1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN TECHNICAL UNIVERSITY
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

ELEKTRILEVI OÜ HAJAVARUSTUSKINDLUSE PIIRKONDADE VÕRGUINVESTEERINGUTE EESMÄRGID, REALISEERIMISE MEETODID JA NENDE VALIKUKRITEERIUMID

Lepingu nr Lep14071 lõpparuanne

Instituudi direktor: _____

Ivo Palu

Projekti juht : _____

Juhan Valtin

Tallinn 2014

TEADUSTÖÖ LEPING nr Lep14071 **Elektrilevi OÜ hajavarustuskindluse piirkondade võrguinvesteeringute eesmärgid, realiseerimise meetodid ja nende valikukriteeriumid**

Projekti tellija:	Elektrilevi OÜ Reg. kood 11050857
Aadress:	Kadaka tee 63, 12915 Tallinn
Projekti täitja:	Tallinna Tehnikaülikool, Elektroenergeetika instituut Reg. kood 74000323
Aadress:	Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
Projekti algus:	5. mai 2014
Projekti lõpp:	10. detsember 2014
Projekti juht:	Juhan Valtin, professor, tehnikateaduste kandidaat
Projekti põhitäitjad:	Heiki Tammoja, professor, tehnikakandidaat Peeter Raesaar, dotsent, tehnikakandidaat

SISUKORD

EESSÕNA 5

1. Sissejuhatus ... 6

1.1 Jaotusvõrk - riigi üks tähtsamaid taristuid ... 6

1.2 Elekterilevi OÜ jaotusvõrgu ülevaade ... 8

1.2.1 Alajaamad ... 8

1.2.2 Elektriliinid ... 9

1.2.3 Töökindlusnäitajaid ... 11

1.2.4 Tarbimisest ... 13

2. Hajavarustuspiirkonna võrguinvesteeringute eesmärgid ja kriteeriumid ... 16

2.1 Sissejuhatus 16

2.2 Hajavarustuspiirkonna probleeme ... 22

2.3 Hajavarustuspiirkonna võrguinvesteeringute eesmärgid ja kriteeriumid ... 27

2.4 Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu võimalikud arengustsenaariumid ... 29

3. Hajavarustuspiirkonna olukorra hinnang ... 31

3.1 Üldist 31

3.2 ELV Elektrivõrgu tehnilisest seisukorrast ja jääkressursist ... 35

3.2.1 Elektriliinid ... 35

3.2.2 Alajaamad ... 38

3.2.3 Jääkressurss ... 40

3.3 Piirkonnaalajaamadest ... 41

3.4 Elektrivõrgu kasutusefektiivsuse näitajad ... 43

3.5 Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu koormatus ... 44

3.6 Alakasutuses elektrivõrk ja vähene tarbimine hajavarustuspiirkonnas ... 47

4. Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu arengusuunad ... 52

4.1 Üldpõhimõtteid ... 52

4.2 Võrgu konfiguratsiooni korrastamine (optimeerimine) ... 59

4.2.1 Keskpingevõrk ... 59

4.2.2 Madalpingevõrk ... 61

4.3 Võrgukoosluse arendamine ... 61

4.3.1 Keskpingevõrk ... 61

4.3.2 Madalpingevõrk ... 63

4.4 Kaetud juhtmed ja õhukaablid ... 64

4.4.1 Ülevaade ... 64

4.4.2 Kaetud juhtmed. ... 64

4.4.3 Lõhiskaabel ... 67

4.4.4 Õhukaabel ... 67

4.4.5 Kaetud juhtmete liigpingekaitse 68
4.4.6 Isolaatorite valik ja roome probleemid 71
4.5 Käidu täiustamine 72
4.5.1 Ülevaade ELV käidukorraldusest 72
4.5.2 Töö käigus üles kerkinud käitu puutuvad aspektid 74
4.5.3 Võsa raiumise mõju elektriliinide riketele 78
5. Kulud, nende optimeerimine 83
5.1 Võrgu plaanimise sotsiaalmajanduslikud eesmärgid 83
5.2 Uute liinide rajamise tasuvuse hinnang 85
5.2.1 Sissejuhatus 85
5.2.2 . Tasuvuse hinnang 89
6. Kokkuvõte 91
KIRJANDUS 100

EESSÕNA

Käesolev on lepingu nr. Lep14071 „Elektrilevi OÜ hajavarustuskindluse piirkondade võrguinvesteeringute eesmärgid, realiseerimise meetodid ja nende valikukriteeriumid“ lõpparuanne.

Projekti tellijaks on Elektrilevi OÜ, täitjaks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituut.

Töö valmis ajavahemikus 5. mai 2014 kuni 10. detsember 2014.

Projekti põhitäitjateks on Juhan Valtin (projekti juht), Peeter Raesaar ja Heiki Tammoja.

Aruandes on esitatud ülesande püstitus ja olemus. On püstitatud hajavarustuspiirkonna võrguinvesteeringute eesmärgid ja kriteeriumid ja määratletud hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu võimalikud arengustsenaariumid. Liigitatakse piirkonnaalajaamad varustuskindluse seisukohalt. Antakse hinnang hajavarustuspiirkonna olukorrale, määratletakse elektrivõrgu kasutusefektiivsuse näitajad ja käsitletakse alakasutuses elektrivõrku. Pakutakse välja hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu arengusuunad, s.h võrgu konfiguratsiooni korrastamise ja võrgukoosluse arendamise osas. Võrreldakse kaetud juhtmete ja õhukaablite kasutamist ning käsitletakse käidu täiustamise võimalusi. On lahendatud ELV töötajatega toimunud arutelude käigus tõstatunud probleeme ja seisukohti.

Töö autorid tänavad Elektrilevi OÜ töötajaid abi eest vajalike lähteandmete hankimisel ja tegusa koostöö eest projekti täitmise käigus.

