TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINNA JAOTUSVÕRGU PIIRKONNAALAJAAMADE ARENGU PLANEERIMINE 2025-2040

DEVELOPMENT PLANNING OF REGIONAL SUBSTATIONS OF TALLINN'S DISTRIBUTION NETWORK 2025-2040

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sander Tiismaa
/nimi/

Üliõpilaskood:: 221621AAVM

Juhendaja: Jako Kilter, professor
/nimi, amet/

Tallinn 2024

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.

"....." ..... 20…..

Autor: .....
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20…..

Juhendaja: .....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."..... 20… .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....
/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks[1]

Mina Sander Tiismaa

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tallinna piirkonna elektrivõrgu arengud,

mille juhendaja on Jako Kilter,

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.

_____ (kuupäev)

[1] *Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sander Tiismaa, 221621AAVM

Õppekava, peaeriala: AAVM02/22 Elektroenergeetika

Juhendaja(d): Kaasprofessor tenuuris, Jako Kilter, 6203765 (amet, nimi, telefon)

Konsultant: Virgo Vaabel, peaspetsialist, Elektrilevi OÜ, +3725129027, virgo.vaabel@elektrilevi.ee

Lõputöö teema:

(Eesti keeles) Tallinna jaotusvõrgu piirkonnaalajaamade arengu planeerimine 2025 – 2040

(Inglise keeles) Development planning of regional substations of Tallinn's distribution network 2025 – 2040

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tallinna olemasolevate koormuste ja perspektiivsete koormuste analüüs;
2. Tallinna uue elektrivõrgu konfiguratsiooni kujundamine;
3. Soovituste andmine Tallinna fookuspiirkonna arengukava koostamisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lähteandmete kogumine	23.02.2024
2.	Lõputöö esialgne versioon valmis	23.04.2024
3.	Lõputöö korrigeerimine	12.05.2024
4.	Lõputöö esitamine	13.05.2024

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "13" mai.2024a

Üliõpilane: Sander Tiismaa ..... "....."..... 20…..a
/allkiri/

Juhendaja: Jako Kilter ..... "....."..... 20…..a
/allkiri/

Konsultant: Virgo Vaabel ..... "....."..... 20…..a
/allkiri/

Programmijuht: Marek Tull ..... "....."..... 20…..a
/allkiri/

SISUKORD

SISUKORD 5
EESSÕNA 7
Lühendite ja tähiste loetelu 8
1. SISSEJUHATUS 9
2. TALLINNA JAOTUSVÕRGU PIIRKONNAALAJAAMADE OLEMASOLEV OLUKORD 10
2.1 Fookuspiirkonna piirkonnaalajaamad ning jaotusseadmed 11
2.2 Piirkonnaalajaamade koormused ja trafode andmed 14
2.3 Piirkonnaalajaamade koormuste prognoos 27
3. TALLINNA JAOTUSVÕRGU PIIRKONNAALAJAAMADE ARENGU PLAANIMINE 34
3.1 Arengu plaanimise metoodika ja põhimõtted 34
3.2 Tallinna piirkonnaalajaamade muudatused 38
3.2.1 Ekskavaatori piirkonnaalajaama muudatused 38
3.2.2 Endla piirkonnaalajaama muudatused 40
3.2.3 Ida piirkonnaalajaam muudatused 41
3.2.4 Järve piirkonnaalajaama muudatused 42
3.2.5 Kadaka piirkonnaalajaama muudatused 45
3.2.6 Kivimäe piirkonnaalajaama muudatused 45
3.2.7 Kvartsi piirkonnaalajaama muudatused 45
3.2.8 Lasnamäe piirkonnaalajaama muudatused 49
3.2.9 Paljassaare piirkonnaalajaama muudatused 51
3.2.10 Pääsküla piirkonnaalajaama muudatused 52
3.2.11 Ranna piirkonnaalajaama muudatused 56
3.2.12 TPI piirkonnaalajaam muudatused 58
3.2.13 Tõnismäe piirkonnaalajaam muudatused 62
3.2.14 Veerenni piirkonnaalajaama muudatused 62
3.2.15 Veskimetsa piirkonnaalajaama muudatused 64
3.2.16 Volta piirkonnaalajaama muudatused 65
3.2.17 Ülemiste piirkonnaalajaama muudatused 66
3.3 TALLINNA ELEKTRIVÕRK AASTAKS 2040 68
3.4 Muudetud elektrivõrgu ja olemasoleva elektrivõrgu erinevus 75

KOKKUVÕTE 79
SUMMARY 81
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 83

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö „Tallinna jaotusvõrgu piirkonnaalajaamade arengu planeerimine 2025–2040" tulemusi kasutatakse Elektrilevi ja Eleringi vahelise arengukava „Eesti elektrivõrgu arengukava aastani 2040" koostamisel. Lõputöö eesmärgiks on Tallinna olemasolevate koormuste ja perspektiivsete koormuste analüüs, uue elektrivõrgu konfiguratsiooni kujundamine ning soovituste andmine arengukava koostamiseks. Teemat aitasid valida ja sõnastada Elektrilevi OÜ peaspetsialist Virgo Vaabel ja Tallinna Tehnikaülikooli professor Jako Kilter.

Autor tänab juhendajat, kaasjuhendajat ja elektrivõrgu arendusinseneri Jüri Pakostat hea koostöö ja abivalmiduse eest.

Märksõnad: Piirkonnaalajaamad, elektrivõrk, jaotusvõrk, ülekandevõrk, magistritöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

I/II/III/IV s. – I/II/III/IV sektsioon alajaamas

JAJ – jaotusalajaam

kV – kilovolt

LL – lahklüliti

ML – maanduslüliti

MW – megavatt

PAJ – piirkonnalajaam

VL – võimsuslüliti

1. SISSEJUHATUS

Käesolev lõputöö on fokusseeritud Tallinna jaotusvõrgu piirkonnaalajaamade arengu planeerimisele, mille mahus hinnatakse olemasolevaid ja perspektiivseid koormuseid ning lähtudes sellest antakse soovitusi elektrivõrgu konfiguratsiooni kujundamiseks. Lõputöö sisu kasutatakse Eleringi ja Elektrilevi vahelise Eesti elektrivõrgu arengukava aastani 2040 koostamisel. Lõputööks on valitud selline teema, sest varasemate arengukavade käigus ei ole Tallinna elektrivõrku nii põhjalikult uuritud ning Eesti elektrivõrgu arengukava aastani 2040 raames soovivad Elektrilevi ja Elering seda teha. Lõputöö on koostatud lähtudes Elektrilevi normdokumentidest ja juhenditest.

Arengukava koostamise vajadus seisneb selles, et Elektrilevil ja Eleringil oleks ühine dokument mis annaks sisendi nii lühi- kui ka pikaajaliste investeeringute kavandamisele ning planeerimisele. Seeläbi oleks võimalik tulevikus projekte ühildada, et ehitustegevustest tulenevad kahjulikud mõjud nii loodusele kui ka ühiskonnale oleks minimaalsed. Arengukava mahus koostatakse võrgu arengu tervikvaade, mis arvestab põhimõttega, et maa on piiratud ressurss ning eesmärk on selle majanduslikult ning tehniliselt optimaalne kasutamine, arvestab lõppklientide pikaajalise koormuste muutumise vajadusega, varustuskindlusega ning ühiskondliku kuluga. Arengukava on tulevikus aluseks sisendite andmisel riigi eriplaneeringutes, teemaplaneeringutes, üldplaneeringutes ning maakonnaplaneeringutes trassivalikul. Lisaks tuleneb arengukava koostamise vajadus ka Elektrituruseaduse §66 nõudest, et võrguettevõtja peab koostama vähemalt iga kahe aasta järel võrgu arengukava 10 aasta lõikes [1].

Töö esimeses osas kirjeldatakse olemasolevat olukorda Tallinna piirkonnaalajaamades ja prognoositud koormuseid aastaks 2040. See hõlmab endast:

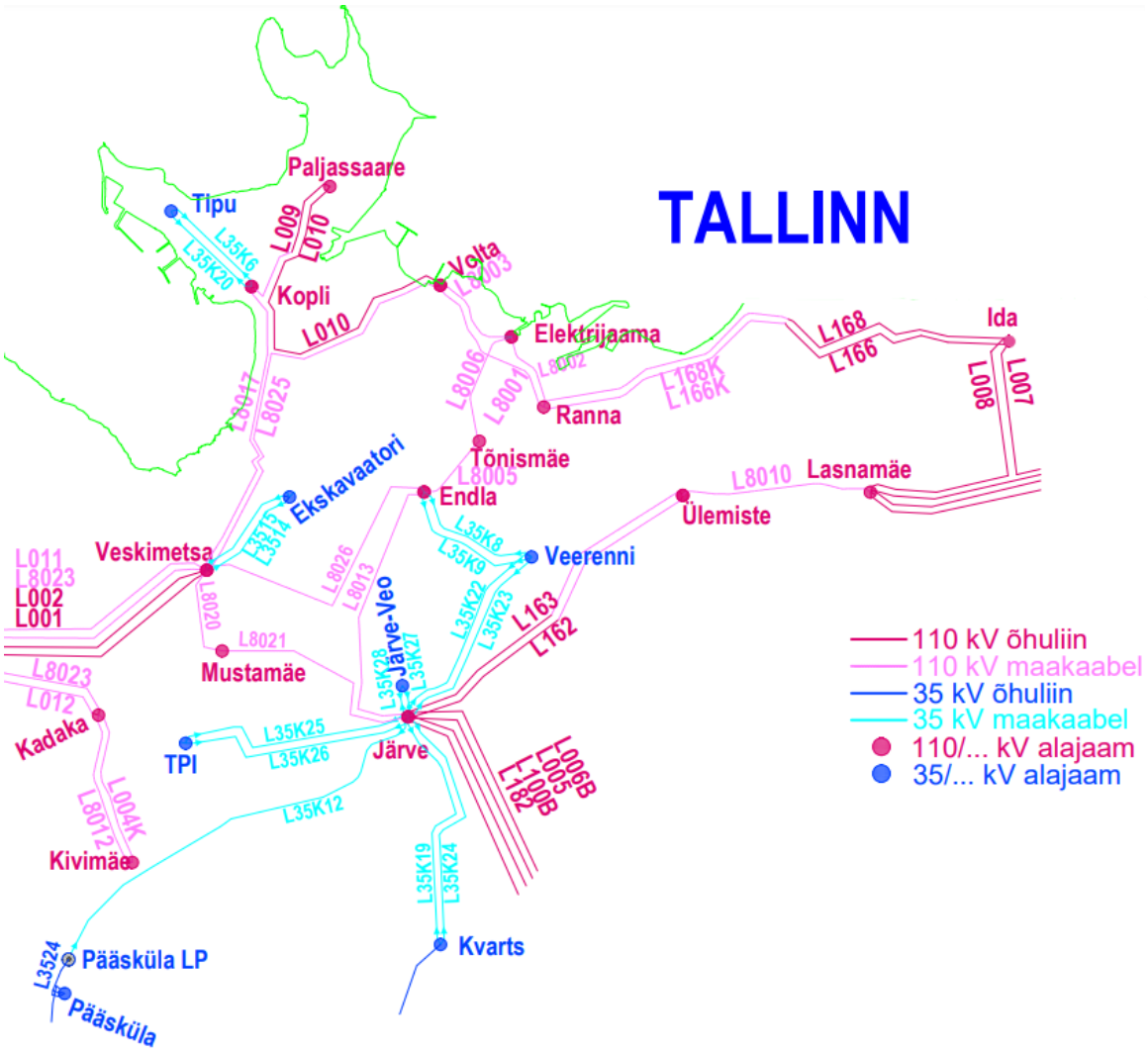
- Jaotusseadmete pingeklassi ja eluiga;
- Trafode andmeid, sh võimsuseid, pingeastmeid ja eluiga;
- Maksimaalseid koormuseid normaalskeemi puhul;
- Koormused reserveerivas režiimis kui üks trafodest on tööst väljas;
- Prognoositud koormused aastaks 2040;
- Probleemid olemasolevates piirkonnalajaamades.

Töö teises osas antakse soovitusi, mida olemasolevate piirkonnaalajaamadega teha, mida elektrivõrgus muuta ning kuhu uusi PAJ-sid rajada ning vajalike tööde maksumus. Antud lõputöö mahus ei teostata 110 kV võrgu arvutusi, sest antud lõputöös on keskendutud jaotusvõrgule. Kolmandas osas tehakse muudatuste kokkuvõtteid ja võrreldakse olemasolevat elektrivõrku muudetud elektrivõrguga. Töö koostamisel kasutatakse Trimble NIS, Excel, AutoCad ja ADMS tarkvarasid.

2. TALLINNA JAOTUSVÕRGU PIIRKONNAALAJAAMADE OLEMASOLEV OLUKORD

Tallinna elektrivõrgu ajalugu hakkab pihta aastast 1911 kui alustati Tallinna Elektrijaama ja jaotusvõrgu projekteerimisega. 1912. aastal ehitati Tallinnasse 3/0,23 kV alajaamasid ning 3 kV ja 0,23 kV liine. 1913. aasta 24. märtsil käivitati Tallinna elektrijaam ning ühendati võrguga esimene klient Pikk tn 68. Aastal 1928 hakati arendama Tallinnas 6 kV võrku, mis on kasutusel tänaseni, aga järkjärgult viiakse 6 kV võrku üle 10 kV-le. Kuna võrgu maht järjest kasvas, siis 1944. aastal loodi riiklik Eesti Energia Tallinna Energia rajoon ning 1951. aastal loodi iseseisev ettevõte Tallinna Elektrivõrk. Esimene 35 kV maakaabel paigaldati aastal 1955 ja siis algas ka üleminek 3 kV pingesüsteemilt 6 kV pingesüsteemile, sellega jõuti lõpule 1963. aastal. Selleks ajaks oli Tallinnas kuus 35/6 kV alajaama. 1980. aastal paigaldati Tallinnasse esimene 110 kV kaabel ning ehitati ka esimene 110 kV alajaam. 1993. aastaks oli Tallinna toitevõrgus 12 alajaama võimsusega 385,4 MVA. [2]

Tallinna toitevõrk koosneb nüüd 20 piirkonnaalajaamast, mis kuuluvad Eleringile või Elektrilevile. Trafode järgi on nende alajaamade võimsuseks kokku 1314 MVA. 110 kV ülempingega alajaamasid on Tallinnas 15 tükki. Nendeks on Elektrijaama, Endla, Ida, Järve, Kadaka, Kivimäe, Kopli, Lasnamäe, Mustamäe, Paljassaare, Ranna, Tõnismäe, Veskimetsa, Volta ja Ülemiste. 35 kV ülempingega alajaamasid on Tallinnas 7 tükki, nendeks on Ekskavaatori, Järve-Veo, Kvartsi, Pääsküla, Tipu, TPI ja Veerenni. 35 kV alajaamades kaks tükki ei kuulu Eleringile ega Elektrilevile, nendeks alajaamadeks on Järve-Veo ja Tipu. Lisaks on Tallinn ühendatud kolme piirkonnaalajaamaga, millede ülempinge on 330 kV. Nendeks piirkonnaalajaamadeks on Aruküla, Harku ja Kiisa. Piirkonnaalajaamades, mille ülempinge on 110 kV, kuuluvad 110 kV seadmed Eleringile, keskpinge pool kuulub Elektrilevile. Piirkonnaalajaamad, mille ülempinge on 35 kV, kuuluvad 100% Elektrilevile. Piirkonnaalajaamad on Tallinnas omavahel ühendatud 110 kV õhuliinide, 110 kV maakaablite, 35 kV õhuliinide ja 35 kV maakaablitega. Tallinna olemasoleva elektrivõrgu skeem on kujutatud joonisel (Joonis 2.1). Joonisel on välja toodud 35 kV ja 110 kV primaarpingetega alajaamad, 110 kV õhuliinid ja maakaablid ning 35 kV õhuliinid ja kaablid.



Joonis 2.1 Tallinna elektrivõrgu skeem

2.1 Fookuspiirkonna piirkonnaalajaamad ning jaotusseadmed

Tallinna fookuspiirkonna moodustavad 20 piirkonnaalajaama. Tabelisse (Tabel 2.1) on koondatud kõikide Tallinna piirkonnaalajaamade nimetused, Elektrilevile kuuluvate jaotusseadmete nimipinged, jaotusseadmete paigaldamise aasta, vanus 2024. aastal, vanus aastaks 2040 ning isoleeriv- / kustutusaine võimsuslülitis. Tabelist selgub, et kõige vanemad jaotusseadmed on TPI piirkonnaalajaamas aastast 1964 ning kõige uuemad seadmed on Ranna piirkonnaalajaamas aastast 2020. Tabeli (Tabel 2.1) vajadus seisneb selles, et välja selgitada milliste piirkonnaalajaamade jaotusseadmed tuleks hiljemalt aastaks 2040 välja vahetada, et võrgus ei oleks mitte ühtegi jaotusseadet, mille eeldatav tehniline eluiga oleks ületatud. Seeläbi välditakse olukorda

kus elektrivõrgu varustuskindlus kannataks jaotusseadmete vanusest tingitud rikete tõttu Elektrilevi normdokumendis „J3355 Elektrivõrgu ülevaatuste ja hoolduste välbad" on välja toodud, et PAJ lahtrite eeldatav tehniline eluiga on 40 ja 45 aastat olenevalt isoleerivast ainest. Õliisolatsiooniga lülitite eluiga 45 aastat, vaakum ja SF6 lülitite eluiga 40 aastat [3]. Lähtuvalt sellest on järgnevates loeteludes välja toodud piirkonnaalajaamad kus jaotusseadmete tehniline eluiga on ületatud juba praegu ning kus tehniline eluiga on ületatud 2040. aastaks.

Hetkel üle eeldatav tehnilise eluea on:

- Kvartsi 35 kV ja 6 kV jaotusseade;
- TPI 35 kV ja 6 kV jaotusseadmed;
- Veerenni 35 kV jaotusseadmed.

2040 aastaks on üle eeldatava tehnilise eluea:

- Kadaka 10 kV jaotusseadmed;
- Kivimäe 6 kV jaotusseadmed;
- Kvartsi 35 kV ja 6 kV jaotusseadmed;
- TPI 35 kV ja 6 kV jaotusseadmed;
- Veerenni 35 kV jaotusseadmed;
- Paljassaare 6 kV jaotusseadmed;
- Lasnamäe 10 kV jaotusseadmed;
- Ida 10 kV jaotusseadmed.

Tabel 2.1 Tallinna fookuspiirkonna piirkonnaalajaamad, Elektrilevi OÜ jaotusseadme

PAJ nimetus	**Jaotus-seadme nimipinge, kV**	**Jaotus-seadme paigaldamise aasta**	**Jaotus-seadme vanus hetkel**	**Jaotus-seadme vanus 2040. aastaks**	**Võimsus-lülitis isoleeriv aine**
Ekskavaatori 35/6	35	2016	8	24	õhk
Ekskavaatori 35/6	6	2016	8	24	vaakum
Elektrijaama 110/35/10	10	2003	21	37	vaakum
Endla 110/35/6	35	2004	20	36	vaakum
Endla 110/35/6	6	2004	20	36	vaakum

PAJ nimetus	Jaotus-seadme nimipinge, kV	Jaotus-seadme paigaldamise aasta	Jaotus-seadme vanus hetkel	Jaotus-seadme vanus 2040. aastaks	Võimsus-lülitis isoleeriv aine
Ida 110/10	10	1986	38	54	õli
Järve 110/35/6	35	2003	21	37	vaakum
Järve 110/35/6	6	2003	21	37	vaakum
Kadaka 110/10	10	2000	24	40	vaakum
Kivimäe 110/6	6	1998	26	42	SF6
Kopli 110/35/6	35	2012	12	28	vaakum
Kopli 110/35/6	6	2012	12	28	vaakum
Kvartsi 35/6	35	1966	58	74	õli
Kvartsi 35/6	6	1966	58	74	õli
Lasnamäe 110/10/6	10	1987	37	53	õli
Lasnamäe 110/10/6	6	2005	19	35	vaakum
Mustamäe 110/6	6	2014	10	26	vaakum
Paljassaare 110/6	6	1987	37	53	õli
Pääsküla 35/6	35	2012	12	28	vaakum
Pääsküla 35/6	6	2012	12	28	vaakum
Ranna 110/10/6	10	2020	4	20	vaakum
Ranna 110/10/6	6	2020	4	20	vaakum
TPI 35/6	35	1964	60	76	õli
TPI 35/6	6	1964	60	76	õli
Tõnismäe 110/10	10	2017	7	23	vaakum

PAJ nimetus	Jaotus-seadme nimipinge, kV	Jaotus-seadme paigaldamise aasta	Jaotus-seadme vanus hetkel	Jaotus-seadme vanus 2040. aastaks	Võimsus-lülitis isoleeriv aine
Veerenni 35/6	35	1965	59	75	õli
Veerenni 35/6	6	2002	22	38	vaakum
Veskimetsa 110/35/10/6	35	2005	19	35	vaakum
Veskimetsa 110/35/10/6	10	2005	19	35	vaakum
Veskimetsa 110/35/10/6	6	2005	19	35	vaakum
Volta 110/6	6	2009	15	31	vaakum
Ülemiste 110/35/6	6	2005	19	35	vaakum

2.2 Piirkonnaalajaamade koormused ja trafode andmed

Töö järgmise osana tehakse kindlaks olemasolevate PAJ-de koormused ning trafode andmed. Seda on vaja selleks, et hiljem teha järeldusi, kas juba praegu oleks vaja ehitada uusi PAJ-sid, trafosid lisada/asendada ja mida oleks vaja teha tulevikus kui koormus muutub. Jõutrafode andmed on saadud elektrivõrgu planeerimise tarkvarast Trimble NIS kuhu on koondatud kogu Elektrilevi võrguga seotud info. Joonisel (Joonis 2.2) on näidatud see, et millised näevad välja ühe piirkonnaalajaama trafo andmed. Koormuste andmed on saadu elektrivõrgu monitoorimise ja juhtimise tarkvarast ADMS. Analüüsi teostamiseks on kasutatud viimase 3 aasta kaalutud keskmisi aktiiv- ja reaktiivvõimsuse mõõtetulemusi, mis on valemiga (1) ümber arvutatud näivvõimsuseks. Mõõtetulemuste analüüsi selgitamiseks on töö autor kasutanud näitena Ranna piirkonnaalajaama 6 kV koormust.

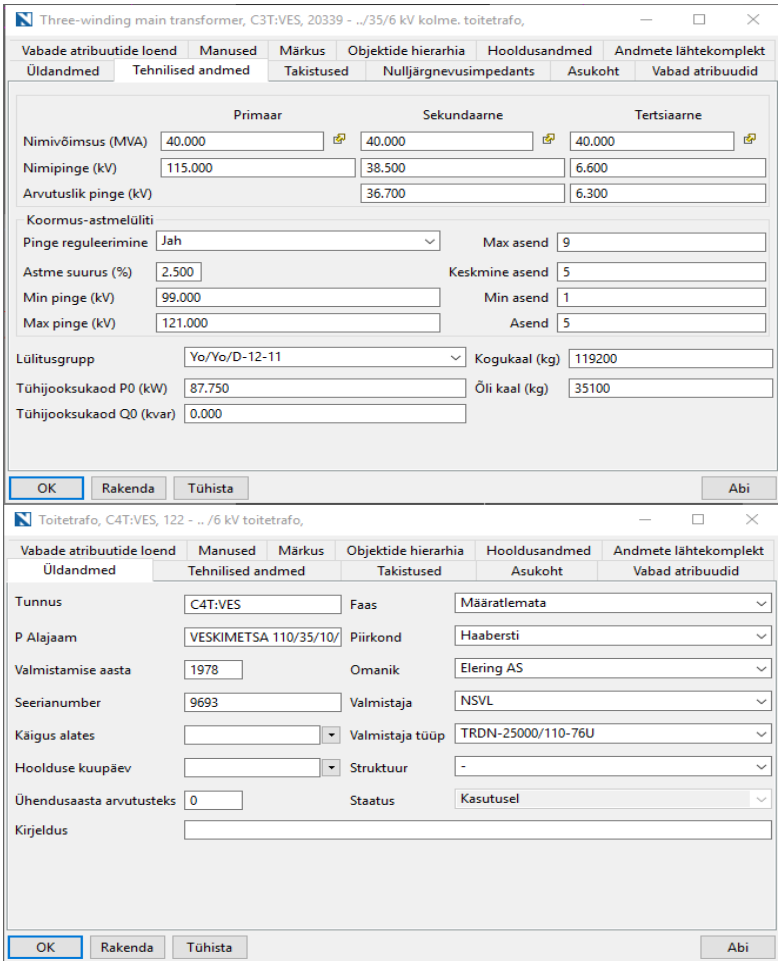
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{1}$$

kus S – näivvõimsus, MVA;

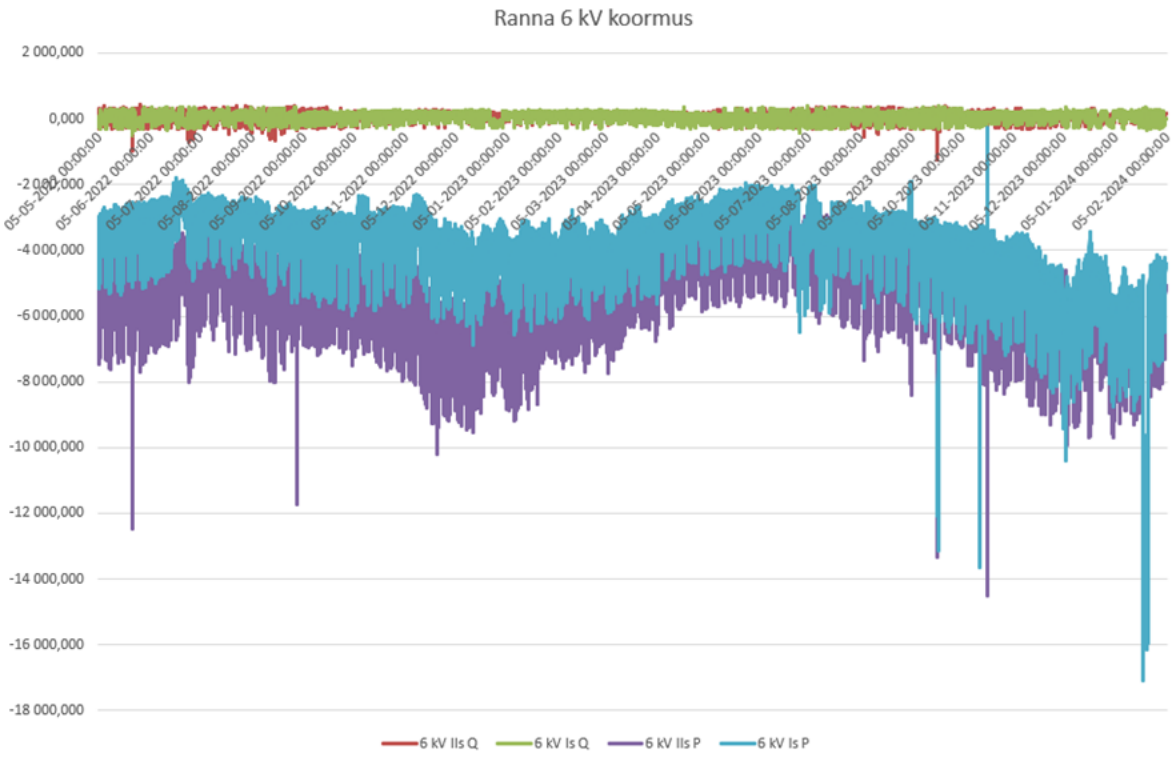
P – aktiivvõimsus, MW;

Q – reaktiivvõimsus, Mvar.

Mõõtetulemused väljastatakse kahel kujul, graafiliselt ja tabelina. Näide väljastatud andmetest on joonisel (Joonis 2.3). Joonisel (Joonis 2.3) on näha tänu graafikule, et mõõtetulemustes esineb järske koormuse muutuse piike, mis ei ole reaalsed. Need on tingitud tavaliselt kas mõõtetulemuste anomaaliatest või reserveerivast režiimist seega piirkonnaalajaama tarbitava maksimaalse võimsuse leidmiseks tuleb mõõtetulemusi korrastada. Korrastatud graafik on välja toodud joonisel (Joonis 2.4). Pärast andmete korrastamist arvutatakse välja näivvõimsus kasutades valemit (1). Seejärel on võimalik välja selgitada Ranna piirkonnaalajaama 6 kV 3 aasta maksimaalne koormus. Selleks tuleb liita mõlema 6 kV sektsiooni võimsused kokku ning pärast seda leida maksimaalne võimsus. Pärast mõlema 6 kV sektsiooni üheaegset maksimaalset võimsust tuleb leida samal ajahetkel sektsioonide võimsused eraldi, et oleks võimalik hinnata trafode 6 kV õla koormust. Ranna PAJ 6 kV maksimaalseks üheaegseks koormuseks on 3 aasta jooksul olnud 18,8 MVA. Samal ajahetkel oli Ranna 6 kV I sektsiooni koormus 8,87 MVA ja II sektsiooni koormus 9,93 MVA. Samat lähenemisviisi on kasutatud ka teiste piirkonnaalajaamade puhul ning tulemused on kajastutud tabelites (Tabel 2.3 ja Tabel 2.4). Selline lähenemisviis võimaldab välja selgitada trafo erinevate mähiste maksimaalseid koormuseid nii normaalolukorras kui ka reserveerivas režiimis.

