EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Indrek Moisa

PIIRKONNAALAJAAMADE RESERVEERIMISVÕIMALUSED ERINEVATE ALAJAAMADE NÄITEL

REGIONAL SUBSTATION RESERVATION OPTIONS BASED ON THE EXAMPLE OF VARIOUS SUBSTATIONS

Magistritöö
Energiakasutuse õppekava

Juhendajad: Andres Annuk, *PhD*
Mart Haavik, *MSc*

Tartu 2025

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Indrek Moisa		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Piirkonnaalajaamade reserveerimisvõimalused erinevate alajaamade näitel			
Lehekülgi: 60	Jooniseid: 24	Tabeleid: 20	Lisasid: 4
ETIS-e valdkond ja CERCS-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud, T140 Energeetika. Juhendajad: Andres Annuk, *PhD,* Mart Haavik, *MSc* Osakond või õppetool: Energiakasutuse õppetool Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2025			
Elektrivarustuse töökindlus ja katkestusteta energiavarustus on kaasaegse elektrivõrgu planeerimisel võtmetähtsusega. Käesolevas magistritöös analüüsitakse kolme Eesti piirkonnaalajaama (Keila, Keila-Joa ja Kantküla) tarbimispoole reserveerimisvõimekust erinevate rikke- ja hooldusolukordade puhul. Töö eesmärk on selgitada välja, millised tehnilised võimalused ja piirangud mõjutavad alajaamade suutlikkust tagada elektrivarustus olukorras, kus üks või mitu põhikomponenti on töövõimetud. Töö metoodikas kasutatakse Elektrilevi võrguandmeid, viimase kahe aasta koormusgraafikuid ning Trimble NIS tarkvara abil läbi viidud simulatsioone. Arvutustes hinnatakse trafode koormust, liinide pingekadusid ning reserveerimisvõrgu läbilaskevõimet. Tulemused näitavad, et kahetrafoliste alajaamade reserveerimine võib olla piiratud talvise maksimumkoormuse ajal, samas kui ühetrafolise alajaama korral sõltub varustuskindlus ainult keskpingevõrgu ühendustest. Mitmetel juhtudel ületavad pingekaod lubatud norme või ei suuda töötav trafo kogu koormust kanda. Töö pakub konkreetseid tehnilisi lahendusi, sealhulgas trafode asendamist ja võrguühenduste parandamist. Magistritöö on praktiline panus Eesti elektrivõrgu töökindluse suurendamiseks ning annab võrguettevõtjale sisendi reserveerimisvõimekuse arendamiseks. Jätkuna magistritööle saab uurida teisi piirkonnaalajaamu või analüüsida elektri hajatootmise mõju reserveerimisele.			
Võtmesõnad: elektrivõrk, varustuskindlus, trafod, koormusgraafik			

Estonian University of Life Sciences
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006

Abstract of Master's Thesis

Author: Indrek Moisa

Curriculum: Energy Application Engineering

Title: Regional substation reservation options based on the example of various substations

Pages: 60	Figures: 24	Tables: 20	Appendices:

ETIS research field and (CERCS) code: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17. Energetic Research, T140 Energy Research
Supervisors: Andres Annuk, *PhD,* Mart Haavik, *MSc*
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering
Place and year of defence: Tartu, 2025

Reliable power supply is a cornerstone of modern electricity networks. This master's thesis analyses the reserve capacity of three regional substations in Estonia (Keila, Keila-Joa and Kantküla) under various fault and maintenance scenarios. The objective is to determine the technical possibilities and limitations that affect the substations' ability to maintain supply in contingency situations.

The methodology is based on real network data from Elektrilevi, consumption graphs from the past two years, and simulations carried out using Trimble NIS software. The analysis focuses on transformer loads, line voltage drops, and reserve network capacity.

Results show that even in substations with two transformers, reserve capacity may be insufficient during peak winter loads. For single-transformer substations, backup options rely solely on medium-voltage network connections. In several cases, voltage drops exceed permissible limits or the remaining transformer cannot handle the full load.

The thesis offers practical technical solutions such as transformer replacements and improved substation interconnections. The study contributes to improving the reliability of the Estonian electricity grid and provides a decision-making tool for the network operator. As a continuation of the master's thesis, further research could focus on other regional substations or analyze the impact of distributed electricity generation on reservation capacity.

Keywords: power grid, supply reliability, transformers, load profile

SISUKORD

SISSEJUHATUS 5
1. ELEKTRIVÕRGU JA PIIRKONNAALAJAAMADE TUTVUSTUS 7
1.1. Eesti elektrivõrgu ülevaade 7
1.2. Piirkonnaalajaamade ülevaade 8
2. RESERVEERIMINE 11
2.1 Ülevaade 11
2.2 Võimalused reserveerimiseks 13
2.2.1 Reserveerimine läbi sama piirkonnaalajaama teise trafo 13
2.2.2 Reserveerimine läbi keskpingevõrgu teisest piirkonnaalajaamast 15
2.2.3 Reserveerimine kasutades mobiilseid elektrijaamu 16
3. VAADELDAVAD PIIRKONNAALAJAAMAD 18
3.1 Keila-Joa piirkonnalajaam 18
3.2 Keila piirkonnalajaam 23
3.3 Kantküla piirkonnalajaam 29
4. VÕIMALUSED RESERVEERMISEKS 34
4.1 Keila-Joa piirkonnalajaam 34
4.2 Keila piirkonnalajaam 38
4.3 Kantküla piirkonnalajaam 43
4.4 Järeldused 48
5. KOKKUVÕTE 50
ALLIKALOEND 52
LISAD 53
Lisa 1. Elektrilevi varade mahud 2018-2024 54
Lisa 2. Keila-Joa PAJ skeem 55
Lisa 3. Keila PAJ skeem 57
Lisa 4. Kantküla PAJ skeem 59

SISSEJUHATUS

Elektrienergia töökindel ja katkestusteta varustamine on tänapäevase ühiskonna üks alustalasid. Elektrivõrgud ja nende koosseisu kuuluvad alajaamad moodustavad keeruka ja omavahel tihedalt seotud süsteemi, mille tõrgeteta toimimine on oluline nii kodutarbijate, äriettevõtete kui ka kriitilise taristu jaoks. Eriti oluline on tagada elektrivarustuse töökindlus olukordades, kus esinevad rikkeolukorrad või hooldusvajadused, mis võivad ajutiselt piirata mõne võrguosa töövõimet. Sellistes olukordades tuleb mängu reserveerimisvõimekus – alajaama või võrguosa suutlikkus tagada elektrivarustus juhul, kui osa seadmetest on mingil põhjusel tööst välja viidud.

Käesolev magistritöö keskendub piirkonnaalajaamade (PAJ) reserveerimisvõimaluste analüüsile, võttes aluseks kolm konkreetset näidet: Keila, Keila-Joa ja Kantküla piirkonnaalajaamad. Eesmärk on välja selgitada millisel määral on olemasolevad võrguressursid ja seadmed võimelised tagama normikohase elektrivarustuse häireolukordades ning millised tehnilised ja koormuslikud piirangud võivad seda takistada. Töös käsitletakse reserveerimise kontseptsiooni mitte ainult kui elektrienergia juhtimistehnilist probleemi, vaid ka kui võrgu töökindluse ja klientide rahulolu tagamise küsimust. Töö keskendub tarbimissuunalise reserveerimise vaatlemisele. Viimastel aastatel Eestis oluliselt kasvanud elektrienergia hajatootmise tõttu on oluline ka tootmise reserveerimine, kuid sellega seonduv probleemistik vajab täiendavat analüüsi, mida käesoleva magistritöö raames läbi ei viidud.

Teoreetilises osas antakse ülevaade Eesti elektrivõrgu struktuurist, piirkonnaalajaamade ülesehitusest ja trafode rollist elektrienergia ülekandes. Praktilises osas viiakse läbi detailne analüüs valitud alajaamade kohta kasutades võrguandmeid, reaalseid koormusgraafikuid ja simulatsioone. Uuritakse kas ja millistel tingimustel on võimalik ühe PAJ kaudu teise varustuspiirkonda üle võtta ning millised on selle piirangud trafode võimsuse, pingekadude ja liinide läbilaskevõime osas. Koormusgraafikute analüüsil on vaadeldud viimase kahe aasta tarbimist (aprill 2023 – aprill 2025), mis on kättesaadav Elektrilevi ADMS andmebaasist. Kuna enamiku Eesti piirkonnaalajaamade (sh kolme vaadeldava PAJ) koormustipud olid 2023/2024 aasta talvel ning see jäi vaadeldava perioodi sisse, siis ei võetud vaatluse alla varasemat aega, mis oleks eeldanud andmete hankimist Elektrilevi andmearhiivist.

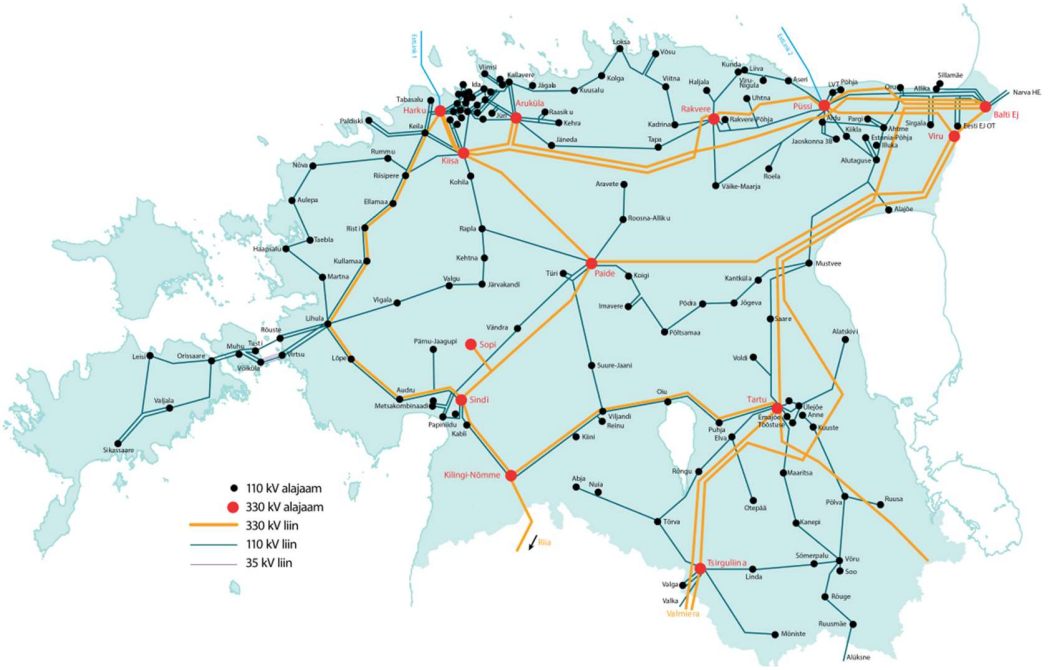
Töö olulisus seisneb vajaduses tõsta elektrivõrkude töökindlust, et tulla toime kasvava energiatarbimise, ilmastikuriskide ja vananeva infrastruktuuriga. Samuti pakub töö väärtuslikku sisendit võrguettevõttele, kes peab tegema investeerimisotsuseid, et tagada süsteemi stabiilsus ja vastavus reguleerivatele nõuetele. Reserveerimisvõimekuse parandamine ei tähenda ainult tehniliste lahenduste leidmist, vaid ka laiemat strateegilist planeerimist, mis hõlmab kulude ja kasude analüüsi, riskihindamist ning pikaajalist süsteemiarendust.

1. ELEKTRIVÕRGU JA PIIRKONNAALAJAAMADE TUTVUSTUS

1.1. Eesti elektrivõrgu ülevaade

Definitsiooni järgi moodustavad energiasüsteemi elektrijaamad, elektrivõrgud ja elektritarbijad [1: 11]. Elektrivõrgud koosnevad kahest osast – põhi- ja jaotusvõrgust. Suuremad elektritootjad (elektrijaamad) on ühendatud süsteemi põhivõrku. Eestis talitleb põhivõrk kahel pingeklassil – 110 kV ja 330 kV ning võrguhalduriks on AS Elering.

Välisriikidest on Eesti elektrivõrk ühendatud Soome ja Lätiga. Lätiga on hetkel ühendus kolme 330 kV õhuliiniga. Planeerimisel on neljas 330 kV ühendus läbi Saaremaa, mille valmimisaeg ei ole hetkel teada, aga aeganõudva planeerimisprotsessi tõttu ei alga ehitustööd tõenäoliselt enne 2030. aastat [2]. Soomega on ühendusi kaks, mis on rajatud läbi alalisvoolul toimivate merekaablite Estlink 1 ja Estlink 2. Planeerimisel on ka kolmas ühendus (Estlink 3), mille eelduslik valmimisaasta on 2035 [3]. Eleringile kuuluva Eesti põhivõrgu kaart on näidatud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Eleringi elektri ülekandevõrk [4].

Varasemalt oli Eesti elektrivõrk ühendatud Venemaaga läbi kolme 330 kV ja ühe 110 kV õhuliini (neist kolm Narva piirkonnas ja üks Kagu-Eestis), kuid 08.02.2025 toimunud desünkroniseerimise käigus, mil Balti riigid lahkusid Venemaa ja Valgevenega seotud ühisest elektrisüsteemide juhtimispiirkonnast BRELL, need ühendused katkestati.

Elektrivõrgu teine osa, jaotusvõrk, algab Eleringile kuuluvate kõrgepingeseadmete lõppedes. Jaotusvõrgu kaudu edastatakse elektrienergia põhivõrgust kuni elektritarbija liitumispunktini. Kui põhivõrgu omanikuks on Eestis üks ettevõte (Elering), siis jaotusvõrguettevõtteid on üle 30. Suurim neist on OÜ Elektrilevi, kelle teeninduspiirkond katab Eesti pindalast 95%. Kui arvestada juurde AS Imatra Elekter, mille Elektrilevi omandas 2021. aastal ja mis on hetkel Elektrilevi tütarettevõte, katab Elektrilevi teeninduspiirkond ligi 99% Eesti pindalast [5: 3]. Teine suurem jaotuvõrguettevõte Eestis on Viru Elektrivõrgud OÜ, mille võrgupiirkond hõlmab Narva, Narva-Jõesuu ja Sillamäe linnade territooriumi. Ülejäänud jaotusvõrguettevõtted on võrreldes kahe eelpool kirjeldatuga väga väikesed. Käesolev magistritöö vaatleb suurima jaotusvõrguettevõtte Elektrilevi võrkudega seonduvat.

1.2. Piirkonnaalajaamade ülevaade

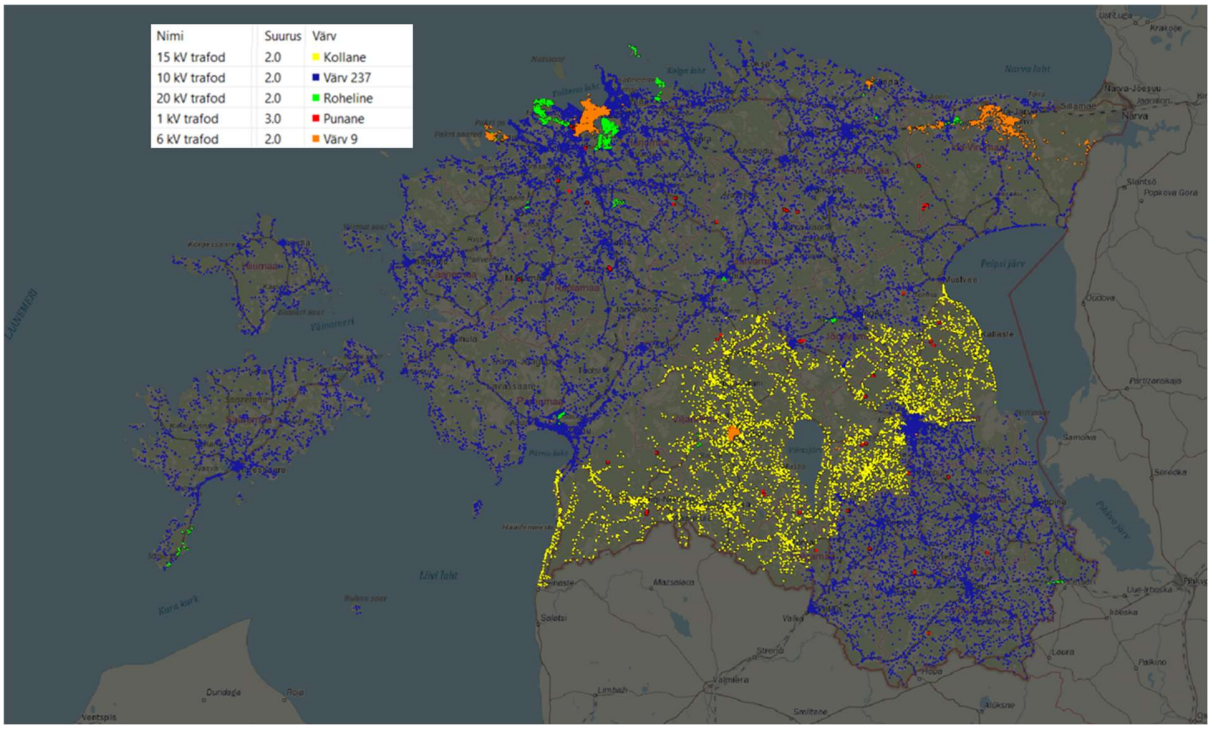
Piirkonnaalajaam on vastavalt Elektrilevi definitsioonile „jõutrafosid sisaldav 35 – 330 kV ülempingega alajaam (v.a. 35/0,4 kV). PAJ sisaldab 6 - 35 kV jaotusliinide lõppühendusi, lülitus- ja juhtimisseadmestikku, kaitse- ja juhtimisaparatuuri, muundusseadmeid ja hooneid ning välisseadmete puhul ka rajatisi“ [6].

Vastavalt omanikule on võimalik jagada piirkonnaalajaamad kaheks – sellised, kus on ühendus Eleringi ja Elektrilevi võrkude vahel ja alajaamas olevad seadmed jagunevad kahe ettevõtte vahel ning sellised, mis kuuluvad täies mahus Elektrilevile. Esimeses tüübis kuulub ülempinge (110 kV või 330 kV) osa koos kaitseseadmete, automaatika ning muu vajaliku seadmestikuga Eleringile ning alampinge (mõnel juhul 110 kV, aga enamasti 35 kV ja väiksem) osa koos oma aparatuuriga Elektrilevile. Sellistes alajaamades asuvad Elektrilevi liitumispunktid Eleringi võrguga ning toimub kahe ettevõtte võrkude vahel edastatava elektrienergia koguse mõõtmine. Jõutrafode omanik seda tüüpi alajaamades on erinev – mõnes alajaamas kuuluvad need

Eleringile, mõnes Elektrilevile. Teises piirkonnaalajaamatüübis on enamasti ülempingeks 35 kV (mõnel juhul ka 110 kV) ning need alajaamad kuuluvad täielikult Elektrilevile. Käesolevas magistritöös vaadeldavast kolmest piirkonnaalajaamast kuuluvad Keila 110/35/10 PAJ ja Kantküla 110/10 PAJ esimese tüübi alla ning Keila-Joa 35/10 PAJ teise tüüpi.

Kokku on Elektrilevil 2024. aasta lõpu seisuga 211 piirkonnaalajaama, millest 135 (64%) on esimest ja 76 (36%) teist tüüpi. Elektrilevi varade mahud perioodil 2018-2024 on välja toodud lisas 1.

Ajaloolistel põhjustel on Elektrilevi kõrg- ja keskpingevõrgus kasutusel mitmeid pingeklasse. Kõrgepingena kasutatakse 110 kV ja 35 kV nimipingega võrku (enamasti 35 kV) ning keskpingel on kasutusel kokku 4 erinevat nimipinget – 20 kV, 15 kV, 10 kV ja 6 kV.



Joonis 1.2. Keskpingevõrkude nimipinged piirkonniti [7].

Sedavõrd paljude pingeklasside kasutamine raskendab võrgu planeerimist ja teeb keeruliseks reserveerimise, mistõttu näeb Elektrilevi arengukava ette minna tulevikus kõrge- ja keskpinges

üle kahele pingeklassile – 110 kV ja 20 kV. Et see üleminek oleks majanduslikust vaatest võimalikult efektiivne viiakse see läbi väiksemate etappide kaupa kasutades olemasolevate kaablite ja seadmete, mida ei ole võimalik nende kahe pingeklassi juures kasutada, jääkressurss võimalikult maksimaalselt ära. Kõik hetkel paigaldatavad uued kaablid, trafod ja muud seadmed peavad olema võimelised töötama arengukavas ettenähtud pingetega [5: 15].

