



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Tundlike tarbijate elektrivarustus

Elektroenergeetika õppekava

Energiasüsteemide õppetool

Magistritöö

Õppetooli juhataja prof H.Tammoja

Juhendaja prof A.Hamburg

Lõpetaja R.Kangro

Tallinn 2015

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Rain Kangro	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> TUNDLIKE TARBIJATE ELEKTRIVARUSTUS	
<i>Kuupäev:</i> 07.01.2015	68 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika instituut	
<i>Õppetool:</i> Energiasüsteemide õppetool	
<i>Töö juhendaja(d):</i> prof. Arvi Hamburg	
<i>Sisu kirjeldus:</i>	
<p>Lõputöö eesmärgiks on tundlike tarbijate elektrivarustuse hindamine ja analüüs ning leida võimalusi tekkivate riskide vältimiseks või minimeerimiseks.</p> <p>Töö jaguneb kolmeks põhiosaks. Esimeses peatükis tutvustatakse lühidalt elektrisüsteemi olemust ning kuidas elektrivõrgu osad omavahel toimivad. Antakse ülevaade elektrisüsteemist Eestis. Teises peatükis tutvustatakse töökindluse hindamise võimalusi ning tuuakse näiteid erinevate tegurite mõjust elektrivõrgule. Hinnatakse jaotusvõrgu ja põhivõrgu statistikat. Viimases peatükis defineeritakse tundlikud tarbijad ja antakse hinnang varustuskindlusele ja esitatakse ettepanekuid puuduste parandamiseks.</p> <p>Lõputöös on eesmärgi saavutamiseks kasutatud erinevate elektrivõrkude statistilisi näitajad. Varustuskindluse hindamisel on kasutatud näitajaid SAIFI, SAIDI, CAIDI. Lisaks on kasutatud erinevaid väljaandeid, artikleid, andmebaase, jaotus- ning põhivõrkude kodulehekülgi, et leida probleemidele lahendusi elektrivarustuskindluse küsimustes.</p> <p>Elektrikatkestustele on tundlikumad linnas kortermajades elavad inimesed. Linnades elavate inimeste tarbimisharjumised ning käitumistavad mõjutavad nende tundlikust katkestuste suhtes.</p>	
<i>Märksõnad:</i> elektrisüsteem, põhivõrk, jaotusvõrk, töökindlus, statistiline näitaja, tundlik tarbija, elektrivarustus.	

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Rain Kangro	<i>Kind of the work:</i> Master's thesis
<i>Title:</i> ELECTRICITY SUPPLY OF SENSITIVE CONSUMERS	
<i>Date:</i> 07.01.2015	68 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering <i>Chair:</i> Chair of Power Systems	
<i>Tutor(s) of the work:</i> professor Arvi Hamburg <i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> The aim of the thesis is the evaluation and analysis of sensitive consumer's electricity supply and find ways to avoid risks or minimise. The work is divided into three chapters. The first chapter introduces electrical system and how electrical distribution systems work. The second chapter introduces options of evaluation electrical system's reliability and gives examples of different factors on the electricity grid. Assesed distribution network and transmission network statistics. In the final chapter sensitive consumers are defined, supply security is evaluated and suggestions to remedy any shortcomings are presented. In the thesis different electrical indicators are used to achieve the objectives. The indicators SAIFI, SAIDI, CAIDI are used in the evaluation of security of supply. In addition different publications, articles, databases, distribution and transmission network websites are used to find solutions to the problems of electricity supply. In case of power failures, sensitive consumers live in apartment buildings in cities. Urban area consumption and behavior influences their sensitivity of disruptions.	
<i>Key words:</i> electrical system, transmission network, distribution network, reliability, statistical indicator, sensitive consumer, security of supply	

Sisukord

Lõputöö ülesanne	7
Teema põhjendus:.....	7
Töö eesmärk:.....	7
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	7
Lähteandmed:.....	7
Eessõna	8
Sissejuhatus	9
1. Elektrisüsteemide ülevaade	11
1.1. Elektrivõrgud.....	11
1.1.1. Ülekandeliinid.....	12
1.1.2. Elektrivõrkude konfiguratsioonid.....	13
1.1.3. Alajaamad.....	14
1.2. Elektrisüsteem Eestis.....	16
1.2.1. Ühendused naaberriikidega.....	16
1.2.2. Elektritootmine, tootmisüksused.....	17
1.2.3. Eesti Energia Narva Elektrijaamad AS.....	18
1.2.4. Alternatiivsed energiaallikad.....	18
1.2.5. Eesti ülekandevõrk.....	19
1.2.6. Eesti jaotusvõrk.....	19
1.2.7. Soome põhivõrgu ettevõtte Fingrid Oyi.....	21
2. Elektrivõrgu töökindluse hindamine	22
2.1. Töökindluse hindamise võimalused.....	22
2.2. Erinevate tegurite mõju statistilistele näitajatele.....	24
2.2.1. Temperatuur.....	27
2.2.2. Äike.....	28
2.2.3. Loomade poolt põhjustatud rikked.....	29
2.2.4. Tehniliste karakteristikute mõju varustuskindlusele.....	30
2.2.5. Rikete mõju varustuskindluse näitaja SAIFI-le ja SAIDI-le.....	33
2.2.6. Varustuskindluse näitajate normväärtusi.....	36
2.3. Jaotusvõrgu ja põhivõrgu statistika.....	37
2.3.1. Jaotusvõrkude statistika maailmas.....	37
2.3.2. Eesti suuremate jaotusvõrkude varustuskindlus.....	40
2.3.3. Eesti jaotusvõrgu statistika.....	41
2.3.4. Põhivõrgu statistika Eestis.....	42
2.3.5. Eesti põhivõrgu statistika võrdlus teiste põhivõrkudega.....	45
2.4. Võrkude analüüs ning ettepanekud.....	46
3. Tundlikute tarbijate elektrivarustus	48
3.1. Tundlikute tarbijate määramine.....	48
3.1.1. Tundlikud tarbijad piirkondlikust aspektist.....	49
3.1.2. Tundlikud tarbijad kütmissviisi järgi.....	50
3.1.3. Tundlikud tarbijad veevarustuse järgi.....	51
3.1.4. Tundlikud tarbijad elektriseadmete järgi.....	52
3.2. Tundlikute tarbijate elektrivarustuse statistika.....	53
3.3. Tundlike tarbijate elektrivarustuse analüüs ning ettepanekud.....	54
Lõputöö kokkuvõte	57
Kasutatud kirjandus	59
Lisad	63
L.1. Madal- keskpinge võrgu liinide pikkuste võrdlused.....	64

L.2. Euroopa riikide SAIDI võrdlus vastavalt maakaabelliinide osakaalust.....	65
L.3. Õhuliini kaitsevöönd.....	68

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Tundlikute tarbijate elektrivarustus
Üliõpilane:	Rain Kangro, 121886AAVMM
Lõputöö juhendaja:	Arvi Hamburg
Õppetool:	Energiasüsteemide õppetool
Õppetooli juhataja:	Heiki Tammoja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	07.01.2015

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Lõputöö teema valiti põhjusel, et linnastumine on tänapäeval väga suur ning kuidas on sellisest nähtusest mõjutatud elektrivarustuskindlus.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on tundlike tarbijate elektrivarustuse hindamine ja analüüs ning leida võimalusi tekkivate riskide vältimiseks või minimeerimiseks.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Elektrisüsteemi toimimise ning nende osadele ülevaate andmine ning tutvustada elektrisüsteemi Eestis;
2. Töökindluse hindamise võimaluste ning erinevate tegurite mõjude tutvustamine;
3. Võrkude statistika hinnang;
4. Enim mõjutatud elektritarbijate elektrivarustuse uurimine.

Lähteandmed:

Eesti Statistikaameti, Elering AS, Elektrilevi OÜ, Eesti Energia AS, Eesti Konkurentsiameti, interneti ja raamatukogu andmebaasid.

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Eessõna

Lõputöö teema oli välja pakutud TTÜ Elektroenergeetika instituudi professor Arvi Hamburgi poolt. Antud teema valikul on tähelepanu pööratud selle aktuaalsusele. Käesoleva teema aktuaalsus on tingitud ulatuslikest elektrikatkestustest suurtormide ajal.

Lõputöö autor avaldab tänu oma juhendajale Arvi Hamburgile antud töö juhendamise eest.

Sissejuhatus

Tänapäeval kasutatakse majapidamistes palju erinevaid seadmeid, mis tarvitavad elektrienergiat: valgustid, arvutid, televiisorid, küttesüsteemid, köögitööriistad, millela igapäevane elu võib muutuda peaaegu võimatuks. Elektrienergia tarbimine on meile tänapäeval enamasti vältimatu ning üks esmaseid vajadusi. Elektrienergia lõpptarbimine on kasvanud kümne aastaga ligi 20 % ning 20 aastaga ligi 40 %, mis näitab kui oluline on meile energiaga varustus [1].

Kvaliteetse varustuskindluse tagamisel peab elektrisüsteem talitlema tõrgeteta ning nende esinemisel selle võimalikult kiiresti kõrvaldama. Lõpptarbijast olulisem roll varustuskindluse määramisel on elektrivõrku ümbritsev keskkond. Televiisori ees istuv ning soojapuhuriga tuba küttev elektritarbija ei mõjuta elektrivõrgu varustuskindlust nii palju, kui seda teeb liinile kukkuv puu või äikese tabamus. Tarbijale avalduvad rikked peamiselt elektrikatkestuste ning toitepinge kõikumistena. Halvimal juhul võivad elektrivõrgus esinevad ebanormaalsused kaasa tuua elektriseadmete väärtoimimist või kasutuskõlbmatuks muutumist. Elektrivarustuse tagamisel on suur roll elektrivõrgu seisukorral ning selle sobivuses vastava keskkonnaga kuhu ta on paigaldatud.

Elektrivõrgu seisukorda ning elektrivarustuse kvaliteeti on vaja hinnata, et teada saada võimalikud riskirohked kohad ning leida lahendusi nende likvideermiseks ja vähendamiseks.

Lõputöö teema valiti põhjusel, et linnastumine on tänapäeval väga suur ning kuidas on sellisest nähtusest mõjutatud elektrivarustuskindlus.

Lõputöö eesmärgiks on tundlike tarbijate elektrivarustuse hindamine ja analüüs ning leida võimalusi tekkivate riskide vältimiseks ja parendamiseks.

Töö põhiosa esimeses peatükis tutvustatakse lühidalt elektrisüsteemi olemust ning kuidas elektrivõrgu osad omavahel toimivad. Antakse ülevaade elektrisüsteemist Eestis. Teises peatükis tutvustatakse töökindluse hindamise võimalusi ning tuuakse näiteid erinevate tegurite mõjust elektrivõrgule. Hinnatakse jaotusvõrgu ja põhivõrgu statistikat. Viimases peatükis defineeritakse tundlikud tarbijad ning antakse hinnang varustuskindlusele ja esitatakse ettpanekuid puuduste kõrvaldamiseks.

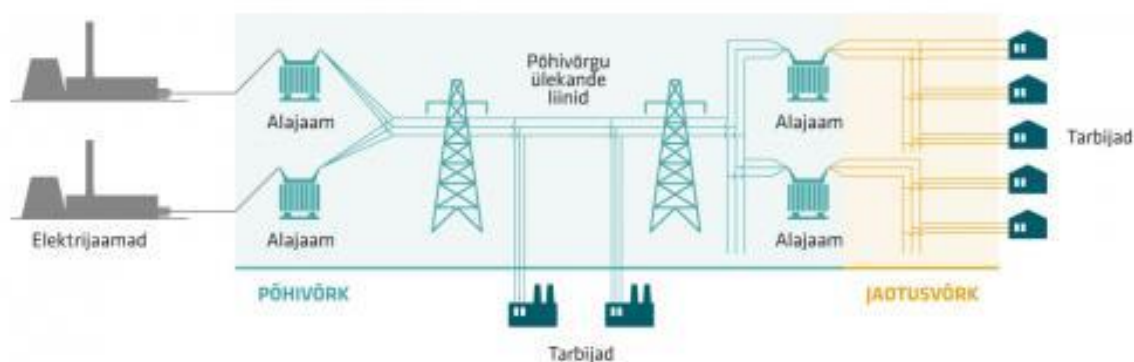
Elektrivarustuse hindamise ja analüüsimise aluseks on erinevate elektrivõrkude statistilised näitajad. Antud töös kasutatakse varustuskindluse näitajaid SAIFI, SAIDI, CAIDI. Lisaks kasutatakse erinevaid väljaandeid, artikleid, andmebaase, jaotus- ning põhivõrkude kodulehekülgi, et võrrelda teiste maade varustuskindlust ning leida võimalikud lahendused probleemide leevendamiseks.

1. Elektrisüsteemide ülevaade

1.1. Elektrivõrgud

Elektrivõrkude eesmärgiks on ülekanda elektrijaamade poolt toodetud elektrit ning transportida see edasi tarbijateni. Elektrivõrgud koosnevad väga paljudest seadmetest ning rajatistest, et tagada võimalikult paljudele tarbijatele pidev ja kvaliteetne elektrivarustus. Elektrienergia edastamine ja jaotamine toimub füüsilises keskkonnas, mis tähendab, et nende toimimist mõjutavad otseselt välised tegurid: ilmastik, kulumine, tarbimisiseloom, inimtegevus, loomad, eluskeskkond.

Elektrienergia jõudmiseks tarbimispiirkondadesse on vaja energiat ülekanda ning muundada. Energiasüsteem on üks suur tervik. Elektrisüsteem saab alguse elektrijaamast, kus olenevalt elektrijaama tüübist tarbitakse kütust. Kütuseks võib olla nii põlevkivi, kivisüsi, puit, vedelkütus, gaas. Antud kütusest saadud energia abil käitatakse generaatoreid, mis toodavad elektrienergia. Elektrijaamas muundatakse toodetud elektrienergia sobilike parameetriteni, mis edastatakse ülekandeliinidesse, mida nimetatakse põhivõrguks. Põhivõrgust suunatakse energia ülekandevõrgu abil jaotusalaamadesse ning jaotusvõrgu abil juba tarbimiskeskustesse.



Joonis 1.1. Elektrisüsteemi põhimõtteskeem [2]

Põhivõrgu kaudu toimuvad ühendused ka teiste elektrisüsteemidega. Ühendused teiste elektrisüsteemidega toimivad eeldusel, et naaberelektrisüsteemis töötavad elektrigeneraatorid sünkroonselt. Tänapäeval kasutatakse energia ülekandmiseks alalisvoolu, mille korral muundatakse ülekantav energia mõlemas suunas vastavusse elektrisüsteemi parameetritega,

ning vajadusel on seda võimalik korrigeerida. Antud lahendustes kasutatakse kas türistore või transistore.

1.1.1. Ülekandeliinid

Energia transportimiseks on vaja ülekandeliine. Tänapäeva tendents on teha toiminguid võimalikult väikeste energiakadudega ning kulutustega. Selleks projekteeritakse ülekandevõrke vastavalt tarbimisiseloomule, töökindluse aspekti silmas pidades ning arvestades ka tuleviku aspekte.

Elektriliine ning –kaableid on võimalik valmistada paljudest materjalidest. Peamiselt kasutatakse alumiiniumi ja vase sulameid, see on tingitud nende headest elektrijuhtivuslikest omadustest.

Õhuliinide eelisteks on odavam ehitus ning kiire paigaldamine. Traditsiooniliste õhuliinide korral on tegu katmata juhtidega, mis on tundlikud erinevatele õnnetustele ning riketele. Peamiselt aga liinile langevatele puudele. Lisaks võimalikule lühise tekkimisele võivad õhuliinid ka liigse koormuse tekkimisel puruneda. Liini omaduste parandamiseks lisatakse alumiiniumist juhtidele terasjuhti, mis parendab tema tugevusomadusi. Mõnevõrra töökindlamad on isoleeritud juhid ehk kaablid. Kaabelliinide eelisteks on, et puudub vajadus traaversile ning tõenäosus lühiste tekkimiseks on mõnevõrra väiksem. Samuti suureneb ümmbritseva keskkonna ohutus. Jaotusvõrgus kasutatavad keskpinge kaabelliinid koosnevad peamiselt neljast soonest.

Kaablite ehitus, võrreldes õhuliinidega, on mõnevõrra keerulisem. Kaableid valmistatakse erinevatesse keskkondadesse ja läbilaskevõimetele. Peamiselt valmistatakse kaableid nii alumiiniumist kui ka vasest juhi ja juhtidega. Kaablite ehitus muutub keerulisemaks kui suurenevad koormused, pinged, temperatuurid, soonte arv. Kaablite kasutuselevõtuga suureneb töökindlus, kuna nad on vähem mõjutatavamad väliskeskkonnast. Maakaablite kasutamisel puudub jäite tekkimise, tormidest põhjustatud katkestuste, puude liinile langemise oht. Samas on maakaablitel mõnevõrra väiksem jahutus, võrreldes õhuliinidega.

Maakaablite miinuseks on nende paigaldamine pinnasesse. Maakaablite puhul puudub võimalus visuaalselt kontrollida kaablite korrasolekut ning nende remont osutub kallimaks ning aeganõudvamaks. Piirkondades, kus on tihe asustus, linnad, ei ole võimalik kasutada õhuliine. Turvalisuse tõttu kasutatakse maakaableid, mis välistab ohu inimestele.

Maakaablitele on ehituselt sarnased merekaablid, mis on mõeldud vastupidama merepõhjas olevale keskkonnale.

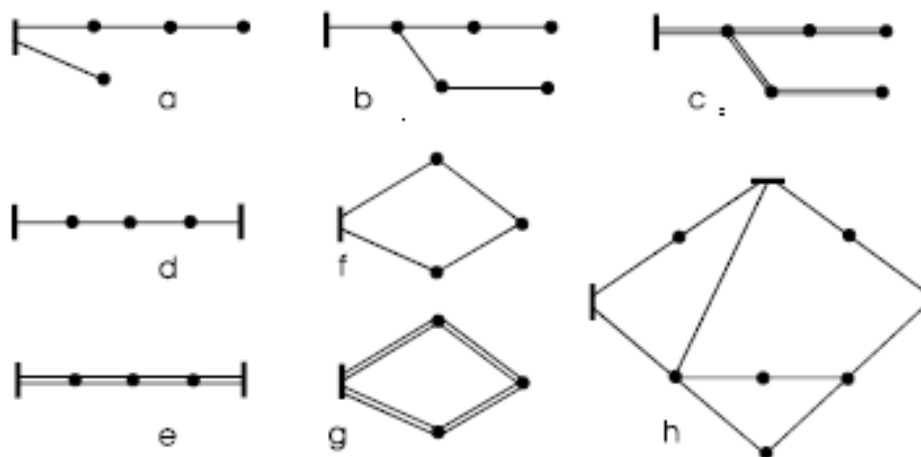
1.1.2. Elektrivõrkude konfiguratsioonid

Elektrisüsteem koosneb paljudest ühendustest. Hästi töötav elektrisüsteem on võimeline toimima mingi tootmisüksuse, liini, seadme väljalülitumise või rikke korral. Selleks, et sellist töökindlust tagada, rakendatakse võrgu projekteerimisel N-1 või N-2 kriteeriumit.

N-1 kriteerium tähendab, et elektrisüsteem peab täitma oma põhiülesandeid mistahes ühekordse häiringu, ühe elemendi (liin, trafo, elektrijaama energiablokk jne) väljalülitumise korral. Mistahes ühekordse häiringu korral peab olema tagatud süsteemi stabiilsus ning sageduse, pingete ja elementide koormuste jäämine lubatud piiridesse [3].

N-2 kriteerium tähendab, et elektrisüsteem peab suutma talitada probleemideta kahe rikke esinemise korral.

Elektrivõrgus seadme, liini rikke korral ei pruugi olla võimalik kõrvaldada probleemi hetkega. Selle tõttu tehakse liinide ümberlülitusi. Ümberlülitustega tagatakse, et probleemsetest punktidest juhitakse energia teiste liinide abil mööda, millega taastatakse elektrienergiaga varustus. Piisavat töökindlust tagavad ring- ja silmusvõrgud, vähem aga radiaalvõrgud.



Joonis 1.2. Elektrivõrgu ühendusskeemid: a) radiaalvõrk; b) hargnev radiaalvõrk; c) reserveeritud radiaalvõrk; d) kahepoolse toitega võrk; e) reserveeritud kahepoolse toitega võrk; f) ringvõrk; g) reserveeritud ringvõrk; h) silmusvõrk [3]

Radiaalvõrk omab väikest töökindlust, kus rikkepunktist tahapoole jäävad tarbijad kaotavad toite. Antud võrgu konfiguratsiooni eeliseks on selle lihtsus, mille korral ei pea rakendama keerukat releekaitset (joonis 1.2; a) [3].

Ringvõrk omab kõrgemat elektrivarustuskindlust kui radiaalvõrk. Antud võrgu konfiguratsiooni korral tagatakse vähemalt kahepoolne toide. Eelisteks on radiaalvõrgu ees parem pingestabiilsus ning väiksemad võimsuskaod (joonis 1.2; f) [3].

Silmusvõrk on võrgukonfiguratsioonidest kõige töökindlam, omab kõrget varustuskindlust, pingestabiilsust, väikeseid võimsuskadusid. Antud võrgu muudab keerukaks käit ning releekaitse (joonis 1.2; h) [3].

Jaotusvõrgud on konfiguratsioonilt tavaliselt kas radiaalvõrgud, hargnevad radiaalvõrgud või avatuna talitlevad ring- ja silmusvõrgud. Elektrisüsteemi põhivõrgud on enamasti silmusvõrgud, mis kindlustavad elektrisüsteemi ja –võrgu kõrge töökindluse [3].

1.1.3. Alajaamad

Energia transportimisel, konfiguratsioonide tegemisel, parameetrite jälgimisel, ning elektrikvaliteedi tagamisel on oluline osa alajaamadel. Alajaamade kaudu toimub elektrienergia jaotamine ülekandeliinidesse.

Elektrijaamade ja –alajaamade primaar- ehk jõuahelate kommutatsiooniparaadid, mõõtetrafod, liigpingete piiramisseadmed, kõrgsagedusside vahendid ja kogumislattid koondatakse kompaktsesse jaotusseadmetesse ehk jaotlatesse. Jaotlas võetakse elektrienergia vastu toitefidritel, milleks võivad olla õhu- ja kaabelliinide ning jõutrafode kesk- ja alampingemähiste ühendused, ning suunatakse edasi väljuvatesse liinidesse. Jaotlad koos alajaama põhiseadmetega: trafod, reaktorid, moodustavad primaarkommutatsiooniskeemi [4].