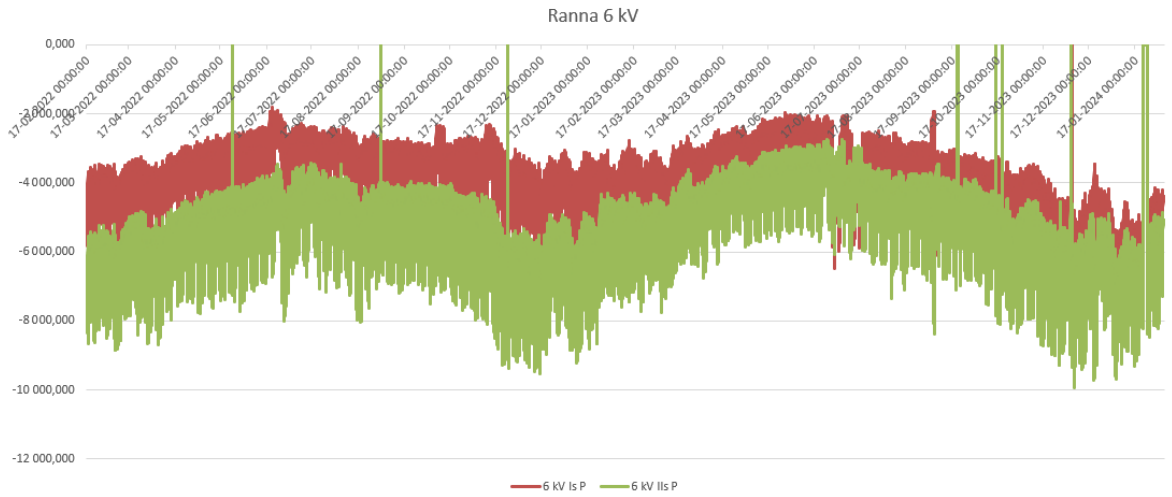


Joonis 2.2 Trimble NIS trafo andmed



TIMESERIES			RANNA - Q - L54VL - L54 C2T 6				RANNA - P - L54VL - L54 C2T 6			
Date Time	Hour	Minute	MIN	MAX	K_AVG	Mõõtmisi	MIN	MAX	K_AVG	Mõõtmisi
05-05-2022 02:00:00	2	0	32,912	151,547	107,803	60	-4 744,919	-4 494,810	-4 626,545	54
05-05-2022 03:00:00	3	0	42,602	163,023	108,021	60	-4 722,117	-4 330,254	-4 585,624	51
05-05-2022 04:00:00	4	0	- 22,050	186,245	126,985	60	-4 743,366	-4 362,083	-4 495,135	54
05-05-2022 05:00:00	5	0	- 80,836	31,502	- 9,924	60	-5 485,620	-4 797,560	-5 118,019	53
05-05-2022 06:00:00	6	0	- 116,308	18,334	- 52,220	60	-6 378,951	-5 388,475	-5 845,527	55

Joonis 2.3 Ranna PAJ 6 kV mõõtetulemuste näide



Joonis 2.4 Ranna PAJ 6 kV korrastatud mõõtetulemuste graafik

Tabelis (Tabel 2.2) on välja toodud piirkonnaalajaamades olevate jõutrafode primaar-, sekundaar- ja tertsiaarmähiste võimsused, trafo mähiste nimipinged, tootmisaastad, trafo vanus 2024 aasta seisuga ja trafo vanus 2040. aastaks. Tabelis (Tabel 2.2) on „/" märgiga eraldatud trafode erinevate mähiste võimsused ja erinevate mähiste nimipinged. Tallinna piirkonnaalajaamades on kokku 43 jõutrafot keskmise vanusega 33 aastat. Vanima jõutrafo vanus on hetkel 58 aastat ning see asub Kvartsi 35/6 alajaamas. Kahe mähiseliseid trafosid on kokku 15 ning kolme mähiseliseid trafosid on 28. Nelja jõutrafoga alajaamasid on Tallinnas üks ning selleks on Veskimetsa 110/35/10/6 kV alajaam. Kolme jõutrafoga alajaamasi on üks ning selleks on Järve 110/35/6 kV alajaam. Ülejäänud 18. piirkonnaalajaamas on kaks jõutrafot. Tallinna piirkonnaalajaamades on kasutusel jõutrafosid, millede primaarmähise võimsus on 10; 16; 25; 31,5; 40; 40,5 või 63 MVA ning nimipingeteks on kas 115 kV või 36,75 kV. Tallinna piirkonnaalajaamades esine jõutrafosid, millede sekundaar- ja tertsiaarmähiste võimsused on 10; 12,5; 15,75; 16; 20; 25; 31,5; 40 või 40,5 MVA ning nimipingeteks on 6,3; 6,6; 10,5; 11 või 38,5 kV.

Elektrilevi ülevaatuste ja hoolduste välbad juhendi järgi on piirkonnaalajaama trafode eeldatavaks tehniliseks elueaks 60 aastat [3]. Tabelist (Tabel 2.2) selgub, et hetkel ei ole mitte ühegi alajaama trafo üle eeldatava tehnilise eluea, aga 2040 aastaks on 16 jõutrafot ületanud enda tehnilise eluea. See on 37,2% kõikidest Tallinna piirkonnaalajaamade jõutrafodest. Järgnevas loetelus on välja toodud tabeli (Tabel 2.2) andmete põhjal trafod, mis on 2040 aastaks üle eeldatava tehnilise eluea:

- Endla C1T;
- Endla C2T;
- Järve C2T;
- Kvartsi T1T;
- Kvartsi T2T;
- Paljassaare C2T;
- Pääsküla T2T;
- TPI T2T;
- Veerenni T1T;
- Veerenni T2T;
- Veskimetsa C3T;
- Veskimetsa C4T;
- Volta C1T;
- Volta C2T;
- Ülemiste C1T;
- Ülemiste C2T.

Tabelisse (Tabel 2.3) on koondatud trafode sekundaar- ja tertsiaarmähiste võimsused ja PAJ-st tarbitav võimsus trafo mähiste kaupa normaalolukorras. Tarbitava võimsuse puhul on arvesse võetud 3 viimase aasta mõõtetulemusi. Tabelist (Tabel 2.3) selgub, et piirkonnaalajaamade trafode nimivõimsuseid ei ületata normaalskeemi järgi mitte kuskil. Suurima koormusega jõutrafo on Järve 110/35/6 kV alajaama trafo C1T, mille viimase 3 aasta maksimaalne koormus on olnud kokku 27,47 MVA, millest sekundaarmähise koormus on 14,94 MVA ning tertsiaarmähise koormus 12,53 MVA. Väikseima koormusega jõutrafo on Pääsküla 35/6 kV alajaama trafo T1T, mille viimase 3 aasta maksimaalne koormus on olnud 3,31 MVA.

Tabelis (Tabel 2.4) on välja toodud piirkonnaalajaamade koormused reserveerivas režiimis kui üks trafodest on mingil põhjusel tööst väljas. Tavaliselt on selleks põhjuseks hooldus, kuid võib esineda ka rikkeid, mille tagajärjel trafo lülitatakse välja. Tabelis (Tabel 2.4) on välja toodud n-1 olukorra kirjeldus ehk milline trafo on tööst väljas ning tulbas „koormust reserveeriv trafo" on välja toodud see, et milline trafo millist jaotusseadet reserveerima peab. Lisaks on veel välja toodud sekundaar- ja tertsiaarmähiste nimipinged, nimivõimsused ning koormus reserveerivas talitluses. Tabelist (Tabel 2.4) selgub, et 4 alajaama trafodega on n-1 olukorras trafo ühe mähise võimsust võimalik ületada. Tabelis (Tabel 2.4) on problemaatilised trafod värvitud punaseks.

Esimene probleemne piirkonnaalajaam on Järve 110/35/6. Kõige halvem olukord saaks tekkida juhul kui Järve alajaama C2T välja lülituks. Sellisel juhul peaks 40 MVA mähistega trafo C1T ära toitma kogu Järve 35 kV toitel oleva koormuse ning 6 kV I ja III sektsiooni, see teeks koormuseks kokku 53,54 MVA. Sellise ülekoormuse vältimiseks on Järve alajaamas olemas ka kolmas trafo C4T, mille toitele on võimalik ühendada trafo C1T 6 kV koormus 12,53 MVA. Sellisel juhul oleks C1T maksimaalseks koormuseks 41,01 MVA ning C4T koormuseks 22,07 MVA. Teine probleemne alajaam on Kvartsi 35/6. Kvartsi alajaama maksimaalne koormus saab olla n-1 olukorras 10,27 MVA, aga trafode nimivõimsus on 10 MVA. Kolmas probleemne alajaam on Pääsküla 35/6. Pääsküla alajaamas on kaks trafot, millest T1T on 10 MVA ja T2T 16 MVA. Pääsküla alajaama maksimaalne koormus saab olla n-1 olukorras 10,25 MVA, seega sellisel juhul kui kogu alajaama koormus on T1T toitel, siis ületatakse trafo T1T nimivõimsust. Neljas probleemne piirkonnaalajaam on Veskimetsa. Veskimetsa trafode C1T ja C2T toitele on ühendatud 10 kV võrk, mille summaarne koormus on olnud 25,73 MVA, aga mõlema trafo nimivõimsus on 25 MVA. Seega n-1 olukorras oleks trafode nimivõimsus ületatud.

Tabel 2.2 Trafode andmed

PAJ ja trafo nimetus	Trafo primaar-/sekundaar-/tertsiaarmähise võimsus, MVA	Trafo nimpinged, kV	Trafo tootmisaasta	Trafo vanus	Trafo vanus 2040 aastal
Ekskavaatori 35/6 T1T	10/10	36,75/6,6	2022	2	18
Ekskavaatori 35/6 T2T	10/10	36,75/6,6	2022	2	18
Elektrijaama 110/35/10 C1T	25/12,5/12,5	115/10,5/10,5	2005	19	35
Elektrijaama 110/35/10 C2T	25/25/25	115/10,5/6,6	2010	14	30
Endla 110/35/6 C1T	40/40/40	115/38,5/6,6	1979	45	61
Endla 110/35/6 C2T	40/40/40	115/38,5/6,6	1980	44	60
Ida 110/10 C1T	63/31,5/31,5	115,0/10,5/10,5	1986	38	54
Ida 110/10 C2T	63/31,5/31,5	115,0/10,5/10,5	1986	38	54
Järve 110/35/6 C1T	40/40/40	115/38,5/6,6	1989	35	51
Järve 110/35/6 C2T	40/40/40	115/38,5/6,6	1974	50	66
Järve 110/35/6 C4T	40/20/20	115/6,3/6,3	1998	26	42
Kadaka 110/10 C1T	16/16	115/10,5	2000	24	40
Kadaka 110/10 C2T	16/16	115/10,5	2000	24	40
Kivimäe 110/6 C1T	31,5/15,75/15,75	115/6,6/6,6	2014	10	26
Kivimäe 110/6 C2T	31,5/15,75/15,75	115/6,6/6,6	2014	10	26
Kopli 110/35/6 C1T	40/40/40	115/38,5/6,6	1989	35	51
Kopli 110/35/6 C2T	40/40/40	115/38,5/6,6	1989	35	51
Kvartsi 35/6 T1T	10/10	36,75/6,3	1966	58	74
Kvartsi 35/6 T2T	10/10	36,75/6,3	1967	57	73
Lasnamäe 110/10/6 C1T	63/31,5/31,5	115,0/10,5/6,3	2007	17	33
Lasnamäe 110/10/6 C2T	63/31,5/31,5	115,0/10,5/6,3	1981	43	59
Mustamäe 110/6 C1T	31,5/20/20	115/6,6/6,6	2017	7	23

PAJ ja trafo nimetus	Trafo primaar-/sekundaar-/tertsiaarmähise võimsus, MVA	Trafo nimpinged, kV	Trafo tootmisaasta	Trafo vanus	Trafo vanus 2040 aastal
Mustamäe 110/6 C2T	31,5/20/20	115/6,6/6,6	2017	7	23
Paljassaare 110/6 C1T	16/16	115/6,6	1987	37	53
Paljassaare 110/6 C2T	16/16	115/6,6	1979	45	61
Pääsküla 35/6 T1T	10/10	36,75/6,3	1988	36	52
Pääsküla 35/6 T2T	16/16	36,75/6,3	1967	57	73
Ranna 110/10/6 C1T	40/40/25	115/11,0/6,6	2019	5	21
Ranna 110/10/6 C2T	40/40/25	115/11,0/6,6	2020	4	20
TPI 35/6 T1T	10/10	36,75/6,3	1989	35	51
TPI 35/6 T2T	10/10	36,75/6,3	1978	46	62
Tõnismäe 110/10 C1T	25/25	115/10,5	2005	19	35
Tõnismäe 110/10 C2T	25/25	115/10,5	2005	19	35
Veerenni 35/6 T1T	25/12,5/12,5	36,75/6,3/6,3	1977	47	63
Veerenni 35/6 T2T	25/12,5/12,5	36,75/6,3/6,3	1974	50	66
Veskimetsa 110/35/10/6 C1T	25/12,5/12,5	115/10,5/10,5	1985	39	55
Veskimetsa 110/35/10/6 C2T	25/25/25	115/38,5/11	1985	39	55
Veskimetsa 110/35/10/6 C3T	40/40/40	115/38,5/6,6	1967	57	73
Veskimetsa 110/35/10/6 C4T	25/25	115/6,3	1978	46	62
Volta 110/6 C1T	40,5/40,5/40,5	115/38,5/6,6	1971	53	69
Volta 110/6 C2T	40,5/40,5/40,5	115/38,5/6,6	1970	54	70
Ülemiste 110/35/6 C1T	40/40/40	115/38,5/6,6	1974	50	66
Ülemiste 110/35/6 C2T	40/40/40	115/38,5/6,6	1975	49	65

Tabel 2.3 Trafode sekundaar- ja tertsiaarmähiste võimsus ja PAJ-st tarbitav võimsus trafo mähiste kaupa normaalolukorras

PAJ trafo nimetus ja toidet saav sektsioon	**Trafo sekundaarmähise võimsus, MVA**	**Sekundaarmähise koormus, MVA**	**Trafo tertsiaarmähise võimsus, MVA**	**Tertsiaarmähise koormus, MVA**
Ekskavaatori 35/6 T1T 6 kV I s.	10	5,58	-	-
Ekskavaatori 35/6 T2T 6 kV II s.	10	4,37	-	-
Elektrijaama 110/35/10 C1T 10 kV I ja III s.	12,5	1,68	12,5	5,79
Elektrijaama 110/35/10 C2T 10 kV II ja IV s.	25	6,50	-	-
Endla 110/35/6 C1T 35 kV I ning 6 kV I ja III s.	40	6,57	40	15,83
Endla 110/35/6 C2T 35 kV II ning 6 kV II ja IV s.	40	0	40	15,68
Ida 110/10 C1T 10 kV I ja III s.	31,5	7,37	31,5	11,18
Ida 110/10 C2T 10 kV II ja IV s.	31,5	12,32	31,5	9,53
Järve 110/35/6 C1T 35 kV I ning 6 kV I ja III s.	40	14,94	40	12,53
Järve 110/35/6 C2T 35 kV II s.	40	26,07	40	0
Järve 110/35/6 C4T 6 kV II ja IV s.	20	5,33	20	4,21
Kadaka 110/10 C1T 10 kV I s.	16	7,50	-	-
Kadaka 110/10 C2T 10 kV II s.	16	5,21	-	-
Kivimäe 110/6 C1T 6 kV I ja III s.	15,75	6,51	15,75	1,49
Kivimäe 110/6 C2T 6 kV II ja IV s.	15,75	4,58	15,75	2,52
Kopli 110/35/6 C1T 35 kV I ja 6 kV I s.	40	3,50	40	5,75
Kopli 110/35/6 C2T 35 kV II ja 6 kV II s.	40	3,26	40	5,14
Kvartsi 35/6 T1T 6 kV I s.	10	5,19	-	-
Kvartsi 35/6 T2T 6 kV II s.	10	5,08	-	-
Lasnamäe 110/10/6 C1T 10 kV I ja III ning 6 kV I s.	31,5	15,20	31,5	9,85
Lasnamäe 110/10/6 C2T 10 kV II ja IV ning 6 kV II s.	31,5	12,33	31,5	5,76
Mustamäe 110/6 C1T 6 kV I s.	20	5,13	-	-
Mustamäe 110/6 C2T 6 kV II s.	20	4,43	-	-

PAJ trafo nimetus ja toidet saav sektsioon	Trafo sekundaarmähise võimsus, MVA	Sekundaarmähise koormus, MVA	Trafo tertsiaarmähise võimsus, MVA	Tertsiaarmähise koormus, MVA
Paljassaare 110/6 C1T 6 kV I s.	16	4,02	-	-
Paljassaare 110/6 C2T 6 kV II s.	16	3,61	-	-
Pääsküla 35/6 T1T 6 kV I s.	10	3,31	-	-
Pääsküla 35/6 T2T 6 kV II s.	16	6,94	-	-
Ranna 110/10/6 C1T 10 kV I ja 6 kV III s.	40	5,26	25	8,87
Ranna 110/10/6 C2T 10 kV II ja 6 kV IV s.	40	7,79	25	9,93
TPI 35/6 T1T 6 kV I s.	10	4,44	-	-
TPI 35/6 T2T 6 kV II s.	10	4,92	-	-
Tõnismäe 110/10 C1T 10 kV I s.	25	8,10	-	-
Tõnismäe 110/10 C2T 10 kV II s.	25	10,15	-	-
Veerenni 35/6 T1T 6 kV I ja III s.	12,5	4,14	12,5	6,05
Veerenni 35/6 T2T 6 kV II ja IV s.	12,5	3,59	12,5	3,10
Veskimetsa 110/35/10/6 C1T 10 kV I s.	25	13,60	-	-
Veskimetsa 110/35/10/6 C2T 35 kV I ja 10 kV II s.[1]	25	0	25	12,13
Veskimetsa 110/35/10/6 C3T 35 kV II ja 6 kV I s.	40	9,16	40	2,94
Veskimetsa 110/35/10/6 C4T 6 kV II s.	25	9,11	-	-
Volta 110/6 C1T 6 kV I ja III s.	40,5	10,82	-	-
Volta 110/6 C2T 6 kV II ja IV s.	40,5	9,10	-	-
Ülemiste 110/35/6 C1T 35 kV ning 6 kV I ja III s.	40	0	40	14,58
Ülemiste 110/35/6 C2T 35 kV ning 6 kV II ja IV s.	40	0	40	17,42

[1] Veskimetsa 35 kV I sektsioon on pidevalt C3T toitel

Tabel 2.4 Trafode koormused, kui üks trafodest tööst väljas

PAJ trafo	Trafo võimsus, MVA	Välja lülituv trafo	Koormust reserveeriv trafo	Sekundaarmähis			Tertsiaarmähis		
				Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA	Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA
Ekskavaatori 35/6 T1T	10	T2T	6 kV koormus T1T toitel	6,6	10	9,95	-	-	-
Ekskavaatori 35/6 T2T	10	T1T	6 kV koormus T2T toitel	6,6	10	9,95	-	-	-
Elektrijaama 110/35/10 C1T	25	C2T	10 kV II s. lisandub C1T sek. mähisele ja IV s. terts. mähisele	10,5	12,5	3,95	10,5	12,5	10,04
Elektrijaama 110/35/10 C2T[1]	25	C1T	10 kV koormus C2T sek. mähise toitel	10,5	25	13,97	6,6	25	-
Endla 110/35/6 C1T	40	C2T	6 kV koormus C1T terts. mähise toitel	38,5	40	6,57	6,6	40	31,51
Endla 110/35/6 C2T[2]	40	C1T	6 kV koormus C2T terts. mähise toitel	38,5	40	0	6,6	40	31,51
Ida 110/10 C1T	63	C2T	10 kV II s. lisandub C1T sek. mähisele ja 10 kV IV s. lisandub C1T terts. mähisele	10,5	31,5	16,90	10,5	31,5	23,50
Ida 110/10 C2T	63	C1T	10 kV I s. lisandub C2T sek. mähisele ja 10 kV III s. lisandub C1T terts. mähisele	10,5	31,5	16,90	10,5	31,5	23,50
Järve 110/35/6 C1T	40	C2T	35 kV II s. lisandub C1T sek. mähise toitel	38,5	40	41,01	6,6	40	12,53
Järve 110/35/6 C1T	40	C4T	6 kV koormus C1T terts. mähise toitel	38,5	40	14,94	6,6	40	22,07
Järve 110/35/6 C2T[3]	40	C1T	35 kV I s. lisandub C2T sek. mähise toitel	38,5	40	41,01	6,6	40	-

[1] Elektrijaama C2T tertsiaar mähise toitele pole koormust ühendatud

[2] Endla C2T 35 kV toitele pole koormust ühendatud

[3] Järve C2T tertsiaar mähisele pole koormust ühendatud

PAJ trafo	Trafo võimsus, MVA	Välja lülituv trafo	Koormust reserveeriv trafo	Sekundaarmähis			Tertsiaarmähis		
				Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA	Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA
Järve 110/35/6 C4T	40	C1T	6 kV I s. lisandub C4T sek. mähisele ja III s. lisandub terts. mähisele	6,3	20	11,32	6,3	20	10,75
Kadaka 110/10 C1T	16	C2T	10 kV koormus C1T toitel	10,5	16	12,71	-	-	-
Kadaka 110/10 C2T	16	C1T	10 kV koormus C2T toitel	10,5	16	12,71	-	-	-
Kivimäe 110/6 C1T	31,5	C2T	6 kV II s. lisandub C1T sek. mähisele ja IV s. terts. mähisele	6,6	15,75	11,09	6,6	15,75	4,01
Kivimäe 110/6 C2T	31,5/15,75/15,75	C1T	6 kV I s. lisandub C2T sek. mähisele ja III s. terts. mähisele	6,6	15,75	11,09	6,6	15,75	4,01
Kopli 110/35/6 C1T[1]	40	C2T	6 kV koormus C1T terts. mähise toitel	38,5	40	3,50	6,6	40	10,89
Kopli 110/35/6 C2T	40	C1T	6 kV koormus C2T terts. mähise toitel	38,5	40	3,26	6,6	40	10,89
Kvartsi 35/6 T1T	10	T2T	6 kV koormus T1T toitel	6,3	10	10,27	-	-	-
Kvartsi 35/6 T2T	10	T1T	6 kV koormus T2T toitel	6,3	10	10,27	-	-	-
Lasnamäe 110/10/6 C1T	63	C2T	Kogu 10 kV C1T sek. mähise toitel ja 6 kV C1T terts. mähise toitel	10,5	31,5	27,53	6,3	31,5	15,61
Lasnamäe 110/10/6 C2T	63	C1T	Kogu 10 kV C2T sek. mähise toitel ja 6 kV C1T terts. mähise toitel	10,5	31,5	27,53	6,3	31,5	15,61
Mustamäe 110/6 C1T[2]	31,5	C2T	6 kV koormus C1T toitel	6,6	20	9,56	6,6	20	0
Mustamäe 110/6 C2T[3]	31,5	C1T	6 kV koormus C2T peale	6,6	20	9,56	6,6	20	0

[1] Kopli 35 kV sektsioonid ei reserveeri teineteist

[2] Mustamäe C1T tertsiaar mähisele pole koormust ühendatud

[3] Mustamäe C2T tertsiaar mähisele pole koormust ühendatud

PAJ trafo	Trafo võimsus, MVA	Välja lülituv trafo	Koormust reserveeriv trafo	Sekundaarmähis			Tertsiaarmähis		
				Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA	Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA
Paljassaare 110/6 C1T	16	C2T	6 kV koormus C1T toitel	6,6	16	7,63	-	-	-
Paljassaare 110/6 C2T	16	C1T	6 kV koormus C2T toitel	6,6	16	7,63	-	-	-
Pääsküla 35/6 T1T	10	T2T	6 kV koormus T1T toitel	6,3	10	10,25	-	-	-
Pääsküla 35/6 T2T	16	T1T	6 kV koormus T2T toitel	6,3	16	10,25	-	-	-
Ranna 110/10/6 C1T	40	C2T	10 kV koormus C1T sek. mähise toitel ja 6 kV terts. mähise toitel	11,0	40	13,05	6,6	25	18,8
Ranna 110/10/6 C2T	40	C1T	10 kV koormus C2T sek. mähise toitel ja 6 kV terts. mähise toitel	11,0	40	13,05	6,6	25	18,8
TPI 35/6 T1T	10	T2T	6 kV koormus T1T toitel	6,3	10	9,36	-	-	-
TPI 35/6 T2T	10	T1T	6 kV koormus T2T toitel	6,3	10	9,36	-	-	-
Tõnismäe 110/10 C1T	25	C2T	10 kV koormus C1T toitel	10,5	25	18,25	-	-	-
Tõnismäe 110/10 C2T	25	C1T	10 kV koormus C2T toitel	10,5	25	18,25	-	-	-
Veerenni 35/6 T1T	25	T2T	6 kV II s. lisandub T1T sek. mähisele ja IV s. terts. mähisele	6,3	12,5	7,73	6,3	12,5	9,15
Veerenni 35/6 T2T	25	T1T	6 kV I s. lisandub T2T sek. mähisele ja III s. terts. mähisele	6,3	12,5	7,73	6,3	12,5	9,15
Veskimetsa 110/35/10/6 C1T	25	C2T	10 kV koormus C1T toitel	10,5	25	25,73	-	-	-
Veskimetsa 110/35/10/6 C2T[1]	25	C1T	10 kV koormus C2T terts. mähise toitel	38,5	25	0	11	25	25,73
Veskimetsa 110/35/10/6 C2T	25	C3T	35 kV koormus C2T sek. mähise toitel	38,5	25	9,16	11	25	12,13
Veskimetsa 110/35/10/6 C3T	40	C2T	35 kV koormus C3T sek. mähise toitel	38,5	40	9,16	6,6	40	2,94

[1] Veskimetsa 35 kV on normaaltalitlusel C3T toitel

PAJ trafo	Trafo võimsus, MVA	Välja lülituv trafo	Koormust reserveeriv trafo	Sekundaarmähis			Tertsiaarmähis		
				Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA	Pinge, kV	Mähise võimsus, MVA	Koormus, MVA
Veskimetsa 110/35/10/6 C3T	40	C4T	6 kV koormus C3T terts. mähise toitel	38,5	40	9,16	6,6	40	12,05
Veskimetsa 110/35/10/6 C4T	25	C3T	6 kV koormus C4T toitel	6,3	25	12,05	-	-	-
Volta 110/6 C1T[1]	40,5	C2T	6 kV koormus C1T terts. mähise toitel	38,5	40,5	0	6,6	40,5	19,92
Volta 110/6 C2T[2]	40,5	C1T	6 kV koormus C2T terts. mähise toitel	38,5	40,5	0	6,6	40,5	19,92
Ülemiste 110/35/6 C1T[3]	40	C2T	6 kV koormus C1T terts. mähise toitel	38,5	40	0	6,6	40	32,00
Ülemiste 110/35/6 C2T[4]	40	C1T	6 kV koormus C2T terts. mähise toitel	38,5	40	0	6,6	40	32,00

[1] Volta C1T sekundaar mähise toitele pole koormust ühendatud

[2] Volta C2T sekundaar mähise toitele pole koormust ühendatud

[3] Ülemiste C1T sekundaar mähise toitele pole koormust ühendatud

[4] Ülemiste C2T sekundaar mähise toitele pole koormust ühendatud

2.3 Piirkonnaalajaamade koormuste prognoos

Koormuste prognoosimine on väga keeruline ülesanne, sest see sõltub väga paljudest teguritest nagu näiteks [4]:

- Tööstuse, põllumajanduse ja teeninduse areng;
- Demograafilistest teguritest;
- Investeerimisvõimalustest;
- Tehnoloogilistest arengutest;
- Konkureerivatest energialiikidest;
- Välis- ja sisepoliitilistest arengustest;
- Kliimaga seotud nõetest.