2. RESERVEERIMINE

2.1 Ülevaade

Reserveerimine tähendab tehnilise süsteemi või selle elemendi töökindluse suurendamist varusüsteemide ja -elementide abil [8]. Käesoleva magistritöö raames kasutatakse seda mõistet vaatlemaks võimalusi tagada piirkonnaalajaamas kõigile tarbijatele normidele vastav elektrivarustus olukorras, kus mõni piirkonnaalajaama trafo on mingil põhjusel tööst väljas.

Vastavalt Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrusele võrgu kvaliteedinõuete ja võrgutasude vähendamise tingimuste kohta [9] on rikkest põhjustatud elektrikatkestuse maksimaalseks lubatud kestuseks suveperioodil 12 tundi ja talveperioodil 16 tundi. Erandiks on juhud, kui tarbimiskoha elektritoide on tagatud ühe 110 kV trafo või liini kaudu - sellisel juhul võib elektrikatkestus kesta kuni 72 tundi. Lubatud aastane kogukestus riketest tekitud katkestustele on 100 tundi ühe 110 kV liini või trafo poolt toidetud tarbimiskohtadele ja 50 tundi teistele tarbimiskohtadele.

Planeeritud katkestuste korral, mida tehakse erinevateks hooldustöödeks, on maksimaalseteks lubatud kestusteks sõltumata tarbimiskoha toitevõrgust 10 tundi suveperioodil ja 8 tundi talveperioodil, aastas kokku kõige rohkem 64 tundi.

Kui katkestus(t)e kestus ületab eelpool väljatoodud aegu, siis on tarbijal õigus taotleda võrgutasu vähendamist. Arvestades, et Elektrilevi võrgus on kokku ca 723 000 tarbimiskohta ning piirkonnaalajaamu on 211, siis on iga PAJ toitel keskmiselt ligikaudu 3400 tarbijat. Kui piirkonnaalajaamade riketest tulenevaid katkestusi ei ole võimalik läbi reserveeriva toite ümber lülitada ning tekib pikem avariiolukord (näiteks võib PAJ trafo ette planeerimata remont võtta aega mitmeid päevi), siis on sellel võrguettevõtja jaoks suur majanduslik kulu – lisaks tarbimata elektrile ja sellest tulenevalt laekumata jäävale võrgutasule on suurel hulgal tarbijatel seaduslik võimalus taotleda võrgutasu vähendamist. Veel tuleb arvestada ühiskondliku katkestuskahjuga, mille jaoks on Konkurentsiamet oma määrusega kehtestanud saamata jääva energia hinna (*value of lost load*, *VoLL*) 9206 €/MW·h [10].

Eelpoolkirjeldatud põhjustel on üheks võimaluseks võrgu töökindluse tõstmiseks ning rikete mõjude vähendamiseks reserveerimise tagamine. Elektrilevi võrgu planeerimise põhimõtete

kohaselt tuleb tarbimise vaatest ehitada kogu keskpingevõrk reserveeritavana ehk katkestuse korral ühes liinipooles peab olema võimalik tarbijad ümber toita läbi ringliini teise poole. Seega tagatakse reserveerimine keskpinge ringliinidega, mis on ühendatud kas erinevatesse piirkonnaalajaamadesse või ühe PAJ erinevatele sektsioonidele [5: 22].

Tarbimise reserveerimisel on kõige olulisem tagada tarbijatele normikohane pinge. Vastavalt standardile „Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused“ [11] on maksimaalne lubatav pingekadu 10%. Pingekadu liinis saab arvutada valemiga 2.1 [12: 102]:

$$\Delta U_{\%liin} = \frac{100 \cdot \rho_{juht} \cdot P_t \cdot l_l}{s_{liin} \cdot U_l^2} \tag{2.1}$$

kus $\Delta U_{\%liin}$ on pingelang liinis, %

ρ_{juht} - voolujuhi eritakistus, (Ω·mm^2)/m (alumiiniumil 0,027 (Ω·mm^2)/m [13])

P_t - liinil tarbitav võimsus, W

l_l - liini pikkus, m

s_{liin} - kaablisoone ristlõikepindala, mm^2

U_l - liinipinge, V

Teine oluline parameeter, mida tuleb reserveerimisel jälgida on trafo koormus. Lühiajaliselt on lubatud trafosid koormata kuni 150%-ni niminäivvõimsuseni, seda seni kuni võrgus vajalikud avarii-, remondi- või hooldetööd on läbi viidud. Normaalskeemil töötades ei tohi trafo oma nimivõimsust ületada. [14]

Elektrilevi poolt kasutatav võrguandmete jälgimise ja salvestamise andmebaas ADMS registreerib PAJ-de fiidrite pinge ja koormusvoolu intervalliga üks mõõtmine minutis ning arvutab nende põhjal automaatselt aktiiv- ja reaktiivvõimsuse. Trafode koormatust vaadeldakse näivvõimsusega, mille arvutamiseks on käesolevas töös kasutatud valemit 2.2 [1: 101].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.2}$$

kus S on näivvõimsus, V·A

P - aktiivvõimsus, W

Q - reaktiivvõimsus, Var

Kolmas parameeter, mida reserveerimisel peab silmas pidama on koormusvool liiniosades. Igal juhtmel ja kaablil on lubatud maksimaalne koormusvool, mille ületamine võib põhjustada liiniosa ülekuumenemist ja tuua seeläbi kaasa rikkeid. Kuna reserveerimine tähendab tööle jäävale võrguosale täiendavat koormust, siis tuleb ka seda aspekti reserveerimisarvutuste tegemisel jälgida. Tabelis 2.1 on välja toodud mõnede enimlevinumate keskpingejuhtmete ja kaablite maksimaalsed lubatud koormusvoolud.

Tabel 2.1. Mõnede keskpinge võrguelementide maksimaalsed lubatud koormusvoolud [15]

Juhtme/kaabli mark	Tüüp	Maksimaalne koormusvool, A
A 35	Paljasjuhe	170
A 50	Paljasjuhe	215
A 70	Paljasjuhe	265
BLL-62	Kaetud juhe	225
BLL-99	Kaetud juhe	310
AXHAMK-W.3x50+35	Maakaabel	155
AXHAMK-W.3x120+35	Maakaabel	265
AXHAMK-W.3x240+35	Maakaabel	385

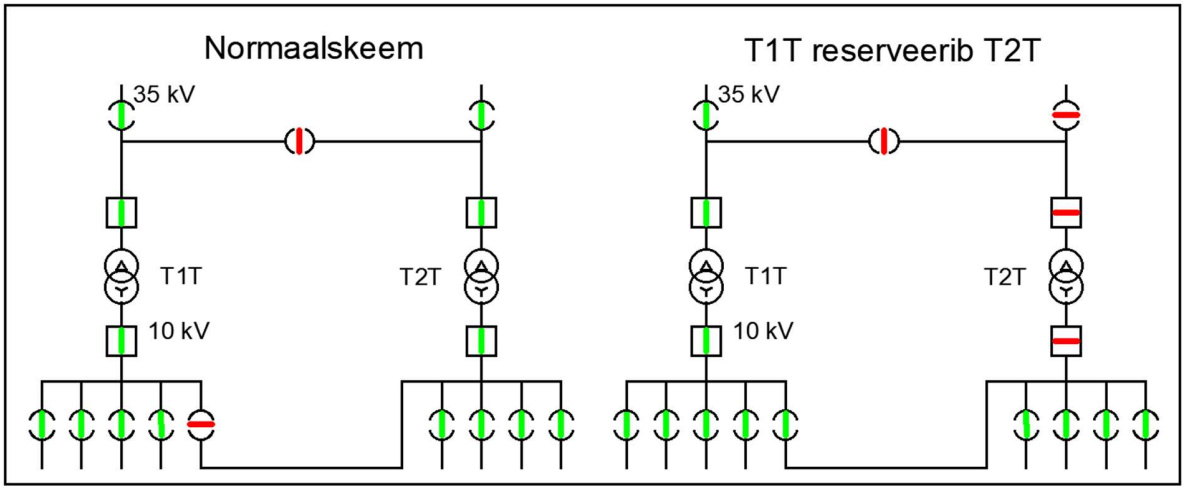
2.2 Võimalused reserveerimiseks

2.2.1 Reserveerimine läbi sama piirkonnaalajaama teise trafo

Kõige lihtsam viis tagada PAJ töötamine olukorras, kus üks trafosektsioon on rikkeline või hoolduses, on suunata koormus PAJ teisele trafole. See on võimalik ainult kahe jõutrafoga alajaamades, mida hetkeseisuga on PAJ-dest 142 (67%) . Teise trafo kasutamine reserveerimisel eeldab, et mõlemad trafod töötavad normaaltalitluses alakasutuses (piisavalt kaugel nimivõimsusest) ja on vajaduse korral võimelised lisaks ka teise trafo koormuse enda kanda

võtma. Kuna Eesti elektritarbimine oleneb palju aastaajast, siis on seda lihtsam tagada suveperioodil, mil tarbimine on oluliselt väiksem. Seetõttu planeeritakse ka PAJ trafode pingevabad hooldused alati suveperioodile. Talvise tiputarbimise perioodi ajal tekkida võivate trafo rikete korral on teise trafoga reserveeritavuse tagamine keerulisem ja kõigis alajaamades ei ole selleks piisavalt võimsusvaru.

Näide kahetrafolise 35/10 kV piirkonnaalajaama reserveerimisskeemi kohta on välja toodud joonisel 2.2. Skeemi vasakpoolses osas oleval normaalskeemil töötavad kaks trafot teineteisest sõltumatult ning 10 kV väljundfiidrid on eraldatud kahte sektsiooni. Parempoolses osas näidatud reserveerimisskeemi korral on trafo T2T viidud tööst välja ning kõik 10kV väljundfiidrid töötavad ühes sektsioonis läbi trafo T1T.



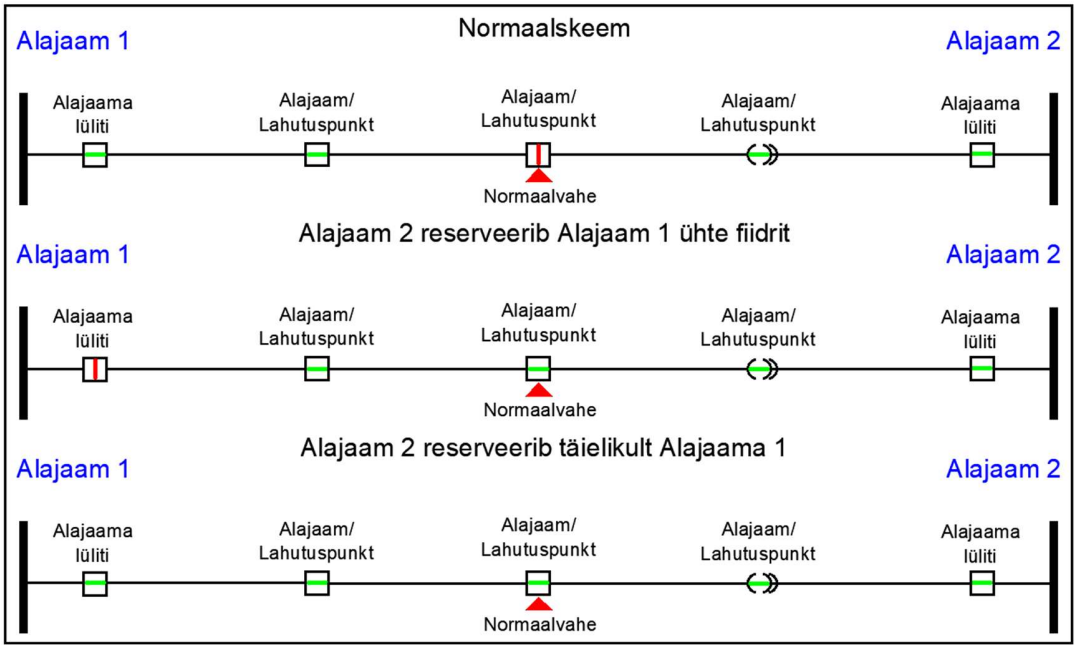
Joonis 2.2. Kahetrafolise alajaama normaal- ja reserveerimisskeem.

Jõutrafosid on kahte tüüpi jahutusega – loomuliku jahutusega (*oil natural air natural* - ONAN) ja sundjahutusega (*oil natural air forced* - ONAF). Elektrilevi võrgutehnika põhimõtted näevad ette, et üldiselt tuleb eelistada ONAN trafosid. ONAF trafosid on lubatud kasutada ülitihe ja tihe varustuskindluse piirkondades alates 25 MV·A võimsusest. ONAF trafod tuleb valida selliselt, et võrgu normaalskeemijärgsel talitlusel ei töötaks need sundjahutuse talitluses [6].

2.2.2 Reserveerimine läbi keskpingevõrgu teisest piirkonnaalajaamast

PAJ toitepiirkonna reserveerimine läbi keskpingevõrgu võimaldab reserveerida selliseid piirkonnaalajaamu, mis on kas ühetrafolised või mille teise trafo võimsus on ebapiisav mittetöötava trafo koormuse ülevõtmiseks. Sellisel juhul saab sulgeda PAJ-de normaalvahes olevad lülitid ning viia võrk ajutiselt üle teise PAJ toitele. Selline lahendus eeldab erinevate PAJ-de toitel olevate keskpingevõrkude ühenduskohtade olemasolu ning piisavat koormusvaru reserveerivas PAJ-s.

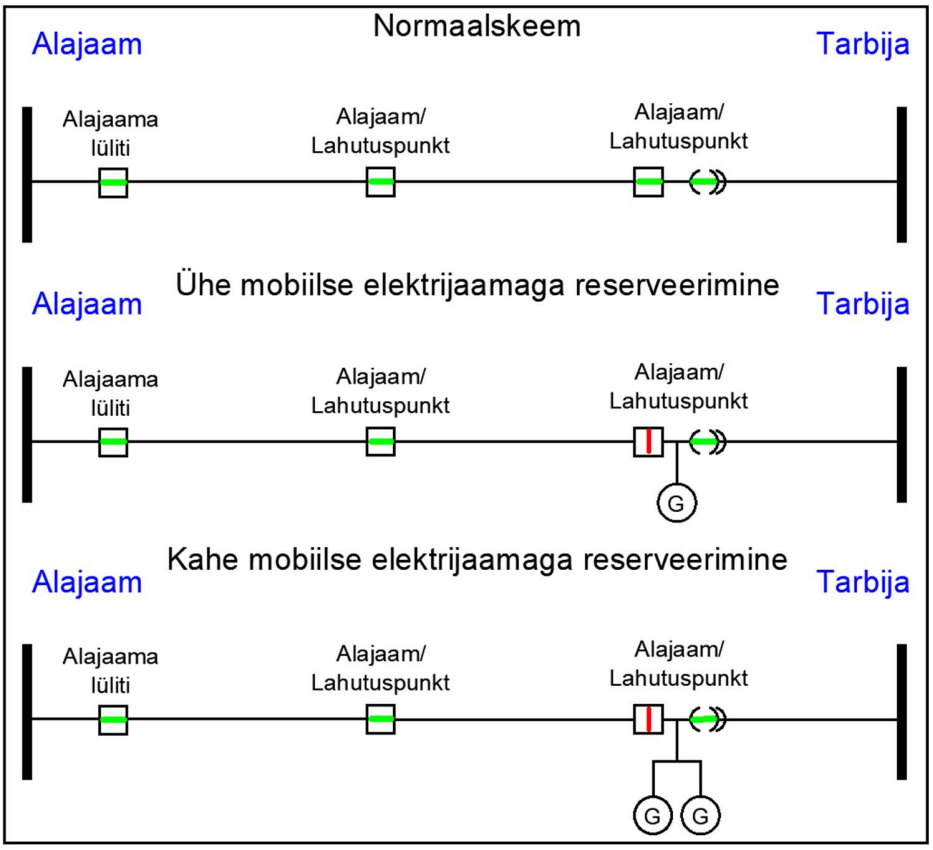
Skemaatilised näited läbi keskpingevõrgu reserveerimise kohta on välja toodud joonisel 2.3. Normaalskeemijärgsel talitlusel on keskpingevõrk kahe alajaama vahel normaalvahe asukohas lahutatud. Teisel skeemil reserveeritakse ühte keskpingefiidrit, mis eeldab, et ülejäänud fiidrid on reserveeritud kas läbi esimese alajaama teise trafo või teiste alajaamade. Kolmandal skeemil näidatud lahenduse korral võetakse kogu esimese alajaama toitepiirkond ajutiselt teise alajaama toitele. Selline lahendus on reeglina võimalik ainult madalamate koormuste ajal (eelkõige suveperioodil), kuna piirkonnaalajaamade vahelised keskpingevõrgu ühendused pole üldiselt dimensioneeritud tipukoormuste ülekandmiseks.



Joonis 2.3. Ühetrafolise alajaama reserveerimine läbi keskpingevõrgu.

2.2.3 Reserveerimine kasutades mobiilseid elektrijaamu

Mobiilsete elektrijaamade (generaatorite) kasutamine kogu PAJ toitepiirkonnas reservtoite tagamiseks ei ole üldiselt nende väikse võimsuse tõttu võimalik. Elektrilevi omab ühte 410 kV·A, nelja 140 kV·A ning ühtteist 40 kV·A näivvõimsusega generaatorit. Lisaks on võimalik rentida juurde kuni 500 kV·A näivvõimsusega generaatoreid. Kui arvestada, et isegi väiksemate PAJ-de trafode maksimumkoormused ületavad 1 MV·A piiri, siis on mobiilsete elektrijaamadega PAJ trafo täielik reserveerimine tipukoormuse perioodil keeruline. Seetõttu on Elektrilevi sätestanud generaatorite kasutamiseks kolm põhimõtet: tagada elektrivarustus esimesse prioriteetgruppi kuuluvatele klientidele, kellele ei suudeta elektrivarustust taastada vähemalt järgmise 24 tunni jooksul; tagada koostöös kliendiga elektrivarustus teise prioriteetgruppi kuuluvatel objektidel üle 24 tunni kestvatel katkestustel, kui on olemas võimalus, et katkestuse tagajärjel võib tekkida oht varale või elule; riketerohkel perioodil kohaliku omavalituse palvel tähtsamatele objektidele elektrivarustuse tagamiseks [16]. Samuti võib generaatoritega reserveerimist kasutada suurtarbijate (eelkõige tööstusettevõtted) ajutiseks väljalülitamiseks jaotusvõrgust, mis vähendab võrgu koormust ja võimaldab ülejäänud tarbijaid toita teiste reserveerimisvõimaluste kaudu. Näide sellise lahenduse kohta on joonisel 2.4. Reserveerimisskeemil on näidatud kuidas tarbijani minev võrk lülitatakse jaotusvõrgust välja ning selle asemele lisatakse toiteallikaks mobiilne elektrijaam (generaator). Generaatoreid omavahel rööbiti ühendades on võimalik summeerida nende väljundvõimsus.



Joonis 2.4. Tarbija reserveerimine kasutades mobiilseid elektrijaamu.

3. VAADELDAVAD PIIRKONNAALAJAAMAD

3.1 Keila-Joa piirkonnalajaam

Keila-Joa PAJ asub Keila-Joa alevikus Lääne-Harju vallas ning see on 35/10 kV alajaam ehk selle primaarpinge on 35 kV ja sekundaarpinge 10 kV. Alajaamas on kasutusel kaks 35/10 kV trafot, mille andmed on välja toodud tabelis 3.1. Alajaam kuulub täies mahus Elektrilevile.