Ühekordse kogumislattiga skeem on sobilik väiksematesse süsteemidesse. Antud latti sektsioneerimiseks on paigaldatud võimsuslüüti, mille abil hooldustöödeks on võimalik jagada kogumislatt kaheks. Kahekordse kogumislattiga skeeme kasutatakse suuremates süsteemides. Antud skeem annab eelise hooldustööde teostamiseks toidet katkestamata. Kahte latti on võimalik sektsioneerida lattidevahelise võimsuslüüti abil. U-kujuline kahekordse kogumislattiga skeem on madala soetamiskuluga ning väikese ruuminõudlikkusega. Antud skeemi eeliseks on mõlemalt küljelt väljuvad liinid. Kahekordse kogumislattiga ja

möödaviiguga skeem. Antud skeem võimaldab kasutada kahte latti korraga või siis ühte latti ning vajadusel kasutada möödaviiku. Kolmekordse kogumislattiga skeeme kasutatakse olulistest elektrisõlmedes, kus kiired ümberlülitused ning seksioneerimised on vajalikud. Rõngasskeemide korral iga kogumislatt kasutab ühte võimsuslülitit ning igat lülitit on võimalik isoleerida, katkestamata toidet väljuvatele fiidritele [5].

Ehituslikult on alajaamu võimalik jagada õhk- ja gaasisolatsiooniga alajaamadeks. Alajaamade ehituslikud iseärasused omavad teatud eeliseid üksteise ees.

Õhkisolatsiooniga alajaamade dielektrikuks on õhk. Olenevalt elektripingest on vaja garanteerida seadmete vajalikud õhkvahemikud. Õhk on halb elektrijuht. Paigaldise suurima lubatava kestevpinge 123 kV juures lubatakse vähimaks faas-maa vahemikuks 900 mm, faas-faas 1 100 mm, 362 kV juures lubatakse vähimaks faas-maa vahemikuks varratarindil 2 900 mm, faas-faas varrasjuhil 3 600 mm [6]. Olenevalt sissetulevatest ja väljuvatest ühendustest muudavad õhkvahemikud alajaamad palju ruumi nõudvateks.

Gaasisolatsioon tüüpi alajaamad, võrreldes õhkisolatsiooniga alajaamadega on kompaktsemad. Antud alajaamade kommutatsiooniseadmed on paigutatud gaasikeskkonda, kus gaasi abil tagatakse juhtide omavaheline isoleeritus. Gaasikeskkonnas kasutatakse gaasi Sf_6 , millel on ligikaudu viis korda suurem molekulmass, 3,7 korda madalam soojusjuhtivus, 2,5 korda suurem dielektriline tugevus. Lisaks on antud gaas vees lahustumatu, tulekindel, vähe reageeriv teiste ainete suhtes ning ei ole mürgine [7].

Antud gaasi omadused võimaldavad vähendada alajaamade mõõtmeid ning vähendada kokkupuudet väliskeskkonnaga. Peamiselt asuvad seadmed siseruumides, seega on võimalik paigutada sellist tüüpi alajaamad tiheda infrastruktuuriga paikadesse, maa-alustesse ruumidesse, rannikualadele, mägedesse.

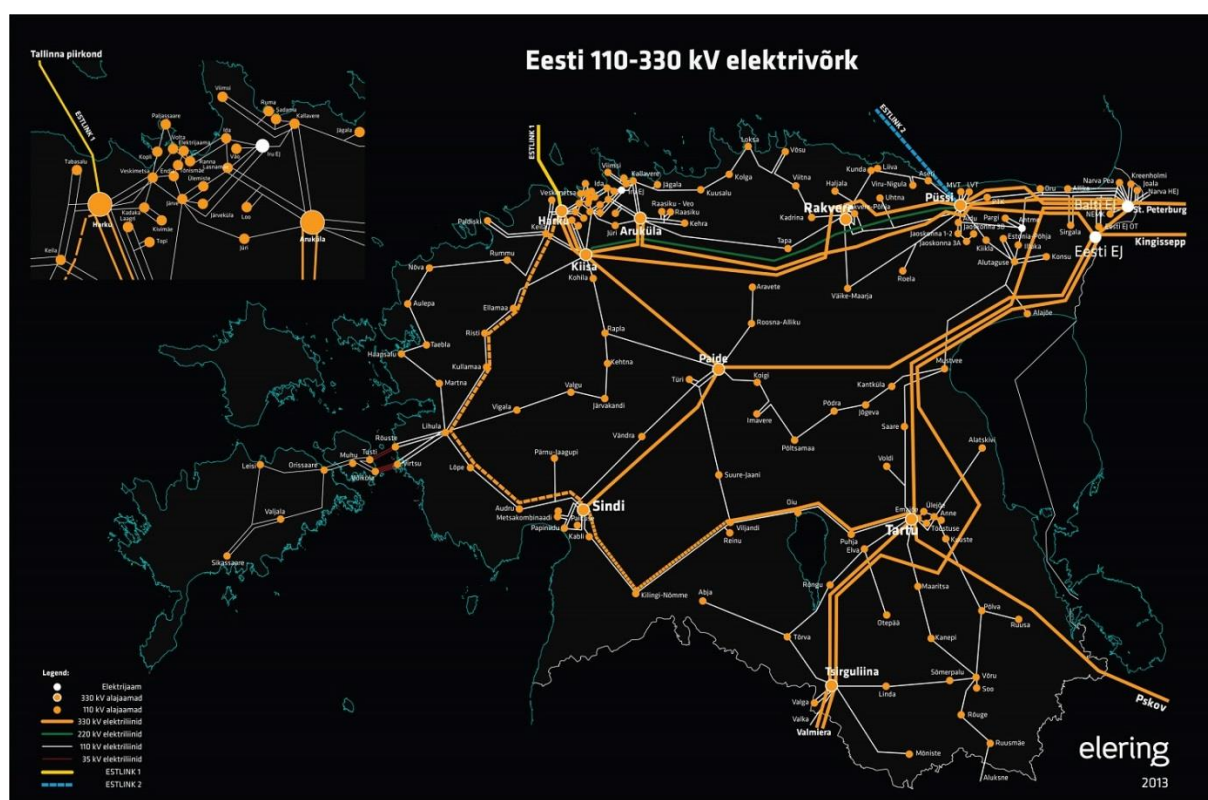
Gaasisolatsiooni alajaamadel on olulised eelised õhkisolatsiooniga alajaamade ees. Gaasikeskkonda paigutatud seadmed tagavad turvalise keskkonna personalile ning selle hooldusmeeskonnale, isoleeritud seadmed ei puutu kokku väliskeskkonna saastega. Mõõtmetelt tarvitavad gaasisolatsiooniga jaamad kümme protsenti kogu õhkisolatsiooniga seadmete ruumist ning nende komplekteerimine on kiire ja mugav.

1.2. Elektrisüsteem Eestis

1.2.1. Ühendused naaberriikidega

Eesti elektrisüsteem kuulub sünkroonselt töötavasse ühendsüsteemi BRELL. Ühendsüsteem BRELL ühendab vahelduvvooluliinidega naaberriigid Läti ja Venemaa, mille kaudu on ühendatud veel Leedu ja Valgevene. Vahelduvvoolu ühendustega on Eesti ühendatud viie 330 kV liiniga. Venemaaga on ühenduses kolm liini: kaks Narvast St. Peterburgi ja Kingiseppa ning üks Tartust Pihkvasse. Lätiga ühendab Eestit Tartu ja Valmiera 330 kV liin, Tsirguliina ja Valmiera 330 kV liin [2].

2006. aastast on Eesti ühendatud Soomega alalisvooluühenduse „Estlink 1“-ga ning 2014. aastal teise merekaabli „Estlink 2“-ga. Antud ühendusi haldab Eesti poolel Elering AS ja Soome pool Fingrid Oyj [2].



Joonis 1.3. Eesti 110- 330 kV elektrivõrk aastast 2013 [8]

Eesti ja Soome vahelise ühenduse „Estlink 1“ kogupikkus on kaks korda 105 km, mis koosneb 74 km-st merekaablist ja 31 km-st maakaablist. Antud merekaablid ühendavad Eesti poolel Harku alajaama ja Soome poolel Espoo alajaama. Alajaamades muundatakse

vahelduvvool alalisvooluks ja alalisvool uuesti vahelduvvooluks, millega on võimalik energiat edastada mõlemal suunal. „Estlink 1“ alalisvooluühenduse ülekandevõimsuseks on 350 MW, mille alalisvoolu pingeks on +/-150 kV. Maksimaalseks sügavuseks meres on 100 m [9].

Teise alalisvooluühenduse „Estlink 2“ kogupikkuseks on 170 km, mis koosneb 12-st km maakaablist, 145 km-st merekaablist ja 14 km-st õhuliinist. Antud ühendus ühendab Soome poolt Anttila alajaama ja Eesti poolt Püssi alajaama ning kus on energia ülekanne võimalik mõlemas suunas. Maksimaalne kaabli paigaldussügavus on ligikaudu 90 m, mille planeeritud võimsuseks on 650 MW, mis kantakse üle 450 kV alalispingel [10].

1.2.2. Elektritootmine, tootmisüksused

Tabel 1.1. Eesti elektrisüsteemiga ühendatud tootmisseedmed 2013. aasta jaanuaris [11]

Elektrijaam	Installeeritud netovõimsus, MW	Võimalik tootmisvõimsus, MW
Narva Elektriijaamad	2023	1942
Iru koostootmisjaam	156	150
Ahtme koostootmisjaam	24,4	5
VKG Põhja ja Lõuna elektrijaamad	61	61
Tartu Elektriijaam	22,1	22,1
Tallinna Elektriijaam	21,5	21,5
Pärnu Elektriijaam	21,5	21,5
Tööstuste- ja väike koostootmisjaamad	55	49
Hüdroelektrijaamad	4	3
Elektrituulikud	258	0
Summa	2647	2275

2013. aasta jaanuari seisuga oli Eestis tootmisseedmete installeeritud netovõimsuseks 2647 MW, millest vajadusel oleks võimalik kasutada 2275 MW, peamise tootmisvõimsuse andsid Narva Elektriijaamad. Elektrituulikute installeeritud võimsuseks oli 258 MW. Tuulikute

tootlikus sõltub tuulte olemasolust, ning energia puudujäägi korral ei ole võimalik neid rakendada kui reservi. Kõige väiksema tootmismahuga on hüdroelektrijaamad, kus tootmisvõimsuseks on kolm megavatti. Hüdroelektrijaamad vajavad suurt veereservuaari, kus kogunenud veest muundatakse turbiinide abil elektrienergiat. Samuti on hüdroelektrijaamad sõltuvuses aastasest sademete ja lume rohkusest. Koostootmisjaamadest on Eesti suurim Iru koostootmisjaam kus võimalik tootmisvõimsus on 150 MW.

1.2.3. Eesti Energia Narva Elektrijaamad AS

Eesti suurim ja Balti regiooni tähtsamaid elektrienergia tootjaid on Eesti Energia Narva Elektrijaamad AS, üle 90 % Eestis toodetavast elektrienergiast. Antud ettevõttel on ülessandeks varustada elektrienergiaga Eesti tarbijaid, varustada soojusenergiaga Narva linna, eksportida elektrienergiat Baltimaadesse ja varustada Estlink merekaablitega põhjamaade elektriturgu. Elektritootmisel tekkivat kõrvalprodukti, põlevkivituhka, müüakse mineraaltoorainena edasi ehitusmaterjalide tootmiseks ning ka põllumajandusse [12].

Narva elektrijaamad jagunevad Eesti ja Balti elektrijaamaks, kus aastas toodavad mõlemad elektrijaamad kokku ligi 10 TWh elektrit. Eesti ja Balti elektrijaama võib pidada maailma võimsamateks põlevkivil töötavateks elektrijaamadeks [13].

Balti elektrijaam alustas tööd 30. detsembril 1959, kus esimese ploki võimsuseks oli 100 MW. Elektrijaama maksimaalseks võimsuseks oli 1 430 MW. Tänapäeval on elektrijaamas kolm energiaplokki, sealhulgas üks koostootmisplokk, mis põhineb keevkihttehnoloogial, mille kõrval on võimalik kasutada biokütust. Lisaks katsetatakse madala kütteväärtusega põlevkivi kasutuselevõtmiseks põlevkivi ja kivisöe koospõletamist [14].

Eesti elektrijaam on Eesti ja ühtaegu ka maailma suurim põlevkivi elektrijaam. Elektrijaam alustas tööd 1969. aastal 30. juunil. Jaama projekteeritud võimsus oli 1610 MW, mis saavutati 1973. aastaks. Kokku töötab elektrijaamas kaheksa energiaplokki [15].

1.2.4. Alternatiivsed energiaallikad

2013. aastal oli Eestis elektrituulikuid koguvõimsusega 279,90 MW, mis tootsid 515 GWh energiat. Kokku töösolevaid tuulikuid oli 2013. aastal 130 [16].

Taastuvenergia on taastuvatest energiaallikatest toodetud energia, milleks võib olla vesi, tuul, päike, laine, tõus-mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass [17].

Hüdroelektrijaamu oli paigaldatud 2011. aasta seisuga 47, sealhulgas ka elektrit tootvaid vesiveskeid. Kasutuses olevate hüdroelektrijaamade koguvõimsus oli antud aasta seisuga 8,09 MW [18].

Elektrienergia tootmiseks on võimalik kasutada bioloogilisi jäätmeid ehk biomassi. Biomassiks nimetatakse põllumajanduse ja metsanduse ning nendega seonduvate toodete, jäätmete, jääkide bioloogiliselt lagunevat osa ning bioloogiliselt lagunevaid komponente. Biomassist toodetakse biokütust, millest toodetakse bioenergiat. Kuna antud meetodi puhul vajatakse palju bioloogilisi jäätmeid, ei ole see paljulevinud viis energia tootmiseks [19].

Koostootmisjaamad toodavad nii soojust- kui ka elektrienergiat. Soojusenergiat kasutatakse peamiselt elamute, linnade kütteks ning elektrienergia antakse elektrivõrku. Eesti suurim koostootmisjaam on Iru elektrijaam, kus soojuste tootmisvõimsus oli 764 MW ja elektritootmisvõimsus 190 MW [20].

1.2.5. Eesti ülekandevõrk

Eestis tegutseb ülekandevõrgu ettevõttena Elering AS, mis haldab elektrivõrku pingetel 110 kV, 220 kV ning 330 kV. Ülekandevõrgu eesmärgiks on transportida elektrijaamadest suuri elektrienergia koguseid tarbimispiirkonna toitealajamadesse, samuti hallata süsteemidevahelisi ühendusi [21].

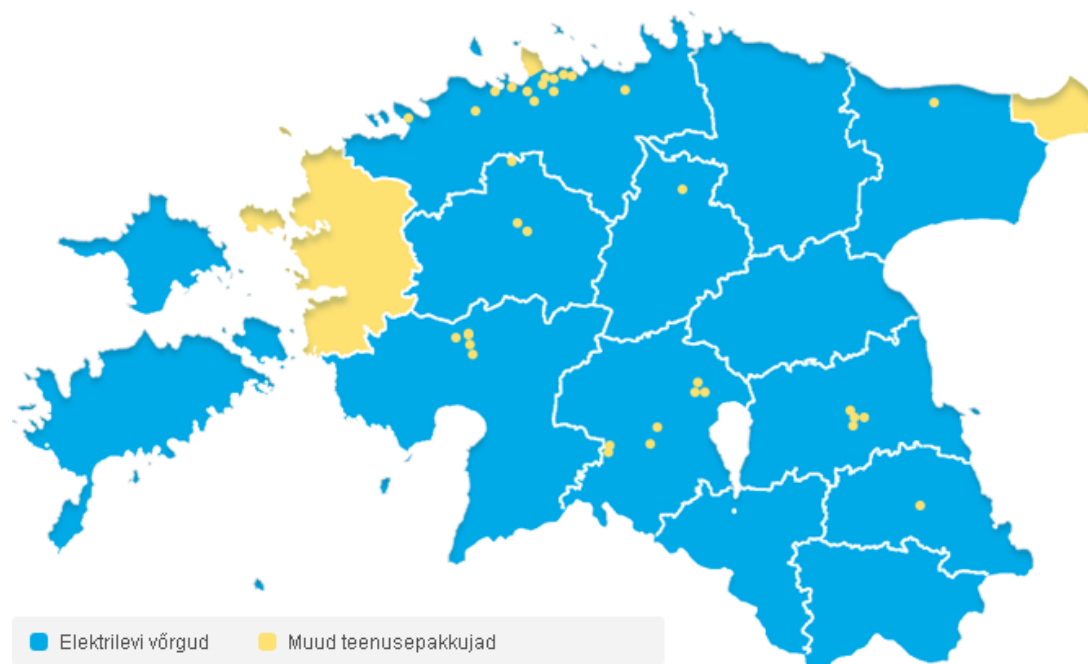
Elering AS asutati 2010. aasta jaanuaris, eraldumisega Eesti Energia AS-st. Elering AS on Eesti elektrisüsteemi haldur, kelle peamiseks ülesandeks on kindlustada tarbijatele igal ajahetkel kvaliteetne elektrivarustus. Elektrisüsteemi haldur juhib reaalselt Eesti elektrisüsteemi, mille eesmärgiks on tagada kvaliteetne energiavarustus, energia vaba liikumine Eesti-siseselt ja ühenduste kaudu naabersüsteemidega, tagada kvaliteetne teenindus, luua majanduslikke lisandväärtusi, tagada organisatsiooniline toimimine [22].

Elektrisüsteemi põhivõrgu osa koosneb Eestis 1 535-st km 330 kV, 158-st km 220 kV, 3 470-st km 110 kV, 61-st km 35 kV liinidest. Kokku on põhivõrgul 145 alajaama [23].

1.2.6. Eesti jaotusvõrk

Jaotusvõrgu eesmärgiks on jaotada ja edastada elektrienergiat tarbijateni. Eestis tegutsevad suuremate jaotusvõrgu ettevõttena Elektrilevi OÜ, Imatra Elekter AS ja VKG Elektrivõrgud OÜ, mis haldavad Eestis elektrivõrke pingeni kuni 35 kV. Kokku on jaotusvõrgu ettevõtjaid

üle 35, mis haldavad teeninduspiirkondi üle terve Eesti: maakondi, valdasid, linnasid, linnaosaid [24] [25].



Joonis 1.4. Eesti jaotusvõrk [26]

Joonisel 1.4 on väljatoodud Eesti jaotusvõrgu skeem, kus sinist värvi alaga on tähistatud Elektrilevi OÜ-le kuuluvad võrgupiirkonnad ning kollast värvi alaga on tähistatud teistele teenusepakkujatele kuuluvad elektrivõrgu piirkonnad.

Elektrilevi OÜ on Eesti Energia kontserni kuuluv võrguettevõtja, mille ülesandeks on tagada klientidele kindel elektrivarustus [27]. Ettevõtte haldab Eesti võrgupiirkonda, välja arvatud Läänemaa, Viimsi, Narva ja selle ümbrus. Eesti suurimal võrguettevõttel on kokku ligi 475 000 klienti, 61 000 km elektriliine ja 22 000 alajaama. Elektrilevi OÜ-s töötab kokku ligikaudu 800 inimest üle Eesti. Ettevõtte tähtsaimad eesmärgid on elektrivarustuse ja teeninduse kvaliteedi parandamine [27].

2006. aasta 30. juunil allkirjastati lepingud Narva Elektrivõrk AS ja Narva Elektriteenused AS ostuks, millega omandas Viru Keemia Grupp AS antud teeninduspiirkonna elektrivõrgud ning mille uueks ärinimeks sai VKG Elektrivõrgud OÜ [28].

VKG Elektrivõrgud OÜ on elektrijaotusettevõtte, mis haldab Eestis Narva, Narva-Jõesuu, Sillamäe linna, Vaivara valla ning Kohtla-Järve linna, Viivikonna linnaosa

teeninduspiirkonda. VKG Elektrivõrgud OÜ on suuruselt teine elektrijaotusvõrgu ettevõtte Eestis Elektrilevi OÜ järel.

Ettevõtte põhitegevusteks on elektrienergia jaotamise, edastamise ning elektrisüsteemi operatiivjuhtimise teenuste müük. Ettevõtte tegeleb lisaks elektriseadmete projekteerimise, ehitamise, remontimise, kasutamise, kontrollimise ja hooldamisega [29].

Peamised tulevikueesmärgid on klientide katkematu elektrienergiaga varustamine, olla kõige efektiivsem elektrijaotusettevõtte Eestis [30].

Imatra Elekter AS kuulub kagu Soomes tegutsevale energiakontsernile Imatra Seudun Sähkö OY, mis tegeleb elektrienergia tootmise, jaotamise ja müügiga. Eestis on ettevõtte tegutsenud ligi 20 aastat [31].

Imatra Elekter AS on elektrienergia jaotus- ja müügiettevõtte, mis haldab Lääne maakonna ja Viimsi valla teeninduspiirkonda. Ettevõtte ülesandeks on pakkuda kõrgetasemelist klienditeenindust, vähendada rikkelisust ja arendada elektrienergia alaseid kompetentseid teenuseid. Teeninduspiirkondades Lääne maakonnas ja Viimsi vallas on üle 24 300 era- ja ärikliendi, 3 025 km lokaalset 0,4 kV–35 kV elektrivõrku ning 1 259 alajaama [31].

Ettevõtte ärikontseptsioon on pakkuda klientidele lihtsat, töökindlat, ohutut, keskkonnasõbralikku ja tõhusat elektrijaotust [31].

1.2.7. Soome põhivõrgu ettevõtte Fingrid Oyi

Fingrid Oyi on põhivõrgu ettevõtte, mis hoolitseb Soome kõrgepinge võrgu eest. Ettevõtte eesmärgiks on edastada elektrienergijat elektritootjalt jaotusvõrgu ettevõtetele. Ettevõtte haldab ka ühendusi välisriikidega.

Soome elektrisüsteem kuulub Nordic elektrisüsteemi koos Rootsi, Norra ja Ida-Taaniga.

Omab ühendusi Venemaa ja Eestiga. Soome põhivõrgu ettevõtte haldab:

- a) 4 500 km 400 kV ülekandeliine
- b) 2 300 km 220 kV ülekandeliine
- c) 7 500 km 110 kV ülekandeliine
- d) 113 alajaamu [32].

