



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Karl Martin Põldsam

**MÕNUVERE ALAJAAMA VÕRGUPIIRKONNA
ELEKTRIVARUSTUSE REKONSTRUKTSIOON**

RECONSTRUCTION OF MÕNUVERE SUBSTATION
DISTRIBUTION NETWORK

Magistritöö
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: dotsent Tõnis Peets

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Karl Martin Põldsam		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Mõnuvere alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse rekonstruktsioon			
Lehekülgi: 76	Jooniseid: 21	Tabeleid: 23	Lisaid: 6
Õppetool: Energiakasutuse õppetool Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17 Energeetikaalased uuringud CERCS: T140 Energeetika Juhendaja: dotsent Tõnis Peets Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Mõnuvere alajaama fiider 1 ja fiider 3 tarbijatel on probleemid liialt suure pingekaoga ning liialt väikese lühisvooluga. Käesoleva töö eesmärgiks on kirjeldatud probleemide lahendamine Mõnuvere alajaama rekonstruktsiooni käigus. Vastavalt Elektrilevi OÜ projekteerimis ülesannetele on koostatud tehniline lahendus. Projekteeritud kaks uut alajaama koos maanduspaigaldisega. Teostatud vajalikud lühisvoolude, pingekadude ja masti tugevuse arvutused. Valitud sobivad kaitseparaadid ning koostatud selektiivsuse tagamiseks rakendumistunnusjooned. Leiti, et kõikide liitumispunktide pingekao ei vasta ka peale tavapärasest rekonstrueerimist nõuetele. Viimaks kõikide liitumispunktide pingekao nõuetele vastavusse uuriti erinevaid seadmeid, millega oleks antud olukorras võimalik pinget tõsta. Rekonstrueerides madalpingevõrgu ning kasutades pingetõstmiseks lisa seadet on kõikide liitumispunktide lühisvoolu ja pingekao väärtused viidud nõuetele vastavusse. Tagatud on võrgupiirkonna ilmastikukindlus.</p>			
Märksõnad: madalpingevõrk, rekonstrueerimine, pingekadu, lühisvool, pingetõstmine			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Karl Martin Põldsam		Curriculum: Energy Application Engineering	
Title: Reconstruction of Mõnuvere Substation Distribution Network			
Pages: 76	Figures: 21	Tables: 23	Appendixes: 6
Chair: Chair of energy application engineering Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17 Energetic Research CERCS: T140 Energy Research Supervisor: associated professor Tõnis Peets Place and date: Tartu 2018			
<p>The short-circuit current is too low and voltage loss is too big for clients in Mõnuvere substation feeder 1 and feeder 3. The aim on this thesis is to solve these problems with reconstructing the Mõnuvere substation. According to Elektrilevi OÜ's planning task a technical solution was made. Two new substations with earthing systems are designed. Necessary calculations for short-circuit current, voltage loss and for electrical pole strength are made. The correct circuit-breakers are chosen, and selectivity graphics are made. It was found that not all voltage loss problems will be solved with a regular reconstruction. To provide all clients with voltage loss within the regulations a study was conducted for a voltage boosting device. With reconstruction of the distribution network and using a voltage booster all problems with low short-circuit current and high voltage loss was solved. Weatherproofness of the distribution network is provided.</p>			
Keywords: solar irradiation, data acquisition, production estimation, conceptual device			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS	8
1. MÕNUVERE ALAJAAMA VÕRGUPIIRKONNA ELEKTRIVARUSTUSE REKONSTRUKTSIOONI VAJADUS	9
1.1 Jaotusvõrkude arengusuund.....	9
1.2 Mõnuvere alajaam	11
1.3 Fiider 1 olemasolev olukord	13
1.4 Fiider 3 olemasolev olukord	15
2. MÕNUVERE ALAJAAMA VÕRGUPIIRKONNA ELEKTRIVARUSTUSE REKONSTRUKTSIOON.....	16
2.1 Fiider 1 rekonstruktsioon.....	16
2.2 Fiider 3 rekonstruktsioon.....	18
3. VARUSTUSKINDLUSE ARVUTUSED	20
3.1 Trafo voolude ja takistuste arvutus.....	20
3.2 Mastalajaama maanduspaigaldise arvutus	22
3.3 Lühisvoolude arvutus	29
3.3.1 Olemasolev olukord.....	29
3.3.2 Lühisvoolude arvutus	30
3.3.3 Tulemused	32
3.4 Pingekao arvutus	33
3.4.1 Olemasolev olukord.....	33
3.4.2 Pingekao arvutus	34
3.4.2 Pinge vähenemine elektrivõrgus lühisrootoriga elektrimootori käivitamisel.....	36
3.4 Masti tugevusarvutus.....	38
3.4.1 Masti tugevusarvutuse meetodika	38
3.4.2 Kandemasti tugevusarvutus	41
4. KAITSESEADMETE VALIK JA SELEKTIIVSUS	44
4.1 Selektiivsuse saavutamise meetodika.....	44
4.2 Saki liitumispunkti kaitseesadmed ning selektiivsus	46
5. PINGEPROBLEEMIDE LAHENDAMINE LISASEADMEGA	49
5.1 Toitepinge kvaliteedi mõju elektriseadmetele	49
5.2 UPS seadmed.....	50
5.3 Elektromagnetilised pingetõstjad	54

5.4 Elektromehaanilised ja elektroonilised pingestabilisaatorid	58
5.5 Seadmete efektiivsuse võrdlus.....	61
5.5 Pinge tõstmisel autotrafo lülitus	63
5.6 Seadme valik	65
KOKKUVÕTE	66
KASUTATUD KIRJANDUS	67
LISAD	70
Lisa A. Mõnuvere AJ F1 Asendiplaan	71
Lisa B. Mõnuvere AJ F3 Asendiplaan	72
Lisa C. Mastalajaam 7975	73
Lisa D. Mastalajaam 7981	74
Lisa E. Normalskeem.....	75
Lisa F. Lihtlitsents	76

TÄHISED JA LÜHENDID

A	- masti ekvivalentne ristlõike pindala m^2 ;
b	- jäite paksus mm;
d	- läbimõõt m;
d_{al}	- masti läbimõõt maapinnal m;
DC	- alalisvool;
d_e	- masti ekvivalentne läbimõõt m;
$d_{ül}$	- masti ladva läbimõõt m;
F	- masti telglõike pindala m^2 ;
F1	- fiider 1;
h	- masti arvutatava osa kõrgus maapinnast m;
i	- inertsiraadius;
I	- jäitekoormus kaabli pikkusühiku kohta N/m;
I_2	- sekundaarvool A;
I_E	- maaühendusvool A;
$I_k^{(1)}$	- ühefaasiline lühisvool A;
$I_k^{(3)}$	- trafo kolmefaasiline lühisvool A;
I_n	- trafo nimivool A;
k_{12}	- trafo ülekandetegur;
l	- pikkus m;
L	- kahe visangu keskmine pikkus m;
M	- mastile mõjuv paindemoment N·m;
MVB	- magnetiline pingetõstja (<i>magnetic voltage booster</i>);
N	- juhtmete arv;
p_0	- tuule erisurve N/m^2 ;
P_0	- tuule survejõud pikkusühikule N/m;
P	- tarbitav võimused W;
P_j	- tuule surve visangule N;
P_m	- tuule surve mastile N;

R_m	-	vajalik maandustakistus Ω ;
R_v	-	pinnase eritakistus $m \cdot \Omega$;
s	-	juhi ristlõike pindala mm^2 ;
S_n	-	trafo nimivõimsus $V \cdot A$;
S_t	-	trafo nimivõimsus $kV \cdot A$;
$Z^{(1)}$	-	faas-neutraal ahela näivtakistus;
Z_E	-	maandustakistus Ω ;
Z_f	-	neutraaljuhtme näivtakistus Ω/km ;
$Z_l^{(1)}$	-	ühefaasilise liini näivtakistus Ω ;
Z_n	-	faasijuhtme näivtakistus Ω/km ;
$Z_t^{(3)}$	-	trafo kolmefaasiline näivtakistus lühise korral $m\Omega$;
t_f	-	rikke kestvus s ;
THD	-	harmooniliste kogumoonutus (<i>total harmonic distortion</i>);
U	-	liinipinge V ;
U_1	-	primaarpinge V ;
U_2	-	sekundaarpinge V ;
U_f	-	faasipinge V ;
$U_{k\%}$	-	trafo lühispinge %;
U_n	-	trafo nimipinge V ;
UPS	-	katkematu toiteallikas (<i>uninterruptible power supply</i>)
U_{tp}	-	puutepinge V ;
W_1	-	primaarmähise keerdude arv;
W_2	-	sekundaarmähise keerdude arv;
$\Delta U_{\%}$	-	liini pingekadu %;
λ	-	saledustegur;
η	-	varraselektroodi kasutegur;
ρ	-	juhi materjali eritakistus $\Omega \cdot mm^2/km$;
ρ_j	-	jäite tihedus g/cm^3 ;
σ_{lub}	-	puitmastile lubatav pingsus;
σ_p	-	mastisuunalistest jõududest tekkiv pingsus N/mm^2 ;
σ_r	-	ristsuunalistest jõududest tekkiv pingsus N/mm^2 ;
ω	-	murdumistegur.

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks on Mõnuvere alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse kvaliteedi parandamine. Sellega likvideerida olemas olevad lühisvoolu ning pingeprobleemid ning suurendada võrgu ilmastikukindlust. Töö aluseks on Elektrilevi OÜ poolt väljastatud projekteerimisülesanded nr. 26033 ning nr. 26072.

Töö esimeses osas on kirjeldatud jaotusvõrkude arengusuunda, kuhu Mõnuvere alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse rekonstruktsioon kuulub. Esitatud lisaks üldisele jaotusvõrgu arengusuunale ka alajaama fiider 1 ja fiider 3 tarbijatel olevad elektrivarustuse kvaliteedi probleemid. Töö eesmärgi saavutamiseks on töö teises, kolmandas ja neljandas osas esitatud projekteeritud tehniline lahendus ning teostatud vajalikud arvutused võrgu töökindluse tagamiseks. Viiendas jaotuses on toodud alternatiivne tehnilise lahenduse võimalus pingeprobleemide kõrvaldamiseks kui tavapärane võrgu rekonstrueerimine ei anna soovitud tulemust. Alternatiivseks lahenduseks on esitatud tarbija lähedusse paigaldatav pingestabilisaatori kasutamine.

Rekonstruktsiooni tulemusena ehitatakse senise Mõnuvere alajaama fiider 1 tarbijate toiteks uus mastalajaam 7975 ning fiider 3 tarbijate toiteks asendatakse senine komplektalajaam uue mastalajaamaga numbriga 7981. Tööde mahus demonteeritakse osaliselt paljasjuhtmeline õhuliin ning asendatakse täies mahus rippkeerdkaabliga. Ehitatakse lisaks uutele alajaamadele ka uut õhuliini ning paigaldatakse maakaabelliini. Madalpingevõrk viiakse vastavusse kehtivatele juhenditele ja standarditele.

Magistritöötöö aluseks on võetud Elektrilevi OÜ lähteülesanded ning Eesti Vabariigi seadused, õigusaktid ja standardid.

1. MÕNUVERE ALAJAAMA VÕRGUPIIRKONNA ELEKTRIVARUSTUSE REKONSTRUKTSIOONI VAJADUS

1.1 Jaotusvõrkude arengusuund

Ühiskond, mis on orienteeritud efektiivsusele sõltub järjest rohkem elektrivarustuse kvaliteedist. Peaaegu kõigil tarbimisaladel, tööstus-, kodutarbimine jne, on tõusnud klientide nõuded elektrivõrku töökindlusele ja elektrivarustuse pidevusele, seda just tänu keerulisemate elektriseadmete kasutuselevõtule. Kõige rohkem häirivad kliente elektrivõrku katkestused. Seega on jaotusvõrgu planeerimisel, projekteerimisel ning käidul üheks olulisemaks kriteeriumiks töökindlus. Töökindluse all mõeldakse tarbijate katkematu elektrivõrku [1].

Võrguettevõttele on klientide varustustaseme tõstmine seotud suurte kulutustega ning tihtipeale pole see majanduslikult tasuv. Kuid ka võrguettevõtte on töökindluse tõstmisest huvitatud kuna see võimaldab täita seadusandlusega kehtestatud võrguteenuste kvaliteedi nõudeid, võimaldab täita tarbijatega sõlmitud võrgulepingute tingimusi ning säilitab võrguettevõtte head mainet [1].

Euroopa jaotusvõrkude arengus mõnedeks võtmemomentideks paljude seast võib nimetada õhuliinide asendamise maakaabelliiniga nii kesk – kui madalpingel, paljasjuhtmeliste õhuliinide asendamise õhukaablitega ning liinide rajamise või ümberpaigutamise teede äärde. Need näited on vaid mõned paljudest kuid sobivad enim käesoleva tööga [1].

Eestis on jaotusvõrguettevõtteid enam kui 30 tükki. Nende seast kõige suurem on Elektrilevi OÜ. Elektrilevi OÜ madalpingevõrgus aastal 2013 oli ilmastikust tingitud rikkeid 56% kogu riketest ning võrgu vanusest tingitud rikkeid oli 29% [1, 2].

Elektrilevi OÜ jaotusvõrk hajaasustuspriirkonnas koosneb põhiliselt õhuliinidega ja väikeste kaablilõikudega fiidritest. Õhuliinide osakaal hajaasustuspriirkonnades on 86%, millest paljasjuhtmelised õhuliinid moodustavad 63%. Maakaabelliini osakaal on kõigest 14%.

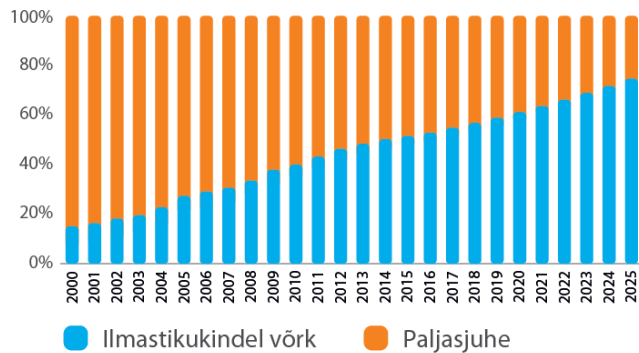
Õhukaabel annab võimaluse ära kasutada olemasolevate mastide eluea, sest vanadele mastidele saab paigaldada uue õhuliini. Selline lähenemine võimaldab kõige kiiremini parandada võrgu töökindlust. Madalpinge õhuliinide asendamine maakaabelliiniga on mõistlik teostada vaid uute liinide puhul uusehituste ja kinnisvara arenduste liitumisel. Järgnevas tabelis 1.1 on esitatud erinevat tüüpi liinide rikkesagedus 100 kilomeetri liini kohta. Uuring on tehtud Soomes. Nagu näha tabelist 1.1 on paljasjuhtmelistel liinidel kordades rohkem rikkeid kui teistel liinitüüpidel [1].

Tabel 1.1 Erinevat tüüpi liinide rikkesagedus 100 km liini kohta [1]

Liini tüüp	Liini asukoht, riket/100 km		
	Metsas	Tee ääres	Avamaal
Paljasjuhe	7,70	3,60	4,10
Kaetud (PAS) juhe	0,68	0,33	0,42
Õhukaabel	0,50	0,23	0,86
Maakaabel	0,79	0,78	0,82

Tuleks võimalikult palju pikendada olemasolevate liinide ja alajaamade eluiga hooldus- ja remonditöödega mis võimaldaks maksimaalselt ära kasutada olemasoleva võrgu ressursi ja vähendada jaotusvõrgu ettevõtte finantsriske. Investeeringute tegemisel tuleks eelistada tehnilisi lahendusi, mis on lihtsad ja ökonoomsed. Kuna hajaasustuse piirkonnas on enamuses keskustest kaugel olevad pikad liinid, mis on sageli ka metsa vahel, tuleb olulise kriteeriumina arvestada ka ilmastikukindlust. Kaugel ja raskesti ligipääsetavate liinide hooldamine ja rikete ning tormide kahjude likvideerimine on seotud märkimisväärsete kuludega [1].

Õhuliinide asendamine maakaabelliinidega tõstaks oluliselt jaotusvõrkude töökindlust, kuid see nõuaks palju suuremaid investeeringuid kui praegused võrgutasud võimaldavad. Ka ilmastikukindlus tuleks saavutada vastuvõetavate kuludega. Elektrilevi OÜ planeering, kus esitatud võrguinvesteeringute eesmärgid, realiseerimise meetodid ja valikukriteeriumid ei näe hajapiirkonnas ette õhuliini kogu ulatuses maakaablisse viimist vaid märgitakse vajadust nüüdisajastada õhuliine ning suurendada õhu- ja maakaablite osakaalu [1].



Joonis 1.1 Ilmastikukindla võrgu osakaalu dünaamika [1]

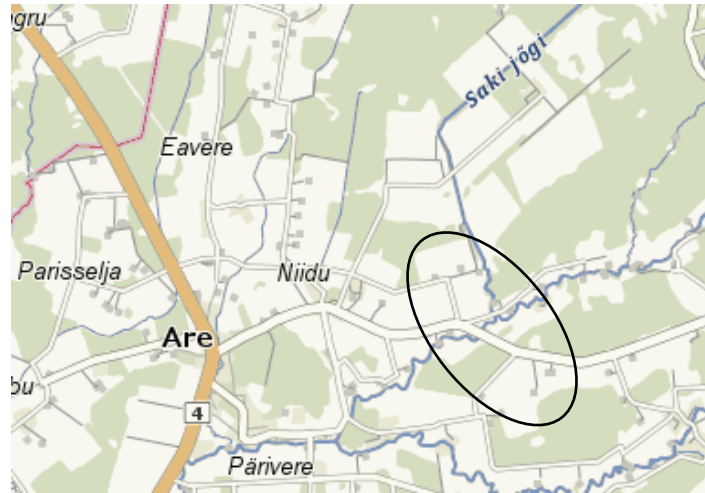
Joonisel 1.1 on esitatud ilmastikukindla võrgu osakaalu dünaamika, kus on näha, et aastal 2000 oli ilmastikukindla võrgu osakaal kõigest 15 %, hetkel on jõutud juba 50 % piirimaile. Energiamajanduse arengukava peab optimaalseks aastaks 2030 oleks ilmastikukindla võrgu osakaal ca. 75 – 80 % kogu madalpinge võrgust [1].

Elektrilevi OÜ sisemine eesmärk aastaks 2030 on rikestest põhjustatud katkestuste keskmine aeg tarbimiskoha kohta aastas minutites ehk SAIDI väärtus saavutada 130 kokku üle madalpingevõrgu. Ehk üks tarbimiskoht oleks aastas maksimaalselt 130 minutit ilma elektrivarustusega. Näiteks aastal 2012 oli SAIDI väärtuseks 188 [1, 2].

Järgnevas punktis on kirjeldatud Mõnuvere alajaama, mille kahel fiidril on veel kasutuses rikke aldis paljasjuhtmeline õhuliin. Saavutamaks Energiamajanduse arengukava poolt planeeritud ilmastikukindla võrgu osakaalu tõusu ning Elektrilevi OÜ töökindlusnäitaja SAIDI langust on otstarbekas käesolev alajaama võrgupiirkond kui ka sarnased teised alajaama võrgupiirkonnad rekonstrueerida.