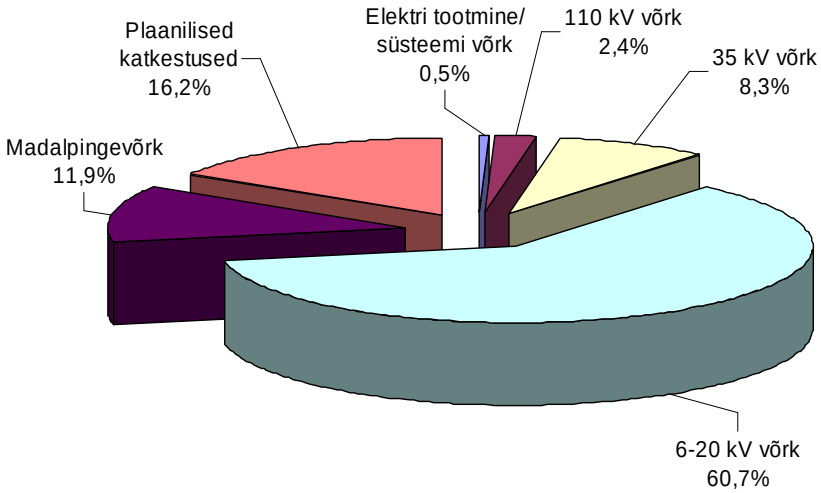
1. SISSEJUHATUS

1.1 Jaotusvõrk - riigi üks tähtsamaid taristuid

Energeetika on riigi arengus väga oluline valdkond, olles majandusliku konkurentsivõime eeltingimus. Kestlik ja usaldusväärne energiasüsteem, s.h hästitoimiv jaotusvõrk, tagab majanduse ja igapäevaelu tõrgeteta toimimise. Jaotusvõrgu investeerimispoliitika kujundamisel tuleb arvestada elektrivarustuse erakordselt olulist rolli, selle iseärasusi, praegust olukorda ja arenguvõimalusi, energiaressursside paiknemist ning riigi üldisi energiapoliitilisi eesmärke. Kuna elektrijaotusvõrgu objektid, nagu alajaamad ja elektriliinid, on kallid ja pika elueaga rajatised, mille läbilaskevõimest ja talitluskindlusest sõltub suurel määral majanduse efektiivsus, tuleb erilist tähelepanu pöörata võrkude arengu õigele ja õigeaegsele planeerimisele ning vajalikele investeeringutele. Jaotusvõrkude arengut puudutavate otsuste tegemisel tuleb vaadata ette 10 – 20 a.

Efektiivsusele orienteeritud ühiskond sõltub üha enam ja enam elektrivarustuse kvaliteedist. Kliendi nõuded elektriettevõtete töökindlusele ja elektrivarustuse pidevusele on viimasel ajal tõusnud peaaegu kõigil tööstus-, kommerts-, kommunaal- ja kodutarbimise aladel tänu keerulisemate elektriseadmete kasutuselevõtule. Kogemuse kohaselt häirivad elektritoite katkestused klientide tegevust rohkem kui mis tahes muu tegur. Seega on töökindlus üheks olulisemaks kriteeriumiks nii jaotusvõrgu arengu planeerimisel, projekteerimisel kui jooksval käidul ja talitluse juhtimisel.

Jaotusvõrgu töökindluse ehk varustuskindluse all mõistetakse eelkõige jaotusvõrguettevõtte klientide katkematut elektrivarustust. Elektritoite katkestused kutsuvad esile suure hulga klientide kaebusi, sest klientide ootused ja nõudmised pideva elektritoite osas on tänapäeval väga kõrged. Suurt tähelepanu tuleb pöörata elektrijaamadele ja põhivõrgule, sest nende madal töökindlus võib põhjustada väga tõsiseid tagajärgi nii ühiskonnale kui keskkonnale. Siiski näitab enamiku elektriettevõtete klientide katkestuste statistika, et just kesk- ja madalpinge jaotusvõrkude osakaal klientide elektritoite katkemistes on väga suur – vt joonis 1.1.



Joonis 1.1. Tüüpiline erineva pingega elektrivõrkude rikete osakaal elektritoite katkestustes
Allikas: [Billinton…1996]

Analoogilise pildi pakub ka Eesti elektrisüsteemi rikete statistika. Seega võimaldab just jaotusvõrkude töökindluse tõstmine märgatavalt parandada klientide elektrivarustuse kvaliteeti. Muidugi tuleb seejuures säilitada mõistlik tasakaal kogu elektrisüsteemi erinevate osade – tootmise, ülekande ja jaotamise – töökindluses.

Elektritarbijad on alati huvitatud töökindlast toitest. Keerulisemas olukorras on võrguettevõtted. Klientide varustuskindluse tõstmine on seotud suurte kulutustega ja üldjuhul pole võrguettevõtte vaatevinklist puhtmajanduslikult tasuv. Siiski on ka võrguettevõtted töökindluse tõstmisest huvitatud, kuna see

- vähendab klientide kaebuste hulka;
- aitab säilitada võrguettevõtte head reputatsiooni;
- võimaldab täita seadusandlusega kehtestatud võrguteenuste kvaliteedi nõudeid;
- võimaldab täita klientidega sõlmitud lepingute tingimusi.

Teatavasti on jaotusvõrguettevõtted loomulikud monopolid, kuna ei ole sotsiaalmajanduslikult pole otstarbekas rajada paralleelseid elektrivõrke, mis toidavad samu tarbijaid. Seetõttu on jaotusvõrgu teenuste tariifid reguleeritud rahvuslike reguleerivate asutuste (Eestis Konkurentsiamet) poolt, kes määravad või kinnitavad tariifimäärad ja investeeringute lubatava tootluse. Euroopa Elektritööstuse Liit *EURELECTRIC* rõhutab aruka regulatsiooni tähtsust, mis võimaldaks jaotusvõrguettevõtjail katta oma kapitalikulud ja investeerida võrkudesse tulevikus. Lisaks peavad jaotusvõrguettevõtjad tegutsema, kui erapooletud, läbipaistvad ja mittediskrimineerivad elektrituru vahendajad. Samas ilmneb, et enamikul Euroopa jaotusvõrguettevõtjail pole olnud lubatud kehtestada adekvaatseid tariife, mis kataks nende investeerimiskulud, mistõttu 72 % jaotusfirmadest on tõsistes raskustes regulatiivse surve tõttu [EURELECTRIC].

Ülal öeldut arvestades peab jaotusvõrgu haldur leidma optimaalse tasakaalu ühelt poolt võrgu arendamise ja tegevuskulude ning teiselt poolt elektrivarustuskindluse vahel. Jaotusvõrguettevõte peab pidevalt leidma vastused küsimustele:

- Kuidas tagada elektrivarustuse nõutav kvaliteet vähimkuludega?
- Milline on personali koosseisu (määratud tegevuskuludega/*OPEX*/) ja ettevõtte varade (määratud kapitalikuludega /*CAPEX*/) optimaalne struktuur?

Elektrivarustuse kvaliteedi vastu näitavad huvi ka valitsused, eriti suurtarbimise osas. Et vältida töökindluse probleemi sattumist poliitikaareenile ning muutumist emotsionaalsete hinnangute, mitte aga statistilise tõenäosusanalüüsi objektiks, peab elektriettevõte olema valmis kaitsma oma töökindluse norme ja selgelt määratlema erinevate töökindluse nivoode majanduslikud tulu-kulu aspektid.

