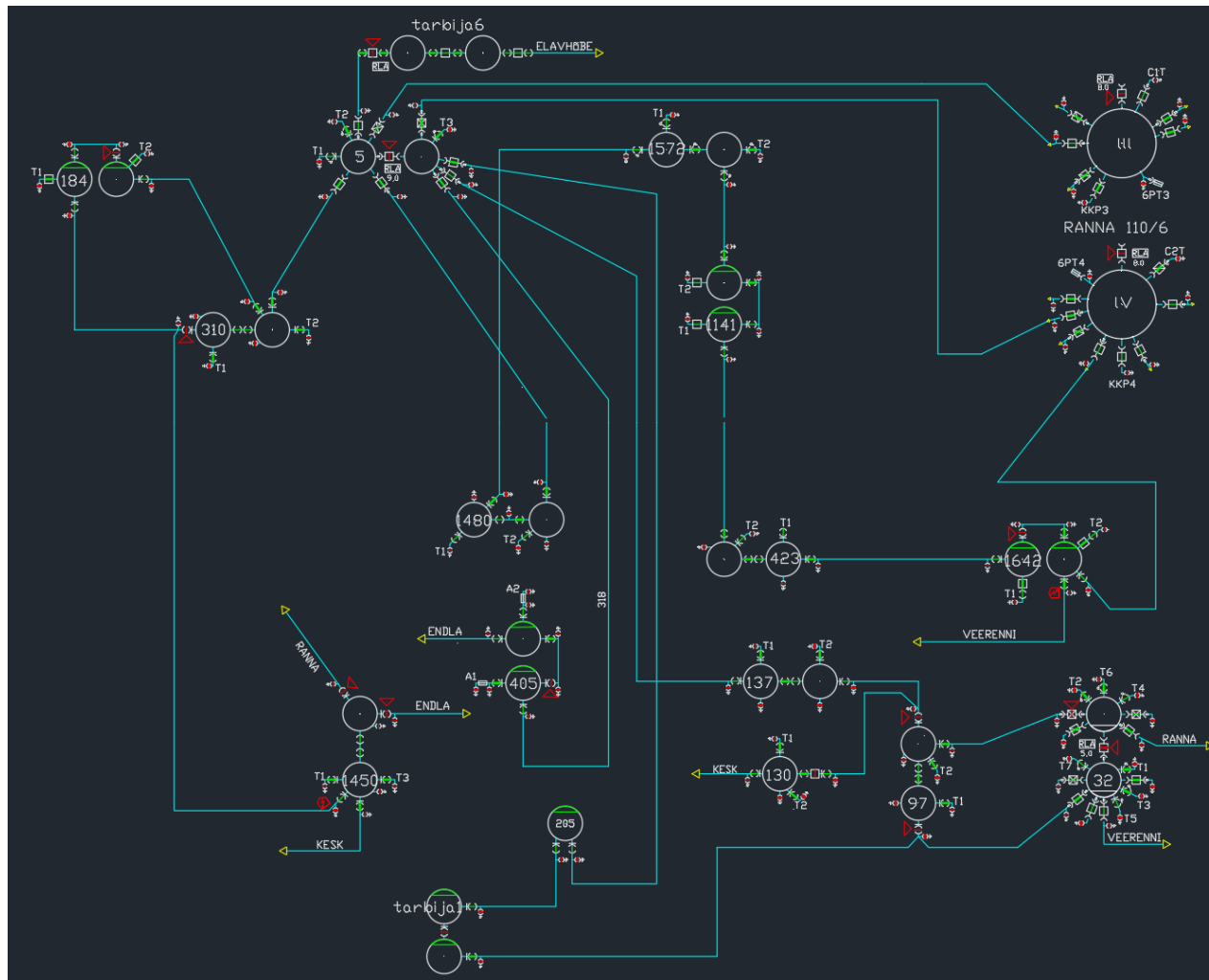
## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] M. Meldorf, H. Tammoja, Ü. Treufeldt, J. Kilter, Jaotusvõrgud, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus, 2007.
- [2] J. Valtin, „Elektrivõrgu klientide elektripaigaldiste ühe ja kahepoolse toite mõju analüüs varustuskindlusele,“ Tallinn, 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/ettevottest/tutvustus/failid/Elektrivorgu\\_klientide\\_elektripaigaldiste\\_yhe\\_ja\\_kahepoolse\\_toite\\_moju\\_analyys\\_varustuskindlusele.pdf](https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/ettevottest/tutvustus/failid/Elektrivorgu_klientide_elektripaigaldiste_yhe_ja_kahepoolse_toite_moju_analyys_varustuskindlusele.pdf). [Kasutatud 28.03.2020].
- [3] A. Tarkmees, „P368 Nõuded 6-20 kV pingel kasutatavatele plastisolatsiooniga kaablitele,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2019.
- [4] V. Saarepuu, „Keskpinge kaabli otsa- ja jätkumuhvide rikete põhjuste analüüs“, bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool, Tartu, 2016.
- [5] K. Hein, 50 aastat Eesti energiasüsteemi, Tallinn: Valgus, 1991.
- [6] A. Tanilsoo, „J3337 Planeerimise põhimõtted,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2018.
- [7] R. Armas, „P347 Varahalduse põhimõtted,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2020.
- [8] A. Haaviste, „J112 Põhivara klassifikaator,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2019.
- [9] E. Altpere, A. Hansson, K. Hein, E. Kändler, Elektrimontööri käsiraamat, Tallinn: Valgus, 1982.
- [10] Elektrilevi Partnerite Portaali (EPP). [Võrgumaterjal]. Kättesaadaval Eesti Energia AS-i siseveebis. [Kasutatud 19.03.2020].
- [11] EVS-EN 50160:2010 Avalike elektrivõrkude pingetunnusuurused.
- [12] A. Tarkmees, „J3167 Nõuded KP/MP alajaamade ja jaotuspunktide keskpinge jaotusseadmetele,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2019.
- [13] A. Tarkmees, „J3283 Nõuded keskpinge kaablitele alajaamades ja nende koormatavusele,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2020.
- [14] Tekla Corporation, „Xpower PSA Teooria juhend: Xpower 6.11 Elektrisüsteemi analüüs,“ 2001.
- [15] H. Tammoja, Automaatika ja releekaitse, Tallinn, 2010. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://petz.planet.ee/elekter/ttu/RELLoeng2010.pdf>. [Kasutatud 03.04.2020].
- [16] I. Matjas, „Alutechi tehase elektrivarustus,“ magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2014.

- [17] A. Tarkmees, „P358 Nõuded komplektalajaamadele, jaotuspunktile ja madalpingeseadmetele,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2020.
- [18] Elektrilevi OÜ, Heakskiidutunnistus keskpinge maakaablile Draka Prysmian AHXAMK-W. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/2edebbedc8acee63c2257d960047d210?OpenDocument>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [19] Tallinna planeeringute register, DP023450 Estonia pst 6 kinnistu ja lähiala detailplaneering. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP023450>. [Kasutatud 13.04.2020].
- [20] Draka, AHXAMK-W 12/20 (24) kV. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://media.drakakeila.ee/2018/04/AHXAMK-W-24\\_EST.pdf](http://media.drakakeila.ee/2018/04/AHXAMK-W-24_EST.pdf). [Kasutatud 11.04.2020].
- [21] К-ПЦ, ASB-10 andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/asb-10kv/>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [22] К-ПЦ, AAB-10 andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/aabl-10kv/>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [23] К-ПЦ, ASB-6 andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/asb-6kv/>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [24] К-ПЦ, SB-6 andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/sb-6kv/>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [25] Prysmian Group, AHXCMK 10 kV ja 20 kV andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business\\_markets/markets/downloads/datasheets/cpr%20AHXCMK-HF%20B2ca%20280219.pdf](https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/cpr%20AHXCMK-HF%20B2ca%20280219.pdf). [Kasutatud 11.04.2020].
- [26] Elteccable, AXCEL andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elteccable.be/uploads/AXCEL-LT-AXCEK-LT-1220-kV.pdf>. [Kasutatud 11.04.2020].
- [27] M. Haavik, „P3166 Võrguvara strateegiline varahaldusplaan 2030,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2018.
- [28] M. Kass, „Keskpinge kaablirikete analüüs,“ Tallinn, 2017.

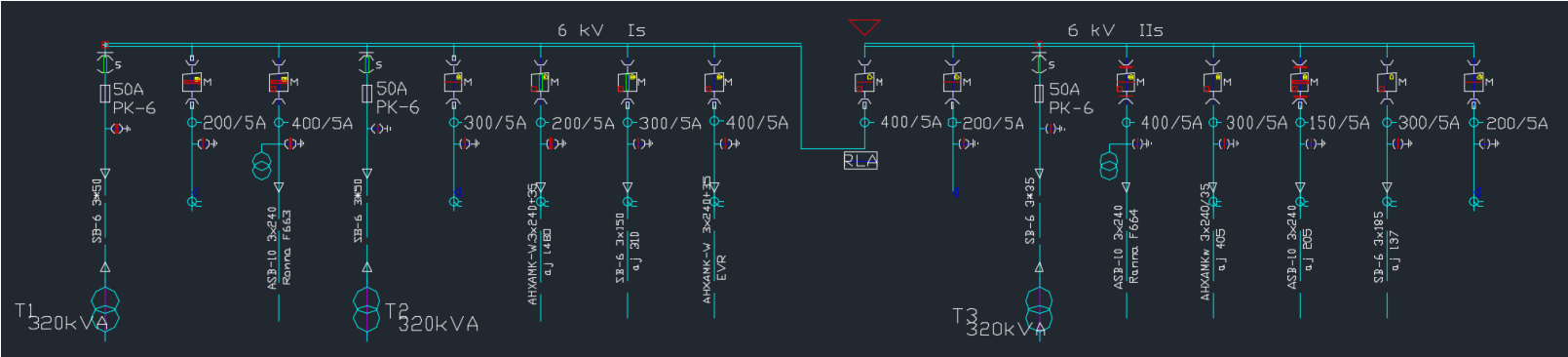
- [29] M. Haavik, „J3339 Keskpinge varagrupi strateegia 2030,“ Elektrilevi OÜ kvaliteedikäsiraamat, 2018.
- [30] M. Abel, „Aktiivenergiakaod Eesti energiasüsteemis,“ magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2015.