1.2 Mõnuvere alajaam

Rekonstrueeritav objekt asub Pärnu maakonnas, Tori vallas, Niidu külas. Umbkaudne asukoht kujutatud joonisel 1.2. asuva ovaaliga. Asukoha kujutamisel on kasutatud Delfi.ee kaardirakendust.



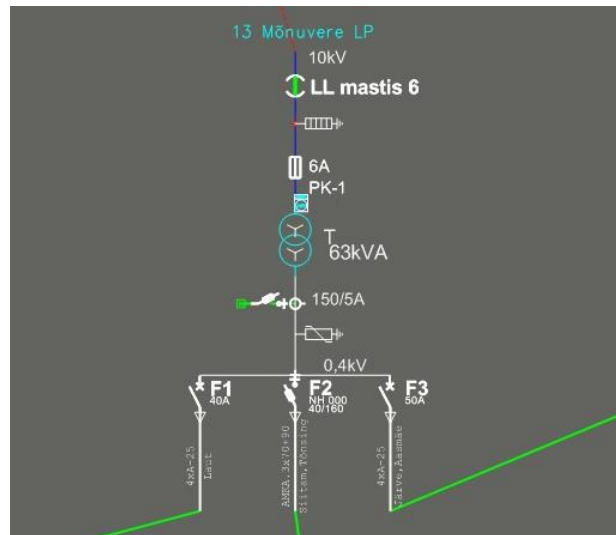
Joonis 1.2 Rekonstrueeritava objekti asukoht.

Toitealajaamaks Tori 35/10 fiider Suigu. Mõnuvere komplektalajaamas on kasutusel 63 kV·A võimsusega Y/Y lülitusgrupiga trafo. Alajaam toidab kolme fiidrit, millest fiider 2 on juba varasemalt rekonstrueeritud ning kasutusel rippkaabel AMKA 3*70+95. Fiidritel 1 ja 3 on siiani kasutusel paljasjuhtmeline õhuliin 4*A-25. Alajaam ja selle kolm fiidrid on käigus aastast 1988. Mõnuvere alajaam on esitatud joonisel 1.3, joonisel kasutatud foto on töö autori poolt koha peal tehtud.



Joonis 1.3 Mõnuvere alajaam.

Joonisel 1.3 on näha keskel Mõnuvere komplekt alajaama, taga pool puitpostiga ning rippkeerdkaabliga AMKA varustatud varem rekonstrueeritud fiider 2, vasakul rekonstrueeritav fiider 3 ning paremal fiider 1. Esiplaanil on Tori toitealajaama Suigu fiidri 10 kV keskpinge liin.



Joonis 1.4. Mõnuvere alajaama skeem.

Mõnuvere alajaama skeem on esitatud joonisel 1.4.

1.3 Fiider 1 olemasolev olukord

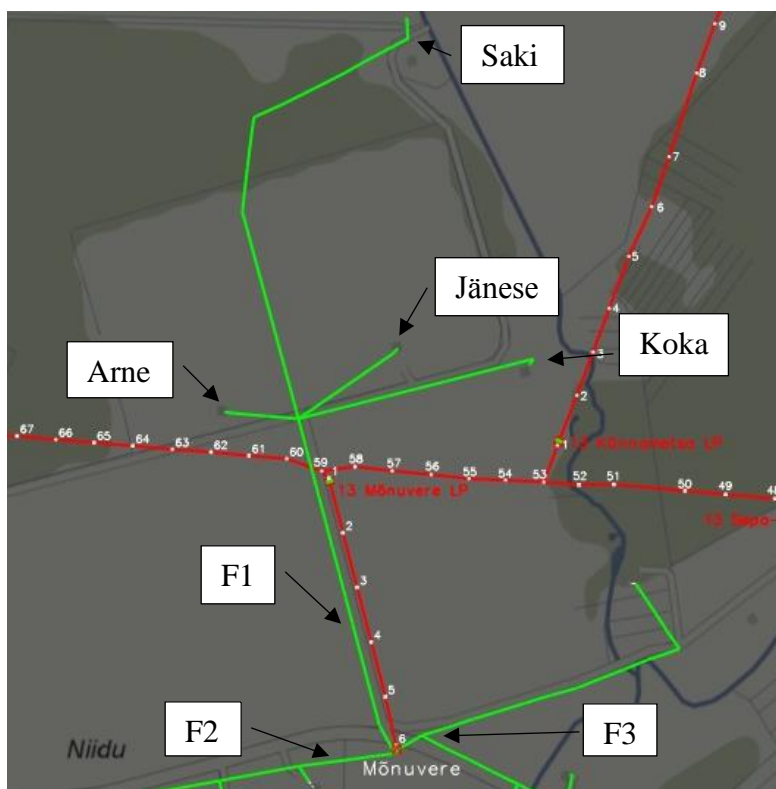
Mõnuvere alajaama fiider 1 toitel asub 4 tarbijat. Alajaama fiider 1 elektrivõrku kujutav skeem on esitatud joonisel 1.5. Nendeks on Arne kinnistu, Jänese kinnistu, Koka kinnistu ning Saki kinnistu. Alajaamast kõige kaugemal asuv tarbija on Saki kinnistu mis asub 1522 meetri kaugusel. Kauguseks on võetud elektriliini pikkus alajaamast tarbija liitumiskapini. Arvutades programmiga *Lühisvoolud 3.6* Saki kinnistu minimaalse ühe faasilise lühisvoolu siis selleks on 48,94 A.

Vastavalt Elektrilevi OÜ juhendile J342 / 6 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseseadmete valik“ liigitatakse Mõnuvere alajaama piirkond kui varem väljaehitatud võrguks, mis ehitati varem kui võeti kasutusele Eesti eeskiri EEI 3-4:1994 „Ehitiste madalpingeelektripaigaldised 4. osa: Kaitseviisid“ 1996 aasta juunist. Varem väljaehitatud võrk võib olla hiljem rekonstrueeritud või laiendatud. Seega ei lange Mõnuvere alajaama piirkonnale lühiskaitsele samu nõudeid mis uutele elektrivõrkudele, milleks on, et maksimaalne lubatav automaatne väljalülitamise aeg ei tohi olla suurem kui 5 s. Varem väljaehitatud võrgul on sätestatud, et lühise puhul läbiks fiidrikaitse vähemalt 3-kordse nimivooluga võrdne lühisvool eeldusel, et liitumiskilbid ehitatakse hoonetest välja, mitte hoone seinale [3].

Nagu näha jooniselt 1.4 on Mõnuvere alajaama fiider 1 fiidrikaitse ainult 40 A ning lühisvool fiidri lõpus 48,94 mis ei vasta Elektrilevi OÜ juhendile J342 / 6 „Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseseadmete valik“ nõutud 3 kordsele fiidrikaitse suurusele lühisvoolule [3].

Mõnuvere alajaama fiider 1 toitel olevate tarbijate peakaitse suurusteks on Arne kinnistul 3x16 A, Jänese kinnistu 1x20 A, Koka kinnistu 3x63 A ning Saki kinnistul 3x50 A. Fiidrikaitse suuruseks on vaid 40 A, mis ei võimalda tarbijatel kasutada neile peakaitse suurusega lubatud maksimaalset voolu.

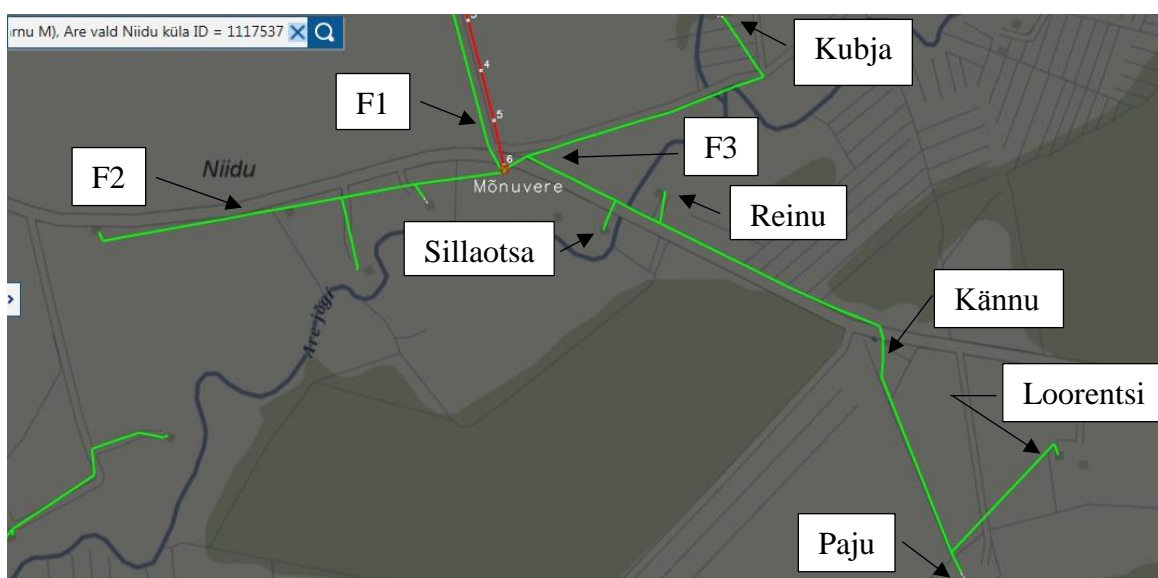
Arvutades fiidri kõige kaugemas punktis programmiga *Lühisvoolud 3.6* pingekao saadakse Saki kinnistu liitumispunktis selle väärtuseks 46,1 %, mis on kordades suurem kui lubatud väärtus standardi EVS-EN 50160:2010 + A1:2015 „Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused“, milleks punkti 4.2.2.1 kohaselt maksimaalseks pingekaoks kõikides madalpingevõrkude liitumispunktsed on 10 %, seega on lisaks teistele puudustele antud fiidril ka suur pingekadu [4].



Joonis 1.5 Mõnuvere alajaama fiider 1 elektrivõrk.

1.4 Fiider 3 olemasolev olukord

Mõnuvere alajaama fiider 3 toitel asub 6 tarbijat. Alajaama fiider 3 elektrivõrku kujutav skeem on esitatud joonisel 1.6. Tarbijateks on Kubja kinnistu peakaitsmega 3x32 A, Sillaotsa kinnistu peakaitsmega 1x20 A, Reinu kinnistu peakaitsmega 3x25 A, Kännu kinnistu peakaitsmega 3x25A, Paju kinnistu peakaitsmega 3x32 A ning Loorentsi kinnistu peakaitsmega 1x20 A. Alajaamast kõige kaugemal asuv tarbija on Loorentsi kinnistu mis asub 1663 meetri kaugusel. Kauguseks on võetud elektriliini pikkus alajaamast tarbija liitumiskapini. Arvutades programmiga Lühisvoolud 3 Loorentsi kinnistu minimaalse ühe faasilise lühisvoolu siis selle suuruseks saadakse 47,05 A mis ei vasta Elektrilevi OÜ juhendile J342 / 6 ning sama programmiga arvutatud pingekaoks saadakse 40,6 % mis ei vasta standardile EVS-EN 50160:2010 + A1:2015 [4].



Joonis 1.6 Mõnuvere alajaama fiider 3 elektrivõrk.

Nagu näha on Mõnuvere alajaama fiidritel 1 ja 3 suured probleemid lühisvoolude ning pingekadudega, millest kumbki ei vasta kehtivatele nõuetele. Nende probleemide kõrvaldamiseks väljastas Elektrilevi OÜ projekteerimisülesanded nr. 26033 fiider 1 jaoks ja nr. 26072 fiider 3 jaoks.

2. MÕNUVERE ALAJAAMA VÕRGUPIIRKONNA ELEKTRIVARUSTUSE REKONSTRUKTSIOON

2.1 Fiider 1 rekonstruktsioon

Nagu eelnevas töö jaotises kirjeldatud on Mõnuvere alajaama fiidritel 1 ja 3 probleemid liiga väikeste lühisvooludega ning liiga suure pingekaoga. Nende probleemide lahendamiseks on projekteeritud järgmised lahendused.

Mõnuvere alajaama F1 klientide toitmiseks ehitatakse uus mastalajaam 7975. Tori toitealajaama Suigu fiidri mastide 59 ja 60 vahele paigutatakse uus mast numbriga 59A. Mast 59A paigutatakse senise Mõnuvere alajaama fiider 1 ja Tori toitealajaama Suigu fiidri keskpinge liinide ristumiskohta. Mastile 59A ehitatakse mastalajaam MAK-1. Trafoks 10,5/0,41 pingega 100 kV·A võimsusega ning Y/Zo lülitusgrupiga trafo. Alajaama madalpingepoolel kasutatakse üldarvestiga standardkappi HELK4 MT ning väljaviigud fiidrile ehitatakse kaabliga AXPK 4G120. Trafo läbiviigud ja pingepiirikud kaetakse kaitsekateetega. Alajaama paigaldatakse kauglugemisega kaoarvesti. Uue alajaama asukoht on esitatud joonisel 2.2.



Joonis 2.2 Mastalajaama 7975 asukoht.

Kuna ehitatakse uus mastalajaam senise Mõnuvere alajaama fiider 1 tarbijate toiteks tarbijatele lähemale demonteeritakse kasutuks jääv liinilõik Mõnuvere alajaamast uue mastalajaamani 7975. Samuti demonteeritakse Jänese kinnistule minev õhuliini haru. Lisaks on Saki kinnistul tühjalt seisev raudbetoon mast mis samuti demonteeritakse. Kõik õhuliinid demonteeritakse koos mastide, mastitugede ning traaverstitega. Lisaks demonteeritavatele paljasjuhtmelistele õhuliini lõikudele asendatakse ka amortiseerunud raudbetoon mastid uute puit mastidega. Saki ja Koka kinnistute elektriliitumiste tarbeks paigaldatakse neile uued liitumiskapid mastidele kuna vanad liitumiskapid on juba amortiseerunud, teistel tarbijatel on liitumispunktid hoones sees. Demonteeritav ja tagastatav materjal fiider 1 kohta on esitatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Fiider 1 demonteeritav ja tagastatav materjal

Nr	Nimetus	Kõlblikkus	Ühik	Kogus
1	r/b post	Utiil	tk	43
2	Raudkonstruktsioon	Utiil	kg	301
3	Alumiiniumjuhe	Utiil	kg	599
4	Energiaarvesti 3f	Liitumiskappidesse	tk	2

Paljasjuhtmelistes õhuliinid, mida ei demonteerita asendatakse rippkaabliga AMKA 3x70+95 ning majasisestused asendatakse rippkaabliga AMKA 3x25+35. Asendatakse amortiseerunud raudbetoonmastid 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ja 20 uute puit mastidega. Lisatakse Jänese kinnistule uus puitmast nr 9 uue liinilõigu tarvis. Saki kinnistul asendada raudbetoon mast 31 uue puitmasti vastu 1,5 meetrit masti nr 30 poole, sellega parandatakse sissesõidu tee kasutusmugavust kuna vana mast oli täpselt sissesõidu tee kõrval. Senised toega mastid 4, 21 ja 25 asendatakse tõmmitsatega puitmastidega ning mastid 8, 9 ja 31 kindlustatakse toega. Mast nr 28 õigutakse.

Saki kinnistule paigaldatakse liitumiskapp 151871LK vana liitumiskapi asemele uuele puit mastile ning Koka kinnistul paigaldatakse liitumiskapp 151287LK samuti vana liitumiskapi asemele olemasolevale raudbetoon mastile. Saki kinnistu senine 3x50 A peakaitse vähendatakse 3x25 A peakaitsme vastu. Arne kinnistul on liitumispunkt hoone sees ning hoonesisestuseks on juba varasemalt paigaldatud rippkaabel AMKA. Fiider 1 rekonstrueerimisega projekteeritud lahendused on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Fiider 1 rekonstruktsiooniga projekteeritud tööd

Nr	Projekteeritud lahendus	Materjal	Kogus	Ühik
1	Projekteeritud 0,4 kV liitumiskappe	1 arvestile	2	tk
2	Projekteeritud 0,4 kV õhuliin	AMKA 3*25+35	0,079	km
3	Projekteeritud 0,4 kV õhuliin rekonstrueerimine asendamine 4*A-25	AMKA 3*70+95	1,528	km
4	Demonteeritav MP õhuliin	4*A-25	0,811	km
5	Projekteeritud 10/0,4 kV mastalajaam	MAK-1 100 kV·A	1	tk

Mõnuvere alajaama fiider 1 asendiplaan ja arvutuskeem on esitatud lisas A. Asendiplaanil demonteeritavate mastide ja õhuliini peale on tõmmatud ristid. Kasutusele jäävad raudbetoon mastid on tähistatud mustade ruutudega. Uued puit mastid on tähistatud seest värvitud roosa ringiga, samuti uus õhuliin on tähistatud roosa joonega. Kõik mis on tähistatud musta värviga on olemasolev madalpinge paigaldis ning kõik mis on roosa on uus madalpinge paigaldis. Sinisega on märgitud keskpinge mastid ja õhuliin. Mastide numbrid on roosad kuna mastidele antakse uued numbrid. Asendiplaanil olevad numbrid kollasel taustal tähistavad erinevaid kinnistuid. Projekteeritud alajaama 7975 joonis on esitatud lisas C.

2.2 Fiider 3 rekonstruktsioon

Mõnuvere alajaama fiider 3 lühisvoolude ja pingekadude probleemide kõrvaldamiseks asendatakse senine Mõnuvere komplektalajaam uue mastalajaamaga 7981. Mastalajaam MAL-1 ehitatakse olemas olevale keskpinge raudbetoon mastile nr 6, mida on näha joonisel 2.1. Trafoks 10,5/0,41 pingega 100 kV·A võimsusega ning Y/Zo lülitusgrupiga trafo. Alajaama madalpingepoolel kasutatakse üldarvestiga standardkappi HELK4 MT, kuhu tõstetakse vanast alajaamast kaoarvesti. Samuti kasutatakse vanast alajaamast ära kontsentraator, mis tõstetakse alajaama eraldi kappi. Trafo läbiviigud ja pingepiirid kaetakse kaitsekatetega.

Väljaviigud fiidritele ehitatakse kaabliga AXPk 4G120, millega alajaamast fiidrite esimestesse mastidesse minnakse maakaabelliiniga. Maakaabelliinid paigaldatakse lahtise kaevega kaevikutesse kaitsetorudega. Fiider 3 rekonstrueerimise käigus ei demonteerita liinilõike aga nagu ka fiider 1 puhul asendatakse paljasjuhtmeline õhuliin rippkaabliga AMKA 3x70+95 või AMKA 3x120+95, majasisestused teostatakse AMKA 3x16+25'ga. Rekonstrueerimise käigus asendatakse amortiseerunud mastid 1, 2, 8, 11, 17, 18, 19, 29, 30,

30, 32, 33, 42, 43, 44, 45 ja 46. Mastid 1, 2, 31 ja 46 kindlustatakse tõmmitasaga ning mastid 3, 4, 5, 6, 7, 9 ja 40 õigutakse. Demonteeritav ja tagastatav materjal fiider 3 kohta on esitatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Fiider 3 demonteeritav ja tagastatav materjal

Nr	Nimetus	Kõlblikkus	Ühik	Kogus
1	r/b post	Utiil	tk	23
2	Raudkonstruktsioon	Utiil	kg	400
3	Alumiiniumjuhe	Utiil	kg	555
4	Trafo 10/0,4 kV 63 kV·A	Tagastada	tk	1
5	Energiaarvesti 1 f	Kappi 151304LK	tk	1

Loorentsi kinnistu liitumispunkt viiakse uude asukohta olemas olevale raudbetoon mastile nr 54, kuhu paigaldatakse ka uus liitumiskapp 151304LK. Uude liitumiskappi tõstetakse Loorentsi olemasolev energiaarvesti. Elektritoite säilitamiseks ehitatakse AMKA 3x16+25 liin elamu seinani ja ühendatakse klemmliistuga harukarbis senise paigaldisega. Kubja kinnistul on liitumispunkt hoone sees ning hoonesisestuseks on varasemalt paigaldatud rippkaabel AMKA. Sillaotsa, Reinu, Kännu ja Palju kinnistutel on juba liitumiskapid hoonetest väljaspool ning hoonesisestused rippkaabliga rekonstrueeritud. Fiider 3 rekonstrueerimisega projekteeritud lahendused on esitatud tabelis 2.4.