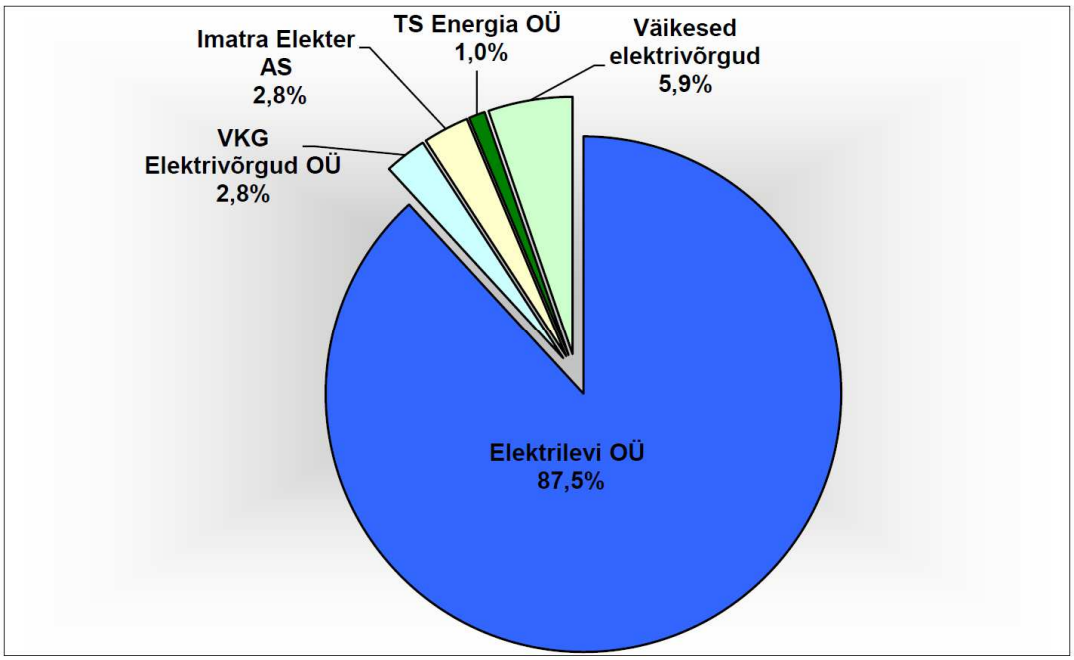
Euroopa jaotusvõrkude arengus võiks nimetada järgmisi võtmemomente:

- Kergkonstruktsiooniga (madala maksumusega) piirkonnaalajaamade kasutamine
- Kergkonstruktsiooniga (madala maksumusega) 110 kV liinide rajamine. Need kaks suunda võimaldavad suurendada jaotusvõrkude toitepunktide arvu suurendamata oluliselt kulusid.
- Õhuliinide asendamine maakaablivõrkudega nii kesk- kui madalpingel.
- Õhuliinides paljasjuhtmete asendamine kaetud juhtmete ja/või õhukaablitega.
- Liinide rajamine/ümberpaigutamine teede äärde.
- Võrkude ulatuslikum sektsioneerimine (mastidele paigaldatud taaslülitid).
- Lahklülitite kaugjuhtimise rakendamine.
- Täiendavate reservühenduste rajamine.
- Jaotusvõrkude ohjamise täiustamine.
- Maalühisvoolude kompenseerimine.
- Reservagregaatide rakendamine.
- Koostöö võrgufirmade, teenusepakkujatega ja ametkondadega.
- Kohalike väiketootjate ühendamine jaotusvõrku (seda nii kesk- kui madalpingel).
- Võrkude järk-järguline arendamine arukateks e tarkvõrkudeks.

1.2 Elekterilevi OÜ jaotusvõrgu ülevaade

Käesolevas on toodud lühiülevaade Elektrilevi OÜ jaotusvõrgust seisuga 31. detsember 2013. Suur osa andmeid pärineb tööst [Elektrilevi…2014].

Elektrilevi OÜ (ELV) on Eesti Energia kontserni kuuluv Eesti suurim jaotusvõrguettevõte 497 000 kliendiga üle Eesti, kuuludes Euroopa 200 suurema jaotusvõrguettevõtte hulka. Ta haldab üle 63 000 kilomeetrit elektriliine ja ligi 24 000 alajaama ning tema turuosa 2011 a moodustas 87,5 %. Võrgupiirkonda ei kuulu suurematest aladest vaid Läänemaa, Viimsi ning Narva ja selle ümbrus, kus elektri toovad kohale teised võrguettevõtjad – vt joonis 1.2.



Joonis 1.2. Elektrijaotusvõrkude turuosad müügikoguse alusel 2011. aastal
Allikas [Aruanne…2012]

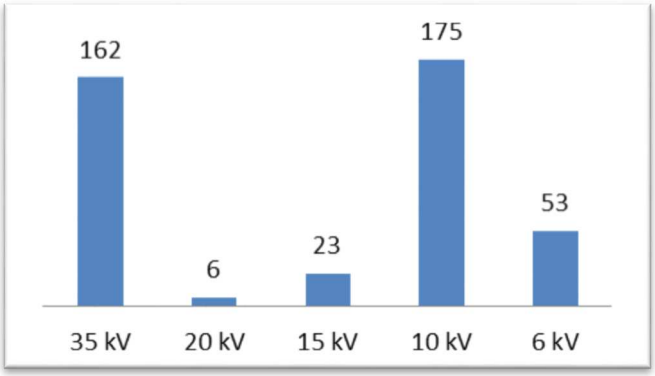
1.2.1 Alajaamad

Piirkonnaalajaamad on vähemalt kahepingelised alajaamad, kus toimub elektrienergia muundamine 110 või 35 kV pingelt keskpingele (6, 10, 15, 20 kV). ELVle kuuluvates piirkonnaalajaamades on primaarpingeks 35 kV. Piirkonnaalajaamad toidavad jaotusalajaamu ja KP/MP alajaamasid. Ülevaate alajaamade koosseisust annab tabel 1.1.

Tabel 1.1. Alajaamade koosseis

Alajaamad (tk)	2012	2013
Piirkonnaalajaamade jaotusseadmed	422	419
Elektrilevi AJdes	221	220
Eleringiga ühistes AJdes	201	199
Jaotusalajaamad	238	239
KP/MP alajaamad	22 745	23 096
KOKKU	23 405	23 754

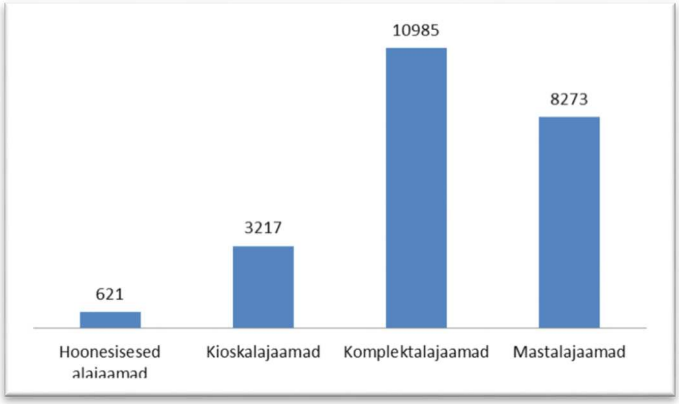
Piirkonnaalajaamade jaotlate jagunemist pinge järgi illustreerib joonis 1.3.



Joonis 1.3. Piirkonnaalajaamade jaotlate jagunemine pinge järgi

KP/MP alajaamade all mõeldakse alajaamu, mille madalpinge poolele on ühendatud tarbijad. Kokku on Elektrilevil 23 096 KP/MP alajaama. Nende jagunemine tüübi alusel on toodud joonisel 1.4.