Tarbimise prognoosimine on arenguplaani koostamisel üks väga oluline osa. Prognoosimise tulemused on oluliseks sisendiks elektrivõrgu juhtimisel ning arendamisel. Elektrivõrgu arendamise seisukohalt pakub kõige rohkem huvi koormustipu prognoos, sest see määrab ära elektrivõrgu elementide vajalikud läbilaskevõimed nagu näiteks trafo võimsuse ja prognooside järgi on võimalik mõelda ka võrgu konfiguratsiooni muudatustele nagu näiteks, et kas on vajadus uue piirkonna alajaama järgi, et maha koormata mingit olemasolevat piirkonnaalajaama. Tabelis (Tabel 2.5) on välja toodud Tallinna Tehnikaülikooli poolt prognoositud piirkonnaalajaamade koormused aastaks 2040, antud prognoosis on kasutatud väga laialt levinud tarbimise ja koormuste prognoosimist kasvumäärade alusel [4]. Tabeli (Tabel 2.5) andmetest selgub, et prognoositud koormuste järgi koormuvad üle 2040. aastaks järgmiste alajaamade trafod:

- Endla,
- Järve,
- Kvartsi,
- Lasnamäe,
- Pääsküla,
- Ranna,
- TPI,
- Tõnismäe,
- Veskimetsa,
- Ülemiste.

Tabel 2.5 Tallinna Tehnikaülikooli koostatud alajaamade koormuste prognoos [4]

PAJ nimetus	**Trafo võimsus, MVA**	**Prognoositud koormus aastaks 2024, MVA**	**Prognoositud koormus aastaks 2025, MVA**	**Prognoositud koormus aastaks 2030, MVA**	**Prognoositud koormus aastaks 2035, MVA**	**Prognoositud koormus aastaks 2040, MVA**
Ekskavaatori 35/6	10	7,88	8,01	8,65	9,26	9,87
Elektrijaama 110/35/10[1]	25	11,27	11,63	13,44	15,30	17,30
Endla 110/35/6 **(6 kV)**	40	47,25	48,02	51,72	55,27	58,82
Endla 110/35/6 **(35 kV)**	40	3,03	3,08	3,32	3,54	3,77
Endla 110/35/6 **KOKKU**	40	50,28	51,10	55,04	58,81	62,59
Ida 110/10	63	42,11	42,77	45,91	48,90	51,89
Järve 110/35/6 **(6 kV)**	40	25,47	25,88	27,91	29,82	31,74
Järve 110/35/6 **(35 kV)**	40	32,61	33,14	35,67	38,11	40,56
Järve 110/35/6 **KOKKU**	40	58,08	59,02	63,58	67,93	72,29
Kadaka 110/10	16	11,37	11,55	12,43	13,27	14,10
Kivimäe 110/6	31,5	17,52	17,80	19,11	20,36	21,61
Kopli 110/35/6 **(6 kV)**	40	9,21	9,35	10,04	10,70	11,35
Kopli 110/35/6 **(35 kV)**	40	5,72	5,81	6,24	6,63	7,04
Kopli 110/35/6 **KOKKU**	40	14,93	15,16	16,28	17,33	18,39
Kvartsi 35/6	10	11,72	11,91	12,82	13,69	14,56
Lasnamäe 110/10/6 **(6 kV)**	31,5	17,14	17,71	20,57	23,53	26,72
Lasnamäe 110/10/6 **(10 kV)**	31,5	31,59	32,63	37,88	43,33	49,22
Lasnamäe 110/10/6 **KOKKU**	63	48,73	50,34	58,45	66,86	75,94
Mustamäe 110/6	31,5	9,09	9,23	9,91	10,56	11,21

[1] Elektrijaama PAJ järgi on ainult 10 kV võrk ühendatud

PAJ nimetus	Trafo võimsus, MVA	Prognoositud koormus aastaks 2024, MVA	Prognoositud koormus aastaks 2025, MVA	Prognoositud koormus aastaks 2030, MVA	Prognoositud koormus aastaks 2035, MVA	Prognoositud koormus aastaks 2040, MVA
Paljassaare 110/6	16	8,52	8,66	9,36	10,03	10,71
Pääsküla 35/6	10	9,62	9,77	10,47	11,14	11,80
Ranna 110/10/6 **(6 kV)**	25	8,97	9,26	10,71	12,21	13,83
Ranna 110/10/6 **(10 kV)**	40	26,91	27,77	32,12	36,63	41,49
Ranna 110/10/6 **KOKKU**	40	35,88	37,03	42,83	48,84	55,32
TPI 35/6	10	10,21	10,38	11,18	11,95	12,73
Tõnismäe 110/10	25	17,71	18,29	21,22	24,26	27,56
Veerenni 35/6	25	7,53	7,77	8,99	10,24	11,59
Veskimetsa 110/35/10/6 **(6 kV)**	25	13,69	13,91	15,02	16,06	17,10
Veskimetsa 110/35/10/6 **(10 kV)**	25	29,20	29,68	31,98	34,20	36,42
Veskimetsa 110/35/10/6 **(35 kV)**	25	7,88	8,01	8,62	9,22	9,82
Veskimetsa 110/35/10/6 **KOKKU**	65	50,77	51,60	55,62	59,48	63,34
Volta 110/6	40,5	19,99	20,32	21,89	23,39	24,90
Ülemiste 110/35/6[1]	40	41,85	43,20	49,96	56,97	64,53

[1] Ülemiste PAJ järgi on ühendatud ainult 6 kV võrk

Järgmisena tuleb võrrelda aastaks 2024 prognoositud koormuseid mõõdetud koormustega. Tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 2.6). Oluliseks erinevuseks on loetud 2 MVA suurust vahet. All olevast tabelist selgub, et suurimad erinevused on Ekskavaatori, Elektrijaama, Endla, Järve, Kivimäe, Kopli, Lasnamäe, Ranna, Veerenni, Veskimetsa ja Ülemiste koormustes. Nende alajaamade puhul korrigeeritakse koormuste prognoosi aastaks 2040, aluseks võetakse reaalselt mõõdetud koormused ning TTÜ koostatud koormuste prognoosi kasvu protsendid. Ranna alajaama puhul tuleb silmas pidada ka seda, et antud piirkonnas on Elektrilevil töös mitmeid projekte, mille raames viiakse Ranna 6 kV koormust üle Ranna 10 kV toitele. Lõplik koormuste prognoos aastaks 2040 on välja toodud tabelis (Tabel 2.7).

Tabel 2.6 2024 prognoositud koormuse võrdlus mõõtetulemustega

PAJ nimetus	**Prognoositud koormus aastaks 2024, MVA**	**Koormus hetkel, MVA**	**Vahe**
Ekskavaatori 35/6	7,88	9,95	+2,07
Elektrijaama 110/35/10[1]	11,27	13,97	+2,7
Endla 110/35/6 **(6 kV)**	47,25	31,51	-15,74
Endla 110/35/6 **(35 kV)**	3,03	6,57	+3,54
Endla 110/35/6 **KOKKU**	50,28	38,08	-12,20
Ida 110/10	42,11	40,4	-1,71
Järve 110/35/6 **(6 kV)**	25,47	22,07	-3,40
Järve 110/35/6 **(35 kV)**	32,61	41,01	+8,40
Järve 110/35/6 **KOKKU**	58,08	63,08	+5,00
Kadaka 110/10	11,37	12,71	+1,34
Kivimäe 110/6	17,52	15,1	-2,42
Kopli 110/35/6 **(6 kV)**	9,21	10,89	+1,68
Kopli 110/35/6 **(35 kV)**	5,72	6,76	+1,04
Kopli 110/35/6 **KOKKU**	14,93	17,65	+2,72
Kvartsi 35/6	11,72	10,27	-1,45
Lasnamäe 110/10/6 **(6 kV)**	17,14	15,61	-1,53
Lasnamäe 110/10/6 **(10 kV)**	31,59	27,53	-4,06
Lasnamäe 110/10/6 **KOKKU**	48,73	43,14	-5,59
Mustamäe 110/6	9,09	9,56	+0,47

[1] Elektrijaama PAJ järgi on ühendatud ainult 10 kV võrk.

PAJ nimetus	Prognoositud koormus aastaks 2024, MVA	Koormus hetkel, MVA	Vahe
Paljassaare 110/6	8,52	7,63	-0,89
Pääsküla 35/6	9,62	10,25	+0,63
Ranna 110/10/6 **(6 kV)**	8,97	18,8	+9,83
Ranna 110/10/6 **(10 kV)**	26,91	13,05	-13,86
Ranna 110/10/6 **KOKKU**	35,88	31,85	-4,03
TPI 35/6	10,21	9,36	-0,85
Tõnismäe 110/10	17,71	18,25	+0,54
Veerenni 35/6	7,53	16,88	+9,35
Veskimetsa 110/35/10/6 **(6 kV)**	13,69	12,05	-1,64
Veskimetsa 110/35/10/6 **(10 kV)**	29,2	25,73	-3,47
Veskimetsa 110/35/10/6 **(35 kV)**	7,88	9,16	+1,28
Veskimetsa 110/35/10/6 **KOKKU**	50,77	46,94	-3,83
Volta 110/6	19,99	19,92	-0,07
Ülemiste 110/35/6[1]	41,85	32	-9,85

Tabeli (Tabel 2.7) andmete põhjal on võimalik hinnata, milliste alajaamade trafod koormuvad üle kui teine trafo on mingil põhjusel tööst väljas. Sellisteks piirkonnaalajaamadeks on Ekskavaatori, Endla, Järve, Kvartsi, Lasnamäe, Pääsküla, Ranna, TPI, Tõnismäe, Veerenni, Veskimetsa ja Ülemiste. Järve PAJ probleemiks on see, et kui üks 35 kV õlaga jõutrafo peaks mingil põhjusel välja lülituma, siis on võimalik, et teine 35 kV õlaga jõutrafo koormatakse üle, sest 2040. aasta prognoositud 35 kV koormuseks on 50,98 MVA, aga 35 kV võrku reserveeriv trafo on 40 MVA. Veskimetsa PAJ puhul on probleemiks 10 kV koormus. Hetkel toidavad Veskimetsa 10 kV võrku kaks 25 MVA jõutrafot, aga prognoositud koormuseks 2040. aastal on 10 kV võrgus 32,09 MVA. Seega trafode n-1 talitlusel koormuks töösse jääv trafo üle. Pääsküla alajaama probleemiks on see, et üks jõutrafodest on 16 MVA ja teine on 10 MVA. Kui 16 MVA trafo on tööst väljas mingil põhjusel, siis peaks 10 MVA trafo kogu alajaama koormust reserveerima, aga prognoositud koormus on 2040. aastaks 11,80 MVA. Teistes eelpool mainitud alajaamades on kaks võrdse suurusega trafot seega kui alajaamas tekib n-1 talitlus trafode seisukohas siis tabeli (Tabel 2.7) andmete põhjal ületatakse töösse jääva trafo nimivõimsust.

[1] Ülemiste PAJ järgi on ühendatud ainult 6 kV võrk

Tabel 2.7 Prognoositud koormused aastaks 2040

PAJ nimetus	**Prognoositud koormus 2025, MVA**	**Prognoositud koormus 2030, MVA**	**Prognoositud koormus 2035, MVA**	**Prognoositud koormus 2040, MVA**
Ekskavaatori 35/6	10,09	10,83	11,62	12,47
Elektrijaama 110/35/10[1]	14,35	16,40	18,75	21,43
Endla 110/35/6 **(6 kV)**	31,94	34,21	36,64	39,24
Endla 110/35/6 **(35 kV)**	6,66	7,13	7,64	8,18
Endla 110/35/6 **KOKKU**	38,60	41,34	44,28	47,42
Ida 110/10	42,77	45,91	48,90	51,89
Järve 110/35/6 **(6 kV)**	22,37	23,96	25,66	27,48
Järve 110/35/6 **(35 kV)**	41,57	44,50	47,63	51,07
Järve 110/35/6 **KOKKU**	63,94	68,46	73,34	78,55
Kadaka 110/10	11,55	12,43	13,27	14,10
Kivimäe 110/6	15,30	16,34	17,44	18,63
Kopli 110/35/6 **(6 kV)**	11,03	11,77	12,57	13,41
Kopli 110/35/6 **(35 kV)**	6,85	7,31	7,80	8,32
Kopli 110/35/6 **KOKKU**	17,88	19,08	20,37	21,73
Kvartsi 35/6	11,91	12,82	13,69	14,56
Lasnamäe 110/10/6 **(6 kV)**	16,05	18,44	21,20	24,36
Lasnamäe 110/10/6 **(10 kV)**	28,30	32,51	37,34	42,89

[1] Elektrijaama PAJ toitele on ühendatud ainult 10 kV võrk

PAJ nimetus	Prognoositud koormus 2025, MVA	Prognoositud koormus 2030, MVA	Prognoositud koormus 2035, MVA	Prognoositud koormus 2040, MVA
Lasnamäe 110/10/6 **KOKKU**	44,35	50,95	58,52	67,25
Mustamäe 110/6	9,23	9,91	10,56	11,21
Paljassaare 110/6	8,66	9,36	10,03	10,71
Pääsküla 35/6	9,77	10,47	11,14	11,80
Ranna 110/10/6 **(6 kV)**	19,32	17,38	15,02	13,18
Ranna 110/10/6 **(10 kV)**	13,41	20,08	27,86	35,90
Ranna 110/10/6 **KOKKU**	32,73	37,46	42,88	49,08
TPI 35/6	10,38	11,18	11,95	12,73
Tõnismäe 110/10	18,29	21,22	24,26	27,56
Veerenni 35/6	17,34	19,84	22,70	25,97
Veskimetsa 110/35/10/6 **(6 kV)**	12,22	13,10	14,04	15,05
Veskimetsa 110/35/10/6 **(10 kV)**	26,09	27,95	29,95	32,09
Veskimetsa 110/35/10/6 **(35 kV)**	9,29	9,95	10,65	11,41
Veskimetsa 110/35/10/6 **KOKKU**	47,60	51,00	54,64	58,55
Volta 110/6	20,32	21,89	23,39	24,90
Ülemiste 110/35/6[1]	32,88	37,63	43,08	49,32

[1] Ülemiste PAJ toitele on ühendatud ainult 6 kV võrk

3. TALLINNA JAOTUSVÕRGU PIIRKONNAALAJAAMADE ARENGU PLAANIMINE

Käesolevas peatükis toob töö autor välja soovitused, mida võiks olemasolevas elektrivõrgus muuta selliste piirkonnaalajaamade juures, mille kohta toodi töö varasemates osades välja mingid probleemid, et ka tulevikus oleks Tallinna elektrivõrk töökindel ja võimeline tagama prognoositud koormuseid. Sellisteks alajaamadeks on Ekskavaatori, Endla, Ida, Järve, Kadaka, Kivimäe, Kvartsi, Lasnamäe, Paljassaare, Pääsküla, Ranna, TPI, Tõnismäe, Veerenni, Veskimetsa, Volta ja Ülemiste. Lisaks on iga alajaama juures välja toodud muudatuste hinnanguline maksumus. Muudatuste soovitamisel lähtutakse alapeatükis 3.1 välja toodud põhimõtetest.

3.1 Arengu plaanimise metoodika ja põhimõtted

Lahenduste pakkumisel lähtutakse eelkõige koormusprognoosist, mis on välja toodud tabelis (Tabel 2.7). Täiendavalt uuritakse Tallinna planeeringute registrit, et välja selgitada suuremad detailplaneeringud, mis tulevikus plaanivad liituda Elektrilevi OÜ jaotusvõrguga. Detailplaneeringutega lisanduvate võimsuste välja selgitamise vajadus tekib seepärast, et tabeli (Tabel 2.7) prognoosis ei ole arvestatud selliseid uusi lisanduvaid suuri liitumisi. Pärast koormuste välja selgitamist on võimalik hinnata jõutrafode asendamise vajadust või täiendavate piirkonnaalajaamade rajamise vajadust. Lisaks koormusprognoosidele arvestatakse lahenduste pakkumisel jaotusseadmete ja jõutrafode vanuselisi andmeid, mis on välja toodud tabelites (Tabel 2.1 ja Tabel 2.2). Lähtutakse põhimõttest, et kui aastaks 2040 on nii jaotusseadmed kui ka trafod saavutanud enda tehnilise eluea, siis tuleb need asendada. Tehnilise eluea puhul jälgitakse Elektrilevi dokumenti J3355 Elektrivõrgu ülevaatuste ja hoolduste välbad, kus on välja toodud nii jõutrafode kui ka jaotusseadmete tehnilised eluead [3]. Seeläbi tekitatakse niinimetatult ideaalses korras piirkonnaalajaamad, kus ei ole mitte ühtegi üle tehnilise eluea seadet. Sellega välditakse rikete hulka mis on tingitud seadmete elueast. Joonisel (Joonis 3.1) on toodud välja plokkskeemina lahenduste pakkumise üldine metoodika.

Kuna töö on suunatud jaotusvõrgule, siis lähtutakse lahenduste pakkumisel Elektrilevi normdokumentidele. Nendeks normdokumentideks on „J3337 Planeerimise põhimõtted" ja „J3338 Võrgutehnika põhimõtted". Sisuliselt saab kogu jaotusvõrgu planeerimine

alguse nende kahe dokumendi alusel. Antud töös lähtutakse planeerimise põhimõtete järgmistest punkidest [5]:

- Võrgu planeerimisel ning projekteerimisel lähtutakse põhimõttest, et maa on piiratud ressurss ning eesmärgiks on selle tehnilis-majanduslikult optimaalne kasutamine;
- Tehniliste lahenduste koostamisel detailplaneeringute alal lähtutakse detailplaneeringus määratud trasside asukohast;
- Realiseerime või valmistame etappidena ette 6, 10 ja 15 kV võrkude üleviimist 20 kV pingele või likvideerimist. Üleminekul 6 kV võrgus perspektiivsele 20 kV nimipingele võib linnades vaheetapina kasutada 10 kV pinget;
- Valmistame etappidena ette 35 kV võrgu üleviimist 20 kV või 110 kV pingele või likvideerimist;
- Võrguühenduste loomisel ja/või tingimuste muutmisel planeerime võrku nii, et oleks tagatud seadusest tulenevad elektrivarustuse kindluse nõuded. Nõuded loeme täidetuks, kui piirkonnaalajaama trafo(d) on tarbimis- ja tootmisvõimsuse mahus reserveeritud;
- Tiheda ja ülitiheda asutusega piirkondades planeerimise piirkonnaalajaamade paiknemise selliselt, et alajaama koormus ei jää alla 10 MW ja tarbimine/tootmine ei ületa kahe trafoga alajaamas väiksema trafo võimsust, kolme trafoga alajaamas kahe väiksema trafo võimsust ja nelja trafoga alajaamas kolme väiksema trafo võimsust;
- Tarbimise arvestamisel kasutame tunni keskmisi väärtusi. Piirkonnaalajaama 3 aasta tunni keskmine maksimaalne tarbimine peab olema alati reserveeritud;
- Tiheda ja ülitiheda asutusega piirkonnas uue ning renoveeritava alajaama rajame jaotusseadme tehnilistest piirangutest lähtuvalt kahe või enama sektsiooniga, maksimaalselt 12 väljuvat kambrit sektsiooni kohta;
- 35–110 kV õhuliini juhi ristlõige 240 mm^2, 6–20 kV tüviliini juhi ristlõige 240 mm^2 või 300 mm^2;
- Pingekao suurimad lubatud väärtused laiendatavas võrgus pingel 6…20 kV on normaaltalitlusel 6% ning reserveeriva skeemi korral 10%.

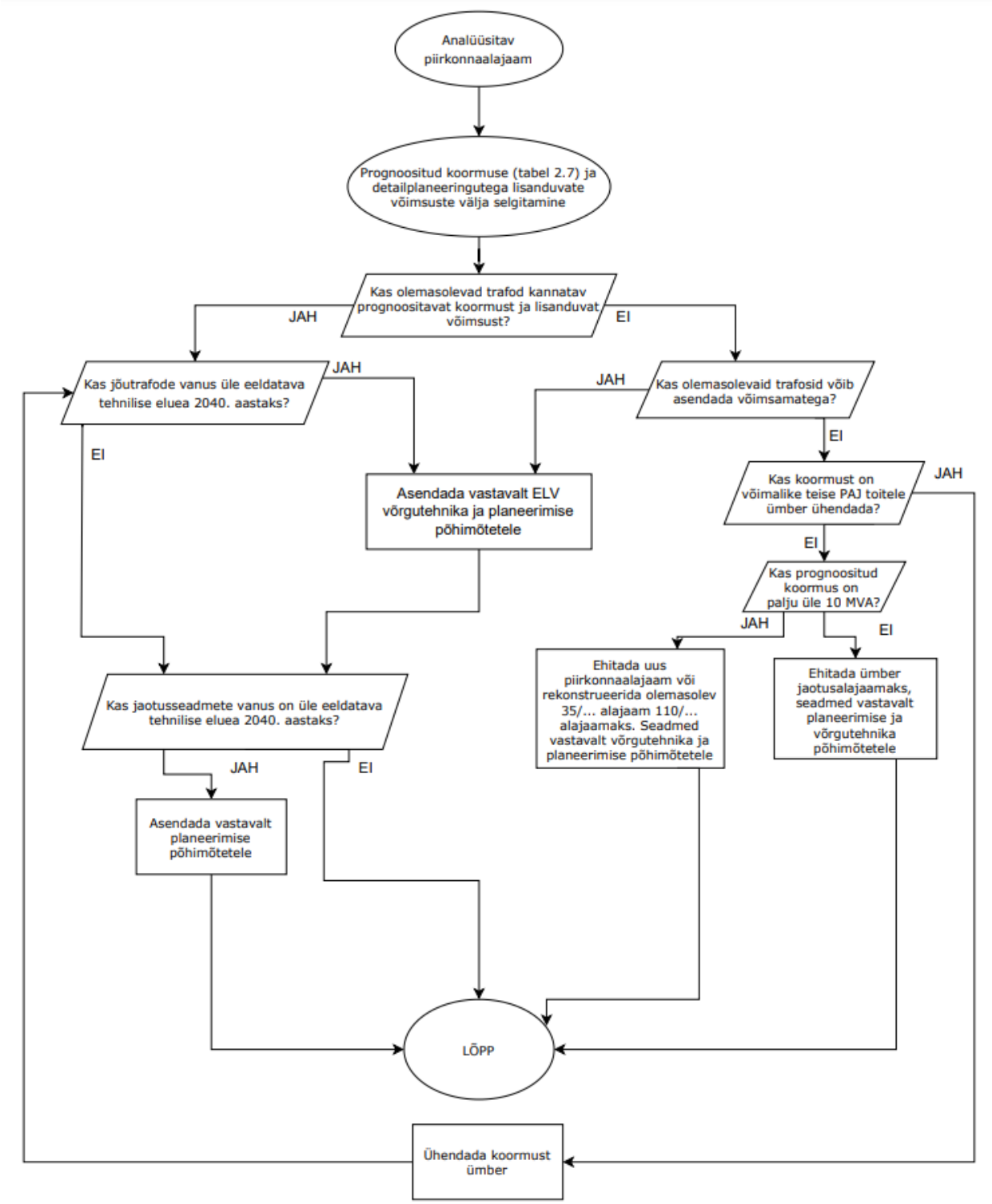
Elektrivõrgu tehnilise arengu suunamise, toimimiseks vajalike lahenduste väljatöötamise, kasutatavate seadmete ja materjalide tehniliste nõuete koostamise aluseks on võrgutehnika põhimõtted. Võrgutehnika põhimõtetes on välja toodud erinevate seadmete andmed, mida tohib Elektrilevi võrgus kasutada. Antud lõputöö kontekstis on kõige olulisem osa võrgutehnika põhimõtetest trafode osa. Trafode osas järgitakse järgmiseid põhimõtteid [6]:

- Üldjuhul kasutame õliisolatsiooniga trafosid;

- Reeglina kasutame loomuliku (ONAN) jahutusega trafosid;
- Sundjahutusega (ONAF) trafosid kasutame ülitihe ja tihe varustuskindluse piirkondades alampinge mähis(t)e võimsusel alates 25 MVA – 10…20 kV pingel ja 6 kV pingel alates 20 MVA;
- ONAF jahutusega trafosid kasutame nii, et võrgu normaaltalitlusel ei töötakse need sundjahutuse talitluses;
- Kolmemähiselisi (kahe alampingega) trafosid kasutame ülitihe- ja tihe varustuskindluse piirkondades perspektiivsetele pingetele ülemineku perioodil;
- Kasutame jõutrafosid primaarmähise võimsusega kuni 40 MVA;
- Kolmemähiselistel jõutrafodel valime primaarmähise võimsuse võrdseks suurima sekundaarmähise võimsusega, v.a lõhestatud mähistega trafod, kus kasutame primaarmähist võimsusega, mis on võrdne sekundaarmähiste võimsuste summaga;
- Selleks, et tagada jõutrafode asendatavust, sobivust paralleeltööks ning piirata võrgu lühisvoolud lubatavate väärtusteni kasutame 110 kV võrgus tabelis (Tabel 3.1) esitatud sekundaarmähiste tüüpparameetritega jõutrafosid;
- 35 kV primaarpingega jõutrafode lubatud nimivõimsused on 2,5; 6,3; 10 MVA;
- Vahetrafosid kasutame erinevate nimipingetega keskpingevõrkude sidumiseks;
- Vahetrafod valime tüüpselt nimivõimsusega 1,6; 2,5; 4 või 6,3 MVA, sõltuvalt olukorrast on võimalik kasutada ka suurema nimivõimsusega vahetrafot;
- Võimalusel kasutame kahe ülempingemähise nimipingega vahetrafot, et võimaldada nende laiemat kasutamist erinevate nimipingetega keskpingevõrkudes;
- Vahetrafode nimipinged vastavalt võrgu nimipingele on 22,0(11,0)/6,6 kV; 22,0(11,0)/16,5 kV või 22,0/11,0 kV;
- ONAN jahutusega trafod nimivõimsusega üle 2,5 MVA valime nii, et trafot võib üle koormata 1,4 korda kestvusega 6 tundi ilma trafo oodatud eluea vähenemiseta.

Tabel 3.1 110 kV ülempingega jõutrafode sekundaarmähise lubatud parameetrid [6]

Primaarpinge, kV	Sekundaarpinge, kV	Alampingemähise nimivõimsus ONAN (ONAF), MVA				
		10	16	20(31,5)	25(40)	40
115	6,6	Lubatud	Lubatud	Lubatud	EI	EI
	11; 22	Lubatud	Lubatud	EI	Lubatud	EI
	22,2; 38,5	Lubatud	Lubatud	Ei	Lubatud	Lubatud



Joonis 3.1 Plokkskeem lahenduste pakkumise üldise metoodika kohta

3.2 Tallinna piirkonnaalajaamade muudatused

Käesolevas alapeatükis on välja toodud soovituslikud põhimõtted, mida probleemsetes alajaamades tuleks teha. Igas punktis on välja toodud lisaks konfiguratsiooni ja seadmete muudatustele ka muudatuste hinnanguline maksumus. Lahenduste pakkumisel on lähtutud alapeatükis 3.1 välja toodud põhimõtetest.

3.2.1 Ekskavaatori piirkonnaalajaama muudatused

Ekskavaatori 35/6 kV alajaama toidetakse Veskimetsa 110/35/10/6 kV alajaamast 35 kV maakaablite kaudu. Ekskavaatori alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 12,47 MVA (Tabel 2.7). Prognoositud koormusele ei ole juurde arvestatud antud piirkonna ühte suurimat arendust Hipodroomi juures, mille hinnanguline elektrikoormus saab olema 12,2 MVA [7]. Seega summaarne koormus võib olla tulevikus ca 24,67 MVA. Kuna praegu on Ekskavaatori alajaamas kaks 10 MVA trafot, siis ei ole võimalik täita Elektrilevi nõuet, et kahe trafoga alajaamas ei tohi tarbimine ületada väiksema trafo võimsust, et tagada reserveerimine [5]. Lisaks ei ole võimalik 24,67 MVA jaotada kahe 10 MVA trafo vahel nii, et tarbitav võimsus ei ületaks jõutrafo nimivõimsust. Täiendavalt lähtudes Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetest, et 35 kV primaarpingega jõutrafode lubatud maksimaalne nimivõimsus on 10 MVA, siis ei ole lubatud antud alajaamas jõutrafo asendamine võimsama vastu [6]. Lisaks on Elektrilevi planeerimise põhimõtetes võetud suundumus, et 35 kV võrk on taandarenev ning tuleb üle viia kas 20 kV või 110 kV pingele. Lähtudes 35 kV üle viimisest kas 20 kV või 110 kV pingele võiks kaaluda Ekskavaatori alajaama üle viimist 20 kV pingele, aga siin seatakse jälle piirangud võrgutehnika põhimõtete poolt, et vahetrafode lubatud maksimaalne võimsus on 6,3 MVA, erandjuhtudel ka 10 MVA.