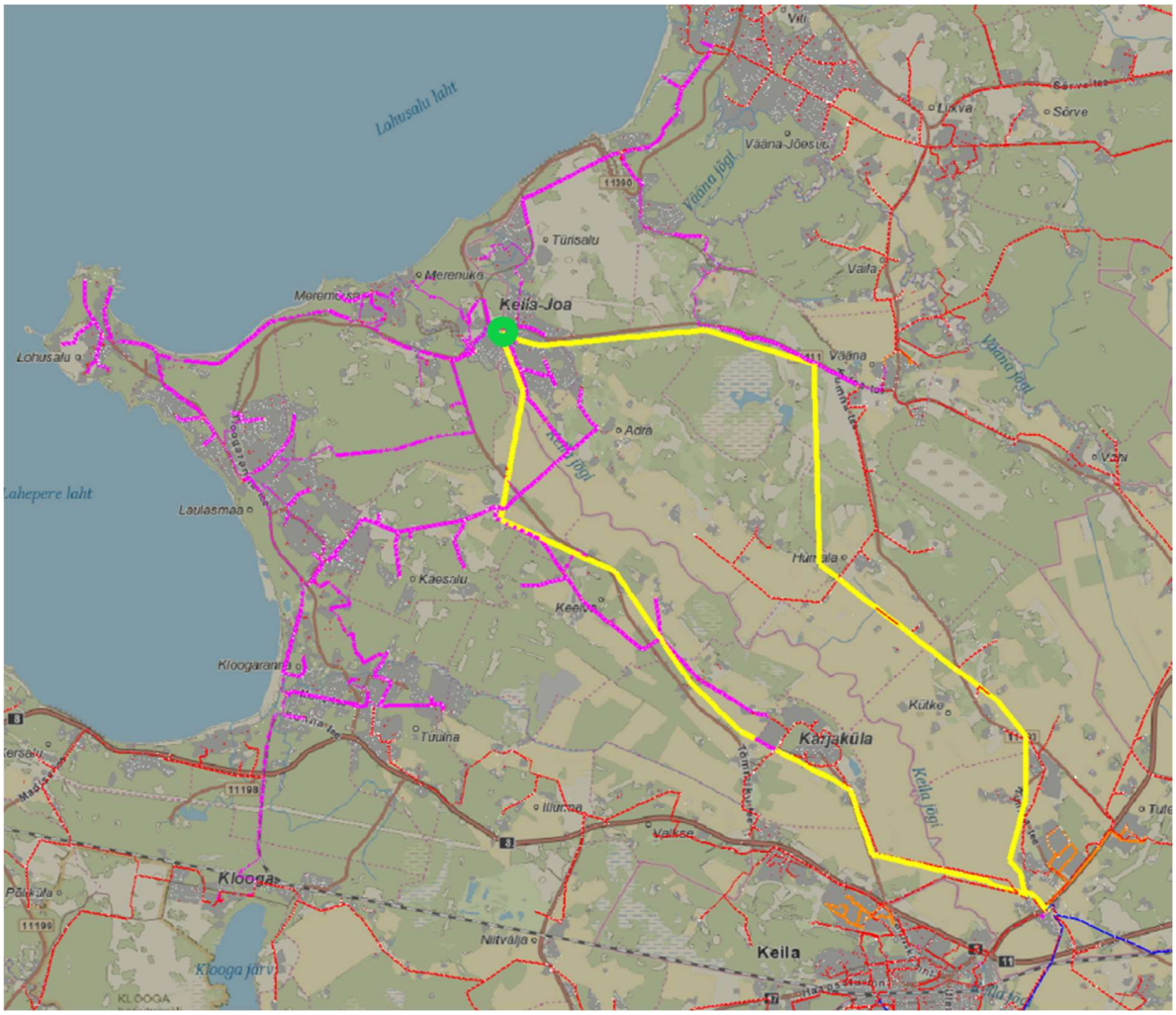
Tabel 3.1. Keila-Joa PAJ trafode andmed

Trafo tähis	T1T	T2T
Näivvõimus ONAN, MV·A	6,3	4,0
Näivvõimus ONAF, MV·A	-	-
Valmistaja tüüp	TMN-600/35-73-U1	ZTZ p/k M-5972
Valmistamise aasta	1975	1979

35 kV poolel on Keila-Joa piirkonnaalajaamal kaks õhuliiniga ühendust Keila 110/35/10 piirkonnaalajaamaga, mis kulgevad erinevatel trassidel. 10 kV poolel on Keila-Joa piirkonnalajaamas kasutusel 7 väljundfiidrit. Joonisel 3.1 on piirkonna elektrivõrgu kaart, kus kollasega on näidatud Keila ja Keila-Joa PAJ-de vahelised 35 kV õhuliinid, roosaga Keila-Joa PAJ toitel olev 10 kV võrk, punasega teiste piirkonnaalajaamade toitel olevad keskpingevõrgud ning rohelise ringiga Keila-Joa PAJ asukoht. Tabelis 3.2 on näidatud Keila-Joa PAJ 10 kV fiidreid iseloomustavad andmed.

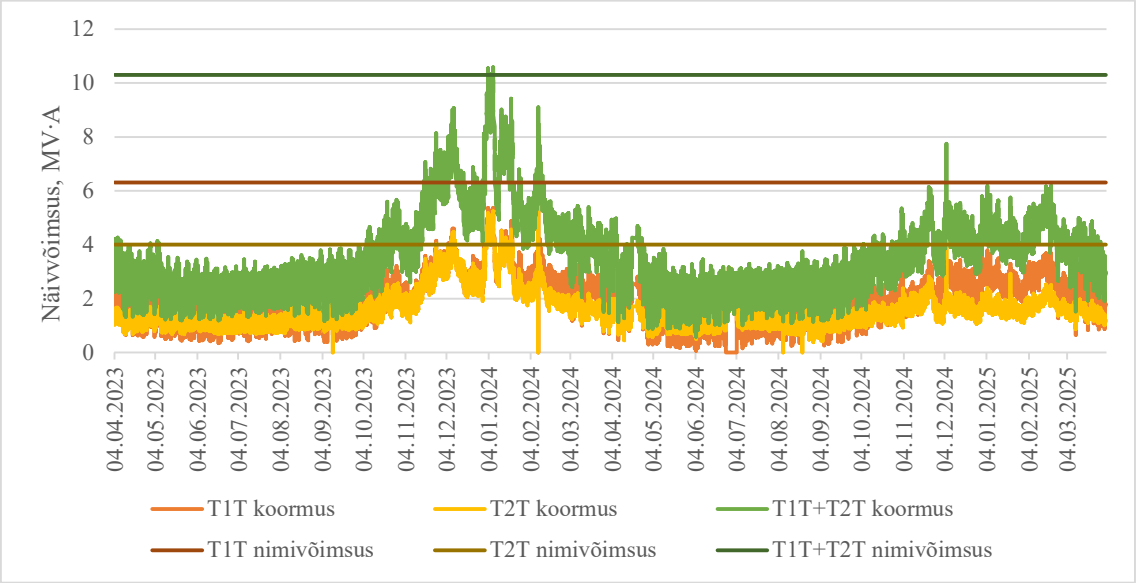
Tabel 3.2. Keila-Joa PAJ 10 kV fiidrid

Fiider	**Toitetrafo**	**Tarbimis-kohad, nr**	**Edastatud energiakogus aastas, MW·h**	**10 kV võrgu kogupikkus, km**	**Maksimaalne näivvõimsus, MV·A**
Joa	T1T	233	899	3,3	0,29
Laulasmaa I	T1T	1541	7789	19,8	2,60
Meremõisa	T1T	477	3159	15,4	1,11
Vääna	T1T	782	3583	19,3	1,42
Elektroni	T2T	179	959	2,4	0,35
Laulasmaa II	T2T	1245	5772	21,1	3,15
Türisalu	T2T	1087	5379	17,2	1,57
Kokku		**5544**	**27540**	**98,5**	**10,59**



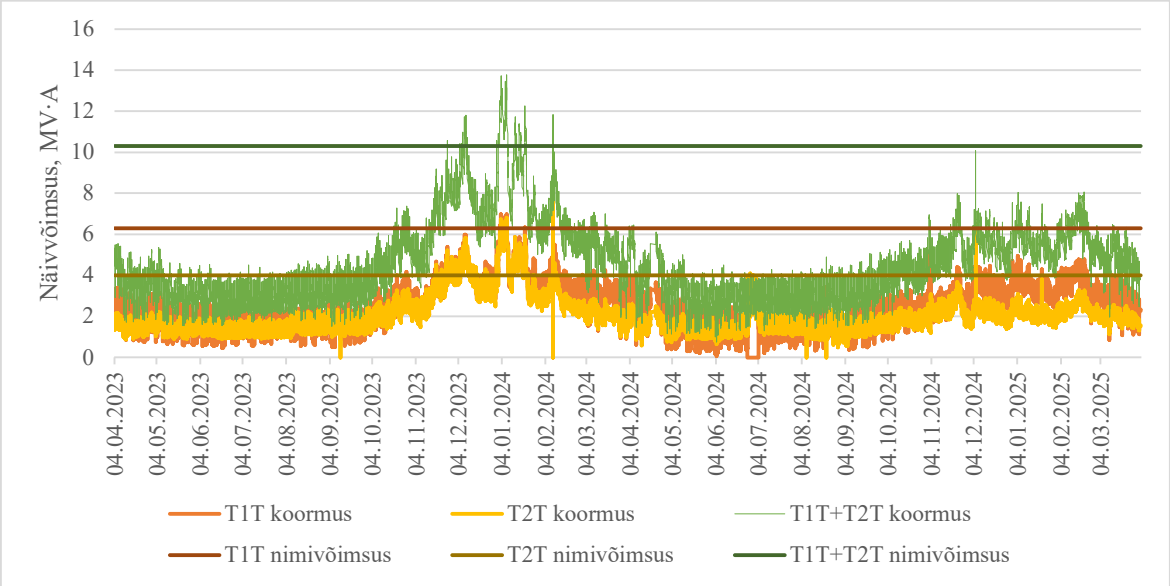
Joonis 3.1. Keila-Joa PAJ toitepiirkond [7].

Keila-Joa PAJ kui kahe trafoga alajaama reserveerimine ühe trafo tööseisaku korral peab olema tagatud teise trafo kaudu. Paraku on trafode koormused sellised, et see ei ole võimalik – joonisel 3.2 näidatud viimase kahe aasta koormusgraafikult on näha, et Keila-Joa PAJ maksimumkoormus on olnud 10,6 MV·A (sh T1T 5,4 MV·A ja T2T 5,2 MV·A). See tähendab, et maksimumkoormuse olukorras ei ole ühe trafo tööst välja viimise korral võimalik tagada nõuetekohast reserveerimist teise trafoga. Veelgi enam – T2T trafo töötas maksimaalkoormuse perioodil ca 30% suuruse ülekoormusega. Ülekoormusega töötamine on lühiajaliselt lubatud, kuid seda ainult erandkorras, kas avarii või planeeritud katkestuse ajaks. Normaalses tööolukorras ei tohi trafo koormus nimivõimsust ületada. [14]



Joonis 3.2. Keila-Joa PAJ trafode tunnikeskmine koormatus perioodil 04.2023-04.2025 [17].

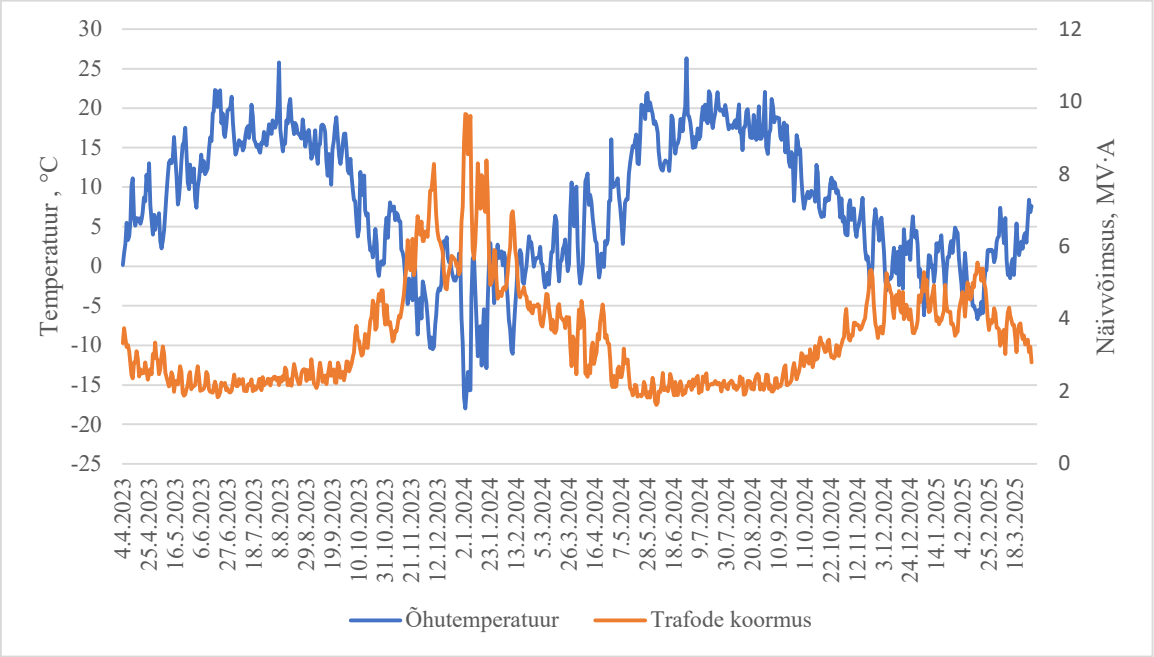
Elektrilevi prognoosib Keila-Joa PAJ koormusele 10 aasta vaates 30% suurust kasvu [18], mis tähendab, et T1T maksimumkoormus suureneks 6,8 MV·A-ni ning T2T koormus 6,5 MV·A-ni (kokku 13,3 MV·A). Joonisel 3.3 on näidatud viimase kahe aasta koormusgraafik 30% kasvuga.



Joonis 3.3. Keila-Joa PAJ trafode tunnikeskmine koormatus perioodil 04.2023-04.2025 tarbimise suurenemisel 30% võrra [17].

Jooniselt 3.3 nähtub, et 10 aasta perspektiivis võib teatud perioodidel hakata tarbimine ületama trafode nimivõimsust ning juba joonisel 3.2 näha olnud probleemid trafode koormuste ja reserveerimisvõimalustega süvenevad veelgi.

Joonisel 3.4 on näidatud seos Keila-Joa PAJ trafode päevakeskmise koormuse ja välistemperatuuri vahel.

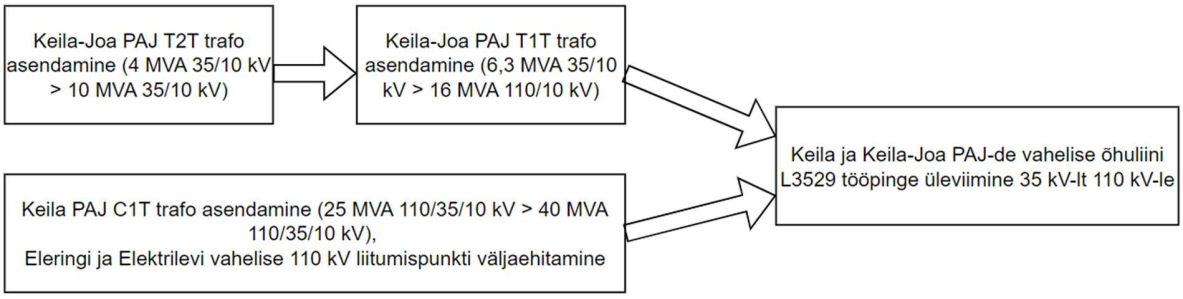


Joonis 3.4. Keila-Joa PAJ trafode koormuse sõltuvus välistemperatuurist perioodil 04.2023-04.2025 [17][19].

Jooniselt 3.4 on näha, et seos trafode koormuse ning välistemperatuuri vahel on pöördvõrdeline – mida madalam on temperatuur seda suurem on trafode koormus ja vastupidi. Lineaarne korrelatsioonikordaja (R) kahe suuruse vahel on -0,91, mis kinnitab joonisel nähtavat väga tugevat pöördvõrdelist seost. Selgitada võib seda korrelatsiooni madalatest temperatuuridest tingitud küttevajaduse suurenemisega ning sellest võib omakorda järeldada, et piirkonnas on laialt levinud elektriga kütmine, seda kas otse elektriga (elektriradiaatorid, soojuskiirgurid) või erinevat tüüpi soojuspumpadega.

Keila-Joa PAJ-s on seoses vaba võimsuse ammendumise ja reserveerimisprobleemidega planeeritud tegevusi olukorra parendamiseks. Esimese sammuna asendatakse väiksem, 4 MV·A näivvõimusega T2T trafo Kullamaa piirkonnaalajaamast ümberehitustööde käigus demonteeritava 10 MV·A trafoga. Teise sammuna viiakse üks kahest Keila ja Keila-Joa PAJ vahelisest 35 kV õhuliinist ümber 110 kV tööpingele (kogupikkus 15,1 km). Olemasolevad mastid, õhukaabel ning isolaatorid on 110 kV tööpingeks sobilikud, mistõttu pole pinge tõstmise võimaldamiseks tarvis teha suuremaid ümberehitustöid. Keila-Joa PAJ-s asendatakse samal ajal olemasolev 10 MV·A näivvõimusega 35/10 kV T1T trafo uue 16 MV·A 110/10 trafoga. Seotud investeeringuna on asendamisel Keila PAJ C1T trafo (täpsemalt selgitatud peatükis 3.2), peale mida saab õhuliini viia üle 110 kV tööpingele ning võtta kasutusele Keila-Joa PAJ uue 110/10 T1T trafo. Keila PAJ trafo asendamise alustamise eelduseks on Keila-Joa PAJ uue 10 MV·A näivvõimusega T2T trafo kasutusse võtmine, kuna uus ja suurema võimsusega trafo võimaldab katta T1T koormust.

T2T trafo asendamise järel on võimalik asendada olemasolev 10 MV·A 35/10 kV T1T trafo uue 16 MV·A 110/10 kV trafoga ning seejärel saab õhuliini L3529 viia üle 110 kV tööpingele. Tööde teostamise järjekorra põhimõtteline plokkskeem on näidatud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Keila ja Keila-Joa PAJ tööde plokkskeem.

Illustreerimaks pingekadusid kahes Keila ja Keila-Joa piirkonnaalajaamade vahelises 35 kV õhuliinis (arvutuspinge 36,7 kV) saab arvutada nende väärtused. Liin tähisega L3528 on 13,40 km pikk AS-70 paljasjuhtmega õhuliin (voolujuht alumiiniumist, ristlõikepindala 70 mm^2),

mille edastatav võimsus oli võrguhaldusprogrammi Trimble Unity andmetel 12.04.2025 seisuga 2827 kW. Vastavalt valemile 2.1 avaldub selle õhuliini pingekadu:

$$\Delta U_{\%L3528} = \frac{100 \cdot 0{,}027 \cdot 2827000 \cdot 13400}{70 \cdot 36700^2} = 1{,}08\%$$

Teine õhuliin, tähisega L3529, on 14,94 km pikk AS-120 paljasjuhtmega õhuliin, mille edastatav koormus oli 12.04.2025 seisuga 3833 kW. Alljärgnevalt on arvutatud selle õhuliini pingekadu:

$$\Delta U_{\%L3529_35} = \frac{100 \cdot 0{,}027 \cdot 3833000 \cdot 14940}{120 \cdot 36700^2} = 0{,}96\%$$

Võrdluseks saab leida pingekao liinis L3529 pärast selle üleviimist 110 kV tööpingele (arvutuspinge 115 000 V), eeldusel, et sellega edastatav koormus jääb samaks.

$$\Delta U_{\%L3529_110} = \frac{100 \cdot 0{,}027 \cdot 3833000 \cdot 14940}{120 \cdot 115000^2} = 0{,}10\%$$

Arvutustest nähtub, et antud näite korral suurendades liini tööpinget kolm korda väheneb pingekadu sama edastatava koormuse juures ligikaudu 10 korda.

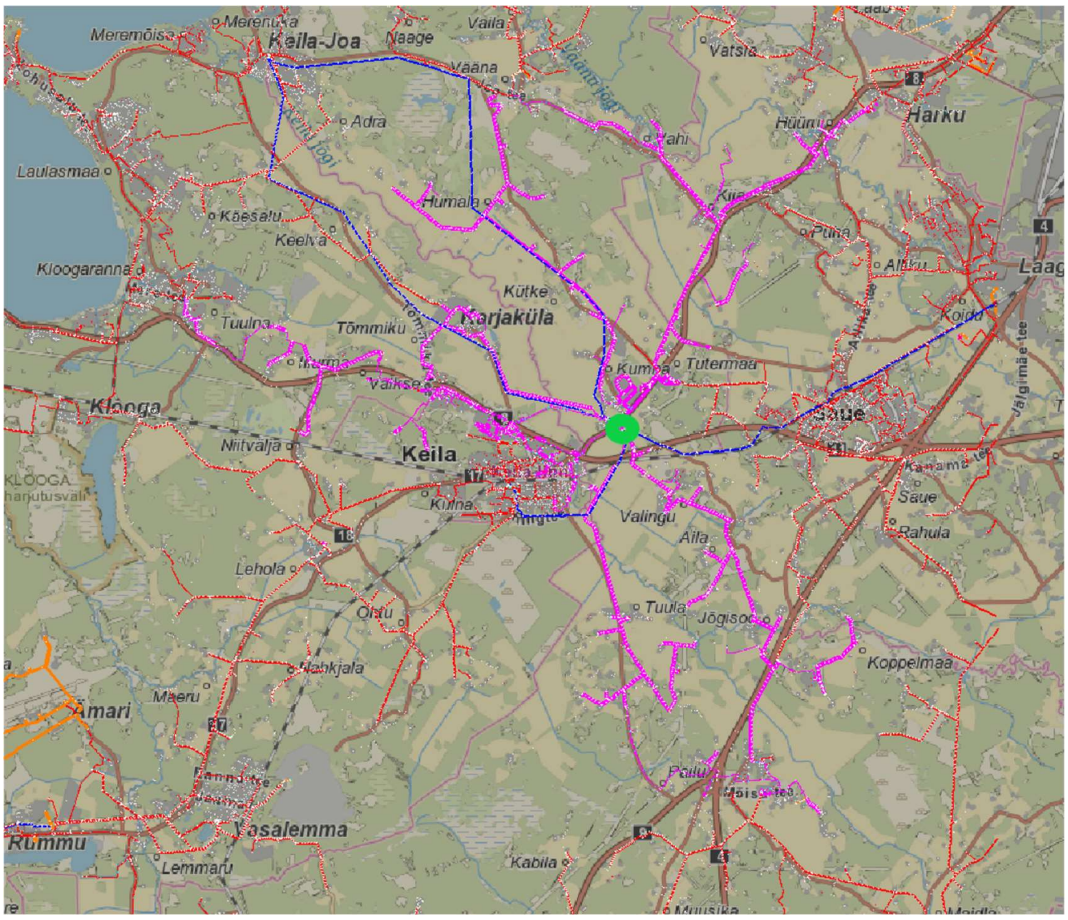
3.2 Keila piirkonnalajaam

Keila PAJ asub Keila-Tallinna maantee ääres Keila linna piirist ca 1 km kaugusel. Keila PAJ on 110/35/10 kV alajaam ehk selle primaarpinge on 110 kV ja sekundaarpoolel on 35 kV ja 10 kV pingeklassid. Alajaamas on kasutusel kaks kolmemähiselist trafot, mille andmed on välja toodud tabelis 3.3. Alajaama 110 kV pool koos trafodega kuulub Eleringile, 35 kV ja 10 kV osad Elektrilevile.