Elektritarbimine Soomes 2013 aastal oli kokku 83,9 TWh, tööstuste tarbeks ligikaudu 47 % [33].

2. Elektrivõrgu töökindluse hindamine

2.1. Töökindluse hindamise võimalused

Elektrivõrguettevõtted peavad tagama klientidele kvaliteetse elektrienergia. Elektrienergia jaotamise ja edastamisega kaasnevad erinevad takistused, mille tagajärjel võib elektriedastus olla raskendatud. Elektriülekanne on keeruline protsess, mille käigus võivad tekkida katkestused ning rikked. Elekter peab läbima seadmeid, mis asuvad väliskeskkonnas ning neile mõjuvad erinevad välisteguritest tingitud jõud. Võrgu töökindlust mõjutavad nii väliskeskkond kui ka õigeaegne hooldus ning inspeksioon. Selleks, et hinnata võrgu toimimist on vaja hinnata elektrivõrgu töökindlust.

Töökindluse hindamiseks on välja töötatud erinevaid meetodeid ning neid iseloomustavaid näitajaid. Töökindlust on võimalik hinnata erinevate elementide tehniliste seisukorra, võimalike konfiguratsioonide, süsteemi nõrkade lülide, käidu ning hooldekvaliteedi kohta [34].

Elektrivõrkude töökindluse hindamiseks puuduvad ühtsed näitajad, mille abil oleks võimalik iseloomustada kõiki aspekte. Selleks on kasutusel näitajad, mis iseloomustavad konkreetset eesmärki või valdkonda.

Töö- ja varustuskindlust iseloomustavad näitajad on võimalik liigitada:

- seisakunäitajad,
- varustuskindluse indeksid,
 - kliendikesksed indeksid,
 - koormuskesksed indeksid,
- katkestuskahju näitajad [35].

Seisakunäitajate korral on võrkude töökindluse hindamiseks sageduse ja kestuse meetod, kus leitakse elemendi keskmine aastane seisakukestvus, keskmise seisakusageduse ning keskmise seisakukestuse abil. Nii nagu elementide seisakukestvusele, arvutatakse ka koormuskeskuse keskmine aastane seisakuaeg. Antud näitajate abil on võimalik arvutada hinnatava objekti kasutatavust, mittekasutatavust ning keskmist seisakute vahelist aega [35].

Varustuskindluse hindamiseks kasutatakse erinevaid elektrivarustusindekseid.

Elektrivarustuskindluse indeksite abil on võimalik hinnata:

- kliendi elektrivarustuse kvaliteeti ja dünaamikat ning saavutatud eesmärkide määra,
- elektriettevõtete, toitepiirkondade elektrivarustuse kvaliteeti,
- ebakindlate toitepiirkondade ning võrgu osade toimimist,
- katkestuskulusid ning jaotusvõrgu käidupoliitikat [35].

Elektrivarustusindeksid on võimalik jagada kaheks: kliendi- ja koormuskeskseteks indeksiteks [35].

Kliendikesksete indeksite eesmärgiks on iseloomustada kliendi võrku ja tema toimimist. Antud töös on kliendi elektrivarustuse hindamiseks kasutatud vastavaid indekseid: süsteemi katkestussageduse indeksit SAIFI, süsteemi katkestuskestuse indeksit SAIDI ning kliendi keskmist katkestuskestust CAIDI. Lisaks loetletud indeksitele on võimalik kasutada kliendi katkestussageduse indeksit CAIFI, kasutatavuse indeksit ASAI, mittekasutatavuse indeksit ASUI, süsteemi lühikatkestuste sageduse indeksit MAIFI, süsteemi pingelohkude sageduse indeksit SARFI_{%v}, toiteennistusindeksit SARI, üksikliendi maksimaalset katkestussagedusindeksit MICIF, üksikliendi maksimaalset katkestuskestust MICID, korduvkatkestuste indeksit CEMIn [35].

Süsteemi katkestussageduse indeks SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) näitab kliendi keskmist katkestuste arvu aastas vaadeldavas toitepiirkonnas.

$$SAIFI = \frac{\text{kliendikatkestuste koguarv}}{\text{teenindatavate klientide arv}} = \frac{\sum_i N_i}{N} = \frac{\sum_j \lambda_j N_j}{\sum_j N_j} \quad (2.1)$$

kus N_i – aasta i -ndal katkestusel katkestatud klientide arv
 N_j – klientide arv j -nda koormuspunkti toitepiirkonnas
 λ_j – j -nda koormuspunkti seisakusagedus
 $\sum_i N_i$ – klientide toitekatkestuste koguarv aastas
 $N = \sum_j N_j$ – vaadeldaval aastal teenindatavate klientide keskmine arv [35].

Süsteemi katkestuskestuse indeks SAIDI (System Average Interruption Duration Index) näitab kliendi keskmiste katkestuste kogukestust aastas.

$$SAIDI = \frac{\text{kliendikatkestuste kogukestvus}}{\text{teenindatavate klientide arv}} = \frac{\sum_i r_i N_i}{N} = \frac{\sum_j U_j N_j}{\sum_j N_j} = SAIFI \times CAIDI \quad (2.2)$$

kus r_i – i -nda katkestuse kestus
 U_j – j -nda koormuspunkti keskmine aastane seisakukestus [35].

SAIDI on peamine võrguteenuse osutamise kvaliteeti kirjeldav näitaja, mis näitab keskmist teenindatava tarbija rikest tingitud katkestuste kogukestust aasta jooksul. SAIDI on agregeeritud näitaja, mis iseloomustab kõige paremini kogu vaadeldava võrgu või selle osa toimimist. Selle vähenemine viitab otseselt töökindluse tõusule [36].

Süsteemi katkestuskestuse indeks CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) näitab kliendi katkestuse kestust.

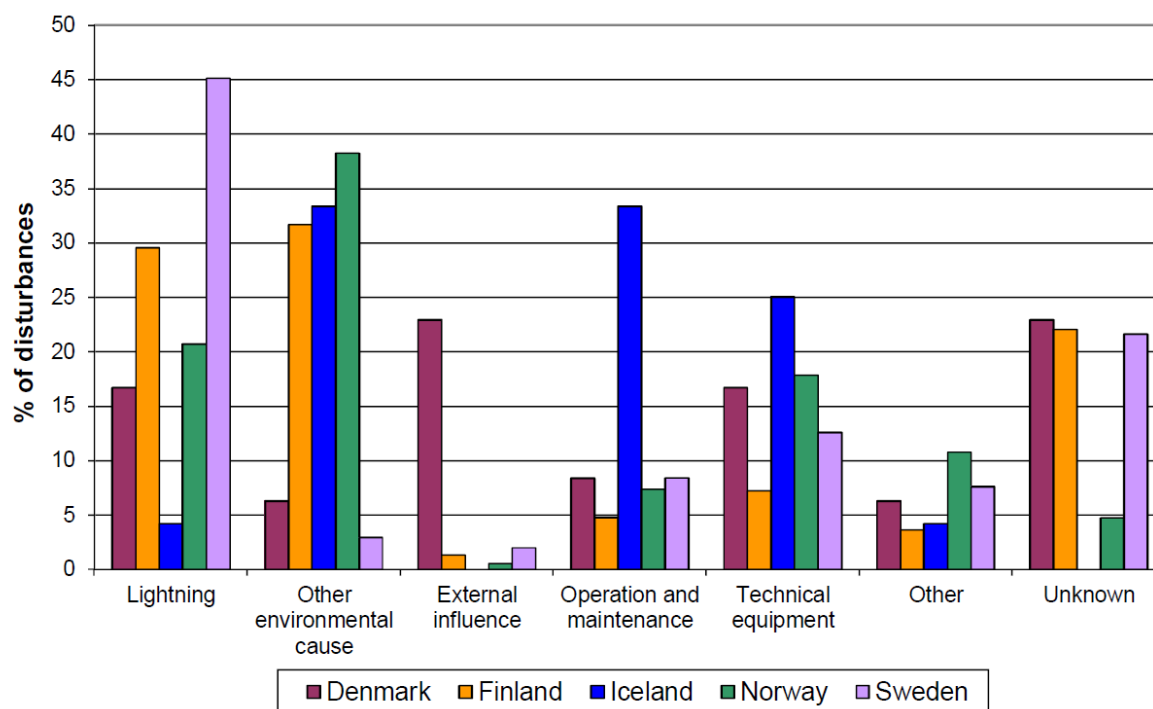
$$CAIDI = \frac{\textit{klientide katkestuste kogukestvus}}{\textit{kliendikatkestuste koguarv}} = \frac{\sum_i r_i N_i}{\sum_i N_i} = \frac{\sum_j U_j N_j}{\sum_j \lambda_j N_j} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad [35] \quad (2.3)$$

Koormus- ja energiakesksed näitajad ja indeksid võimaldavad arvestada kliendi koormuse suurus. Kusjuures kodutarbijaid ja tootmisettevõtjaid käsitlevad nad samaväärselt. Nendeks indekseks võivad olla koormuse katkestussageduse indeks ASIFI, koormuse katkestuskestuse indeks ASIDI [35].

Katkestuskulude hindamisel kasutatakse indekseid ja näitajaid: andmata jäänud energia ENS, keskmine andmata jäänud energia teenindatud kliendi kohta AENS, katkestatud koormusvõimsus, katkestatud kliendi keskmine koormuspiirangu indeks ACCI, tarnepunkti usaldamatuse indeks DPUI [35].

2.2. Erinevate tegurite mõju statistilistele näitajatele

Olenevalt aastast erinevad statistilised näitajad paljude asjaolude poolest. Ilmastikul on oluline roll klientide tarbimiseloomu määramisel, kus külmade ja soojade ilmade esinemisel suureneb võrgu koormus. Külmade ilmade korral tarbitakse elektrienergiat kütteks, soojade ilmade korral aga konditsioneeride toiteks. Lisaks suureneb oht kuumadel suvepäevadel seadmete ülekuumenemiseks. Tormiste, eelkõige suurte tuulte korral võib kaasneda ka puude, oksade langemine ja jäite tekkimine liinidele. Elektrivõrgus põhjustab rikkeid ka äike, mille korral pikselöögi tagajärjel tekib võrgus pingepulss.



Joonis 2.1. Jaotusvõrgus tekkinud rikked vastavalt põhjustele aastal 2011 [37]

Joonise 2.1 põhjal on võimalik näha, et elektrivõrgu rikked on põhjustatud paljudest erinevatest teguritest ning varieeruvad vastavalt antud piirkonna looduslikele eripärasustele. Antud piirkondadest on äikese poolt enim rikkeid fikseeritud Rootsis, ligi 45 %, vähim aga Islandil, alla viie protsendi. Muid looduslike tegurite poolt põhjustatud rikkeid on enim Norras, Islandil, Soomes, vähem aga Rootsis ja Taanis. Võreldes teiste tabelis kajastatud riikidega on Taanil enim rikkeid põhjustanud välised tegurid. Hooldustest põhjustatud rikkeid on enim Iirimaaal. Iirimaaal suurimateks rikete põhjusteks on hoolduste teostamistest tingitud katkestused ning erinevad looduslikud põhjused, nagu näiteks veeuputused, maavärinad.

Joonise 2.1 näitel on võimalik järeldada viie riigi aastase statistika puhul seda, et peamisteks katkestuste põhjusteks on äike, erinevad looduslikud põhjused, tehniliste ja hooldustega seotud rikked.

Tabel 2.1. Katkestused Manhattanil, Kansases tekkinud katkestuste põhjused viieaastase perioodi jooksul aastate 1998–2002 kohta [38]

Cause	Number of Outages
Weather	834
Equipment	921
Trees	1245
Animals	836
Others	522

Kansas, Manhattani kohta on koostatud viie aasta katkestuste statistika kõrgepinge õhuliinide kohta. Enim katkestusi on tekkinud seoses puude langemisega liinidele, mis moodustab 28,6 % kogu katkestustest. Teiseks suurimaks katkestuste põhjustajaks on elektrivõrgus seadmete rikked seoses vananemise, tehaste defektide ja välistest vigastustest põhjustatud teguritest, mis moodustavad kogu katkestustest 21,1 %. Ilmastikust ning ka loomade poolt on põhjustatud rikkeid ligi 19,1 %. Ülejäänud rikkeid põhjustavad muud väiksemad põhjused, mida on kokku ligikaudu 12 %.

Võrreldes joonisel 2.1 ja tabeli 2.1 andmeid moodustavad ilmastiku poolt põhjustatud rikked enamuse kõikidest teistest rikestest. Muudest põhjustest on põhjustatud kõige vähem rikkeid.

Eestis on põhjustanud tormid ulatuslikke kahjustusi ning elektrikatkestusi. Igale tormile on antud nimetus, mille põhjal on võimalik teda identifitseerida. Olenevalt aastast esineb Eestis mitmeid suuremaid torme.

Tabel 2.2. Kümme suuremat tormi Eestis alates 2005. aastast [39]

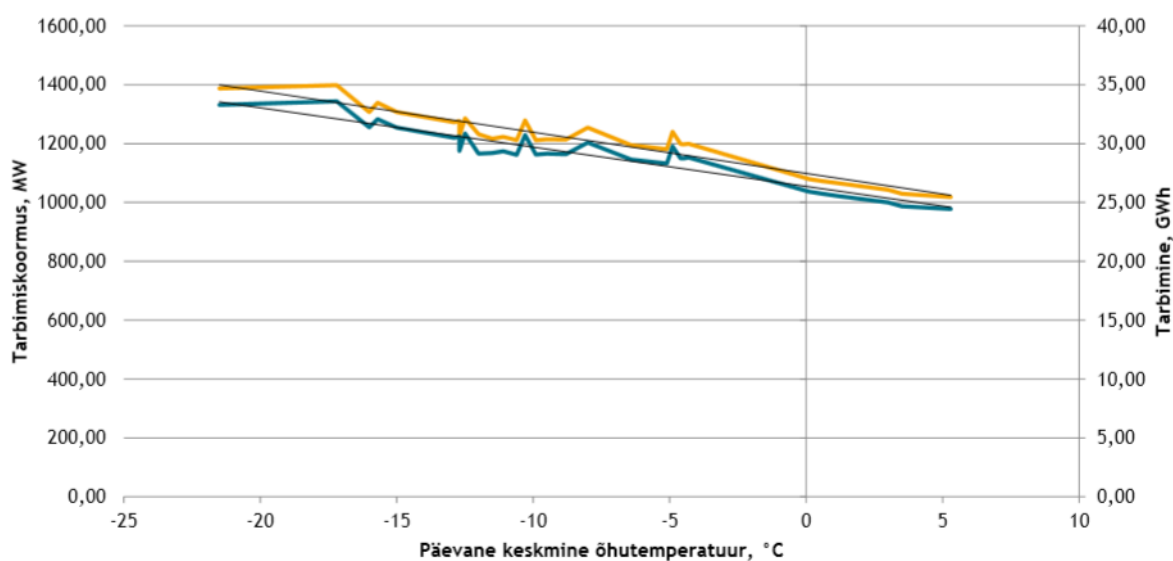
Torm	Aeg	Elektrikatkestuste maksimaalne arv
Gudrun ehk Erwin	9. jaan. 05	100 000
Patrick ehk Dagmar	27. dets. 11	64 000
äikesetorm "derecho"	8. aug. 10	38 000
lumetorm	23. nov. 08	33 500
äikesetorm	24. mai. 05	21 000
Yoda II	28. nov. 11	14 700
äikesetorm	28. juuli. 11	13 800
ex-Katia	14. sept. 11	12 070
lumetorm Monika	10. dets. 10	10 000
sügistorm	28. okt. 06	10 000

Tabelis 2.2 on kajastatud Eestis suuri elektrikatkestusi põhjustanud tormid aastatel 2005-2011. Suurim oli 2005. aasta jaanuari torm Gudrun ehk Erwin, mis põhjustas ligi 100 000 elektrikatkestust. Teiseks suurimaks oli torm Patrick ehk Dagmar, mis põhjustas ligi 64 000 elektrikatkestust 2011. aasta detsembris. 2010. aasta augustis põhjustas ligi 38 000 katkestust äikesetorm Derecho.

2.2.1. Temperatuur

Suur osa rikkeid on põhjustatud välistest teguritest. Eesti kliimas on peamine tegur temperatuur. Absoluutne maksimum antud kliimas on olnud 35,6 °C ning absoluutne miinimum -42,6°C [40].

Suure temperatuuri kõikumise tõttu peavad ka seadmed olema kvaliteetsed ja vastupidavad. Tarbijatele tähendab temperatuuri langus või tõus tarbimiseloomu muutust.



Allikas: Elering, EMHI

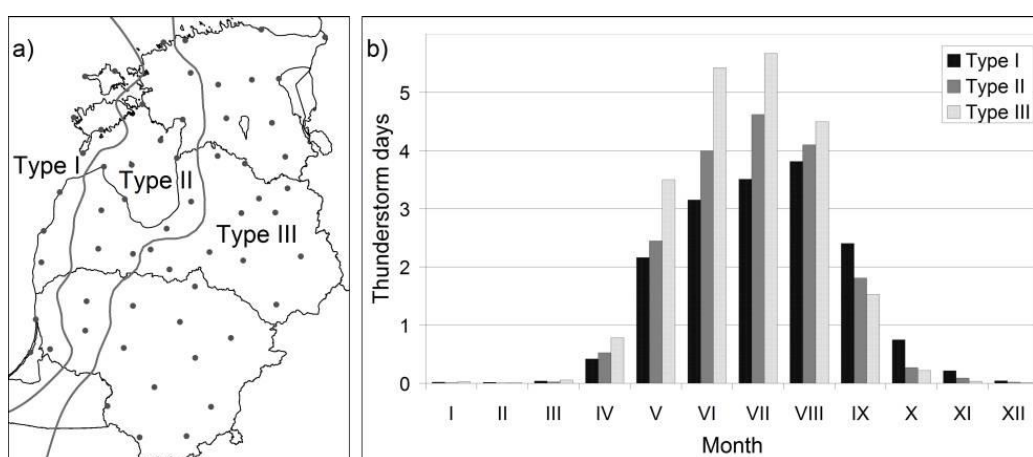
— Tarbimiskoormus Eestis, MW — Tarbimine Eestis, GWh
 — Lineaarne (Tarbimiskoormus Eestis, MW) — Lineaarne (Tarbimine Eestis, GWh)

Joonis 2.2. 2010. aasta talve tarbimisnäitajate ja päevase keskmise õhutemperatuuri seos [41]

Jooniselt 2.2 on näha, millises seoses on õhutemperatuur tarbimiskoormuse ja tarbimisega. Viie kraadine temperatuuri langus suurendab tarbimist ning tarbimiskoormust ligikaudu 5 %. Temperatuuri tõusul kasvab tarbimine konditsioneeride, jahutite arvelt, langedes aga suureneb tarbimine kütmisele kuluva energia arvelt. Suurenenud tarbimine võib tekitada ülekoormust, ülekoormatud võrgus võivad sagedamini rikked.

2.2.2. Äike

Välgu indutseeritud liigpinge liinis on suure tipuväärtusega, kuid väikese energiasaldusega, mille tõttu võib pidada välku enamasti ohutumaks kui pikema kestusega lülitusliigpinget. Välgu liigpinged ülekandevõrgus on piiratud võrgu dielektriliste tugevustega ja liigpingepiirikutega alajaamas. Seetõttu võib väita, et välgu liigpingete amplituudväärtused ei ületa 4 ühikut alajaamas ja 7 ühikut liinidel. Välgu poolt põhjustatud liigpinged 110 kV võrgus võivad üle kanduda madalama pingega võrkudesse, kus võivad tekkida kuni 3,5 kordsed liigpinged [42].



Joonis 2.3. Äikesepäevade aastase käigu regioonid Baltimaades ja neile vastavad kuude äikesepäevade arvud; a) regiooni kaart; b) äikese sagenemise statistika aastate 1951- 2000 kohta [43]

Äikese esinemissagedus Baltimaades joonise 2.3 andmetel oli suurim suvekuudel. Äikeselisi päevi oli enim juunis, juulis, augustis, kus vastavalt kuudele oli fikseeritud 13, 14 ja 12 äikeselist päeva. Mõnevõrra vähem oli äikest mais ning septembris. Ööpäeva lõikes on enim äikest kella 14 ja 18 vahel ning kõige vähem äikest hommikul kella nelja ja kümne vahel. Keskmise äike kestab veidi alla kahe tunni ning ühe äikesepäeva kohta tuleb keskmiselt 1,1 kuni 1,2 äikesejuhtumit [44].

Jooniselt 2.1 jaotusvõrgus põhjustatud riketelt aastal 2011 on võimalik näha, et äikese poolt põhjustatud rikkeid on ühes aastas keskmiselt 23,6 %. Äikese poolt tekitatud rikete vähendamiseks on olemas tehnilisi lahendusi, mis tõstavad võrkude töökindlust.

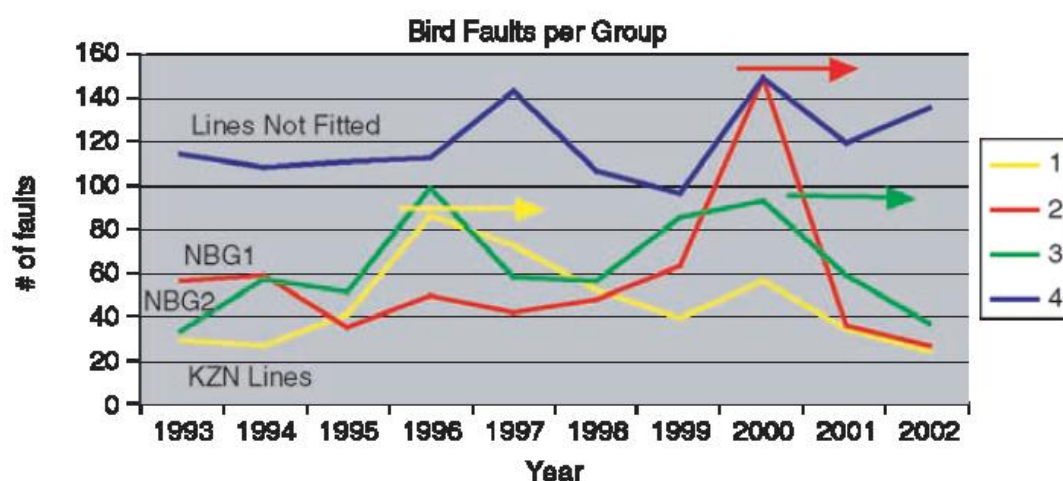
Põhja-Ameerikas 138 kV ülekandeliinidel läbi viidud uurimises rakendati erinevaid meetmeid, et vähendada pikse kahjulikku mõju elektrivõrgule. Kõige tõhusamaks osutusid liigpingepiirikud, mis maandasid äikese löögi poolt tekitatud liigpinge ning vähendasid

ülelöökide tõenäosust. Rahuldava tulemuse andis olemasolevale mastile teise maandusjuhi paigutamine ning lisa maa-posti maandusjuhi paigaldamine [45].