Tabel 2.4 Fiider 3 rekonstruktsiooniga projekteeritud tööd

Nr	Projekteeritud lahendus	Materjal	Kogus	Ühik
1	Projekteeritud 0,4 kV maakaabelliin	Al 4G120	0,018	km
2	Projekteeritud 0,4 kV liitumiskapp mastil	1 arvestile	1	tk
3	Projekteeritud 0,4 kV õhuliin rekonstrueerimine asendamine 4*A-25	AMKA 3*70+95	1,431	km
4	Projekteeritud 0,4 kV õhuliin rekonstrueerimine asendamine 4*A-25	AMKA 3*120+95	0,790	km
5	Projekteeritud 0,4 kV õhuliin rekonstrueerimine asendamine 2*A-25	AMKA 3*16+25	0,025	km
6	Projekteeritud 10/0,4 kV mastalajaam	MAL-1 100 kV·A	1	tk

Mõnuvere alajaama fiider 3 asendiplaan ja arvutusskeem on esitatud lisas B ning projekteeritud alajaama 7981 joonis on esitatud lisas D.

3. VARUSTUSKINDLUSE ARVUTUSED

3.1 Trafo voolude ja takistuste arvutus

Järgnevalt on arvatud alajaamades 7975 ja 7981 kasutatavate trafode voolud ning takistused. Kuna mõlemas alajaamas on kasutusel samade parameetritega trafo siis arvutused kehtivad mõlema trafo kohta.

Trafo nimivool [5]:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (3.1)$$

kus I_n on trafo nimivool A;

S_n – trafo nimivõimsus V·A;

U_n – trafo nimipinge V.

Vastavalt valemile 3.1 on arvatud trafo nimivool keskpinge ning madalpinge poolel.

Trafo nimivool keskpinge poolel:

$$I_n = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 10500} = 5,49 \text{ A} \quad (3.2)$$

Trafo nimivool madalpinge poolel:

$$I_n = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144,33 \text{ A} \quad (3.3)$$

Trafo kolmefaasiline lühisvool on arvatav järgmise valemiga [5]:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_f}{Z_t^{(3)}}, \quad (3.4)$$

kus $I_k^{(3)}$ on trafo kolmefaasiline lühisvool A;

U_f – faasipinge V;

$Z_t^{(3)}$ – trafo kolmefaasiline näivtakistus lühise korral mΩ.

Kolmefaasiline näivtakistus [5]:

$$Z_t^{(3)} = \frac{U_{k\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_t}, \quad (3.5)$$

kus $U_{k\%}$ on trafo lühispinge %;

S_t – trafo nimivõimsus kV·A;

U – liinipinge V.

Seega trafo kolmefaasiline näivtakistus:

$$Z_t^{(3)} = \frac{4,02 \cdot 400^2}{100 \cdot 100} = 64,32 \text{ m}\Omega$$

Trafo kolmefaasiline lühisvool:

$$I_k^{(3)} = \frac{230}{0,0643} = 3576,98 \text{ A}$$

Trafo ühefaasiline lühisvool on arvutatav [5]:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_f}{Z_t^{(1)}} \quad (3.6)$$

Trafo ühefaasiline näivtakistus avaldub [5]:

$$Z_t^{(1)} = \frac{26000}{S_t}, \quad (3.7)$$

kus $Z_t^{(1)}$ on trafo ühefaasiline näivtakistus m Ω .

Vastavalt valemile 3.7 trafo ühefaasiline näivtakistus:

$$Z_t^{(1)} = \frac{26000}{100} = 260 \text{ m}\Omega$$

Vastavalt valemile 3.6 trafo kolmefaasiline lühisvool:

$$I_k^{(1)} = \frac{230}{0,260} = 884,62 \text{ A}$$

Alajaamades 7975 ja 7981 kasutatavate trafode nimivoolus primaar poolel on 5,49 A ning sekundaar poolel 144,33 A. Lühisvoolud trafo klemmidel ühefaasilise lühise korral on 884,62 A ning kolmefaasilise lühise korral 3576,98 A.

3.2 Mastalajaama maanduspaigaldise arvutus

Mastalajaamale ehitatakse igal juhul maanduspaigaldis, see võib olla masti tüvimaanduselektrood või umbes 2 meetri pikkune maandur koos potentsiaalatasandusrõngaga. Kui ei ole võimalik ehitada maanduspaigaldis mastalajaama lähedusse võib seda ka ehitada samadest elementidest kõrvalasuval mastile [6].

Maanduspaigaldise ehitamisel tuleb arvesse võtta liigpingekaitse toimimine, tõhusaim variant on maanduspaigaldis ehitada mitme haruline. Sellega püütakse saada maanduspaigaldise takistus võimalikult väike [6].

Maandusjuhi ristlõike pindala alajaamas, sõltumata maanduri maandustakistusest, tuleb valida suurima alajaamast väljuva madalpinge liini järgi. TN-süsteemis piisab tavaliselt kuni 50 mm² ristlõikepinnaga juhtmest, vastavalt vasele. Tabelis 3.1 on esitatud vähimad maandusjuhtide ristlõikepinnad alajaamadele [6].

Tabel 3.1 Vähimad maandusjuhtide ristlõikepinnad alajaama maandusjuhtidele [6]

Jrk	Alajaamast väljuv suurim kaabelliin	Alajaama maandusjuhi minimaalne vask juhtme ristlõike pindala, mm ²
1	AMKA 3x25+50	16
2	AMKA 3x50+70	16
3	AMKA 3x70+95	25
4	AMKA 3x120+95	50
5	AXMK 4x35	16
6	AXMK 4x50	16
7	AXMK 4x70	25
8	AXMK 4x95	35
9	AXMK 4x120	50
10	AXMK 4x185	50
11	Suurem kui eelmine	50

Elementidele nagu tõmmitsad, keskpinge lahküliti ja trafo kaitsemaandusjuhi ristlõikeks piisab vase korral vähimast ristlõikepinnast, milleks on 16 mm². Mastile kinnitatud maandusjuhtideks võib kasutada kas isoleeritud või isoleerimata ehk paljaid vaskjuhte. Maandusjuhtide tähistamine pole vajalik kui oht eksimiseks puudub. Üldjuhul on ehituslikus mõttes maandusjuhid üheselt arusaadavad. Joonisel 3.1 on esitatud mastalajaama maandusjuhtide ühendamine [6].

paigaldatakse kaitsemaandusjuht masti kõrgemalt traaversilt maandurini. Trafo null-klemmi maandamiseks kasutatakse Cu 2x25 mm² maandusjuhet, kus üks ühendatakse maanduriga ja teine maandusjuhiga. Trafo null-klemm ühendatakse otse trafo kaanele, sellega kindlustatakse liigpingekaitse toimimine. Kaitsemaandusjuhiga ühendatakse ka kõik tõmmitsad [6].

Maandustakistuse määramisel lähtutakse puutepingest. Kuigi selle määramisel arvestatakse ka veel sammupinget. Inimesele on ohtlik teda läbiv vool, mis määrab ka ära elektrikahjustuse suuruse. Lubatavad puutepinge piirväärtused, mis tekivad maaühenduse korral, on esitatud tabelis 3.2. Need piirväärtused sõltuvad ajast ning on arvestatud kui pinge läbib inimkeha palja käe ja palja jala vahel, muid takistusi, näiteks jalanõud või kindad, ei ole arvestatud [7].

Tabel 3.2 Puutepinge lubatud piirväärtused maaühenduse korral [7]

Jrk	Rikke kestus t_r , s	Lubatud puutepinge U_{TP} , V
1	0,05	716
2	0,10	654
3	0,20	537
4	0,50	220
5	1,00	117
6	2,00	96
7	5,00	86
8	10,00	85
9	> 10,00	80

Kui on võimalik ühendatakse alati kõrgepingevõrgu ja madalpingevõrgu maandused kokku. Selleks ehitatakse keskpinge altide osade kaitsemaanduseks ja madalpinge võrgu maanduseks alajaamale ühine maanduspaigaldis [8].

Seda on ka tehtud alajaamade 7975 ja 7981 puhul. Toitealajaamas Tori 35/10 maaühendusvool on kompenseeritud ning arvutuste aluseks võetakse 10 A. Ühildatud maanduspaigaldisel kui ei toimu kiiret väljalülitamist on lubatud puutepinge 80 V nagu näidatud tabelis 3.2 [9].

Maandustakistus [8]:

$$Z_E = \frac{U_{TP}}{I_E}, \quad (3.8)$$

kus Z_E on maandustakistus Ω ;

U_{TP} – puutepinge V;

I_E – maaühendusvool A.

Vastavalt eelmisele valemile arvutatakse alajaamade 7975 ja 7981 nõutud maandustakistuse:

$$Z_E = \frac{80}{10} = 8 \Omega$$

Alajaamade 7975 ja 7981 maandustakistuse nõutavaks väärtuseks on 8 Ω .

Varraselektroodi maandustakistust homogeense pinnase puhul [10]:

$$R_v = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \ln \frac{2l}{d}, \quad (3.9)$$

kus ρ on pinnase eritakistus m $\cdot\Omega$;

l – elektroodi aktiivpikkus m;

d – elektroodi läbimõõt m.

Elektroodi aktiivpikkuse mõeldakse elektroodi osa pikkust mis asub hästijuhtivas pinnasekihis. Valemis on see pinnasekiht tähistatud kui ρ . Aktiivpikkuses ei võeta arvesse seda elektroodi osa mis asub näiteks maapinna lähedases märgatavalt kehvema juhtivusega pinnase kihis, selle kihi paksus on tavaliselt 0,5 kuni 1 meeter [10].

Alajaamade 7975 ja 7981 piirkonnas on ühtlane haritava põllumaa pinnas. Pinnase eritakistused on võetud Eesti standardist EVS-HD 60364-4-444:2010 ning esitatud tabelisse 3.2 ning 3.3.

Arvutuses on kasutatud Elektrilevi OÜ juhendis P339 0,4 – 20 kV võrgustandardis soovitatud maanduselektroode. Maanduselektroodi tüübiks on ümarad püstvarraselektroodid mis on valmistatud 16 mm läbimõõduga kuumtsingitud terasest. Need

on maanduselektroodi vähimad mõõtmed, et saavutada korrosioonikindlus ning mehaaniline tugevus [11].

Vastavalt valemile 3.9 ühe varraselektroodi maandustakistus:

$$R_v = \frac{50}{\pi \cdot 5} \ln \frac{2 \cdot 5}{0,0016} = 27,82 \Omega$$

Ühe varraselektroodi maandustakistuseks saadakse 27, 82 Ω .

Tabel 3.2 Pinnase eritakistused [12]

Jrk	Pinnase liik	Eritakistus $\Omega \cdot m$
1	Soine pinnas	kuni 30
2	Settepinna, lammimuld	20 - 100
3	Huumus	10 - 150
4	Niiske turvas	5 - 100
5	Pehme savi	50
6	Mergel ja kõvasavi	100 - 200
7	Juuramergel	30 - 40
8	Saviliiv	50 - 500
9	Räniliiv	200 - 3000
10	Kivine pinnas	1500 - 3000
11	Muruga kaetud kivine pinnas	300 - 500
12	Pehme lubjakivi	100 - 300
13	Paas	1000 - 5000
14	Praguline paas	500 - 1000
15	Kiltkivi	50 - 300
16	Vilgukivi	800
17	Graniit ja liivakivi	1500 - 10000
18	Murenenud vana graniit ja vana liivakivi	100 - 600

Tabel 3.3 Pinnase keskmised eritakistused [12]

Jrk	Pinnase liik	Keskmine eritakistus $\Omega \cdot m$
1	Märg põllumaa, niiske tihe mulle	50
2	Kivine põllumaa, kruus, jäme mulle	500
3	Paljas kivine pinnas, kuiv liiv, kaljund	3000

Vajalike maanduselektroodide arv [7]:

$$n = \frac{R_v}{R_m \cdot \eta}, \quad (3.10)$$

kus n on vajalike elektroodide arv;

R_m – vajalik maandustakistus Ω ;

η – varraselektroodi kasutegur.

Alajaamadele 7975 ja 7981 ehitatakse kahe kiireline maandus piki õhuliini trasse. Maandusvarraste vahekaugus peab olema vähemalt kaks korda nende pikkust. Vertikaalmaandurite kasutegurid kui nad on paigutatud ritta on esitatud tabelis 3.4.

Tabel 3.4 Vertikaalmaandurite kasutegur [5]

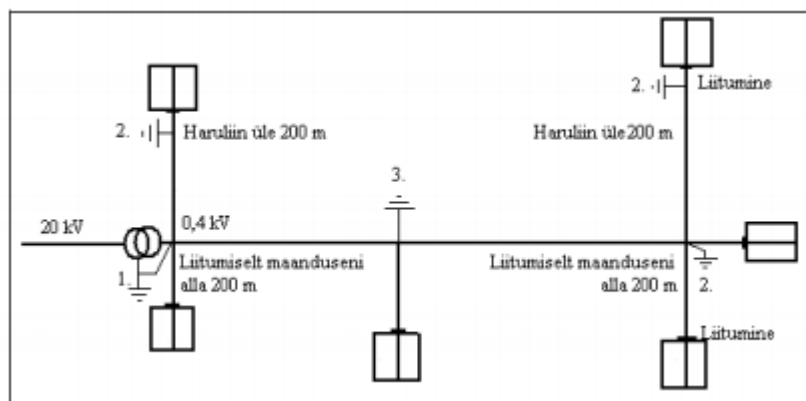
Varraste arv reas	Varrastevaheliste kauguse α suhe nende pikkusesse l		
	1	2	3
2	0,85	0,91	0,94
4	0,73	0,83	0,89
6	0,65	0,77	0,85
10	0,59	0,74	0,81
20	0,48	0,67	0,76

Vastavalt valemile 3.9 on leitud maandusvarraste vajaminev kogus:

$$n = \frac{27,82}{8 \cdot 0,77} = 4,52$$

Alajaamadele 7975 ja 7981 maanduspaigaldise ehitamisel on vaja kasutada viite maanduselektroodi.

Lisaks alajaamadele ehitatakse kordusmaandused ka igale liiniharule, mis on pikem kui 200 meetrit. Madalpingevõrgu liigpingekaitse toimimine rippkeerdkaabli puhul eeldab, et maanduspaigaldiste kaugus ei või olla suurem kui 500 meetrit. Äikesetundlikel aladel on see vahe veel väiksem. Mastide kordusmaanduse takistus ei tohi olla suurem kui 100 Ω . Standardi EVS-HD 60364 kohaselt ehitatakse uutele liitumisobjektidele liitumispunkti maandus. Maanduspaigaldiste paigaldus alajaama toitepiirkonnas on näidatud joonisel 3.2 [8].



Joonis 3.2 Maandamine alajaama toitepiirkonnas [8]

Vastavalt kirjeldatud nõuetele ning illustratiivsele joonisele 3.2 maandatakse lisaks alajaamale 7975 mastid 2, 4, 8, 9, 21 ning 31. Alajaama 7981 toitepiirkonnas ehitatakse kordusmaandused mastidele 8, 16, 20, 23, 34, 46, 47 ja 53. Maanduse paigaldamine on näidatud ka asendiplaanidel lisades A ja B. Alajaamade 7975 ja 7981 joonised on esitatud lisades C ning D. Uute alajaamade asend normaalskeemil on esitatud lisas E, kus skeemil muudetav osa on esitatud kollasel taustal.



Joonis 3.3 Mastalajaam 7975

Joonisel 3.3 on esitatud mastalajaam 7975, mille maanduspaigaldise ehitamiseks oli vaja kasutada viite maanduslektroodi.

3.3 Lühisvoolude arvutus

3.3.1 Olemasolev olukord

Lühisvoolude arvutus on vajalik, et valida elektrivõrgu tööks sobiva ristlõikega kaablid ning kaitseseadmed. Samuti valida lühise korral lühisvoolude piiramiseks vajalikud meetodid ning seadmed [5].

Rekonstrueeritavad Mõnuvere alajaama fiider 1 ja 3 on ehitatud raudbetoon mastidele paljasjuhtmetega 4xA-25 õhuliinina. Fiider 1 toitel on neli tarbijat ning alajaamast kõige kaugemal, 1523 meetrit, asub Saki kinnistu. Fiider 3 toitel on kuus tarbijat, kus Loorentsi kinnistu asub 1664 meetri kaugusel. Järgnevad tabelis 3.5 on esitatud fiidritel asuvad tarbijad, nende peakaitse suurused ning lühisvoolu väärtused. Lühisvoolu väärtus on esitatud tarbija liitumispunktis, olgu siis selleks liitumiskapp mastil või sisestus maja seinal. Enne rekonstrueerimist olevad lühisvoolu väärtused on leitud kasutades programmi *Lühisvoolud 3.6*.

Tabel 3.5 Mõnuvere alajaama fiider 1 ja 3 tarbijate lühisvoolu väärtused ning peakaitse nimivoolu kordsus lühisvoolu suhtes

	Tarbija	Peakaitse, A	lf lühisvool, A	Peakaitse nimivoolu kordsus lühisvoolu suhtes
F1	Arne	3x16	90,34	5,64
	Jänese	1x20	82,2	4,11
	Koka	3x63	65,74	1,04
	Saki	3x50	48,91	0,98
F3	Kubja	3x32	97,65	3,05
	Sillaotsa	1x20	188,45	9,42
	Reinu	3x25	153,05	6,12
	Kännu	3x25	82,29	3,29
	Paju	3x32	54,02	1,69
	Loorentsi	1x20	44,97	2,25

Nagu näha tabelist 3.5 on tarbijatel rikkekorral probleemid kaitselüliti rakendumisega. Eriti probleemne on Saki ja Koka liitumispunkt kuna rikke korral ei rakendu üldse kaitselüliti. Samuti on liialt suur Kännu, Paju ning Loorentsi liitumispunktides asuva kaitselüliti rakendamise aeg. Lisaks tarbijate kaitselülititele ei rakendu nõutava kiirusega ka fiidrikaitsmed. Fiider 1 kaitsme suuruseks on 40 A ning fiider 3 kaitsme suuruseks 50 A. Lühiste puhul mõlema fiidri lõpus ei rakendu kaitse üldse.