Tabel 3.3. Keila PAJ trafode andmed

Trafo tähis	C1T	C2T
Näivvõimus ONAN, MV·A	25	25
Näivvõimus ONAF, MV·A	-	40
Valmistaja tüüp	TDTN-25000/110-67 Y1	TDTN-40000/110-70
Valmistamise aasta	1979	1971

110 kV poolel on Keila PAJ ühendatud viie kõrgepingeliiniga – Keila-Paldiski (2 tk), Keila-Harku, Kiisa-Keila ja Riisipere-Keila. 35 kV osas on väljundfiidreid 7, millest kaks on normaalskeemis tööst väljas (lülitid avatud). 10 kV osas on väljundfiidreid 12. Joonisel 3.6 on näidatud Keila piirkonna elektrivõrgu kaart, kus on roosaga näidatud Keila PAJ toitel olev 10 kV võrk ning sinisega 35 kV võrk. Teiste piirkonnaalajaamade toitel olevad keskpingevõrgud on kaardil näidatud punasega ning Keila PAJ asukoht rohelise ringiga.



Joonis 3.6. Keila PAJ toitepiirkond [7].

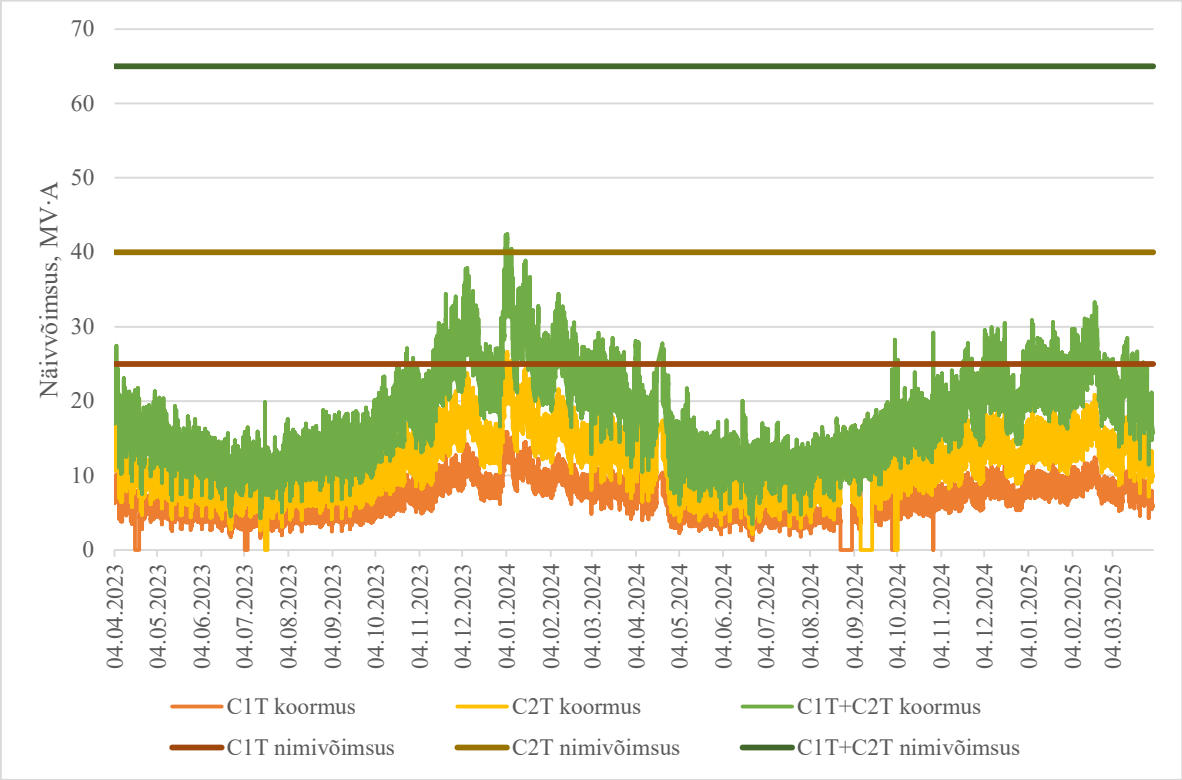
Tabelis 3.4 on näidatud Keila PAJ 10 kV ja 35 kV fiidreid iseloomustavad andmed. 10 kV osas olevad Kanala ja Tibula fiidrid kuuluvad täies mahus teisele võrguettevõtjale (AS Loo Elekter), kelle liitumispunktid asuvad Keila PAJ 10 kV jaotlas.

Tabel 3.4. Keila PAJ 10 kV ja 35 kV fiidrid

Fiider (suund)	Toite-trafo	Pinge-klass, kV	Tarbimis-kohad, nr	Edastatud energiakogus aastas, MW·h	Keskpinge-võrgu kogupikkus, km
L3527 (Elevaatori PAJ)	C1T	35	1143	7529	4,2
L3529 (Keila-Joa PAJ)	C1T	35	3053	15381	15,1
L3524 (Saue PAJ)	C2T	35	3325	34044	12,9
L3526 (Elevaatori PAJ)	C2T	35	1855	22099	4,2
L3528 (Keila-Joa PAJ)	C2T	35	2528	12100	14,0
Kokku (35 kV)	**-**	**-**	**11904**	**91153**	**50,4**
Entek III	C1T	10	371	4625	18,2
Kombinaadi	C1T	10	791	5820	5,5
Metsaküla	C1T	10	292	1908	18,9
Kanala	C1T	10	1	965	4,7
Jõgisoo	C1T	10	714	6018	25,1
Entek I	C1T	10	347	7030	5,8
Karjaküla	C2T	10	360	1689	10,4
Põhja	C2T	10	1492	8896	5,4
Tutermaa	C2T	10	666	4958	29,6
Tibula	C2T	10	2	1872	2,9
Maidla	C2T	10	377	3552	23,6
Entek II	C2T	10	230	15982	12,3
Kokku (10 kV)	**-**	**-**	**5643**	**63315**	**162,4**
Kokku (10 kV + 35 kV)	**-**	**-**	**17547**	**154468**	**212,8**

Keila PAJ reserveerimine on jaotusvõrgu vaatest ette nähtud toimima läbi kahe kasutusel oleva trafo – ühe trafo rikke või hoolduse korral peab selle koormuse üle võtma teine trafo. Lisaks on ühte 35 kV fiidrit (L3524), mis toidab Saue 35/10 piirkonnalajaama, võimalik reserveerida läbi Tallinnas asuva Järve 110/35/6 piirkonnalajaama.

Keila PAJ trafode viimase kahe aasta tunnikeskmine koormusgraafik on näidatud joonisel 3.7.

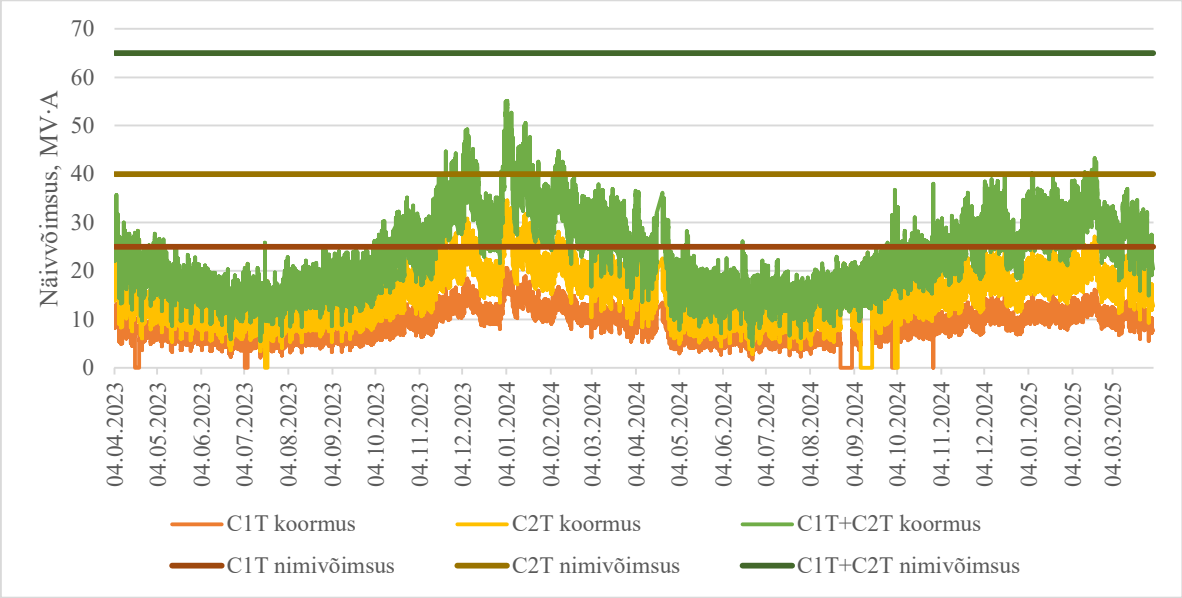


Joonis 3.7. Keila PAJ trafode tunnikeskmine koormatus perioodil 04.2023-04.2025 [17].

Koormusgraafikult nähtub, et tipukoormuse ajal 2023/2024 aasta talvel ulatus Keila PAJ näivvõimsus 42,6 MV·A-ni (sh C1T 16,2 MV·A ja C2T 26,4 MV·A), hiljem on talvised tipukoormused jäänud 30 MV·A ligidusse. Erinevalt Keila-Joa PAJ-st ei ole Keila PAJ trafodel probleeme nimivõimsuse võimaliku ületamisega normaalskeemi järgses tööolukorras, küll aga reserveerimisel. Vaadeldud kahe aasta pikkusest perioodist oli 16,35% (2864 tundi ehk 119,3 päeva) Keila PAJ-s olukord selline, kus trafode summeeritud koormus ületas väiksema C1T trafo nimivõimsust (25 MV·A). Vastupidine olukord, kus summaarne koormus oli suurem suurema C2T trafo nimivõimsusest (40 MV·A), kestis samal ajaperioodil kokku 25 tundi ehk 0,14%. Kui arvestada, et lühiajaliselt reserveerimisolukorras võib trafode koormus olla 150% nende nimivõimsusest [14], siis oli selliseid tunde, kus C1T trafo nimivõimsus oleks reserveerivas skeemis seda piiri ületanud kokku 55.

Elektrilevi prognoosib sarnaselt Keila-Joa PAJ-ga Keila PAJ koormusele 10 aasta vaates suurenemist 30% võrra [18], mis tõstaks C1T koormuse trafode summaarse maksimumi hetkel

20,6 MV·A-ni ning C2T oma 34,6 MV·A-ni (kokku 55,2 MV·A). Joonisel 3.8 on näidatud viimase kahe aasta koormusgraafik 30% kasvuga.



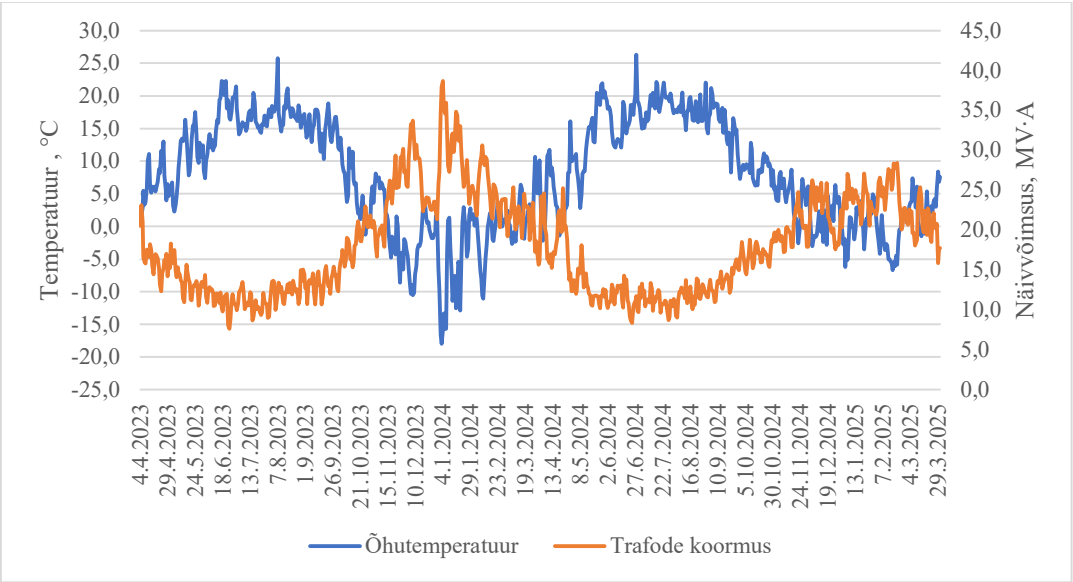
Joonis 3.8. Keila PAJ trafode tunnikeskmine koormatus perioodil 04.2023-04.2025 tarbimise suurenemisel 30% võrra [17].

Joonisel 3.8 olevalt prognoostarbimise graafikult on näha, et kui normaalskeemil töötades on trafode koormused endiselt allpool nende nimivõimsusi, siis süveneb probleem seoses reserveerimisega C2T trafo katkestuse korral. Selliseid tunde, kus PAJ trafode kogukoormatus on sedavõrd suur, et ületab C1T trafo nimivõimsust 1,5-kordselt on vaadeldavas perioodis kokku 1045 (43,5 päeva) ning see tõstab märgatavalt piirkonnale elektrivarustuse tagamisega seotud riske.

Elektrilevil on hetkel töös investeering Keila PAJ reserveeritavuse parendamiseks. See näeb ette olemasoleva 25 MV·A näivvõimusega C1T trafo, mis on näidatud joonisel 3.9, asendamist 25(40) MV·A näivvõimsusega 110/35/10 kV trafoga. Kui olemasolev C1T trafo kuulub Eleringile ja Elektrilevi liitumised põhivõrguga on 10 kV ja 35 kV pingetel, siis uus trafo hakkab kuuluma Elektrilevile ja lisandub uus liitumine põhivõrguga 110 kV pingel.

Joonis 3.9. Keila PAJ olemasolev C1T trafo (25 MV·A).

Joonisel 3.10 on näidatud seos Keila PAJ trafode päevakeskmise koormuse ja välistemperatuuri vahel.



Joonis 3.10. Keila PAJ trafode koormuse sõltuvus välistemperatuurist [17][19].

Sarnaselt Keila-Joa PAJ-ga on ka Keila PAJ trafode koormuse puhul näha väga tugevat pöördvõrdelist seost välistemperatuurist (R=-0,91).

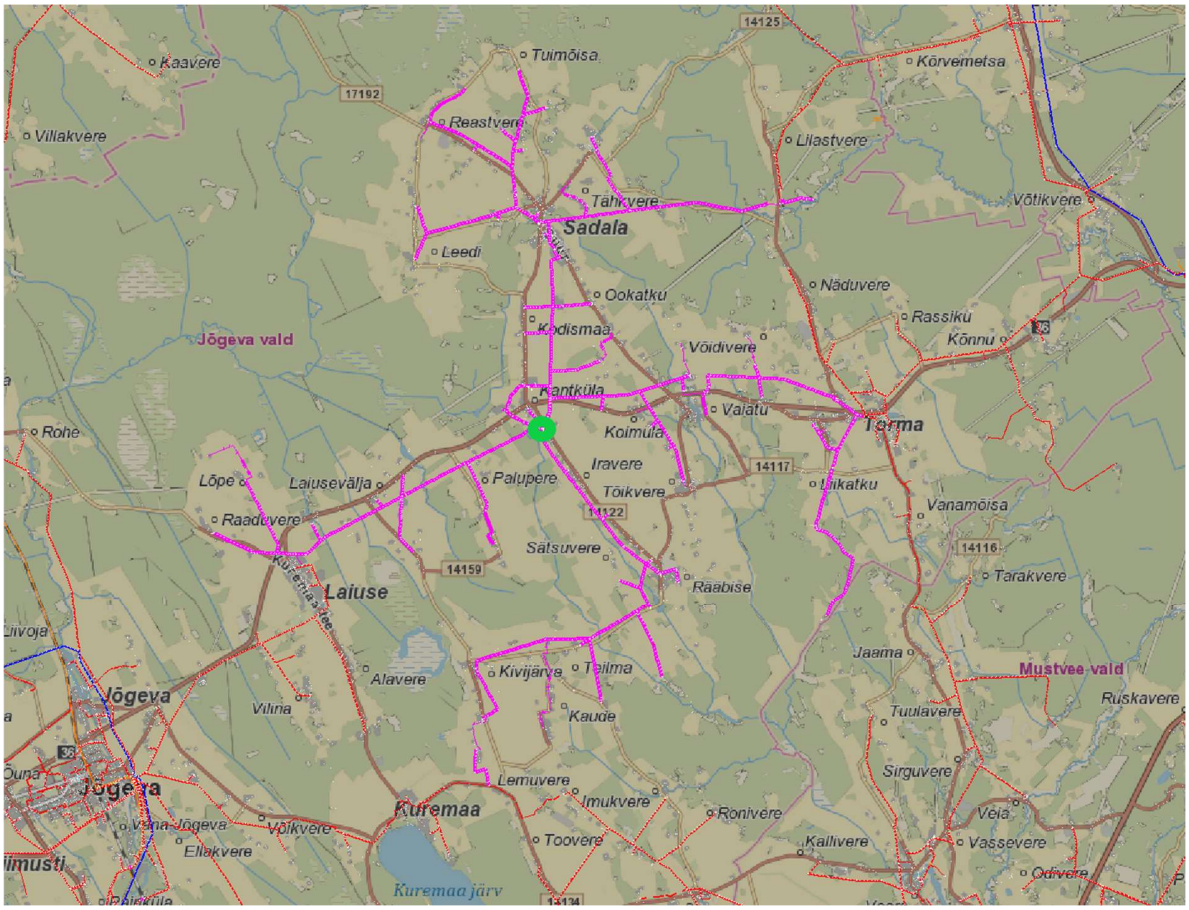
3.3 Kantküla piirkonnalajaam

Kantküla PAJ asub Kantkülas Jõgeva vallas ning on 110/10 alajaam ehk selle primaarpinge on 110 kV ja sekundaarpinge 10 kV. Alajaamas on kasutusel üks 110/10 kV trafo, mille andmed on välja toodud tabelis 3.5. Alajaama 110 kV osa kuulub Eleringile ning trafo ja 10 kV osa Elektrilevile.

Tabel 3.5. Kantküla PAJ trafo andmed

Trafo tähis	C1T
Näivvõimus ONAN, MV·A	6,3
Näivvõimus ONAF, MV·A	-
Valmistaja tüüp	TMN-6300/100 71 U1
Kasutuselevõtu aasta	1977

110 kV poolel on Kantküla piirkonnaalajaamal kaks õhuliiniga ühendust Jõgeva 110/35/15/10 ja Mustvee 110/35/15/10 piirkonnalajaamadega. 10 kV poolel on Kantküla piirkonnalajaamas kasutuses 5 väljundfiidrit. Joonisel 3.11 on näidatud Kantküla PAJ piirkonna elektrivõrgu kaart, kus on roosaga näidatud Kantküla PAJ toitel olev 10 kV võrk ning rohelise ringiga on märgitud Kantküla PAJ asukoht. Teiste piirkonnaalajaamade toitel olevad keskpingevõrgud on kaardil näidatud punasega. Tabelis 3.6 on näidatud Kantküla PAJ 10 kV fiidreid iseloomustavad andmed ning tööparameetrid normaalolukorras.