2.2.3. Loomade poolt põhjustatud rikked

Elektrivõrkude projekteerimise ja selle ehitamise käigus rakendatakse erinevaid meetmeid, et soovimatutel ei oleks võimalust puutuda kokku pingestatud osadega ning saada elektrilööki. Meid ümbritsevas keskkonnas on erinevaid liike loomi, kes pahaaimamata rikuvad elektrivõrgu normaalset tööd või satuvad elektrivõrgu pingestatud osadele ning enamasti hukuvad. Peamiselt on selliste rikete põhjustajateks linnud, väikesed loomad, närilised, oravad.

Tabeli 2.1 Manhattani katkestuste andmete põhjal on näha, et Manhattani elektrivõrgus loomade poolt tekitatud katkestuste arv moodustab 19,1 % kogu katkestuste arvust. Peamiselt on rikete põhjustajateks linnud. Kõige enam rikkeid põhjustavad lindude väljaheidetest tekitatud ülelöögid ning mastide otsa ehitatud pesad. Väljaheidete sattumine liinide isolaatoritele reostavad pinna, mis niiskuse toimel suurendavad ülelöögi tekkimise võimalust. Pesade olemasolu mastitipus soodustavad väljaheidete sattumist isolaatorketile ning masti konstruktsioonidele. Ülelöögi võimalus võib esineda pesade vettimisel ning lindude suurema tiivaulatuse esinemise korral. Suurtel lindudel on oht lennata liinidesse, tekitades lühise. Suurt kahju võivad põhjustada ka rähnid, kes toiduotsimise käigus, uuristamisega, nõrgestavad kandemasti.



Joonis 2.4. Põhja-Aafrikas lindude väljaheidetest põhjustatud rikked liinidel, millele ei rakendatud lindude vastaseid meetmeid(nr.4) ning liinidel, mille korral rakendati (liinid nr.1;2; 3) [46]

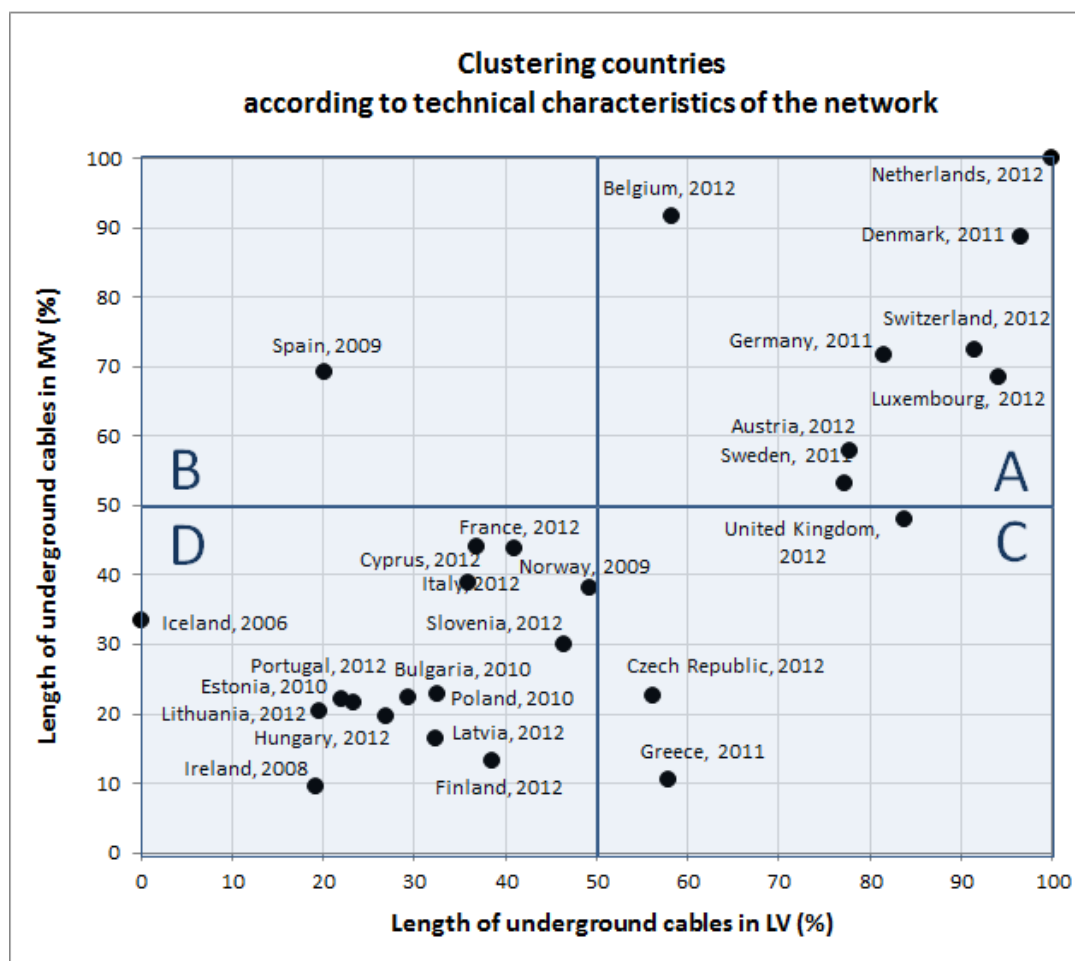
Jooniselt 2.4 on näha, et lindude poolt tekitatud kahju on võimalik vähendada vastavate meetmete rakendamisel. Olenevalt aastatest on lindude poolt tekitatud rikete arv muutlik. Põhja-Aafrikas rakendati erinevatele liinidele meetmeid takistamiseks lindudel rikete põhjustamist. Selleks paigaldati vardad isolaatorite lähedale, et takistada nende lähedusse maandumist. Liinidel nr.1(KZN Lines) projekteeriti ning arvestati juba ehitamisel lindude harjumusi, et muuta võrk vastupidavamaks. Liinidel nr.2 (NBG1, 21 liini) rakendati lindude maandumist takistavad vardad isolaatorite lähedale, mis paigaldati aastal 2000. Liinidel nr.3 (NBG2) rakendati lindude vastaseid meetmeid alates 2002 aasta algusest. Liinid nr.4 olid tavalised, kus ei kasutatud mingeid lindude peletamismeetodeid [46].

Liinidel nr.2 täheldati aastatel 2000-2002 rikete vähenemist 123 rikke võrra. Liinidel nr.3 vähenesid esimese kahe aastaga rikked 56 rikke võrra. Liinidel, millel ei rakendatud meetmeid lindude takistamiseks oli märkimisväärselt suurem lindude poolt tekitatud rikete arv. Andmed aasta 2002 kohta: tavalistel liinidel oli rikete arv ligikaudu 135 tk, liinidel, millel oli paigaldatud vastavaid meetmeid oli rikkeid alla 40. Antud andmed näitavad ligi 30 % vähem rikkeid [46].

Lindude tõrjeks mastidelt on kasutusel erinevaid meetmeid, küll ei ole võimalik antud rikked täielikult kõrvaldada. Rikete peamised põhjustajad on lindude väljaheited, nende leevendamiseks kasutatakse isolaatorite kilpe, mis asetatakse isolaatorketi ülemisse otsa vältimaks saaste edasi jõudmist isolaatorketi alumisse otsa. Lindude isolaatorite lähedal peatumise takistamiseks kasutatakse vardaid, mis väljaulatuvate osadega takistaks nende maandumist piirkonda, kus väljaheite sattumise oht isolaatorketile oleks kõige suurem. Pesade ehitamise takistamiseks lisatakse postile pikendus, mis suure tõenäosusega väldib madalamale masti osale pesa ehitamist. Rähnide tõrjeks kasutatakse metallist võrku, mille silma suurus valitakse vastavalt liigile ning asetatakse ümber puidust masti [47].

2.2.4. Tehniliste karakteristikute mõju varustuskindlusele

Tehniliste karakteristikute all on antud jaotises mõeldud elektrivõrkude liinide paigaldusviisi ning pikkuseid. Antud karakteristikute analüüsimiseks kasutatakse 2013. aastal CEER (Council of European Energy Regulators) välja antud raportit, kus on välja toodud Euroopa maade tehnilised karakteristikud maakaabelliinide kohta ning liinide pikkused nii madal- kui ka keskpinge võrgu jaoks.



Joonis 2.5. Euroopa riikide rühmitamine elektrivõrgu tehnilistest karakteristikutest 1-35 kV [48]

Joonisel 2.5 on näidatud madalpinge ja keskpinge võrkudes maakaabelliinide osakaalud. Tabeli põhjal ning statistiliste näitajate abil on võimalik kindlaks teha, millisel moel mõjutavad kaabelliinid varustuskindluse näitajaid. Joonis kajastab näitajaid erinevate aastate kohta, mis on märgitud iga riigi järel.

Kõige suurema kaabelliinide osakaaluga nii madal- kui keskpinge võrgus on Holland, mille väärtused on ligikaudu 100 %. Hollandile järgneb Taani ja Belgia. Kõige väiksem kaabelliinide osakaal madalpinge võrgus on Island, kus puuduvad madalpinge maakaabelliinid. Keskpinge võrgus on madalaim Iirimaal ja Kreekas, kus oli antud näitaja ligikaudu 10 %. Eesti elektrivõrgus on antud näitajad madal- ning keskpinge võrgus ligikaudu 22 %. Eestile sarnased näitajad on veel Leedul ja Portugalil.

Joonis 2.5 on jaotatud sektsioonideks A, B, C, D. Sektsioonid määravad ära madal- ja kõrgepinge võrgu maakaabelliinide protsentuaalse suhte. Sektsioonis A on kaabelliinide suhe

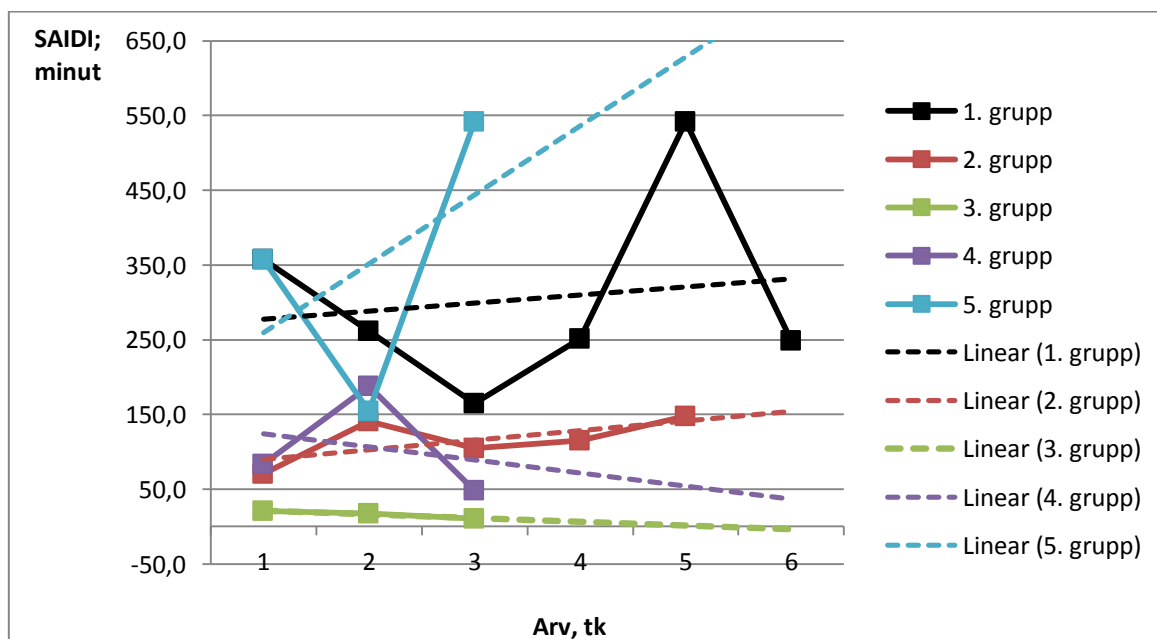
suurem kui 50% ning sektsioonis D väiksem kui 50%. Loetletud sektsioone kasutatakse edaspidises analüüsis.

Leitakse riikide nimekirjad vastavalt sektsioonidele A ja D. Valitud riikide statistika abil arvutatakse välja sektsioonide varustuskindluse näitaja SAIDI.

Riikides, kus oli madal- ja keskpinge võrgu maakaabelliinide ulatus üle 50% oli keskmine SAIDI väärtus 45,9 minutit (tabel L.2) ning alla 50% oli väärtus 210,2 minutit (tabel L.1) Joonise 2.5 põhjal on võimalik väita, et riigid, kus on kaabelliinide kasutus suurem kui 50% on SAIDI ehk keskmise aastase katkestuse kogu kestvus ligikaudu 4,6 korda väiksem.

Holland on oma pindalalt võrreldav Eesti pindalaga kuid elanike arv on ligikaudu 13 korda suurem [49]. Suur elanike arv on oluliseks kriteeriumiks kaabelliinide kasutamisel, mille korral tagatakse inimeste ohutus. Tiheda asustusega asukohtades on võimalik kasutada ka GIS tüüpi alajaame, mis annavad lisaks turvalisusele ka hea ruumikasutatavuse.

Joonisel L.1 ja L.2 on välja toodud madal- ja keskpinge võrkude liinide pikkused ning kaabelliinide ja õhuliinide osakaalud. Liinipikkuste mõju varustuskindluse võrdlemiseks koostati joonise 2.5 abil riikide grupid sarnaste näitajatega, ning kasutades jooniseid L.1 ja L.2 abil järjestati gruppides olevad riigid liinipikkuste järgi (tabel L.3). Antud riikide puhul võrreldakse näitajaid SAIDI.



Joonis 2.6. Liinipikkuste mõju varustuskindluse SAIDI-le

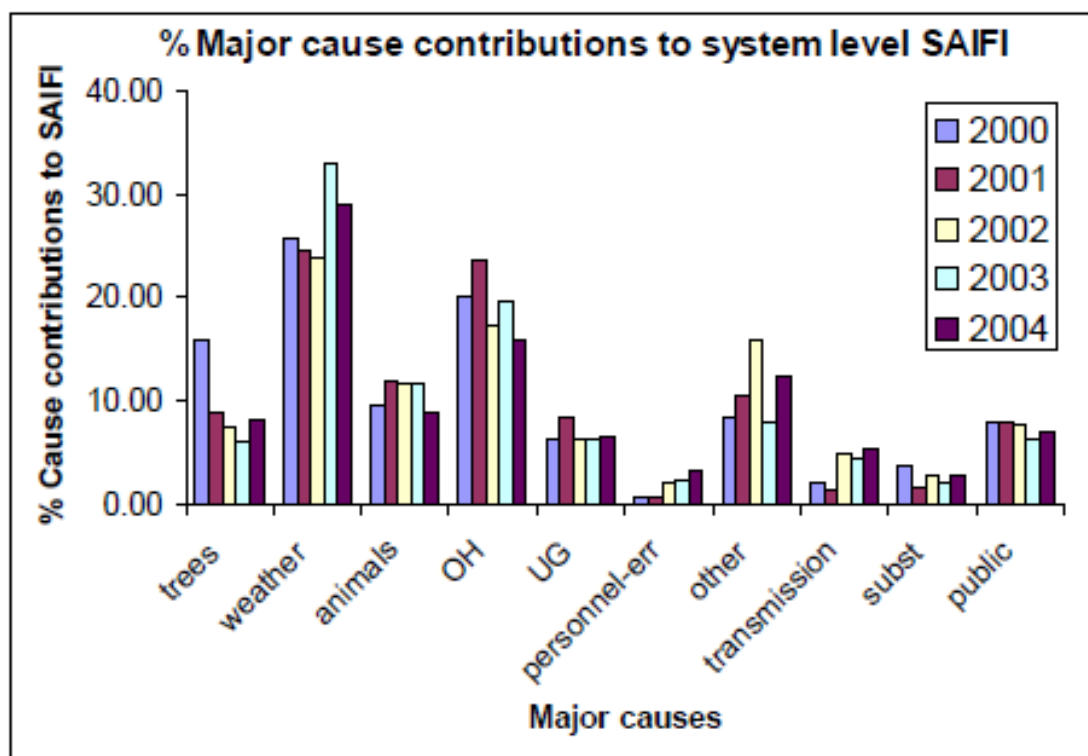
Joonis 2.6 on koostatud tabeli L.3 andmetel. Iga grupp koosneb mitmest riigist, millel on sarnased näitajad maakaabelliinide osakaalus (joonis 2.5). Moodustatud grupid on paigutatud liinipikkuste järgi vähenevas järjekorras. Iga grupi kohta on koostatud graafik, millele on lisatud trend, mis näitab kas antud näitajad kasvavad või langevad. Langeva trendi korral langeb näitaja SAIDI liinipikkuste vähenemise suunas ning tõusva trendi korral kasvab näitaja SAIDI.

Esimene grupp koosneb Poola, Portugali, Ungari, Leedu, Läti, Eesti andmetest, kus madal- ja keskpinge võrgus on maakaabli osakaal alla 40 %. Vastavalt graafiku andmetele moodustati lineaarne trend, mis näitab, et kas antud graafik on kasvav või langev. Antud jooniselt on näha, et trend on kasvav, mille korral võib väita, et väiksemate liinipikkuste korral on SAIDI suurem, ehk varustuskindlus väiksem. Teine grupp koosneb Prantsusmaa, Itaalia, Norra, Sloveenia, Küprose andmetest. Antud riikide maakaablite osakaal on vahemikus 30–50 %. Graafikule vastav trend on tõusev, mis näitab, et SAIDI suureneb liinipikkuste vähenemise korral. Kolmas grupp koosneb Saksamaa, Šveitsi, Luksemburgi andmetel, mille korral on maakaablite osakaal 65–95 %. Riikide andmetele vastav trend on langev, mis näitab, et varustuskindlus tõuseb liinipikkuste vähenemise suunas. Neljas grupp koosneb Inglismaa, Rootsi ja Austria andmetel, kus maakaablite osakaalud jäävad vahemikku 45–85 %. Antud graafikule vastav trend on langev. Viies grupp koosneb Poola, Soome, Läti andmetel, kus maakaablite osakaal oli 13–40 %. Antud graafikule vastav trend oli tõusev.

Joonise 2.6 tulemused näitavad, et gruppidel, kellel olid maakaablite osakaal madal- ja keskpinge võrgus suuremad, rohkem kui 50 %, grupp 3 ja 4, vähenes varustuskindluse näitaja SAIDI väärtus vastavalt liinide pikkuste vähenemisele. Gruppidel 1, 2, 5, olid kaabelliinide osakaal alla 50 %, mille trendid olid tõusvad ning mille korral liinipikkuste vähenemisel SAIDI väärtus suurenes.

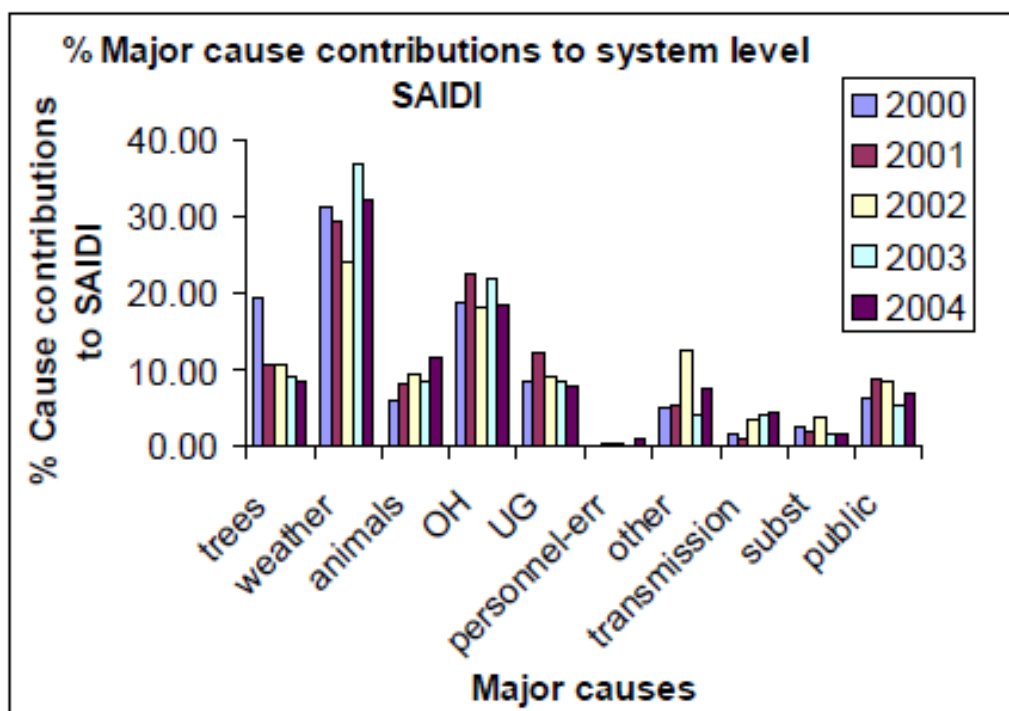
2.2.5. Rikete mõju varustuskindluse näitaja SAIFI-le ja SAIDI-le

Üks võimalus rikkeid omavahel võrrelda on leida vastav näitaja statistiliste andmete põhjal. Erinevate rikete kohta on võimalik välja arvutada vastav statistiline näitaja, mille põhjal on võimalik elektrisüsteemi tervikuna hinnata. Selleks kasutatakse üldlevinud näitajaid SAIFI, SAIDI, CAIDI.