Investeeringute raames ehitati või remonditi 2013 aastal 703 alajaama ja 707 trafot.



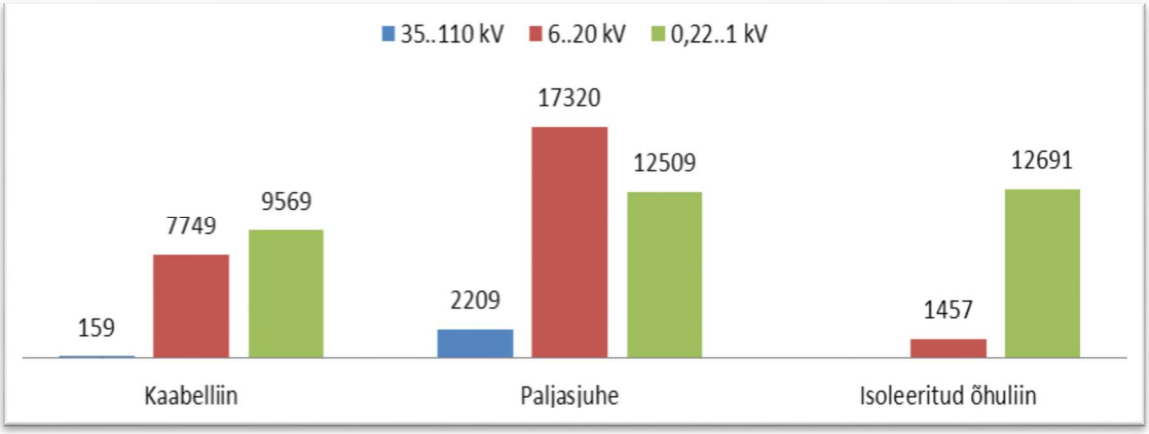
Joonis 1.4. KP/MP alajaamade jagunemine tüübi järgi

1.2.2 Elektriliinid

ELV võrgus on kasutusel kolm peamist pingeklassi. Ülevaate elektriliinide koosseisust annab tabel 1.2. Joonisel 1.5 on toodud liinide jagunemine pingelasside vahel.

Tabel 1.2. Elektriliinide koosseis

Elektriliinid (km)	**2012**	**2013**
Õhuliinid, paljasjuhe	32 404	32 038
□ 35…110 kV	2 184	2 209
□ 6..20 kV	16 338	17 320
□ 0,4…1kV	13 882	12 509
Isoleeritud õhuliinid	12 958	14 148
□ 6…20 kV	1 354	1 457
□ 0,4…1 kV	11 604	12 691
Maakaabelliinid	15 110	17 477
□ 35…110 kV	118	159
□ 6…20 kV	6 733	7 749
□ 0,4…1kV	8 259	9 569
Merekaabelliinid 35 kV	18	18
Merekaabelliinid 10 kV	14	14
Kokku:	**60 504**	**63 663**



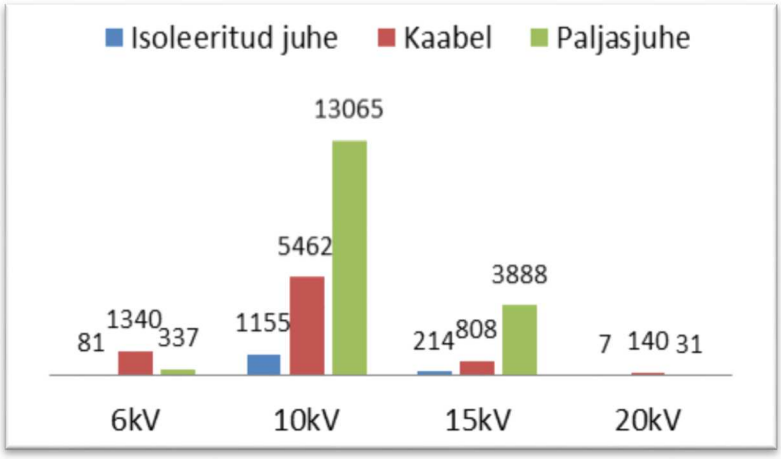
Joonis 1.5. Elektrilevi elektriliinide jagunemine pingeklasside ja liini tüüpide lõikes, km

35 kV pinge on mõistlik jätta kasutusele piirkondades, kus ei toimu arenguid ja vahekaugused on pikemad kui 20 kV elektrivõrgu jaoks on optimaalne. Perspektiivsetes piirkondades kavandab ELV 35 kV võrgu üle viia pingele 110 kV.

Keskpinge neljal erineval pingeastmel on ELV-l elektriliine kokku 26 527 km. Kõige enam on kasutusel 10 kV, mis on perspektiivne nimipinge tiheasustusega piirkondades, kus vahekaugused on lühikesed. Pikemate vahekauguste korral (kesktihe- ja hajaasustusega piirkonnad) on perspektiivseks nimipingeks 20 kV. Pingeastmed 6 kV ja 15 kV ei ole perspektiivsed ja tuleb üle viia vastavalt pingele 10 ja 20 kV. Keskpingeliinide jagunemine pingete järgi on toodud joonisel 1.5.

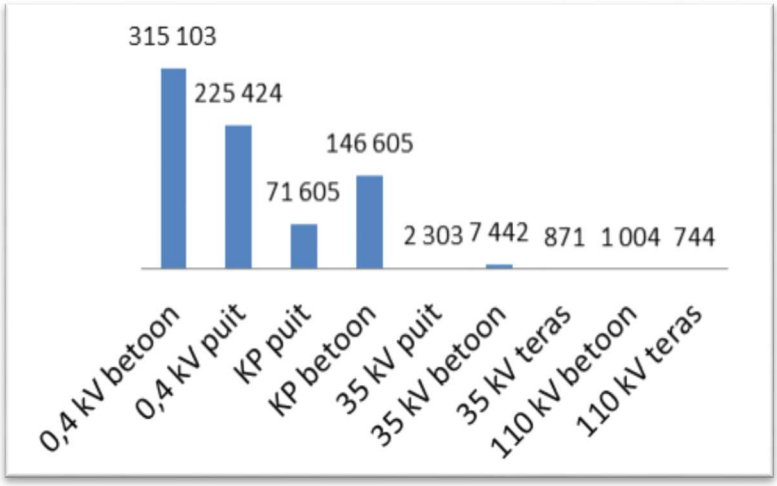
Madalpingel on ELVs kasutusel põhiliselt 0,4 kV. Olemasolev 0,22 kV nn vanapinge võrk viiakse üle 0,4 kVle. Vähesel määral on kasutusel 1 kV peamiselt terviseradade valgustusel.

2013 aastal ehitati või remonditi investeeringute raames 1 844 km elektriliine, s.h 572 km uusi kaabelliine ja 8 km isoleeritud õhuliini. Reeglina uusi õhuliine ei ehitata.