Lähtuvalt antud analüüsile leiab töö autor, et Ekskavaatori 35/6 kV PAJ tuleks asendada uue H - skeemiga 110/10/6 kV alajaamaga. Uue PAJ toitmiseks tuleks teha sisselõige kaablisse L8025 või L8017 ja mõlemad otsad pikendada Ekskavaatori alajaamani. Lisanduva kaabli pikkus on 2x650 meetrit. Uus 110 kV trass on valitud vastavalt põhimõtetele, et maa on piiratud ressurss ning eesmärgiks on selle tehnilis-majanduslikult optimaalne kasutamine ja tehniliste lahenduste koostamisel detailplaneeringute alal lähtutakse detailplaneeringus määratud trasside asukohast. Uus elektrivõrgu skeem on välja toodud joonisel (Joonis 3.2). Ekskavaatori PAJ on ka Haabersti linnaosa üldplaani järgi mõeldud rekonstrueerida 110 kV alajaamaks [8]. Vastavalt välja toodud koormusele, mis on 24,67 MVA, ja võrgutehnika põhimõtetele

ning tabeli (Tabel 3.1) andmetele peaks uued trafod olema võimsusega 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA (Trafo puhul sulgudes olev number näitab sundjahutusega (ONAF) trafo võimsust ja ilma sulgudeta number näitab trafo võimsust loomuliku jahutusega) ning nimipingetega 115/11/6,6. Selliste võimsustega mähised on valitud selleks, et tagada alajaama toitel olevate klientide reserveerimine ka juhul kui üks trafodest on mingil põhjusel tööst väljas. Sellise trafoga on tagatud ka Elektrilevi planeerimise põhimõte, et kahe trafolistes alajaamades ei tohi koormus ületada väiksema trafo võimsust ning lisaks on täidetud ka võrgutehnika põhimõtete nõue, et ONAF jahutusega trafosid kasutame nii, et võrgu normaaltalitlusel ei töötaks need sundjahutuse talitluses. Väiksema võimsusega jõutrafot ei saa valida, sest sellisel juhul ei oleks võimalik kogu alajaamad koormust viia reserveerival talitlusel üle ühele trafole.

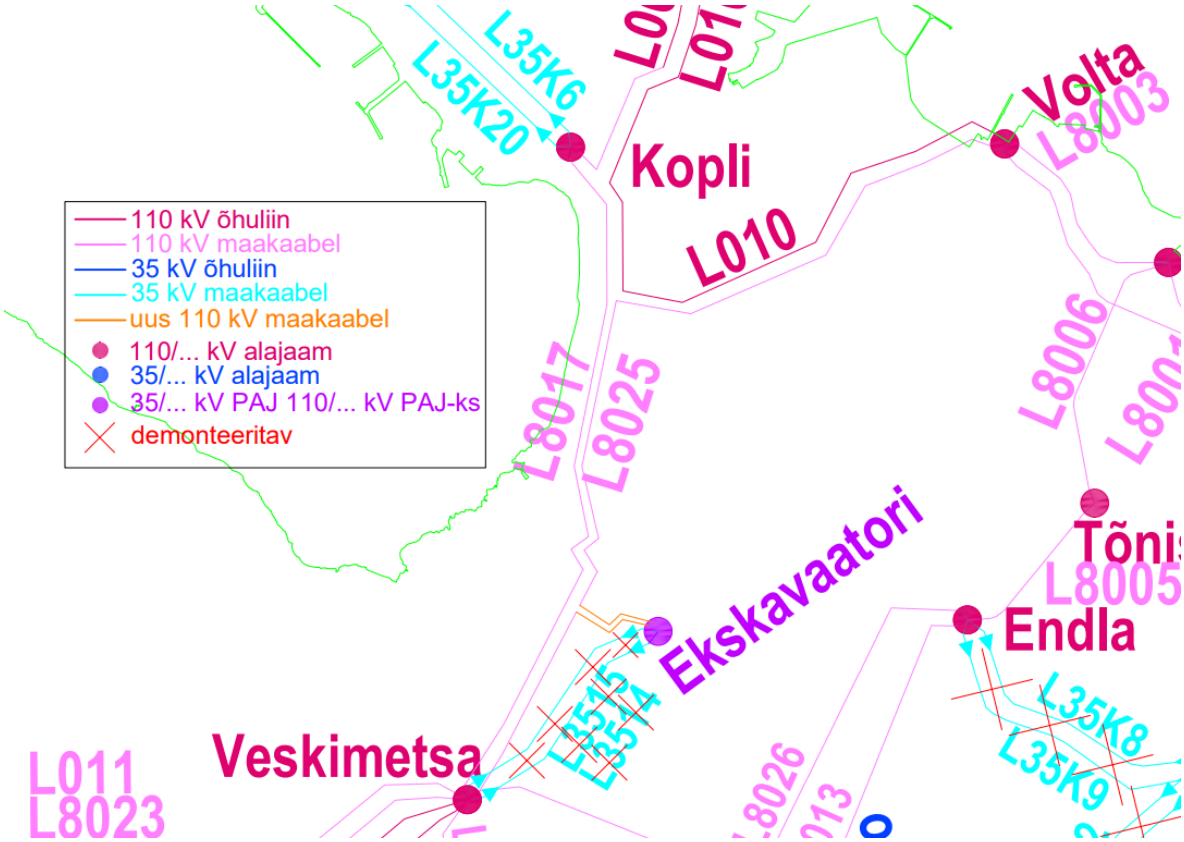
Lisaks uutele trafodele võiks paigalda alajaama ka uue 10 kV 10+10 väljuva kambriga jaotusseadme, et oleks võimalik hakata 6 kV võrku üle viima 10 kV pingele. 10 kV võrgu pingele üleviimise vajadus on paika pandud Elektrilevi planeerimise põhimõtetes kus on välja toodud, et 6 kV, 10 kV ja 15 kV võrke tuleb etappidena ette valmistada üleviimiseks 20 kV pingele ning üleminekul 6 kV võrgus perspektiivsele 20 kV nimipingele võib linnades vaheetapina kasutada 10 kV pinget. Täiendavalt võimaldaks uus PAJ ka Endla PAJ koormust vähendada, mille prognoositud koormus on 2040. aastaks 47,42 MVA. Tabelis (Tabel 3.2) on välja toodud Ekskavaatori PAJ koormus aastaks 2040 koos Endla PAJ koormuse vähendamisega ja lisanduva Hipodroomi detailplaneeringuga. Täiendavalt on välja toodud tabelis (Tabel 3.3) hind kui palju läheb hinnanguliselt maksma Ekskavaatori PAJ üle viimine 110 kV-le.

Tabel 3.2 Ekskavaatori alajaama koormus aastaks 2040

Prognoositud Ekskavaatori PAJ koormus 2040. a.	12,47 MVA
Hipodroomi detailplaneeringust lisanduv koormus	12,2 MVA
Endla PAJ-lt ümber ühendatav koormus	7 MVA
Ekskavaatori PAJ koormus kokku	31,67 MVA

Tabel 3.3 Ekskavaatori PAJ üleviimine 110 kV alajaamaks maksumus

Ekskavaatori PAJ tööd	**Hind**
110 kV jaotusseade	4 000 000 €
10 kV jaotusseade	1 240 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
110 kV maakaabel	1 170 000 €
KOKKU	**9 010 000 €**



Joonis 3.2 Ekskavaatori PAJ rekonstrueerimine 110 kV alajaamaks

3.2.2 Endla piirkonnaalajaama muudatused

Endla alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 47,42 MVA, millest 8,18 MVA on 35 kV koormus ning 39,24 MVA on 6 kV võrgu koormus (Tabel 2.7). Hetkel on Endla alajaamas 40 MVA trafod aastast 1979 (C1T) ja 1980 (C2T), seega aastaks 2040 on mõlemad jõutrafod saavutanud enda tehnilise eluea. Lisaks trafode vanusele ei oleks Endla piirkonnaalajaamas täidetud planeerimise põhimõtete nõue, et kahe trafolistes piirkonnaalajaamades ei tohi koormus ületada väiksema trafo nimivõimsust [5]. Kuna alajaamas on 40 MVA trafosid 2 tükki, siis ei tohiks alajaama koormus olla üle 40 MVA. Olemasolevate trafode asendamine võimsamate vastu ei ole ka lubatud vastavalt Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetele, mis panevad paika, et Elektrilevi võrgus kasutatakse jõutrafosid, mille primaarmähise võimsus võib olla kuni 40 MVA.

Hetkel on Elektrilevil ja Eleringil töös projekt, mille mahus viiakse Veerenni alajaama üle 110 kV pingele ning see töö peaks valmima 2026 aastal. See tähendab seda, et Endla alajaama koormus väheneb, sest Veerenni alajaama 35 kV jaotusseadme II sektsioon saab toidet Endla alajaamast 35 kV jaotusseadmest. Seega aastaks 2040 prognoositud Endla alajaama 35 kV koormuse 8,18 MVA (Tabel 2.7) võib maha

arvestada Endla alajaama summaarsest koormusest mis teeks Endla alajaama uueks koormuseks 39,24 MVA. Lisaks kui ehitatakse valmis Ekskavaatori 110/10/6 alajaam, siis on võimalik Endla alajaama 6 kV koormust veelgi vähendada. Tabelis (Tabel 3.4) on välja toodud Endla PAJ koormus aastaks 2040 koos maha minevate võimsustega.

Kuna antud lõputöös lähtutakse põhimõttest, et kõik seadmed, mis on saavutanud enda tehnilise eluea või selle ületanud tuleb välja vahetada, siis tuleks hiljemalt aastaks 2040. asendada olemasolevad Endla alajaama trafod. Vastavalt võrgutehnika põhimõtetele, planeerimise põhimõtetele ja tabeli (Tabel 3.4) andmetele oleks sobivad uued trafod 115/11/6,6 kV 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA. Alajaama tuleks ehitada ka vastavalt planeerimise põhimõtetele 10 kV jaotusseadmed, et saaks hakata 6 kV võrku üle viima 10 kV pingele, seeläbi väheneks Endla alajaama 6 kV võrgu koormus veelgi. Jaotusseade peaks olema 10+10 väljuva kambriga. Endla alajaamaga seotud tööde hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.5).

Tabel 3.4 Endla alajaama koormus aastaks 2040

Prognoositud Endla PAJ koormus 2040. a.	47,42 MVA
Maha minev Veerenni T2T koormus 2040. aastal (prognoos)	8,18 MVA
Maha minev Ekskavaatori PAJ toitele ühendatav koormus	7 MVA
Endla PAJ koormus kokku	32,24 MVA

Tabel 3.5 Endla PAJ jõutrafode ja 10 kV jaotusseadme ehitamise maksumus

Endla PAJ tööd	**Hind**
10 kV jaotusseade	1 240 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
KOKKU	**3 840 000 €**

3.2.3 Ida piirkonnaalajaam muudatused

Ida alajaama ainsaks probleemiks on olemasoleva 10 kV jaotusseadme vanus aastaks 2040. Jaotusseade on paigaldatud 1986 aastal ning selle seadme vanuseks 2040. aastal on 54. Töö varasemas osas toodi välja, et õliisolatsiooniga jaotusseadmete eeldatavaks tehniliseks elueaks on 45 aastat. Lähtudes põhimõttest, et piirkonnaalajaamades ei oleks mitte ühtegi üle tehnilise eluea oleva seadme, siis tuleb antud jaotusseade asendada uuega hiljemalt aastaks 2031. Ida alajaamas on hetkel 10 kV-l 4 sektsiooni seega uus 10 kV jaotusseade peaks olema samuti 4 sektsiooniline, igas sektsioonis 12 väljuvat kambrit. Tabelisse (Tabel 3.6) on välja toodud hinnanguline Ida alajaama 10 kV

jaotusseadme uuendamise maksumus. Lisaks on tabelis (Tabel 3.37) välja toodud Ida alajaama koormus aastaks 2040.

Tabel 3.6 Ida PAJ 10 kV jaotusseadme rekonstrueerimise maksumus

Ida PAJ tööd	**Hind**
10 kV jaotusseade	2 470 000 €
KOKKU	**2 470 000 €**

3.2.4 Järve piirkonnaalajaama muudatused

Järve alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 78,55 MVA, millest 35 kV võrgu prognoositud koormus on 51,07 MVA ning 6 kV võrgu prognoositud koormus on 27,48 MVA (Tabel 2.7). 35 kV võrku saab toidet kahel 40 MVA trafolt seega trafode reserveeritavuse seisukohalt koormub üks trafo üle kui teine trafo peaks mingil põhjusel tööst väljas olema. 6 kV võrgu reserveeritavuse osas trafode seisukohalt ei ole probleemi, sest 6 kV võrku toidavad kaks 40 MVA trafot. Järve alajaama jõutrafode 35 kV õlgadest saavad toidet Veerenni alajaama 35 kV I sektsioon, TPI alajaam, Kvartsi alajaam ning Pääsküla alajaama I sektsioon. Nende alajaamade prognoositud koormused 2040. aastaks on välja toodud tabelis (Tabel 3.7). Järve alajaama teiseks probleemiks on see, et 2040. aastaks on jõutrafo C2T vanus 66 aastat seega üle eeldatava tehnilise eluea.

Tabel 3.7 Järve alajaama 35 kV toitel olevad Elektrilevi alajaamad ja nende koormused aastaks 2040

Järve PAJ toitel maha minevad PAJ-d	**Prognoositud koormus 2040. aastal**
TPI	12,73 MVA
Pääsküla T1T	3,81 MVA
Kvartsi	14,56 MVA
Veerenni T1T	17,79 MVA
KOKKU	48,89 MVA

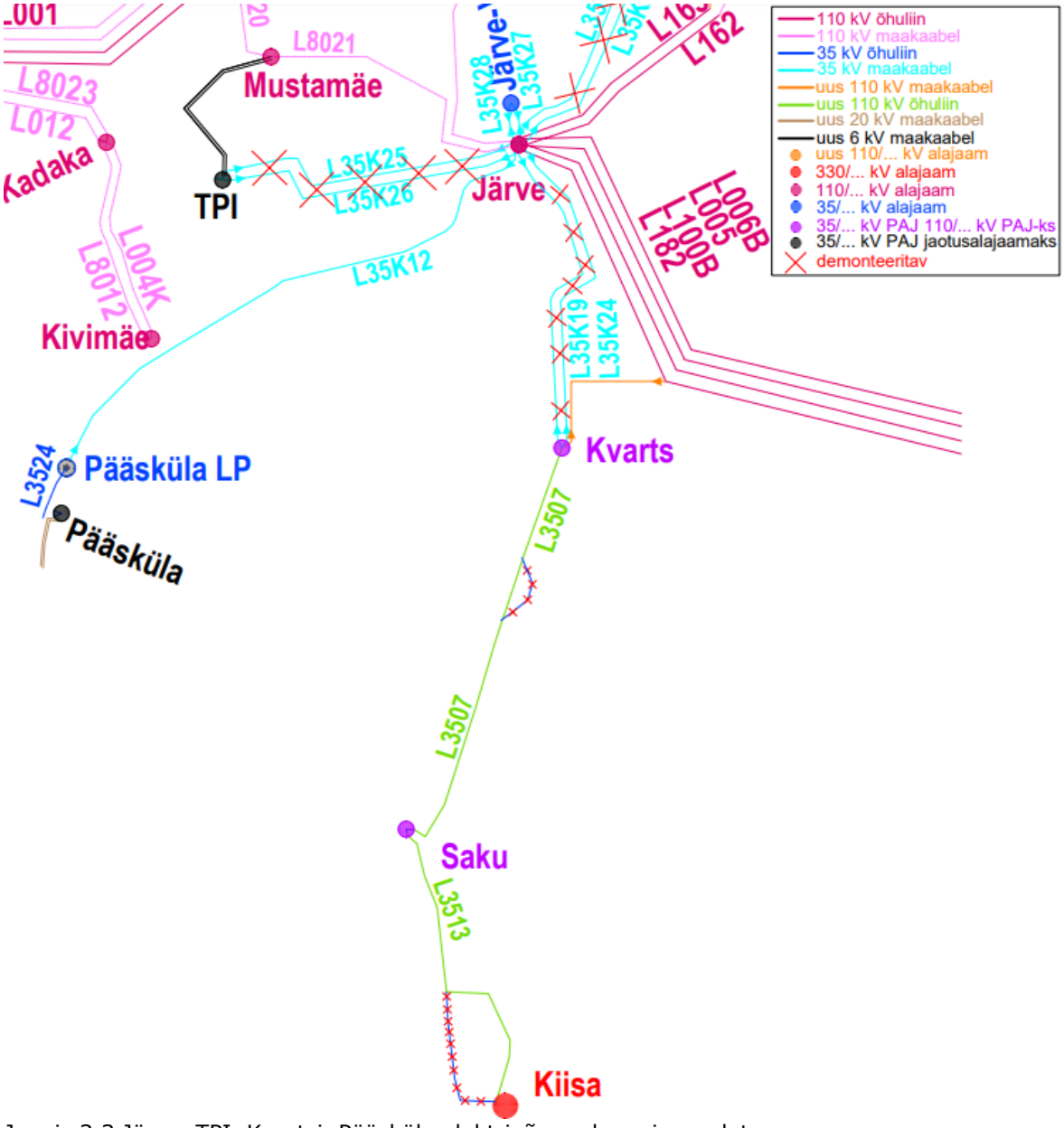
Tabel 3.8 Järve alajaama koormus aastaks 2040

Toitepinge	6 kV	35 kV
Prognoositud Järve PAJ koormus 2040. a.	27,48 MVA	51,07 MVA
Järve PAJ toitelt maha minev koormus prognoosi järgi	-	48,89 MVA
Järve PAJ koormus kokku	27,48 MVA	2,18 MVA

Kuna eelmisest lõigust selgub, et Järve alajaama 35 kV võrgu reserveeritavusega trafode vaates oleks tulevikus probleeme, siis tuleks hakata võrgu konfiguratsiooni muutma. Lähtudes planeerimise põhimõtetest siis 35 kV võrk on määratud taandarenevaks ning tuleks asendada kas 20 kV võrguga või 110 kV võrguga. Planeerimise põhimõtetest tuleb lisaks ka nõue, et uusi piirkonnaalajaamu rajame tiheda ja ülitiheda asutusega piirkondadesse nii, et nende koormus ei jääks alla 10 MW. Lähtudes tabelites (Tabel 2.7, Tabel 3.7, Tabel 3.8) välja toodud prognoositud koormustest ja olemasolevast elektrivõrgu skeemist (Joonis 2.1) siis ainuke õige lahendus oleks järgmine. TPI alajaam tuleks viia üle Mustamäe alajaama 6 kV toitele, sest prognoositud koormus ületab vähe 10 MW aktiivvõimsuse piiri. Sellest on lähemalt kirjutatud peatükis 3.12 TPI piirkonnaalajaama muudatused. Pääsküla alajaama prognoositud koormuseks 2040 aastal on 11,8 MVA (Tabel 2.7), mis ületab ka väga vähe 10 MW aktiivvõimsuse piiri. Seega Pääsküla alajaam tuleb üle viia teise piirkonnaalajaama 20 kV võrgu toitele, sellest on lähemalt kirjutatud peatükis 3.10 Pääsküla piirkonnaalajaama muudatused. Kvartsi alajaama prognoositud koormuseks 2040. aastaks on 14,56 MVA seega antud alajaam on mõistlik üle viia 110 kV toitele, millest on lähemalt kirjutatud peatükis 3.7 Kvartsi piirkonnaalajaama muudatused. Peatükist 3.2 Endla piirkonnalajaama muudatused selgus, et Veerenni alajaama 110 kV-le üle viimine on juba praegu Elektrilevil ja Eleringil töös. Sellest on lähemalt kirjutatud peatükis 3.14 Veerenni piirkonnaalajaama muudatused. Lähtuvalt olemasolevast elektrivõrgu joonisest (Joonis 2.1) selgub, et Järve 35 kV toitele võiks jätta ainult Järve-Veo alajaam, mis ei kuule Elektrilevile. Tabelis (Tabel 3.8) on välja toodud Järve alajaama koormus aastaks 2040 ning lõplik soovituslik elektrivõrgu skeem on leitav joonisel (Joonis 3.3).

Kuna Järve alajaama trafo C2T vanus on 2040. aastaks 66 ja kuna antud lõputöös järgitakse põhimõtet, et piirkonnaalajaamades ei oleks ühtegi seadet, mille vanus ületaks eeldatavat tehnilist eluiga, siis tuleks antud jõutrafo asendada uuega. Lähtudes tabeli (Tabel 3.8) tulemustest ning Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetest, siis võiks olemasoleva trafo asendada 115/38,5(22,2)/6,6 kV 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA trafoga. Antud juhul on küll 35 kV mähise võimsus suuresti üle prognoositud koormuse, aga see jätaks võimaluse tulevikus, kui viimane 35 kV alajaam Järve toitelt maha läheb, hakata arendama vajadusel ka 20 kV võrku ning loobuda kolmandast trafost C1T Järve alajaamas. 20 kV võrgu arendamiseks tuleks alajaama näha ette ka 20 kV jaotusseadmed, selleks sobib jaotusseade, millel on kaks sektsiooni ning kummagi sektsioonis 12 väljuvat kambrit. Järve alajaama koormus kokku oleks tulevikus tabeli (Tabel 3.8) andmete põhjal 29,66 MVA, seega primaarmähis võimsusega 25(40) MVA on antud juhul õigustatud ning piisav. Tertsiaarmähise võimsuseks valiti 20(31,5) MVA,

sest 6 kV võrgu prognoositud koormus on 2040. aastaks 27,48 MVA ning väiksema võimsusega tertsiaarmähis ei võimaldaks reserveerida trafode vaates 6 kV koormust 100%-liselt. Sellise trafo valikuga oleks tagatud trafodega reserveerimise nõue ka siis, kui tulevikus kolmandast jõutrafost loobutakse. Järve alajaamas trafo asendamise hinnanguline maksumus on välja tood tabelis (Tabel 3.9)



Joonis 3.3 Järve, TPI, Kvartsi, Pääsküla elektrivõrgu skeemi muudatus

Tabel 3.9 Järve PAJ jõutrafo vahetamise ja 10 kV jaotusseadme maksumus

Järve PAJ tööd	**Hind**
20 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafo	1 300 000 €
KOKKU	**2 660 000 €**

3.2.5 Kadaka piirkonnaalajaama muudatused

Kadaka PAJ-s ainukeseks probleemiks on see, et 10 kV jaotusseade saab 2040. aastaks 40 aastaseks (Tabel 2.1). Kadaka alajaama jaotusseadme tehniliseks elueaks on 40 aastat [3]. Seega vastavalt lõputöö põhimõttele, et piirkonnaalajaamades ei oleks mitte ühtegi seadet, mille eeldatav eluiga on üle tehnilise eluea, tuleks olemasolev 10 kV jaotusseade asendada 2040. aastal uuega. Uueks jaotusseadmeks sobib kahe sektsiooniline jaotusseade, millel oleks 12 väljuvat kambrit kummagi sektsiooni kohta. Sellise jaotusseadme hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.10)

Tabel 3.10 Kadaka PAJ 10 kV jaotusseadme rekonstrueerimine

Kadaka 110/10 PAJ tööd	**Hind**
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
KOKKU	**1 360 000 €**

3.2.6 Kivimäe piirkonnaalajaama muudatused

Kivimäe PAJ ainukeseks probleemiks on see, et 6 kV jaotusseade saab 2040. aastaks 42 aastaseks (Tabel 2.1). Kivimäe alajaama jaotusseadme tehniliseks elueaks on 40 aastat [3]. Seega vastavalt lõputöö põhimõttele, et piirkonnaalajaamades ei oleks mitte ühtegi seadet, mille eeldatav eluiga on üle tehnilise eluea, tuleks olemasolev 6 kV jaotusseade asendada 2038. aastaks uue 6 kV jaotusseadmega. Hetkel on Kivimäe alajaamas neli 6 kV sektsiooni, seega uueks jaotusseadmeks piisaks nelja sektsiooniline jaotusseade, millel on 7 väljuvat kambrit igas sektsiooni. Sellise jaotusseadme hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.11).

Tabel 3.11 Kivimäe PAJ 6 kV jaotusseadme rekonstrueerimine

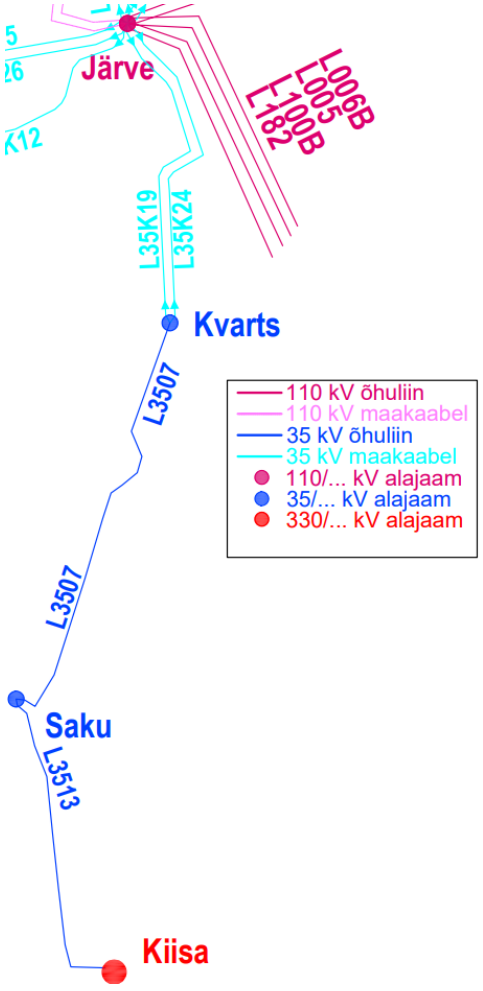
Kivimäe 110/6 PAJ tööd	**Hind**
6 kV jaotusseade	1 870 000 €
KOKKU	**1 870 000 €**

3.2.7 Kvartsi piirkonnaalajaama muudatused

Kvartsi 35/6 kV alajaam on ühendatud kahe erineva 35 kV maakaabliga ja ühe 35 kV õhuliiniga:

- Järve – Kvartsi (L35K19);
- Järve – Kvarts (L35K24).
- Saku – Kvartsi (L3507)

Kvartsi alajaama prognoositud koormuseks 2040. aastal on 14,56 MVA. Kvartsi alajaama probleemideks on hetkel jaotusseadmete ja trafode vanus ning trafode n-1 talitlusel koormus. Nii 35 kV kui ka 6 kV jaotusseadmed on paigaldatud aastal 1966, see tähendab, et jaotusseadmete vanus on juba praegu 58 aastat ehk 13 aastat üle eeldatava tehnilise eluea (Tabel 2.1). Seega 2040. aastaks oleks jaotusseadmete vanus juba 74 aastat. Kvartsi alajaama jõutrafode tootmisaastad on 1966 ja 1967, trafode vanused 2040. aastaks on 74 ja 73 aastat (Tabel 2.2) Olukorras kus üks trafodest on tööst väljas saab olemasolevate andmete põhjal maksimaalne koormus olla trafodel 10,27 MVA, mis ületab töösse jääva trafo võimsust (Tabel 2.4). Joonisel (Joonis 3.4) on välja toodud olemasolev elektrivõrgu skeem.



Joonis 3.4 Kvartsi PAJ olemasolev elektrivõrgu skeem

Esmalt analüüsitakse Kvartsi alajaama koormust 2040. aastaks. Prognoositud koormuseks on 14,56 MVA (Tabel 2.7). Lisaks on Kvartsi alajaama piirkonnas arendamisel kaks suuremat detailplaneeringut Silikaltsiidi tn 8 ja Raku kvartal. Silikaltsiidi tn 8 detailplaneeringu planeeritud võimsus on ca 8 MVA [9]. Raku kvartali detailplaneeringu planeeritud võimsus on 5 MVA [10]. Koos detailplaneeringutega oleks Kvartsi alajaama koormus aastaks 2040 27,56 MVA (Tabel 3.12).