Joonis 2.7. Kanada jaotusvõrgu SAIFI osakaal rikete põhjustajate kaupa aastate 2000–2004 kohta [50]

Joonise 2.7 põhjal on võimalik näha, et aastate vahemikus 2000–2004 põhjustab ligikaudu 25 % aastasest katkestuste arvust SAIFI-st ilmastik. Olenevalt aastast moodustab see osakaal 24–33 %. Teise tegurina on võimalik näha, et õhuliinde rikked moodustavad ligikaudu 20 % SAIFI-st. Maakaablid on ilmastikule ja erinevatele teguritele vähem vastuvõtlikumad. Maakaablid moodustavad ligikaudu seitse protsenti SAIFI-st, mis teeb ligikaudu 13 % vähem rikkeid kui õhukaablite korral. Loomade ja muude põhjuste poolt on tekitatud ligikaudu kümme protsenti rikestest, puude poolt üheksa protsenti, inimeste poolt kaheksa protsenti, personali, ülekande ning alajaamade poolt põhjustatud rikkeid alla viie protsenti.



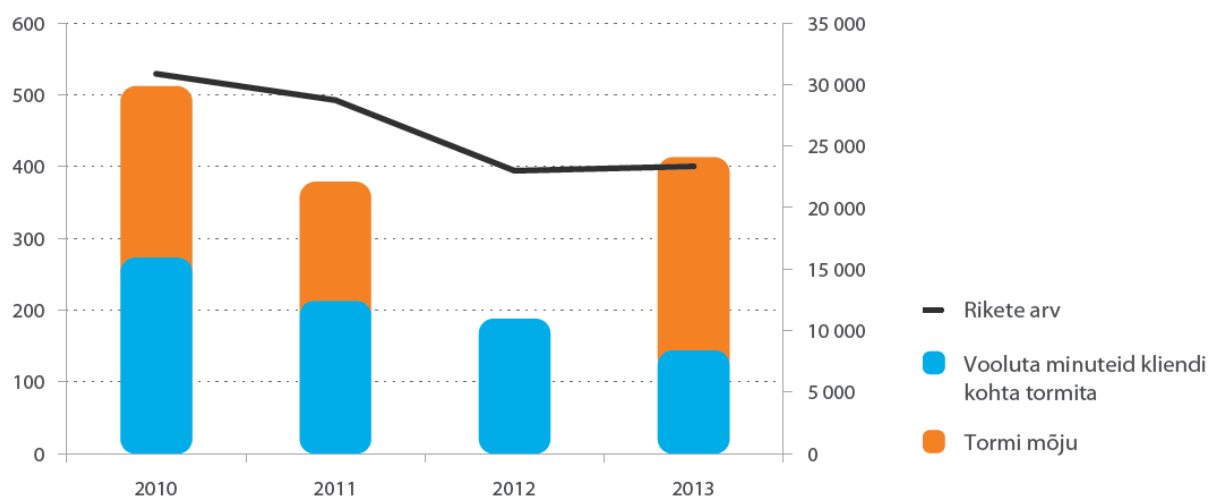
Joonis 2.8. Kanada jaotusvõrgu SAIDI osakaal rikete põhjustajate kaupa aastate 2000–2004 kohta [50]

Joonise 2.8 põhjal on võimalik näha, et aastate vahemikus 2000–2004 antud piirkonnas põhjustab ligikaudu 28 % aastasest katkestuste keskmisest kestvusest SAIDI-st ilmastik. Olenevalt aastast on see osakaal vahemikus 24–38 %. Teise tegurina on võimalik näha, et katkestused õhuliinidel moodustavad ligikaudu 20 %. Maakaablid moodustavad ligikaudu kaheksa protsenti SAIDI-st. Puud moodustavad ligikaudu 11 %, loomad kümme protsenti, inimesed kaheksa protsenti, muud põhjused viis protsenti, ülekande, alajaamade ning personali poolt põhjustatud rikkeid alla viie protsenti. Kõige vähem moodustasid personali põhjustatud vead SAIDI-st, ligikaudu üks protsent.

Jooniste 2.7 ja 2.8 põhjal on näha, et mõlema tabeli korral on rikkeid põhjustavad tegurid samas suurusjärgus. Antud juhul on võimalik väita, et jaotusvõrgu korral on näitajad, SAIFI ja SAIDI, sõltuvuses samadest teguritest ning ka sarnases proportsioonis. Enim on varustuskindluse näitajate tõusu põhjustanud ilmastik ja õhuliinid.

Looduskatastroofid mõjutavad elektrisüsteemi varustuskindlust oluliselt. Tugevatest tuultest tingituna on suur tõenäosus puude ning muude objektide sattumine liinidele. Üleujutustest on tingitud lühiste esinemine liitumiskilpides ning alajaamades, tuule ja külma tõttu jäite

tekkimise oht. Tormide tulekut on võimalik ette ennustada, küll aga mitte nende poolt põhjustatud rikete ulatust.



Joonis 2.9. Elektrilevi OÜ tormide mõju rikete ning elektrikatkestustele aastate 2010–2013 kohta [51]

Elektrilevi OÜ statistika andmetel on tormide mõju elektrivõrgu töökindlusele suur. Jooniselt 2.9 on näha, et tormid võivad suurendada ligi poole võrra elektrikatkestuste kestvust SAIDI-t. Aastal 2013 oli keskmiseks kliendi katkestuse kestvuseks 413 minutit. Erakorralisi rikkeid arvestamata oli katkestuste keskmiseks kestvuseks 144 minutit [51].

Elektrilevi OÜ arvamusel on aidanud rikete vähendamisele kaasa, väljaarvatud erakorralised rikked, investeeringute suunamine õigetesse kohtadesse, võrgu uuendamisse ja automaatikasse [51].

Joonise 2.9 põhjal võib väita, et tormide mõju elektrivõrgu statistikale on väga suur ning nende tekitatud rikete likvideerimine on ajamahukas. Tormide mõjul suurenesid katkestuste kestvused aastal 2013 65 %. Kuna tormide mõju jaotusvõrgule on nii suur, siis vajab võrk tormikindlamaks ehk ilmastikukindlamaks muutmist.

2.2.6. Varustuskindluse näitajate normväärtusi

Olenevalt riikidest on elektrivõrkudele kehtestatud piir- või normväärtused. Elektrivõrgu ettevõtete arv võib riigiti varieeruda, ühest kuni mitmesajani, siis piir- või normväärtuse kehtestamisel tagatakse, et kõik võrguettevõtted peavad suutma tagada kehtestatud normi.

Tabel 2.3. Mõnede maade varustuskindluse näitajate normväärtusi [35]

Riik/Elektriettevõtte	Püsikatkestuse kestus, min	Näitaja	Miimumnivoo	Sihtnivoo
USA New-Yorgi osariik	5	SAIFI	0,006...3,00	0,003...1,75
		CAIDI	67...225	53...165
San Diego Gas & Electric	5	SAIDI		52
		SAIFI		0.9
Edmond Electric (Oklahoma)	1	SAIDI		95
		SAIFI		1,2
		CAIDI		320
Austraalia (5 elektriettevõtet)	1	SAIFI		0,72...2,79
		SAIDI		32...173
		CAIDI		44...76
		MAIFI		0,26...12,5
Holland		SAIDI		20
Itaalia		SAIDI		30...60
Hispaania		TIEPI		2...12
Portugal		TIEPI		3...24

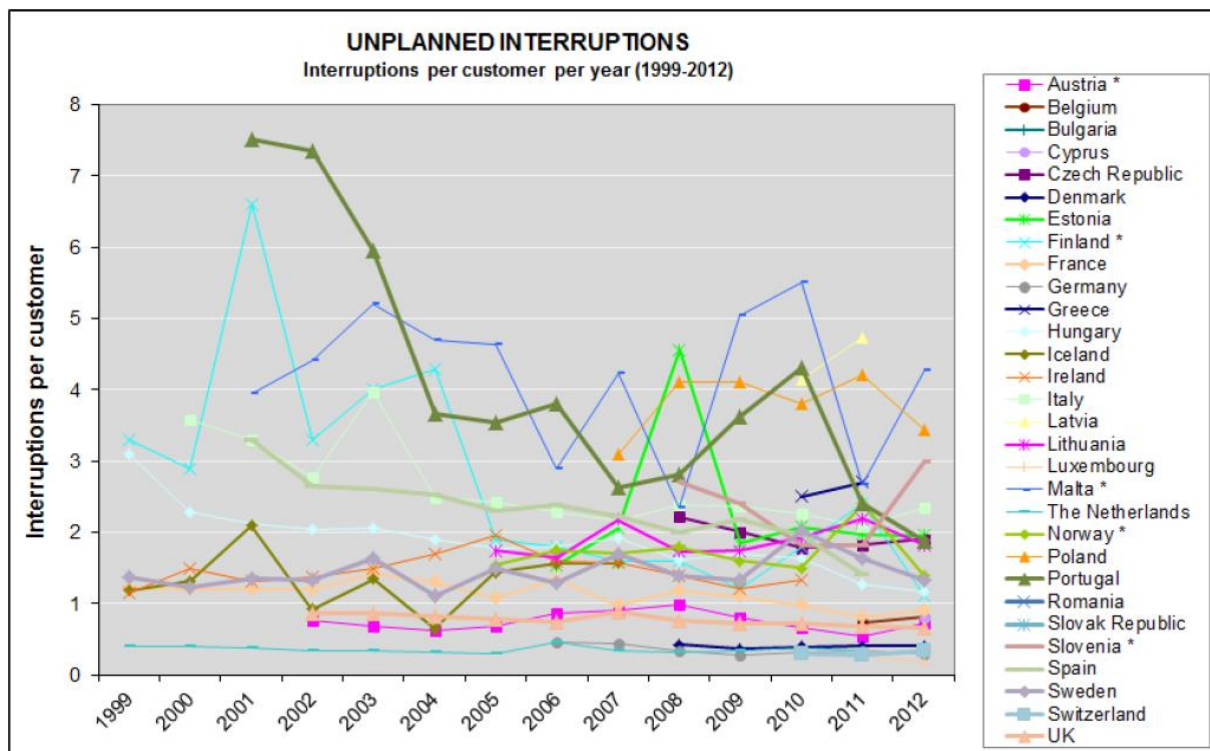
Tabelis 2.3 on näha mõnede riikide ja osariikide normväärtused. Paljude riikide puhul ei ole võimalik kõikidele võrgu osadele määrata ühesuguseid väärtusi, sellisel juhul on antud väärtuste vahemik. Erinevates võrgu osades võib olla erinevad koormused, tingimused, seadmed, mille tõttu on ka rikete esinemissagedus mõnevõrra erinev. Antud tabelid annavad võimaluse võrrelda erinevate võrkude näitajaid ning teha järeldusi kas keskkonnatingimuste, asukoha, konfiguratsioonide kohta.

2.3. Jaotusvõrgu ja põhivõrgu statistika

2.3.1. Jaotusvõrkude statistika maailmas

Elektri tootmine ning edastamine tarbijateni on riigiti väga sarnane, mille tõttu on neid võimalik omavahel võrrelda. Elektrivarustuse ning -kvaliteedi statistika võrdlemiseks kasutatakse paljudes riikides ühesuguseid indikaatoreid, SAIFI, SAIDI. Katkestusi on võimalik jagada planeerituteks ja planeerimata katkestusteks. Planeeritud katkestused on elektri jaotusettevõtte poolt rikete ja hoolduste tegemiseks, planeerimata katkestused aga ettearvamatutest rikestest.

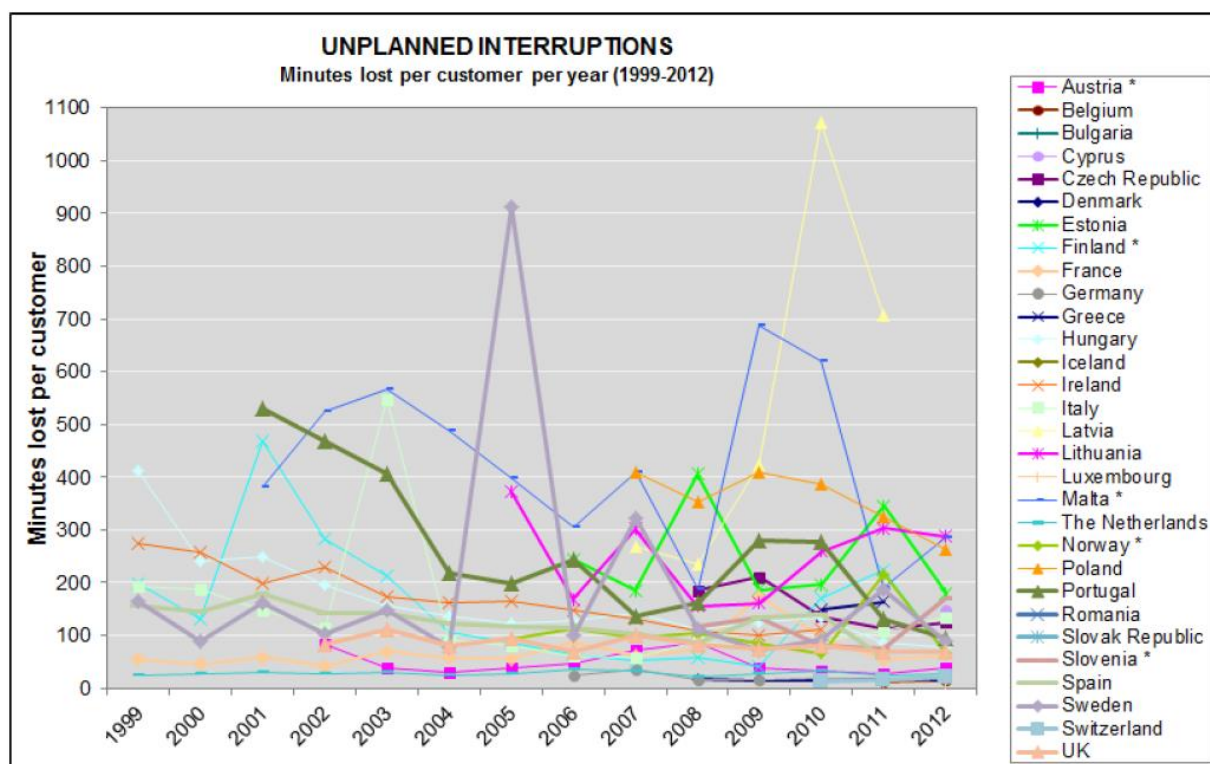
Elektrivõrgu statistika analüüsimiseks kasutatakse 2013. aastal Euroopa Energia Nõukogu poolt välja antud raportit, kus on välja toodud Euroopa maade varustuskindluse näitajad, milles arvestatakse madalpinge, kuni 1 kV, kõrgepinge, 1–35 kV, katkestusi [52].



Joonis 2.9. Jaotusvõrkude planeerimata katkestuste SAIFI 1999–2012 koos erakorraliste sündmustega (*- alternatiivne näitaja) [48]

Joonis 2.9 annab ülevaate riikide jaotusvõrkude statistikast, kus võrreldakse näitajat SAIFI-t. Võrreldes aastate keskmist, erinevad väärtused nii suurusel kui ka näitajate stabiilsuses. Madalamate ja stabiilsete näitajate poolest, SAIFI ligikaudu üks või alla ühe, on läbi aastate olnud riikidel Holland, Taani, Sveits, Poola, Austria, Prantsusmaa. Väga muutlikute näitajate poolest paistab silma Malta, Portugal, Eesti, Poola, Soome. Suure langustrendiga näitajad on Portugal ning Soome. Portugal on vähendanud katkestuste arvu 11-ne aastaga 5,63 võrra. Aastal 2001, oli Soome näitaja 6,6 katkestust ning 2012 aastal 1,1 katkestust. Stabiilse langustrendiga olid Ungari, Hispaania, Itaalia. Ungaril, kus 1999 aasta näitaja oli 3,09 katkestust aastas, 2012 aasta näitaja 1,17 katkestust. Hispaanial aastast 2001 kuni 2011 olid näitajad vastavalt 3,3 ning 1,42 katkestust aastas.

Eestis on näitajad aastatel 2006–2012 vahemikus 1,54–4,56 katkestust. Aastal 2008 oli näitaja 4,56, mis on vaadeldava perioodi jooksul suurim väärtus. Kui välja arvata antud näitaja 4,56, siis on maksimaalseks väärtuseks aastal 2010 2,07 katkestust. Näitajate graafilisel võrdlemisel sarnanevad Eesti andmed enim Leedu andmetega.



Joonis 2.10. Jaotusvõrkude planeerimata katkestuste SAIDI 1999 –2012 koos erakorraliste sündmustega [48]

Joonisel 2.10 ulatuvad varustuskindluse näitaja SAIDI väärtused vaadeldava perioodi jooksul 10-st minutist (Luksemburg) kuni 1 073 minutini (Läti). Stabiilsed näitajad on Hollandi, Saksamaa, Sveitsi, Prantsusmaa, Suurbritannia ja Austria elektrivõrkudel. Loetletud maadest on katkestuste keskmiseks aastaseks kogukestvuseks ligikaudu 100 minutit või vähem. Stabiilselt langevad näitajad Ungaril, Iirimaa ja alates aastast 2001 ka Soomes. Maad, kus on toimunud ootamatud ning järsud muutused kasvutrendides on Läti, Rootsi, Malta ja Itaalia. Eesti näitajad varieeruvad 178,9 minutist kuni 405,33 minutini, kus keskmine väärtus on 248,9 minutit. Antud andmete statistika on aastatest 2006–2012. Suurimad hüpped statistika järgi toimusid 2008 ning 2011 aastal, kus katkestuste kogukestus aastas ulatus vastavalt 405,33 minutini ning 346 minutini. Ülejäänud aastatel jäid näitajad 178,9 minuti ning 243,49

minuti vahele. Võrreldes erinevate maade statistilisi näitajaid graafiliselt on võimalik väita, et Eesti näitajad on ligikaudu sarnased Leedu ning Portugali näitajatele.

Jooniste 2.9 ning 2.10 analüüsil on võimalik väita, et väiksemate näitajate SAIFI ja SAIDI korral on näitajad stabiilsemad ning ei esine nii tihti järske väärtuste tõuse ega langusi. Eesti statistilised näitajad on mõnevõrra hüplevad ning samuti kõrgemad, mis näitavad väiksemat varustuskindlust. Sarnaste näitajate poolst oli Eestile lähim Leedu, ning SAIDI korral lisaks Leedule ka Portugal.

2.3.2. Eesti suuremate jaotusvõrkude varustuskindlus

Eesti jaotusvõrgu statistika põhineb Eesti Konkurentsiameti võrguteenuste kvaliteedinäitajate 2005–2013 aastate kohta. Eesti jaotusvõrku on kuulunud olenevalt aastatest ligikaudu üle 30-ne ettevõtte. Tarbimiskohtade arv on kaheksa aastaga kasvanud 625 089- lt 727 154- ni.

Eesti suurimad jaotusvõrgu ettevõtted aastal 2013 olid Elektrilevi OÜ, VKG Elektrivõrgud OÜ, Imatra Elekter AS ja Loo Elekter AS. Suurim teenusepakkuja Elektrilevi OÜ tarbimiskohtade koguarv ulatus 660 009-ni. VKG Elektrivõrgud OÜ, Imatra Elekter AS ning Loo Elekter AS tarbimiskohtade arvud olid vastavalt 36 449, 24 542 ning 1 612 tk [53].

Tabel 2.4. Eesti suurimate jaotusvõrgu ettevõtete statistika aastatel 2012–2013 [53]

	Elektrilevi OÜ		VKG Elektrivõrgud OÜ		Imatra Elekter AS		Loo Elekter AS	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
SAIFI	1,9	2,6	0,7	1,2	0,5	0,6	0,2	0,2
SAIDI	187,0	413,0	6,6	38,8	26,1	50,5	18,1	18,3
CAIDI	97,4	155,8	9,7	31,7	51,1	83,3	103,2	86,4

Suuremal jaotusvõrgu ettevõttel, Elektrilevi OÜ-l, oli ühe tarbimiskoha kohta 2,6 katkestust, 2012 aastal oli see näitaja 1,9. Suuruselt teisel ettevõttel VKG Elektrivõrgud OÜ oli see näitaja üle kahe korra väiksem ehk 1,2 katkestust ning aasta varem oli see näitaja 0,7. Imatra Elekter AS ning Loo Elekter AS olid vastavalt 0,6 ja 0,5 ning 0,2 ja 0,2 katkestust.

Antud tabeli põhjal on võimalik näha, et tarbimiskohtade arvu suurenemisel sagenevad katkestuste esinemise tõenäosused. Kliendikatkestuste keskmine koguaeg SAIDI ning ühe katkestuse kestvus CAIDI korral on väärtused väiksemas sõltuvuses tarbijate arvuga. Suurima rikete kogukestvusega jaotusvõrk on Elektrilevi OÜ, kus katkestuste kestvus aastast oli 413 minutit, VKG Elektrivõrgud OÜ, Imatra Elekter AS ning Loo Elekter AS-il olid antud

näitajad vastavalt 38,8, 50,5, 18,3 minutit. Ettevõtte Loo Elekter AS näitajad on võrreldes teiste nelja ettevõttega stabiilsed. Aasta 2012 ja 2013 SAIDI erinevus on ligikaudu 1 %. Näitaja CAIDI on vähenenud aastaga ligikaudu 16,4 minutit. Võrdlusest on näha, et väiksemate tarbimiskohtadega ettevõtetel on väiksemad varustuskindluse näitajad.

Nelja suurema jaotusvõrgu 2013 võrguteenuste kvaliteedinäitajate andmetel oli Elektrilevi OÜ-1, VKG Elektrivõrgud OÜ-1, Imatra Elekter AS-1 ja Loo Elekter AS-1 vastavalt vääramatust jõust põhjustatud rikkete katkestuste arv 567 607, 487, 4 353 ja 0 [53]. Vääramatust jõust põhjustatud rikkeid ei ole võimalik alati tuvastada, seega kvalifitseeruvad nad ka muudest rikest põhjustatud katkestuste alla. Vääramatust jõust põhjustatud rikkeid esineb vähe ettevõtetel, kes haldavad linnade elektrivõrke. Linnade elektrivõrgud on ilmastikukindlamad, tingitud maakaablitest, isoleeritud õhuliinidest ning puude vähesusest.

2.3.3. Eesti jaotusvõrgu statistika

Eesti jaotusvõrgu statistika põhineb Eesti Konkurentsiameti andmetel aastate 2005–2013 kohta.