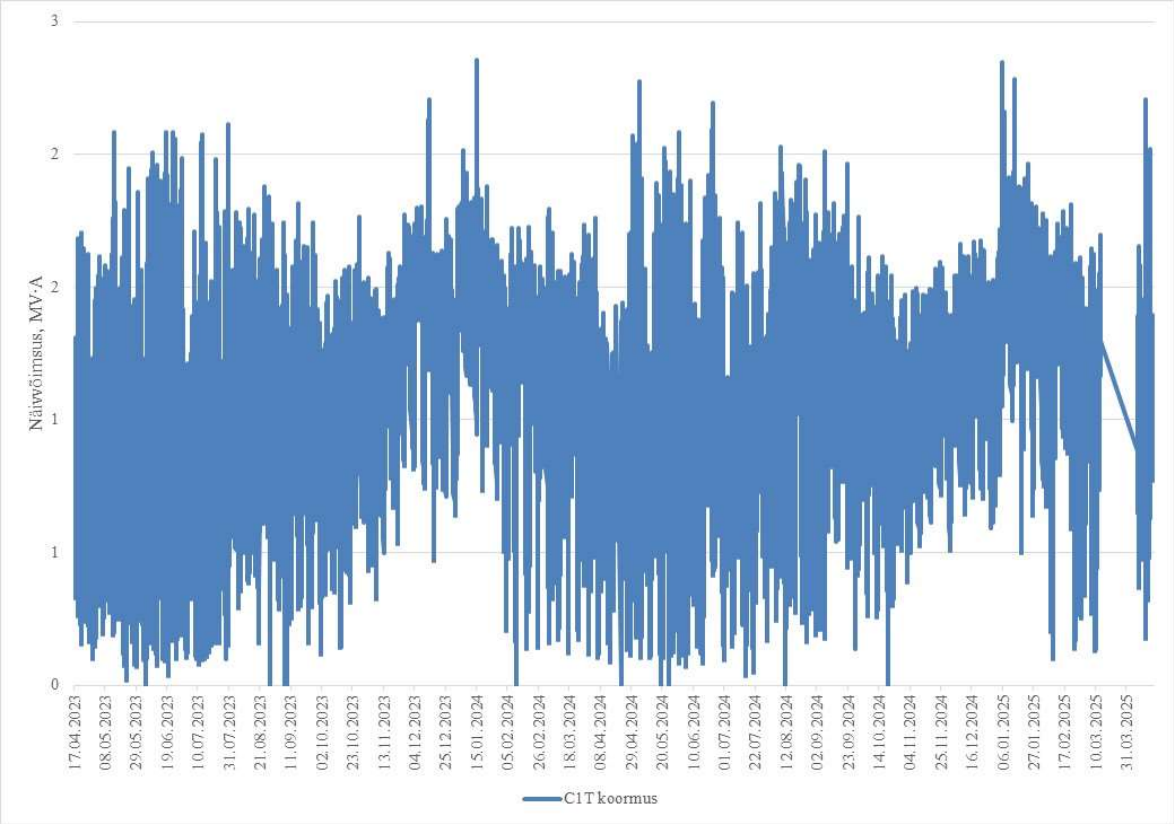
Joonis 3.11. Kantküla PAJ toitepiirkond [7].

Tabel 3.6. Kantküla PAJ 10 kV fiidrid

Fiider	Tarbimiskohad, nr	Edastatud energiakogus aastas, MW·h	10 kV võrgu kogupikkus, km	Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
Torma	384	1430	24,1	0,38	0,87	18
Sadala	480	2507	37,5	0,92	2,49	44
Kantküla	8	3251	1,2	1,03	0,86	49
Jõgeva	127	530	18,7	0,30	0,97	15
Kivijärve	236	457	23,0	0,18	0,76	8
Kokku	**1235**	**8175**	**104,5**	**2,81**	**-**	**-**

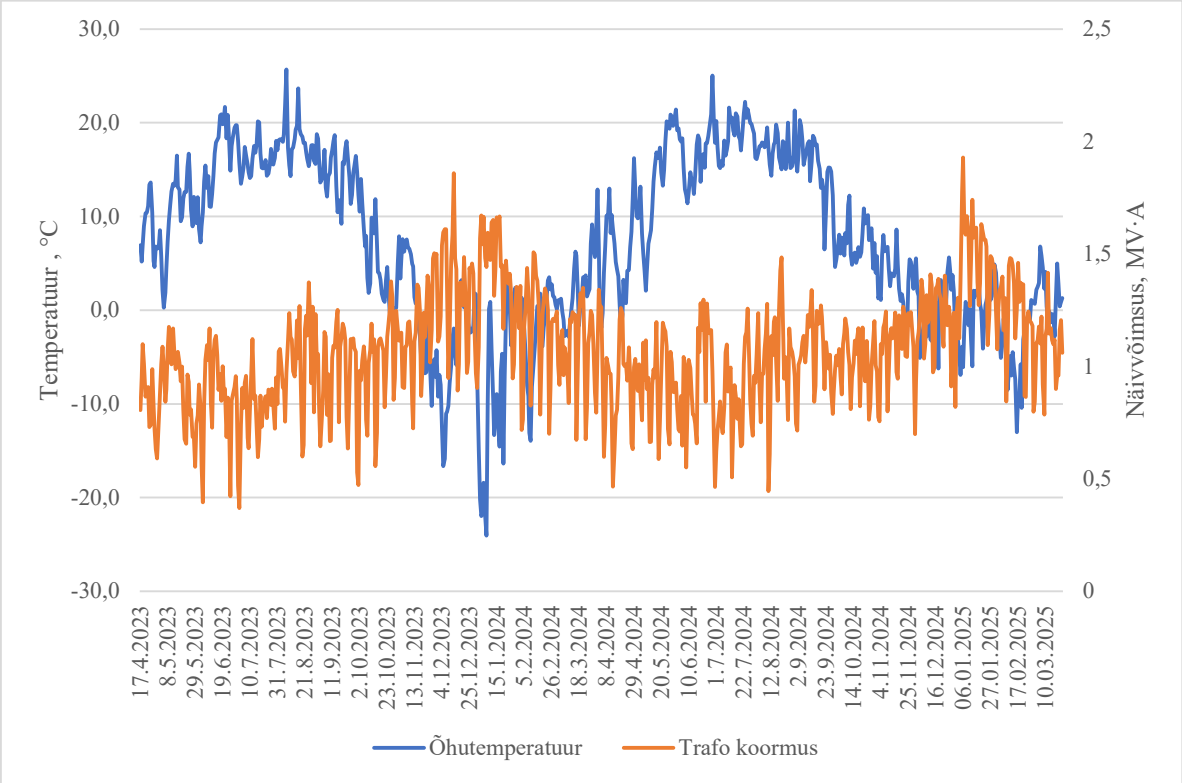
Joonisel 3.12 on näidatud Kantküla PAJ C1T trafo viimase kahe aasta koormusgraafik. Graafikult on näha, et Kantküla PAJ 6,3 MV·A nimivõimusega trafo töötab tunduvalt alla oma võimekuse. Maksimaalsel koormatuse hetkel oli trafo lattidel näivvõimsuseks 2,81 MV·A, mis

on 44,6% nimivõimsusest. Vaadeldaval perioodil on trafo keskmine koormatus olnud 17% (1,07 MV·A).



Joonis 3.12. Keila PAJ trafode tunnikeskmine koormatus perioodil 04.2023-04.2025 [17].

Joonisel 3.13 on näidatud seos Kantküla PAJ trafode päevakeskmise koormuse ja välistemperatuuri vahel.

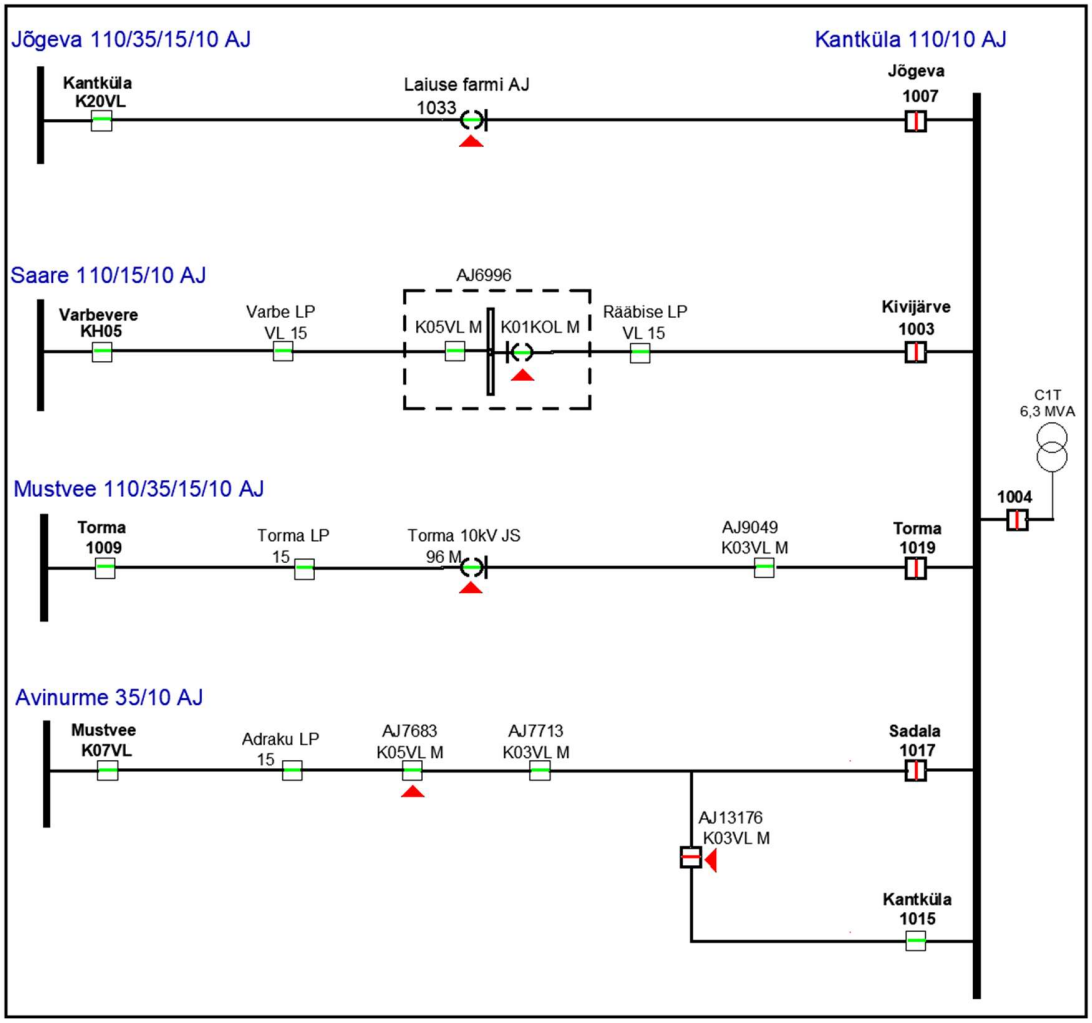


Joonis 3.13. Kantküla PAJ trafode koormuse sõltuvus välistemperatuurist [17][19].

Jooniselt 3.13 nähtub, et seos välistemperatuuri ja trafo koormatuse vahel on olemas, kuid see ei ole nii tugevas sõltuvuses nagu Keila ja Keila-Joa piirkonnaalajaamade juures. Lineaarne korrelatsioonikordaja (R) kahe suuruse vahel on -0,54, mis väljendab keskmist pöördvõrdelist seost. Korrelatsioonikordaja erinevust võrreldes Keila ja Keila-Joa PAJ-dega võib selgitada kahel viisil. Ühelt poolt ei ole tõenäoliselt maapiirkonnas küttesüsteemide ehitamisel mindud nii massiliselt üle elektril põhinevatele küttemeetoditele (eelkõige erinevatele soojuspumpadele) ning teine ja ilmselt isegi olulisem põhjus on asjaolu, et Kantküla PAJ lähedal asub suurtarbijast tööstusettevõte, mille tootmisprotsess ei sõltu välistemperatuurist. Nimetatud tehas asub Kantküla fiidri lõpus (vt. tabel 3.6) ning sellele edastatud elektrienergia kogus moodustab ligikaudu 40% kogu Kantküla PAJ edastusmahust, mistõttu saab väita, et nimetatud tarbijal on Kantküla PAJ koormatusele väga suur mõju.

Erinevalt Keila ja Keila-Joa PAJ-dest ei prognoosi Elektrilevi Kantküla PAJ toitepiirkonnas tulevikus elektritarbimise kasvu.

Kui Keila ja Keila-Joa PAJ trafode reserveerimine toimub läbi sama alajaama teise trafo, siis Kantküla PAJ-s kui ühetrafolises alajaamas pole see võimalik. Kantküla PAJ reserveerimine on ette nähtud toimuma läbi keskpingevõrgu. Selleks on Kantküla PAJ-l läbi 10 kV võrgu ühendused kokku nelja piirkonnaalajaamaga. Kantküla PAJ reserveerimisskeem on näidatud joonisel 3.14. Jooniselt on puudu Kantküla PAJ Kantküla fiidri reserveerimisskeem, kuna nõutavatele parameetritele vastavat lahendust selleks praegu olemas ei ole.



Joonis 3.14. Kantküla PAJ reserveerimisskeem.

4. VÕIMALUSED RESERVEERMISEKS

4.1 Keila-Joa piirkonnalajaam

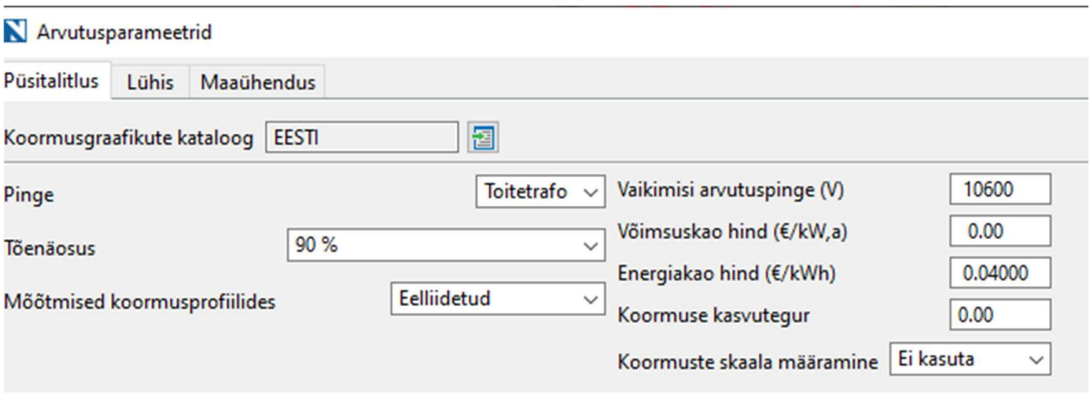
Keila-Joa PAJ reserveerimisel on esimeseks valikuks ühe trafo mingil põhjusel tööst välja langemise korral tagada toide läbi teise trafo. T1T trafo tööst välja viimiseks ning kogu koormuse viimiseks T2T trafole tuleb avada võimsuslülitid 3535, 1003VL ja 1002VL ning sulgeda lahklüliti 3501. Lülitite asukohad on näidatud alajaama skeemil lisas 2. Vastupidiseks lahenduseks (T2T tööst välja viimiseks) tuleb avada võimsuslülitid 3545, 1004VL ja 1002VL ning sulgeda lahklüliti 3501.

Nagu peatükis 3.1 kirjeldatud on Keila-Joa PAJ ühendatud Keila PAJ-ga läbi kahe 35 kV õhuliini. Tabelis 4.1 on välja toodud Keila-Joa PAJ 10 kV fiidrite ühendused teiste piirkonnaalajaamadega ning Keila-Joa PAJ teiste fiidritega.

Tabel 4.1. Keila-Joa PAJ 10 kV ühendused

Fiider	Toite-trafo	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Normaalvahe asukoht (alajaam või lahutuspunkt)
Joa	T1T	Keila-Joa PAJ - Elektroni F	AJ Joa
Laulasmaa I	T1T	Keila-Joa PAJ - Laulasmaa II F	Laulasmaa JA
		Keila-Joa PAJ - Laulasmaa II F	AJ7842
		Keila PAJ - Entek III F	AJ8743
Meremõisa	T1T	Keila-Joa PAJ - Laulasmaa II F	AJ Pansionaadi
Vääna	T1T	Keila PAJ - Karjaküla F	AJ12996
		Keila-Joa PAJ - Laulasmaa II F	Juku LP
Elektroni	T2T	Keila-Joa PAJ - Joa F	AJ Joa
Laulasmaa II	T2T	Keila-Joa PAJ - Laulasmaa I F	Laulasmaa JA
		Keila-Joa PAJ - Laulasmaa I F	AJ7842
		Keila-Joa PAJ - Meremõisa II F	AJ Pansionaadi
		Keila-Joa PAJ - Vääna F	Juku LP
		Rummu PAJ - Rummu II F	AJ7846
		Rummu PAJ - Rummu II F	AJ Klooga-2
		Elevaatori PAJ - Jõusööda F	AJ Klooga-2
Türisalu	T2T	Keila PAJ - Metsaküla F	AJ Kartuli
		Keila PAJ - Tutermaa F	AJ Vääna

Tabelist 4.1 on näha, et kõik Keila-Joa PAJ 10 kV fiidrid välja arvatud Türisalu on reserveeritavad sama alajaama teise trafo kaudu. See võimaldab näiteks teha hooldustöid trafo fiidrikaitse lülitites. Trafode omavahelise reserveeritavuse vaates ühe alajaama kahe sektsiooni vahelised ühendused efekti ei oma, kuna trafode summarne koormus jääb samas, olenemata mis trafoga parasjagu konkreetset fiidrit toidetakse. Trafode reserveeritavuse vaatest on olulisem vaadelda ühendusi teiste piirkonnaalajaamadega. Kui on võimalik mõne fiidri koormus viia üle teise PAJ toitele, siis väheneb seeläbi Keila-Joa PAJ töös oleva trafo koormus ning võib olla võimalik, et sellise lahenduse korral suudetakse tagada trafode reserveeritavus. Tabelis 4.2 on arvutatud pingekaod ja maksimaalsed koormusvoolud Keila-Joa PAJ 10 kV fiidrite reserveerimisel teiste PAJ-de kaudu, seda nii senise maksimumkoormuse kui ka 10 aasta perspektiivis prognoositava 30% elektrienergia tarbimise kasvu korral. Kõik arvutused on tehtud tarkvaraga Trimble NIS, mida Elektrilevi kasutab võrkude planeerimisel ja võrguarvutuste tegemisel. Trimble NIS võimaldab seadistada arvutusparameetreid, mistõttu on võimalik teha arvutusi nii koormusprofiilide põhiselt (vastavalt peakaitsme suurusele ja tarbimiskoha tüübile) kui ka põhinedes tarbimiskohtade reaalsetele tarbimistele. Käesolevas magistritöös tehtud arvutustes on kasutatud viimast varianti, milleks tuleb Trimble NIS arvutusparameetrite menüüs (joonis 4.1) valida mõõtmiste koormusprofiilideks valik „eelliidetud“. Samas menüüs on võimalik võtta arvesse ka koormuse kasvu tulevikus. Selleks tuleb välja „koormuse kasvutegur“ sisestada koormuse kasvu kordaja, milleks praegusel juhul on 1,3 (+30%). Arvutamaks võrguparameetreid hetkekoormusel tuleb märkida kasvuteguri väärtuseks 0.



Joonis 4.1. Arvutusparameetrid tarkvaras Trimble NIS.

Tabel 4.2. Keila-Joa PAJ reserveerimisparameetrid läbi 10 kV võrgu

Fiider	Toite-trafo	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Reserveeriva skeemi tüviliini pikkus, km	Praegune koormus		2035 koormus (+30%)	
				Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
Laulasmaa I	T1T	Keila PAJ - Entek III F	28,0	18,61	229	25,2	313
Vääna	T1T	Keila PAJ - Karjaküla F	15,9	11,49	102	15,16	136
Laulasmaa II	T2T	Rummu PAJ - Rummu II F	37,0	17,51	161	23,93	223
		Rummu PAJ - Rummu II F	25,7	14,54	158	19,81	216
		Elevaatori PAJ – Jõusööda F	28,2	20,06	232	27,11	319
Türisalu	T2T	Keila PAJ - Metsaküla F	22,2	15,67	141	20,91	191
		Keila PAJ - Tutermaa F	24,7	28,15	223	37,98	313

Tabelis 4.2 olevatest arvutustulemustest nähtub, et Keila-Joa PAJ ühendused teiste piirkonnaalajaamadega on reserveerimiseks ja seeläbi Keila-Joa PAJ trafode koormuse vähendamiseks ebapiisavad ning kõikide ühenduste puhul ületab maksimaalne pingekadu märgatavalt lubatava maksimumi, milleks on 10%. Kõige väiksem on pingekadu Vääna fiidri reserveerimisel, kuid arvestades Vääna fiidri suhteliselt väikest osakaalu kogu Keila-Joa PAJ koormusest (13%) ning läbi Keila PAJ Karjaküla fiidri toite tagava reserveeriva skeemi üsna suurt vahekaugust (15,9 km), siis ei ole selle ühenduse läbilaskevõime suurendamine mõistlik. Teised 10 kV ühendused on märgatavalt suurema pingekaoga ning veelgi pikemate vahekaugustega, millest võib järeldada, et Keila-Joa PAJ trafode reserveerimisel tuleb keskenduda trafode asendamisele suurema nimivõimsusega trafodega ning seeläbi reserveerimisvõimekuse parendamisele.