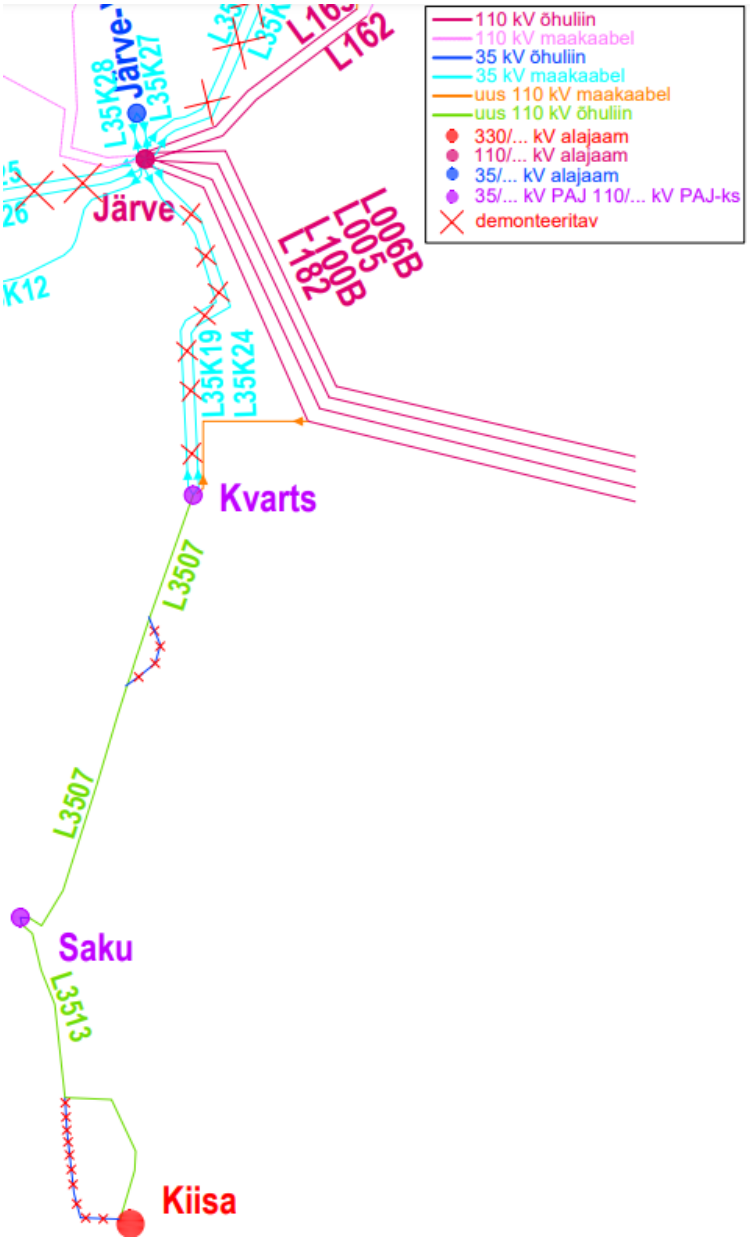
Tabel 3.12 Kvartsi alajaama koormus aastaks 2040

Prognoositud Kvartsi PAJ koormus 2040. a.	14,56 MVA
Detailplaneeringutega lisanduv võimsus	13 MVA
Kvartsi PAJ koormus kokku	27,56 MVA

Lähtuvalt koormusest, mis on välja toodud tabelis (Tabel 3.12) selgub, et olemasolevate trafode nimivõimsusest ei piisa, et tagada koormuse vajadus tulevikus. Seega tuleks olemasolevad trafod asendada võimsamate trafodega mis aga läheks vastuollu Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetega, mis lubavad 35 kV primaarpingega jõutrafosid nimivõimsusega kuni 10 MVA. Antud juhul ei sobiks ka variant, et asendada 35 kV toitepinge 20 kV toitepingega, sest esiteks antud piirkonnas ei ole läheduses mitte ühtegi 20 kV pingega alajaama ning teiseks võrgutehnika põhimõtted ei lubaks ka vahetrafona kasutada võimsamat trafot kui 10 MVA. Kuna Kvartsi alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks oleks detailplaneeringute valmides 27,56 MVA, siis on ka vastavalt planeerimise põhimõtetele õigustatud uue piirkonnaalajaama ehitamine.

Vastavalt eelmisele lõigule ja olemasolevale võrgu konfiguratsioonile (Joonis 3.4) tuleks Kvartsi piirkonnaalajaam üle viia 110 kV-le. Alajaama rekonstrueerimise mahus peaks kindlasti ka asendama 6 kV jaotusseadmed, sest need on juba praegu üle eeldatava tehnilise eluea. Praegune 6 kV jaotusseade on kahe sektsiooniline ning uus 6 kV jaotusseade peaks olema ka kahe sektsiooniline, mille kummagi sektsioonis on 10 väljuvat kambrit. Kvartsi alajaama 110 kV jaotusseadmeks peaks tulema H – skeemiga seade. Vastavalt tabelis (Tabel 3.2) välja toodud andmetele peaks uued trafod olema võimsusega 25(40)/25(40)/20(31,5) ning nimipingetega 115/(22)11/6,6 kV. Sellise primaarmähise võimsuse korral on tagatud planeerimise põhimõtted, et tarbimine kahe trafoga alajaamas ei ületa väiksema trafo võimsust ning võrgutehnika põhimõtted, et ONAF jahutusega trafosid kasutatakse nii, et võrgu normaaltalitlusel ei töötaks need sundjahutuse talitluses. Antud juhul peaks sundjahutus töötama ainult sellisel juhul kui kogu alajaama koormus on ühe trafo toitel. Sekundaarmähis on valitud vastavalt planeerimise põhimõtetele, et 6 kV võrk on taandarenev ning tuleb üle viia etappidena 20 kV pingele ja vaheetapina on linnades lubatud kasutada 10 kV. Tertsiaarmähist on vaja, et säilitada olemasolevate 6 kV võrgu toide ning võimsus valitud vastavalt sellele, et täita koormuse vajaduse ka siis, kui üks jõutrafodest peaks tööst väljas olema, sellisel juhul peab lihtsalt töösse jääv trafo töötama ONAF režiimis. Kuna uued trafod võimaldaksid arendada ka 10 kV võrku, siis peaks alajaama ette nägema ka uue kahe sektsioonilise 10 kV jaotusseadme, mõlemas sektsioonis 10 väljuvat kambrit (nimipinge 24 kV).

Selleks, et Kvartsi alajaam 110 kV-le üle viia tuleb ka Saku alajaam viia üle 110 kV-le ning Kiisa–Saku–Kvartsi vaheline olemasolev õhuliin rekonstrueerida 110 kV õhuliiniks. Hetkel on Elektrilevil pooleli projekt, mille mahus Kiisa-Saku-Kvartsi vaheline õhuliin rekonstrueeritakse 110 kV valmidusega õhuliiniks ning see peaks olema 2027 aastaks valmis. Kvartsi ja Järve alajaamade vahelised 35 kV kaablid tuleb tööst välja viia ning asemele tuleb ehitada uus 110 kV maakaabel, mis saaks toidet Järve – Kiisa vaheliselt õhuliinilt L182, antud lahendus on välja toodud ka varasemas Eleringi ja Elektrilevi vahelises arenguplaanis aastani 2035 [11]. Lisaks on vaja Kiisa alajaama 110 kV jaotusseadet laiendada (üks kamber lisaks), et saaks ühendada uue liini 110 kV jaotusseadmega. Uus kujunev elektrivõrgu skeem on välja toodud joonisel (Joonis 3.5) ning tehtavate tööde hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.13).



Joonis 3.5 Järve – Kvartsi – Saku – Kiisa elektrivõrgu skeemi muudatus

Tabel 3.13 Kvartsi PAJ üleviimine 110 kV-le.

Vajalikud tööd	**Kvartsi PAJ**	**Saku PAJ**
110 kV jaotusseade	4 000 000 €	4 000 000 €
20 kV jaotusseade	1 240 000 €	0 €
6 kV jaotusseade	1 240 000 €	0 €
Jõutrafod	2 600 000 €	2 000 000 €
110 kV maakaabel	1 800 000 €	
110 kV õhuliin	2 656 800 €	
Kiisa 110 kV JS laiendamine	800 000 €	
KOKKU	**20 336 800 €**	

3.2.8 Lasnamäe piirkonnaalajaama muudatused

Lasnamäe alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 10 kV võrgus 42,89 MVA ja 6 kV võrgus 24,36 MVA, kokku 67,25 MVA (Tabel 2.7). Kuna PAJ-s on 63 MVA trafod, siis see läheb vastuollu Elektrilevi planeerimise põhimõtetega, et kahe trafolistes alajaamades tiheda ja ülitiheda asutusega piirkondades ei tohi tarbimine/tootmine ületada väiksema trafo võimsust, milleks on 63 MVA [5]. Lisaks tekiks ka probleeme 10 kV reserveerimisega, sest prognoositud koormus on suurem kui jõutrafo sekundaarmähise võimsus (Tabel 2.7). Sekundaarmähise võimsus on 31,5 MVA, aga prognoositud koormus aastaks 2040 on 42,89 MVA. Teine murekoht on Lasnamäe alajaama 10 kV jaotusseadmed. 10 kV jaotusseadmed saavad 2040. aastaks 53. aastaseks, seega antud jaotusseadmed tuleks asendada uutega. Hetkel on Lasnamäe alajaamas kaks 10 kV sektsiooni seega uueks sobivaks jaotusseadmeks oleks kahe sektsiooniline jaotusseade, mille mõlemas sektsioonis on 12 väljuvat kambrit. Tabelis (Tabel 3.15) on välja toodud Lasnamäe jaotusseadme rekonstrueerimise hinnanguline maksumus.

Lähtudes eelmisest lõigust on reserveerimise probleemi lahendamiseks kaks varianti, kas paigaldada alajaama üks lisatrafo või ehitada Lasnamäe piirkonda veel üks PAJ. Esmalt analüüsitakse kolmanda trafo paigaldamise võimalust. See eeldaks endast esmalt Lasnamäe PAJ 110 kV jaotusseadme ümberehitamist, et tekiks uus lahter kust saaks toidet 110 kV uus trafo. Teiseks peaks kolmas jõutrafo olema samat tüüpi mis juba kaks olemasolevat, et oleks võimalik trafode paralleeltöö, ehk 63 MVA. See aga läheb vastuollu Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetega kus on välja toodud, et kasutame maksimaalselt 40 MVA primaarmähisega jõutrafosid. Kuna Lasnamäe piirkonnas on koormus pidevas kasvus siis oleks mõistlik antud piirkonda rajada täiendavalt veel üks piirkonnaalajaam, mis aitaks vähendada Ida ja Lasnamäe piirkonnaalajaamade koormuseid, mille koormused on kasvavas trendis. Uus alajaam täiendaks oluliselt

Lasnamäe piirkonna liitumisvõimekust ja varustuskindlust. Uue alajaama asukoht on paika pandud ka Lasnamäe linnaosa üldplaneeringus [12]. Lisaks on veel joonisel (Joonis 3.6) välja toodud uue alajaama asukoht keskpinge võrgu suhtes.

Uueks PAJ nimeks saaks Pae. Uue PAJ toite kõige optimaalsem ja keskkonda säästvam trass oleks kui võtta toide Ida – Ranna vahelistelt liinidelt L168 või L166. Alajaama uueks 110 kV skeemiks H-skeem. Trafode valiku tegemiseks hinnatakse kõige pealt uue alajaama koormust tulevikus. Kui vaadata Lasnamäe alajaama 10 kV prognoositud koormust ja trafode võimsust, siis tuleb Lasnamäe 10 kV toitelt minimaalselt 11 MVA ümber ühendada Pae alajaama toitele. Aga sellise koormuse juures töötaksid Lasnamäe alajaama jõutrafod n-1 talitlusel ikkagist nimivõimsuse lähedal, seega oleks mõistlik Lasnamäe alajaama 10 kV koormust veelgi vähendada, et Lasnamäe trafodele jääks võimsuse reservi. Hinnanguliselt võiks ca 15% olla jõutrafol reservi, et võimalusel ühendada trafoga uusi koormuseid, mida pole võimalik Pae alajaama toitele võtta. Seega Lasnamäe alajaama 10 kV toitelt tuleks Pae alajaama toitele ümber ühendada ca 15 MVA, Lasnamäe alajaama koormus aastaks 2040 on välja toodud tabelis (Tabel 3.14). Täiendavalt on veel Pae alajaam toitele võimalik ümber ühendada ka Ida alajaama koormust, hinnanguliselt 5 MVA. See teeks kokku Pae alajaama koormuseks 20 MVA, Pae alajaama koormus on välja toodud tabeli (Tabel 3.37). Lähtudes eelnevast infost ning Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetest, siis sobiks Pae alajaama paigaldada kaks trafot võimsusega 25(40)/25(40) MVA ning nimipingetega 115/11 kV. Jaotusseadmeks on planeerimise põhimõtete järgi mõistlik valida kahe sektsiooniline 10 kV jaotusseade, mille mõlemas sektsioonis on 12 väljuvat kambrit. Tabelis (Tabel 3.16) on välja toodud Pae alajaama ehitamise hinnanguline maksumus.

Tabel 3.14 Lasnamäe alajaama koormus aastaks 2040

Toitepinge	6 kV	10 kV
Prognoositud Lasnamäe PAJ koormus 2040. a.	24,36 MVA	42,89 MVA
Pae alajaama toitele ümber ühendatav võimsus	-	15 MVA
Lasnamäe PAJ koormus kokku	24,36 MVA	27,89 MVA

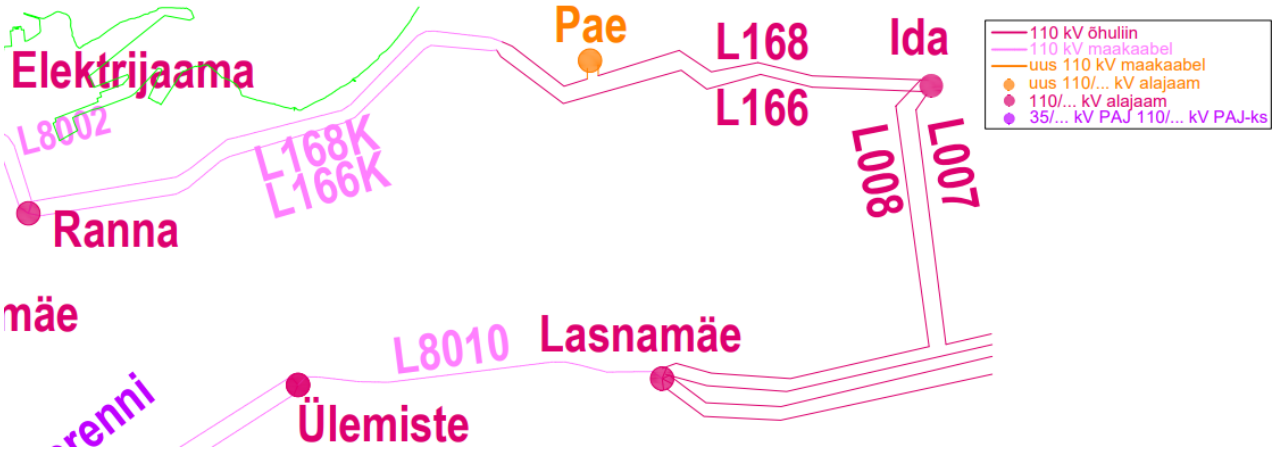
Tabel 3.15 Lasnamäe PAJ 10 kV jaotusseadme rekonstrueerimine

Lasnamäe 110/10/6 PAJ tööd	**Hind**
10 kV jaotusseade	2 470 000 €
KOKKU	**2 470 000 €**

Tabel 3.16 Pae 110/10 ehitamise maksumus

Pae 110/10 seadmed	**Hind**
110 kV jaotusseade	4 000 000 €
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
110 kV maakaabel	180 000 €
KOKKU	**8 140 000 €**

Joonis 3.6 Pae piirkonnaalajaam jaotusvõrgu skeemil



Joonis 3.7 Lasnamäe elektrivõrgu skeemi muudatus

3.2.9 Paljassaare piirkonnaalajaama muudatused

Paljassaare alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 10,71 MVA (Tabel 2.7). Tallinna planeeringute registrist selgus veel, et lisaks on antud piirkonnas kavas Paljassaare põik 16 kinnistu ja lähiala detailplaneering 14 MVA ning Paljassaare tee 18,

20, 24, 24a, 26a, 28, 28c, 28e, 30, 30a, 30b, 30c, 32, 32b, 32c, 32d kinnistute ja lähiala detailplaneering 10 MVA [13], [14]. Lähtudes prognoositud koormusest ning teada olevatest suurematest detailplaneeringutes on tabelis (Tabel 3.17) välja toodud Paljassaare alajaama koormus aastaks 2040. Hetkel on Paljassaare alajaamas kaks 16 MVA trafod. Isegi kui koormus jaotada kahe jõutrafo vahel võrdselt $34{,}71 \div 2 = 17{,}355\ MVA$, siis oleks olemasolevad trafod ka normaaltalitlusel üle koormatud. Lisaks ei ole võimalik täita ka Elektrilevi planeerimise põhimõtetega sätestatud nõuet, et koormus ei tohi ületada kahe trafolistes alajaamades väiksema trafo nimivõimsust. Lähtudes tabelite (Tabel 3.1 ja Tabel 3.17) andmetest tuleks Paljassaare alajaam paigaldada kaks uut jõutrafot. Jõutrafode nimipinged 115/11/6,6 kV ning nimivõimsused 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA. Lisaks uutele jõutrafodele tuleks alajaama näha ette veel uus 10 kV jaotusseade, et täita Elektrilevi planeerimise põhimõtetest tulevat nõuet, et 6 kV võrku tuleb üle viia 10 kV pingele. Uueks 10 kV jaotusseadmeks sobib kahe sektsiooniline jaotusseade, millel on 12 väljuvat kambrit mõlemas sektsioonis. Täiendavalt tuleks rekonstrueerida ka olemasolev 6 kV jaotusseade aastaks 2032, sest selleks ajaks on see jaotusseade saavutanud enda eeldatava tehnilise eluea. Uus 6 kV jaotusseade võib olla vähemate väljuvate kambritega kui 10 kV jaotusseade, sest kõik uued liituvad võimsused tuleks ühendada 10 kV toitele. Väljuvate kambrite arv 9 sektsiooni kohta oleks piisav, et olemasolevate fiidrite toide säilitada. Paljassaare alajaamas teostatavate tööde maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.18)

Tabel 3.17 Paljassaare PAJ koormus aastaks 2040

Prognoositud Paljassaare PAJ koormus 2040. a.	10,71 MVA
Detailplaneeringutega lisanduv võimsus	24 MVA
Paljassaare PAJ koormus kokku	34,71 MVA

Tabel 3.18 Paljassaare PAJ 10 kV jaotusseadme rekonstrueerimise ja jõutrafode asendamise maksumus

Paljassaare PAJ tööd	**Hind**
6 kV jaotusseade	1 180 000 €
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
KOKKU	**5 140 000 €**

3.2.10 Pääsküla piirkonnaalajaama muudatused

Pääsküla alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 11,80 MVA (Tabel 2.7). Hetkel on Pääsküla piirkonnaalajaamas 16 MVA ja 10 MVA trafod. See tähendab aga seda, et Elektrilevi planeerimise põhimõtetes välja toodud nõue trafode

reserveeritavuse osas ei ole täidetud [5]. Kui 16 MVA trafo peaks mingil põhjusel olema tööst väljas, siis 10 MVA-ne trafo ei ole võimeline pikaajaliselt kogu alajaama koormusvajadust tagama, sest prognoositud koormus ületab trafo nimivõimsust. Sellest lähtuvalt tuleks alajaamas 10 MVA võimsusega T1T asendada võimsama trafoga. Kuid antud juhul on piiravaks teguriks Elektrilevi võrgutehnika põhimõte, mis lubab 35 kV primaarpingega alajaamas kasutada kuni 10 MVA võimsusega jõutrafot [6]. Uut 110 kV pole mõtet ka rajada, sest planeerimise põhimõtetes on välja toodud punkt, et tihedas piirkonnas ei tohi jääda alajaama koormus alla 10 MVA ja Pääsküla alajaama puhul on see nõue üsna napilt täidetud [5]. Järgmisena on mõistlik kaaluda Pääsküla alajaama üle viimist mingi teise piirkonnaalajaama toitele.

Jooniselt (Joonis 3.8) selgub, et kaks lähimat olemasolevat 110 kV primaarpingega alajaam on Kivimäe ja Topi. Kivimäe piirkonnaalajaam on 2,8 km kaugusel ning Topi piirkonnaalajaam on 2,9 km kaugusel. Kivimäe alajaamast saaks Pääsküla toiteks võtta 6 kV võrgu, Topist aga 20 kV võrgu. Lähtuvalt planeerimise põhimõtetest, et 20 kV on perspektiivne elektrivõrgu pinge, siis töö autor soovitab Pääsküla PAJ üle viia Topi PAJ 20 kV toitele. Selle jaoks tuleks esmalt Topi piirkonnaalajaama ehitada 20 kV jaotusseade ning ehitada 20 kV maakaablid Pääsküla alajaama, kaablite ristlõikeks 3x300mm^2. Teiseks tuleks asendada Pääsküla olemasolevad jõutrafod uute vahetrafodega. Objekti põhiselt on Elektrilevi võrgutehnika põhimõtete järgi lubatud kasutada 10 MVA võimsusega vahetrafosid [6]. Vastavalt koormusprognoosile tuleks Pääsküla alajaama paigaldada 10 MVA 22,0/(11,0)6,6 kV vahetrafod ning ca 2,8 MVA Pääsküla koormusest tuleks ühendada Kivimäe alajaama toitele, et Pääsküla alajaama jääks reservi. 10 kV ümberlülitamise võimalus on trafole valitud selleks, et tulevikus 6 kV võrku asendada 10 kV võrguga. Ehitustööde hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.20) ning muudetud elektrivõrgu skeem on kujutatud joonisel (Joonis 3.9)

Kaablitrassi pikkus Topi piirkonnaalajaamast Pääsküla alajaamani on ca 3,3 km. Kahe alajaama vahele peaks paigaldama 300mm^2 kaablid. 300mm^2 kaabli maksimaalne lubatud koormusvool on 435 A [15]. Lisaks tuleks ka antud kaablid paigaldada kaablitorudesse ja sellisel juhul tuleb arvestada vähendusteguriga. Standardi EVS-HD 620 S3:2023 järgi on sellisel juhul, kui kaabel on paigaldatut torru, vähendustegur 0,8 [16]. Seega 300mm^2 kaabli lubatud koormusvooluks oleks $435 \cdot 0{,}8 = 348\,A$, see jätaks veel kaablile reserveerivas talitluses reservi ca 66 A, võimsuse poolest ca 2,4 MW. Tabelis (Tabel 3.19) on välja toodud arvutustulemused selle kohta kui Pääsküla alajaam hakkaks saama toidet Topi 20 kV jaotusseadmest, koormustena on arvestatud prognoositud koormuseid. Arvutuste tegemiseks on kasutatud võrgu planeerimise

tarkvara Trimble NIS. Prognoositud võimsuste järgi trafode koormuse leidmiseks on kasutatud koefitsienti mille arvutamise näitena on teostatud arvutus Pääsküla alajaama T1T koormuse kohta tulevikus. T2T puhul on kasutatud samat lähenemisviisi.

$$T1T\ mõõdetd\ koormus + T2T\ mõõdetud\ koormus = alajaama\ summaarne\ koormus$$
$$3{,}31\ MVA + 6{,}94\ MVA = 10{,}25\ MVA$$

$$\frac{T1T\ mõõdetud\ koormus}{summaarne\ koormus} = koefitsient$$
$$\frac{3{,}31}{10{,}25} = 0{,}32$$

$$Prognoositud\ koormus\ \cdot koefitsient = prognoositud\ trafo\ koormus$$
$$10{,}25\ MVA \cdot 0{,}32 = 3{,}78\ MVA$$

Tabeli (Tabel 3.19) andmetest selgub, et normaaltalitluse korral oleks Pääsküla I sektsiooni maksimaalne pingekadu 3,83% ja II sektsiooni maksimaalne pingekadu 3,41%. Reserveerivas talitluses kui üks Topi ja Pääsküla vaheline kaabel peaks tööst väljas olema, siis maksimaalne pingekadu Pääsküla alajaama võrgus on 4,73%. Praegu olemasoleva skeemi korral on Järve ja Pääsküla vahel 8,3 km 35 kV liine ning normaaltalitlusel on Pääsküla I sektsiooni maksimaalne pingekadu 4,03% ja II sektsiooni maksimaalne pingekadu 4,06%, seega pingekvaliteet läheb paremaks (Tabel 3.20).

Tabel 3.19 Pääsküla alajaama arvutustulemused pärast Topi toitele üle viimist

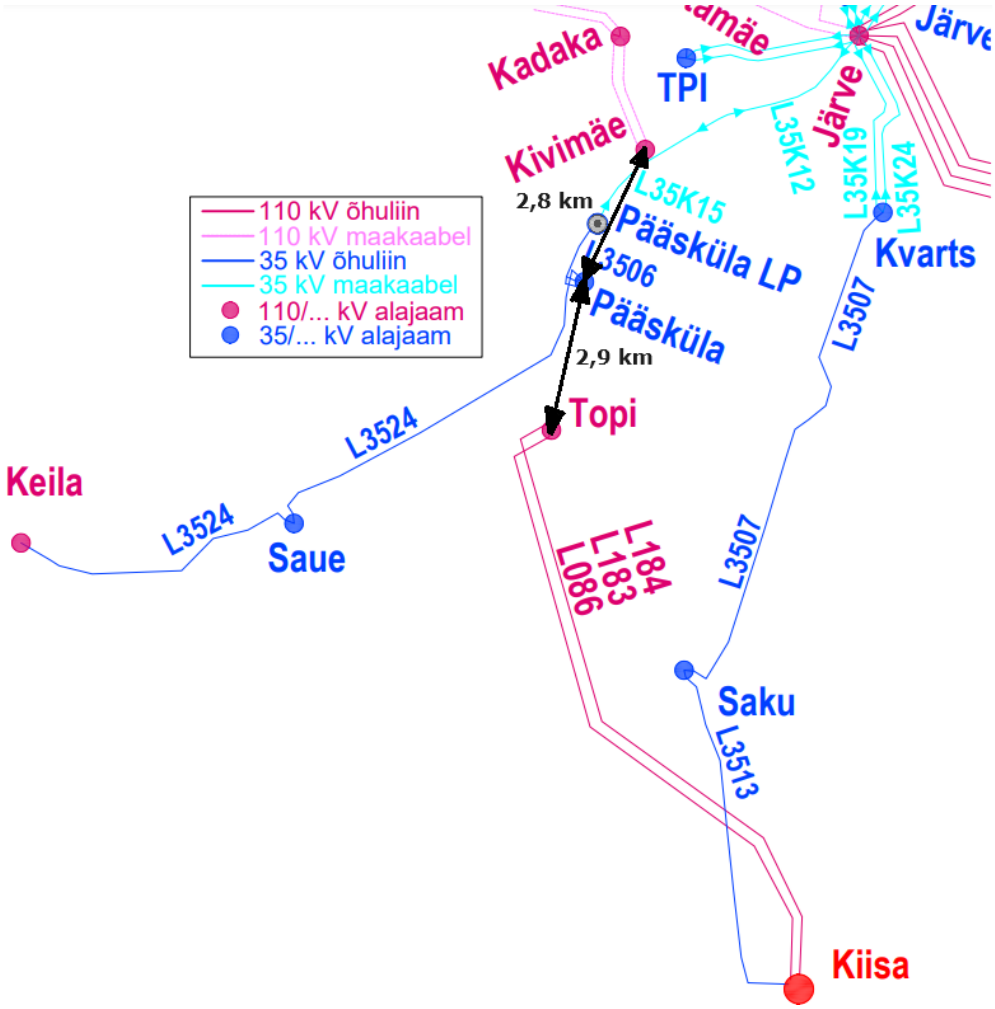
Parameetrid	**Normaaltalitlus**		**Reserveeriv skeem**
	Pääsküla I sektsioon	**Pääsküla II sektsioon**	**Pääsküla alajaam kokku**
Koormusvool Topi ja Pääsküla vahelisel lõigul, A	104	190	326
Näivvõimsus Topi ja Pääsküla vahelisel lõigul, kVA	3812	8020	11836
Pingekadu Topi ja Pääsküla vahelisel lõigul, %	0,38	0,82	1,20
Maksimaalne pingekadu Pääsküla 6 kV poolel, %	4,33	4,03	5,47