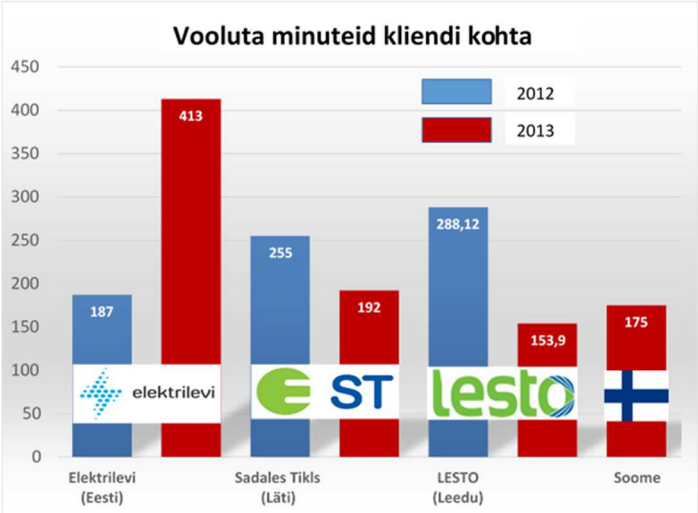
Joonis 1.6. Keskpingeliinide jagunemine pingeastmete ja liini tüüpide lõikes, km

Elektrilevil on kokku 771 101 masti (joonis 1.7). Maste asendatakse reeglina ressursi ammendumisel, kui objekt pole plaanitud rekonstrueerida maakaabelliiniks.

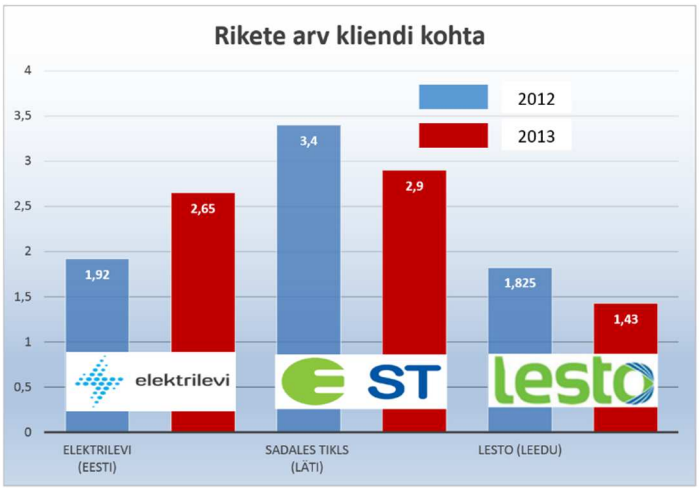


Joonis 1.7. Mastide jagunemine tüübi ja pingeastme järgi

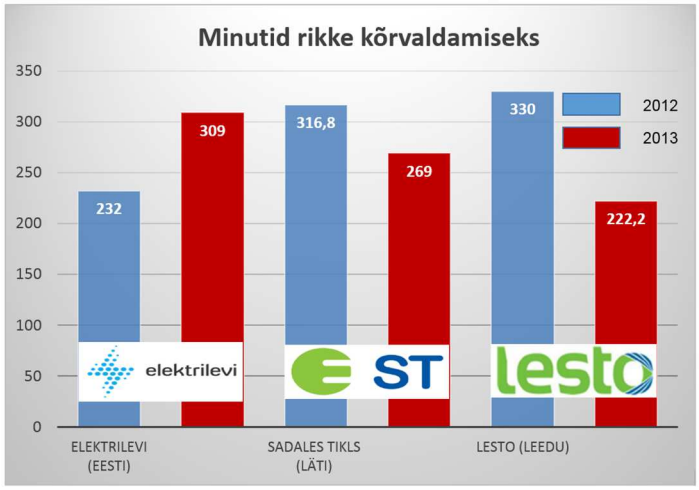
1.2.3 Töökindlusnäitajaid



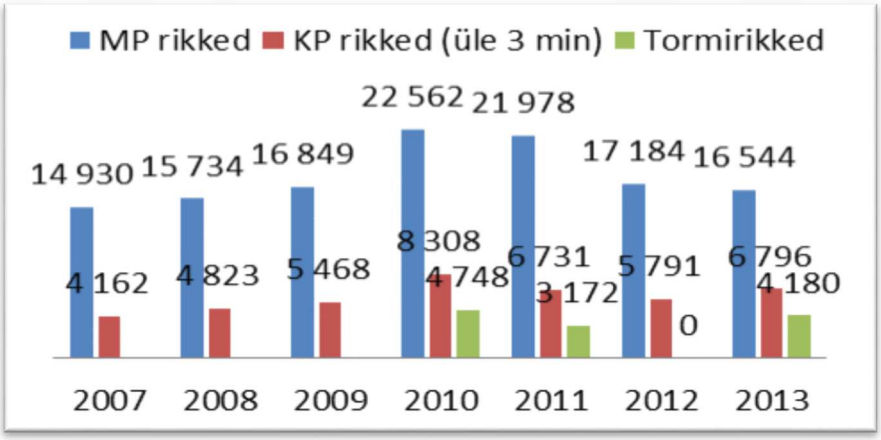
Joonis 1.8. Katkestuskestuse indeksite (SAIDI) võrdlus naabermaades 2012 -2013 a
Allikad: Elektrilevi, LESTO ja Sadales Tikles andmed; Soome - regulaatori raport 2013



Joonis 1.9. Katkestussageduse indeksite (SAIFI) võrdlus naabermaades 2012 – 2013 a
Allikad: Elektrilevi, LESTO ja Sadales Tikles andmed

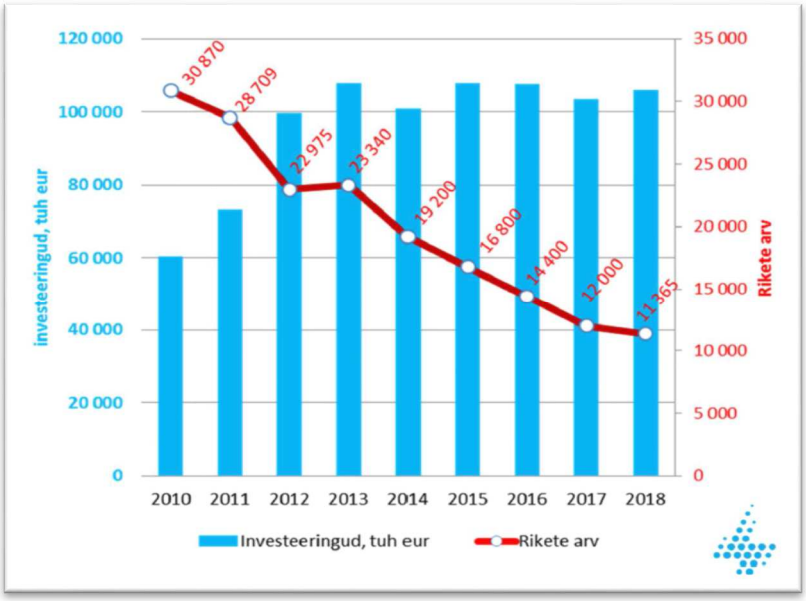


Joonis 1.10. Katkestuskestuse indeksite (CAIDI) võrdlus naabermaades 2012 – 2013 a
Allikad: Elektrilevi, LESTO ja Sadales Tikles andmed