Arvutatud võrguparameetrid praeguste trafode korral senise maksimaalse tarbimise perioodil ja 10 aasta perspektiivis prognoositud 30% suuruse tarbimise kasvu korral on välja toodud tabelis 4.3.

Tabel 4.3. Keila-Joa PAJ võrguparameetrid erinevate koormuste korral (olemasolev olukord)

Fiider	Toite-trafo	Praegune koormus			2035 koormus (+30%)		
		Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
Joa	6,3 MV·A T1T	0,29	3,74	15	0,38	5,22	20
Laulasmaa I	6,3 MV·A T1T	2,60	6,35	120	3,38	8,70	161
Meremõisa	6,3 MV·A T1T	1,11	5,04	54	1,44	6,96	72
Vääna	6,3 MV·A T1T	1,42	5,65	62	1,85	7,74	82
Kokku	**T1T**	**5,42**	**-**	**-**	**7,05**	**-**	**-**
Elektroni	4,0 MV·A T2T	0,35	4,27	14	0,46	5,91	19
Laulasmaa II	4,0 MV·A T2T	3,25	6,27	85	4,23	8,55	114
Türisalu	4,0 MV·A T2T	2,04	7,91	95	2,04	10,73	127
Kokku	**T2T**	**5,17**	**-**	**-**	**6,72**	**-**	**-**
Kokku	**T1T+T2T**	**10,59**	**-**	**-**	**13,77**	**-**	**-**

Tabelis 4.3 olevates arvutustulemustest on näha, et T2T trafo nimivõimsus (4 MV·A) on ületatud juba praegu, 10 aasta pärast võib sama juhtuda ka T1T trafoga (nimivõimsus 6,3 MV·A MV·A). Samuti ületab tarbimise kasvades normaalskeemil T2T trafo toitel olevas Türisalu fiidris pingekadu lubatud 10% piiri. Olemasolevate trafodega jätkates võib külmema talve korral ette näha probleeme tavapärases tööolukorras normikohase elektrivarustuse tagamisega ning igasugune reserveerimisvõimekus sel perioodil puudub.

Nagu peatükis 3.1 kirjeldatud, siis plaanib Elektrilevi lähiajal asendada mõlemad Keila-Joa PAJ trafod. Tabelis 4.4 on arvutatud võrguparameetrid uute trafode korral.

Tabel 4.4. Keila-Joa PAJ võrguparameetrid erinevate koormuste korral (uute trafodega)

Fiider	Toitetrafo	Praegune koormus			2035 koormus (+30%)		
		Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
Joa	16 MV·A T1T	0,29	2,52	15	0,38	3,57	20
Laulasmaa I	16 MV·A T1T	2,60	5,22	120	3,38	7,04	161
Meremõisa	16 MV·A T1T	1,11	3,91	54	1,44	5,3	72
Vääna	16 MV·A T1T	1,42	4,52	62	1,85	6,09	82
Kokku	**T1T**	**5,42**	**-**	**-**	**7,05**	**-**	**-**
Elektroni	10 MV·A T2T	0,35	2,91	14	0,46	3,91	19
Laulasmaa II	10 MV·A T2T	3,25	4,91	85	4,23	6,55	114
Türisalu	10 MV·A T2T	2,04	6,55	95	2,04	8,73	127
Kokku	**T2T**	**5,17**	**-**	**-**	**6,72**	**-**	**-**
Kokku	**T1T+T2T**	**10,59**	**-**	**-**	**13,77**	**-**	**-**

Tabelis 4.4 olevatest arvutustulemustest nähtub, et trafode asendamine lahendab praegused probleemid T2T trafo koormatuse ja reserveerimisvõimekusega. Trafode summaarne

koormatus on küll suurem kui T2T trafo 10 MV·A nimivõimsus, kuid see jääb erandolukorras lühiajaliseks koormuseks lubatud piirist (150% nimivõimsusest) allapoole. [14] Kokkuvõttes võib järeldada, et planeeritud meetmed on praeguse olukorra lahendamiseks sobilikud.

4.2 Keila piirkonnalajaam

Keila PAJ reserveerimisel on sarnaselt Keila-Joa PAJ-ga esimeseks valikuks ühe trafo mingil põhjusel tööst välja minemise korral tagada toide läbi teise trafo. C1T trafo tööst välja viimiseks ning kogu koormuse viimiseks C2T trafole tuleb avada võimsuslülitid 1VL3, VL3509, K03VL ning sulgeda koormuslüliti K02VL. Lülitite asukohad on näidatud alajaama skeemil lisas 3. Vastupidiseks lahenduseks (C2T tööst välja viimiseks) tuleb avada võimsuslülitid 1VL6, VL3512, K04VL ning sulgeda koormuslüliti K02VL.

Tabelis 4.5 on arvutatud praeguste trafode võrguparameetrid maksimaalse tarbimise perioodil ja 30% suuruse tarbimise kasvu juures, mis on prognoositud aastaks 2035.

Tabel 4.5. Keila PAJ võrguparameetrid erinevate koormuste korral

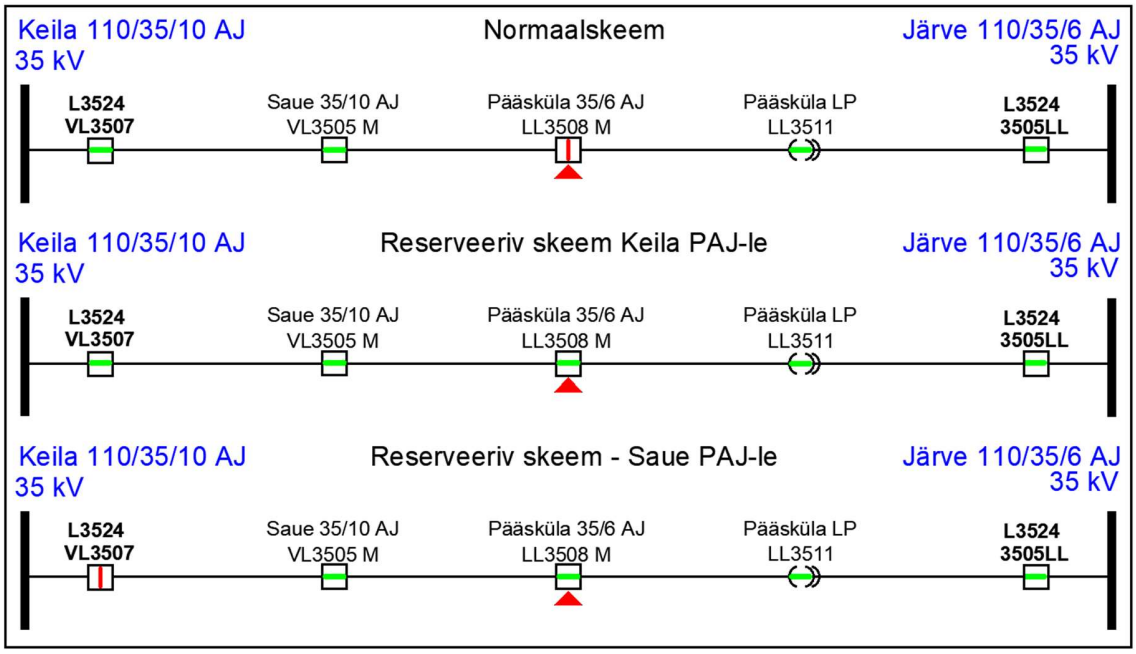
Fiider	Toite-trafo	Pinge-klass, kV	Praegune koormus			2035 koormus (+30%)		
			Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
A	B	C	D	E	F	G	H	I
L3527	C1T	35	2,03	0,94	45	2,67	1,31	59
L3529	C1T	35	3,79	0,65	60	5,03	0,93	79
L3524	C2T	35	8,35	0,40	131	11,10	0,75	175
L3526	C2T	35	5,46	3,74	99	7,25	5,26	132
L3528	C2T	35	2,77	2,16	44	3,71	3,11	58
Kokku (35 kV)	**-**	**-**	**22,40**	**-**	**-**	**29,77**	**-**	**-**
Entek III	C1T	10	1,17	2,30	64	1,54	3,03	84
Kombinaadi	C1T	10	1,45	0,77	79	1,89	1,01	103
Metsaküla	C1T	10	0,50	0,70	27	0,65	0,92	35
Kanala	C1T	10	0,25	0,10	13	0,33	0,15	17
Jõgisoo	C1T	10	1,75	8,07	95	2,32	10,64	126
Entek I	C1T	10	3,12	1,34	170	4,09	1,75	223
Karjaküla	C2T	10	0,63	1,75	34	0,83	2,28	45
Põhja	C2T	10	1,77	1,02	96	2,31	1,34	126
Tutermaa	C2T	10	1,47	7,08	80	1,96	9,32	107

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tibula	C2T	10	0,58	0,15	31	0,75	0,21	41
Maidla	C2T	10	1,01	4,03	55	1,34	5,34	73
Entek II	C2T	10	3,94	1,87	214	5,17	2,45	281
Kokku (10 kV)	**-**	**-**	**17,63**	**-**	**-**	**23,15**	**-**	**-**
Kokku (10 kV + 35 kV)	**-**	**-**	**40,03**	**-**	**-**	**52,92**	**-**	**-**

Tabelis 4.5 olevatest arvutustulemustest on näha, et pingekaod on normipärased kõikides fiidrites, seda nii praegu kui tulevikus, välja arvatud Jõgisoo fiidril, kus tulevikuvaates ületab pingekadu lubatud 10% piiri. Lähemalt tuleks vaadata fiidreid Entek I ja Entek II, mille koormusvoolud on 200 A ligiduses.

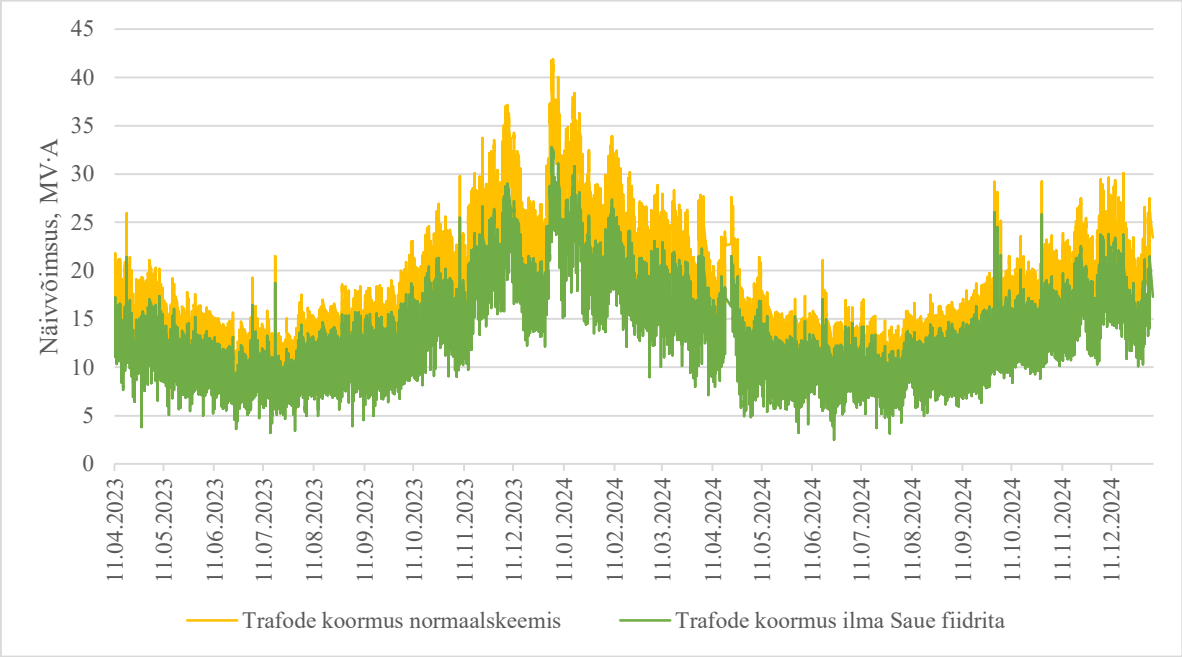
Uurides arvutuse tulemusi Trimble NIS tarkvaras selgus, et suuremad koormusvoolud olid mõlemas fiidris Keila PAJ lähedal olevates AHXAMK-W.3x240+35Cu maakaablites, mille lubatud maksimaalne koormusvool pinnases on 385 A [15] ning selles osas võrgutugevdusi teha ei ole vaja.

Üheks võimaluseks Keila PAJ trafode koormust vähendada on kasutada 35kV ühendust Järve 110/35/6 PAJ-ga mööda L3524 fiidrit läbi Saue 35/10 ja Pääsküla 35/6 alajaamade. Selle ühenduse joonskeem on näidatud joonisel 4.2.



Joonis 4.2. Keila PAJ 35 kV ühendus Järve PAJ-ga.

Joonisel 4.2 näidatud Keila PAJ reservskeemiga ei ole kindlasti võimalik tagada nõuetekohast elektrivarustust kogu Keila PAJ toitepiirkonnale, pigem saab vaadelda selle kasutamise võimalikkust Saue 35/10 PAJ 3325 tarbija toiteks (Saue reserveeriv skeem) ning seeläbi Keila PAJ koormuse vähendamiseks. Keila PAJ trafode kogukoormus, millest on maha arvestatud Saue PAJ suunal minev koormus on näidatud joonisel 4.3.



Joonis 4.3. Keila PAJ trafode koormusgraafik perioodil 04.2023-04.2025 [17].

Jooniselt 4.3 nähtub, et Saue fiidri välja lülitamine Keila PAJ toitelt avaldab märgatavat mõju trafode koormusele ning on üks võimalikest meetoditest ootamatu rikke korral Keila PAJ trafode koormuse vähendamiseks. Vaadeldud kahe aasta pikkusel perioodil moodustas Saue fiidri koormus keskmiselt 21% kogu Keila PAJ koormusest.

Trimble NIS arvutuse tulemused näitavad Keila PAJ Saue fiidri Järve PAJ toitele viimisel maksimaalseks pingekaoks 8,61%, mis on normipärane, kuid koormusvool Järve alajaama poolsetes liinilõikudes ulatub 544 A-ni, mis ületab kaablitele lubatud maksimumi. Kuna koormusvoolu alandamiseks oleks vaja teha mahukaid elektrivõrgu ümberehitustöid

tiheasustuspiirkonnas, siis pole nende realiseerimine mõistlik ning edasise reserveerimise analüüsi käigus tuleb arvestada Saue fiidri Keila PAJ toitele jäämisega.

Kuna Keila PAJ-l puuduvad peale eelpool kirjeldatud L3524 fiidri ühendus põhivõrguga läbi 35 kV võrgu, siis tuleb järgmise sammuna vaadelda selle ühendusi läbi 10 kV võrgu. Tabelis 4.6 on välja toodud Keila PAJ 10 kV fiidrite ühendused teiste piirkonnaalajaamadega ning Keila PAJ teiste fiidritega.

Tabel 4.6. Keila PAJ 10 kV ühendused

Fiider	Toite-trafo	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Normaalvahe asukoht (alajaam või lahutuspunkt)
Entek III	C1T	Keila PAJ - ENTEK II F	Linna JP-2
		Keila-Joa PAJ - Laulasmaa I F	8743
Kombinaadi	C1T	Elevaatori PAJ - Jõe F	Ülesõidu
		Elevaatori PAJ - Keskhaigla F	Ühiselamu
		Keila PAJ - Põhja F	AJ12642
Metsaküla	C1T	Keila-Joa PAJ - Türisalu F	Kartuli
Kanala	C1T	-	-
Jõgisoo	C1T	Laitse PAJ - Laitse F	Maasika
		Keila PAJ - Maidla F	Maasika
		Saue PAJ - Kanamaa F	23 Pundi LP
Entek I	C1T	Keila PAJ - ENTEK II F	Linna JP
		Keila PAJ - Põhja F	Leivatehase
Karjaküla	C2T	Keila-Joa PAJ - Vääna F	AJ12996
Põhja	C2T	Keila PAJ - Entek I F	Leivatehase
		Keila PAJ - Kombinaadi F	AJ12642
		Elevaatori PAJ - Piiri F	Pae
Tutermaa	C2T	Keila-Joa PAJ - Türisalu F	Vääna
		Harku PAJ - Harku-Vahealajaam F	Harku Vahealajaam
		Saue PAJ - Tutermaa F	Tutermaa küla
Tibula	C2T	-	-
Maidla	C2T	Laitse PAJ - Laitse F	Maasika
		Keila PAJ - Jõgisoo F	Maasika
Entek II	C2T	Keila PAJ - ENTEK I F	Linna JP
		Keila PAJ - ENTEK III F	Linna JP-2
		Elevaatori PAJ - Tamme F	Lastepäevakodu

Kui jätta välja Keila PAJ fiidrite omavahelised ühendused ning samuti Keila-Joa, Elevaatori ja Saue 35/10 kV PAJ-d, mis saavad oma 35 kV toite Keila PAJ trafodelt ja mille kaudu reserveerimine ei vähenda Keila PAJ trafode koormust, jääb alles kolm 10 kV ühendust Keila PAJ-st sõltumatute piirkonnaalajaamadega läbi Jõgisoo, Tutermaa ja Maidla fiidrite. Tabelis

4.7 on arvutatud nende kolme fiidri võrguparameetrid reserveerimisel, et seeläbi vähendada Keila PAJ trafode koormust.

Tabel 4.7. Keila PAJ reserveerimisparameetrid läbi 10 kV võrgu

Fiider	Toite-trafo	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Reserveeriva skeemi tüviliini pikkus, km	Praegune koormus		2035 koormus (+30%)	
				Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
Jõgisoo	T1T	Laitse PAJ - Laitse F	24,6	15,95	69	21,37	96
Tutermaa	T2T	Harku PAJ - Harku-Vahealajaam F	10,9	7,19	72	9,82	96
Maidla	T2T	Laitse PAJ - Laitse F	26,4	13,25	63	17,89	85

Tabelis 4.7 arvutatud parameetritest on näha, et ainsana uuritud kolmest reserveerimisvõimalusest on normidele vastav Tutermaa fiidri reserveerimine läbi Harku PAJ. Kui arvestada, et Tutermaa fiider moodustab Keila PAJ trafode koormusest vaid 3,7% (1,47 MV·A), siis võib selle reserveerimisskeemi kasutamine omada efekti teatavates piiripealsetes olukordades, kuid suures plaanis see märgatavat mõju ei oma.

Eelpool läbiviidud võrguarvutustest nähtub, et Keila PAJ reserveerimisel on pudelikaelaks 25 MV·A näivvõimsusega C1T trafo, mille võimsusest piisab tavarežiimis töötamiseks nii hetkel kui tulevikus, kuid töötades oma nimivõimsuse lähedasel koormusel ei suuda see reserveerimisolukorras võtta juurde C2T trafo koormust. Samuti on probleemne C2T trafo toitel olev 10 kV Jõgisoo fiider, mille pingekadu on hetkel 8,07% ning see näit suureneb 10 aasta perspektiivis 10,64%-ni.

Nagu peatükis 3.2 kirjeldatud, siis on Elektrilevi hetkel ette valmistamas C1T trafo asendamist 25(40) MV·A trafoga, mille järel on mõlemad trafod sama võimsusega ning võimelised teineteist reserveerima. Võimsama trafo kasutamine aitab lisaks vähendada pingekadusid elektrivõrgus. Pingekadu probleemiks olnud Jõgisoo fiidris väheneb pärast trafo vahetamist 8,07%-lt 6,38%-ni (2035. a. prognoostarbimise korral 10,64%-lt 8,35%-ni). C1T trafo fiidrite arvutustulemused uue 25(40) MV·A nimivõimsusega trafo korral on välja toodud tabelis 4.8.