# Lisa 1 JAJ 5 kiirteskeem

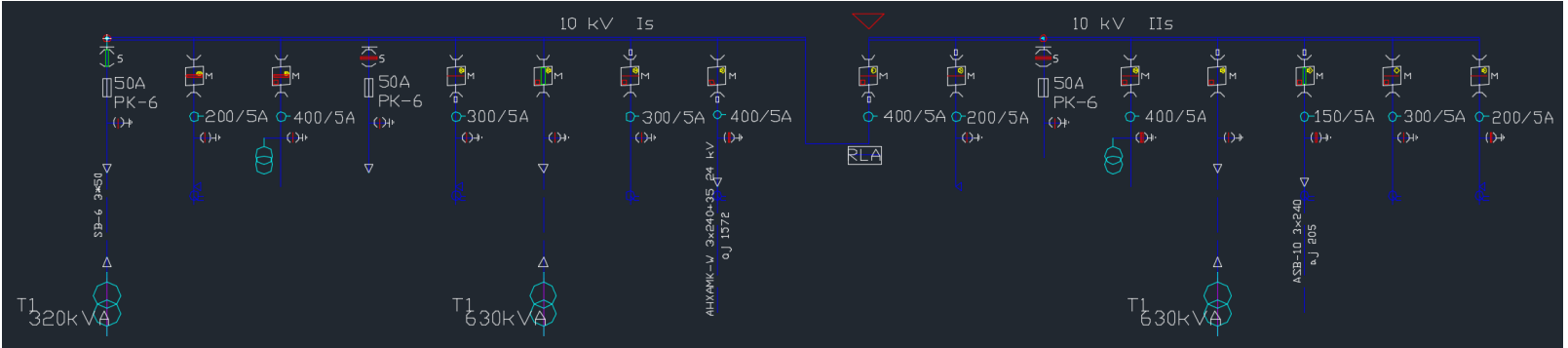


Joonis L1.1 JAJ 5 6 kV toitepiirkonna kiirteskeem

# Lisa 2 JAJ 5 KP skeemid

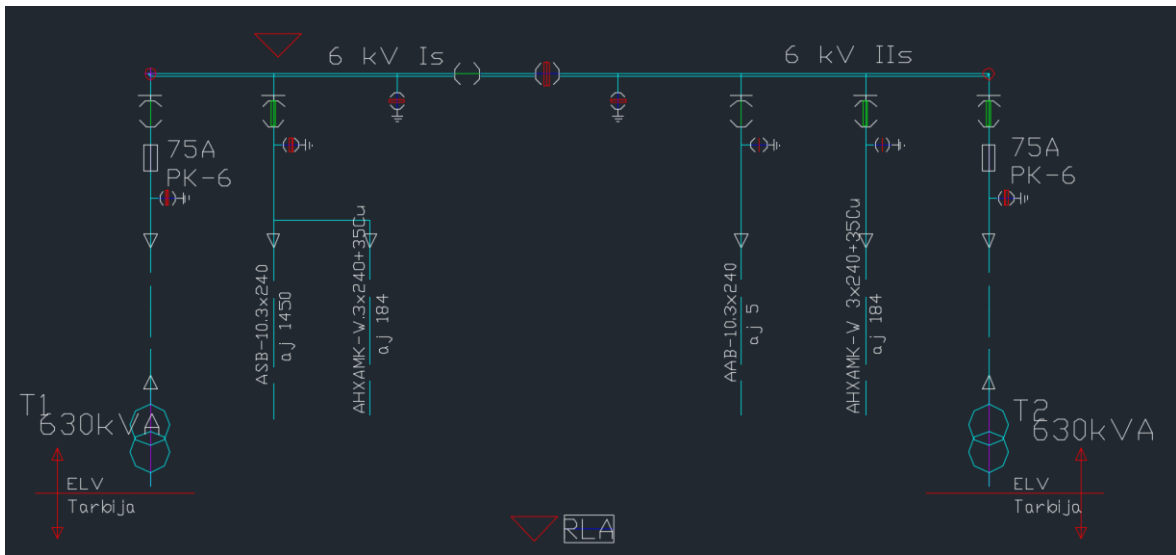


Joonis L2.1 JAJ 5 KP jaotla enne rekonstrueerimist

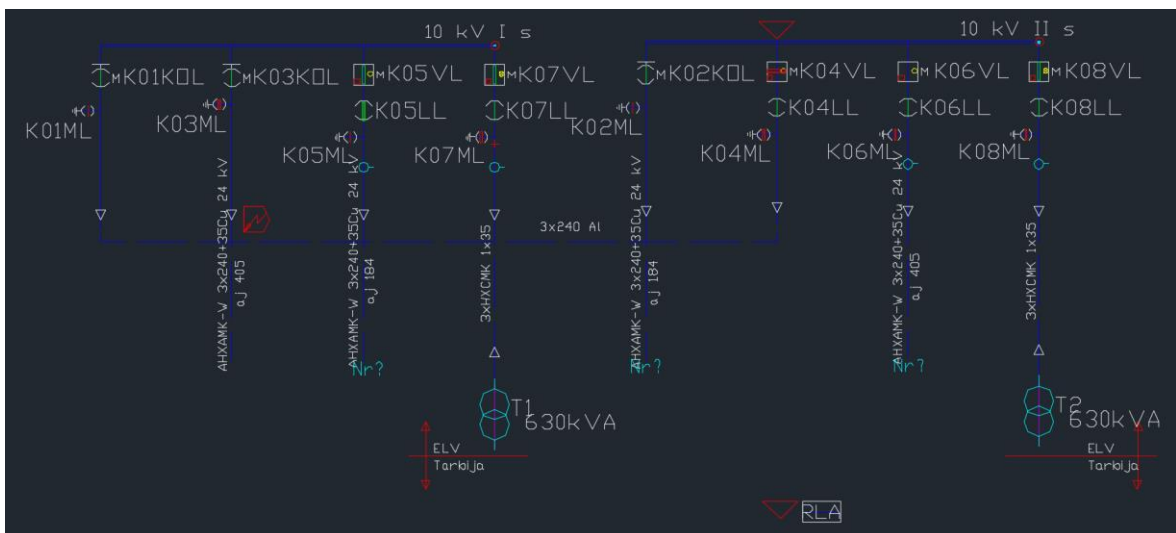


Joonis L2.2 JAJ 5 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 3 AJ 310 KP skeemid

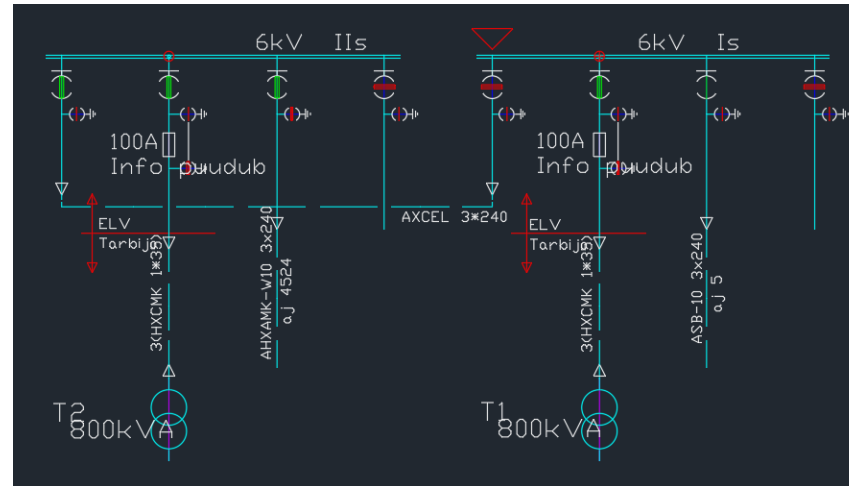


Joonis L3.1 AJ 310 KP jaotla enne rekonstrueerimist

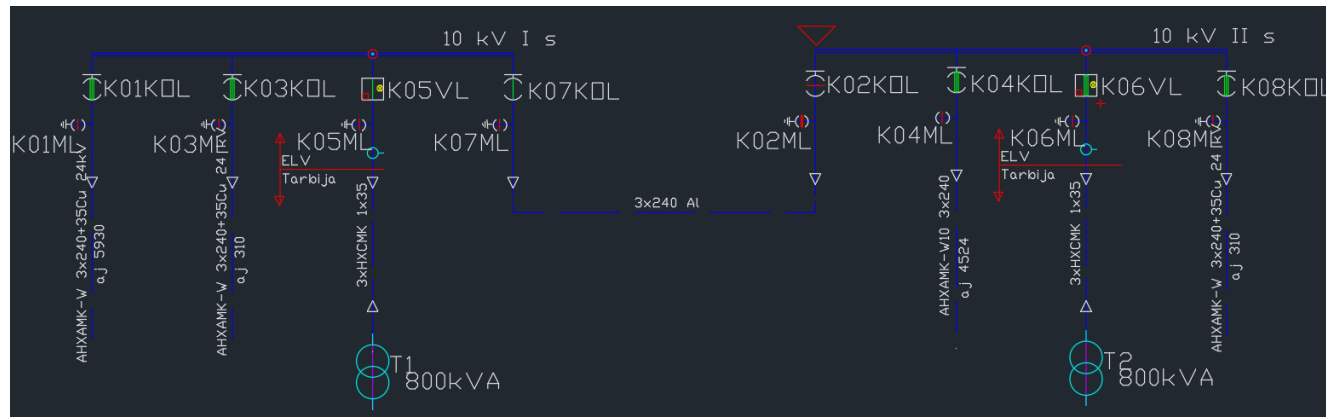


Joonis L3.2 AJ 310 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 4 AJ 405 KP skeemid