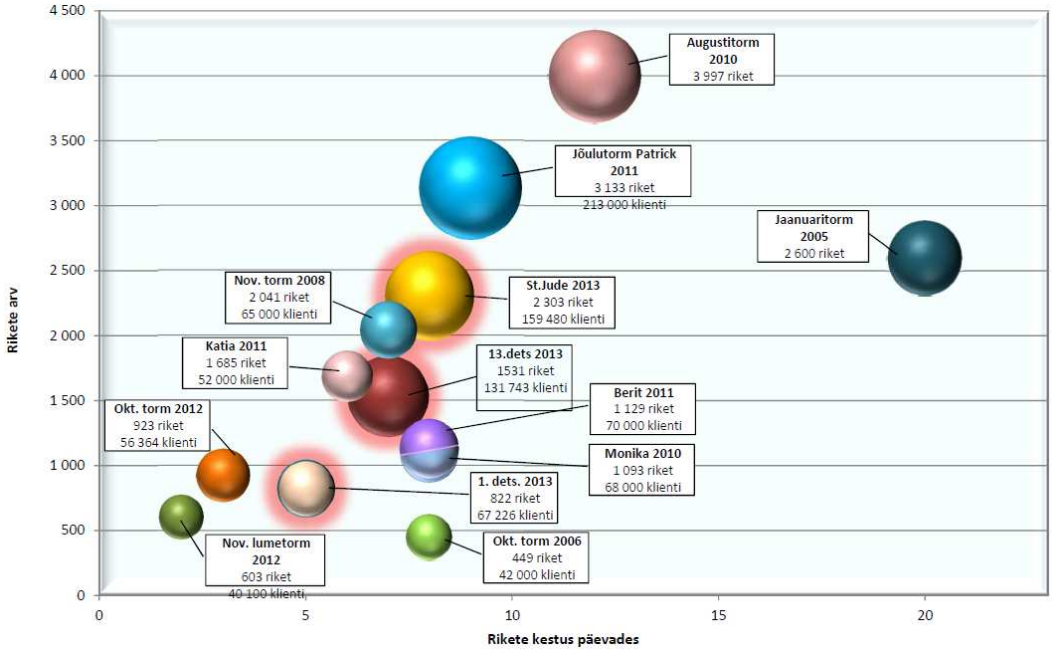
Joonis 1.11. Rikete arv majandusaastate lõikes

Tänu tehtud investeeringutele on rikete arv ELV võrgus aasta-aastalt langenud – vt joonis 1.12.



Joonis 1.12. Rikete arvu ja investeeringute dünaamika

2013 aasta eesmärgiks oli vähendada rikete arv tasemeni 21600 riket aastas. Tegelik rikete arv 23334 ületas seatud eesmärki 1734 võrra. Vahe tulenes aasta lõpu tormidest, mis põhjustasid mõne päevaga kokku 4180 riket (vt joonis 1.13). Aastalõpu tormidega on seletatav ka näitajate SAIDI, SAIFI ja CAIDI halvenemine võrreldes aastaga 2012. ELV eesmärgiks on vähendada rikete arvu aastaks 2017 tasemele 12 000 riket aastas.



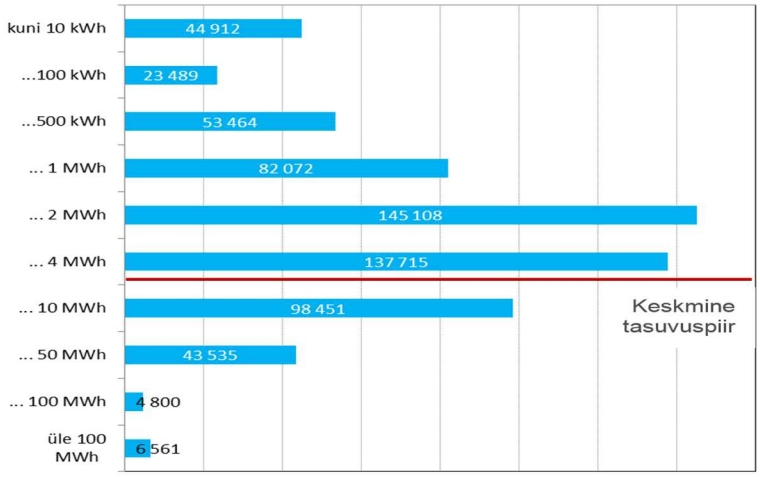
Joonis 1.13. Viimaste aastate suuremate tormide võrdlus. Allikas: [Tõnne…2014]

2013. aasta lõpul leidis aset kolm ulatuslikku tormi, mis kuulutati tulenevalt võrgu ehitusnormidest erakorraliseks olukorraks. Kuid isegi kolme tormi mõjuga koos ei ületanud selle aasta rikete tase oluliselt aasta varasemat (2013. aastal 23 340 riket ja aasta varem 23 038). Võrreldes rikkeid ekstreemolusid arvestamata, on need aastaga vähenenud 17 protsenti (2013. aastal 19 161 ja aasta varem 23 038).

Andmeid ELV elektrivõrgu tehnilise seisukorra ja jääkressursi kohta on toodud punktis 3.2.

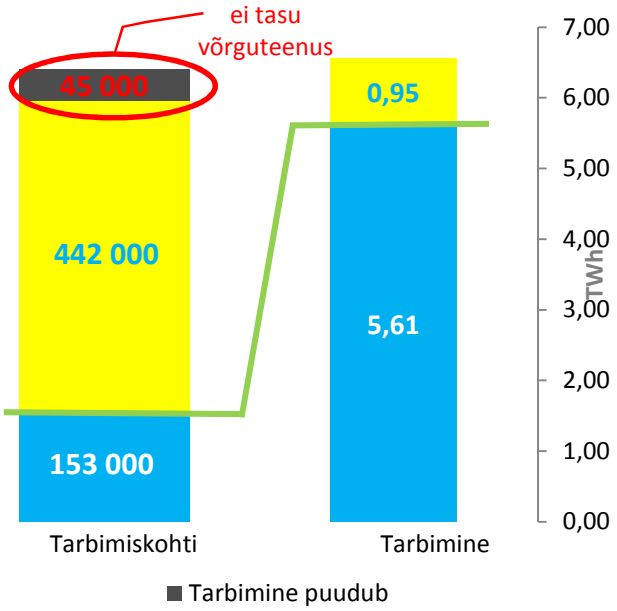
1.2.4 Tarbimisest

ELV võrgus on 642107 tarbimiskohta, mis tarbimismahu alusel jaotuvad joonise 1.14 kohaselt.