Tabel 3.20 Pääsküla alajaama arvutustulemused praeguse skeemiga

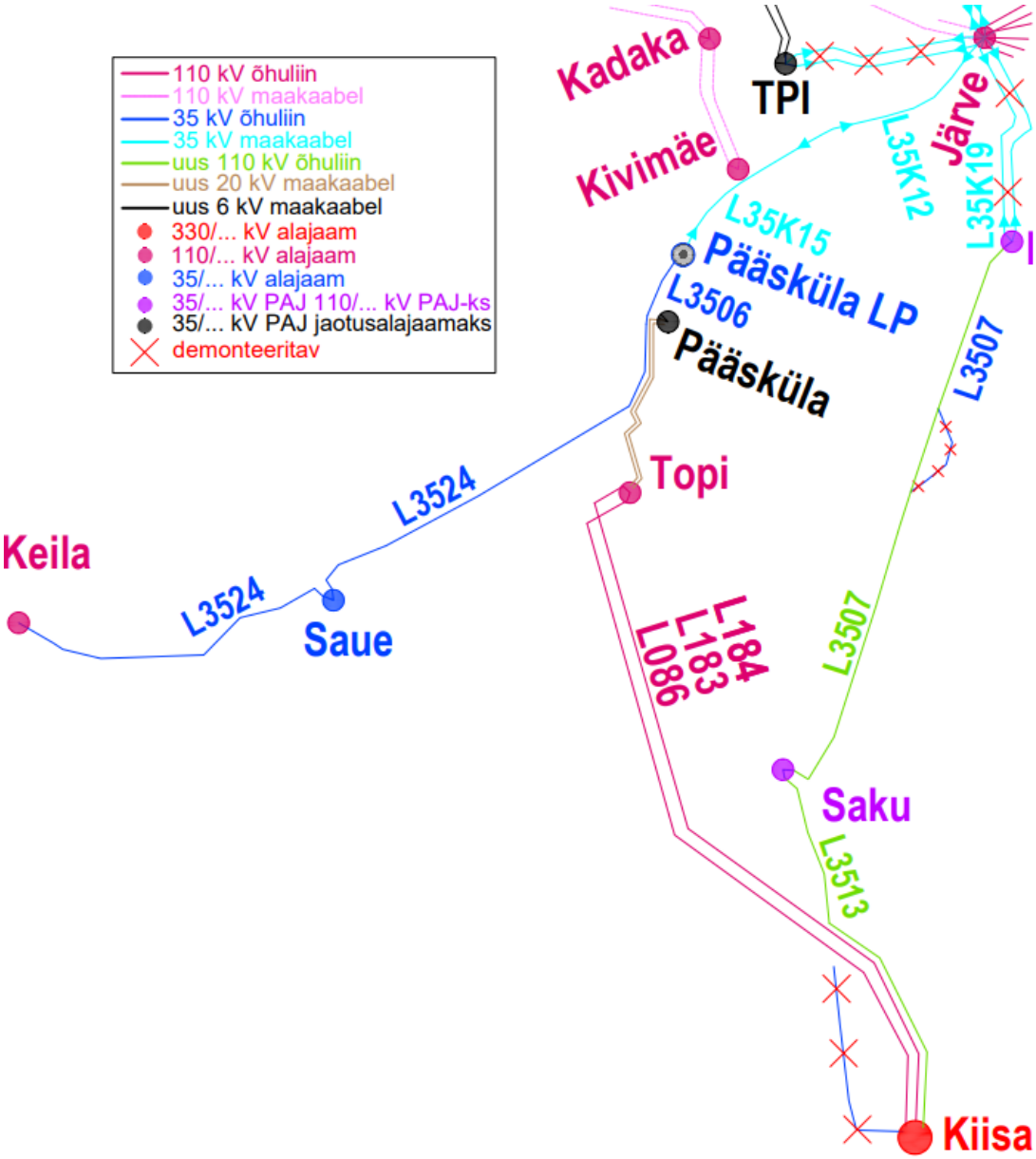
Parameetrid	Normaaltalitlus	
	Pääsküla I sektsioon	**Pääsküla II sektsioon**
Koormusvool Järve ja Pääsküla vahelisel lõigul, A	60	128
Näivvõimsus Järve ja Pääsküla vahelisel lõigul, kVA	3772	8020
Pingekadu Järve ja Pääsküla vahelisel lõigul, %	0,67	1,48
Maksimaalne pingekadu Pääsküla 6 kV poolel, %	4,59	4,71

Tabel 3.21 Pääsküla PAJ üleviimine 20 kV toitele

Pääsküla PAJ tööd	**Hind**
Topi 20 kV jaotusseade	400 000 €
Vahetrafod	1 000 000 €
Keskpinge maakaabel	1 485 000 €
KOKKU	**2 885 000 €**



Joonis 3.8 Pääsküla PAJ olemasolev elektrivõrgu skeem



Joonis 3.9 Pääsküla PAJ elektrivõrgu skeemi muudatus

3.2.11 Ranna piirkonnaalajaama muudatused

Ranna alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 10 kV võrgus 35,9 MVA ja 6 kV võrgus 13,18 MVA, kokku 49,08 MVA (Tabel 2.7). Lisaks selgus Tallinna planeeringute registrist, et Reidi tee piirkonnas töös mõned suuremad detailplaneeringud D-terminali ja lähiala detailplaneering 3,8 MVA; Nafta tn 1/ Petrooleumi tn 6 kinnistu, Petrooleumi tn 8 kinnistu, Bensiini tn 9 kinnistu, Bensiini tn 9a kinnistu ja lähiala detailplaneering 5,0 MVA ja A-reisiterminali ning kruiisiterminali ala detailplaneering 5,8 MVA [17], [18], [19]. Seega kokku lisanduv võimsus oleks veel 14,6 MVA, mis teeks kogu koormuseks tulevikus 63,68 MVA. Kuna Ranna PAJ-s on

40/40/25 MVA trafod, siis see läheb vastuollu Elektrilevi nõudega, et kahe trafolistes alajaamades tiheda ja ülitiheda asutusega piirkondades ei tohi tarbimine ületada väiksema trafo võimsust, milleks on 40 MVA [5]. Ranna alajaamas on juba võrgutehnika põhimõtete järgi suurimad lubatavad trafod ja seega ei saa olemasolevaid trafosid enam suurendada.

Lähtudes eelmisest lõigust, siis tuleks kesklinna piirkonda ehitada veel üks uus piirkonnaalajaam. Uus piirkonnaalajaam on ette nähtud ka Tallinna üldplaneeringutes [20]. Uue PAJ nimeks saaks Kadriorg 110/10. Kadrioru PAJ võimaldaks maha koormata Ranna piirkonnaalajaama ning laiendada linna 10 kV võrku. Uue alajaama 110 kV seade peaks olema kahe trafo lahtriga ja kolme liini lahtriga, üks 110 kV liinidest peab olema Pirita suunaline, selle jaoks on linnal ette nähtud ka trass [20]. Kadrioru PAJ toide oleks distantsi suhtes kõige optimaalsem võtta ühelt Ida ja Ranna vahelistel kaablilt, trassi pikkus ca 400 meetrit.

Kadrioru alajaama trafode valikuks peaks kõige pealt analüüsima selle koormust. Kuna lisanduvate detailplaneeringute maht on 14,6 MVA, siis tuleks see kõik ühendada Kadrioru toitele. Täiendavalt tuleks Ranna alajaama osa 10 kV koormusest ümber ühendada Kadrioru alajaama toitele, sest koormuse prognoosist selgus, et Ranna alajaamas on tulevikus trafode n-1 talitlusel probleeme ehk reserveerimist vajav võimsus on suurem kui töösse jääva trafo võimsus. Seega minimaalselt ca 9 MVA tuleks ühendada ümber Kadrioru toitele, et oleks tagatud trafode reserveerimise nõue. Sellisel juhul oleks Ranna alajaam maksimaalselt koormatud ja sinna ei tohiks lisada enam mitte ühtegi elektrivõrguga liituvat tarbijat. Seega mõistlik oleks jätta ca 15% vabat reservi Ranna piirkonnaalajaama, mis tähendab seda, et täiendavalt peaks veel 6 MVA ümber ühendama Kadrioru PAJ toitele. Kadrioru PAJ koormus on välja toodud tabelis (Tabel 3.22)ning Ranna PAJ koormus on välja toodud tabelis (Tabel 3.23). Kadrioru PAJ koormuseks saaks olema tulevikus hinnanguliselt 29,6 MVA. Seega võrgutehnika ja planeerimise põhimõtete järgi tuleks Kadrioru piirkonnaalajaama paigaldada kaks 25(40)/25(40) MVA 115/11 kV jõutrafod. Sellise võimsusega trafo on valitud selleks, et tagada alajaama toitel olevate klientide reserveerimine ka juhul kui üks trafodest on mingil põhjusel tööst väljas. Sellise trafoga on täidetud ka võrgutehnika põhimõtete nõue, et ONAF jahutusega trafosid kasutame nii, et võrgu normaaltalitlusel ei töötaks need sundjahutuse talitluses. Väiksema võimsusega jõutrafot ei saa valida, sest sellisel juhul ei oleks võimalik kogu alajaamad koormust viia reserveerival talitlusel üle ühele trafole. Lisaks tuleb Kadrioru alajaama paigaldada kahe sektsiooniline 10 kV jaotusseade, mille mõlemas sektsioonis on 12 väljuvat kambrit. Muudetud elektrivõrgu

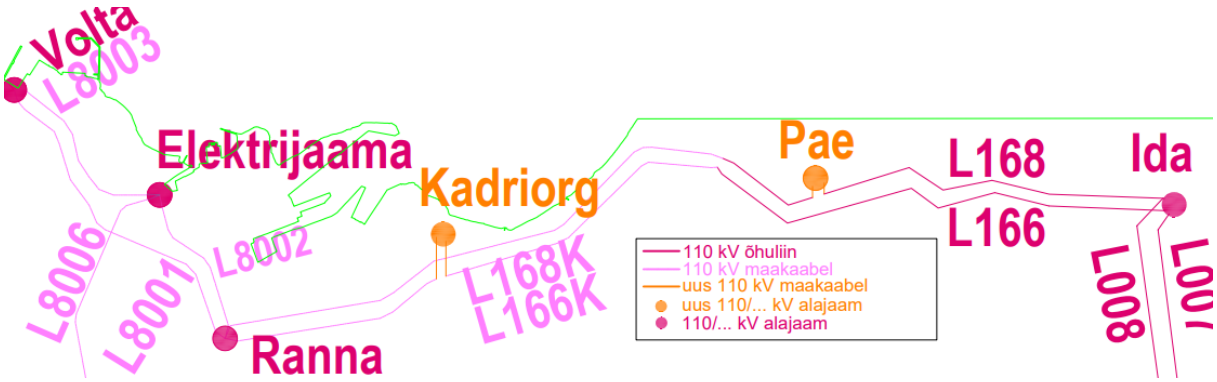
skeem on välja toodud joonisel (Joonis 3.10) ning Kadrioru PAJ ehitamise hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.24).

Tabel 3.22. Kadrioru PAJ koormus aastaks 2040

Detailplaneeringute järgi lisanduv võimsus	14,6 MVA
Ranna PAJ-st ümber ühendatav koormus	15 MVA
Kadrioru PAJ koormus kokku	29,6 MVA

Tabel 3.23 Ranna PAJ koormus aastaks 2040

Toitepinge	6 kV	10 kV
Prognoositud Ranna PAJ koormus 2040. a.	13,18 MVA	35,9 MVA
Kadrioru PAJ toitele ümber ühendatav koormus	-	15 MVA
Ranna PAJ koormus kokku	13,18 MVA	20,9 MVA



Joonis 3.10 Kesklinna elektrivõrgu skeemi muudatus

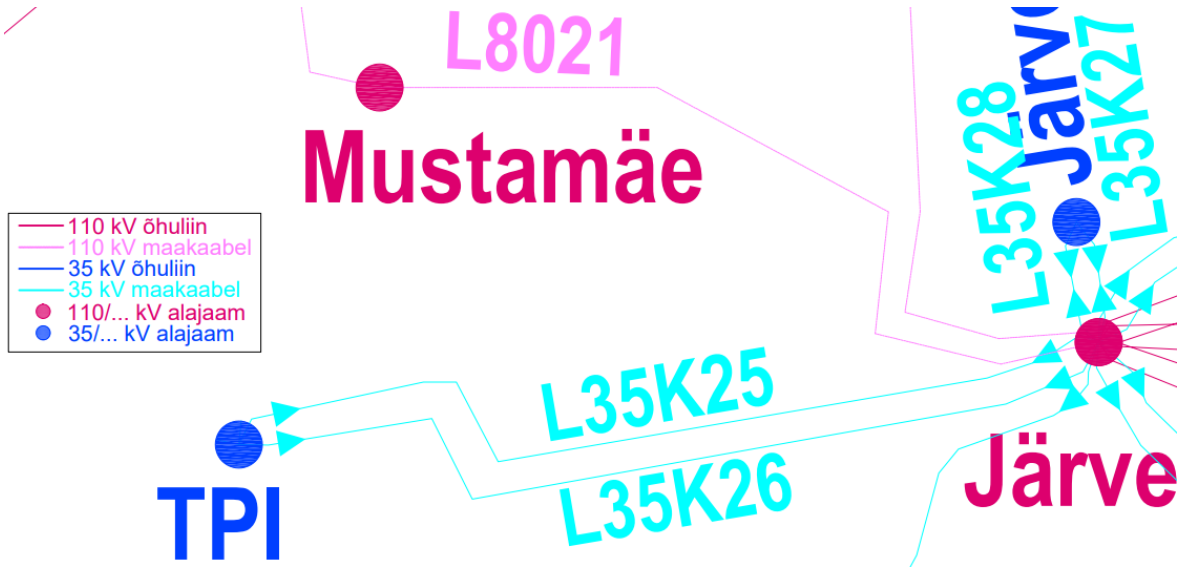
Tabel 3.24 Kadrioru 110/10 PAJ ehitamise maksumus

Kadriorg 110/10 PAJ tööd	**Hind**
110 kV jaotusseade	4 800 000,00 €
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
110 kV maakaabel	720 000 €
KOKKU	**9 480 000 €**

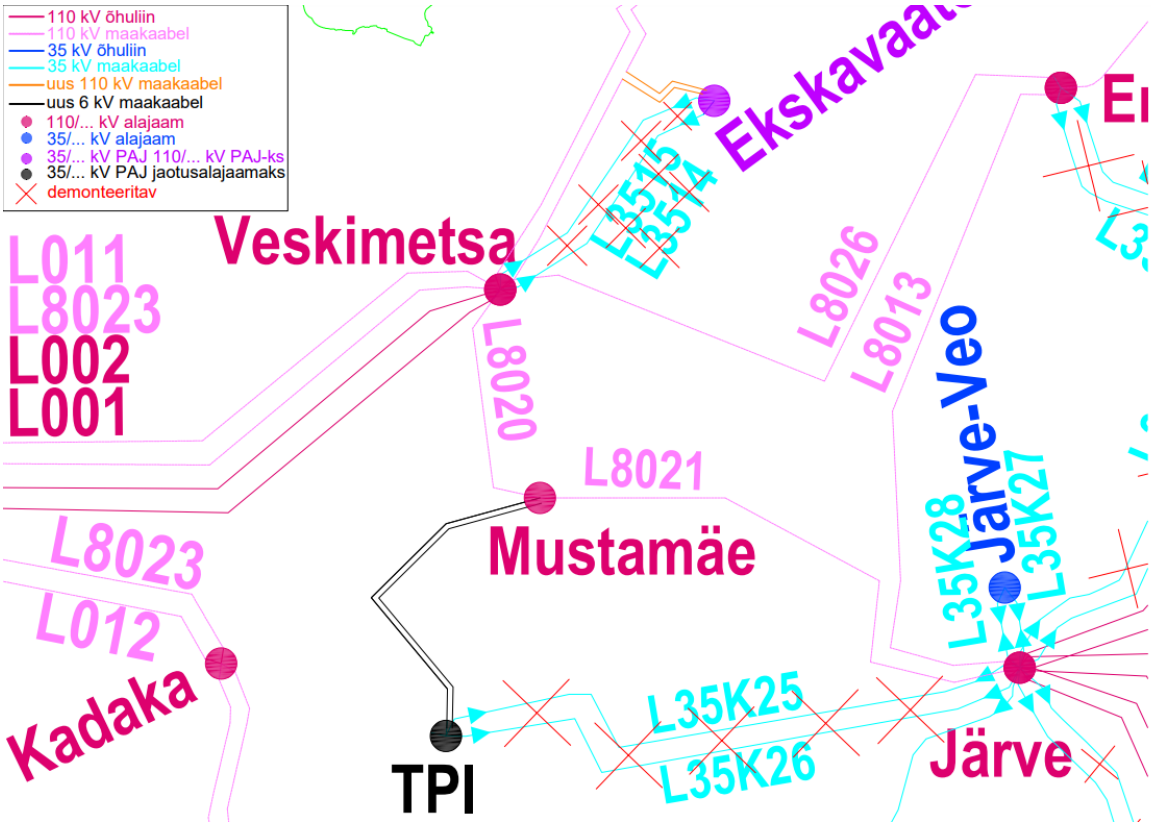
3.2.12 TPI piirkonnaalajaam muudatused

TPI alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 12,73 MVA (Tabel 2.7). Hetkel on TPI alajaamas 10 MVA trafod seega tulevikus ei oleks võimalik antud võimsusega trafodega täita planeerimise põhimõtete nõuet reserveerimise osas [5]. Olemasolevate trafode asendamine võimsamatega ei ole ka lubatud, sest vastavalt võrgutehnika põhimõtetele on 35 kV primaarpingega alajaamades lubatud kasutada maksimaalselt

10 MVA võimsusega trafosid [6]. Uut 110 kV pole mõtet ka rajada, sest planeerimise põhimõtetes on välja toodud punkt, et tihedas piirkonnas ei tohi jääda alajaama koormus alla 10 MVA ja TPI alajaama puhul on see nõue üsna napilt täidetud [5]. Seega ainuke variant on TPI alajaam võtta mingi teise piirkonnaalajaama toitele. Jooniselt (Joonis 3.11) selgub, et lähim piirkonnaalajaam on Mustamäe 110/6. Lõputöö koostamise hetkel on Elektrilevil töös lahendus, mille raames viiakse TPI alajaam Mustamäe alajaama 6 kV toitele. Antud töö mahus demonteeritakse TPI alajaamast 35 kV jaotusseadmed ja jõutrafod ning ehitatakse 4 uut 300 mm^2 keskpinge maakaablit Mustamäe PAJ 6 kV jaotusseadmest TPI PAJ 6 kV jaotusseadmeni, kokku trassi ca 1,65 km. Selle töö mahus kasvab Mustamäe PAJ C1T koormus 9,57 MVA-ni ning C2T koormus 9,35 MVA-ni. Täiendavalt tuleks tulevikus asendada TPI alajaama 6 kV jaotusseade, sest praeguse jaotusseadme tehniline eluiga sai täis juba 2009 aasta. Uueks sobivaks jaotusseadmeks oleks kahe sektsiooniline 6 kV jaotusseade, mille mõlemas sektsioonis on 12 väljuvat kambrit. Muudetud elektrivõrgu skeem on välja toodud joonisel (Joonis 3.12) ning muudatuste hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.25).



Joonis 3.11 TPI elektrivõrgu skeem



Joonis 3.12 TPI PAJ elektrivõrgu skeemi muudatus

Tabel 3.25 TPI üleviimise maksumus

TPI PAJ tööd	**Hind**
6 kV jaotusseade	1 360 000 €
6 kV maakaabel	1 181 400 €
KOKKU	**2 541 400 €**

Täiendavalt tuleks hinnata kas antud lahendus on sobilik ka prognoositud koormuste korral. Prognoositud võimsuste järgi trafode koormuse leidmiseks on kasutatud koefitsienti ning näitena on teostatud arvutus Mustamäe alajaama C1T koormuse kohta tulevikus. Mustamäe C2T ja TPI T1T ning T2T puhul on kasutatud samat lähenemisviisi ning saadud tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 3.26). Arvutustest selgub, et prognoositud koormuste järgi kasvab Mustamäe PAJ C1T koormus 6,05 MVA-lt 12,03 MVA-ni ning C2T koormus 5,16 MVA-lt 11,91 MVA-ni. Kokku 23,94 MVA. Kuna Mustamäe alajaamas on 31,5 MVA võimsusega trafod siis ei teki probleeme reserveerimisega ka aastaks 2040.

$$C1T\ mõõdetd\ koormus + C2T\ mõõdetud\ koormus = alajaama\ summaarne\ koormus$$

$$5{,}13\ MVA + 4{,}43\ MVA = 9{,}56\ MVA$$

$$\frac{C1T\ mõõdetud\ koormus}{summaarne\ koormus} = koefitsient$$

$$\frac{5{,}13}{9{,}56} = 0{,}54$$

$$Prognoositud\ koormus\ \cdot koefitsient = prognoositud\ trafo\ koormus$$

$$11{,}21\ MVA \cdot 0{,}54 = 6{,}05\ MVA$$

Tabel 3.26 Mustamäe alajaama prognoositud koormus koos TPI koormusega

Trafo	Mustamäe C1T	Mustamäe C2T	TPI T1T	TPI T2T
Mõõdetud koormus	5,13 MVA	4,43 MVA	4,44 MVA	4,92 MVA
Koefitsient	0,54	0,46	0,47	0,53
Prognoositud koormus	6,05	5,16	5,98	6,75

Täiendavalt on hinnatud pingekadu võrgus, kasutades selleks võrgu planeerimise tarkvara Trimble NIS. Saadud tulemused on välja toodud tabelis (Tabel 3.27). Võrdlusena on välja toodud tabelis (Tabel 3.28) arvutused olemasoleva toiteskeemi kohta. Tabeli (Tabel 3.27) tulemustest selgub, et pingekadu jääb lubatud piiridesse. Laiendatud võrgu lubatud pingekadu normaaltalitlusel on 6% ning reserveeriva skeemi puhul 10%. Ühe murekohana tooksin välja reserveeriva skeemi koormusvoolu, milleks on 1151 A. Praegu on plaanis paigaldada 300mm^2 ristlõikega maakaablid, mille lubatud koormusvool vahetult pinnases on kaabli tootja andmete järgi 435 A [15]. Kuna kaablid ühendatakse paralleelselt ja paigaldatakse torudesse, siis tuleb arvestada lubatud koormuse parandustegureid. Kaabli tootja manuaali järgi on parandusteguriks paralleelselt ühendatud ja torudesse paigaldatud kaablite korral 0,85 [15]. Seega maksimaalne lubatud koormusvool sellistel kaablitel oleks $435 \cdot 2 \cdot 0{,}85 = 739{,}5\ A$. Õnneks on antud piirkonnas Elektrilevil pooleli mitmeid projekte, mille mahus viiakse TPI alajaama 6 kV fiidreid üle Mustamäe piirkonnaalajaama toitele ning reserveerimisega ei ole tulevikus probleeme.

Tabel 3.27 TPI arvutustulemused pärast Mustamäe toitele üle viimist.

Parameetrid	**Normaaltalitlus**		**Reserveeriv skeem**
	TPI I sektsioon	**TPI II sektsioon**	**Kogu TPI**
Koormusvool Mustamäe ja TPI vahelisel lõigul, A	532	600	1151
Näivvõimsus Mustamäe ja TPI vahelisel lõigul, kVA	5986	6748	12728
Pingekadu Mustamäe ja TPI vahelisel lõigul, %	1,54	1,72	3,30
Maksimaalne pingekadu TPI 6 kV poolel, %	2,62	2,49	4,41

Tabel 3.28 TPI arvutused olemasoleva toitega (Järve 35 kV-st)

Parameetrid	Normaaltalitlus		Reserveeriv skeem
	TPI I sektsioon	TPI II sektsioon	Kogu TPI
Koormusvool Järve ja TPI vahelisel lõigul, A	94	107	202
Näivvõimsus Järve ja TPI vahelisel lõigul, kVA	5984	6746	12733
Pingekadu Järve ja TPI vahelisel lõigul, %	0,39	0,43	0,84
Maksimaalne pingekadu TPI 6 kV poolel, %	4,26	3,10	5,19

3.2.13 Tõnismäe piirkonnaalajaam muudatused

Tõnismäe alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 27,56 MVA (Tabel 2.7) ning olemasolevad jõutrafod võimsusega 25/25 MVA (Tabel 2.2). Seega trafode n-1 talitlusel ei ole terve alajaama koormus reserveeritud. Kuna koormuste prognoosi järgi on kõik kesklinna piirkonnaalajaamad üsna maksimaalse võimsuse piiril, siis oleks ainuke variant asendada olemasolevad jõutrafod võimsamatega. Vastavalt võrgutehnika põhimõtetele järgmine aste on 25(40)/25(40) MVA trafod seega sellise võimsusega trafod tuleks paigaldada Tõnismäe alajaama. Tõnismäe trafode asendamise hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.29).

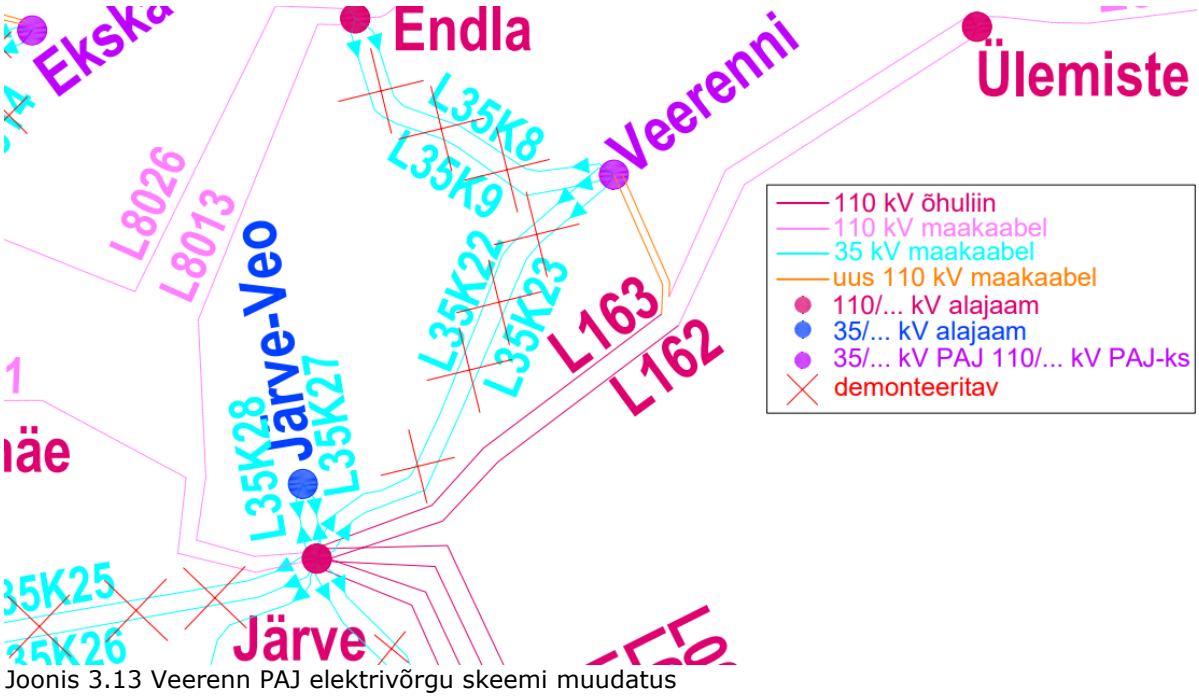
Tabel 3.29 Tõnismäe PAJ jõutrafode asendamise maksumus

Tõnismäe 110/10 PAJ tööd	**Hind**
Jõutrafod	2 600 000 €
KOKKU	**2 600 000 €**

3.2.14 Veerenni piirkonnaalajaama muudatused

Veerenni alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 25,97 MVA (Tabel 2.7). Hetkel on Veerenni PAJ-s 25 MVA trafod, trafo T1T vanus 2040. aastaks on 63 aastat ning T2T vanus 66 aastat (Tabel 2.2). Lähtudes planeerimise põhimõtetest, siis antud võimsusega trafodega ei ole võimalik tagada reserveerimise nõuet ning praegused trafod saavutavad enda tehnilise eluea aastateks 2034 ja 2037 [5] (Tabel 2.2). Lisaks on Veerenni alajaama 35 kV jaotusseadmed paigaldatud 1965 aastal ning nende vanus 2040. aastaks on 75 aastat (Tabel 2.1). Eeldatavaks tehniliseks elueaks on määratud seda tüüpi seadmetel 45 aastat [3].