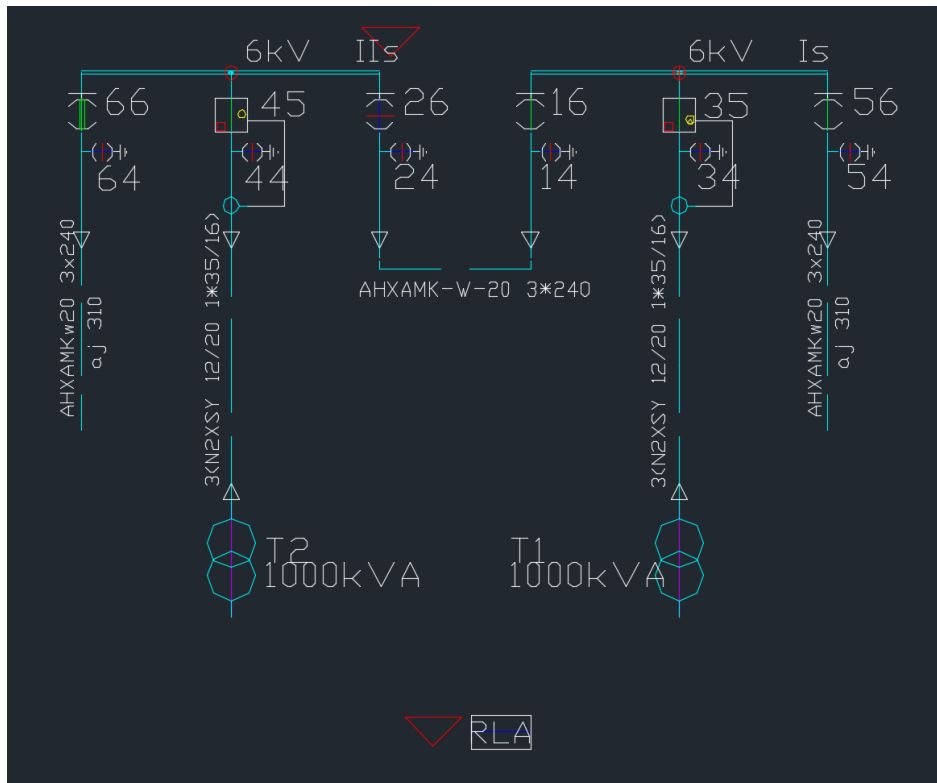
Joonis L4.1 AJ 405 KP jaotla enne rekonstrueerimist



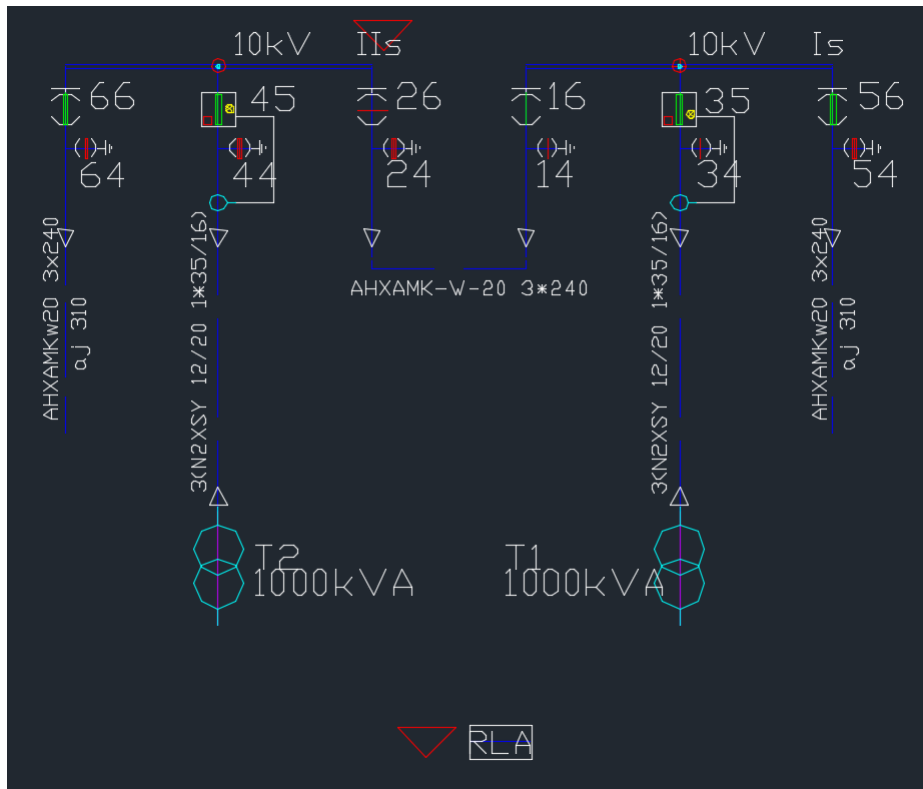
Joonis L4.2 AJ 405 KP jaotla pärast rekonstrueerimist