Liialt väikeste lühisvoolude poolt tekitatud probleemide kõrvaldamiseks on projekteeritud lahendused, mis on kirjeldatud täpsemalt punktides 2.2.1 ja 2.2.2.

3.3.2 Lühisvoolude arvutus

1-faasilise lühisvoolu arvutus tehakse kõigile liitumispunktidele, mis on esitatud tabelis 3.5. Arvutuskäik on esitatud kõige kaugemal asuva Loorentsi liitumispunkti kohta. Teiste liitumispunktide lühisvoolud on arvatud sarnaselt ning on esitatud tabelis 3.7. Loorentsi liitumispunkti elektriliin saab alguse alajaamast nr 7891, millel on 100 kV·A võimsusega trafo. Alajaama 7891 fiider 2 kuni Loorentsi liitumispunktini koosneb kaablistest AXPK 4G120 15 m ja AXPK 4G25 8 m ning rippkeerdkaablistest AMKA 3x120+95 1556 m ja AMKA 3x70+95 140 m.

Ühefaasiline lühisvool [5]:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_f}{\sum Z^{(1)}}, \quad (3.11)$$

kus $I_k^{(1)}$ on ühefaasiline lühisvool A;

U_f – faasipinge V;

$Z^{(1)}$ – faas-neutraal ahela näivtakistus.

Mastalajaama nr 7981 trafo näivtakistus ühefaasilisele lühisele on arvatud töö eelnevas punktis 3.1.

$$Z_t^{(1)} = 260 \text{ m}\Omega$$

Rekonstrueerimise käigus kasutatavate kaablite näivtakistused on saadud tootja poolt antud tehnilistest andmetest, mis on esitatud tabelis 3.6.

Tabel 3.6 Kaablite näivtakistuse suurused [13]

Kaabel	Näivtakistus, Ω/km	
	Faasijuhe	Neutraaljuhe
AXPK 4G120	0,31	0,31
AXPK 4G25	1,5	1,5
AMKA 3x120+95	0,30	0,39
AMKA 3x70+95	0,53	0,39

Ühefaasilise liini näivtakistus:

$$Z_l^{(1)} = (Z_f + Z_n)l, \quad (3.12)$$

- kus $Z_l^{(1)}$ on ühefaasilise liini näivtakistus Ω ;
 Z_n – faasijuhtme näivtakistus Ω/km ;
 Z_f – neutraaljuhtme näivtakistus Ω/km ;
 l – liini pikkus km.

Vastavalt kirjanduses leitule arvestatakse lühisvoolude arvutamisel, trafost lühisekohani, lülitite kontaktide takistusega mis asuvad erinevates madalpinge kappides. Takistus tuleks juurde liita liinilõigu kogutakistusele. Kilbis paiknevate lülitite kontaktide takistuseks võetakse $r_k = 0,015 \Omega$ [5].

Liinilõikude takistused tegelikke pikkusi arvestades on leitud valemiga 3.12:

AXPK 4G120 15 m:

$$Z_l^{(1)} = (0,31 + 0,31) \cdot 0,015 = 0,0093 \Omega$$

AXPK 4G25 8 m:

$$Z_l^{(1)} = (0,15 + 0,15) \cdot 0,018 = 0,024 \Omega$$

AMKA 3x120+95 1556 m:

$$Z_l^{(1)} = (0,30 + 0,39) \cdot 1,556 = 1,074 \Omega$$

AMKA 3x70+95 140 m:

$$Z_l^{(1)} = (0,53 + 0,39) \cdot 0,14 = 0,189 \Omega$$

Näivtakistuse alusel on leitud ühefaasiline lühisvool tarbija liitumispunktis.

$$I_k^{(1)} = \frac{230}{0,0093 + 0,024 + 1,074 + 0,189 + 0,015} = 175,4 \text{ A}$$

Loorentsi liitumispunktis on ühefaasiline lühisvool 175,4 A.

Sarnaselt Loorentsi kinnistu liitumispunkti lühisvoolule on leitud ka teiste liitumispunktide ühefaasilised lühisvoolud ning esitatud tabelis 3.7. Tabelis 3.7 on esitatud ka peakaitsme nimivoolu kordsus lühisvoolu suhtes peale madalpinge võrgu rekonstrueerimist.

Tabel 3.7 Liitumispunktide lühisvoolud ning peakaitsme nimivoolu kordsus lühisvoolu suhtes peale madalpingevõrgu rekonstrueerimist

	Tarbija	Peakaitse, A	lf lühisvool, A	Peakaitsme nimivoolu kordsus lühisvoolu suhtes
AJ 7975 F1	Arne	3x16	892,04	55,75
	Jänese	1x20	560,56	28,03
	Koka	3x63	423,21	16,93
	Saki	3x25	254,29	10,17
AJ 7981 F1	Kubja	3x32	320,49	10,02
	Sillaotsa	1x20	735,49	36,77
	Reinu	3x25	599,1	23,94
	Kännu	3x25	329,44	13,18
	Paju	3x32	204,31	6,38
	Loorentsi	1x20	175,4	8,77

Tabelis 3.7 on näha kõigi liitumispunktide lühisvoolu suurus peale madalpingevõrgu rekonstrueerimist.

3.3.3 Tulemused

Elektrivõrgu rekonstrueerimisel, ümberehitamisel, renoveerimisel ja/või laiendamisel tuleb töö teostada järgides kehtivaid standardeid paigaldise ulatuses kuid see ei tähenda, et elektripaigaldis peab tööde teostamise järgselt vastama kehtivatele standarditele [3].

Nagu ka varem selgitatud on Mõnuvere alajaama piirkond liigitatud kui varem väljaehitatud võrk. Mis tähendab, et nimetatud madalpinge võrk ehitati varem kui võeti kasutusele Eesti eeskiri EEI 3-4:1994 „Ehitiste madalpingeelektripaigaldised 4. osa: Kaitseviisid“ 1996 aasta juunist. Varem väljaehitatud võrk võib olla hiljem rekonstrueeritud või laiendatud. Seega ei lange Mõnuvere alajaama piirkonnale lühiskaitsele samu nõudeid mis uutele elektrivõrkudele, milleks on, et maksimaalne lubatav automaatne väljalülitamise aeg ei tohi olla suurem kui 5 s. Varem väljaehitatud võrgul on sätestatud, et lühise puhul läbiks fiidrikaitsme vähemalt 3-kordse nimivooluga võrdne lühisvool eeldusel, et liitumiskilbid ehitatakse hoonetest välja, mitte hoone seinale [3].

Nõue, et fiidrikaitsme või sektsioneeriva kaitsme nimivool oleks kolm korda suurem kui väikseim ühefaasiline lühisvool kehtib ka järgmistes olukordades [3]:

1. Madalpingevõrgu ja selle alajaama rekonstrueerimisel tervikuna.

2. Madalpingevõrgu pikendamisel.
3. Uude asukohta madalpinge alajaama paigaldamisel ning ühendamisel olemasoleva madalpinge võrguga.
4. Tarbija liitumiskilbi väljatoomisel hoonest peab kilbis olev kaitselüliti automaatselt toimima rikke korral vastavalt nõuetele mis on kehtestatud varem väljaehitatud võrgule.

Erinevalt eelmainitud olukordadest peab uue tarbija liitumispunkti ühendamisel varem väljaehitatud madalpinge võrguga kaitselüliti automaatselt toimima rikke korral vastavalt kehtivatele standarditele. Võib ka kasutada B-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliteid, et vältida ülemääraseid kulutusi täites liitumispunkti kaitse automaatse väljalülitamise nõuet [3].

Kuigi rekonstrueeritud madalpinge võrgule ei rakendu hetkel kehtivad lühiskaitse nõuded vastavad siiski kõikide liitumispunktide kaitselülite rakendumisajad kehtivatele standarditele kui Paju ning Loorentsi kinnistutel kasutada B-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliteid. Kuid võib siiski kasutada ka C-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliteid kuna on täidetud 3-kordse nimivooluga võrdne lühisvoolu nõue. Nagu näha tabelist 3.7 võib öelda, et kõikide liitumispunktide probleemid lühisvooludega on lahendatud.

3.4 Pingekao arvutus

3.4.1 Olemasolev olukord

Tarbija liitumispunktis oleva pinge suurus sõltub sellel fiidril olevate tarbijate koormusest ja pingest keskpingevõrgus. Toiteahelas põhjustab pingekao tarbija vool, mis sõltub tarbitava voolu suurusest ning toiteahela takistusest. Liitumispunktis on pinge suurus pidevalt muutuv [19].

Tabelis 3.8 on esitatud kõik Mõnuvere alajaama fiider 1 ja fiider 3 tarbijad koos nende peakaitse suurustega ning pingekadudega enne madalpingevõrgu rekonstrueerimist. Pingekaod enne madalpingevõrgu rekonstrueerimist on leitud kasutades programmi *Lühisvoolud 3.6*.

Tabel 3.8 Mõnuvere alajaama fiider 1 ja 3 tarbijate peakaitse suurused ja pingekadu

	Tarbija	Peakaitse, A	Pingekadu, %
F1	Arne	3x16	20,6
	Jänese	1x20	25,2
	Koka	3x63	54,7
	Saki	3x50	46,1
F3	Kubja	3x32	16,1
	Sillaotsa	1x20	8,1
	Reinu	3x25	9,9
	Kännu	3x25	21,1
	Paju	3x32	37,3
	Loorentsi	1x20	40,6

Nagu näha tabelist 3.8 on peaaegu kõigil tarbijatel liialt suur pingekadu. Eriti probleemne on fiider 1, kus ükski liitumispunkti pingekadu ei vasta nõuetele. Liialt suure pingekao poolt tekitatud probleemide kõrvaldamiseks on projekteeritud lahendused, mis on kirjeldatud täpsemalt käesoleva töö punktides 2.2.1 ja 2.2.2.

3.4.2 Pingekao arvutus

Pingekadu protsentides kolmefaasiliste tarbijate puhul [5]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{100\rho \sum Pl}{sU^2}, \quad (3.13)$$

- kus $\Delta U_{\%}$ on liini pingekadu %;
- ρ – juhi materjali eritakistus $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$;
- P – tarbitav võimus W;
- l – liini pikkus km;
- s – juhi ristlõike pindala mm^2 ;
- U – liinipinge V.

Pingekadu ühefaasiliste tarbijate puhul [5]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{200\rho \sum Pl}{sU_f^2}, \quad (3.14)$$

- kus U_f on faasipinge V ;

Ühefaasiliseks ahelaks loetakse ka neutraaljuhiga kolmefaasiline ahel kui koormatakse vaid ühte faasi [3].

Arvestada tuleb ka üheaegsustegurit, mis vastavalt elektrilevi juhendile J3146 / 1 „Juhend koormusvoolude määramiseks madalpingevõrgus tehniliste lahenduste koostamisel“ on hajaasustuse korral 4 kuni 5 tarbijaga on 0,3, kolme tarbijaga 0,5, kahe tarbijaga 0,6 ning ühe tarbija korral 1. Maksimaalne vool liinis korrutatakse arvutuste jaoks läbi üheaegsusteguriga, mis arvestab liitumispunktides voolu, mida tarvitatakse samaaegselt ning projekteerimisel hoidutakse elektriliini üledimensioneerimistest ning sellega ülemääraste kulutuste tegemisest [14].

Arvutuskäik pingekao leidmiseks on toodud Loorentsi kinnistu liitumispunkti kohta. Kuna see elektriliin koosneb mitmest erinevast kaablist ning erinevatel liinilõikudel on erinevad tarbitavad võimused on leitud pingekadu liinilõikude osade kaupa.

Kuna Loorentsi on ühefaasiline tarbija on pingekao arvutamiseks kasutatud valemit 3.14. Arvutatud on alajaamast väljuva maakaabli AXPk 4G120 pingekadu:

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot 0,028 \cdot 10626 \cdot 15}{120 \cdot 52900} = 0,14 \%$$

Alajaamast väljuva maakaabli AXPk 4G120 pingekadu on 0,14%, teiste kaablilõikudega on tehtud analoogsed arvutused ning saadud tulemused on kantud tabelisse 3.9.

Tabel 3.9. Erinevate kaablilõikude pingekaod Loorentsi liitumispunkti

Kaabel	Pikkus, m	Pingekadu, %
AMKA 3x70+95	40	0,64
AMKA 3x120+95	200	1,49
AMKA 3x120+95	101	0,62
AMKA 3x120+95	490	3,82
AMKA 3x70+95	100	1,08
AMKA 3x120+95	394	2,49
AMKA 3x120+95	327	1,33
AXPK 4G15	8	0,16

Pingekao leidmiseks kogu elektriliinis on erinevate kaablilõikude pingekaod summeeritud.

$$\sum \Delta U_{\%} = 0,14 + 0,64 + 1,49 + 0,62 + 3,82 + 1,08 + 2,49 + 1,33 + 0,16 = 11,77\%$$

Loorentsi liitumispunktis on pingekaoks peale madalpinge võrgu rekonstrueerimist 11,77 %. Sarnaselt Loorentsi liitumispunkti pingekao arvutusele on leitud pingekadu ka teistele liitumispunktidele ning saadud tulemused on toodud tabelis 3.10.

Tabel 3.10 Liitumispunktide pingekaod peale madalpingevõrgu rekonstrueerimist

	Tarbija	Peakaitse, A	Pingekadu, %
AJ 7975 F1	Arne	3x16	2,1
	Jänese	1x20	5,6
	Koka	3x63	7
	Saki	3x25	6,3
AJ 7981 F1	Kubja	3x32	5,9
	Sillaotsa	1x20	2,8
	Reinu	3x25	3
	Kännu	3x25	5
	Paju	3x32	7,5
	Loorentsi	1x20	11,77

Nagu näha tabelist 3.10 on peale madalpingevõrgu rekonstrueerimist liitumispunktide pingekaod oluliselt paranenud ning kõikide liitumispunktide pingekadude suurused, välja arvatud Loorentsi liitumispunkt, on viidud vastavusse standardis EVS-EN 50160:2010 + A1:2015 sätestatud maksimaalse pingekao väärtusele, milleks on 10 %.

Võrguettevõtja on oluliselt investeerinud Mõnuvere alajaama madalpingevõrgu seisukorra parandamiseks ning vahetanud fiidril, kus Loorentsi liitumispunkt asub, kogu pikkuses vana paljasjutmelise õhuliini kaasaegse rippkeerdkaabli vastu. Kuid siiski on liiga pika liini tõttu Loorentsi liitumispunktis liialt suur pingekadu. Olukorras, kus madalpingevõrk on heas korras ning rekonstrueeritud tuleks uue madalpinge alajaama tarbijale lähemale ehitamise asemel kaaluda pingekvaliteeti parandavate seadmete kasutamist [19].

Käesoleva töö punktis 4 on toodud erinevad võimalused kuidas ka Loorentsi kinnistu liitumispunkti pingekadu viia vastavusse standardis sätestatud suurustega.

3.4.2 Pinge vähenemine elektrivõrgus lühisrootoriga elektrimootori käivitamisel

Käivitusvool lühisrootoriga asünkroonmootoritel ületab nimivoolu 4 kuni 7 kordselt. Sellega seoses suureneb ka liinis pingekadu ning see võib oluliselt ületada pingekao

normaalolukorras. Kui pingevähene mine on suurem kui 20% võivad kustuda luminofoorlambid [5].

Pingekadu protsentides lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisel [5]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{Z_t^{(3)} + Z_l^{(3)}}{Z_t^{(3)} + Z_l^{(3)} + Z_{mk}} \cdot 100, \quad (3.15)$$

kus Z_{mk} on mootori näivtakistus käivitamisel Ω

Mootori näivtakistus [4]:

$$z_{mk} = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n \cdot k_k}, \quad (3.16)$$

kus U_n on mootori (võrgu) nimipinge V;

I_n – mootori nimivool A;

k_k – mootori käivitusvoolu kordsus nimivoolu suhtes.

Mootorivõimsuseks, mida arvutustes kasutatakse on 4 kW, nimivool 8,1 A ning käivitusvoolu kordsus nimivoolu suhtes 7. Mootori käivitamise asukohaks võrgus on valitud Saki kinnistu, kuna see on kõige kaugem kolmefaasilise elektriühendus enne võrgu rekonstruktsiooni. Esmalt arvutatakse mootori käivitamisel tekkiv pingekadu võrgu nimipingel 400 V, teiseks on tehtud arvutus peale rekonstruktsiooni Saki liitumispunkti oleva 6,3 % pingekaoga ning kolmandaks enne rekonstruktsiooni Saki liitumispunkti olnud 46,1 % pingekaoga.

Mootori näivtakistus vastavalt valemile 3.16:

$$z_{mk} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,1 \cdot 7} = 4,07 \Omega$$

Pingekadu protsentides vastavalt valemile 3.15:

$$\Delta U_{\%} = \frac{0,064 + 0,807}{0,064 + 0,807 + 4,07} \cdot 100 = 17,7 \%$$

Võrgus tekkiv pingekadu sama mootorit käivitades kui võrgupinge on 347,8 V on 18,5 % ning kui võrgupinge on lausa 215,6 V tekib mootorit käivitades 28,4 % pingekadu. Peale

madalpingevõrgu rekonstruktsiooni on elektrimootorit käivitades tekkiv lühiajaline pingekadu vastuvõetav ja ei kahjusta elektriseadmeid.

3.4 Masti tugevusarvutus

3.4.1 Masti tugevusarvutuse meetodika

Masti tugevusarvutuse vajalikkus seisneb selles, et kontrollida projekteeritava liini võimekust tagada ilmastikukindlus. Kandemastide avaldatava jõu arvutamisel arvestatakse tuule survet visangule ning postile, jäite survet visangul ja mastile monteeritud seadmete survet.

Tuule surve ning sellest tekkiv paindemomenti [15]:

$$M = P_j h + 0,5P_m h, \quad (3.15)$$

kus M on mastile mõjuv paindemoment N·m;
 P_j – tuule surve visangule N;
 P_m – tuule surve mastile N;
 h – masti arvutatava osa kõrgus maapinnast m;

Tuule surve õhuliini visangule [15]:

$$P_j = NP_0L, \quad (3.16)$$

kus N on juhtmete arv;
 P_0 – tuule survejõud pikkusühikule N/m;
 L – kahe visangu keskmine pikkus m;

Tuule survejõud pikkusühikule [15]:

$$P_0 = p_0 d, \quad (3.17)$$

kus p_0 on tuule erisurve N/m²;
 d – juhtmete läbimõõt m;

Tuule survejõu poolt tekitatava paindemomendi saab leida ka järgnevast tabelist 3.11. Jäite korral korrutatakse tuulesurve jäätunud ja jäätumata kaabli läbimõõtude suhtega läbi [15].

Tabel 3.11. Paindemomendi suurus sõltuvalt kaablist ja tuule kiirusest [15]

Rippkaabel		AMKA 3x16+25	AMKA 3x25+35	AMKA 3x35+50	AMKA 3x50+70	AMKA 3x70+95	AMKA 3x120+95
Arvutuslik läbimõõt d, mm		20	23	27	31	36	42
Tuulesurve $P_0, \text{N/m}$	$v = 25 \text{ m/s}$ ($p_0 = 400 \text{ N/m}^2$)	9,2	10,6	12,4	14,3	16,6	19,3
	$v = 20 \text{ m/s}$ ($p_0 = 250 \text{ N/m}^2$)	6,5	7,5	8,8	10,1	11,6	13,7

Tuule surve puitmastile [15]:

$$P_m = 0,7p_0F, \quad (3.18)$$

kus F on masti telglõike pindala m^2 .