Veerenni alajaama probleemid peaks saama lahendatud 2026. aastaks, sest Elektrilevil ja Eleringil on töös projekt, mille mahus Veerenni alajaam viiakse üle 110 kV toitele. Töös oleva projekti lahendus näeb ette, et 110 kV jaotusseadmeks tuleb H-skeem. Uuteks trafodeks on valitud 115/11/6,6 kV 40/25(40)/16(25) MVA trafod. Trafodele on valitud ka 10 kV õlg, et vastavalt planeerimise põhimõtetele viia üle 6 kV võrku 10 kV pingele, seda tehakse juba ka antud töö mahus. Valitud trafodega on täidetud planeerimise põhimõtete järgne reserveerimise nõue. Veerenni alajaama toide võetakse Järve piirkonnaalajaama ja Ülemiste piirkonnaalajaama vaheliselt 110 kV liinilt L163. Joonisel (Joonis 3.13) on väljad toodud elektrivõrgu skeemi muudatus Veerenni alajaama 110 kV-le viimiseks. Tabelis (Tabel 3.30) on välja toodud hinnanguline investeeringu maksumus. Selle investeeringu vajalikkus seisneb selles, et Veerenni alajaam asub arenevas piirkonnas, mille koormus aastalt aastale on kasvanud. Lisaks olemasolevad 35 kV jaotusseadmed on amortiseerunud ning trafode tehniline eluiga on lõppemas. Antud investeering võimaldab vähendada Endla ja Järve alajaamade koormust ning likvideerida 35 kV võrku.



Joonis 3.13 Veerenn PAJ elektrivõrgu skeemi muudatus

Tabel 3.30 Veerenni PAJ üleviimine 110 kV-le maksumus

Veerenni PAJ tööd	**Hind**
110 kV jaotusseade	4 000 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
110 kV maakaabel	2 160 000 €
KOKKU	**8 760 000 €**

3.2.15 Veskimetsa piirkonnaalajaama muudatused

Veskimetsa alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 35 kV võrgus 11,41 MVA, 10 kV võrgus 32,09 MVA ja 6 kV võrgus 15,05 MVA, kokku 58,55 MVA (Tabel 2.7). Veskimetsa piirkonnaalajaamas on kaks 40 MVA trafot 6 kV ja kaks 25 MVA trafot 10 kV võrgu jaoks (Tabel 2.2). Lähtudes koormuse prognoosist ja olemasolevates trafodest, siis selgub, et 10 kV koormuse reserveerimisega tekiks probleeme tulevikus ja on ka juba praegu probleeme. Mõõtetulemuste järgi on hetkel Veskimetsas maksimaalne 10 kV võrgu koormus 25,73 MVA (Tabel 2.3). See tähendab seda, et kui 10 kV võrku toitvatest trafodest üks peaks mingil põhjusel tööst väljas olema, siis võib reserveerivas talitluses tekkida olukord kus teine töös olev trafo koormatakse üle. Seetõttu on Elektrilevil praegu pooleli ka projekt, mille raames asendatakse 10 kV jaotusseadmeid toitvad trafod C1T ja C2T uute 25(40)/25(40)/25(40) MVA 115/38,5(22,2)/11 kV trafode vastu. Antud töö peaks saama valmis 2025. aasta keskpaigaks. Pärast selle töö valmimist ei tekiks ka 2040. aastal probleeme koormuste reserveerimisega, sest prognoosi järgi saab olla trafode n-1 talitlusel töösse jääva trafo koormus maksimaalselt 32,09 MVA. Selliste trafodega oleks tagatud ka võrgutehnika põhimõtete nõue, et ONAF jahutusega trafod peavad normaaltalitlusel töötama ilma sundjahutuseta [6].

Teine probleem Veskimetsa alajaamas on seotud trafodega C3T ja C4T. Antud trafode vanused 2040. aastaks on 73 ja 62, jõutrafode eeldatavaks tehniliseks elueaks on 60 aastat. Antud lõputöös lähtutakse põhimõttest, et kõik seadmed, mis on saavutanud oma tehnilise eluea, tuleb asendada uutega. Seega trafo C3T peaks asendama uuega aastal 2027 ning C4T peaks asendama uuega 2038 aastal. Trafode võimsuse valikul lähtutakse Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetest ja töö peatükis 3.1 välja toodud lahendusest, et Ekskavaatori alajaam viiakse üle 110 kV pingele. See tähendab seda, et tulevikus poleks enam Veskimetsa alajaama trafodele 35 kV õlga vaja, sest Veskimetsa 35 kV seadmest toidetakse praegu ainult Ekskavaatori alajaama. Seega uute trafode C3T ja C4T valikul võib lähtuda prognoositud Veskimetsa 6 kV koormusest. 10 kV koormusega pole vaja arvestada, sest 10 kV võrk saab toidet trafodelt C1T ja C2T. Veskimetsa alajaama koormus aastaks 2040 on välja toodud tabelis (Tabel 3.31). Tabeli andmetest selgub, et 6 kV koormus on tulevikus 15,05 MVA. Vastavalt võrgutehnika põhimõtetele oleks sobilik asendada olemasolevad C3T ja C4T 115/(11)6,6 kV 16/16 MVA trafodega. Selliste trafode valiku puhul on täidetud ka planeerimise põhimõtete järgne nõue, et trafode n-1 talitlusel peab töösse jääv trafo olema võimeline reserveerima teise trafo koormust. Tabelis (Tabel 3.32) on välja toodud trafode C3T ja C4T asendamise hinnanguline maksumus.

Tabel 3.31 Veskimetsa PAJ koormus aastaks 2040

Elektrivõrgu pinge	6 kV	10 kV	35 kV
Prognoositud koormus	15,05 MVA	32,09 MVA	11,41 MVA
Veskimetsa toitelt maha minev koormus	-	-	11,41 MVA
Veskimetsa PAJ koormus 2040. aastal	15,05 MVA	32,09 MVA	0 MVA
Veskimetsa PAJ koormus kokku	47,14 MVA		

Tabel 3.32 Veskimetsa jõutrafode C3T ja C4T asendamise maksumus

Veskimetsa 110/35/10/6 PAJ tööd	**Hind**
Jõutrafod	2 000 000 €
KOKKU	**2 000 000 €**

3.2.16 Volta piirkonnaalajaama muudatused

Volta alajaama probleemiks on see, et 2040. aastaks on mõlema jõutrafo eeldatav tehniline eluiga ületatud. C1T vanus 2040. aastaks on 69 aastat ja C2T vanus 2040. aastaks on 70 aastat. Lähtuvalt lõputöös kasutatavast põhimõttest, et võrgus ei oleks mitte ühtegi üle tehnilise eluea seadet, tuleb olemasolevad jõutrafod asendada uutega. C1T tuleks asendada 2031. aastal ja C2T 2030. aastal. Jõutrafode võimsuse valikul lähtutakse koormuste prognoosist, võrgutehnika põhimõtetest ja planeerimise põhimõtetest. Volta alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 24,9 MVA (Tabel 2.7). Lähtudes trafode reserveerimise nõudest ja tabelist (Tabel 3.1), siis võiks kasutada 115/6,6 kV 20(31,5)/20(31,5) MVA trafosid. Kuna aga planeerimise põhimõtetes on punkt, et realiseerime või valmistame etappidena ette 6 kV võrkude üleviimist 20 kV pingele ning linnades on lubatud kasutada vaheetapina 10 kV pinget, siis tuleks asendada olemasolevad trafod 115/11/6,6 kV 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA trafodega. Lisaks tuleks alajaama ehitada veel kahe sektsiooniline 10 kV jaotusseade, mille mõlemas sektsioonis on 12+12 väljuvat kambrit, et saaks hakata 6 kV võrku üle viima 10 kV pingele. Volta alajaama muudatuste induktiivne maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.33).

Tabel 3.33 Volta PAJ 10 kV jaotusseadme ehitamise ja jõutrafode asendamise maksumus

Volta PAJ tööd	**Hind**
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
KOKKU	**3 960 000 €**

3.2.17 Ülemiste piirkonnaalajaama muudatused

Ülemiste alajaama prognoositud koormus 2040. aastaks on 49,32 MVA (Tabel 2.7). Hetkel on Ülemiste alajaamas kaks 40 MVA trafod. See tähendab seda, et kui üks trafodest peaks mingil põhjusel tööst väljas olema, siis teine trafo ei ole võimeline tervet alajaama koormust reserveerima. Teine probleem on trafode vanus. C1T on 2040 aastaks 66 aastat vana ja C2T 65 aastat vana (Tabel 2.2). Lähtuvalt nendest kahest probleemist tuleks olemasolevad trafod asendada uutega ning vaja läheks võimsamaid trafosid, et oleks tagatud ka trafode vaheline reserveerimine. Võimsamate kui 40 MVA trafode kasutamine läheks aga vastuollu võrgutehnika põhimõtetega, mis lubavad kasutada kuni 40 MVA primaarmähise võimsusega trafosid ning kuna Ülemiste alajaama toitele on ühendatud ainult 6 kV võrk, siis tohiks vastavalt tabeli (Tabel 3.1) andmetele 6 kV mähise võimsus olla 20(31,5) MVA [6]. Teine variant oleks osa Ülemiste koormusest viia üle teiste lähedal olevate alajaamade toitele. Variandid oleks Lasnamäe, Ranna ning Veerenni. Kuna aga Lasnamäe ning Ranna koormust tuleb niigi vähendada, siis ei ole koormuse ümber ühendamine nende toitele võimalik. Veerenni alajaama prognoositud koormus on aga aastaks 2040 25,97 MVA (Tabel 2.7). Ülemiste alajaama 6kV koormust oleks vaja vähendada minimaalselt 49,32 – 31,5 = 17,82 MVA. Lisaks peaks jätma trafodele ca 15% reservi uuteks liitumisteks ning teiste piirkonnaalajaamade keskpinge fiidrite reserveerimiseks. See tähendaks, et lisaks 17,82 MVA ümberühendamisele tuleks ümber ühendada veel ca 4 MVA, kokku 21,82 MVA. Kui 21,82 MVA peaks saama ümber ühendada Veerenni toitele, siis tekiks Veerenni alajaamas probleem, et ei ole võimalik kogu koormust ühe trafo pealt toita, sest summaarne koormus oleks siis 25,97+21,82 = 47,79 MVA, trafod aga 25(40) MVA võimsusega.

Eelnevast lõigust lähtuvalt oleks ainuke variant antud piirkonda ehitada veel üks piirkonnaalajaam, et Ülemiste 6 kV koormust vähendada. Sellisel juhul saaks Ülemiste alajaama valida nimipingetega 115/11/6,6 kV ja võimsustega 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA trafod. Lisaks 6 kV mähisele on valitud ka 10 kV mähis trafodele, et saaks hakata vastavalt planeerimise põhimõtetele 6 kV võrku üle viima 10 kV toitele. Olemasoleva Ülemiste alajaama jaotusseadme nimipinge on 12 kV, seega seda saab kasutada ka 10 kV võrgu toitmiseks. Ülemiste alajaama koormus 2040 aastaks koos ümberühendamistega on välja toodud tabelis (Tabel 3.34) ning trafode asendamise hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.35).

Tabel 3.34 Ülemiste PAJ koormus aastaks 2040

Prognoositud Ülemiste PAJ koormus 2040. aastaks	49,32 MVA
Juhkentali PAJ toitele ümber ühendatav võimsus	21,82 MVA
Ülemiste PAJ koormus kokku	27,5 MVA

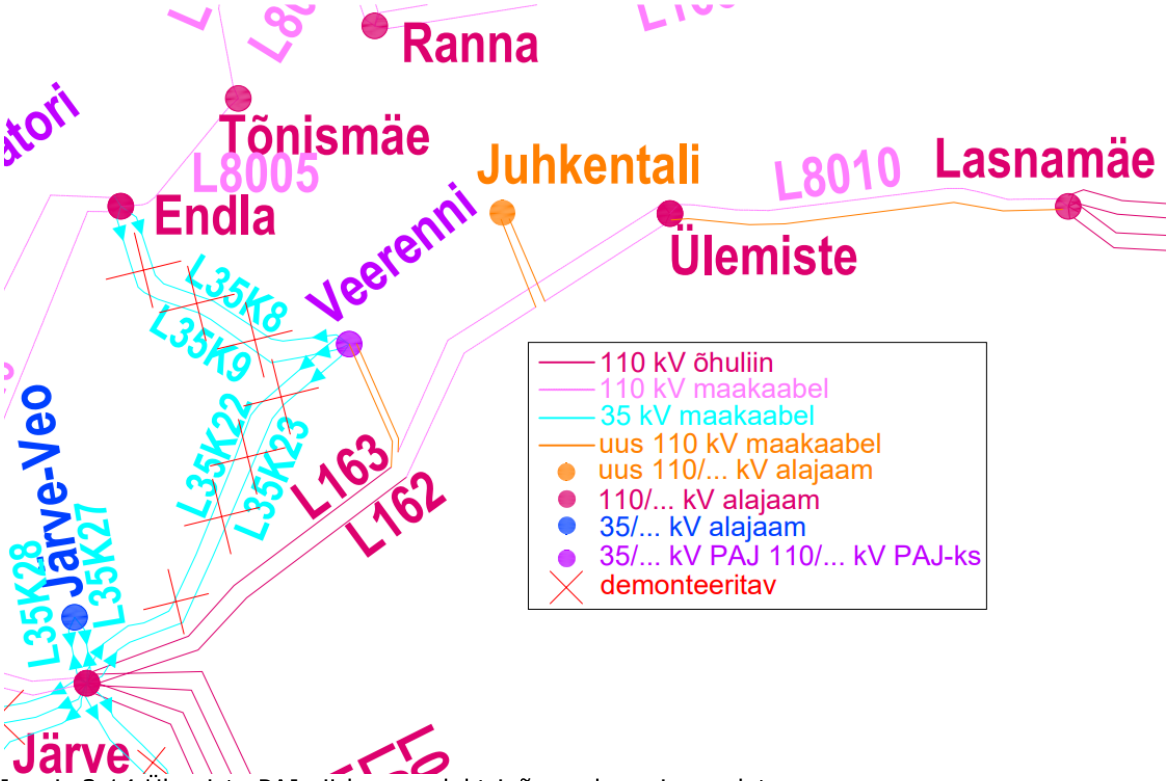
Tabel 3.35 Ülemiste PAJ jõutrafode asendamise maksumus

Ülemiste 110/10/6	**Hind**
Jõutrafod	2 600 000 €
KOKKU	**2 600 000 €**

Uue piirkonnaalajaama nimeks saaks Juhkentali. Alajaama 110 kV skeemiks peaks valima H-skeemi. Juhkentali alajaama kõige optimaalsema trassiga toide oleks sisselõikega Ülemiste–Järve vahelistelt kaablitelt L162. Sellisel juhul oleks trassi pikkus ca 520 meetrit. Täiendavalt reserveeritavuse osas ning varustuskindluse osas võiks Lasnamäe ja Ülemiste alajaamade vahele ehitada lisaks olemasolevale veel ühe 110 kV maakaabli, trass ca 3 km. Selle vajadus seisneks selles, et kui Ülemiste ja Lasnamäe vahelise olemasoleva kaabliga peaks midagi juhtuma, siis peaks kolme 110 kV alajaama Veerenni, Juhkentali ja Ülemiste koormus olema tagatud ainult Järve ja Ülemiste vahelistel kaablitelt. Uus piirkonnaalajaam on näidatud elektrivõrgu skeemi joonisel (Joonis 3.14). Kuna antud piirkonnas on nii 6 kV kui ka 10 kV võrku, siis peaks uue alajaama trafod olema kolme mähiselised. Ülemiste alajaama toitelt ümberühendatava võimsuse järgi ja võrgutehnika põhimõtete järgi peaks uued trafod olema nimipingetega 115/11/6,6 kV ja nimivõimsustega 25(40)/25(40)/20(31,5) MVA. Sellisel juhul oleks tagatud planeerimise põhimõtete järgne reserveerimine ning oleks võimalik edasi arendada 10 kV võrku. Juhkentali alajaama peaks ehitama ühe kahe sektsioonilise 6 kV jaotusseadme ja ühe kahe sektsioonilise 10 kV jaotusseadme. Jaotusseadmete igas sektsioonis peaks olema 12 väljuvat kambrit. Juhkentali alajaama hinnanguline maksumus on välja toodud tabelis (Tabel 3.36).

Tabel 3.36 Juhkentali 110/10/6 PAJ ehitamise maksumus

Juhkentali 110/10/6	**Hind**
110 kV jaotusseade	4 000 000 €
10 kV jaotusseade	1 360 000 €
6 kV jaotusseade	1 360 000 €
Jõutrafod	2 600 000 €
110 kV maakaabel	3 636 000 €
KOKKU	**12 956 000 €**



Joonis 3.14 Ülemiste PAJ piirkonna elektrivõrgu skeemi muudatus

3.3 TALLINNA ELEKTRIVÕRK AASTAKS 2040

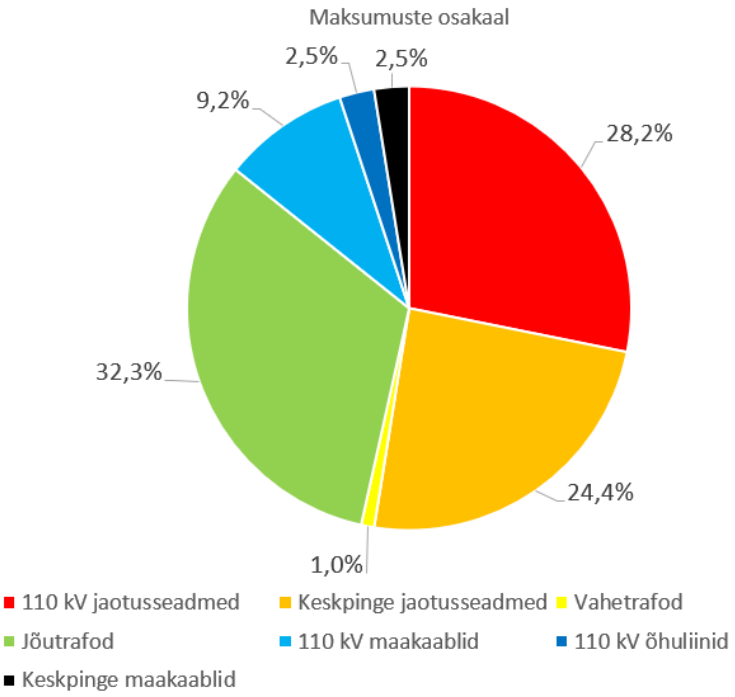
Antud peatükki on koondatud tabelite ja jooniste kujul kõik Tallinna piirkonnaalajaamadega seotud tööd. Välja on toodud koormused aastaks 2040 koos koormuste ümber ühendamistega. Antud peatükis on veel koondatud lisanduva võrguvara hulk ning muudatuste maksumuse koondsumma.

Tabelis (Tabel 3.37) on välja toodud Tallinna piirkonnaalajaamade uued nimetused, trafode võimsused tulevikus, koormuste liikumised ja alajaamade prognoositud koormused 2040. aastal koos koormuste liikumisega. Koormuste liikumise tulbas on lisanduvad koormused märgitud „+" märgiga, maha minevad koormused „–" märgiga ja koormuste mitte liikumisel „0". Tabelist (Tabel 3.37) selgub, et pärast koormuste jaotamist ja täiendavate piirkonnaalajaamade ehitamist ei ole mitte ükski piirkonnaalajaam ülekoormatud. Täidetud on ka planeerimise põhimõtete järgne nõue, et N-1 talitluses peab töösse jääv trafo olema võimeline tagama terve alajaama koormuse. Tabelist (Tabel 3.37) selgub veel, et Tallinnasse tuleb ehitada täiendavalt kolm piirkonnaalajaama, milleks on Kadriorg, Pae ja Juhkentali. Olemasolevatest 35/… kV piirkonnaalajaamadest kaks, Pääsküla ja TPI alajaamad, ehitatakse ümber

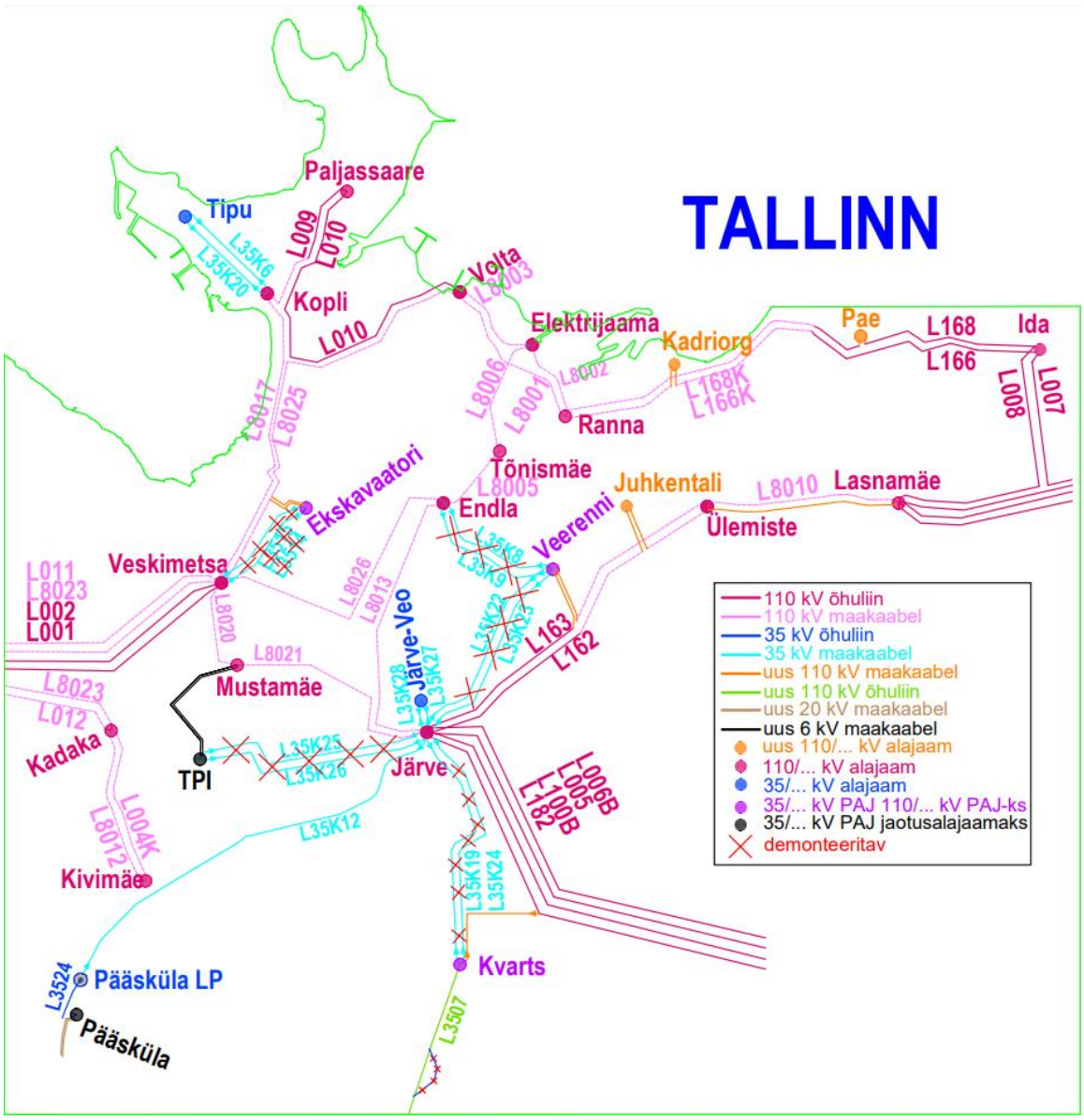
jaotusalajaamadeks ning kolm olemasolevat Ekskavaatori, Kvartsi ja Veerenni tuleb ümber ehitada 110/… kV alajaamadeks. Tabelist selgub veel, et kõige suurema koormusega alajaamad on Lasnamäe, Veskimetsa ja Ida.

Tabelisse (Tabel 3.38) on koondatud kogu uus võrguvara, mis antud lõputöös on välja toodud. Selgub, et Tallinnasse lisandub või rekonstrueeritakse 14 piirkonnaalajaama keskpinge jaotusseadmed. 6 kV jaotusseadmeid ehitatakse või rekonstrueeritakse 5 tükki. 10 kV jaotusseadmeid ehitatakse või rekonstrueeritakse 10 tükki. 20 kV jaotusseadmeid ehitatakse 2 tükki. Lisaks paigaldatakse kaks vahetrafot, mõlemad Pääsküla alajaama ning paigaldatakse 25 uut jõutrafot (27 kui arvestada lisaks Saku PAJ trafod). Liinide osas lisandub veel 10,74 km 110 kV maakaablit, 16,4 km 110 kV õhuliine ning 13,2 km keskpinge maakaableid. Joonisel (Joonis 3.16) on näidatud terve Tallinna elektrivõrgu skeem koos muudatustega aastaks 2040.