## Lisa 5 AJ 184 KP skeemid

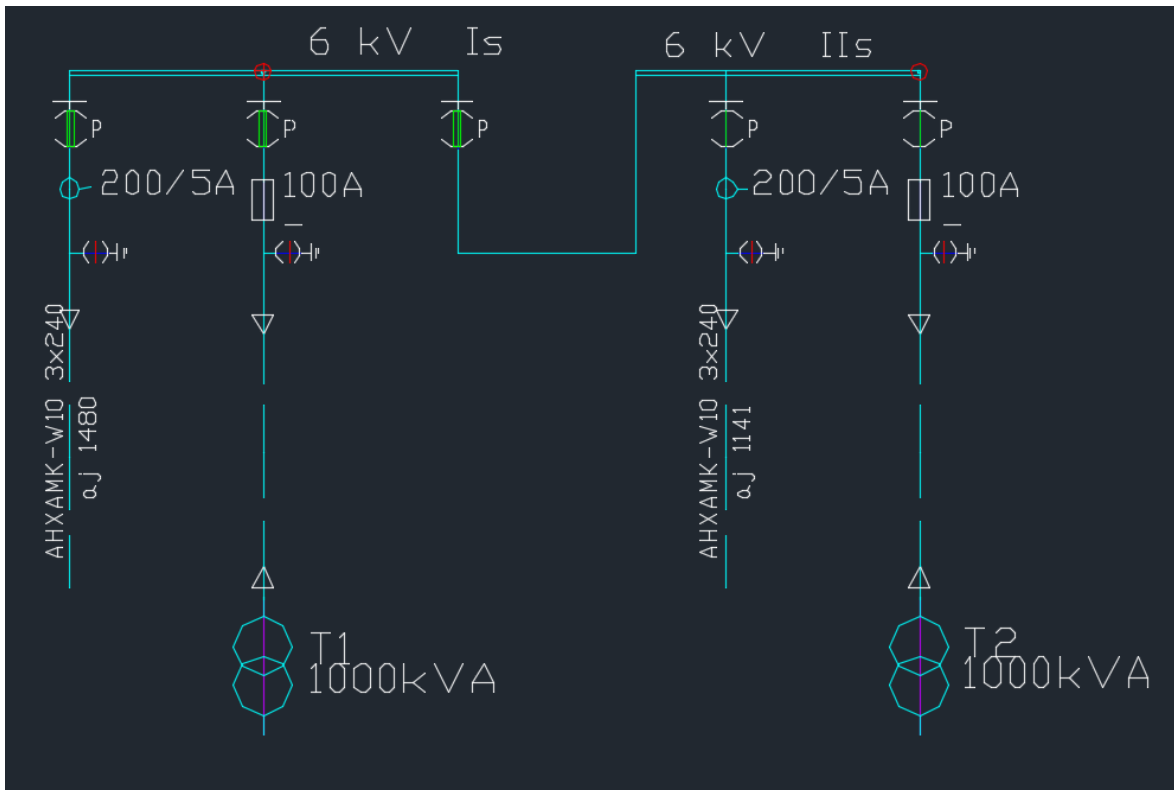


Joonis L5.1 AJ 184 KP seade enne rekonstrueerimist

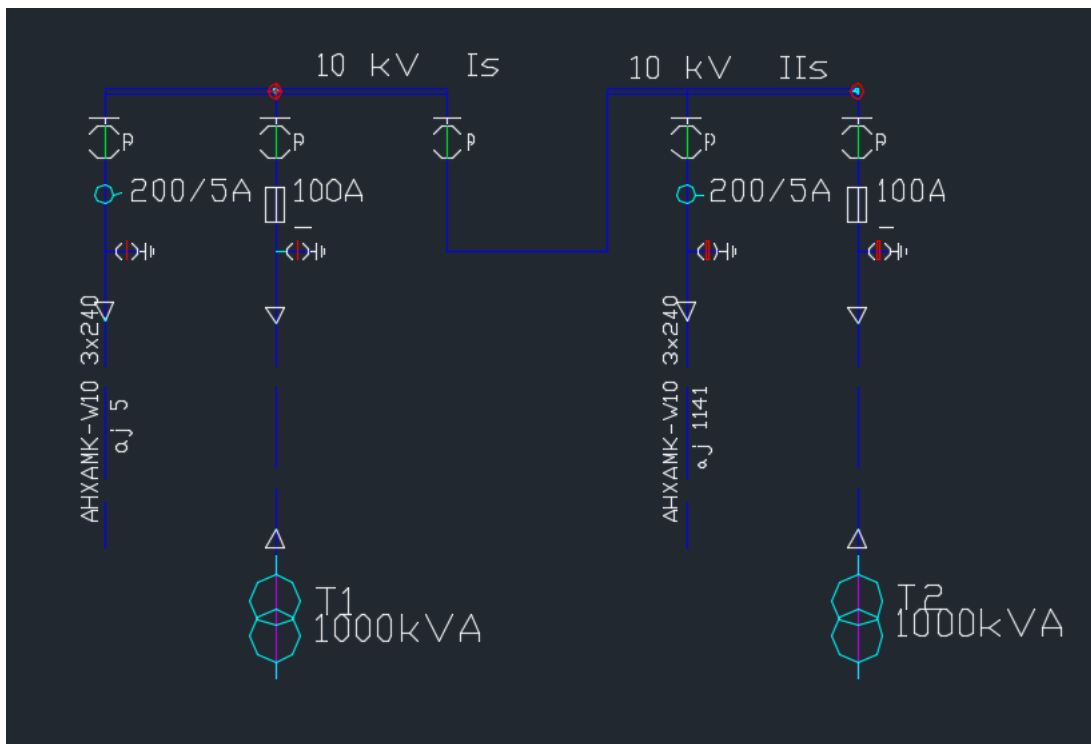


Joonis L5.2 AJ 184 KP seade pärast rekonstrueerimist

## Lisa 6 AJ 1572 KP skeemid

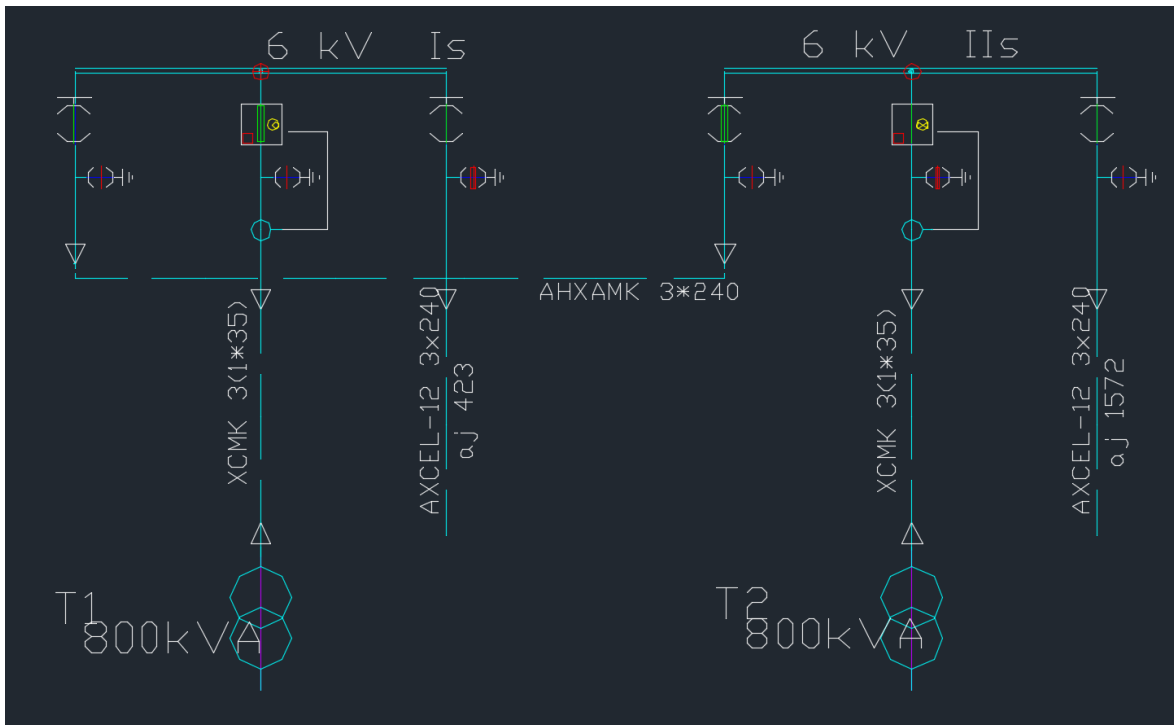


Joonis L6.1 AJ 1572 KP seade enne rekonstrueerimist

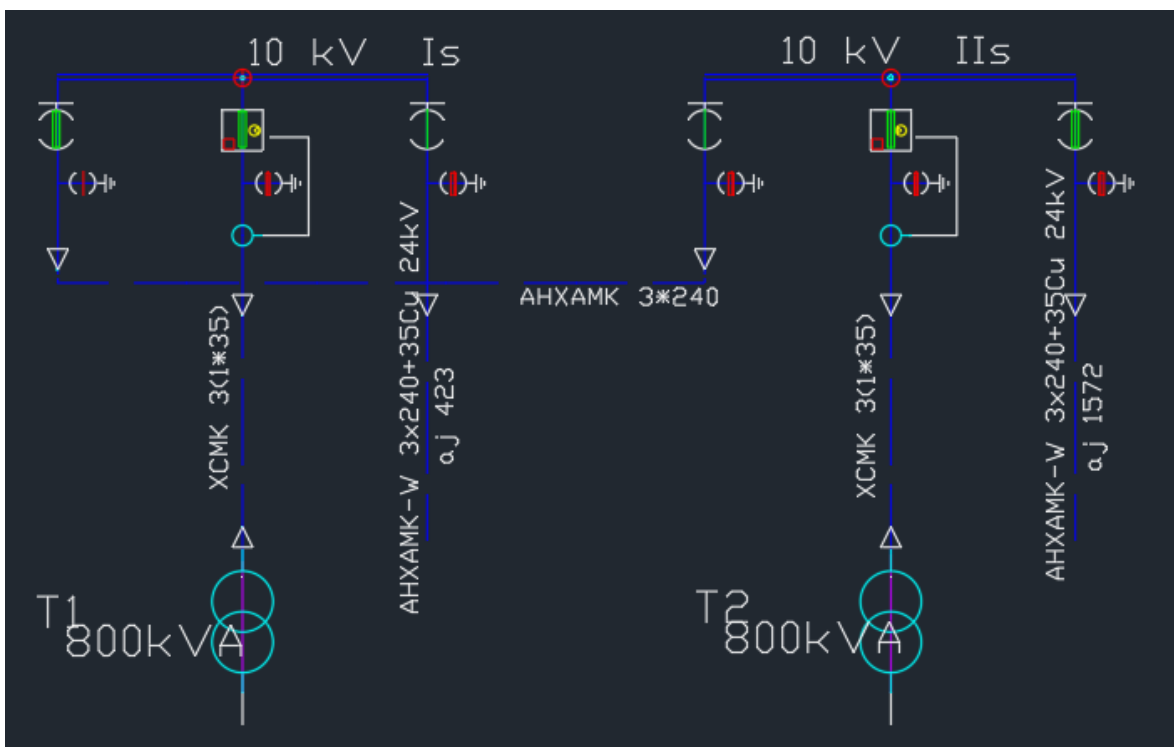


Joonis L6.2 AJ 1572 KP seade pärast rekonstrueerimist

## Lisa 7 AJ 1141 KP skeemid

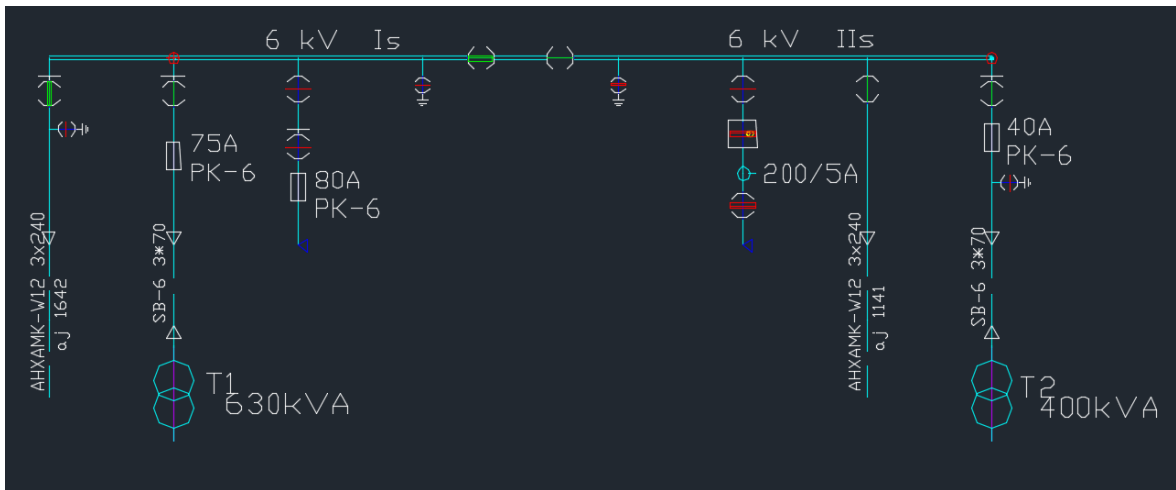


Joonis L7.1 AJ 1141 KP seade enne rekonstrueerimist