Tabel 2.5. Eesti jaotusvõrkude keskmised statistilised näitajad 2005-2013 a [53]

Aasta	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tarbimiskohtade arv, tk	625089	655 962	680995	698 993	699 677	703 497	703 619	722 695	727 154
SAIFI(jaotusvõrk), tk	1,64	1,50	2,05	2,29	1,84	2,07	1,97	1,79	2,49
SAIDI(jaotusvõrk), minut	454,4	243,6	185,9	405,5	186,8	406,1	346,3	170,9	378,6
CAIDI(jaotusvõrk), minut	277,5	162,4	90,9	176,9	101,7	196,0	175,4	95,3	152,2

Tabeli 2.5 põhjal on võimalik näha Eesti jaotusvõrgu statistilisi näitajaid. Eesti jaotusvõrgus on tarbimiskohtade arv tõusva trendiga, kus üheksa aastaga on tarbijate juurdekasv olnud 14 protsenti. SAIFI keskmine väärtus vaadeldava piirkonna kohta on 1,96 tk, SAIDI 308,6 minutit ning CAIDI 158,7 minutit.

Eesti jaotusvõrgu statistika on hüplik. Näitajate suure erinevuse erinevatel aastatel on suure tõenäosusega põhjustanud tormid. Tabeli 2.2 põhjal oli suurima katkestuste arvuga torm 2005. aastal. Varustuskindluse näitajatest on SAIDI 454,4 minutit ning CAIDI 277,5 minutit, mis on ka viimase kümne aasta suurimad näitajad. 64 000 katkestusega Patrick laastas Eestit 2011 aastal, samuti ka tormid YodaII, ex-Katia, äikesetorm. Tabeli 2.5 andmete alusel ei ole suuri torme esinenud aastatel 2007, 2009, mille tõttu on ka jaotusvõrgu varustuskindluse näitajad väiksemad.

Eesti jaotusvõrk on väga mõjutatav keskkonna tingimustest. Tormide esinemisel on jaotusvõrk suhteliselt haavatav ning nende mõjud kajastuvad statistilistes näitajates. Tormide mõju hindamiseks koostatakse Eesti jaotusvõrgu statistika põhjal ning tabeli 2.2 andmete põhjal tabel, milles võrreldakse tormideta ja tormidega aastate varustuskindluse näitajaid.

Tabel 2.6. Eesti jaotusvõrkude varustuskindluse keskmised näitajad tormide ning tormideta aastate kohta 2005–2011 a

	Tormideta (2007;2009)	Tormidega (2005;2006;2008;2010;2011)
SAIFI, tk	1,94	1,90
SAIDI, minut	186,32	371,16
CAIDI, minut	96,30	197,63

Tabeli 2.6 põhjal on võimalik näha erinevusi tormidega ning tormideta aastate vahel. SAIFI puhul on erinevus väga väike. Tormideta puhul on 0,04 võrra katkestusi rohkem. Võrreldes näitajaid SAIDI-t ning CAIDI-t on tormidega aastate näitaja oluliselt suurem. Tormidega aastate korral oli SAIDI näitaja ligi 50 % suurem ning CAIDI näitaja ligi 51% suurem.

2.3.4. Põhivõrgu statistika Eestis

Eestis ainuke põhivõrgu ettevõtte on Elering AS, kes haldab Eesti ülekandevõrku ning ühendusi välisriikidega.

Tabel 2.7. Eesti põhivõrgu statistilised näitajad 2005–2013 a [53]

Aasta	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tarbimiskohtade koguarv, tk	229	231	233	244	247	250	253	230	233
SAIFI(põhivõrk), tk	0,15	0,15	0,19	0,16	0,13	0,17	0,26	0,15	0,22
SAIDI(põhivõrk), minut	5,4	4,7	7,5	4,9	3,6	11,9	25,2	7,6	11,7
CAIDI(põhivõrk), minut	36,4	32,3	38,7	30,8	28,5	69,1	98,2	51,6	52,3

Tarbimiskohtade arv on olenevalt aastast erinev, mis on aastatega langenud kui ka tõusnud. 2013 aastal oli tarbimiskohti 233 tk. Varustuskindluse näitajaid võrreldes on SAIFI püsinud olenevalt aastatest alla 0,3 katkestuse. Näitaja SAIDI on püsinud ligikaudu 25 minuti piires. Suurim näitaja oli aastal 2011, mis oli 25,2 minutit. Aastatel 2005–2013 olid näitajad alla 10 minuti, väljaarvatud 2010, 2011 ning 2013. Madalaim oli näitaja aastal 2009, kus SAIDI oli

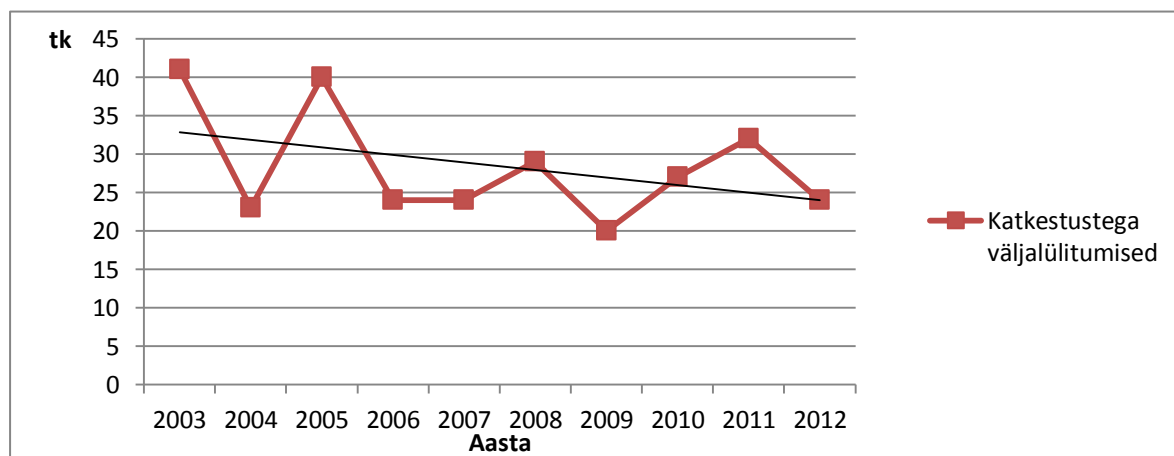
3,6 minutit. Ühe katkestuse keskmine kestvus on püsinud alla 100 minuti. Suurim kestvus oli aastal 2011 98,2 minutit. Väikseim oli näitaja 28,5 minutit aastal 2009. Üle 50 minuti katkestuste kestvus oli aastatel 2010, 2011, 2012, 2013 kus näitajad olid vastavalt 69,1, 98,2, 51,6, 52,3 minutit.

Antud tabeli põhjal on näha, et katkestuste kogukestvused on alates 2010–2013 aastast tõusnud. Nelja viimast aastat võrreldes on minimaalne katkestuse tõus olnud võrreldes 2009 aastaga 23,1 minutit. Üheksa aasta keskmised näitajad olid SAIFI 0,17 tk, SAIDI 9,17 minutit, CAIDI 48,65 minutit.

Tabel 2.8. Eesti ülekandevõrgu seadmete väljalülitumised aastatel 2003–2012 a [11]

Töökindluse näitaja	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Väljalülitumised	212	226	246	169	176	230	165	248	251	204
S.h. Liinid	161	197	222	142	153	206	132	219	213	169
S.h. Alajaamad	51	29	24	27	23	24	33	29	38	35
Katkestustega väljalülitumised	41	23	40	24	24	29	20	27	32	24

Ülekandevõrkude seadmete väljalülitumisi on olnud läbi aastate ligikaudu 200 piires. Väikseima väljalülitumiste arvuga aasta oli 2009, 165 tk, ning suurima arvuga aasta 2011, 251 tk. Enim väljalülitusi oli põhjustatud liinidel. Keskmiselt on liinidel põhjustatud 85,3 % kõikidest väljalülitumistest, ning alajaamade poolt 14,7 %. Enim väljalülitusi oli liinidel 2005 aastal, mis moodustas 90,2 % kõikidest väljalülitumistest. Liinide poolt väikseim väljalülituste arv oli 2003, 161 tk, mis moodustas kõikidest 75,9 %.



Joonis 2.11. Põhivõrgu katkestustega väljalülitumised 2003–2012

Antud joonis kajastab tabeli 2.8 katkestustega väljalülitumiste andmeid. Olenevalt aastatest on katkestusi olnud ligikaudu 40. Suurimate katkestustega aasta oli 2003, kus oli 41 katkestust, väikseim aga 2004, 23 katkestust. Jooniselt 2.11 on näha, et katkestustega väljalülituste arv on langustrendiga. Väljalülitumiste trendi muudab järsemaks 2003 ja 2005 aasta katkestused, mis ületasid keskmist ligikaudu 12 katkestuse võrra. Kümne aasta katkestustega väljalülitumise keskmine oli 28,4.

Katkestustega väljalülitumised põhjustavad klientidele elektrikatkestuse, mille korral katkeb elektriedastamine.

Tabel 2.9. Eesti ülekandevõrgu andmata energia aastatel 2003–2012 a [11]

Töökindluse näitaja	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Andmata energia MWh	208	58	679	105	71	64	53	208	787	149

Tabel 2.9 kajastab andmeid katkestustest andmata jäänud energia koguste kohta. Aastal 2011 jäi andmata 787 MWh elektrienergiat. Koguselt teine aasta oli 2005, kus andmata jäi 679 MWh elektrienergiat. Vähim andmata jäänud energiakogus oli 2009 aastal 53 MWh. Aastate keskmine andmata jäänud energiakogus oli 238,2 MWh elektrienergiat.

Tabel 2.6. Eesti põhivõrgu varustuskindluse keskmised näitajad tormide ning tormideta aastate kohta 2005–2011 a

	Tormideta (2007;2009)	Tormidega (2005;2006;2008;2010;2011)
SAIFI, tk	0,16	0,18
SAIDI, minut	5,52	10,44
CAIDI, minut	33,58	53,36

Põhivõrgus on tormid suurendanud näitajat SAIFI-t 0,02 katkestuse võrra. Aastatel kus on esinenud tormid, on näitaja SAIDI suurenenud 48 % ning näitaja CAIDI 38 %.

Tabelis 2.2 on tormid mõjutanud põhivõrgu varustuskindluse näitajaid, ning mille tõttu kajastuvad need ka andmata jäänud energia tabelis 2.9. Ulatuslikud tormid on olnud aastatel 2005, 2010, 2011 ning tabeli 2.9 korral on ka antud aastatel andmata jäänud energia hulk oluliselt suurem.

Põhivõrgus toimunud katkestused mõjutavad elektrivõrgu varustuskindlust oluliselt. Läbi ülekandevõrkude jagatakse elektrienergiat jaotusvõrkudesse ning tarbijateni. Väljalülitumised

ülekandevõrgus liinidel, alajaamas võivad kaasa tuua suure hulga tarbijate elektrivarustuse kaotuse. Ülekandevõrgu töökindlus on oluline paljude tarbijate elektrivarustuse tagamisel. Erineva tarbimiskoormusega ning tarbimiskohtade arvuga piirkondades võivad katkestused tekitada erineva suurusega kahju. Suure tarbimiskohtade arvuga alajaama toitva liini väljakukkumisel on andmata jäänud elektrist põhjustatud kahju suurem kui väiksema arvuga tarbijatega alajaama korral. 2005nda aasta varustuskindluse näitajad ei erine oluliselt 2006nda aasta näitajatest, küll aga erinevad andmata jäänud energiakogused. 2006ndal aastal oli andmata jäänud energia 105 MWh, 2005ndal aastal oli see näitaja 6,4 korda suurem ehk 679 MWh.

2.3.5. Eesti põhivõrgu statistika võrdlus teiste põhivõrkudega

Fingrid Oyi andmetel oli 2013 aasta Soome elektrivõrgu statistika heal tasemel. Keskmine katkestuste arv tarbimiskoha kohta oli 0,23 tk, keskmine katkestuse aeg 2,46 minutit. Kokku katkestusi oli 309 ning tormidest oli põhjustatud ligikaudu 81 katkestust. Kümne aasta keskmine näitaja 2002–2011 oli vastavalt 0,25 tk, 2,71 minutit, 261 katkestust ning 74 tormidest põhjustatud katkestust. Aastal 2013 oli andmata jäänud elektri kogus 95 MWh, kümne aasta keskmine 2002-2011 oli 136 MWh [54].

Lisaks üksikute aastate võrdlusele kasutatakse Eesti ja Soome põhivõrkude võrdluses ka kümne aasta keskmisi näitajaid. Võrreldes Eesti põhivõrku Soome põhivõrguga, oli tabeli 2.7 põhjal 2013 aasta keskmine katkestuste arv tarbimiskoha kohta 0,22 tk, Soome näitaja oli 0,01 katkestuse võrra suurem ehk 0,23 katkestust. Kümne aasta keskmised näitajad olid vastavalt 0,17 ning 0,25 katkestust.

Keskmine katkestuse aeg oli Eestil põhivõrgul 11,7 minutit, Soome näitaja oli 4,7 korda väiksem ehk 2,46 minutit. Kümne aasta keskmine oli Eestil 9,17 ning Soomes 2,71 minutit.

Väljalülitumisi oli Soomes 2013 aastal 309 tk. Võrdlusena kasutatakse töös lähiaastaid 2011 ning 2012. 2011 aastal oli väljalülitumisi 251, mis oli ka läbiaegade maksimum, ning 2012 aastal 204 väljalülitumist. Antud juhul on Soome näitaja Eesti näitajatest kõrgem, mis on maksimaalsest näitajast ligi 19 % suurem. Võrdlusmomendina on võimalik kasutada Eesti kümne aasta keskmist statistikat aastate 2003–2012, kus väljalülitumisi oli 212,7 tk, Soomes oli antud näitaja 261 tk.

Eesti põhivõrgu poolt andmata jäänud energia oli tabeli 2.9 põhjal 2011 aastal 787 MWh ning 2012 aastal 149 MWh. Soomes oli antud näitaja 95 MWh. Antud võrdlus ei anna head

ülevaadet, kuna Eesti näitajate varieeruvus aastati on suur. Võrdlusmomendi parandamiseks kasutatakse keskmist näitajat. Eesti põhivõrgu kümne asata keskmine näitaja oli 238 MWh ning Soomes põhivõrgu keskmine näitaja 136 MWh, kus Soome näitaja on ligi 42,8 % väiksem.

2.4. Võrkude analüüs ning ettepanekud

Elektrivõrkude peamisteks katkestuste põhjusteks on ilmastik ning tehnilised rikked. Ilmastiku poolt tekitatud rikked on põhjustatud äikesest, tormidest.

Eesti jaotusvõrk on Euroopa riikidega võrreldes kõrgete näitajatega ning on aastate võrdluses väga muutlikud. Riikides, kus on elektrivarustuskindlus suurem, on statistilised näitajad aastatega võrreldes stabiilsemad. Eesti põhivõrgu näitajad on võrreldes jaotusvõrguga oluliselt väiksemad. Põhivõrgus toimuvad muutused kajastuvad ka jaotusvõrgus.

Eesti jaotusvõrgu hüplikut statistikat põhjustavad tormid, mis suurendavad rikete arvu ning katkestuste kestvusi. Tabeli 2.6 põhjal on võimalik väita, et SAIDI ning CAIDI suurenevad keskmiselt tormide tõttu ligikaudu 50 %. Aastal 2013 suurenesid Elektrilevi OÜ näitaja SAIDI tormide mõjul ligikaudu 65 % (p.2.2.5). Jaotusvõrgu varustuskindluse parandamiseks tuleb muuta võrku ilmastikukindlamaks. Tormid avaldasid põhivõrgule ligikaudu 23 % vähem mõju kui jaotusvõrgule.

Eesti jaotusvõrkudes on kasutusel valdavalt õhuliinid. Madal- ja keskpinge võrgus on ligikaudu 20 % maakaabelliine (joonis 2.5). Kaabelliinide kasutatavusega suureneb varustuskindlus. Riikides kus maakaabelliinide osakaal on suurem kui 50 %, on varustuskindluse näitajad ligikaudu 4,6 korda väiksemad.

Õhuliinide korral põhjustavad varustuskindluse langust puude kukkumine liinidele ning äikese tabamused. Õhuliinide kaitsevöönd alla 1 kV, kuni 20 kV ning 35–110 kV pingega liinide korral on vastavalt 2 m, 10 m ja 40 m liinide teljest (Lisa L.3). Parema varustuskindluse saavutamiseks on vaja suurendada kaitsevööndite suurust. Puistute keskmiseks kõrguseks on 17,4 m, mille korral 20 kV kaitsevöönd ei taga piisavat kaitset kukkuvate puude eest [55].

Puudest ning takistustest puhastatud liinikoridorid tekitavad tuulekoridore, mille tõttu võib murduda rohkem puid [56]. Antud olukorras tuleks lähtuda maastikkude ning tuulte iseärasustest, et leida liinile parim lahendus.

Maakaabel-liinide kallima maksumuse tõttu on võimalik paigaldada madalpinge võrkudesse isoleeritud õhukaableid, mida on võimalik paigaldada juba olemasolevatele mastidele. Isoleeritud õhuliin annab olulise eelise paljasjuhtmete ees, välistatud on lühiste tekkimine ning on vastupidavamad okste ning puude kukkumistele.

Kõrgepingevõrgud kus on rikete põhjustajateks linnud, tuleks kasutusele võtta vahendid lindude maandumise takistamiseks ning isolaatorkette väljaheidete eest kaitsevad kaaned. Äikese mõju vähendamiseks tuleks kasutada piksekaitse trosse ning alajaamades liigpinge piirikuid.

3. Tundlikute tarbijate elektrivarustus

3.1. Tundlikute tarbijate määramine

Elektrienergia osatähtsus meie igapäevaelus on väga suur. Elektri abil on võimalik käitada erinevaid seadmeid ning muundada seda teisteks vajalikeks energialiikideks. Inimeste igapäevasteks vajadusteks on valgus, küte, söök, vesi. Olenevalt aastaajast ning kliimast võivad loetletud vajaduste tähtsused majapidamiste kaupa erineda, kuid mille olemasoluta kindlasti hakkama ei saaks. Elektrienergia kasutamine muudab igapäevast elutegevust lihtsamaks ning annab meile parema elukvaliteedi. Elektri abil töötavad suuremate linnade läheduses transpordivahendid, igapäevaselt tänavavalgustus, sidevahendid ning maksevahendid.

Elektrikatkestused mõjutavad meie tegemisi nii palju, et meie igapäevane elurütm saab häiritud. Ilma elektrita ei ole võimalik kasutada köögimasinaid, ahjusid, pliite, veekeetjaid, külmikuid. Majapidamistes, kus eluruumide kütmisteks kasutatakse elektrit, elektriradikaid, soojustpumpasid, ei ole võimalik ilma elektrita eluruume kütta. Enamasti kasutatakse valguse tootmiseks elektrit ning mille puudumisel jääb enamik majapidamisi ilma valguseta.

Olenevalt majapidamiste asukohast ning piirkonnas pakutavatest olmeteenustest on nõudlused erinevad. Veetarbimine võib olla häiritud väiksemates piirkondades kus katkestuste tõttu on pumbajaamade elektrivarustus katkenud. Väljaehitamata kanalisatsioonide ja veesüsteemidega majapidamistes kasutatakse isiklikke veekaevusid või puurkaevusid, kus enamasti pumpade abil toimetatakse vesi eluruumidesse. Olenemata sellest kui hästi on katkestuste ajaks ettevalmistatud: küünlad, patarei toitel valgustid, vesi, toiduaineid, mõjutavad katkestused oluliselt meie igapäeva tegemisi.

Elektritarbimine majapidamistes on erineva intensiivsusega. Peamiselt mõjutavad tarbimisiseloomu inimeste harjumused, käitumine, elanike arv, elektriseadmete tüüp, kasutamissagedus. Tarbijate elektritarve meelelahutusseadmete ning muu lisategevuste peale ei pruugi olla nii suur kui elektritarve eluks vajalike toimetuste ning esmavajaduste tarbeks.

Tundlike tarbijate defineerimiseks kasutatakse Eesti Statistika rahvaloenduse andmeid, mille abil leitakse tarbijad, keda mõjutavad elektrikatkestused ja rikked elektrivõrgus kõige enam ehk millised tarbijad on katkestustele vastuvõtlikumad.

3.1.1. Tundlikud tarbijad piirkondlikust aspektist

Elektrivarustus on piirkonniti erineva kvaliteediga. Tihedama asustusega piirkondades tulenevalt tarbimistihedusest on elektrivõrgu investeeringud suuremad, mille tõttu on võimalus arendada elektrivõrku ja selle seadmeid. Tarbijate arv tagab suurema investeerimisvõimekuse, mis tagab tarbijatele kvaliteetsema elektrivarustuse. Ilmastikukindlam võrk tähendab tarbijatele väksemaid katkestusi, kus kasutatakse energia ülekanneteks maakaableid või isoleeritud õhukaableid. Selliste võrkude kasutamise korral on keskkonnatingimustel elektrivarustusele võiksem mõju. Piirkonnad, kus tarbijaid on vähem, ei tehta suuri investeeringuid kuna tasuvus on pikaajaline. Selle tõttu ei jõuta kõiki elektrivõrke viia tasemeni, mille korral esineks vähem katkestusi tarbijatele.

Tabel 3.1. Eesti Vabariigi rahvastik haldusüksuste järgi 31. detsember 2011 [57]

	Rahvaarv	Pindala, km ²	Asustustihedus, elanikku km ² kohta
Kogu Eesti	1294455,0	43432,3	29,8
Linnad	817659,0	646,0	1265,7
Vallad	476796,0	42786,3	11,1

Tabeli 3.1 põhjal on võimalik välja lugeda Eesti Vabariigi rahva paiknemine 2011. aasta lõpu seisuga. Kogu rahvastikust elavad 63,2 % linnades ning 36,8 % valdades. Eesti kogupindalaga 43 432,3 km², väljaarvatud suuremad järved, moodustab linnade pindala tervikust 1,5 % ning valdade pindala 98,5 %. Asustustihedus Eestis oli 29,8 elanikku km², kus linnades oli antud näitaja ligi 42 korda suurem ehk 1 265,7 elanikku km² ja valdades ligi kaks korda väiksem ehk 11,1 km².