Masti telglõike pindala on leitav [14]:

$$F = 0,5(d_{\text{ül}} + d_{\text{al}})h, \quad (3.19)$$

kus $d_{\text{ül}}$ on masti ladva läbimõõt m;

d_{al} – masti läbimõõt maapinnal m;

Masti valikul peab kehtima masti tugevustingimus [15]:

$$\sigma_r + \sigma_p \leq \sigma_{\text{lub}}, \quad (3.20)$$

kus σ_r on ristsuunalistest jõududest tekkiv pingsus N/mm^2 ;

σ_p – mastisuunalistest jõududest tekkiv pingsus N/mm^2 ;

σ_{lub} – puitmastile lubatav pingsus.

Ristsuunalistest jõududest tekkiv pingsus [15]:

$$\sigma_r = \frac{M}{W}, \quad (3.21)$$

kus W on abisuurus ning leitav $W = 0,1d_{\text{al}}^3$;

Mastisuunalisest survest tekkiv pingsus [15]:

$$\sigma_p = \frac{\omega P}{A}, \quad (3.22)$$

kus A on masti ekvivalentne ristlõike pindala m²;

P – masti suunaline jõud N;

ω – murdumistegur.

Murdumistegur valitakse vastavalt tabelis 3.12 toodud saledusteguri λ väärtustele.

Tabel 3.12. Murdumisteguri ω väärtused

λ	200	210	220	230	240	250	260	270
ω	18	19,5	21,2	22,8	24,6	26,5	28,4	30,4
λ	280	290	300	310	320	330	340	350
ω	32,4	34,6	36,8	39	41,4	43,8	46,4	48,9
λ	360	370	380	390	400	410	420	>420
ω	51,6	54,4	57,2	60	63	68	73	$\lambda^2/2400$

Saledustegur [15]:

$$\lambda = \frac{2h}{i}, \quad (3.23)$$

kus i on inertsiraadius $0,25d_e$,

Masti ekvivalentne ristlõike pindala [15]:

$$A = 0,25\pi d_e^2, \quad (3.24)$$

kus d_e on masti ekvivalentne läbimõõt m;

Masti ekvivalentne läbimõõt [15]:

$$d_e = \frac{(d_{\text{üt}} + 2d_{\text{al}})}{3} \quad (3.25)$$

Jäitekoormus kaablile [11]:

$$\sigma_j = IL, \quad (3.26)$$

kus I on jäitekoormus kaabli pikkusühiku kohta N/m;

Jäitekoormus I kaabli pikkusühiku kohta [11]:

$$I = 9,82 \cdot 10^3 \rho_j \pi b(b + d), \quad (3.27)$$

kus ρ_j on jäite tihedus g/cm³;

b – jäite paksus mm.

3.4.2 Kandemasti tugevusarvutus

Kandemastiks tugevusarvutustes on valitud alajaama 7975 fiider 1 mast 3, mis on fiidri kõige pikemate visangutega mast. Valitud mast on kolmandast klassist kogupikkusega 10 meetrit. Masti läbimõõt ladvas on 0,17 meetrit ning maapinnal 0,22 meetrit. Antud mastile on paigaldatud rippkeerdkaabel AMKA 3x70+95.

Esmalt leitakse tuulesurvejõud pikkusühikule vastavalt valemile 3.17. Tuule kiiruseks on valitud 25 m/s.

$$P_0 = 400 \cdot 0,036 = 14,4 \text{ N/m}$$

Kuna arvestatakse ka jäitega siis korrutatakse tuulesurvejõud läbi jäitega kaetud kaabli ning ilma jäiteteta kaabli läbimõõtude suhtega. Jäitekihi paksuseks võetakse 10 mm [13]. Jäitega kaetud ja katmata kaabli läbimõõtude suhe on 1,27 seega tuulesurvejõud arvestades ka jäidet on $P_0 = 14,4 \cdot 1,27 = 18,28 \text{ N/m}$.

Tuulesurve visangule valemiga 3.16 kui visangu keskmine pikkus on 59 meetrit.

$$P_j = 1 \cdot 18,28 \cdot 59 = 1078,52 \text{ N}$$

Masti telglõike pindala vastavalt valemile 3.19.

$$F = 0,5 \cdot (0,17 + 0,22) \cdot 8 = 1,56 \text{ m}^2$$

Tuule surve puitmastile valemiga 3.18.

$$P_m = 0,7 \cdot 400 \cdot 1,56 = 436,8 \text{ N}$$

Masti paindemomenti tuulesurvele vastavalt valemile 3.15.

$$M = 1078,52 \cdot 10 + 0,5 \cdot 436,8 \cdot 10 = 11004,8 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Ristsuunalistest jõududest tekkev pingus valemiga 3.21.

$$\sigma_r = \frac{1104800}{1064800} = 10,34 \text{ N/mm}^2$$

Masti ekvivalentne läbimõõt vastavalt valemile 3.25.

$$d_e = \frac{(0,17 + 2 \cdot 0,22)}{3} = 0,203 \text{ m}$$

Saledustegur λ leitakse vastavalt valemile 3.23.

$$\lambda = \frac{2 \cdot 10}{0,0508} = 393,7$$

Masti ekvivalentne ristlõike pindala vastavalt valemile 3.24.

$$A = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,203^2 = 0,0323 \text{ m}^2 = 32300 \text{ mm}^2$$

Enne mastisuunalise jõu arvutamist tuleb leida masti mass ning mastile monteeritud seadmete massid. Masti massiks arvestatakse 240 kg mis on võrdne 2352 N ning seadmete massid on võetud tootja kataloogidest [13, 16]:

1. Rippkeerdkaabel AMKA 3x70+95 – 59m x 1kg/m = 59 kg = 578,2 N;
2. Riputusklamber SO214 – 0,25 kg = 2,45 N;
3. Kandekonks SOT21 – 1,22 kg = 11,96 N;

Seadmete poolt rakendatav jõud kokku on 592,63 N.

Lisaks kaabli enda massile arvestatakse ka jäitest tekkivat lisakoormust. Jäitekoormus I kaabli pikkusühiku kohta vastavalt valemile 3.27, kus jäitekihi paksuseks võetakse 10 mm ning jäite tüübiks klaasjas jää, mille tihedus on 0,9 g/cm³ [11].

$$I = 9,82 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot \pi \cdot 10(10 + 36) = 12 \text{ N/m}$$

Jäitekoormus kaablile valemiga 3.26.

$$\sigma_j = 12 \cdot 59 = 708 \text{ N}$$

Mastisuunalisest survest tekkiv pingsus vastavalt valemile 3.22.

$$\sigma_p = \frac{60 \cdot (2352 + 592,63 + 708)}{32300} = 6,78 \text{ N/mm}^2$$

Masti valikul peab kehtima masti tugevustingimus vastavalt valemile 3.20. Elektrilevi võrgustandardi kohaselt peab masti paindetugevus olema vähemalt 18 N/mm² [15].

$$10,34 + 6,78 \leq 18$$

$$17,12 \leq 18$$

Kandemasti tugevusarvutustest selgub, et Mõnuvere alajaama võrgupiirkonna rekonstrueerimisel paigaldatavad uued puitmastid peavad koormusele vastu ning sellega tagavad madalpingeliini ilmastikukindluse.

4. KAITSESEADMETE VALIK JA SELEKTIIVSUS

4.1 Selektiivsuse saavutamise meetodika

Elektripaigaldise ebaõige talitluse tõttu tekkivate rikete ja hoolduskulude minimaliseerimiseks on tähtis tagada kaitsesüsteemi selektiivsus mis omakorda tagab elektripaigaldise majandusliku ja elektrilise optimaalse toimimise [17].

Elektripaigaldise kaitsesüsteemi eesmärk on eeskätt tagada paigaldise talituse ja inimeste ohutus. Samuti on vaja tagada, et rikkega mitte seotud elektripaigaldiste osasid asjatult välja ei lülitataks ning rikke koht oleks kiiresti identifitseeritav ning eraldatav ainult rikke põhjustanud ahel. Kaitseseadmed peavad ka tagama elektrivarustuse kvaliteedi ja pidevuse [17].

Liigvooluselektiivsus, kus liigvoolu all mõeldakse liigkoormusvoolu või lühisvoolu mis on suurem kui nimivool, on tagatud kahe jadamisi paigaldatud kaitseseadme vahel kui liigvool kutsus esile selle ahela kaitseseadme rakendumise, kus ahelas see liigvool tekkis ning ülejäänud ahelate elektrivarustus säilib ehk toitepoolne kaitseseade jääb sisselülitatuks. Täisselektiivsuse puhul rakendub mistahes liigvoolu korral ainult koormuspoolne kaitseseade, osalise selektiivsuse korral rakendub ainult koormuspoolne kaitseseade kuni liigvoolu etteantud väärtuseni [17].

Selektiivsust aja ja voolu järgi kasutatakse tavaliselt siis kui kaitse peab töötama liigkoormuspiirkonnas. Liigkoormuspiirkonna all mõeldakse 8 kuni 10 kordseid kaitseseadme nimivoolu suuruseid liigvoolu väärtuseid. Kui kaitse on valitud töötama lühispiirkonnas siis võidakse kasutada erinevaid viise, mida järgnevalt kirjeldatakse, selektiivsuse tagamiseks. Lühispiirkonna all mõeldakse rohkem kui 8 – 10 kordseid kaitseseadme nimivoolu suuruseid liigvoolu väärtuseid [17].

Selektiivsus aja ja voolu järgi selektiivsuse saavutamise viisiga on tegu siis kui voolu kasvades kaitselüliti rakendumisaeg lüheneb. Rakendumistunnusjoon on ajalise sõltuvuse

graafik. Aja ja voolu järgi rakendumine on selektiivne kui koormusvoolu poolne kaitselüliti rakendub varem kui toitepoolne kõigi paigaldises esineda võivate liigvoolu väärtuste korral. Selektiivsus on saavutatud kui toitepoolse ja koormuspoolse kaitselüliti rakendumistunnusjoontel ei esine kattuvusi kui mõlemat kaitselüliti läbib sama vool [17].

Selektiivsus voolu järgi põhineb asjaolus, et seda suurem on lühisvool mida lähemal toiteallikale lühis toimub. Seega on rikke tekkimise asukoht võimalik muust paigaldisest eraldada kaitselülite hetkvabastite erinevate sätete asetamisega. Toitepoolse kaitselüliti lühiskaitse sätte väärtus valitakse nii, et see ei rakenduks koormuspoolse kaitselüliti järel esineda võivate rikete puhul. Kuid juhul kui mõni kaitselüliti ei toimi ei ole süsteem võimeline kiiresti riket välja lülitama. Täisselektiivsus on võimalik siiski ainult saavutada võikeste lühisvoolude korral ja kui kaitselülite paigalduskohtades on lühisvoolud väga erinevad [17].

Selektiivsus aja järgi on eelmise viisi edasi arendus, kus määratakse rakendumisvoolule lisaks ka rakendumise viide. Teatud voolu väärtus kutsub esile kaitseseadme rakendumise alles valitud aja möödudes, sellega võimaldatakse rikkekohale lähemal oleval kaitseseadmel varem rakenduda ja seega eraldada rikkekoht. Koormuselt toite poole liikudes järjest suurendatakse kaitseseadmete rakendumisvoolusid ning rakendumisviiteid [17].

Selektiivsus energia järgi on eriline selektiivsuse tagamise viis, kus kasutatakse kompaktkaitselülite voolupiiravaid omadusi. Voolu piirav omadus tähendab seda, et välditakse lühisvoolu kasvu maksimaalväärtuseni. Need kaitselülid on ülimalt kiired lühiseolukorras. See nähtus sõltub tugevalt kaitselülite omavahelisest toimest. Kaitselülite selektiivsuse saavutamiseks tuleb kasutada tootjate poole avaldatud tabeleid [17].

Selektiivsus lühise koha järgi on edasi arendus selektiivsuse saavutamisest aja järgi. See selektiivsuse tagamise viis saavutatakse voolutugevust mõõtvate seadmete omavahelise suhtlemise järgi. Mõõteseadmed saadavad informatsiooni jälgimissüsteemile, mis otsustab, milline kaitseseade peab rakenduma või suhtlevad kaitseseadmed otse omavahel. Sellise viisiga saavutatakse väga kõrge selektiivsus kui see on kallim ning nõuab täiendavat toiteallika olemasolu [17].

4.2 Saki liitumispunkti kaitseseadmed ning selektiivsus

KP/MP alajaamades fiidrikaitsmed, fiidri seksioneeriv kaitseseade ja liitumispunktide kaitseseadmed peavad enamalt 5 sekundi jooksul automaatselt katkestama vooluahela või seadme liinijuhtme toite. Fiidrikaitsmena ja seksioneeriva kaitseseadmena tuleb reeglina kasutada gG tüüpi rakendustunnusjoonega sulavkaitsmeid või teatud juhtudel reguleeritava sättega kaitselüliteid. Liitumispunktides tuleb kaitseseadmena kasutada C-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliteid. Kui C-tüüpi kaitselüliti jaoks vajalikku lühisvoolu pole võimalik ülemääraste kuludeta saavutada võib kasutada ka B-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliteid [3].

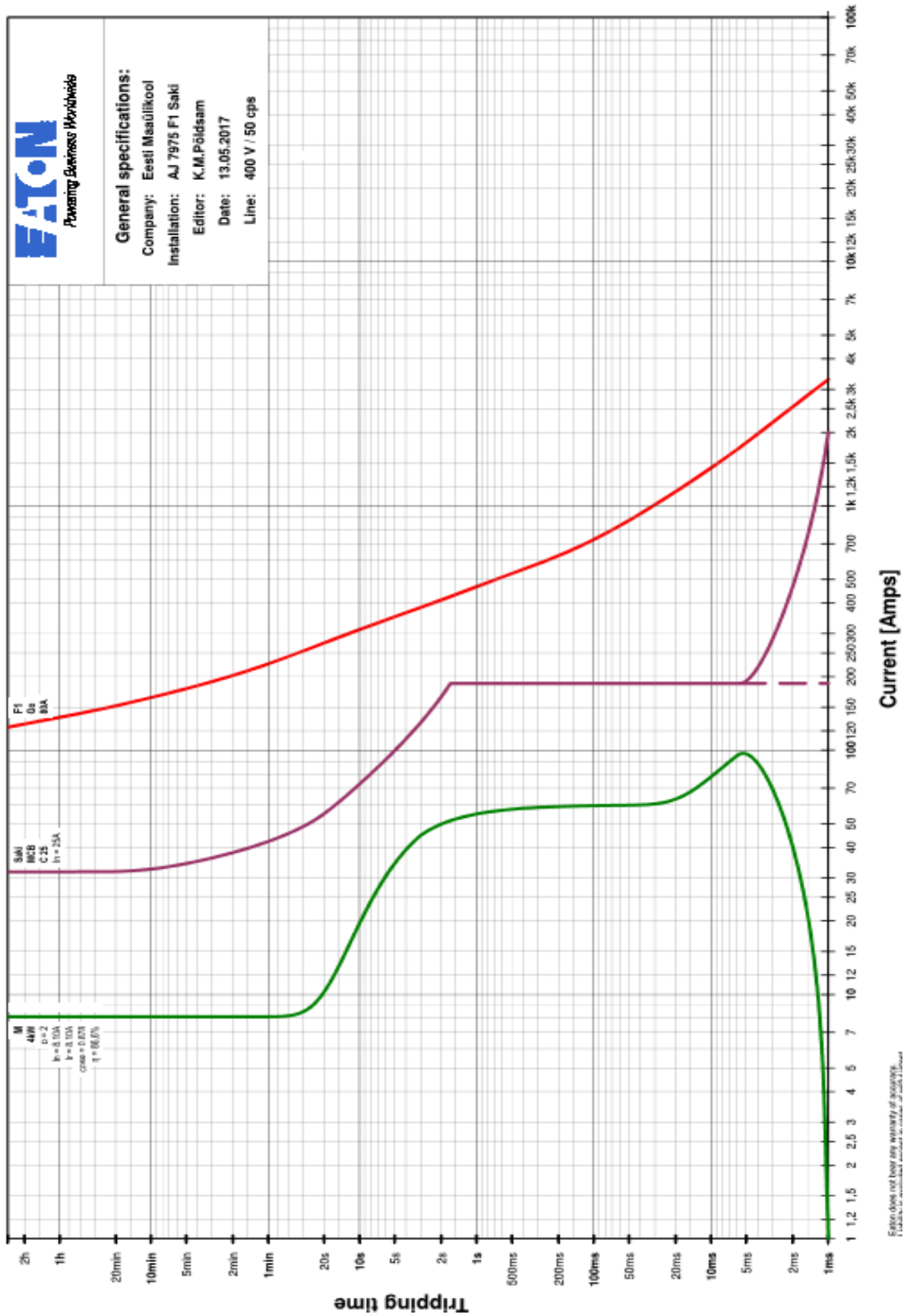
Fiidrikaitsme valimisel arvestades käesolevas töös varem kirjeldatud asjaolu, et rekonstrueeritav madalpingevõrk klassifitseeritakse kui varem väljaehitatud võrk, mille korral võib fiidrikaitsmeks valida 3-kordse nimivooluga võrdse kaitseseadme. Alajaama 7975 fiider 1 kõige kaugemal asuvas punktis on lühisvoolu suuruseks 254,29 A, mis lubab fiidrikaitsmena kasutada 80 A nimivooluga gG sularit. Alajaama 7981 fiider 1 kaugeimas punktis on lühisvooluks 175,4 A ning seega fiidrikaitsmeks 50 A nimivooluga gG sularid.

Liitumispunkti kaitselüliti peab nõuete kohase väljalülitamise aja tagama vähima ühefaasilise lühisvoolu juures. Selle nõude täitmiseks peab jaotusvõrk koostöös tarbijaga valima liitumisühenduse projekteerimisel sobiva ristlõike ja kaitseseadme nimivoolu [3].

Käesoleva töö käigus muudetakse vaid ühe liitumispunkti peakaitsme suurust. Saki liitumispunkti peakaitsme suuruseks enne rekonstruktsiooni oli 50 A, mis on arvestades kaugust alajaamast ning tegelikku tarbimis vajadust ebamääraselt suur ning ei tagaks nõuetekohast väljalülitusaega rikkekorral. Saki liitumispunkti tarbijaks on ühepere talumaja. Seega arvestades tegelikku tarbimist ning optimaalset õhukaabli ristlõiget on Saki liitumispunkti uueks peakaitsmeks valitud 25 A nimivooluga C-tüüpi rakendustunnusjoonega kaitselüliti.

Joonisel 4.1 on esitatud alajaama 7975 fiidrikaitsme ning Saki liitumispunkti kaitselüliti tunnusjooned. Tunnusjoonte koostamisel on kasutatud ettevõtte *Eaton* poolt loodud *Microsoft Exeli* põhjal põhinevat programmi *Curve Select v1.3*.