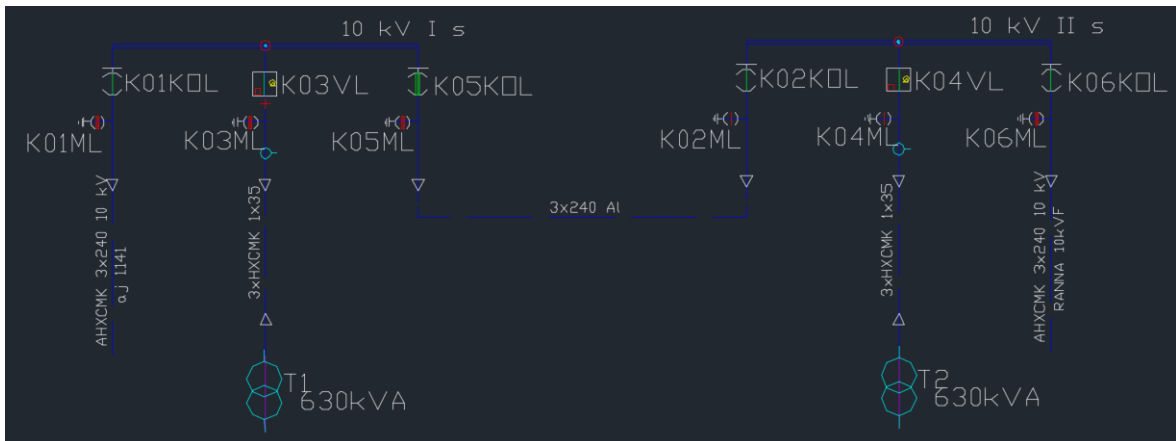


Joonis L7.2 AJ 1141 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 8 AJ 423 KP skeemid

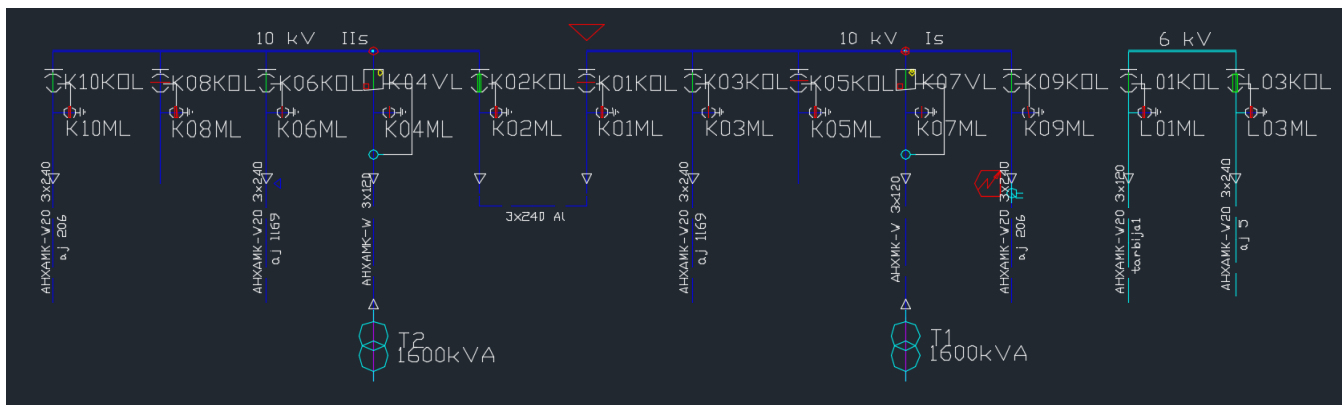


Joonis L8.1 AJ 423 KP jaotla enne rekonstrueerimist

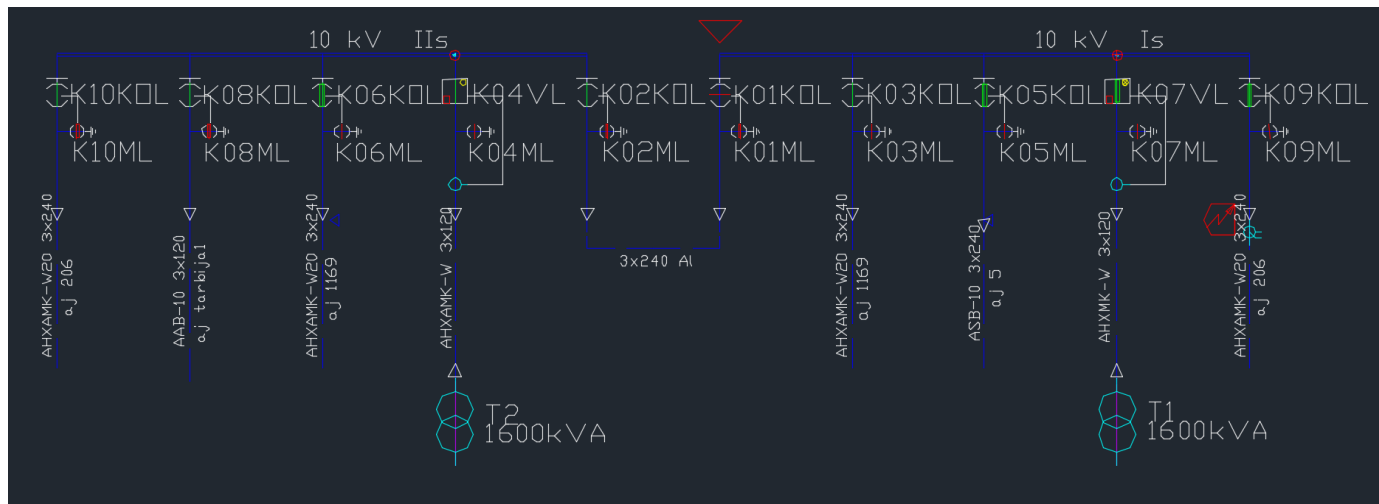


Joonis L8.2 AJ 423 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 9 AJ 205 KP skeemid

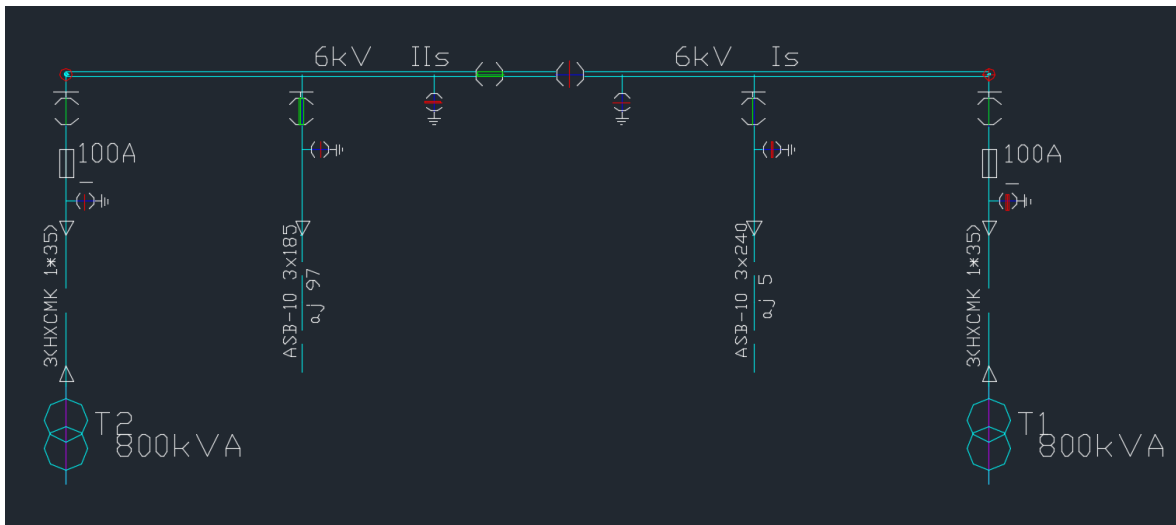


Joonis L9.1 AJ 205 KP jaotla enne rekonstrueerimist

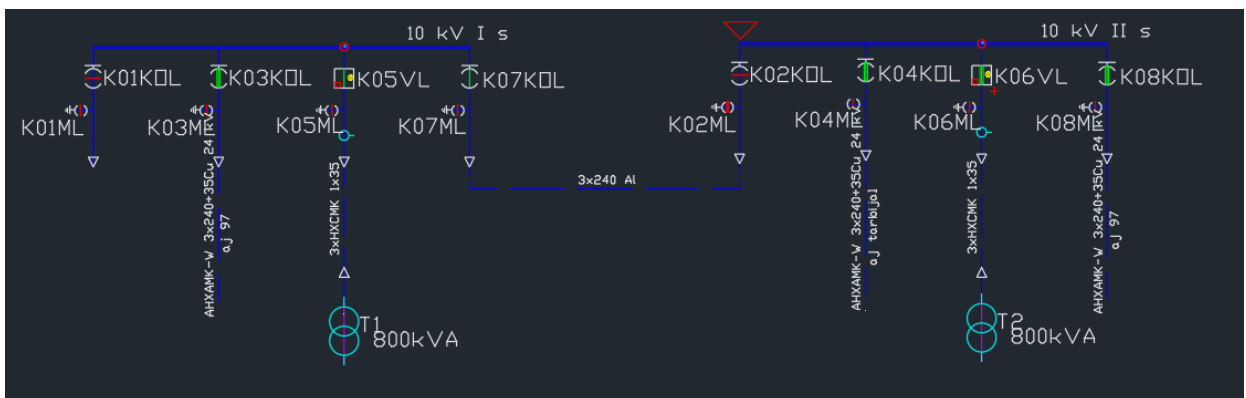


Joonis L9.2 AJ 205 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 10 AJ 137 KP skeemid