Tabeli 3.1 andmete põhjal on näha, et linnadesse investeerimine on otstarbekas. Linnade võrdluses valdadega on asustustihedus ligi 114 korda suurem ning territoorium ligi 66 korda väiksem. Erinevates haldusüksustes elavate tarbijate tundlikkuse määramisel on oluliseks aspektiks rahvaarv. Tundlikutemaks tarbijateks võib pidada suurema rahvaarvuga üksusi. Väiksema asustusega haldusüksused on oletuslikult harjunud sagedamate elektrikatkestustega ning on olemas teatav ettevalmistus järgmisteks tekkivateks elektrikatkestusteks. Linnades elavad inimesed ei ole harjunud kaupa valmis ostma vaid ostavad selle koheseks tarbimiseks, mis on tingitud kauba kiirest ja heast kättesaadavusest. Maapiirkondades on asustustihedus väiksem ning kaubandusvõrgustik väikesemahuline. Isikliku transpordi puudumine vähendab

kauba kättesaadavust veelgi ning sellest lähtuvalt võidakse varuda toidukaupu ja majapidamistarbeid kuni mitme nädala jagu ette.

3.1.2. Tundlikud tarbijad kütmissviisi järgi

Eluruumidena kasutatavates tubades on kütmine Eesti kliimas vältimatu. Eesti kliima on suhteliselt jahe ja niiske, kus kütteperiood kestab üle poole aasta. Kütmiseks võidakse kasutada erinevaid kütuseid: puitu, kivisütt, briketti, gaasi, kütteõli ning elektrit. Elektriga kütmine on suhteliselt kiire, mis ei tekita jäätmeid ning on kergesti reguleeritav. Elektriga kütmisel kasutatakse elektriradiaatoreid, soojapuhureid, soojuspumpasid.

Tabel 3.2. Eesti Vabariigi tavaeluruumide elanike kütmise viisid 31. detsember 2011 [58]

	Kõik hoone liigid			Korterelamu või korteri(te)ga mitteelamu			Väikeelamu		
	Elekterküte	Elekterkütteta	Elekterkütte olemasolu teadmata	Elekterküte	Elekterkütteta	Elekterkütte olemasolu teadmata	Elekterküte	Elekterkütteta	Elekterkütte olemasolu teadmata
Kogu Eesti	56826	1205216	1284	33340	790637	1006	23486	414579	278
Linnalised asulad	33925	824428	1002	22060	666074	910	11865	158354	92
Maa-asulad	22901	380788	282	11280	124563	96	11621	256225	186
Linnad	31712	766845	973	20425	631779	888	11287	135066	85
Vallad	25114	438371	311	12915	158858	118	12199	279513	193

Eesti Statistikaameti rahvaloenduse statistika tabeli 3.2 andmetel on võimalik leida elektrikütte osakaal erinevate hooneliikide ning piirkondade vahel. Eesti Vabariigi tavaeluruumide elanikest seisuga 31. detsember 2011 kasutavad ligi 4,5 % elekterkütet. Kõikidest hooneliikidest on korterelamuid 65 % ning väikeelamuid 35 %. Korteralamute elanikest ligi 2,6 % ning väikeelamutest 1,9 % kasutab elekterkütet. Võrreldes hooneid liigiti, kasutavad kõikidest korterelamu tüüpi elamutest elekterkütet 4 % ning väikeelamutest 5,4 % inimesi.

Tabelist 3.2 kasutatakse piirkondi „Linnad“ ja „Vallad“. Linnade elekterküte moodustab tervest Eesti elekterküttest 2,5 %, sellest 1,6 % on korterelamute ning 0,9 % väikeelamute küte. Valdades moodustab elektriküte 2 % kogu Eesti elekterküttest ning millest 1 % on korterelamute ja väikeelamute elekterküte.

Linnades kasutatavatest kütetest on elekterkütte osakaal 4 %. Elamutüüpidest vaadatuna on elekterkütte osakaal linnade korterelamute korral 2,6 % ning väikeelamutel 1,4 %. Valdades

elekterkütet kasutavad 5,4 % elanikest, kus korterelamud moodustavad sellest 2,8 % ning väikeelamud 2,6 %.

Elekterkütte osakaal kõikidest kütteviisidest on märkimisväärselt väike ligi 4,5 %. Elekterkütet kasutatakse enim linnades ja kortertüüpi elamutes. Korterelamute korral kasutati linnades 22,5 % rohkem elekterkütet kui valdades. Väikeelamute korral kasutati aga valdades elekterkütet 3,9 % linnadest rohkem.

Tarbijate seisukohast on elekterküte oluline soojusallikas, mida kasutatakse kas põhi- või lisasoojusallikana. Linnades ja kortertüüpi elamutes ei ole alati võimalik ise valida sobivat kütmissviisi ning tihti on see vastavate eeskirjade ning määrustega määratud, mille tõttu võib olla elekterküte ainuke sobilik küttevõimalus. Valdades väikeelamute puhul kasutatakse elekterkütet tõenäoliselt lisaküttena. Maapiirkondades on palju vanu ehitisi, mille soojuspidavus on madal ning suure majapidamise kütmine igapäevaselt nõuaks palju ressursi, seetõttu köetakse ainult vajalikke eluruume, mida igapäevaselt kasutatakse. Antud aspektidest vaadatuna on tundlikuteks tarbijateks linnades, kortertüüpi elamutes elavad inimesed.

3.1.3. Tundlikud tarbijad veevarustuse järgi

Kvaliteetse vee kättesaadavus on oluline elukvaliteedi seisukohast. Olenevalt vee kättesaadavusest kasutatakse majapidamistes vett erinevatel otstarvetel. Tänapäeval saavad majapidamised oma vee ühistrassist, kaevudest või mõnel muul viisil.

Tabel 3.3. Eesti Vabariigi leibkondade vee saamise võimalused ning sooja veega varustatus 2012. aasta seisuga [59]

	Vee saamise võimalus		Sooja veega varustatus	
	Jooksev vesi või kraan, %	Kaev, allikas või muu võimalus, %	Eluruumis on jooksev soe vesi, %	Eluruumis puudub jooksev soe vesi, %
Kogu Eesti	94,5	5,5	81,3	18,7
linnaline asula	98,3	1,7	84,8	15,2
maa-asula	85,3	14,7	72,5	27,5

Eesti Statistikaameti tabeli 3.3 põhjal on võimalik leida millised on Eesti leibkondade võimalused vee hankimiseks. Kogu Eesti leibkondade hulgast ligi 94,5 % on varustatud jooksva veega ning 5,5 % kaevu, allika või muu võimalusega vett saada. Linnalistes asulates

kasutavad kaevet 1,7 % leibkondadest. Maa-asulates veega varustatuse võimalused on väiksemad. Kaevu, allika või muu võimaluse kaudu saavad oma vee kätte 14,7 % leibkondadest.

Sooja veega on varustatud 81,3 % kogu Eesti leibkondadest. Eluruumis puuduva sooja veega leibkondade koguhulk on 18,7 %. Linnalistes asulates puudub sooja vee võimalus 15,2 % leibkondadest ning maa-asulates on antud väärtus 27,5 %.

Eestis omab enamik leibkondadest külma ning sooja vee võimalust. Elektrikatkestused mõjutavad tarbijaid, kes kasutavad kraanivett, kuna vett peab pumpama erinevate elektriaparaatidega. Linnalistes kui ka maa-asulates omavad enamik leibkondi kraanivee ning sooja vee oleamsolu. Linnaliste asulate kraanivee näitaja on ligi 13 % suurem ning sooja vee näitaja 12,3 % suurem kui maa-asulate korral.

3.1.4. Tundlikud tabijad elektriseadmete järgi

Elektriseadmeid on võimalik eristada nende kasutamise järgi. Paljud seadmed on välja arendatud meelelahutuslikeks eesmärkideks. Meelelahutuslikud seadmed võivad parandada elukvaliteeti, küll aga ei ole nad eluliselt väga olulised.

Tabel 3.4. Eesti Vabariigi leibkondade püsikaupadega varustatus 2012. aasta seisuga [60]

	Laua-telefon	Mobiil-telefon	Värviteler	Kodune interneti ühendus	Pesumasin	Auto	Laua- või sülearvuti	DVD-süsteem või videomakk	Külmik või sügavkülmik	Nõudepesumasin
Kogu Eesti	45,9	94,7	97,4	70	91,6	55,6	72,3	53	99,1	16,9
linnaline asula	49,1	95,1	97,5	71,7	92,7	52,3	73,6	52,8	99,4	16,4
maa-asula	37,9	93,7	97,1	66	89,1	63,9	69,1	53,4	98,6	17,9

Tabelis 3.4 on Eesti leibkondade püsikaupadega varustatuse statistika aasta seisuga 2012. Tabelis loetletud nimekirjas on enamik püsikaupu elektriseadmeid. Olulisemad seadmed, mida igapäevaselt võidakse kasutada on külmikud ning mobiiltelefon. Pesumasina ning värviteleri kasutamine ei ole igapäevaselt nii tähtsad kui toit ja sidevahendid.

Külmikud on olemas Eestis 99,1 % leibkondadest. Leibkondades, kes elavad linnalistes asulates on antud näitaja 99,4 %, mis on maa-asulate näitajast 0,8 % võrra suurem.

Mobiiltelefonide kasutamine on muutunud väga populaarseks. Tänapäeva mobiiltelefon on suuteline täitma palju erinevaid funktsioone. Mobiiltelefoni saab kasutada side- kui ka meelelahutusvahendina. Mobiilide eelisteks on otsese kontakti puudumine elektrivõrguga. Elektrikatkestuste tekimisel ei saa mobiil kui ka selle side katkestusest mõjutada. Võrreldes

mobiiltelefoni lauatelefoniga on enamik analoogidel töötavatest telefonijaamadest väljavahetatud digitaalseteks, mille tõttu peavad kodudes olevad modemid olema ühendatud elektrivõrguga. Lauatelefoni kasutatavus on madal, kuna mobiilelefonid on funktsionaalsemad ning mobiilsemad.

3.2. Tundlikute tarbijate elektrivarustuse statistika

Tundlikute tarbijate elektrivarustust on võimalik hinnata elektrivõrgu statistika põhjal. Tundlikud tarbijad elektrikatkestustele, peatüki 3.1 põhjal, on linnas kortermajades elavad inimesed.

Elektritarbijate paiknemistihedus on Eesti lõikes väga erinev. Tundlike tarbijate hindamiseks on vaja leida jaotusvõrgu statistika erinevate piirkondade kohta, maa- ja linnapiirkonnad.

Tundlikute tarbijate varustuskindluse hindamiseks on vaja võrrelda jaotusvõrgu ettevõtteid, mis tegutsevad linna- ning maapiirkondades. Eesti Konkurentsiameti võrguteenuste kvaliteedinäitajate statistika põhjal võeti võrdlemiseks kolme aasta statistika, 2011, 2012, 2013. Eesti jaotusvõrkude seast valiti viis linnades ning viis maapiirkondades tegutsevat ettevõtet. Linnade ettevõteteks valiti AS Elme, AS Maardu Elekter, AS Saku Maja, AS Sillamäe SEJ, WTC Tallinn Kinnisvara AS. Maapiirkondades tegutsevate jaotusvõrkude puhul kasutati ettevõtteid, mis pakkusid teenuseid rohkem kui ühes piirkonnas, linnades, valdades ning laiemas ulatuses. Antud ettevõteteks valiti As Loo Elekter, AS Ramsi Turvas, Elektrilevi OÜ, VKG Elektrivõrgud OÜ, Imatra Elekter AS. 2011. aastal kasutati Elektrilevi OÜ andmete asemel Eesti Energia Jaotusvõrk OÜ andmeid kuid antud aastal puuduvad Imatra Elekter AS näitajad. Antud ettevõtete näitajaid nimetatakse edaspidi segapiirkondadeks.

Tabel 3.5. Linnade ja maapiirkondade jaotusvõrgu statistika

	2011		2012		2013	
	Linnad	Segapiirkonnad	Linnad	Segapiirkonnad	Linnad	Segapiirkonnad
SAIFI, tk	0,12	0,69	0,06	0,66	0,06	0,95
SAIDI, minut	8,0	102,8	6,5	48,1	4,3	104,5
CAIDI, minut	68,1	85,0	88,6	71,1	83,4	79,6

Tabeli 3.5 andmetel oli SAIFI 2011 aastal 0,12 ning 2012 ja 2013 aastal 0,06. Antud näitajad on suhteliselt madalad. Võttes arvesse jaotusvõrgu tundlikust ilmastiku suhtes siis kasutatakse andmete võrdluses vaadeldava perioodi keskmisi väärtusi, mille ülessanne on anda

ülevaatlikumat pilti. Kolme aasta kohta oli keskmiselt 0,08 katkestust aastas. Segapiirkondade näitajad on linnade näitajatest oluliselt suuremad. Kolme aasta keskmine oli 0,77 katkestust aastas tarbimiskoha kohta, mis on linnade näitajast ligi 9,6 korda suurem.

Kolme aasta katkestuste keskmine kogukestvus tarbimiskoha kohta oli 6,27 minutit ning segapiirkondade korral 85,1 minutit. Segapiirkondade näitaja oli ligi 13,6 korda suurem.

Katkestuse kestvuse CAIDI väärtused olid võrreldes SAIFI ja SAIDI-ga stabiilsemad. Linnade näitaja oli 80 minutit ning segapiirkondade näitaja 78,6 minutit, erinevus 1,7 %.

Antud näitajate põhjal on võimalik väita, et linnas elavatel tarbijatel on katkestuste arvud väikesed. Tarbijad, kes elavad väljaspool linna on ligi 9,6 korda suurem tõenäosus elektrikatkestusteks. Linna elektritarbijate katkestuste kogukestvus aastas oli ligikaudu 13,6 korda väiksem segapiirkondadest. Võrreldes näitajat CAIDI siis linnade ja segapiirkondade vahel ei olnud erinevus suur, see oli ligi 1,7 %.

Tabeli 3.5 näitajad on võrreldes tabeli 2.5 Eesti jaotusvõrkude keskmiste statistiliste näitajatega väiksemad. Linnade ja maapiirkondade jaotusvõrgu statistika andmete erinevus on tingitud kasutatud jaotusvõrgu ettevõtete arvust. Nii linna- kui segapiirkondade korral kasutati viite jaotusvõrgu ettevõtet.

3.3. Tundlike tarbijate elektrivarustuse analüüs ning ettepanekud

Elektrikatkestused võivad mõjutada elektritarbijaid väga erinevalt. Plaanilistest elektrikatkestustest teavitatakse tarbijaid ette, milles määratletakse kindel kuupäev, orienteeruv alguse aeg ning lõpp. Teavitamine annab inimestel võimaluse katkestusteks ettevalmistuda, mis aitab vähendada inimestele põhjustatud kahjusid. Rikkelised katkestused on aga katkestused, mis tekivad ootamatult. Katkestuste tekitajateks võib olla äike, puu kukkumine liinile, seadme rike. Tarbijatel on võimalik ka rikkelisi katkestusi mõnevõrra ennetada. Äikese korral on võimalik teha ettevalmistusi võimalikeks riketeks ning elektrikatkestusteks, eemaldades võrgust elektriseadmed ning varuda võimalusel vajalikke toiduaineid või vett.

Tarbijad, kelle tarbimiskohtades esineb sagedaselt rikkeid on ettevalmistus suurem, ning osatakse antud situatsioonis oskuslikumalt toime tulla. Linna piirkondades on ligi 9,6 korda väiksem tõenäosus elektrikatkestustele. SAIFI ning SAIDI arvestavad jaotusvõrkude katkestusi tarbimiskohtade arvu järgi ja iseloomustavad tervet jaotusvõrku või ettevõtet.

CAIDI näitab keskmist katkestuse aega, kuid tegelikus võrgus esinevad nii pikemaid kui ka lühemaajalisi katkestusi. Katkestuse kestvus ühe rikke kohta linna ja segapiirkondades oli keskmiselt vastavalt 80 ja 78,6 minutit. Antud väärtus näitab kui pikalt kestis elektrikatkestus. Linnade ja segapiirkondade erinevus oli väike 1,7 %. Sellise katkestuse kestvus põhjustab tarbijatele ebameeldivusi, kuid ei põhjusta suuremaid kahjusid. Katkestused kestvusega rohkem kui viis tundi võivad põhjustada külmkappide, sügavkülmikute sulamist ning majapidamistes veepuudust.

Linnapiirkondade korterelamutes elavad tarbijad on seotud nii elektri kui ka vee varustusega. Elektrikatkestuste arv linnades on väiksem kui väljaspool linnapiirkonda. Kortertüüpi elamute energiavajadused on mõnevõrra erinevad tavaelamutega. Korterelamutes peamiseks energiatarbijateks on kütteseadmed, boilerid, elektripliidid, külmikud, valgustus. Keskmise elektrikatkestuse kestvusega 80 minutit ei põhjusta tarbijatele olulisi muudatusi. Elektrikatkestuste tekkimisel puuduvad 2,6 % korterelamutes elavatel tarbijatel elekterkütte võimalused. Ümbritsev keskkond omab teatud aeg piisavalt salvestunud soojusenergiat, mis ei lase temperatuuril nii kiiresti langeda. Pimedatel aegadel on vajalik valgus, et teha oma igapäevaseid toimetusi. Katkestuste tõttu elektritoitel valgustusvõimalused puuduvad, antud juhul on abiks taskulambid, küünlad. Pikemate katkestuste korral hakkavad sulama külmikud, on raskendatud toidu valmistamine ning võib olla häiritud veevarustus. Veevarustus võib olla häiritud suurema elektrikatkestuse korral, mille korral katkeb pumbajaama elektrivarustus.

Leitud tulemuste põhjal on jaotusvõrgus linnade elektrikvaliteet heal tasemel. Eestis elab linnades ligi 63,2 % elanikest, mis on üle poole Eesti elanike arvust. Eesti suurtemates linnades on elektrivõrguks peamiselt kaabelvõrk, mis suurendab oluliselt elektrivarustuskindlust. Linnades olev elektrivõrk on vähem mõjutatud väliskeskkonnast, peamiselt tormide poolt põhjustatud rikete poolest. Linnade asustustiheduse tõttu toidetakse ühe liini kaudu paljusid tarbijaid ning mille väljakukkumisel on katkestatud paljude tarbijate elektrivarustus. Olenevalt rikke tüübist on linnades maakaabelliini rikke avastamine ning parandamine aeganõudev.

Kaabelvõrkude suurema kasutusele võtuga on võimalik kasutada õhukaableid kui ka maakaableid. Väikese asustusega linnades annab õhukaabel rahuldava tulemuse. Suurema tarbijate arvu korral on varustuskindlus olulisem ning sellisel juhul on vaja kasutada maakaableid. Õhuliinide kasutamise korral on vaja jälgida, et oleks eemaldatud ohtlikud puud, oksad ning välistatud muude objektide kokkupuude.

Lisaks on võimalik varustuskindlust suurendada ringtoite väljaehitamisega [61]. Ringvõrguga tagatakse vähemalt kahepoolne toide, mis võimaldab oluliselt vähendada rikete arvu.

Lõputöö kokkuvõte

Elektrienergia tarbimine on tänapäeva inimeste igapäevane tegevus, vajadus. Elektrienergia kasutuselevõtt on aidanud inimkonnal areneda ning andnud võimaluse parandada oma elukeskkonda. Elektri edastamiseks ja jaotamiseks on välja ehitatud suured elektrivõrgud, mida pidevalt uuendatakse ja arendatakse. Elektriseadmete kättesaadavus ning nende taskukohane hind on põhjustanud nende laia kasutuse.

Elektrisüsteemid on muutunud suurteks ühtseteks. Ühtne elektrisüsteem on stabiilne ning energiakättesaadavus on oluliselt parem. Ühendsüsteemid teevad võimalikuks paljud ühendused naaberriikide vahel erinevate kaablite ja liinidega. Elektrisüsteemide osadeks on elektrivõrgud, kus elektritootjad ülekandeliinide abil transpordivad elektrienergiat tarbijateni.

Elektrivõrgu tarbijate pideva elektrienergiaga varustatuse tagamine nõuab elektriettevõtetelt võrgu ja selle osade laitmatut talitlemist. Elektrivõrgu seadmed ning nende erinevad osad asuvad väliskeskkonnas, kus neile mõjuvad erinevad välised tegurid, mis põhjustavad erinevaid rikkeid ning katkestusi. Elektrivõrkude seisukorda on vaja hinnata, et vähendada tekkivate rikete ja katkestuste arvu. Võrkude hindamiseks on väljatöötatud erinevaid näitajaid, mis annavad võimaluse neid võrrelda erinevate riikide või ettevõtetega.

Rikkeid ja katkestusi põhjustavaid tegureid on palju. Peamisteks elektrivõrkude rikete põhjustajateks on ilmastik. Elektri edastamine toimub läbi ülekandeliinide, kus peamiselt kasutatakse isoleerimata juhet. Antud liinid on ilmastiku poolt suhteliselt haavatavad. Liinidele kukuvad puud ning oksad põhjustavad lühiseid, juhtmete katkemisi või mastide murdumisi. Palju katkestusi põhjustavad tormid, mille korral on suur tuule kiirus, vihma, äikese kahjustuste oht. Rikete tõenäosust võib suurendada välistemperatuur. Välistemperatuuri olulisel tõusul pikeneb õhuliini juhe, mille korral rippe gabariit väheneb ning tekib lühise oht. Äikese poolt põhjustatud rikkeid on ligikaudu 23,6 %. Äikese tabamus põhjustab liigpingeid, mis omakorda võivad olla seadmetele ohtlikud. Suurim oht on äikesele suvekuudel. Loomadest põhjustavad rikkeid peamiselt linnud. Loomade poolt põhjustatud katkestuste arv moodustab ligi 19 % kogu katkestustest.

Jaotusvõrkude statistika hindamisel kasutati elektrivarustuskindluse näitajaid SAIFI, SAIDI, CAIDI. Eesti jaotusvõrk on mõjutatud välistingimustest, kus tormide mõju kajastub statistikas väärtuste suurte kasvude ja langustega. Tormidest põhjustatud rikked suurendasid näitajaid SAIDI-t 50 % võrra ning CAIDI-t 51 % võrra. Jaotusvõrkude andmete graafilisest analüüsist

selgus, et väiksemate varustuskindluse näitajatega riikidel oli stabiilsem statistika ning Eesti jaotusvõrk sarnanes enim Leedu jaotusvõrgu andmetega.