Tripping graphs



Joonis 4.1. Alajaama 7975 F1 ning Saki liitumispunkti kaitseseadmete rakendustunnusjooned

Joonis 4.1 x-teljel on näidatud vool amprites ning y-teljel rakendumise aeg sekundites, minutites ja tundides. Graafikul kuvatud rakendumistunnusjoontel on näidatud kaitseseadmele antud nimetus, tüüp ning nimivool. Graafikul kuvatavateks kaitseseadmeteks on Saki liitumispunkti 25 A nimivooluga C-tüüpi kaitselüliti ning alajaama 7975 F1 gG tüüpi 80 A nimivooluga sulavkaitse.

Kaitselülite selektiivsus on saavutatud siis kui koormuse poolne kaitseseade rakendub mistahes liigvoolu korral varem kui toitepoolne kaitseseade ning tuginedes joonisel 4.1 kuvatud rakendustunnusjoontele võib väita, et nende kaitseseadmete vahel on selektiivsus tagatud.

Graafikul on lisaks ka esitatud elektrimootori käivitustunnusjoon. Sama mootori parameetritega on arvatud punktis 3.4.2 pinge vähenemine elektrivõrgus mootori käivitamisel. Nagu selgub jooniselt on Saki kinnistul võimalik selliste parameetritega mootorit kasutada ilma, et rakenduks kaitselüliti.

5.PINGEPROBLEEMIDE LAHENDAMINE

LISASEADMEGA

5.1 Toitepinge kvaliteedi mõju elektriseadmetele

Toitepinge kvaliteedile on viimaste aastate jooksul järjest rohkem tähelepanu pööratud. Põhjusteks võib lugeda näiteks elektrienergia hinna tõusu ning uute elektriseadmete tundlikkus on kasvanud pingekvaliteedi hälvetele. Elektrivarustuse kvaliteet sisaldab kokkuvõtlikult elektrivarustuse kvaliteeti ja töökindlust, elektrivarustuse ohutust nii inimesele kui ka keskkonnale, tarbija informeeritust ning elektrienergia hinda [18].

Ideaalses olukorras ei oleks toitepingel mitte ühtegi kõrvalekallet järgmistest omadustest: toitepinge sagedus 50 Hz, toitepinge suurus alati 230/400 V, hälbepingest puuduvad, katkestusi ei esine, harmoonilised moonutused puuduvad ning faasipinged oleksid sümmeetrilised [18].

Tegelikkuses sellist olukorda, mida kirjeldati eelmises lõigus ei esine. Toitepinge kvaliteet halveneb alajaamast järjest kaugemale minnes ning pikkade liinide otsas olevad tarbijaid võib see häirima hakata. Kvaliteedi halvenemist põhjustavad loodusnähtused ning nende tõttu tingitud lülitused ning avariid. Samuti põhjustavad toitepinge kvaliteedi halvenemist tarbijad ise ning loomulikult ka jaotusvõrgu parameetrid [18].

Kõike tähtsamateks toitepinge parameetriteks loetakse: pingesuurust, keskmist pingeniivood ja selle hajuvust, pingelohke ja -muhke ning toitekatkestusi, harmooniliste moonutusi ning pingepinge asümmeetriat eri faasides. Kuid pingesuurus on energiatarbimise seisukohast kõige tähtsam kuna sellest sõltub tarbitav vool ja võimsus [19].

Pingeprobleemid väljenduvad tavatarbijatele näiteks seadmete seiskumise või valgustite heleduse muutuses. Samuti on tõusnud elektroonikaseadmete kasutamine kodudes ning inimeste arv, kes töötavad kodudest see teeb ka tavakasutaja nõudlikuks pingekvaliteedi asjus. Peamiselt väljenduvad pingeprobleemid kodutarbijatel näiteks kütte – ja

jahutusseadmete, pumpade, köögiseadmete, arvutite ning valgustite töö katkestuse, rikete või talitluse häiretena [19].

Käesolevas töös ei olnud võimalust uurida lähemalt toitepinge kvaliteedi kõiki parameetreid tarbijate liitumispunktides. Küll aga on arvutatud teoreetiline keskmine nimipinge väärtus tarbijate liitumispunktides käesoleva töö punktis 3.4. Nagu arvutustulemused näitavad ei ole kõikidele tarbijatele tagatud nõuetekohane toitepinge suurus, selle probleemi kõrvaldamiseks on selles töö osas välja toodud järgmised võimalused.

5.2 UPS seadmed

UPS – seadmed (*uninterruptible power supply*) ehk katkematud toiteallikad, nimetatud kui ka puhvertoiteallikad, on hetkel kõige enam levinud seadmed mis kasutavad toimimiseks akusid ning teisi energiasalvesteid. *UPS* seadmed on just tänu akudele võimelised lahendama rohkem pingeprobleeme kui näiteks pingestabilisaatorid. Pingeprobleemideks, mida *UPS* seadmed suudavad lahendada on näiteks pingelohus, katkestused, sageduse kõikumine ja pingemuhud [19].

Kasutusel on kolme tüüpi *UPS* seadmeid, nendeks on [19]:

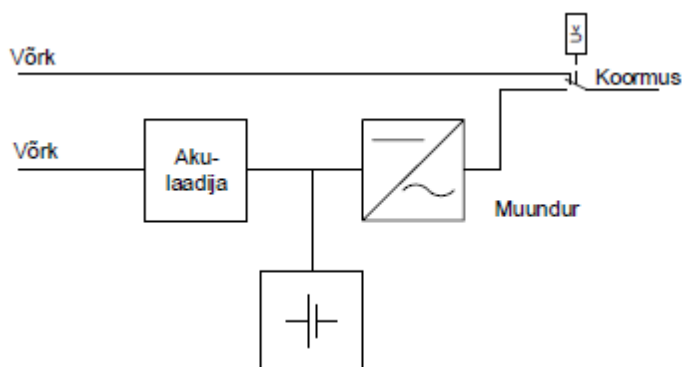
1. Lahus- või ootetalitluses *UPS* – see seade on võrgu pingest ja sagedusest sõltuv.
2. Liini – aktiivne *UPS* – see seade ei sõltu võrgu pingest.
3. Sidustalitluses *UPS* – see seade ei sõltu võrgu pingest ega sagedusest.

Alljärgnevas tabelis 5.1 on esitatud, millisesse *UPS* rühma kuuluv seade suudab lahendada, milliseid pingeprobleeme. Näiteks sidustalitluses seadmeid on võimalik kasutada kõikide probleemide lahendamisel mis on esitatud tabeli teises veerus aga lahustalitluses seadmetega on võimalik lahendada vaid esimesest kuni kolmanda reani kirjeldatud probleeme.

Tabel 5.1 *UPS* – seadmete liigitus ja kasutusala [19]

Jrk	Lahendatav pingeprobleem	Kestvus	IEC – klass	UPS - klass
1	Pingekatkestus	> 10 ms	Pingest ja sagedusest sõltuv	3 Lahustalitlus Ootetalitlus
2	Pingelohk	≤ 16 ms		
3	Pingemuhk	≤ 16 ms		
4	Alapinge (sh 1-3)	Pidev, püsiv	Pingest sõltumatu	2 Liini - aktiivne
5	Ülepinge (sh 1-3)	Pidev, püsiv		
6	Välgu mõjud (sh 1-5)	Juhuslik	Pingest ja sagedusest sõltumatu	1 Sidustalitlus Topeltmuundus
7	Pingepiigid	< 4 ms		
8	Sageduse kõikumine (sh 1-5)	Juhuslik		
9	Pingemoonutus (sh 1-5)	Perioodiline		
10	Harmoonilised ja pinge muud kõikumised (sh 1-5)	Pidev, püsiv		

Lahus- või ootetalitluses *UPS* seadme väljund sõltub sisendist ehk siis väljundpinge sagedus ja amplituud sõltub sisendpinge sagedusest ja amplituudist. Sellel *UPS* seadmel on vaid baasvõimalused, milleks on reservtoide ning ülepingekaitse. Seadmed, mida selle *UPS*'iga kaitstakse on tavaolukorras ühendatud otse võrguga. Kui pinge väärtus sisendis ületab sätestatud norme, kas siis langeb liiga madalale või tõuseb liiga kõrgele, lülitub seade ümber aku toitele läbi DC/AC muunduri. Toide säilitatakse niikaua kui seda aku mahtuvus võimaldab või kuni võrgupinge on saavutanud normidele vastava väärtuse. Joonisel 5.1 on esitatud sellise *UPS* seadme põhimõtte skeem [19].

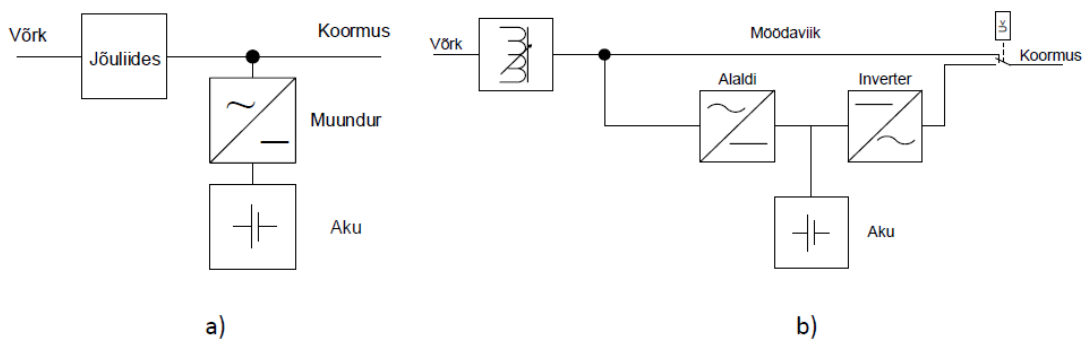


Joonis 5.1. Lahus – ootetalitluses *UPS* [19]

Selle *UPS* seadme puuduseks näiteks sidustalitluses *UPS*'i ees on ümberlülituse aeg, tavaliselt ei ületa see 25 ms ning võib muutuda olenevalt sellest kui kiiresti tuvastatakse pingemuutused. Tavaliselt kasutatakse sedalaadi *UPS* seadet arvutite kaitseks, tüüpiliselt suudavad katta kuni 20 minutilise pingekatkestuse. Seadme eeliseks on odavus kuid puuduseks on see, et ei saa toitekvaliteeti parandada [19].

Liini – aktiivsel ehk hübriid *UPS* seadmel erinevalt lahus – ootetalitluses *UPS* seadmeist ei sõltu väljundpinge amplituud sisendpinge amplituudist. Liiniaktiivne *UPS* seade koosneb üldjuhul vahelduvvoolu jõuliidese ja kahe-suunalisest inverterist. Stabiliseeritud toide saavutatakse tavaolukorras läbi jõuliidese või muunduri kuid siis on väljundsagedus sõltuv võrgu sagedusest. Muundur ja jõuliides võimaldavad lisaks väljundi stabiliseerimisele ka akude laadimise võimalust. Kui võrgupinge või võrgusagedus ületab sätestatud piire siis jõuliidese abil eraldatakse koormus võrgust ning lülitatakse aku toitele muunduri kaudu. Toide säilitatakse niikaua kui seda aku mahtuvus võimaldab või kuni võrgupinge on saavutanud normidele vastava väärtuse. Kui muundur on ühesuunalise siis kasutatakse lisaks eraldi akulaadijat [19].

Lisaks eelnevalt kirjeldatule võib seade omada korrigeerivat autotrafot, ferresonantstrafot või muud seadet, mida juhtides on võimalik sisendis kompenseerida pingelohke ja pingemuhke. Trafo puhul mähiseid automaatselt ringi lülitades on võimalik kompenseerida kuni $\pm 25\%$. Sellise seadmega liini-aktiivne *UPS* seade, suudab ilma akust reservtoidet kasutamata, töötada pideva ülepinge või alapinge tingimustes. Tõhusus tavaliselt vahemikus 96 – 98%. Tüüpiline liini-aktiivne *UPS* ning autotrafoga seade on esitatud joonisel 5.2 [19].

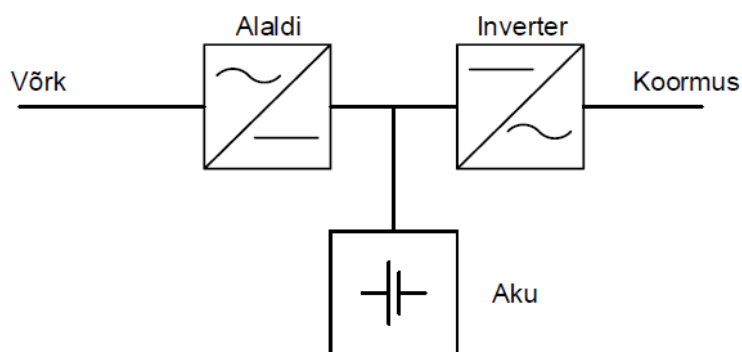


Joonis 5.2. Liini – aktiivne *UPS* a) tavaolukorras b) autotrafoga [19]

Liini – aktiivne *UPS* seade on populaarne kuna kasutab ära autotrafo ja ootetalitluses *UPS*'i eeliseid. Kui on olemas kompenseeriv lüli siis väikest pingemuhku on võimalik kompenseerida autotrafo pinge alandamisega ning aku laadimisega, väikest pingelohku kompenseeritakse aga vastupidi, nimelt autotrafo pinge tõstmisega ja aku tühjendamisega. Akust täielikult tagatakse toide suurte pingelohkude ja pingemuhkude korral, suudab katta 5 kuni 30 minutilise pingekatkestuse [19].

Seadme eeliseks ootetalitluses *UPS*'i ees on üleminek akutalitlusele ilma voolukatkestuseta ning võimalus toitekvaliteeti parandada. Järgnevalt kirjeldatava sidustalitluses *UPS* seadme ees olevateks eelisteks on madalam energiatarve kuna kui võrgupinge on lubatud piirides siis lülitatakse vaheldi välja ning tänu komponentide väiksemale arvule on suurem töökindlus ning madalam töötemperatuur, millega seoses on väiksemad soojuskaod [19].

Sidustalitluses teisisõnu ka topelt muundusega *UPS* seadme sisendpinge sagedusest ja amplituudist ei sõltu väljundpinge sagedus ja amplituud. Põhimõttelt sarnaneb see seade lahustalitluses *UPS* seadmele kuid neil on erinevad juhtimisprintsiibid. Sisustalitluses *UPS*'i korral tagatakse toide koormusele alati läbi muundurite, seepärast kutsutakse ka seda *UPS*'i ka topelt muundusega *UPS* seadmeks. Tõhusus tavaliselt vahemikus 85 – 92 %. Joonisel 5.3 on esitatud sidustalitluses *UPS* seadme põhimõtteskeem.



Joonis 5.3. Sidustalitluses *UPS* seade [19]

Erinevalt teistest kirjeldatud *UPS* seadmetest toidetakse koormust alati läbi alaldi ja inverteri. Kui sisendis toitepinge parameetrid ei vasta sätestatud nõuetele või kui toide katkeb siis alaldi lülitub välja ning väljundis tagatakse muutumatu toide akude abil. Võrgutoite taastudes katab alaldi koormuse vajadused ning tagab akude laadimise. Akude pikema eluea tagamiseks piiratakse seljuhul laadimisvoolu. Sidustalitluses *UPS* seadmeid kasutatakse tavaliselt tundlike seadmete toiteks [19].

Sidustalitluses *UPS* seadme peamine eelis on väljundis sõltumatu toitekvaliteet ning akude pikem eluiga. Lisaks võimaldab sedalaadi seade ka võimsusteguri korrigeerimist. Liiniaktiivse *UPS* seadme ees on eelisteks sageduse reguleerimine, kompaktsus ning topelt muunduse tõttu kasutab akut vähem kui sisendpinge on tugevalt häiritud. Puudusteks on

seadme kallidus ning kuna on rohkem komponente siis madalam töökindlus ning suuremad soojuskaod [19].

Alljärgnevas tabelis 5.2 on esitatud sidustalitluses oleva *UPS* seadme hind vastavalt võimsusele, faaside arvule ja täieliku toitepinge katkestuse katmise võimekusele. Hinnad on esitatud ilma käibemaksuta ning ei ole arvestatud kaitseseadmeid välistingimustesse paigaldamisel [19].

Tabel 5.2 Sidustalitluses *UPS* seadmete hinnad [19]

1 faas			3 faasi		
Mudeli tüüp	Katkestuse kestvus, min	Ligikaudne hind	Mudeli tüüp	Katkestuse kestvus, min	Ligikaudne hind
10 kV·A	10	5700	10 kV·A	5	3700
	30	8000			
15 kV·A	9	7000	15 kV·A	5	4360
	35	10000			
20 kV·A	10	9000	20 kV·A	5	5000
	25	11000			
	45	17000			

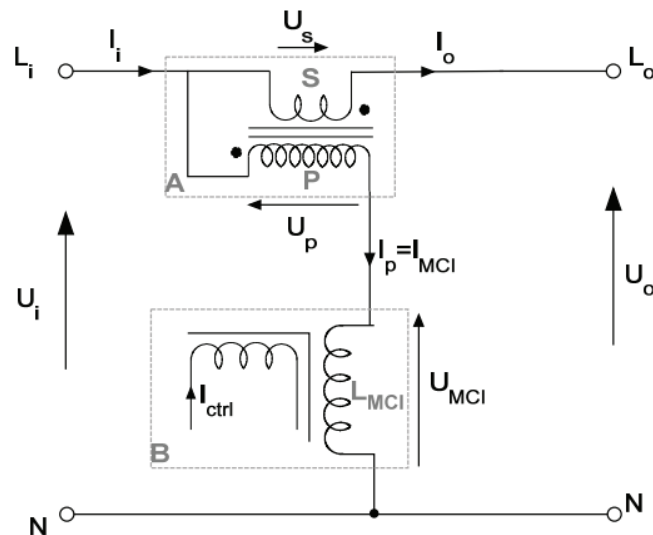
Käesolevas töös sobiks pikkade liinide pingeprobleemide lahendamiseks kirjeldatud *UPS* seadmete hulgast liiniaktiivne seade. Kuna suudab ilma akust reservtoidet kasutamata töötada pideva ülepinge või alapinge tingimustes, mis ongi hetkeolukorras kõige tähtsam. Lühikeste katkestuste kompenseerimine on ainult plussiks. Samuti on liiniaktiivsel *UPS* seadmel suur töökindlus ning tõhusus.

5.3 Elektromagnetilised pingetõstjad

Magtech AS on väljatöötanud magnetilised pingetõstjad (*magnetic voltage booster, MVB*), milles kasutatakse nii nimetatud virtuaalset õhuvahemikku (*virtual air gap*) mis on magnetvoo reguleerimissüsteem, mis võimaldab hoida väljundis stabiilset pingetaset sõltumata sisendpinge muutumisest. Väljundpinget juhitakse alalisvooluga [19].

Tänu magnetiliselt kontrollitavale induktiivsusele (*magnetically controllable inductance, MCI*) saavutatakse sujuv pinge reguleerimine ilma liikuvate osadeta. See teeb magnetiliset pingetõstjast kiirelt reageeriva, robustse ning hooldevaba seadme, millel on pikk eluiga. *MCI*

koosneb vasest ja rauast. Peamine vase mähis väljaspool pinge tõstmise ahelat tekitab vahelduvat magnetvoogu seadme südamikus. Seadme sees olev DC reguleerimis mähis tekitab pideva magnetvoo, mis on eelmisele risti. Alalisvoolu mähise tekitatav magnetvoog kontrollib induktiivsust peamises mähises. *MCI* on magnetiliselt reguleeritav induktor, millel on väga kõrge efektiivsus ning suur reguleerimise vahemik. Joonisel 5.4 on esitatud ühefaasilise elektromagnetilise pingetõstja põhiskeem, kust on väljajäetud seadme juhtahelad [20].