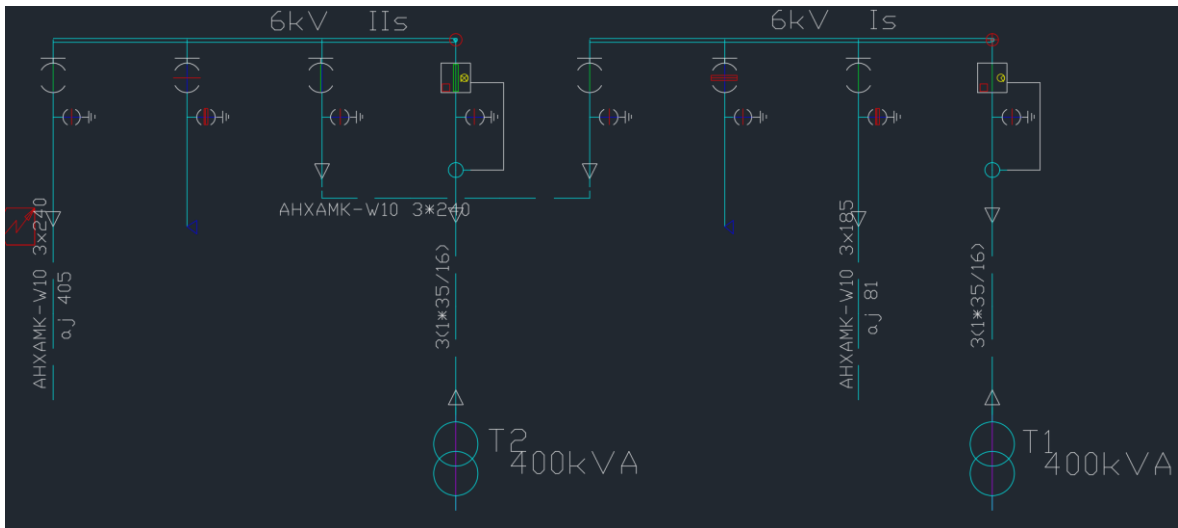


Joonis L10.1 AJ 137 KP jaotla enne rekonstrueerimist

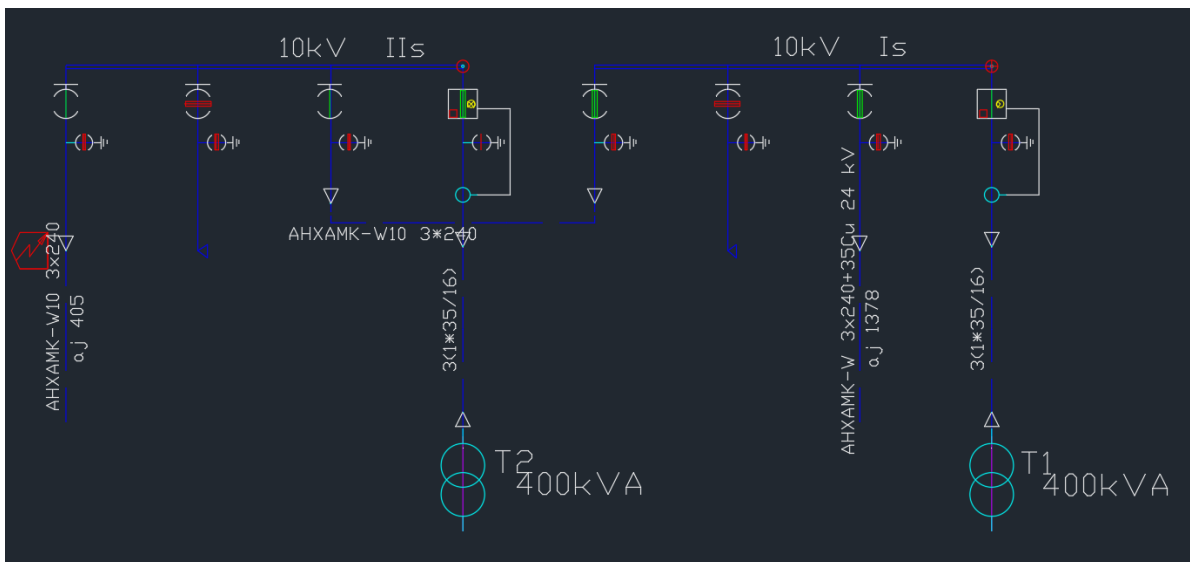


Joonis L10.2 AJ 137 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 11 AJ 4524 KP skeemid