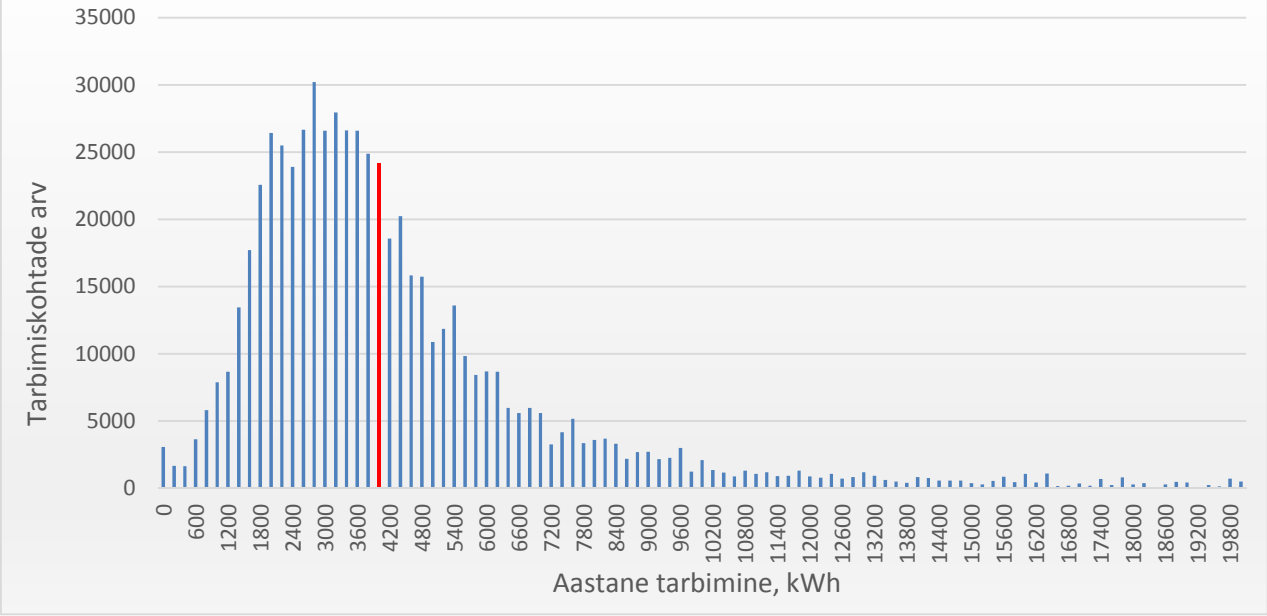
Joonis 1.14. Tarbimiskohtade jagunemine tarbimismahu järgi

Joonisel on näidatud ligikaudne tarbimismaht, millest alates on võrguteenuse osutamine kasumlik. Tarbimiskohti, kus tarbimine jääb alla kasumlikkuse piiri, on umbes 487 000, mis tarbisid 2013. aastal kokku 953 GWh ehk ca 14,5 % kogutarbimisest (6562 GWh) – vt joonis 1.15. Mainitud n.ö mittekasumlike tarbimiskohtade hulgas on umbes 45 000 tarbimiskohta, mille tarbimismaht on praktiliselt null ja mis seega ei tasu võrguteenuse eest.



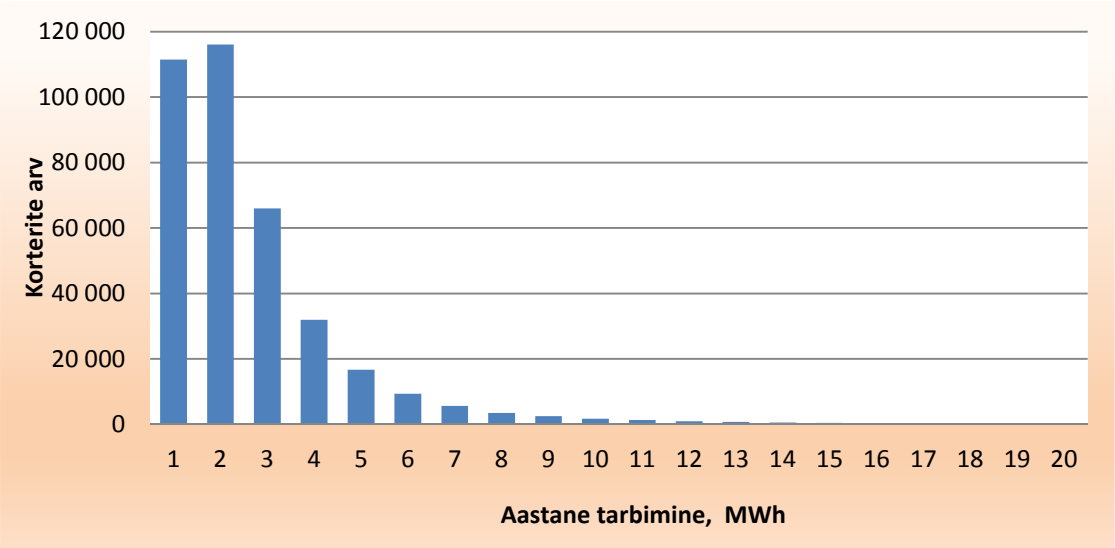
Joonis 1.15. Tarbimiskohtade ja nende kogutarbimise jagunemine

Joonisel 1.16 on toodud kuni 20000 kWh aastatarbimisega keskmiste aastatarbimiste histogramm, kusjuures välja on jäetud võrku energiat sisestavad tarbimiskohad. Kokku oli selliseid tarbimiskohti ligi 620000 ehk üle 95 % koguarvust ja nende tarbimine moodustas ligi poole kogutarbimisest. Punasega on tähistatud keskmine kasumlikkuse piir. Vaadeldavate tarbimiskohtade keskmine aastane tarbimine moodustas 2013. aastal 4245 kWh. Standardhälve oli 3052 kWh.



Joonis 1.16. Tarbimiskohtade keskmiste aastatarbimiste histogramm tarbimise vahemikus 0…20000 kWh

Toodud ebasümmeetriline histogramm on suhteliselt hästi aproksimeeritav Gamma-jaotusega kujuparameetriga 1,94 ja skaalaparameetriga 2,2. Veelgi ebasümmeetrilise jaotusega on korterite tarbimise histogramm samas vahemikus – vt joonis 1.17, kus keskmine tarbimine oli 2183 kWh ja standardhälve 2132 kWh.