Tormide mõju avaldus ka põhivõrgu statistikas. Tormid suurendasid näitajaid SAIDI-t 48 % ning näitajat CAIDI-t 38 %. Jaotusvõrguga võrreldes on põhivõrgu näitajad stabiilsemad ning madalamad. Põhivõrgus toimus enim rikkeid liinidel. Tarbijatele elektrikatkestusi põhjustavad rikked on langustrendis, kus klientide katkestuste arv pidevalt langeb. Olenevalt aastast on klientidele andmata jäänud energia muutlik, keskmiselt 238,2 MWh energiat. Põhivõrgu statistika mõjutab oluliselt jaotusvõrgu statistilisi näitajaid.

Töö eesmärgiks oli tundlike tarbijate elektrivarustuse hindamine ja analüüs ning leida võimalusi tekkivate riskide vältimiseks ja minimeerimiseks.

Tarbijate tundlikkused erinevate tegurite suhtes on väga muutlikud. Tarbijate harjumused ning elamistingimused varieeruvad ning muutuvad vastavalt elamiskeskkonnast. Piirkondlikest aspektidest on võimalik liigitada tarbijaid kahte suuremasse kategooriasse: linnapiirkonnad ja maapiirkonnad. Piirkondlikest aspektidest lähtudes leiti, et linnades elavad tarbijad on elektrikatkestustest rohkem häiritud kui tarbijad maapiirkondades. Kütmisviiside põhjal leiti, et enim on mõjutatud linnades korterelamutes elavad inimesed. Veevarustuse aspektidest lähtudes on elektrist põhjustatud veekatkestustele vastuvõtlikumad linnas elavad kodanikud. Eluks olulisemate elektriseadmete võrdlusel selgus, et nii maal kui linnas elavad inimesed on enamjaolt sama tundlikud elektrikatkestuste suhtes.

Tundlikuimad tarbijad on eelnevalt võrreldud aspektidest lähtuvalt linnas kortermajades elavad inimesed.

Linnapiirkonna tarbijal oli ligikaudu 9,6 korda väiksem tõenäosus elektikatkestusele. Eestis elab linnas ligi 63,2 % elanikest. Võrreldes ühte katkestust olid linnade ja maapiirkondade kestvused ligikaudu võrdsed, 80 ja 78,6 minutit. Varustuskindlus näitaja SAIDI oli linnades ligikaudu 13,6 korda väiksem.

Linnades elektrivõrgu varustuskindlust on võimalik parendada kaabelvõrkude, õhuliinide kaitsevööndi hooldusega ning ringtoite kasutuselevõttuga.

Kasutatud kirjandus

1. KE05: energia lõpptarbimine*. [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE05&ti=ENERGIA+L%D5PPTARBIMINE%2A&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia tarbimine ja tootmine/01Aastatstatistika/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE05&ti=ENERGIA+L%D5PPTARBIMINE%2A&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia%20tarbimine%20ja%20tootmine/01Aastatstatistika/&lang=2). (16.02.2014)
2. Elektrisüsteem. [WWW] <http://elering.ee/elektrisusteem/> (16.02.2014)
3. Raesaar, P., Tiigimäe, E. *Eektrivõrkude Projekteerimine: Elektrirajatiste projekteerimine II*. Tallinn : TTÜ, 2002. (16.02.2014)
4. Oidram, R. *Alajaamad II*. Tallinn : TTÜ, 2009. (16.02.2014)
5. ABB Switchgear Manual (12th edition). [Online] ABB AG, 2012. (16.02.2014)
6. Tugevvolupaigaldised nimivahelduvpingega üle 1 kV. Osa 1: Üldnõuded, [Online] EVS-EN 61936-1:2010. s.l. : Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2010. (16.02.2014)
7. Koch, D, SF6 properties, and use in MV and HV switchgear, Cahier technique no.188,6-10, Schneider Electric. [WWW] <http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/breaking-techniques-switchgear/general-knowledge/ect188.pdf> (20.03.2014)
8. Eesti elektrisüsteemi kaart. [WWW] <http://elering.ee/vorgu-kaart/> (20.03.2014)
9. Estlink 1. [WWW] <http://elering.ee/estlink-1/> (25.03.2014)
10. Ülevaatlikud faktid. [WWW] <http://estlink2.elering.ee/ulevaatlikud-faktid/> (25.03.2014)
11. Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2013. a. [WWW] http://elering.ee/public/Infokeskus/Uuringud/Elering_VKA_2013_web.pdf (25.03.2014)
12. Narva elektrijaamad. [WWW] <https://www.energia.ee/et/organisatsioon/narvajaamad>. (25. 03. 2014)
13. Elektri ja soojuse tootmine. [WWW] <https://www.energia.ee/et/polevkivist-elektri-tootmine>. (25. 03. 2014)
14. Balti elektrijaam. [WWW] <https://www.energia.ee/et/juubel/balti-elektrijaam-55>. (25. 03 2014)
15. Eesti Elektriijaam. [WWW] <https://www.energia.ee/et/juubel/eesti-elektrijaam-45>. (25. 03 2014)
16. Tuuleenergia Eestis. [WWW] <http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/> (25. 03 2014)
17. Taastuvenergia. [WWW] <https://www.energia.ee/et/taastuvenergia> (27.03.2014)
18. Hüdroenergia ressurss. [WWW] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=H%C3%BCdroenergia_ressurss#cite_note-e-3 (27. 03 2014)
19. Bioenergia. [WWW] <http://www.bioenergia.ee/bio.html> (27.03.2014)
20. Koostootmine. [WWW] <https://www.energia.ee/et/koostootmine> (27.03.2014)

21. Raesaar, Peeter. *Elektrirajatiste Projekteerimine. Elektri ülekande ja jaotamise "põhitõed"*. Tallinn : s.n., 2005. (27.03.2014)
22. Ettevõttest. [WWW] <http://elering.ee/ettevottest/> (18. 03. 2014)
23. Elektrisüsteem. [WWW] <http://elering.ee/elektrisusteem/> (28. 03. 2014)
24. Eesti elektrisüsteem. [WWW] <https://www.elektrilevi.ee/eesti-elektrisusteem> (18. 03. 2014)
25. Jaotusvõrguettevõtjad elektriturul. [WWW] <http://www.konkurentsiamet.ee/?id=10952> (27. 03. 2014)
26. Tutvustus. [WWW] <https://www.elektrilevi.ee/et/elektrilevi-tutvustus> (18. 03. 2014)
27. Tutvustus. [WWW] <https://www.elektrilevi.ee/et/elektrilevist> (18. 03. 2014)
28. Ettevõtte ajalugu. [WWW] <http://www.vkgev.ee/est/vkg-elektrivorgud/ettevotte-luhiulevaade/ajalugu> (20.03.2014)
29. Ettevõtte lühiülevaade. [WWW] <http://www.vkgev.ee/est/vkg-elektrivorgud/ettevotte-luhiulevaade> (20.03.2014)
30. Ärifilosoofia. [WWW] <http://www.vkgev.ee/est/vkg-elektrivorgud/arifilosoofia> (20.03.2014)
31. Ettevõttest. [WWW] <http://www.imatraelekter.ee/ettevottest/> (20.03.2014)
32. Power System in Finland. [WWW] <http://www.fingrid.fi/en/powersystem/general%20description/Power%20System%20in%20Finland/Pages/default.aspx> (20.03.2014)
33. Production and consumption in the power system. [WWW] <http://www.fingrid.fi/en/powersystem/general%20description/Production%20and%20consumption%20in%20the%20power%20system/Pages/default.aspx> (20.03.2014)
34. Raesaar, P. *Elektrivõrkude plaanimine*. Tallinn : TTÜ, 2006. (24.03.2014)
35. Raesaar, P. *Elektrivõrkude Erikursus. Elektrivõrkude töökindlus.*, Tallinn : TTÜ, 2005. (24.03.2014)
36. Töökindlus. [WWW] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=T%C3%B6%C3%B6kindlus&menu-100#cite_note-KRA-5 (27. 03 2014)
37. Entso e. Nordic Grid Disturbance Statistics 2011. Brussels : Reginal Group Nordic, 2013. [WWW] https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/publications/nordic/operations/130627_Nordic_Grid_Disturbance_and_Fault_Statistics_2011.pdf (24.03.2014)
38. Sahhai, S., Pahwa, A. A Probabilistic Approach for Animal-Caused. [Online] Stockholm : IEEE, 2006. (24.03.2014)
39. 10 suuremat tormi Eestis alates 2005. aastast. – *Eesti Ekspress*, 2011, 29. detsember, <http://ekspress.delfi.ee/news/paevauudised/10-suuremat-tormi-eestis-alates-2005-aastast?id=63704054> (20.11.2014)

40. Kliimanormid. [WWW]
http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/ohutemperatuur/#keskm_%C3%B5hut (20.11.2014)
41. Elering AS, Eesti Elektrisüsteemi Varustuskindluse Aruanne 2011. [WWW]
http://issuu.com/elering/docs/elering_varustuskindluse_aruanne_2011?e=3456465/1870365#search (21.11.2014)
42. Elektrienergia kvaliteet Elering AS 110 kV võrgus. [WWW]
http://elering.ee/public/Teenused/Vorguteenus/Elektrienergia_kvaliteet_110_kV_vorgus.doc. (23.11.2014)
43. Enno, S. Baltimaade Äikesekliima 1951-2000. [WWW]
<http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/Enno2012.pdf> (23.11.2014)
44. Baltimaade äikesekliima 1951-2000. [WWW]
<http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/meteoroloogiapaevad/2012-meie-tuleviku-kindlustamine-seoses-ilma-kliima-ja-veega/baltimaade-aikesekliima-1951-2000/>
(23.11.2014)
45. Ludwig, S.G. *Mitigating Lightning Outages*, 2008, 1-6, [Online]IEEE (11.12.2014)
46. Knobel, J. *Eliminating bird streamers as cause of faulting on transmission lines*. [Online] s.l. : IEEE, 2003 (11.12.2014)
47. *IEEE Guide for Reducing Bird-Related Outages*. [Online] New york : IEEE, 2011 (11.12.2014)
48. CEER Benchmarking Report 5.1, Data update. [Online] Belgia : CEER, 2014 (11.12.2014)
49. Holland [WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Holland> (12.12.2014)
50. Chowdhury, A. A. *Distribution System In-Depth Causal Reliability Assessment*. [Online] Stockholm : IEEE, L, Bertling, 2006 (11.12.2014)
51. Majandusaasta Aruanne 2013. [WWW] https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/el_majandusaasta_aruanne_2013.pdf (12.12.2014)
52. Voltage classification. [WWW] <http://www.electrotechnik.net/2011/03/voltage-classification-lv-mv-and-ehv.html> (12.12.2014)
53. Konkurentsiamet. [WWW]
<http://www.konkurentsiamet.ee/?id=18300&highlight=varustuskindluse.n%C3%A4itajad> (12.12.2014)
54. Fingrid Oyi. Supply security of electricity. [WWW]
<http://www.fingrid.fi/en/powersystem/Supply%20security%20of%20electricity/Pages/default.aspx> (18.12.2014)
55. Adermann, V. Eesti Metsad 2008, Metsade hinnang statistilisel valikmeetodil [WWW] http://www.keskkonnainfo.ee/publications/16314_PDF.pdf (02.01.2015)
56. Elektrilevi andis vallajuhtidele aru. – *Saarte Hääl*, 2014, 25. november,
<http://www.saartehaal.ee/2014/11/25/elektrilevi-andis-vallajuhtidele-aru/> (02.01.2015)
57. RL006: rahvaarv, pindala ja asustustihedus haldusüksuse järgi, 31. detsember 2011. [WWW] <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RL006&ti=RAHVAARV%2C+PINDALA+JA+AS>

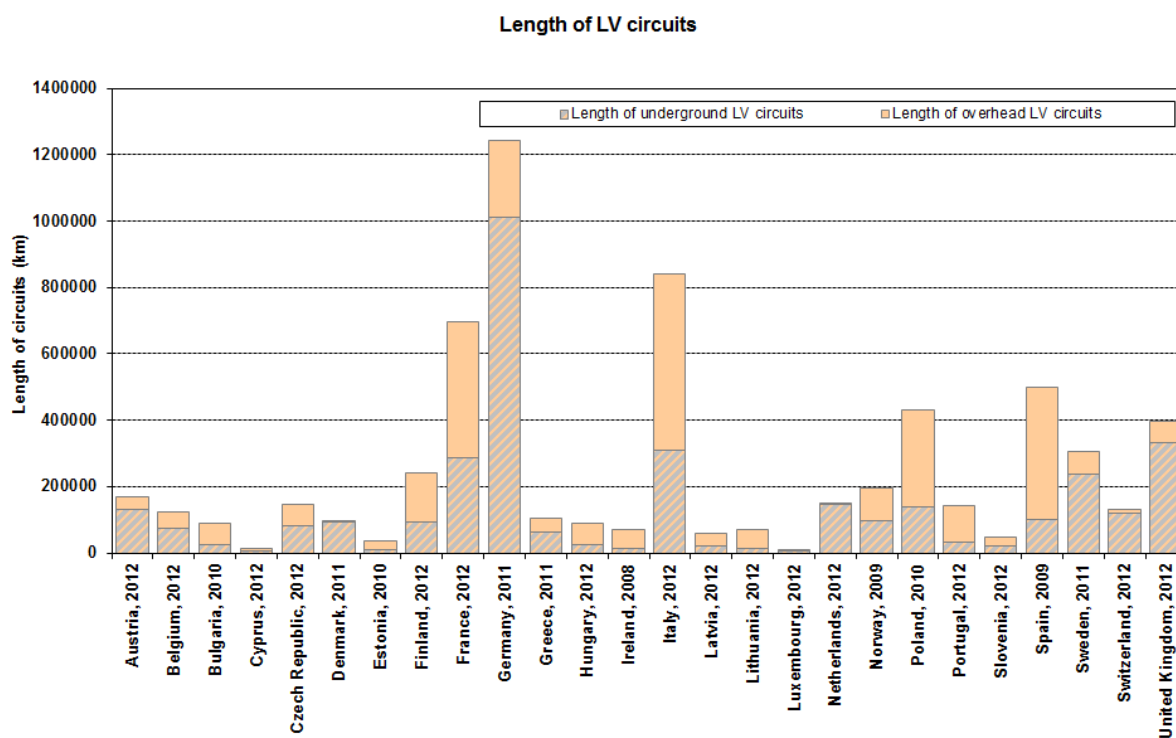
[USTUSTIHEDUS+HALDUS%DCKSUSE+J%C4RGI%2C+31%2E+DETSEMBER+2011&path=../Database/Rahvaloendus/REL2011/09Rahvastiku_paiknemine/04Elukohat_ja_soo-vanusjaotus/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RL0806&lang=2) (26.12.2014)

58. RL0806: tavaeluruumide elanikud hoone liigi, eluruumi tehnovarustuse, soo, vanuserühma, tööalase ja sotsiaal-majandusliku seisundi ning maakonna järgi, 31. detsember 2011. [WWW] <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RL0806&lang=2> (26.12.2014)
59. LET06: leibkonnad elukoha ja vee saamise võimaluse järgi. [WWW] http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=LET06&ti=LEIBKONNAD+ELUKOHA+JA+VEE+SAAMISE+V%D5IMALUSE+J%C4RGI&path=../Database/Sotsiaalelu/08Leibkonnad/06Leibkonna_elamistingimused/02Leibkonnad_elukoha_jargi/&lang=2 (26.12.2014)
60. LET109: leibkonnad elukoha ja püsikaupade kasutuse järgi. [WWW] http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=LET109&ti=LEIBKONNAD+ELUKOHA+JA+P%D5IKAUPADE+KASUTUSE+J%C4RGI&path=../Database/Sotsiaalelu/08Leibkonnad/06Leibkonna_elamistingimused/02Leibkonnad_elukoha_jargi/&lang=2 (26.12.2014)
61. Pärnumaa linn saab ringtoite .– *Vooremaa*, 2012, 12, juuni. <http://www.vooremaa.ee/contents.php?cid=1023089> (02.01.2015)
62. Elektripaigaldise kaitsevööndi ulatus – *Riigi Teataja I*, 2002, 58, 366. (õigusakt)

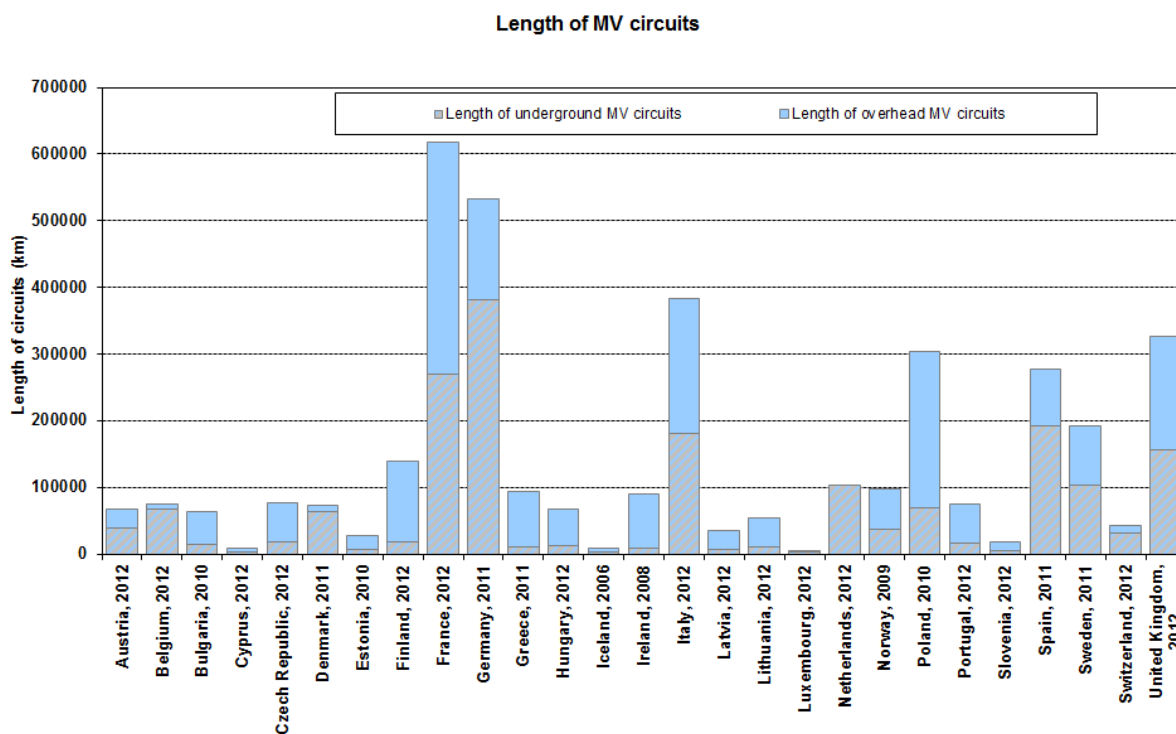
Lisad

1. L.1. Madal- keskpingevõrgu liinide pikkuste võrdlused
2. L.2. Euroopa riikide SAIDI võrdlus vastavalt maakaabelliinide osakaalust
3. L.3. Õhuliini kaitsevöönd

L.1. Madal- keskpingevõrgu liinide pikkuste võrdlused



Joonis L.1. Madalpingevõrgu liinide pikkuste võrdlused [48]



Joonis L.2. Keskpingevõrgu liinide pikkuste võrdlused [48]

L.2. Euroopa riikide SAIDI võrdlus vastavalt maakaabelliinide osakaalust

Tabel L.1. Euroopa riikide SAIDI, mille madalpinge ja keskpingevõrkude maakaabelliinide osakaal on alla 50 % [48]

	France	Norway *	Italy	Poland	Cyprus	Hungary	Ireland	Finland *	Latvia	Estonia	Lithuania	Portugal	Slovenia *	
1999	55		191,77			411	273,6	198						
2000	46		187,4			241,2	257,9	130						
2001	59		149,09			250,2	199,3	468				530,74		
2002	42		114,74			196,8	230,2	284				467,98		
2003	69,3		546,08			155,4	171,9	212				406,18		
2004	57,1		90,53			137,4	162,8	105				217,79		
2005	55,9	93	79,86			121,8	163,6	87			373,57	198,73		
2006	86,3	113	60,55			127,7	148,3	64		243,49	168,7	243,19		
2007	61,6	96	57,89	409,99		141	129,7	53	269	185,83	301,7	136		
2008	74,1	104	89,64	352,5		111	108,9	59	236	405,33	155,65	162,67	116	
2009	173,8	84	78,67	408,6		125	100,4	41	424	186,69	161,3	280,03	133	
2010	95,1	66	88,84	385,5		132,59	110	170	1073	195,97	260,03	276,04	81	
2011	53,9	216	107,96	325,76		85,12		225	708	346	302,59	131,43	76	
2012	62,9	66	132,73	263,19	148	76,89		68		178,9	287,73	94,15	169	
keskmine	70,85714	104,75	141,125	357,59	148	165,2214	171,3833	154,5714	542	248,8871	251,4088	262,0775	115	210,2209

Tabel L.2. Euroopa riikide SAIDI, mille madalpinge ja keskpingevõrkude maakaabellinide osakaal on üle 50 % [48]

	Austria *	The Netherlands	Denmark	Belgium	Switzerland	Germany	Luxembourg	Sweden	
1999		25,3						165,77	
2000		27						89,17	
2001		31						162,9	
2002	83,08	28						101,84	
2003	38,44	30						148,05	
2004	30,33	24						78,08	
2005	39,41	27,4						912,6	
2006	48,07	35,6				23,25		100	
2007	72,33	33,1				35,67		321,9	
2008	85,68	22,1	16,48			16,96		110,8	
2009	38,18	26,5	15,29			15,29		73,3	
2010	31,77	33,7	15,18		14	20,01		92,3	
2011	27,85	23,4	17,04	36,18	16	17,25	12	186,46	
2012	38,78	27	14,75	39,45	22	17,37	10	89,01	
keskmine	48,53818	28,15	15,748	37,815	17,33333	20,82857	11	188,0129	45,92824

L.3. Õhuliini kaitsevöönd

Õhuliini kaitsevöönd on maa-ala ja õhuruum, mida piiravad mõlemal pool piki liini telge paiknevad mõttelised vertikaaltasandid, ning mille ulatus mõlemal pool liini telge :

- 1) alla 1 kV pingega liinide korral on 2 meetrit;
- 2) kuni 20 kV pingega liinide korral on 10 meetrit;
- 3) 35–110 kV pingega liinide korral on 25 meetrit;
- 4) 220–330 kV pingega liinide korral on 40 meetrit [62].