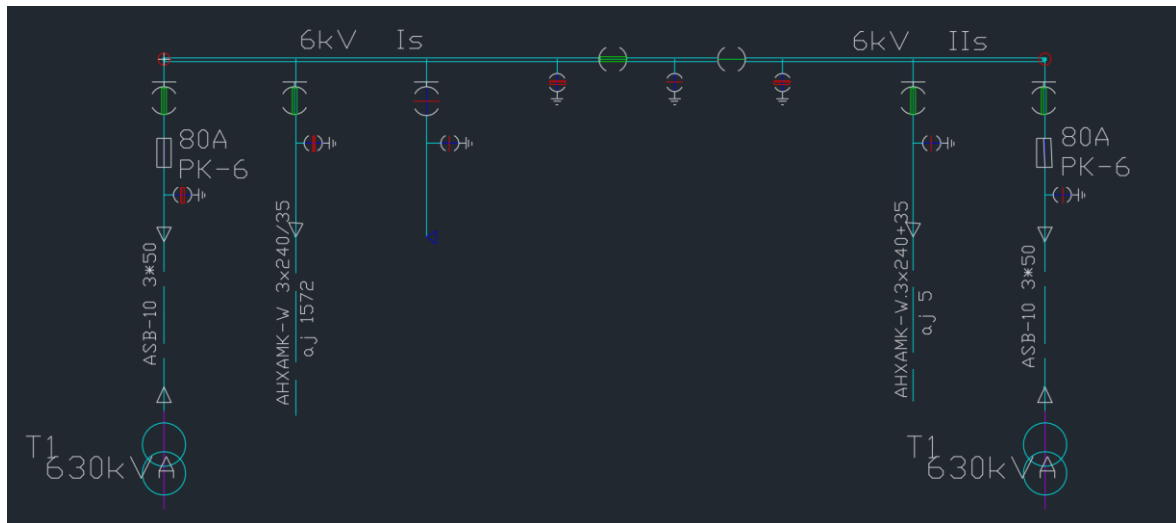


Joonis L11.1 AJ 4524 KP jaotla enne rekonstrueerimist



Joonis L11.2 AJ 4524 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

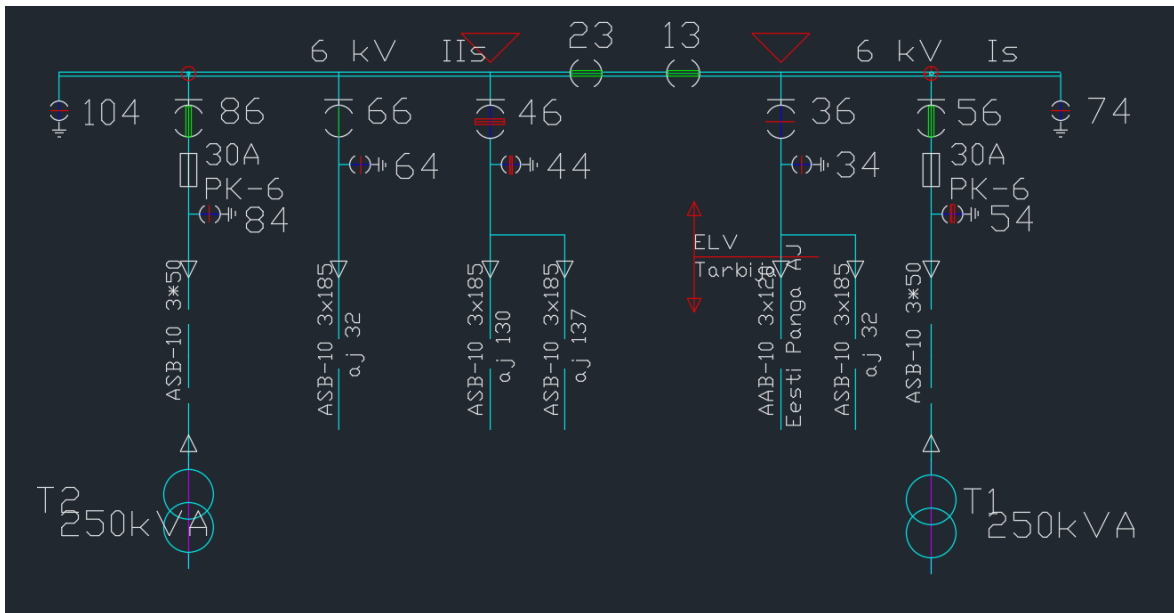
## Lisa 12 AJ 1480 KP skeemid



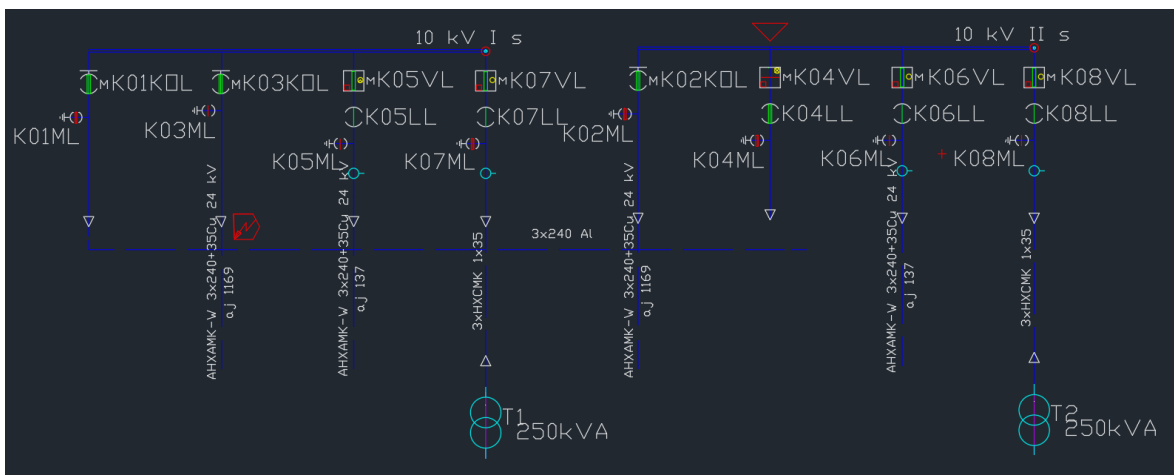
Joonis L12.1 AJ 1480 KP jaotla enne alajaama likvideerimist



## Lisa 13 AJ 97 KP skeemid



Joonis L13.1 AJ 97 KP jaotla enne rekonstrueerimist



Joonis L13.2 AJ 97 KP jaotla pärast rekonstrueerimist

## Lisa 14 kaabli AHXAMK-W heakskiidutunnistus

### TUNNISTUS

Elektrilevi OÜ menetles vastavalt põhimaterjalide ja -seadmete heakskiiduprotseduurile Aktsiaselts Esvika Elekter ja SLO Eesti Aktsiaselts poolt 11.04.2016 esitatud taotlust põhimaterjali või –seadme ELV nõuetele vastavaks tunnistamiseks ja heakskiidu omistamiseks.

**Põhimaterjal- või seade:** keskpinge maakaabel „AHXAMK-W“.

**Valmistaja:** Draka Kabel Sverige AB (Prysmian Group), Nässjö, Rootsi; Prysmian Finland Oy, Pikkala, Soome.

**Tehase tüüp:** „AHXAMK-W“.

**Põhiparameetrid ja kasutuspiirangud:**  $U_0/U(U_m)=10/12(24)$  kV, ristlõiked 3x120 mm<sup>2</sup>, 3x240 mm<sup>2</sup>, 3x300 mm<sup>2</sup>. Kündmine on lubatud. Faasisooned: alumiinium. Maandusjuht: vask 35 või 70 mm<sup>2</sup>.

Elektrilevi OÜ varaarendusnõukogu oma otsusega nr. 200.1 kuupäev 02.08.2016 otsustas:

**Tunnistada toode vastavaks Elektrilevi OÜ nõuetele, omistada tootele heakskiit ja lubada selle kasutamist elektrivõrgu ehitusel, remondil ja toimimisel.**

Käesolev tunnistus on kehtiv, kuni tootele ei ole tehtud muudatusi (ükskõik milliseid) või kui ei ole muudetud tootele esitatavaid nõudeid Elektrilevi OÜ normdokumentides.

Hankeosakonna juhataja

Allkiri  
/Kinnitatud digitaalallkirjaga/

Tallinnas

Kuupäev: 04.08.2016

Joonis L14.1 Elektrilevi OÜ heakskiidutunnistus kaablile AHXAMK-W [18]

# Lisa 15 kaabli AHXAMK-W 12/20 kV andmeleht



Jõukaablid 24kV

## AHXAMK-W 12/20 (24) kV



### Tooteperekonna kirjeldus

Kolmesooneline kokku keerutatud piki- ja põikisuunas veekindel keskpinge jõukaabel keerutatud ja tihendatud alumiiniumjuhtmetega. Kohtkindlaks paigalduseks välitingimustes, sobib maasse kündmiseks.

### Tootepere alternatiivmärgistus

WISKI®

### Tuletundlikkus

Ei ole kohaldatav

### Standard

HD 620-10F  
IEC 60502-2

### Konstruksioon

Kaabli kuju  
UNSPSC kirjeldus  
Juht

Keskjuht  
Isolatsioon  
Juhi ekraan  
Isolatsiooni ekraani kirjeldus  
Soonte keerutus  
Sisemine kate  
Varjestus  
Väliskest  
Semi-conducting layer in outer sheath  
Tähistuse näidis

Ümar.  
26121629  
Keerutatud, ümar ja tihendatud alumiiniumjuhe, vastavalt IEC 60228 klass 2, pikisuunas veekindel.  
Ümar, keerutatud ja tihendatud vaskjuhe.  
PEX.  
Pooljuhtiv PEX.  
Pooljuhtiv PEX.  
Kolm faasijuhet on keerutatud ümber keskjuhtme.  
Juhtiv teip.  
Alumiiniumlaminaat seotud väliskestaga.  
Must PE.  
Pooljuhtiv teip.  
AHXAMK-W 12/20 kV 3x150+35 DRAKA "Kuupäev ja kellaaeg", 1 faas on meetrimärgiga.

### Temperatuur

Max töötemperatuur  
Min paigaldustemperatuur [°C]

90°C  
Madalaim lubatud temperatuur paigaldamisel: -20°C, alla 0°C on ettevaatusabinõud soovituslikud.

### Omadused

Painderaadius

Ühekordne painutamine lõplikul paigaldusel: 10 x D  
Paigaldusel: 15 x D  
Kündmisel: 8 x D  
15 N/mm<sup>2</sup> xA  
50 N/mm<sup>2</sup> xA

Max tõmbejõud kestast [N/mm<sup>2</sup>]  
Max tõmbejõud veopeaga [N/mm<sup>2</sup>]

### Elektrilised omadused

Maksimaalne temperatuur lühise korral [°C] 250°C

Joonis L15.1 AHXAMK-W 12/20 (24) kV andmeleht [20]

Juhtide ja varjestuse ristlõige [mm <sup>2</sup> ]	Standardpikkus [m]	Standardpakend	EAN/GTIN number	SAP kood
3x50+35 20kV	500	K24	6410006242504	20022490
3x95+35 20kV	500	K26	6410006242528	20022491
3x120+35 20kV	500	K26	6410006242535	20022492
3x150+35 20kV	500	K26	6410006242542	20022493
3x185+35 20kV	500	K26	6410006242559	20022495
3x240+35 20kV	500	K28	6410006242566	20022499
3x240+70 20kV	500	K28	6410006242566	20022498
3x300+35 20kV	500	K28	6410006242597	20022502
3x300+70 20kV	500	K28	6410006242573	20022501

Juhtmete arv ja ristlõike pindala [mm <sup>2</sup> ]	Kaabli läbimõõt [mm]	Kaabli mass [kg/km]	Juhtme takistus[Ω/km]	Keskjuhtme takistus [Ω/km]	Induktiivsus/faas [mH/km]	Mahtuvus [μF/km]
3x50+35 20kV	64	2350	0.641	0.524	0.46	0.17
3x95+35 20kV	71	3100	0.32	0.524	0.4	0.21
3x120+35 20kV	74	3450	0.253	0.524	0.39	0.23
3x150+35 20kV	76	3800	0.206	0.524	0.37	0.24
3x185+35 20kV	80	4300	0.164	0.524	0.36	0.26
3x240+35 20kV	86	5200	0.100	0.524	0.35	0.29
3x240+70 20kV	89	5500	0.125	0.268	0.35	0.3
3x300+35 20kV	92	5950	0.100	0.524	0.34	0.32
3x300+70 20kV	94	6250	0.1	0.268	0.34	0.32