Tabelisse (Tabel 3.39) on koondatud muudatuste ja uuenduste maksumus alajaamade ja seadmete lõikes. 110 kV jaotusseadmetega seotud tööde maksumus on kokku 29 600 000 €. Keskpinge jaotusseadmetega seotud tööde maksumus on kokku 25 590 000 €. Vahetrafode maksumus on 1 000 000 €. Jõutrafode maksumus on kokku 33 900 000 €. 110 kV maakaablite maksumus 9 666 000 €. 110 kV õhuliinide maksumus 2 656 800 €. Keskpinge maakaablite maksumus 2 666 400 €. Kogu investeeringu maksumus on 105 079 200 €. Kõige suurema osa, 32,3%, investeeringu maksumusest moodustavad jõutrafod ning kõige väiksema osa vahetrafod, 1.0%(Joonis 3.15)



Joonis 3.15 Maksumuste osakaal protsentides



Joonis 3.16 Tallinna muudetud elektrivõrgu skeem

Tabel 3.37 Tallinna piirkonnaalajaamade koormused aastaks 2040

PAJ nimetus	Trafo võimsus, MVA	Koormuste liikumine	Koormus 2040 aastal, MVA
Ekskavaatori 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	+12,2 MVA Hipodroomi detailplaneering +7 MVA Endla PAJ koormusest	31,67
Elektrijaama 110/10	25/25	0	21,43
Endla 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	-7 MVA Ekskavaatori PAJ toitele -8,18 MVA 35 kV võrk (Veerenni T2T)	32,24
Ida 110/10	63/31,5/31,5	-5 MVA Pae PAJ toitele	46,89
Juhkentali 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	+21,82 MVA Ülemiste PAJ koormusest	21,82
Järve 110/35(20)/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	- 12,73 MVA TPI koormus (35 kV) -3,81 MVA Pääsküla T1T koormus (35 kV) -14,56 MVA Kvartsi koormus (35 kV) -17,79 MVA Veerenni T1T koormus (35 kV)	29,66
Kadaka 110/10	16/16	0	14,10
Kadriorg 110/10	25(40)/25(40)	+14,6 MVA detailplaneeringud + 15 MVA Ranna PAJ koormusest	29,6
Kivimäe 110/6	31,5/15,75/15,75	+2,8 MVA Pääsküla PAJ koormusest	21,43
Kopli 110/35/6	40/40/40	0	21,73
Kvartsi 110/20(10)/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	+13 MVA detailplaneeringud	27,56
Lasnamäe 110/10/6	63/31,5/31,5	-15 MVA Pae PAJ toitele	52,25
Mustamäe 110/6	31,5/20/20	+12,73 MVA TPI PAJ koormusest	23,94
Pae 110/10	25(40)/25(40)	+15 MVA Lasnamäe PAJ koormusest +5 MVA Ida PAJ koormusest	20
Paljassaare 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	+24 MVA detailplaneeringud	34,71
Pääsküla 20/(10)6 JAJ	10/10	-2,8 MVA Kivimäe PAJ toitele -9,0 MVA Topi PAJ toitele	0
Ranna 110/10/6	40/40/25	-15 MVA Kadrioru PAJ toitele	34,08

PAJ nimetus	Trafo võimsus, MVA	Koormuste liikumine	Koormus 2040 aastal, MVA
TPI 6 kV JAJ	TRAFOT EI OLE	-12,73 MVA Mustamäe PAJ toitele	0
Tõnismäe 110/10	25(40)/25(40)	0	27,56
Veerenni 110/10/6	40/25(40)/16(25)	0	25,97
Veskimetsa 110/10/6	25(40)/25(40)/25(40) - 2tk ja 16/16 MVA – 2tk	-11,41 MVA Ekskavaatori PAJ koormusest	47,14
Volta 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	0	24,90
Ülemiste 110/10/6	25(40)/25(40)/20(31,5)	-21,82 MVA Juhkentali PAJ toitele	27,50

Tabel 3.38 Tallinna elektrivõrku lisanduv võrguvara

PAJ nimi	110 kV jaotusseade	Keskpinge jaotusseadme väljuvate fiidrite arv			Trafo		Liinid		
		20 kV	10 kV	6 kV	Vahetrafo	Jõutrafo	110 kV maakaabel, km	110 kV õhuliin, km	Keskpinge maakaabel, km
Ekskavaatori 110/10/6	H	-	10+10	-	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	1,3	-	-
Endla 110/10/6	-	-	10+10	-	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	-	-	-
Ida 110/10	-	-	12+12+12+12	-	-	-	-	-	-
Juhkentali 110/10/6	H		12+12	12+12	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	4,04	-	-
Järve 110/35(20)/6	-	12+12	-	-	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	-	-	-
Kadaka 110/10	-	-	12+12	-	-	-	-	-	-
Kadriorg 110/10	H+1		12+12	-	-	25(40)/25(40) - 2tk	0,8	-	-
Kivimäe 110/6	-	-	-	7+7+7+7	-	-	-	-	-
Kvartsi 110/20(10)/6	H	10+10	-	10+10	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	2	16,4	-
Lasnamäe 110/10/6	-	-	12+12+12+12	-	-	-	-	-	-
Pae 110/10	H	-	12+12	-	-	25(40)/25(40) – 2tk	0,2	-	-

PAJ nimi	110 kV jaotusseade	Keskpinge jaotusseadme väljuvate fiidrite arv			Trafo		Liinid		
		20 kV	10 kV	6 kV	Vahetrafo	Jõutrafo	110 kV maakaabel, km	110 kV õhuliin, km	Keskpinge maakaabel, km
Paljassaare 110/10/6	-	-	12+12	9+9	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	-	-	-
Pääsküla 20/(10)6 JAJ	-	35 kV seade 20 kV-le	-	-	10/10	-	-	-	6,6
TPI 6kV JAJ	-		-	12+12	-	-	-	-	6,6
Tõnismäe 110/10	-		-	-	-	25(40)/25(40) – 2tk	-	-	-
Veerenni 110/10/6	H		-	-	-	40/25(40)/16(25) – 2tk	2,4	-	-
Veskimetsa 110/10/6	-		-	-	-	16/16 – 2tk	-	-	-
Volta 110/10/6	-		12+12	-	-	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk	-	-	-
Ülemiste 110/10/6	-		-	-	-	25(40)/25(40)/20(31,5) –2tk	-	-	-

Tabel 3.39 Muudatuste ja uuenduste maksumuse koondvaade

PAJ nimi	110 kV jaotusseade, €	Keskpinge jaotusseade, €	Vahetrafo, €	Jõutrafo, €	110 kV maakaabel, €	110 kV õhuliin, €	Keskpinge maakaabel, €
Ekskavaatori 110/10/6	4 000 000	1 240 000	0	2 600 000	1 170 000	0	0
Endla 110/10/6	0	1 240 000	0	2 600 000	0	0	0
Ida 110/10	0	2 470 000	0	0	0	0	0
Juhkentali 110/10/6	4 000 000	2 720 000	0	2 600 000	3 636 000	0	0
Järve 110/35(20)/6	0	1 360 000	0	1 300 000	0	0	0
Kadaka 110/10	0	1 360 000	0	0	0	0	0
Kadriorg 110/10	4 800 000	1 360 000	0	2 600 000	720 000	0	0

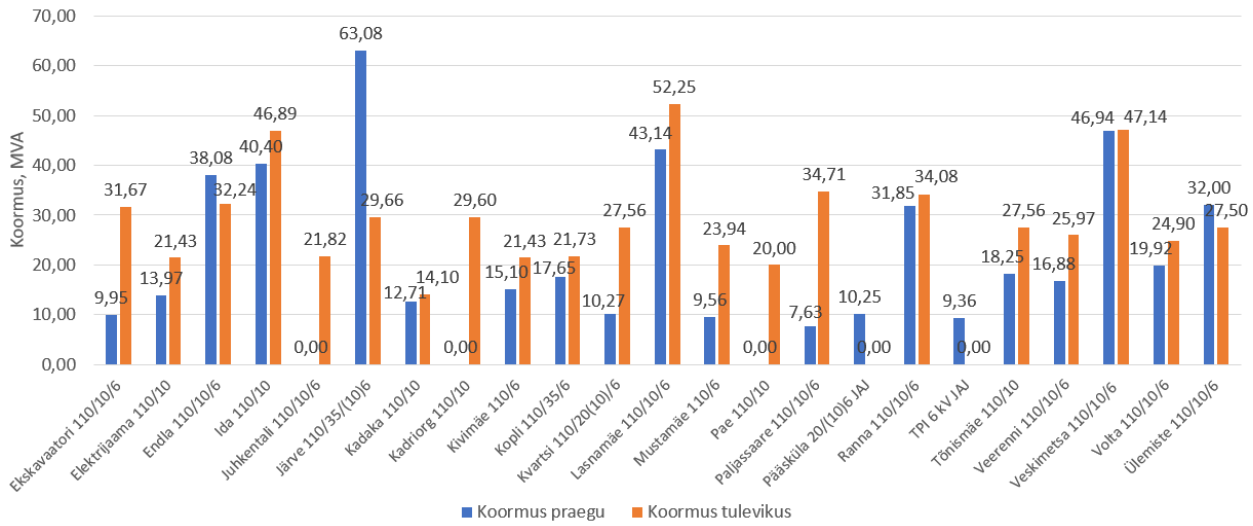
PAJ nimi	110 kV jaotusseade, €	Keskpinge jaotusseade, €	Vahetrafo, €	Jõutrafo, €	110 kV maakaabel, €	110 kV õhuliin, €	Keskpinge maakaabel, €
Kivimäe 110/6	0	1 870 000	0	0	0	0	0
Kvartsi 110/20(10)/6 [1]	8 800 000	2 480 000	0	4 600 000	1 800 000	2 656 800	0
Lasnamäe 110/10/6	0	2 470 000	0	0	0	0	0
Pae 110/10	4 000 000	1 360 000	0	2 600 000	180 000	0	0
Paljassaare 110/10/6	0	2 540 000	0	2 600 000	0	0	0
Pääsküla 20/(10)6 JAJ	0	400 000[2]	1 000 000	0	0	0	1 485 000
TPI 6 kV JAJ	0	1 360 000	0	0	0	0	1 181 400
Tõnismäe 110/10	0	0	0	2 600 000	0	0	0
Veerenni 110/10/6	4 000 000	0	0	2 600 000	2 160 000	0	0
Veskimetsa 110/10/6	0	0	0	2 000 000	0	0	0
Volta 110/10/6	0	1 360 000	0	2 600 000	0	0	0
Ülemiste 110/10/6	0	0	0	2 600 000	0	0	0
KOKKU	**29 600 000**	**25 590 000**	**1 000 000**	**33 900 000**	**9 666 000**	**2 656 800**	**2 666 400**
KOGU INVESTEERING	**105 079 200 €**						

[1] Kvartsi PAJ alla on arvestatud ka Saku alajaama 110 kV-le viimise kulud

[2] Pääsküla alla on märgitud Topi PAJ 20 kV jaotusseade

3.4 Muudetud elektrivõrgu ja olemasoleva elektrivõrgu erinevus

Tallinnasse tuleb ehitada täiendavalt kolm piirkonnaalajaama, milleks on Kadriorg, Pae ja Juhkentali. Olemasolevatest 35/… kV piirkonnaalajaamadest tuleb kaks olemasolevat Pääsküla ja TPI alajaamad ümber ehitada jaotusalajaamadeks ning kolm olemasolevat Ekskavaatori, Kvartsi ja Veerenni alajaamad tuleb ümber ehitada 110/… kV piirkonnaalajaamadeks. Koos uute piirkonnaalajaamade ja jaotusalajaamadega tuleb lisada või rekonstrueerida 14 alajaama keskpinge jaotusseadmed. Tuleb paigaldada kaks vahetrafot ning 25 uut jõutrafot (27 kui arvestada lisaks Saku PAJ trafod). Tallinna elektrivõrku lisandub veel 10,74 km 110 kV maakaablit, 16,4 km 110 kV õhuliine ning 13,2 km keskpinge maakaableid. Tööst viiakse välja ca 31,4 km 35 kV maakaableid. Tabelis (Tabel 3.40) on välja toodud Tallinna piirkonnaalajaamade nimetused hetkel ja tulevikus, olemasolev maksimaalne koormus ja koormus aastaks 2040 ning olemasolevate ja uute trafode võimsused ning arv. Lisaks on veel ära märgitud see, et kas PAJ-sse tuleb uus keskpinge jaotusseade või mitte. Joonisel (Joonis 3.17) on välja toodud koormuste võrdlus praegu ja tulevikus. Jooniselt selgub, et ainult Endla, Järve ja Ülemiste alajaamades vähenevad koormused. Teistes alajaamades tõusevad. Joonisel (Joonis 3.18) on välja toodud olemasolev ja muudetud elektrivõrgu skeem.



Joonis 3.17 Koormus praegu ja koormus tulevikus võrdlus

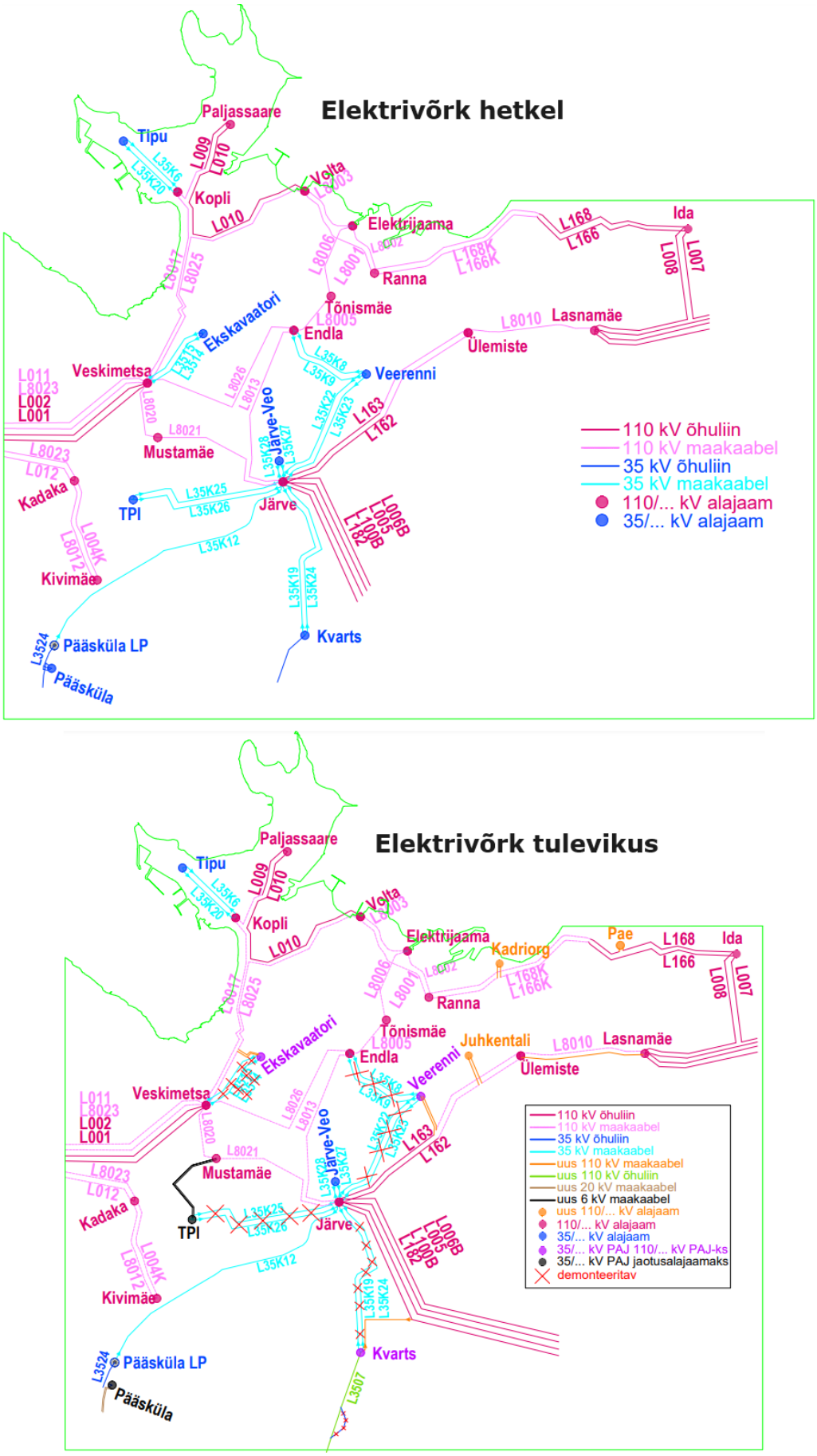
Tabel 3.40 Piirkonnaalajaamade koormuste ja trafode võrdlus ning keskpinge jaotusseadmed

Nimi hetkel	Nimi pärast	Koormus hetkel, MVA	Koormus 2040, MVA	Olemasolevate jõutrafode võimsused ja arv	Jõutrafode võimsused aastal 2040 ja arv	Uus/rekonstrueeritud keskpinge jaotusseade
Ekskavaatori 35/6	Ekskavaatori 110/10/6	9,95	31,67	10/10 MVA – 2 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) MVA – 2 tk (uued)	10 kV – jah 6 kV – ei
Elektrijaama 110/35/10	Elektrijaama 110/10	13,97	21,43	25/12,5/12,5 MVA – 1 tk 25/25/25 MVA – 1tk	25/12,5/12,5 MVA - 1 tk (olemasolev) 25/25/25 MVA – 1 tk (olemasolev)	EI
Endla 110/35/6	Endla 110/10/6	38,08	32,24	40/40/40 MVA – 2 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2 tk (uued)	10 kV – jah 6 kV - ei
Ida 110/10	Ida 110/10	40,40	46,89	63/31,5/31,15 MVA – 2 tk	63/31,5/31,15 MVA – 2 tk (olemasolevad)	Jah
–	Juhkentali 110/10/6	–	21,82	–	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2 tk (uued)	Jah
Järve 110/35/6	Järve 110/35(20)/106	63,08	29,66	40/40/40 MVA – 2 tk 40/20/20 MVA – 1 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 1 tk (uus) 40/40/40 MVA – 1 tk (olemasolev) 40/20/20 MVA – 1 tk (olemasolev)	20 kV – jah 6 kV - ei
Kadaka 110/10	Kadaka 110/10	12,71	14,10	16/16 MVA - 2 tk	16/16 MVA - 2tk (olemasolevad)	Jah
–	Kadriorg 110/10	–	29,60	–	25(40)/25(40) MVA - 2 tk (uued)	Jah
Kivimäe 110/6	Kivimäe 110/6	15,10	21,43	31,5/15,75/15,75 MVA – 2 tk	31,5/15,75/15,75 MVA - 2 tk (olemasolevad)	Jah
Kopli 110/35/6	Kopli 110/35/6	17,65	21,73	40/40/40 MVA – 2 tk	40/40/40 MVA - 2 tk (olemasolevad)	Ei

Nimi hetkel	Nimi pärast	Koormus hetkel, MVA	Koormus 2040, MVA	Olemasolevate jõutrafode võimsused ja arv	Jõutrafode võimsused aastal 2040 ja arv	Uus/rekonstrueeritud keskpinge jaotusseade
Kvartsi 35/6	Kvartsi 110/(20)10/6	10,27	27,56	10/10 MVA – 2 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2tk (uued)	Jah
Lasnamäe 110/10/6	Lasnamäe 110/10/6	43,14	52,25	63/31,5/31,5 MVA – 2 tk	63/31,5/31,5 MVA – 2 tk (olemasolevad)	10 kV – jah 6 kV - ei
Mustamäe 110/6	Mustamäe 110/6	9,56	23,94	31,5/20/20 MVA – 2 tk	31,5/20/20 MVA – 2 tk (olemasolevad)	Ei
–	Pae 110/10	–	20,00	–	25(40)/25(40) – 2 tk (uued)	Jah
Paljassaare 110/6	Paljassaare 110/10/6	7,63	34,71	16/16 MVA – 2 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2 tk (uued)	10 kV – jah 6 kV - jah
Pääsküla 35/6	Pääsküla 20/(10)6 JAJ	10,25	9,00[1]	10/10 MVA – 1 tk 16/16 MVA – 1tk	10/10 MVA - 2 tk (uued)	Ei
Ranna 110/10/6	Ranna 110/10/6	31,85	34,08	40/40/25 MVA – 2 tk	40/40/25 MVA - 2 tk (olemasolevad)	Ei
TPI 35/6	TPI 6 kV JAJ	9,36	12,73[2]	10/10 MVA – 2 tk	-	Jah
Tõnismäe 110/10	Tõnismäe 110/10	18,25	27,56	25/25 MVA – 2 tk	25(40)/25(40) MVA – 2 tk (uued)	Ei
Veerenni 35/6	Veerenni 110/10/6	16,88	25,97	25/12,5/12,5 MVA – 2 tk	40/25(40)/16(25) MVA – 2 tk (uued)	Ei
Veskimetsa 110/35/10/6	Veskimetsa 110/10/6	46,94	47,14	25/12,5/12,5 MVA – 1 tk 25/25/25 MVA – 1 tk 25/25 MVA – 1 tk 40/40/40 MVA – 1 tk	25(40)/25(40)/25(40) MVA – 2 tk (uued) 16/16 MVA – 2tk (uued)	Ei
Volta 110/6	Volta 110/10/6	19,92	24,9	40,5/40,5/40,5 MVA – 2tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2 tk (uued)	10 kV – jah 6 kV - ei
Ülemiste 110/35/6	Ülemiste 110/10/6	32,00	27,50	40/40/40 MVA – 2 tk	25(40)/25(40)/20(31,5) – 2 tk (uued)	Ei

[1] Pääsküla koormus ühendatakse TOPI toitele

[2] TPI koormus ühendatakse MUSTAMÄE toitele



Joonis 3.18 Olemasoleva ja tuleviku elektrivõrgu võrdlus

KOKKUVÕTE

Lõputöö esimeses osas uuriti Tallinna piirkonnaalajaamade seisukorda. See hõlmas endast esiteks Elektrilevi jaotusseadmete pingeklassi ja eluea välja selgitamist. Teiseks piirkonnaalajaamades olevate trafode andmeid, seal hulgas võimsused, pingeastmed ja eluiga. Kolmandaks piirkonnaalajaamade maksimaalsed koormused normaalskeemi puhul. Neljandaks piirkonnaalajaamade koormused reserveerivas režiimis kui üks trafodest on tööst väljas ning viiendaks koormuste prognoosi 2040. aastaks.

Töö esimesest osast selgus, et 2040. aastaks on 8 piirkonnaalajaama jaotusseadmed saavutanud tehnilise eluea või on selle ületanud. 2040. aastaks on 16 jõutrafot saavutanud enda tehnilise eluea või on selle ületanud. Lisaks selgub, et normaalskeemi puhul pole mitte ühegi piirkonnaalajaama jõutrafod ülekoormatud, aga reserveerivas režiimis, kui üks jõutrafodest on tööst väljas, on võimalik olukord kus teine trafo on üle koormatud. Selliseid alajaamasid on 4 tükki. Prognoosi osa tabeli (Tabel 2.7) andmetest selgus, et prognoositud koormuste järgi koormuvad üle 2040. aastaks Ekskavaatori, Endla, Järve, Kvartsi, Lasnamäe, Pääsküla, Ranna, TPI, Tõnismäe, Veerenni, Veskimetsa ja Ülemiste alajaamade trafod. Täiendavalt on iga alapunkti juures välja toodud probleemsed alajaamad. Selliseid piirkonnaalajaamasid, kus 2040. aastaks tuleb teha mingeid muudatusi, on 17 tükki 20st.

Lõputöö teises osas on välja toodud soovitused, mida tuleks teha Tallinna piirkonnaalajaamadega 2040. aastaks. Lähtuti eelnevates osades välja toodud infost, Elektrilevi planeerimise põhimõtetest, Elektrilevi võrgutehnika põhimõtetest ja põhimõttest, et piirkonnaalajaamades ei oleks ühtegi seadet, mille eeldatav tehniline eluiga on ületatud. Muudatused hõlmavasid endast uute keskpinge jaotusseadmete paigaldamist, uute jõutrafode paigaldamist, uute vahetrafode paigaldamist, uute piirkonnaalajaamade ehitamist ning olemasolevate piirkonnaalajaamade rekonstrueerimist 110 kV alajaamadeks või jaotusalajaamadeks. Lisaks on veel välja toodud täiendavate kaabelliinide ning õhuliinide vajadus, et ehitada uusi ning rekonstrueerida olemasolevaid piirkonnaalajaamasid.

Lõputöö viimases osas on koondatud kõik muudatused elektrivõrgus, kaasa arvatud koormuste ümber ühendamised aastaks 2040 ja muudatuste maksumus. Muudatused hõlmavad endast kolme uut piirkonnaalajaama, kahe piirkonnaalajaama rekonstrueerimist jaotusalajaamadeks ning kolme 35/… kV piirkonnaalajaama rekonstrueerimist 110/… kV piirkonnaalajaamaks. Lisaks tuleb 14 piirkonnaalajaama paigaldada uued keskpinge jaotusseadmed, tuleb asendada või paigaldada 25 uut

jõutrafot, koos Saku alajaama trafodega 27 trafot ning paigaldada kaks vahetrafot. Täiendavalt lisandub veel Tallinna elektrivõrku 10,74 km 110 kV maakaablit, 16,4 km 110 kV õhuliine ning 13,2 km keskpinge maakaableid. Muudatuste maksumus on kokku 105 079 200 €.

Vajalike tegevuste maht Tallinna elektrivõrgus on aastaks 2040 suur, kulukas ning aeganõudev. Töös välja toodud tegevuste vajalikkus seisneb selles, et elektrivõrgu varustuskindlus ning kasvava koormuse vajadus oleks täidetud ka tulevikus ilma probleemideta.

SUMMARY

The first part of the thesis investigated the condition of Tallinn's regional substations. This included firstly the voltage class and lifespan of the distribution equipment of Eléktrilevi. Secondly, the data of the transformers in the regional substations which included capacities, voltage levels and lifespan. Thirdly, maximum loads of the regional substations under normal operation. Fourthly, the loads of regional substations in reserve mode when one of the transformers is out of operation, and fifthly, the load forecast for the year 2040.

From the first part of the thesis, it was found that by the year of 2040, the distribution equipment of 8 regional substations has reached their technical lifespan or exceeded it. By 2040, 16 power transformers have also reached their technical lifespan or exceeded it. Additionally, it was revealed that under normal operation, none of the power transformers in any substation are overloaded, but in reserve mode, if one of the transformers is out of operation, there is a possibility that the ohter transformer may be overloaded. There are 4 such substations. The data in the table of the forecast part (Tabel 2.7) revealed that according to the forecasted loads, the transformers of the Ekskavaatori, Endla, Järve, Kvartsi, Lasnamäe, Pääsküla, Ranna, TPI, Tõnismäe, Veerenni, Veskimetsa and Ülemiste substations will be overloaded by 2040. In addition, problematic substations are brought out in each subsection. There are 17 out of 20 such regional substations where some changes must be made by 2040.

The second part of the thesis presents recommendations that should be made with Tallinn regional substations by the year 2040. These recommendations are based on the information provided in previous sections, Elektrilevi's planning principles, Elektrilevi's network technology principles, and the principle that there should be no devices in the regional substations whose expected technical lifespan has been exceeded. The changes included installation of new medium voltage distribution equipment, installation of new power transformers, installation of new intermediate transformers, construction of new regional substations and reconstruction of existing regional substations into 110 kV substations or distribution substations. In addition, the need for additional cable lines and overhead lines in order to build new and reconstruct existing regional substations has also been pointed out.

In the final section of the thesis, all changes in the electrical grid have been summarized, including load redistributions for the year 2040 and the cost of the modifications. The modifications include the construction of three new regional substations, the

reconstruciton of two regional substations into distribution substations and the reconstruction of three 35/… kV regional substations into 110/… kV regional substations. Additionally, 14 regional substations require the installation of new medium-voltage distribution equipment, 25 new power transformers must be installed , 27 transformers must be installed together with the Saku substation transformers, and two intermediate transformers must be installed. In addition, 10,74 km of 110 kV underground cabes, 16,4 km of 110 kV overhead lines and 13,2 km of medium voltage underground cables will be added to the Tallinn electricity grid. The total cost of the changes is 105 079 200€.

The scope of necessary activities in the Tallinn electrical grid by the year 2040 is extensive, costly, and time-consuming. The essentiality of the activities outlined in the work lies in ensuring the reliability of the electrical grid and meeting the growing power demand without issues in the future.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Riig Teataja, „Elektrituruseadus," 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/130062023006?leiaKehtiv. [Kasutatud 6. mai, 2024].

[2] Tallinna Elektrivõrk, *Tegevuse ajalugu,* Tallinn: Tallinna Elektrivõrk, 1997.

[3] A. Tarkmees, L. Zvoroski, M. Sirel, R. Rebane ja R. Kõiv, *J3355 Elektrivõrgu ülevaatuse ja hoolduste välbad ver.4,* Tallinn: Elektrilevi OÜ, 2021.

[4] Tallinna Tehnikaülikool, *Elektrilevi 35(20)-110 kV võrgu arenguplaani koormuste prognoos ja metoodika uuendamine,* Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2018.

[5] S. Hunt, *J3337 Planeerimise põhimõtted, ver 4,* Tallinn: Elektrilevi OÜ, 2024.

[6] A. Mazikas, A. Suun, A. Tarkmees, A. Värva, J. Särg, K. Kiil, K. Tuhkur, L. Zvorovski, M. Sirel ja R. Rebane, *J3338 Võrgutehnika põhimõtted ver. 3,* Tallinn: Elektrilevi OÜ, 2021.

[7] Tallinna Planeeringute Register, „Detailplaneering nr: DP028900 üldplaneeringut muutev," 2011. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/Link/Document/261831. [Kasutatud 4. aprill, 2024].

[8] Tallinna Linnaplaneerimise Amet, *Haabersti linnaosa ÜP - Elektrivarustus,* Tallinn: Tallinna Linnaplaneerimise Amet, 2016.

[9] Tallinna Planeeringute Register, „Silikaltsiidi tn 8 ja 8a kinnistute detailplaneering," 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP034580#tab35. [Kasutatud 16. aprill, 2024].

[10] Tallinna Planeeringute Register, „Raku kvartali osa ja Raku kvartali II osa detailplaneering," 2014. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP014380#tab35. [Kasutatud 16. aprill, 2024].

[11] Elering ja Elektrilevi, *EESTI ELEKTRIVÕRGU ARENGUPLAAN AASTANI 2035,* Tallinn: Elering, 2020.

[12] Tallinna Linnaplaneerimise Amet, *Lasnamäe elamualade üldplaneering,* Tallinn: Tallinna Linnaplaneerimise Amet, 2010.

[13] Tallinna Planeeringute Register, „Paljassaare põik 16 kinnistu ja lähiala detailplaneering," 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP028240#tab35. [Kasutatud 17. aprill, 2024].

[14] Tallinna Planeeringute Register, „PALJASSAARE TEE 18, 20, 24, 24a, 26a, 28, 28c, 28e, 30, 30a, 30b, 30c, 32, 32b, 32c, 32d KINNISTUTE JA LÄHIALA DETAILPLANEERING," 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP029910#tab35. [Kasutatud 17. aprill, 2024].

[15] Prysmian Group, „Jõukaablid," 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://baltics.prysmian.com/sites/baltics.prysmian.com/files/2023-08/Prysmian-Group-Baltics_Catalogue_PowerCables_EE-2023-august.pdf. [Kasutatud 9. mai, 2024].

[16] Eesti standardimis- ja akrediteerimiskeskus, „Distribution cables with extruded insulation for ratedvoltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including20,8/36 (42) kV," 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.evs.ee/et/evs-hd-620-s3-2023. [Kasutatud 9. mai. 2024].

[17] Tallinna Planeeringute Register, „D-terminali ja lähiala detailplaneering," 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP043590#tab35. [Kasutatud 17. aprill, 2024].

[18] Tallinna Planeeringute Register, „Nafta tn 1 // Petrooleumi tn 6 kinnistu, Petrooleumi tn 8 kinnistu, Bensiini tn 9 kinnistu, Bensiini tn 9a kinnistu ja lähiala detailplaneering," 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP033000#tab35. [Kasutatud 17. aprill, 2024].

[19] Tallinna Planeeringute Register, „A-reisiterminali ning kruiisiterminali ala detailplaneering," 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://tpr.tallinn.ee/DetailPlanning/Details/DP043650#tab35. [Kasutatud 17. aprill, 2024].

[20] Tallinn, „Paljassaare ja Russalka vahelise ranna-ala üldplaneering (Kehtestatud)," 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.tallinn.ee/et/ruumiloome/paljassaare-ja-russalka-vahelise-ranna-ala-uldplaneering-kehtestatud. [Kasutatud 11. aprill, 2024].