Tabel 4.8. Keila PAJ C1T trafo võrguparameetrid 25(40) MV·A trafo korral

Fiider	Toite-trafo	Pinge-klass, kV	Praegune koormus			2035 koormus (+30%)		
			Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A	Näiv-võimsus, MV·A	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
L3527	C1T	35	2,03	0,74	45	2,67	0,91	59
L3529	C1T	35	3,79	0,51	60	5,03	0,62	79
Kokku (35 kV)	**-**	**-**	**5,82**	**-**	**-**	**7,70**	**-**	**-**
Entek III	C1T	10	1,17	1,82	64	1,54	2,36	84
Kombinaadi	C1T	10	1,45	0,61	79	1,89	0,75	103
Metsaküla	C1T	10	0,50	0,55	27	0,65	0,70	35
Kanala	C1T	10	0,25	0,08	13	0,33	0,10	17
Jõgisoo	C1T	10	1,75	6,38	95	2,32	8,35	126
Entek I	C1T	10	3,12	1,06	170	4,09	1,37	223
Kokku (10 kV)	**-**	**-**	**8,24**	**-**	**-**	**10,82**	**-**	**-**
Kokku (10 kV + 35 kV)	**-**	**-**	**14,06**	**-**	**-**	**18,52**	**-**	**-**

4.3 Kantküla piirkonnalajaam

Nagu peatükis 3.3 selgitatud, siis peab Kantküla PAJ kui ühetrafolise piirkonnaalajaama reserveerimine trafo rikke või hoolduse korral toimuma läbi keskpingevõrgu ühenduste teiste alajaamadega. Tabelis 4.9 on näidatud Kantküla PAJ ühendused läbi 10 kV võrgu.

Tabel 4.9. Kantküla PAJ 10 kV ühendused

Fiider	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Normaalvahe asukoht (alajaam või lahutuspunkt)
Torma	Mustvee PAJ – Torma F	Torma JP
Sadala	Avinurme PAJ – Mustvee F	AJ7683
Kantküla	Avinurme PAJ – Mustvee F[1]	AJ13176
Jõgeva	Jõgeva PAJ – Kantküla F	AJ9087
Kivijärve	Saare PAJ – Varbevere F	AJ6996

[1]Reserveerimine samaaegselt Sadala fiidriga

Lisaks tabelis 4.9 näidatud ühendusele Avinurme PAJ-ga saab Kantküla fiidrit reserveerida ka Jõgeva PAJ kaudu (üheaegselt Kantküla PAJ Jõgeva fiidriga) kasutades Kantküla PAJ 10 kV latistust. Lisas 4 oleval Kantküla PAJ skeemil tuleb avada trafo lüliti 10135 ning fiidrite lülitid

10035, 10175 ning 10195. Sellisel juhul tuleb Kantküla PAJ trafo lattide toide Jõgeva PAJ-st läbi Jõgeva fiidri suletud võimsuslüliti 10075 ning liigub edasi Kantküla fiidrile läbi võimsuslüliti 10155.

Tabelis 4.10 on arvutatud võrguparameetrid erinevate reserveerimisskeemide korral.

Tabel 4.10. Kantküla PAJ reserveerimisparameetrid läbi 10 kV võrgu

Fiider	Alternatiivne ühendus (PAJ – fiider)	Reserveeriva skeemi tüviliini pikkus, km	Pingekadu, %	Koormus-vool, A
Torma	Mustvee PAJ – Torma F	22,2	6,07	57
Sadala	Avinurme PAJ – Mustvee F	30,3	9,61	60
Kantküla	Avinurme PAJ – Mustvee F	31,9	30,33	151
	Avinurme PAJ – Mustvee F[1]	31,9	10,22	60
	Jõgeva PAJ – Kantküla F	16,6	13,53	91
	Jõgeva PAJ – Kantküla F[1]	16,4	3,87	37
Jõgeva	Jõgeva PAJ – Kantküla F[2]	15,4	3,85	37
Kivijärve	Saare PAJ – Varbevere F	30,2	7,63	41

[1]Reserveerimine ilma Kantküla fiidri lõpus oleva suurtarbijata
[2]Ainult Jõgeva fiidri reserveerimine Kantküla fiidri koormust arvestamata

Tabelis 4.10 olevatest arvutustulemustest nähtub, et nagu peatükis 3.3 põgusalt kirjeldatud on Kantküla PAJ nõuetekohane reserveerimine tagatud selle viiest 10 kV fiidrist neljal (Torma, Sadala, Jõgeva ja Kivijärve). Probleemne on Kantküla fiidri reserveerimisel nõuetekohase pingekao tagamine, seda eelkõige fiidri lõpus asuva suurtarbija tõttu, mis võrgu normaalolukorras asub üsna toitetrafo lähedal (Kantküla PAJ-st 1,2 km kaugusel) ning see hoiab pingekao minimaalsena (0,86%, tabel 3.6). Reserveerimisskeemidel jääb suurtarbija toitealajaamast kordades kaugemale ning see põhjustab suured pingekaod.

Kuna Kantküla fiider on lühike ja sellel puuduvad ühendused teiste PAJ-de keskpingevõrguga, siis parendamaks selle reserveeritavust tuleb tugevdada Jõgeva või Sadala fiidrit, läbi mille on

võimalik Kantküla fiidrit reserveerida, ühendusi teiste piirkonnaalajaamadega. Vaadates arvutustulemusi tabelis 4.10, siis on selge, et ühendus Avinurme PAJ-ga läbi Sadala fiidri on pika vahemaa ja ülisuure pingekao tõttu antud vaates väheperspektiivne. Seetõttu tuleb vaatluse alla võtta ühendus Jõgeva PAJ-ga, mis on kauguselt pea 2 korda lähemal ning mille läbilaskevõime suurendamine võib olla mõistlikum lahendus.

Et leida võimalusi läbilaskevõime parendamiseks tuleb vaadata võrgu konfiguratsiooni. Tabelis 4.11 on välja toodud Jõgeva ja Kantküla PAJ-de vahelises 10 kV tüviliinis (Jõgeva PAJ Kantküla fiider + Kantküla PAJ Jõgeva fiider) hetkel kasutusel olevad materjalid.

Tabel 4.11. Jõgeva ja Kantküla PAJ-de vahelise 10 kV ühenduse materjalid

Materjal	Voolujuhi ristlõige, mm^2	Tüüp	Pikkus, km
AHXAMK-W.3x95+35Cu	95	Maakaabel	0,03
AHXAMK-W.3x120+35Cu	120	Maakaabel	0,20
AHXAMK-W.3x240+35Cu	240	Maakaabel	0,34
AS-50	50	Paljasjuhe	14,17
SAX-50	50	Kaetud juhe	0,23
BLL-62	62	Kaetud juhe	0,44
Kokku	**-**	**-**	**15,41**

Nagu tabelist 4.11 näha, siis moodustab ülisuure osa (92%) kahe PAJ vahelisest ühendusest 50mm^2 suuruse ristlõikega voolujuhiga paljasjuhtmeline õhuliin. Üks võimalus Kantküla fiidri reserveerimisparameetreid parandada on asendada see BLL-99 kaetud juhtmega, mis on suurima ristlõikega juhe, mida Elektrilevi 6-20 kV õhuliinides on lubatud kasutada [20]. Lisaks Jõgeva ja Kantküla PAJ vahelisele õhuliinile saab Kantküla PAJ Kantküla fiidri reserveerimisparameetrite parendamiseks asendada ka Kantküla fiidris kasutusel oleva AŽ-35 paljasjuhtme samuti BLL-99 kaetud juhtmega (kogupikkus 1,0 km).

Leidmaks optimaalseim lahendus saab vaadelda õhuliini juhtme asendamist lõiguti. Tabelis 4.12 on reserveerimisparameetrite arvutused variantidele, kus alates Jõgeva PAJ-st on olemasolev 50 ja 62 mm^2 suuruse ristlõikega õhuliin asendatud BLL-99 kaetud juhtmega. Asendatava õhuliinilõigu lõpp asub mõnes liinile jäävas alajaamas või lahutuspunktis. Tabeli viimasel real olevas lahendusvariandis (variant 5) on lisaks Jõgeva ja Kantküla PAJ-de

vahelisele õhuliinile vahetatud õhuliini juhe ka kogu Kantküla PAJ Kantküla fiidril kuni suurtarbija liitumispunktiks oleva alajaamani AJ13176.

Tabel 4.12. Jõgeva ja Kantküla PAJ vahelise õhuliini asendamise mõju võrguparameetritele

Variandi nr	Õhuliini asendamise algus	Õhuliini asendamise lõpp	Asendatava õhuliini pikkus, km	Pinge-kadu, %	Koormus-vool, A
1	Jõgeva PAJ	LP14925	6,3	10,74	88
2	Jõgeva PAJ	AJ9087	8,1	10,09	88
3	Jõgeva PAJ	LL Vanatänava SL-2	11,2	9,17	87
4	Jõgeva PAJ	Kantküla PAJ	15,0	8,11	86
5	Jõgeva PAJ	AJ13176	16,0	7,57	86

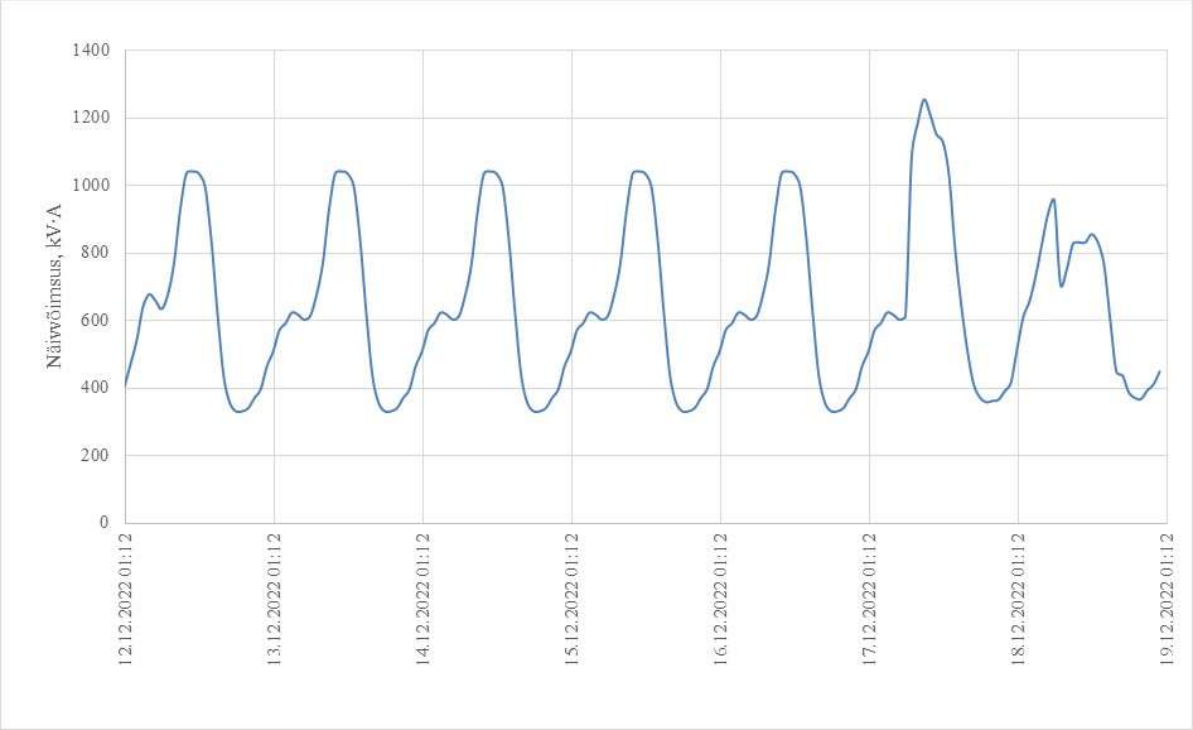
Tabelist 4.12 nähtub, et tagamaks Kantküla fiidrile normikohast pingekadu sobib lahenduseks variant 3 ehk õhuliini asendamine 11,2 km ulatuses. Lisamaks arvutustele majanduslikku mõõdet on tabelis 4.13 arvutatud prognooseelarved tabelis 4.12 kirjeldatud variantidele õhuliini asendamiseks. Eelarvete tegemisel on kasutatud võrguplaneerimistarkvara Trimble NIS laiendust Trimble NIM, mis võtab eelarvete tegemisel arvesse samas piirkonnas varasemate ehitushangete keskmisi ühikhindu. Lisaks õhuliini juhtme vahetusele tuleb eelarvestamisel arvesse võtta ka mastide võimaliku asendamise vajadust. Kuna liinil olevate puitmastide keskmine vanus on 14,1 aastat, siis võib eeldada, et need asendamist ei vaja. Raudbetoonmastide keskmine eluiga vaadeldaval liinil on 44,1 aastat ja õhuliini asendamisel suurema ristlõikega ning seetõttu ka raskema juhtmega toob kindlasti kaasa vajaduse osa neist asendada. Täpset analüüsi mastide seisukorra kohta käesoleva magistritöö raames tehtud pole, kuid tabelis 4.12 on välja toodud kolm stsenaariumit raudbetoonmastide asendamise vajaduse kohta – asendatakse vastavalt 25%, 50% või 100% liinilõigul olevatest mastidest. Arvutatud eelarved ei sisalda käibemaksu.

Tabel 4.13. Jõgeva ja Kantküla PAJ vahelise õhuliini asendamise prognooseelarve [7]

Variandi nr	Lõigu pikkus, km	Puit-mastid, nr	Raud-betoon-mastid, nr	Prognooseelarve (25% r/b mastidest asendatakse), €	Prognooseelarve (50% r/b mastidest asendatakse), €	Prognooseelarve (100% r/b mastidest asendatakse), €
1	6,3	46	46	163010	174224	196649
2	8,1	52	68	229350	245925	279075
3	11,2	72	94	323648	346561	392386
4	15,0	80	135	438118	471024	536837
5	16,0	82	145	485655	520999	591687

Tabelis 4.13 arvutatud prognooseelarvetest on näha, et variandi 3, mis tabeli 4.12 järgi sobib Kantküla PAJ Kantküla fiidri reserveeritavuse tagamiseks, maksumus jääb sõltuvalt vahetamist vajavate raudbetoonmastide hulgast vahemikku 323648-392386 eurot.

Alternatiivseks võimaluseks Kantküla fiidri reserveerimisel on kasutada fiidri lõpus asuvale suurtarbijale elektrivarustuse tagamiseks peatükis 2.2.3 kirjeldatud mobiilseid elektrijaamu ehk generaatoreid. Kui õnnestub see koormus fiidri lõpust ära jätta, siis on tabelis 4.10 arvutatud parameetrite kohaselt ülejäänud fiidri reserveerimine juba praeguse võrguga igati normipärane (pingekadu 3,87%). Et hinnata generaatorite kasutamise võimalikkust suurtarbija reserveerimisel tuleb vaadelda tema tarbitavat võimsust. Joonisel 4.4 on näidatud vaadeldava suurtarbija poolt kasutatud näivvõimsus seni suurima tarbimisega nädalal, milleks oli ajavahemik 12.12.2022-19.12.2022.



Joonis 4.4 Kantküla fiidril asuva suurtarbija maksimaalse tarbimisega nädala koormusgraafik [7].

Jooniselt 4.4 nähtub, et tarbimiskoha päevased maksimumkoormused olid vaadeldaval perioodil enamasti pisut üle 1000 kV·A ning ühel päeval 1250 kV·A juures. Keskmine näivvõimsus kogu perioodi jooksul oli 642 kV·A Sellise koormuse juures sobiks kasutada kolme 500 kV·A võimsusega generaatorit. Kui tarbijaga kooskõlastades selgub, et reserveerimise hetkel tarbimine senise maksimumini ei ulatu, siis võib piisata ka kahest 500 kV·A generaatorist.

Elektrilevil on olemas sarnases olukorras generaatorite kasutamise kogemus 2022. a. suvest, kui Kanepi PAJ rekonstrueerimistöödel tagati ühele suurtarbijale 10 päeva vältel elektrivarustus kahe 500 kV·A generaatoriga. Sellise lahenduse kogukulu, mis sisaldas generaatorite renti, kütust, ühendamist, järelvalvet jms oli ca 56000 € [21]. Kui arvestada tarbijahinnaindeksi muutust perioodil juuli 2022 kuni märts 2025 (+13,1%) [22], siis võib hetkel Kantküla PAJ juures sarnase lahenduse kasutamise maksumuseks prognoosida ligikaudu 63500 €. Kui võrrelda seda summat tabelis 4.13 arvutatud variandi nr 3 prognooseelarvetega, siis on generaatoritega lahendus ligikaudu 5-6 korda soodsam õhuliini asendamisest.

Üheks probleemiks tarbija reserveerimisel generaatorite abil on praegusel näitel asjaolu, et tarbija näol on tegemist keskpingel liitumisega. See tähendab, et kliendi liitumispunkt asub Kantküla fiidri lõpus alajaamas AJ13176 10 kV lattidel, kust väljub tarbijale kuuluv keskpingeliin, mis lõppeb tarbija kinnistul asuvas täies mahus tarbijale kuuluvas 10/0,4 kV jaotusalajaamas. Kuna vaadeldavate generaatorite tööpinge on 400 V, siis puudub Elektrilevil võimalus ühendada need tarbijale toite tagamiseks endale kuuluvasse võrku ning ühendus tuleb teha tarbijale kuuluvas alajaamas madalpinge poolel. See eeldab kliendiga eelnevat kooskõlastamist ning pikemat planeerimist, mistõttu saab sellist lahendust kasutada planeeritud katkestuste korral. Rikkeliste katkestuste korral, mis nõuavad kiiremat tegutsemist on selline lahendus keerukam, kuid eelnevate kokkulepete või lepingute korral siiski võimalik.

4.4 Järeldused

Kolme erineva piirkonnaalajaama (Keila, Keila-Joa ja Kantküla) analüüs näitas, et reserveerimisvõimekuse tase ja lahenduste teostatavus sõltuvad otseselt alajaama tüübist, ülesehitusest ja seotusest ümbritseva jaotusvõrguga. Kõik kolm alajaama omavad oma

spetsiifikat ning sellega seotud kitsaskohti, mis määravad ära reserveerimise tehnilised võimalused ja piirangud.

Keila ja Keila-Joa alajaamad on kahetrafolised, mis teoorias võimaldaksid suuremat töökindlust ja paindlikkust võrreldes ühetrafolise Kantküla alajaamaga. Samas tõi töö esile, et isegi kahe trafoga alajaamade puhul ei pruugi reserveerimine olla piisav, kui ühe trafo rikke korral peab teine üksi üle võtma kogu koormuse. Eriti problemaatiliseks osutusid olukorrad talvisel maksimumkoormuse perioodil, kus trafode nimivõimsus osutus ebapiisavaks ning esines oht nende ülekoormamiseks. Samuti esines probleemseid liine, mille pingekadu ületas lubatud normi, mistõttu ei olnud kõik fiidrid reserveeritavad ka siis, kui ühendus teoreetiliselt eksisteeris. Võrguarvutused kinnitavad, et lähiajaks planeeritud trafode asendamised (kokku asendatakse Keila ja Keila-Joa PAJ-de neljast trafost kolm) on reserveeritavuse tagamiseks piisavad.

Kantküla alajaama puhul oli reserveerimine keerulisem, kuna tegemist on ühetrafolise ja võrgus vähem integreeritud alajaamaga. Reserveerimine sõltub täielikult ümbritsevatest keskpingevõrgu ühendustest, mille kaudu saab võimalusel suunata tarbijaid ümber teistesse alajaamadesse. Analüüs näitas, et osa fiidreid on reserveeritavad, kuid mitte kõik – põhjuseks on nii liinide võimsuspiirangud kui ka kaugus ja pingekadu. Probleemse Kantküla fiidri lõpus asuva suurtarbija reserveeritavuse tagamine on võimalik kahel viisil – kas tugevdades Kantküla ja Jõgeva PAJ-de vahelist 10 kV õhuliini või kasutades generaatoreid.

Kokkuvõttes võib öelda, et reserveerimisvõimekus Eesti jaotusvõrgus on hetkel ebaühtlane ning sõltub suuresti võrgu lokaalsest ülesehitusest. Kuigi mõnes piirkonnas on tehnilised eeldused reserveerimiseks olemas tuleb töökindluse tagamiseks investeerida süsteemselt kogu elektrivõrgu parendamisse, sealhulgas ka alajaamade varustuskindluse tõstmisse.

5. KOKKUVÕTE

Käesolev magistritöö käsitles Eesti elektrivõrgu piirkonnaalajaamade reserveerimisvõimalusi, keskendudes kolmele konkreetsele alajaamale: Keila, Keila-Joa ja Kantküla. Töö eesmärk oli uurida, kuivõrd suudavad need alajaamad säilitada elektrivarustuse töökindluse juhul, kui üks jõutrafodest peaks rivist välja langema. Reserveerimisvõimekuse analüüs on oluline osa elektrivõrgu planeerimisest ja riskijuhtimisest, eriti olukorras, kus energiasüsteem muutub järjest koormatumaks ja sõltuvamaks tehnoloogilisest töökindlusest.