Joonis 5.4 Elektromagnetilise pingetõstja põhimõtteskeem [20]

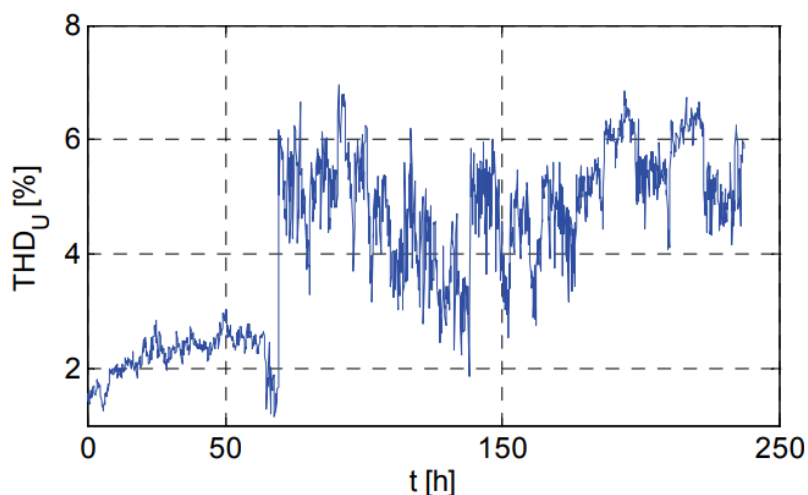
Joonisel 5.4 on näha seade A, mis on autotrafo ning seade B, milleks on pinge reguleerimise ahel. U_i ja U_o on sisend- ja väljundpinge, U_p ja U_s on pinged mähistes ning U_{MCI} on muutuva induktiivsusega mähise pinge. I_i ja I_o on sisend- ning väljundvool, kus $I_p = I_{MCI}$ on näidatud mähiste vool. I_{ctrl} on alalisvool, millega juhitakse magnetvoogu. Väljundpinge U_o on alati sätestatud 235 V juurde seega muutuv sisendpinge U_i tuleb kompenseerida ahela omadusi muutes. Autotrafo ülekandetegur on kindlalt paigas seepärast tuleb muuta L_{MCI} induktiivsust [20].

Joonisel 5.5 on esitatud *Magtech* pingetõstja paigaldamine puitmastile.



Joonis 5.5. Magtech pingetõstja paigaldatud puitmastile [21].

MVB on mittelineaarne koormus ning kõik mitte lineaarsed koormused suurendavad harmooniliste moonutusi, mida iseloomustatakse mittelineaarsetel tarvititel harmooniliste kogumoonutuste (*total harmonic distortion, THD_i*) kaudu, see näitab kui palju on põhisageduslikust siinuskõveraga voolu kujust tarbija voolu kuu moonutatud. Järgneval joonisel 5.6 on esitatud harmoonikute kogumuunduse tõus kui kasutatakse elektromagnetilist pingetõstjat [20].



Joonis 5.6. Harmooniliste kogumoonutuste tõus kasutades *MVB*'d [20]

Joonisel 5.6 näidatud järsk tõus harmooniliste kogumoonutuses toimus hetkel kui lülitati töösse elektromagneetiline pingetõstja. Mõõtmine on tehtud 55 kV·A võimsuse seadmega. Algselt on kogumoonutuste ulatus umbes 2,5 % ning peale seadme kasutuselevõttu umbes 5% keskmiselt [20].

Erinevates standardites on esitatud harmooniliste piirväärtused. Nende piirväärtuste puhul on vastuvõetavad harmooniliste poolt tekitatud lisakaod. Üle 5% THD tase ei ole soovitatav põhjustades lisakadusid elektrisüsteemis ning THD üle 10% pole lubatud põhjustades seadmete töös häiringuid. Seega ei saa panna elektromagneetilis pingetõstjat võrkudesse, kus on kõrge harmooniliste kogumoonutuse tase [18].

Kuna *Magtech*'i pingetõstja on robustne ning ilma liikuvate osadeta on seadme tööiga eeldavasti 25 aastat. Seade sobib hästi pingetaseme parandamiseks pikkadel madalpinge liinidel. Lisaks pingeprobleemidele võimaldab seade lahendada ka liitumispunkti kaitsme rakendumise probleemi tõstes lühisvoolu [19].

Tabel 5.3 *Magtech* pingetõstjate tehnilised andmed [19, 21]

Parameeter	Andmed	
Pingetõstja tüüp	MVB70-400	MVB40-230
Sagedus, Hz	50	50
Faase	3	1
Pinge, V	230/400	230
Koormus, kV·A	30	10
Nimivool, A	40	25
Väljundpinge säte, V	235	235
Pinge tõstmine, %	0 - +15	0 - +17
Sümmeetriline koormus		
Pinge tõstmine, pinge vähendamine, %	0 - +28, 0 - -7	0 - +17
Ebasümmeetriline koormus		
Reageerimisaeg, ms	150	150
Tühijooksukaod, W	180	180
THD, %	1-5	1-4
Efekttiivsus, %	97-99	96-97
Hind, €	8100	-

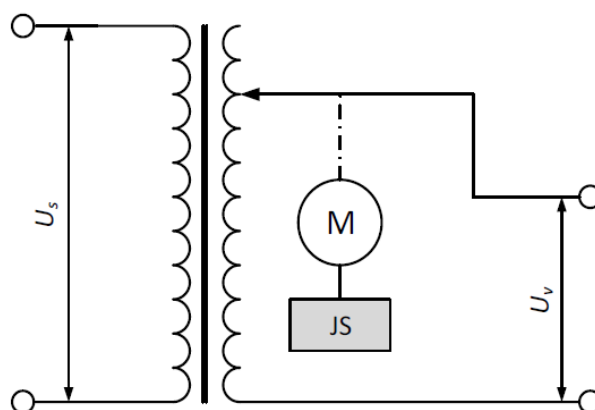
Tabelis 5.3 on esitatud ettevõtte *Magtech* toodetavate pingetõstjate tehnilised andmed.

5.4 Elektromehaanilised ja elektroonilised pingestabilisaatorid

Pingestabilisaatorid koosnevad põhiliselt juhtahelast ja trafost, millel on muudetav väljundpinge. Pingestabilisaatoreid jagatakse kolme kategooriasse, jaotamine toimub väljundpinge muutmise moodusest, milleks on [19]:

- 1) pingestabilisaatorid, mille väljundpinget muudetakse sujuvalt;
- 2) pingestabilisaatorid, mille väljundpinget muudetakse astmeliselt;
- 3) hübriidsed pingestabilisaatorid.

Enamasti jääb neil võimsus alla $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$, toodetakse nii ühefaasilisi kui ka kolmefaasilisi seadmeid. Elektromehaaniline pingestabilisaator, millel on sujuvalt muudetav väljund kujutab endast pinget tõstvat trafot koos pöörleva liugkontaktiga. Trafo kontaktpinnal olevat liugkontakti asendit reguleeritakse servoajamiga mis sujuvalt muudav trafo ülekandetegurit. Joonisel 5.7 on esitatud kirjeldatud pingeregulaatori lihtsustatud põhimõtteskeem [19].



Joonis 5.7. Sujuvalt muudetava väljundiga pingeregulaatori lihtsustatud skeem [19]

Kui joonisel 5.7 kujutatud väljundpinge U_v ei vasta etteantud piiridele siis muudetakse servomootoriga liugkontakti asendit sekundaarmähisel. Liugkontakti juhtimine toimub läbi juhtimissüsteemi JS ning seeläbi reguleeritakse väljundpinge väärtust [19].

Üheks ettevõtteks, kes toodab sujuvalt muudetava väljundiga pingeregulaatoreid on *Ashley Edison*. Selle ettevõtte seadmed võimaldavad kuni 40% nimipinge kõrvalekaldumisi stabiliseerida. Tehnoloogia reaktsiooniaeg on väga kiire ning tootja sõnul on seade praktiliselt hooldevaba. Tabelis 5.4 on esitatud *Ashley Edison*'i ühe- ja kolmefaasilise pingestabilisaatori andmed [19].

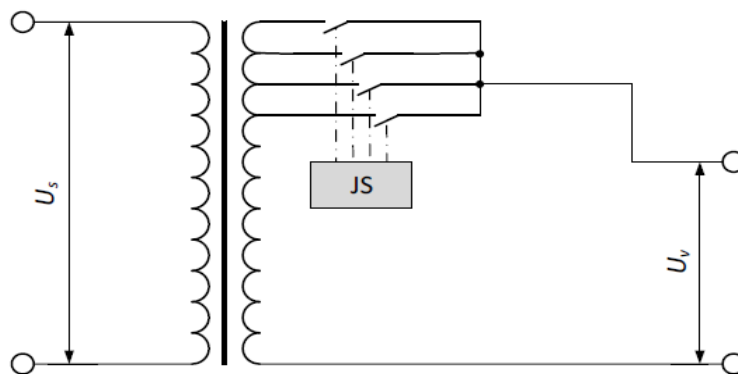
Tabel 5.4 *Ashley Edison*'i ühe- ja kolmefaasilise pingestabilisaatori andmed [19, 22].

Parameeter	Andmed	
Tüüp	OSES-30H-S15	OSES-30H-3P-S15
Faaside arv	1	3
Reguleerimis vahemik, %	± 15	± 15
Väljundpinge seaded, V	220, 230, 240	380/220, 400/230 või 415/240
Nimivõimsus, kV·A	30	30
Väljundpinge regul. täpsus, %	1	0,5
Kasutegur, %	98	98
Kaitseaste	IP54	IP54
Temperatuur, °C	-15...50	-15...50
THD, %	<1	<1
Hind, €	14995	8595

Lisaks on seadmel kaitseüliti, üle- ja alapinge kaitse, piksekaitse ning möödaviigu lüüti. Kui seade asetseb keskkonnas, mille temperatuur võib langeda alla 15° C on võimalik seadmele tellida lisasoojendi [22].

Selliste seadmete eeliseks on suur reguleerimistäpsus ning kuna väljundpinge reguleerimine toimub sujuvalt puuduvad järsud pingetõuked ja elektromagnethäired. Eelisteks on veel lüüajalise ülekoormamise võimalus, suur sisendpinge vahemik ning moonutuste vaba väljundpinge [19].

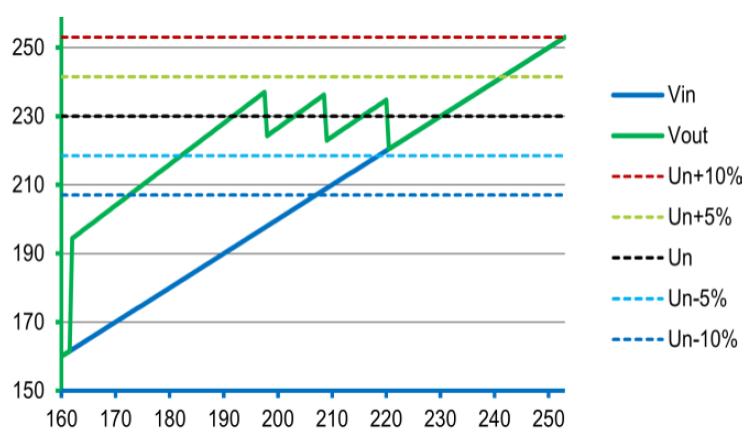
Pingestabilisaator, mille väljundpinge reguleerimine toimub astmeliselt koosneb juhtplokist ning trafost, millel on mitu väljavõtet. Sageli nimetatakse neid seadmeid lülituspõhimõtte järgi ka elektroonilisteks pingestabilisaatoriteks. Joonisel 5.8 on esitatud sellise seadme lihtsustatu skeem [19].



Joonis 5.8 Astmeliselt muudetava väljundiga pingeregulaatori lihtsustatud skeem [19]

Kui joonisel 5.8 kujutatud väljundpinge U_v ei vasta etteantud piiridele siis lülitab juhtplokk releede abil, väljundpinge stabiliseerimiseks, trafo mähiseid ümber. Sellega kaasneb väljundpinge järsk muutus, mis võib tarbijale olla häiriv, näiteks hõõgpirnide heleduse kõikumine. Reguleerimistäpsus jääb üldjuhul $\pm 4 - 10 \%$ vahemikku, see sõltub mähiste väljavõtete arvust [19].

Astmeliselt muudetavaid pingestabilisaatoreid toodab näiteks ettevõtte *Ensto*. Pingeallikana kasutatakse autotrafot. Primaarahel on jagatud kolmeks alammähiseks ning väljundpinge tõstmise asteteks on 20%, 13,3 % ja 6,7%, mis on määratud mähise ülekandesuhtega. Pingetõstmise vajaduse määrab ära juhtelektroonika, mis mõõdab igas faasis sisendpinget ja väljundpinget, mille peale määratakse vastav ülekandesuhe. Kui puudub vajadus pingereguleerimiseks aktiveerub möödaviiklülitit. Joonisel 5.9 on esitatud *Ensto* pingetasandaja väljundpinge sõltuvus sisendpingest. Nagu näha joonisel 5.9 toimub pingetõstmine kui sisendpinge väärtus on vahemikus 162 – 222 V. Sellest sisendpingest madalamal ning kõrgemal väärtusel kasutatakse möödaviigu lülitit [19].



Joonis 5.9. *Ensto* pingestabilisaatori väljundpinge sõltuvus sisendpingest [19, 23]

Seade ei vaja jahutuseks õlimahutit, jahutus toimub loomuliku konvektiooni teel. Seade on ilmastiku eest kaitstud. Seadme kaod möödaviiklülilit kasutades on 10W, maksimaalkoormusel pinget tõstes on 40W ning ümberlülitusseadmes on kaod 50W. Tabelis 5.5 on esitatud *Ensto* pingestabilisaatori andmed [19].

Tabel 5.5 *Ensto* pingestabilisaatori andmed [19, 23]

Parameeter	Andmed	
Seadme tüüp	VB30K-3P	VC6K-1P-000
Nimivõimsus, kV·A	3 x 10	1 x 6
Nimivool, A	3 x 44	1 x 25
Kaitseasete	IP44	IP44
Faaside arv	3	1
Reaktsiooniaeg, ms	300	300
Tühijooksukaod, W	< 10	< 5
Kasutegur, %	> 98	> 98,8
Kaal, kg	130	35
Hind, €	7000	-
Pingetõstmise astmed sõltuvalt sisendpingest, % (V)	20 (162 - 198), 13,3 (198 - 209), 6,7 (209 - 222), Möödaviik (> 222)	15 (170 – 195), 10 (195 – 205), 5 (205 – 215), Möödaviik (> 215)

Eeliseks astmeliselt muudetava väljundpingega pingestabilisaatoril on suurem reguleerimiskiirus kui sujuvalt muudetava väljundpingega seadmel ning ka suurem sisendpinge vahemik. Samuti ei ole vajalik külmal del ilmastikutingimustes töötamiseks lisasoojendit. Sarnaselt sujuvalt muudetava väljundpingega pingestabilisaatorile on seadmel kõrge kasutegur ja moonutusteta väljundpinge. Põhiliseks puuduseks on pingehüpped, mis kaasnevad astmelise reguleerimisega [19].

5.5 Seadmete efektiivsuse võrdlus

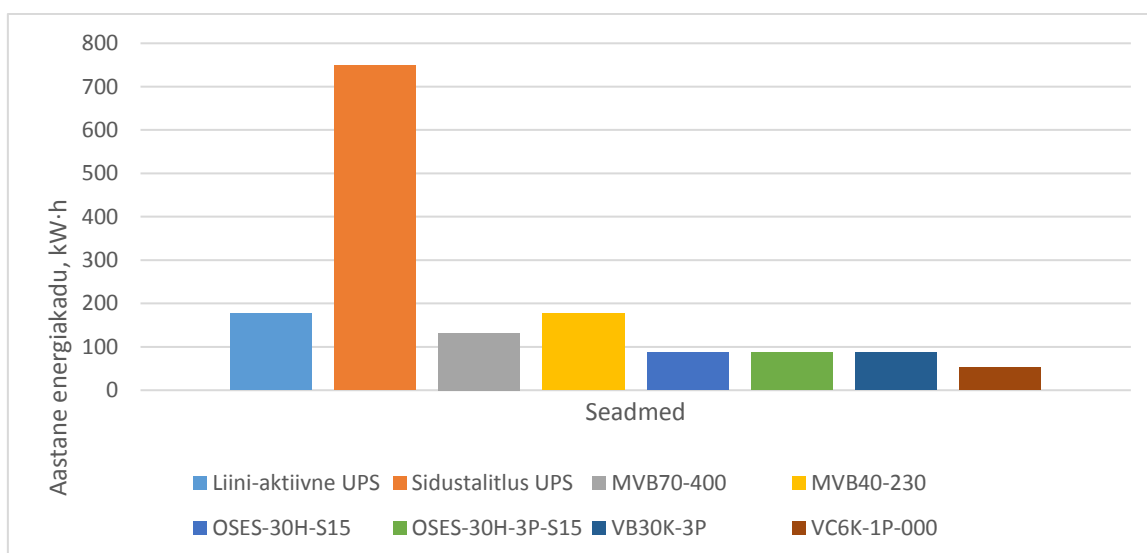
Kuni 20000 kW·h aastatarbimisega tarbimiskohtade keskmine aastane tarbimine aastal 2013 oli 4245 kW·h. Sellised tarbimiskohad moodustasid 95% kogu tarbimiskohtadest, neid oli ligi 620000 tükki [1].

All järgnevas tabelis 5.6 on esitatud uuritud seadmete kasutegurid, mille kaudu on leitud, vastavalt tarbimiskohtade aastasele keskmisele tarbimisele, aastane elektrienergia kadu ning selle hind. Elektrienergia hinnaks on võetud 0,054 eurot kW·h. Seadmed, mille kasutegur on antud vahemikus on tabelisse kantud minimaalne kasutegur.

Tabel 5.6 Seadmete efektiivsused ja aastane elektrienergia kadu

Seadme tüüp	Kasutegur, %	Aastane energiakadu, kW·h	Energiakao maksumus aastas, €
Liini-aktiivne UPS seade	96	176,9	9,6
Sidustalitlus UPS seade	85	749,1	40,5
Magtech MVB70-400	97	131,3	7,1
Magtech MVB40-230	96	176,9	9,6
Ashley Edison OSES-30H-S15	98	86,3	4,7
Ashley Edison OSES-30H-3P-S15	98	86,3	4,7
Ensto VB30K-3P	98	86,3	4,7
Ensto VC6K-1P-000	98,8	51,6	2,8

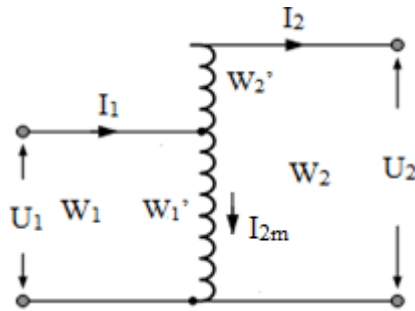
Tabeli 5.6 andmete põhjal on koostatud tulpdiagramm mis on esitatud joonisel 5.10. Diagrammi x-teljel on eritatud erinevad uuritud seadmed ning y-teljel nende seadmete aastane energiakadu.