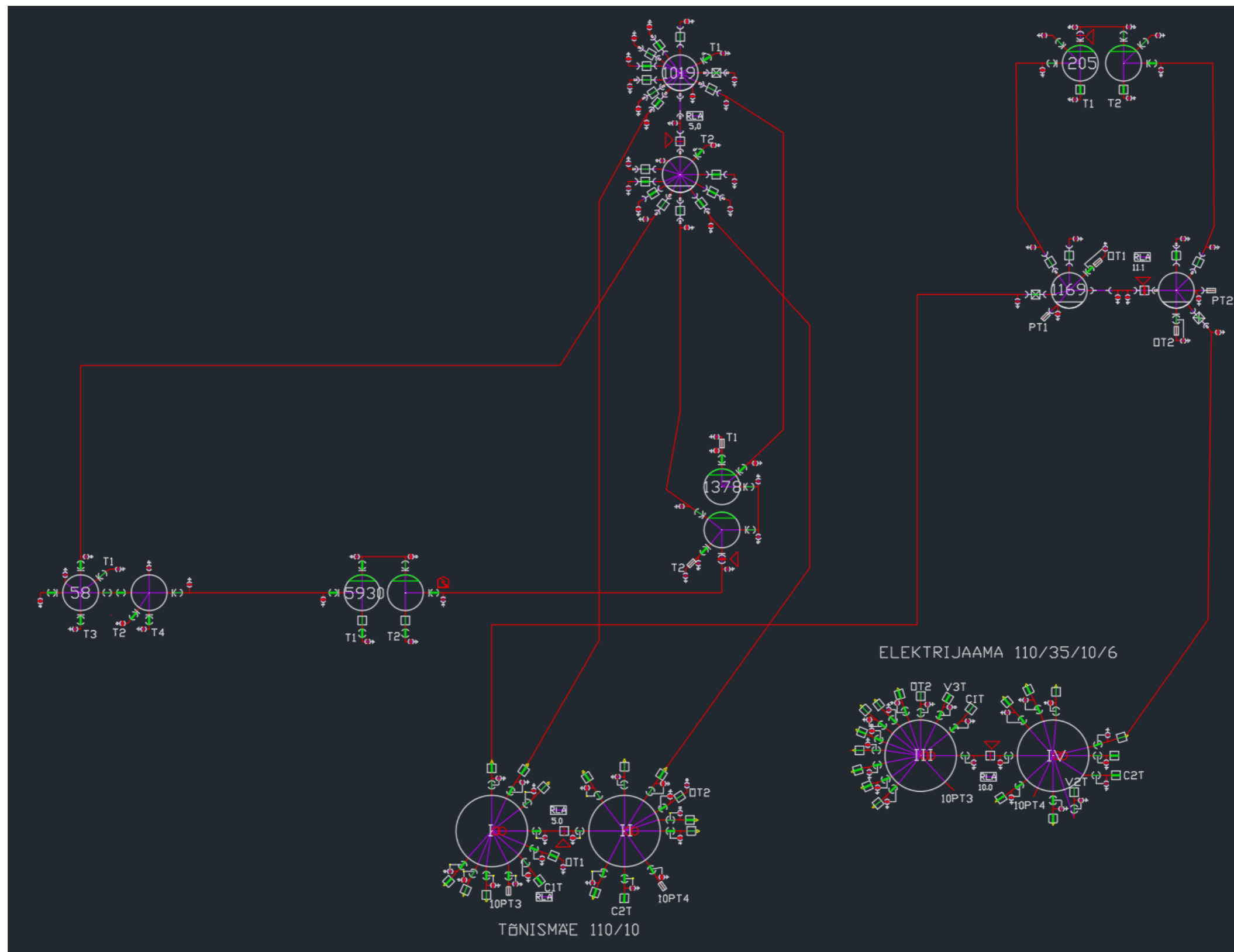
Juhtmete arv ja ristlõike pindala [mm <sup>2</sup> ]	Laadimisvool/faas [A/km]	Maa lühisvool [A/km]	Lubatud koormusvool, juhe temp. 65°C pinnases *[A]	Lubatud koormusvool, juhe temp. 65°C õhus *[A]	Lubatud koormusvool, juhe temp. 90°C õhus *[A]	Maksimaalne lubatud lühisvool 1 sekundi jooksul, temp 90°C,** [kA]
3x50+35 20kV	0.6	1.8	155	160	195	4.7
3x95+35 20kV	0.8	2.3	235	230	280	8.9
3x120+35 20kV	0.8	2.5	265	265	325	11.3
3x150+35 20kV	0.9	2.6	300	300	370	14.1
3x185+35 20kV	1	2.9	330	345	425	17.4
3x240+35 20kV	1.1	3.2	385	400	510	22.6
3x240+70 20kV	1.1	3.2	385	400	510	22.6
3x300+35 20kV	1.2	3.5	435	460	565	28.3
3x300+70 20kV	1.2	3.5	435	460	565	28.3

\* Kolmnurksel paigaldamisel üldekraan maandatud mõlemas otsas.

\*\*Lubatud väärtused on toodud järgmistel tingimustel: maksimaalne juhi temperatuur 90°C, pinnase temperatuur 15°C, õhutemperatuur 25°C, pinnase soojuslik eritakistus 1,0°Km/W, kaabli paigaldamise sügavus, 0,65m, sagedus 50Hz

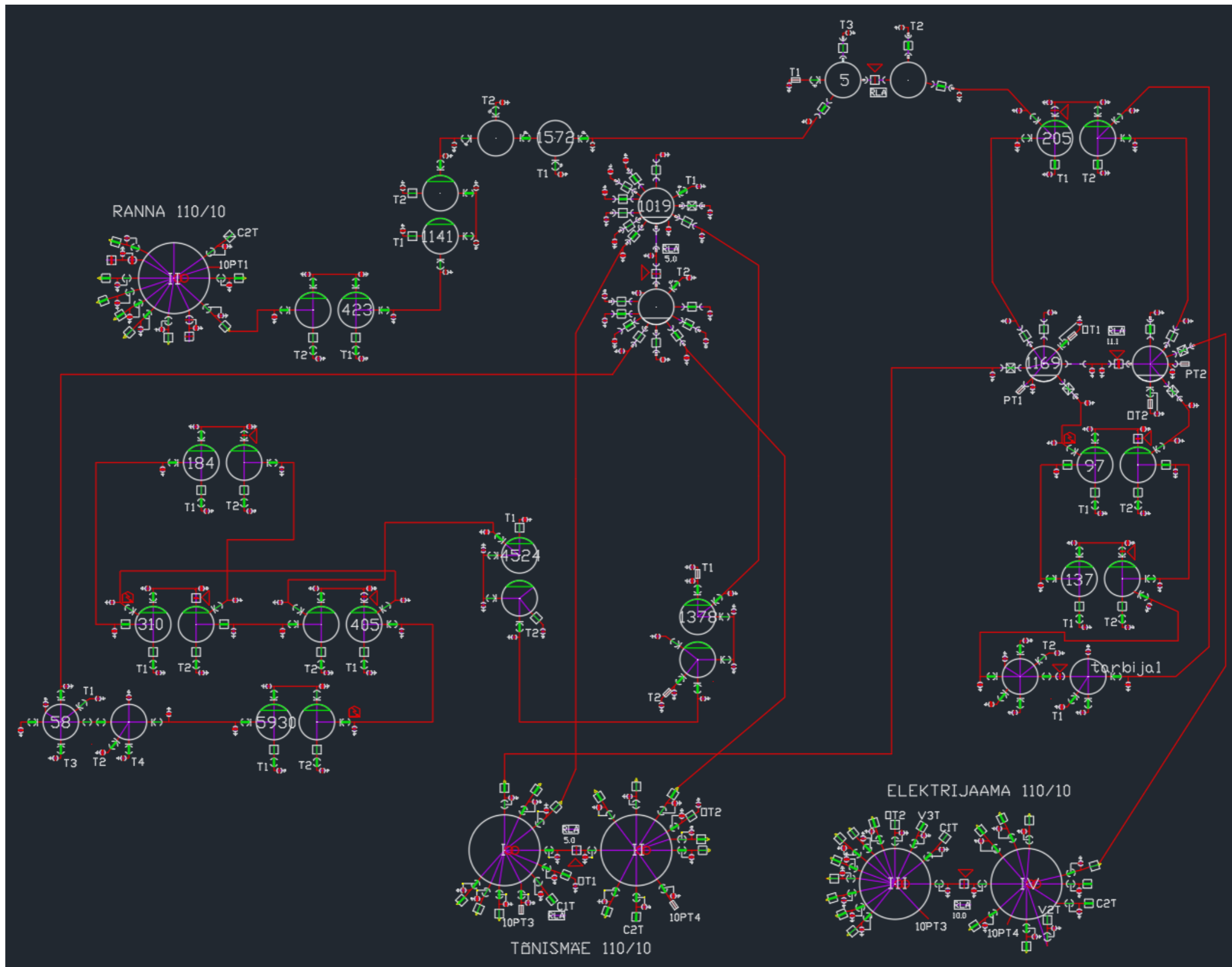
Joonis L15.2 AHXAMK-W 12/20 (24) kV andmeleht [20]

# Lisa 16 PAJ Tõnismäe ja Elektriijaama 10 kV kiirteskeem enne uue võrgu lisandumist



Joonis L16.1 PAJ Tõnismäe ja Elektriijaama 10 kV kiirteskeemide osad

Lisa 17 10 kV pingesüsteemile üle viidud alajaamade kiirteskeem



Joonis L17.1 Muudetud pingeklassiga alajaamade kiirteskeem