Töö teoreetilises osas anti ülevaade Eesti elektrivõrgust, piirkonnaalajaamade ülesehitusest, trafode rollist ja elektrivõrgu varustuskindluse tagamise põhimõtetest. Analüüsi praktiline osa põhines konkreetsete võrguandmete, liinide läbilaskevõime ning trafode nominaalvõimsuste uurimisel. Eri stsenaariumite kaudu modelleeriti olukordi, kus mõni PAJ trafodest on töövõimetu ning hinnati, millistel tingimustel on võimalik koormus suunata ümber töötavasse trafosse või läbi jaotusvõrgu teistesse piirkonnaalajaamadesse.

Töö tulemusel ilmnes, et reserveerimine on tehniliselt keerukas ja sõltub mitmest tegurist – trafode võimsusest, pingekadudest, ühendusliinide olekust ning piirkondliku tarbimise iseloomust. Kuigi kahetrafolised alajaamad võimaldavad teoorias suuremat paindlikkust, ei taga see automaatselt, et kogu koormus on häireolukorras reserveeritav. Ühetrafolise Kantküla alajaama puhul on võimalused veelgi piiratumad, kuna puudub varutrafo ning toetumine keskpingevõrgule on piiratud liinide võimekuse ja kauguste tõttu.

Magistritöö oluliseks väärtuseks on asjaolu, et see ei piirdu üksnes tehniliste lahenduste loeteluga, vaid aitab laiemalt mõista reserveerimisvõimekuse mõju elektrivõrgu töökindlusele, tarbijate rahulolule ning ettevõtte riskijuhtimisele. Analüüsist nähtus ka vajadus koordineeritud arendustööde järele, et viia reserveerimisvõimekus vastavusse tänapäevaste varustuskindluse nõuetega.

Kokkuvõttes annab töö panuse Eesti elektrivõrgu töökindluse käsitlusse, toetades võrguettevõtjate ja planeerijate otsuseid selles vallas. Tulevikus võiks sarnast lähenemist laiendada ka teistele alajaamadele üle Eesti, et kujundada ühtne ja koordineeritud pilt võrgu

talitluskindlusest ja selle arenguvõimalustest. Samuti vajab analüüsimist tootmise reserveerimisega seotud probleemistik.

ALLIKALOEND

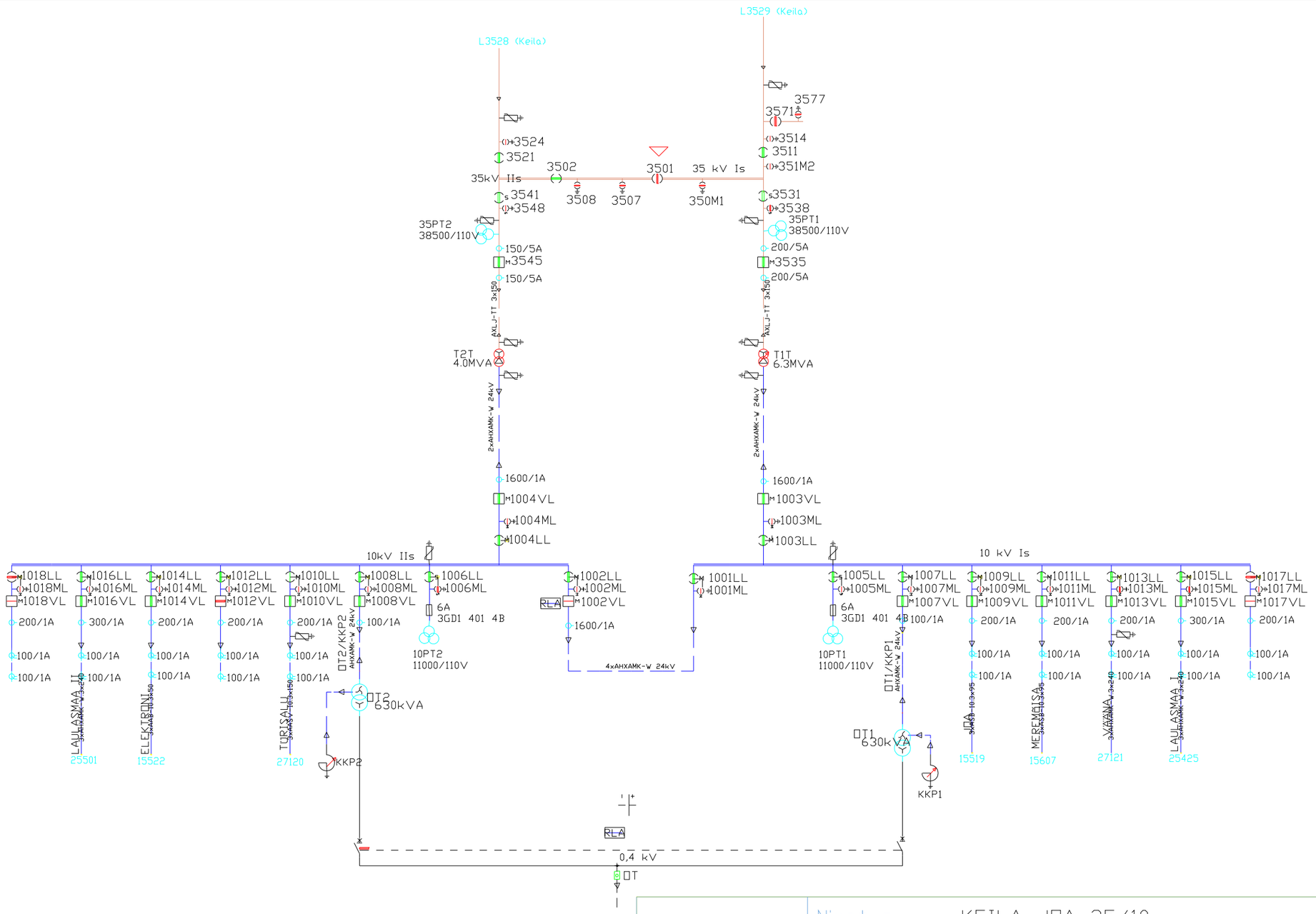
[1] **Meldorf, M., Tammoja, H.,Treufeldt, Ü., Kilter, J.** (2007). Jaotusvõrgud. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus. 546 lk.
[2] **Heinla, P.** (2025) Eesti-Läti neljas elektriühendus [veebileht]. https://www.elering.ee/eesti-lati-neljas-elektriuhendus (23.04.2025)
[3] **Heinla, P.** (2025) Estlink 3 [veebileht]. https://www.elering.ee/estlink-3 (23.04.2025)
[4] Elektri ülekandevõrk [veebileht]. Elering AS. https://www.elering.ee/elektri-ulekandevork (23.04.2025)
[5] Jaotusvõrgu arengukava aastani 2035 [arengukava]. Elektrilevi OÜ. https://www.elektrilevi.ee/documents/8644141/8650150/Elektrilevi-arengukava-2023 (23.04.2025)
[6] **Kapp, H.** J3338 Võrgutehnika põhimõtted. (18.03.2021). [juhend]. Elektrilevi OÜ.
[7] Trimble NIS. [tarkvara].
[8] Eesti keele seletav sõnaraamat. (2009). [veebileht]. Eesti Keele Instituut. https://arhiiv.eki.ee/dict/ekss/ (23.04.2025)
[9] Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral (2021). RT I, 28.09.2021, 10.
[10] Saamata jäänud energia hinna määramine (2024). Konkurentsiamet, 17.04.2024.
[11] EVS-EN 50160:2023. Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused. Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus.
[12] **Lepa, J., Jürjenson, K.** Energiavarustus. (2000) Tartu: Eesti Põllumajandusülikool. Põllumajandusenergeetika Instituut. 176 lk.
[13] Juhtide eritakistused [veebileht]. Informatorium OÜ. https://xn--fsikaleksikon-woba.ee/artikkel/fuusikaliste-suuruste-tabelid/juhtide-eritakistused/ (23.04.2025)
[14] **Mazikas, A.** P381 Jaotustrafode koormamise põhimõtted. (19.11.2024). [juhend]. Elektrilevi OÜ.
[15] Power cables [tootekataloog]. Prysmian Group. https://baltics.prysmian.com/sites/baltics.prysmian.com/files/2023-08/Prysmian-Group-Baltics_Catalogue_PowerCables_EN-2023-august.pdf (23.04.2025)
[16] **Rindla, H.** J394 Mobiilsete elektrijaamade kasutamine. (10.01.2025). [juhend]. Elektrilevi OÜ.
[17] PAJ TRAFO koormatus. - *ADMS SQL Server Reporting Services*. (17.04.2025).
[18] **Aavik, R.** Koormuse seis PAJ baasil. (26.03.2025). [analüüs]. Elektrilevi OÜ.
[19] Vaatlusandmed. [veebileht]. Keskkonnaagentuur. https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/ (23.04.2025)
[20] **Talvistu, M.** J3337 Planeerimise põhimõtted. (01.10.2024). [juhend]. Elektrilevi OÜ.
[21] **Kriisk, E.** Renditud generaatorite kasutamine. (10.12.2024). [ettekanne]. Elektrilevi OÜ.
[22] Tarbijahinnaindeksi kalkulaator. [veebileht]. Statistikaamet. https://stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/rahandus/hinnad/tarbijahinnaindeks (23.04.2025)

LISAD

Lisa 1. Elektrilevi varade mahud 2018-2024

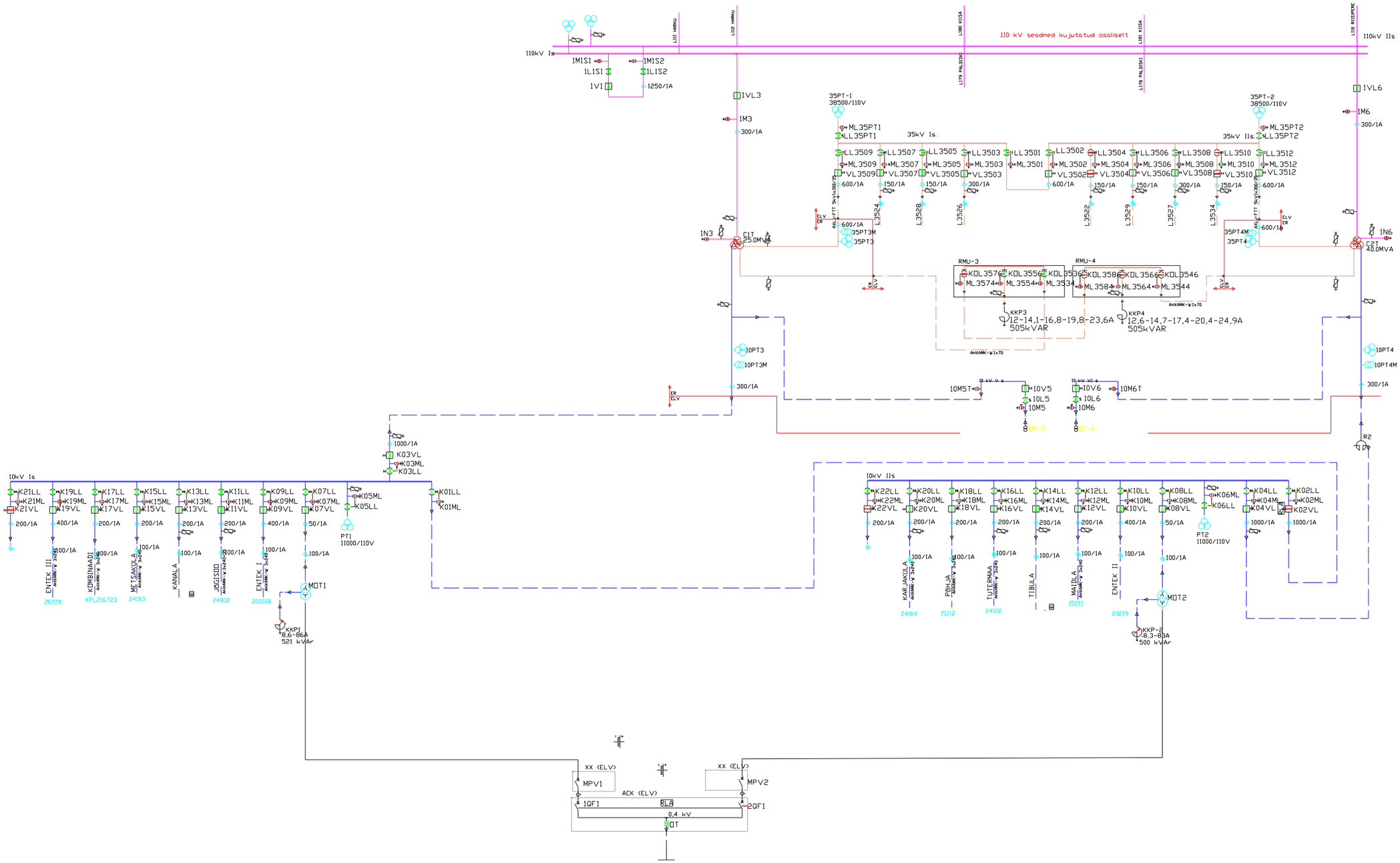
Elektrilevi vara	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Alajaamad, jaotusseadmed (tk)							
6-110 kV sektsioon					650	613	603
Jaotusalajaamad	220	215	206	202	202	201	196
Jaotuspunktid							252
KP/MP alajaamad	23 657	23 679	23 714	23 984	24 132	24 316	24 335
PAJ kokku (sh ER)	228	229	221	221	222	214	211
sh põhivõrguga ühised	133	134	133	133	132	135	135
sh ainult ELV alajaamad	95	95	88	88	90	79	76
Trafod (tk)							
35 kV ülempingega trafod	152	151	143	142	139	123	116
110 kV ülempingega trafod	26	26	42	58	62	64	67
Vahetrafod	28	27	27	33	39	38	39
Keskpinge/madalpinge trafod (sh OT)	27 148	27 170	27 300	27 527	27 688	27 859	28 048
Trafod kokku:	27 354	27 374	27 512	27 760	27 928	28 084	28 270
Elektriliinid (km)							
Õhuliinid (paljasjuhe)	21 520	20 439	19 372	18 550	17 748	16 983	16 317
35 kV	1 929	1 856	1 758	1 752	1 722	1 631	1 613
110 kV	61	61	61	61	61	61	61
6..20 kV	15 476	15 132	14 799	14 501	14 161	13 851	13 453
0,4..1kV	4 053	3 390	2 754	2 236	1 804	1 440	1 190
Kaetud juhtmega õhuliinid	20 571	21 097	21 604	22 145	22 620	22 953	23 396
6..20 kV	1 374	1 426	1 519	1 703	1 892	1 992	2 270
0,4..1 kV	19 197	19 671	20 085	20 442	20 728	20 961	21 126
Kaabelliinid	18 224	18 782	19 133	19 746	20 348	21 037	21 532
35..110 kV	99	97	98	97	97	99	100
6..20 kV	8 118	8 419	8 548	8 766	8 979	9 306	9 540
0,4..1kV	9 972	10 231	10 452	10 848	11 237	11 597	11 857
Merekaabel	35	35	35	35	35	35	35
Liinid kokku:	60 315	60 318	60 109	60 441	60 716	60 973	61 245
MP mastid	509 815	507 738	504 577	502 183	500 462	498 651	497 442
KP mastid	209 589	206 897	204 153	203 120	201 146	198 185	196 491
35-110 kV mastid	11 598	11 227	10 799	10 450	10 248	10 016	9 909
Mastid kokku (KÕP, KP, MP)	731 002	725 862	719 529	715 753	711 856	706 852	703 842

Lisa 2. Keila-Joa PAJ skeem



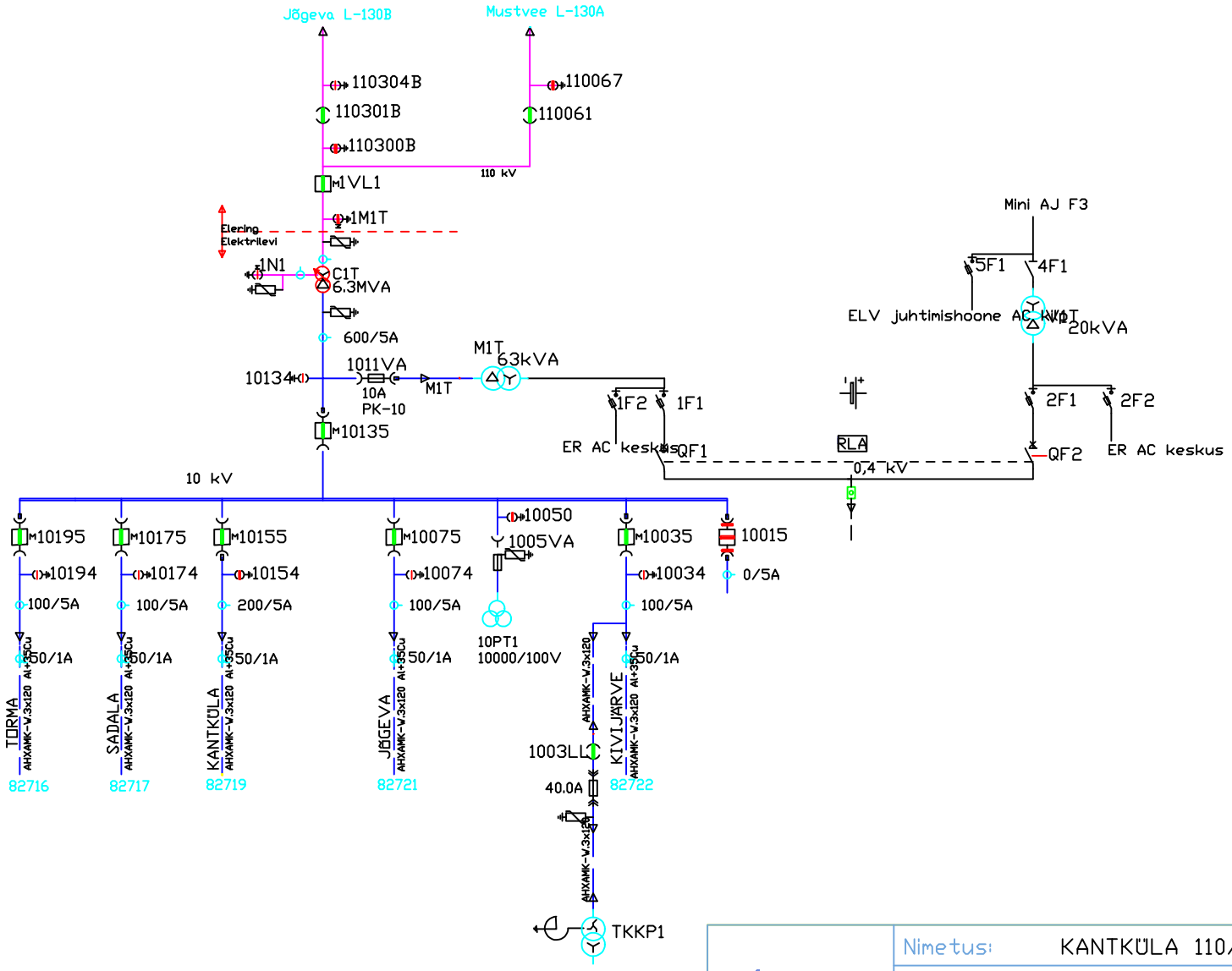
elektrilevi	Nimetus: KEILA-JOA 35/10	
	Alajaama aadress: Türisalu küla Keila vald, Harjumaa	
	Alajaama tüüp: PAJ	Kuupäev: 01.06.2021
	Teostas: Marina Gusseva	

Lisa 3. Keila PAJ skeem



elektrilevi	Nimetus: KEILA 110/35/10	
	Alajaama aadress: Tuitermaa küla Harku vald, Harju maakond	
	Alajaama tüüp: Piirkonna AJ	Kuupäev: 01.10.2023
	Teostas: Jelena Taratsenko	

Lisa 4. Kantküla PAJ skeem



elektrilevi	Nimetus: KANTKÜLA 110/10	
	Alajaama aadress: Iravere küla, Jõgeva vald, Jõgevamaa	
	Alajaama tüüp: PAJ	Kuupäev: 08.08.2022
	Teostas: Marina Gusseva	

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, **Indrek Moisa**

(*autori nimi*)

sünniaeg **20.06.1986**,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

   Piirkonnaalajaamade reserveerimisvõimalused erinevate alajaamade näitel,

   (*lõputöö pealkiri*)

   mille juhendajad on **Andres Annuk** ja **Mart Haavik**,

   (*juhendaja(te) nimi*)

   salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi EMU DSpace lisamiseks ja Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates lõputööd reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
2. olen teadlik, et lihtlitsentsiga antavad õigused jäävad alles ka mulle;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Juhendajad (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)