**Joonis 5.10.** Seadmete efektiivsuste võrdlus

Nagu tabelist 5.6 ning jooniselt 5.10 selgub ei ole aastased energiakaod ja selle maksumused uuritud seadmete puhul suured. Kõik seadmed on küllaltki sarnaste kadudega välja arvatud sidustalitluses UPS seade, mille energiakadu on teistest kordades suurem. Kõige efektiivsem on Ensto VC6K-1P-000 pingestabilisaator, mille aastaseks energiakaoks on 51,6 kW·h.

5.5 Pinge tõstmisel autotrafo lülitus

Joonisel 5.10 on esitatud väiketrafo kasutamine autotrafo lülituses pinge tõstmiseks.



Joonis 5.10 Väiketrafo kasutamine autotrafo lülituses pinge tõstmiseks

Pinget madaldaval autotrafol on mähiste ühine osa sekundaarmähis ehk $w_1 = w_1' + w_2'$, $w_2 = w_1'$ ning pinget tõstval autotrafol on mähiste ühine osa primaarmähis ehk $w_2 = w_1 + w_2'$, $w_1 = w_1'$.

Trafo ülekangetegur on leitud valemiga [24]:

$$k_{12} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad (5.1)$$

- kus k_{12} on trafo ülekangetegur;
 U_1 – primaarpinge V;
 U_2 – sekundaarpinge V;
 w_1 – primaarmähise keerdude arv;
 w_2 – sekundaarmähise keerdude arv;

Mitte võttes arvesse trafos tekkivaid kadusid on primaarmähise võimsus võrdne sekundaarmähise võimsusega $U_1 I_1 = U_2 I_2$.

Trafo primaarpoolelt sekundaarpoolele ülekanstav võimsus [24]:

$$S = S_{tr} + S_{el}, \quad (5.2)$$

- kus S_{tr} on transformaatovõimsus (südamikuvahendusel) V·A;
 S_{el} – läbi trafo galvaaniliselt otse läbikantav võimsus V·A.

Transformaatorvõimsus ehk arvutuslik võimsus [24]:

$$S_{tr} = U_1 I_{2m}, \quad (5.3)$$

kus I_{2m} – magneetimisharu vool A.

Magneetimisharu vool ehk ühisosa vool I_{2m} on primaarmähise voolu ning sekundaarmähise voolu vahe [24].

Elektriline võimsus ehk galvaaniliselt otse läbikantav võimsus [24]:

$$S_{el} = U_2 I_2 \left(\frac{1}{k_{12}} \right) \quad (5.4)$$

Arvutuse aluseks võetakse Loorentsi kinnistu liitumispunkt, kus sisendpinge suuruseks on $U_1 = 204$ V. Autotrafo andmed võetakse tabelist 4.5 *Ensto* ühefaasilise pingetõstja VC6K-1P-000, kus nimetatud sisendpinge juures tõstab seade pinget 10 %, $U_2 = 224$ V. Seadme nimivooluks $I_2 = 25$ A.

Vastavalt valemile 5.1 on trafo ülekandetegur:

$$k_{12} = \frac{204}{224} = 0,91$$

Transformaatorvõimsus vastavalt valemile 5.3:

$$S_{tr} = 204 \cdot 2,18 = 444,72 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Elektriline võimsus valemiga 5.4:

$$S_{el} = 224 \cdot 25 \cdot \left(\frac{1}{0,91} \right) = 6153,84 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Trafo primaarpoolelt sekundaarpoolele ülekantav võimsus valemiga 5.2:

$$S = 444,7 + 6153,8 = 6594,6 \text{ V} \cdot \text{A}$$

Vastavalt arvutustele on valitud *Ensto* pingetõstja trafo primaarpoolelt sekundaarpoolele ülekantav võimsus 6594,56 V·A. Hetkel ei ole arvestatud koormusest tingitud pingelange trafos. Ülekantav võimsus on tühijooksu olukorras.

5.6 Seadme valik

Uuritud seadmetest vastavad kõik kehtestatud nõuetele, milleks oli liialt suure pingekao lahendamine paigaldatuna tarbija liitumispunkti lähedusse. Lisaks eelnevale seadme kirjeldustele arvestatakse seadme valikul ka Elektrilevi OÜ juhendit J3194 / 2 „Nõuded pingestabilisaatoritele,“ juhend kehtestab nõuded pingestabilisaatoritele, mida kasutatakse madalpingevõrgus. Juhendis on kehtestatud järgmised nõuded [25]:

- 1) Kaitseaste vähemalt IP23;
- 2) Kasutegur suurem kui 95%;
- 3) Reageerimisaeg väiksem kui 500 ms;
- 4) Väljundpinge erinevus nimipingest maksimaalselt ± 5 % kui sisendpinge erinevus on 0 kuni -15 %;
- 5) Hooldusvaba ning võimaldama paigaldust ühele puitmastile;
- 6) Mehaanilisi liugkontakte ei tohi kasutada pingereguleerimiseks.

Autotrafoga UPS seade suudab lisaks pingetõstmisele ka lühiajalisi katkestusi korvata kuid kui ainult pingekao probleemi silmas pidada ei oleks mõistlik akudega seadet paigaldada. *Ashley-Edison*'i sujuvalt muudetava väljundiga pingetasandaja kasutab pingereguleerimiseks mehaanilisi liugkontakte, mida Elektrilevi OÜ juhend J3194 / 2 keelab teha ning see välistab selle seadme kasutamise. *Magtech AS* elektromagnetiline pingetõstja ning *Ensto* astmeliselt muudetava väljundiga pingestabilisaator on kasuteguri poolest sarnased kuid *Magtech*'i seade põhjustab suuremal määral harmoonikute moonutusi. Samuti on *Magtech AS* erinevad seadmed kallimad kui *Ensto* seadmed, 3 faasiline ja 30 kV·A seade maksab vastavalt 8100 € ning 7000 €, mistõttu oleks parimaks valikuks *Ensto* astmeliselt muudetava väljundiga pingestabilisaatorid. Loorentsi liitumispunkti pingekadu peale *Ensto* pingestabilisaatori kasutamist on nõuetele vastav 3%. Lisas B on valitud pingestabilisaator enne Loorentsi kinnistu liitumispunkti kujutatud riskülikuna, mille peale on kantud seadme nimetus.

Täiendavalt oleks vaja uurida objekti kõiki pingeparameetreid, näiteks katkestuste arvu ja kestvust ning harmoonikute moonutusi siis saaks valida vastavalt kõigile pingeparameetritele vastavalt õige seadme. Hetkel on seadme valik tehtud vaid pingekao probleemi lahendamise näol.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli Mõnuvere alajaama fiider 1 ja fiider 3 tarbijatel elektrivarustuse kvaliteedi parandamine. Probleemideks olid liialt suur pingekadu ning liiga väike lühisvool. Vastavalt Elektrilevi OÜ poolt väljastatud projekteerimisülesannetele nr. 26033 ning nr. 26072 koostati tehniline lahendus.

Rekonstruktsiooni käigus ehitatakse senise Mõnuvere alajaama fiider 1 tarbijate toiteks uus mastalajaam 7975 ning fiider 3 tarbijate toiteks asendatakse senine komplektalajaam uue mastalajaamaga numbriga 7981. Tööde mahus demonteeritakse osaliselt paljasjuhtmeline õhuliin ning asendatakse täies mahus rippkeerdkaabliga. Ehitatakse ka uut õhuliini ning paigaldatakse maakaabelliini. Saki liitumispunkti paigaldatakse uus peakaitse. Valiti alajaamadesse sobivad kaitseparaadid ning koostatud selektiivsuse tagamiseks rakendumistunnusjooned.

Leiti, et kõikide liitumispunktide pingekaod ei vasta ka peale tavapärasest rekonstruktsiooni nõuetele. Viimaks kõikide liitumispunktide pingekao nõuetele vastavusse uuriti erinevaid seadmeid, millega oleks antud olukorras võimalik pinget tõsta. Kõige sobivamaks seadmeks valiti *Ensto* pingestabilisaator.

Rekonstrueerides madalpingevõrgu ning kasutades pingetõstmiseks lisa seadet on kõikide liitumispunktide lühisvoolu ja pingekao väärtused viidud nõuetele vastavusse. Tagatud on võrgupiirkonna ilmastikukindlus. Rekonstrueeritud elektripaigaldis tagab varustus- ja töökindluse ning elektriohutuse.

Töö tulemusena on 2017 aastal rekonstrueeritud võrk väljaehitatud, millega tõsteti ilmastikukindla võrgu osakaalu ning astuti samm lähemale energimajanduse arengukava poolt planeeritud tulemuse saavutamiseni, samuti kuna demonteeriti rikete aldis paljasjuhtmeline õhuliin langeb Elektrilevi OÜ võrgu töökindlusnäitaja SAIDI.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Lepingu nr Lep14071 lõpparuanne (2014). Elektrilevi OÜ hajavarustuskindluse piirkondade võrguinvesteeringute eesmärgid, realiseerimise meetodid ja nende valikukriteeriumid. Tallinn: TTÜ. [veebileht] https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/uuringud/Elektrilevi_hajavarustuskindluse_piirkondade_vorguinvesteeringute_eesm%C3%A4rgid_realiseerimise_meetodid_ja_nende_valikukriteeriumid.pdf (16.05.2018)
2. Elektrivõrgu tänane olukord (2013). Võimalikud arengutsenaariumid. Arengufond. [veebileht] https://energiatalgud.ee/img_auth.php/1/12/Eesti_Arengufond._Elektriv%C3%B5rgu_t%C3%A4nane_olukord._V%C3%B5imalikud_arengutsenaariumid.pdf (16.05.2018)
3. Elektrilevi OÜ juhend J342 / 6. (2016). Juhend toite automaatset väljalülitamist tagavate nõuete rakendamiseks madalpinge elektripaigaldistes. Kaitseseadmete valik. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/d50d0356a1df6258c2257766002da3e3/\\$FILE/J342%20Juhend%20toite%20automaatset%20v%C3%A4ljal%C3%BClitamist%20tagavate%20nouete%20rakendamiseks%20madalpinge%20elektripaigaldistes%20ver.6.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/d50d0356a1df6258c2257766002da3e3/$FILE/J342%20Juhend%20toite%20automaatset%20v%C3%A4ljal%C3%BClitamist%20tagavate%20nouete%20rakendamiseks%20madalpinge%20elektripaigaldistes%20ver.6.pdf) (01.03.2018)
4. Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused. (2010). Eesti standard EVS-EN 50160:2010 + A1:2015. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-50160-2010-a1-2015> (01.03.2018)
5. **Lepa, J., Jürjenson, K.** (2000). Energiavarustus. Tartu: EPMÜ. 176lk.
6. Elektrilevi OÜ juhend P394 / 2. (2015). Nõuded mastalajaamade maanduspaigaldiste ja liigpingekaitse ehituseks. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/30217e9a38a7a655c2257369002dd545/\\$FILE/P394%20N%C3%B5uded%20mastalajaama%20maanduspaigaldiste%20ja%20liigpingekaitse%20ehituseks,%20ver.2.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/30217e9a38a7a655c2257369002dd545/$FILE/P394%20N%C3%B5uded%20mastalajaama%20maanduspaigaldiste%20ja%20liigpingekaitse%20ehituseks,%20ver.2.pdf) (10.03.2018)
7. Üle 1 kV nimivahelduvpingega tugevvoolupaigaldiste maandamine. (2010). Eesti standard EVS-ED 50522:2010. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-50522-2010> (11.03.2018)
8. Elektrilevi OÜ juhend P393 / 4. (2016). Nõuded keskpinge mastlülituspunktide, keskpinge kaablivõrgu harukilpide, lõpumuhvide, alajaamade ja madalpingevõrgu maanduspaigaldiste ehituseks. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/026bc788e165f2b3c22572cf004a9b7c/\\$FILE/P393%20N%C3%B5uded%20keskpinge%20mastl%C3%B5](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/026bc788e165f2b3c22572cf004a9b7c/$FILE/P393%20N%C3%B5uded%20keskpinge%20mastl%C3%B5)

- Clituspunktide,%20keskpinge%20kaabliv%20C3%B5rgu%20harukilpide,%201%20C3%B5pumuhvide,%20alajaamade%20ja%20madalpinge%20v%20C3%B5rgu%20maanduspaigaldiste%20ehituseks,%20ver.4.pdf (11.03.2018)
9. Elektrilevi OÜ juhend P344 / 3. (2018). Võrgustandard keskpinge võrgu mahtuvuslike maaühendusvoolude suurustest ja ühefaasiliste maaühenduste kestuse piiragaadest. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/e435fdb79a73a432c2257a17003fff44/\\$FILE/P344%20V%C3%B5rgustandard%20keskpingev%C3%B5rgu%20mahtuvuslike%20maa%C3%BChendusvoolude%20suurusest%20ja%20kestuse%20pii raegadest,%20ver.3.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/e435fdb79a73a432c2257a17003fff44/$FILE/P344%20V%C3%B5rgustandard%20keskpingev%C3%B5rgu%20mahtuvuslike%20maa%C3%BChendusvoolude%20suurusest%20ja%20kestuse%20pii raegadest,%20ver.3.pdf) (15.03.2018)
 10. **E. Risthein.** (2004). Maandamine ja potentsiaaliühtlustus: Elektripaigaldised, teaberaamat 3. Tallinn: Eesti elektritööde ettevõtjate liit. 103lk.
 11. Elektrilevi OÜ juhend P339. (2016) 0,4 - 20 kv võrgustandard - 20 kv õhuliinid. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/0e048eeb56ee5e29c2257a69002ff64e/\\$FILE/P339%200,4-20%20kV%20v%C3%B5rgustandard_20%20kV%20%C3%B5huliinid,%20ver.3.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/0e048eeb56ee5e29c2257a69002ff64e/$FILE/P339%200,4-20%20kV%20v%C3%B5rgustandard_20%20kV%20%C3%B5huliinid,%20ver.3.pdf)
 12. Madalpingelised elektripaigaldised. (2010). Osa 4-444: Kaitseviisid. Kaitse pingehäiringute ja elektromagnetiliste häiringute eest. Eesti standard EVS-HD 60364-4-444:2010. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/tooted/evs-hd-60364-4-444-2010> (11.03.2018)
 13. AS Draka Keila Cables. (s.a). Tooted. [veebileht] http://draka.ee/index.php?group_id=29&page=53 (11.04.2018)
 14. Elektrilevi OÜ juhend J3146 / 1. (2015) Juhend koormusvoolude määramiseks madalpingevõrgus tehniliste lahenduste koostamisel. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/f8d03f3839b2918ec225802c0025681d/\\$FILE/J3146%20Juhend%20koormusvoolude%20m%C3%A4ramiseks%20madalpingev%C3%B5rgus%20tehniliste%20lahenduste%20koostamisel,%20ver.1.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/f8d03f3839b2918ec225802c0025681d/$FILE/J3146%20Juhend%20koormusvoolude%20m%C3%A4ramiseks%20madalpingev%C3%B5rgus%20tehniliste%20lahenduste%20koostamisel,%20ver.1.pdf) (11.04.2018)
 15. Elektrilevi OÜ juhend P341/2. (2015) 0,4 - 20 kv võrgustandard – 0,4 kv õhuliinid. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/f8f8f1dd7bb89acc2257a6900309c7d/\\$FILE/P341%200,4-20%20kV%20võrgustandard_0_4kV_õhuliinid,%20ver.2.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/f8f8f1dd7bb89acc2257a6900309c7d/$FILE/P341%200,4-20%20kV%20võrgustandard_0_4kV_õhuliinid,%20ver.2.pdf) (01.05.2018)
 16. Ensto Ensek AS. (s.a). Isoleerimata kandetrossiga süsteem (AMKA). [veebileht] <https://www.ensto.com/et/tooted/õhuliinide-tarvikud/madalpinge-õhuliinide-tarvikud/isoleerimata-kandetrossiga-susteem-amka/> (02.05.2018)

17. ABB madalpinge kaitselülite selektiivsus. (2006). [veebileht] <https://library.e.abb.com/public/8fabbb562b544502c12579560041dcb9/Madalpinge%20kaitselylitite%20selektiivsus.pdf> (05.05.2018)
18. **T. Vinnal., A. Kilk.** (2013). Aruanne Nr 19062 - Toitepinge kvaliteet Eesti 0,4 kV madalpingevõrkudes ja tarbijapaigaldiste liitumispunktides. Tallinn: TTÜ [veebileht] https://energiatalgud.ee/img_auth.php/a/af/Toitepinge_kvaliteet_Toomas_Vinnal.pdf (23.03.2018)
19. Uurimistöö LEP16048 Vahearuanne (2017). Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus Tallinn: TTÜ. [veebileht] https://www.elektrilevi.ee//doc/6305157/ettevottest/uuringud/pingeprobleemid_madalpingevorgus.pdf (23.03.2018)
20. **S. Ropoša1., G. Štumberger., D. Lestan., M. Rošer.** (2011). Application of voltage stabilizer in Slovenian low voltage grid. University of Maribor. [veebileht] https://www.researchgate.net/publication/265152564_Application_of_voltage_stabilizer_in_Slovenian_low_voltage_grid?enrichId=rgreq-51463a30655ebf72dcbc86f0f0e0d6e8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NTE1MjU2NDtBUzoXNjU2MjI2MjUzNDk2MzNAMTQxNjQ5ODkxOTQzMzQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf (28.03.2018)
21. Magtech AS (s.a). Magtech Voltage Booster [veebileht] http://www.magtech.no/userfiles/Model_overview_MVB_05.09.11_ENG.pdf (28.03.2018)
22. Ashley - Edison (s.a). Outdoor Servo Electronic AC Voltage Stabilisers [veebileht] <https://www.ashleyedison.com/outdoor-servo-voltage-stabilizers-761/> (29.03.2018)
23. Ensto (s.a). Power Quality [veebileht] <https://www.ensto.com/products/power-quality/> (29.03.2018)
24. **Voldek, A.** (1972). Elektrimasinad. 1, Alalisvoolumasinad ja transformaatorid. Tallinn: Valgus. 340lk.
25. Elektrilevi OÜ juhend J3194 / 2. (2017). Nõuded pingestabilisaatoritele. Elektrilevi OÜ [veebileht] [https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/0e8efb14715b6110c2257a01003b164b/\\$FILE/J3194%20N%C3%B5uded%20pingestabilisaatoritele,%20ver.2.pdf](https://www8.energia.ee/public/ee043.nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/0e8efb14715b6110c2257a01003b164b/$FILE/J3194%20N%C3%B5uded%20pingestabilisaatoritele,%20ver.2.pdf) (23.04.2018)

LISAD

Lisa A. Mõnuvere AJ F1 Asendiplaan

Lisa B. Mõnuvere AJ F3 Asendiplaan

Lisa C. Mastalajaam 7975

Lisa D. Mastalajaam 7981

Lisa E. Normalskeem

Lisa F. Lihtlitsents

Mina, _____ Karl Martin Põldsam _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg 08.11.1992 _____,

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

Mõnuvere alajaama võrgupiirkonna elektrivarustuse rekonstruktsioon _____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on dotsent Tõnis Peets _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)