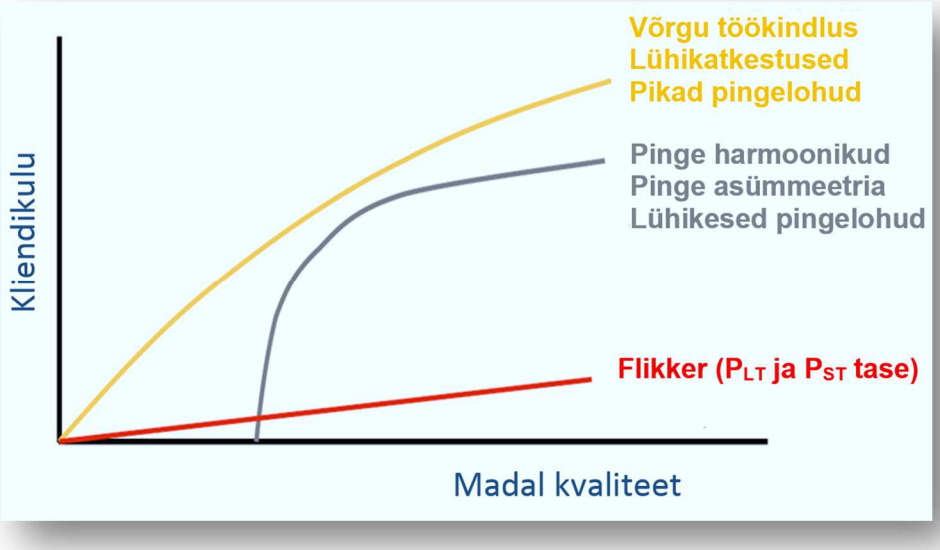


Joonis 1.17. Korterite keskmiste aastatarbimiste histogramm tarbimise vahemikus 0…20000 kWh

2. HAJAVARUSTUSPIIRKONNA VÕRGUINVESTEERINGUTE EESMÄRGID JA KRITEERIUMID

2.1 Sissejuhatus

Nagu öeldud, nõuab jaotusvõrkude arendamine kompromissi kulude ja varustuskindluse vahel. Tänapäevane võrgutasude efektiivsuspõhine regulatsioon loob võrguettevõtetele surve kulude vähendamiseks. Paljude maade kogemustel kaldub kulude vähendamine mõjutama elektrivarustuse kvaliteeti. Selle vältimiseks rakendavad regulaatorid rohkem kui 15 Euroopa Liidu riigis lisaks võrgutasude regulatsioonile elektrivarustuse kvaliteedi regulatsiooni, kehtestades teatud kvaliteedi standardid. Kvaliteedi regulatsioon seotakse finantsstiimulitega. Varustuskvaliteedi langust püüavad vältida ka võrguettevõtjad ise. Samas tekitab see võrgu valdajale uusi finantsriske. Varustuskvaliteedi erinevatest aspektidest mõjutab võrgu kasutajate kulusid kõige rohkem elektrivarustuskindlus ehk võrgu töökindlus. Seda iseloomustab joonis 2.1.



Joonis 2.1. Kliendikulude sõltuvus erinevate kvaliteedinäitajate tasemest
Allikas: [Keller…2006]

Teatavasti nõuab elektrivarustuskindluse tõstmine võrguettevõttelt suuri investeeringuid. Samas võib kehv töökindlus vähendada eeldatavat tulemit valdajale ja nõuda kompensatsioonimakseid kannatanud klientidele. Seega tekib võrgu valdajatel vajadus riskianalüüsi ja vastavate meetodite järele. On vaja mõista, mis tagajärgi tekitavad erinevad regulatsioonivariandid. Vältimaks võrgutasude tõusu, püüavad võrguettevõtted vähendada tegevuskulusid ja otsida optimaalset tasakaalu kulude ja elektrivarustuse kvaliteedi vahel. Selleks tuleb selgelt määratleda erinevate töökindluse nivoode majanduslikud tulu-kulu aspektid.

Elektrijaotuse kvaliteedi kontekstis tuleks eristada kommertskvaliteeti, pinge kvaliteeti ja elektrivarustuspidevust. Viimast võib omakorda vaadelda kahest aspektist: võrguhaldur peab tagama võrgu, mis rahuldab klientide vajadusi pikas perspektiivis (võrgu adekvaatsus). Teisest küljest peab võrguhaldur kindlustama klientide töökindla elektrivarustuse jooksvalt peale toitekatkestusi (s.t lühiperspektiivis). Kuna elektrivarustuskindlus on kliendi seisukohalt tähtsaim kvaliteedi näitaja, pöörab käesolev töö põhitähelepanu varustuskindlusele (eelkõige hajavarustuspiirkonnas

lühiperspektiivis) ja on teatud mõttes jätkuks uurimistööle „Elektrilevi OÜ kesk- ja madalpinge-võrgu varustuskindluse näitajad ja muutuste mõjurid erinevates varustuskindluse piirkondades üleminekul kaablivõrgule“ [Valtin…2013].

Suurel määral tekitab Elektrilevile finantsriske hajavarustuspiirkonna elektrivarustuse arendamine.

Varustuskindluse piirkondade all mõistetakse jaotusvõrgu tüüpilisi osi, millele tuleks rakendada ühtseid lahendusi võrgu skeemi ja konstruktsiooni, KP/MP alajaamade paiknemise, võrgu kaug-juhtimise, releekaitse ja automaatika, rikete lokaliseerimise ja kõrvaldamise ning käidu põhimõtete osas. Varustuskindluse piirkondadele tuleb sätestada spetsiifilised töökindluse alased nõuded, s.h varustuskindluse indeksite sihtväärtused ning pikaajalised eesmärgid. Varustuskindluse piirkondade ja vastavate tüüplahenduste piiritlemine võimaldaks kuluefektiivsemalt jaotada ressursse ning nende rakendamise prioriteete. Eesmärgiks oleks igale varustuskindluse piirkonna tüübile enim sobiva investeerimisstrateegia valik, tagamaks kogu võrgu vähimkulu arendamine ja käit nõuetekohase elektrivarustuskindluse ning kvaliteedi juures.

Võttes arvesse territooriumi asustatust ja tarbimise iseloomu, on otstarbekas Elektrilevi varustusalal eristada klientide paiknemistiheduselt sõltuvalt nelja iseloomulikku varustuskindluse piirkonda [Valtin…2013]:

Hajavarustuspiirkond /*rural area*/ - maapiirkondadele, küladele tüüpilise klientide paiknemistihedusega piirkond, kus iseloomulikud on talud, eramud väikeste gruppidena, väike ning keskmine põllumajandustootmine, maale iseloomulikud väikesed teenindusettevõtted.

Kesktihevarustuspiirkond /*suburban, low density area*/ – üle 4000 elanikuga linnade äärelinnad perifeersed linnad, endised agraarkeskused, alevid, alevikud, aiandusühistud, alla 4000 elanikuga linnad. Iseloomulikud on keskmised ja väikesed kortermajad, ridaelamud, eramud, kodutarbimine.

Tihevarustuspiirkond /*urban, density area*/ – mitteperifeersete kasvupiirkondade (Tallinn, Tartu, Pärnu, Kuressaare, Narva, Jõhvi, Viljandi, Haapsalu, Paide, Rakvere) kesklinnad, linnaosade ja äärelinnade keskused, tehnopargid, liftidega korterelamute linnaosad. Iseloomulikud on palju-korruselised üle 4000 elanikuga linnade keskused, kortermajad, domineerib äri ja avalike teenuste osutamine.

Ülitihevarustuspiirkond /*urban core, high density area*/ – suurte kasvupiirkondade – Tallinna, Tartu, Pärnu – linnakeskused. Iseloomulik on väga tihe kõrghoonestus, äri ja avalike teenuste koormus koos vähese kodutarbimisega (kortermajad).

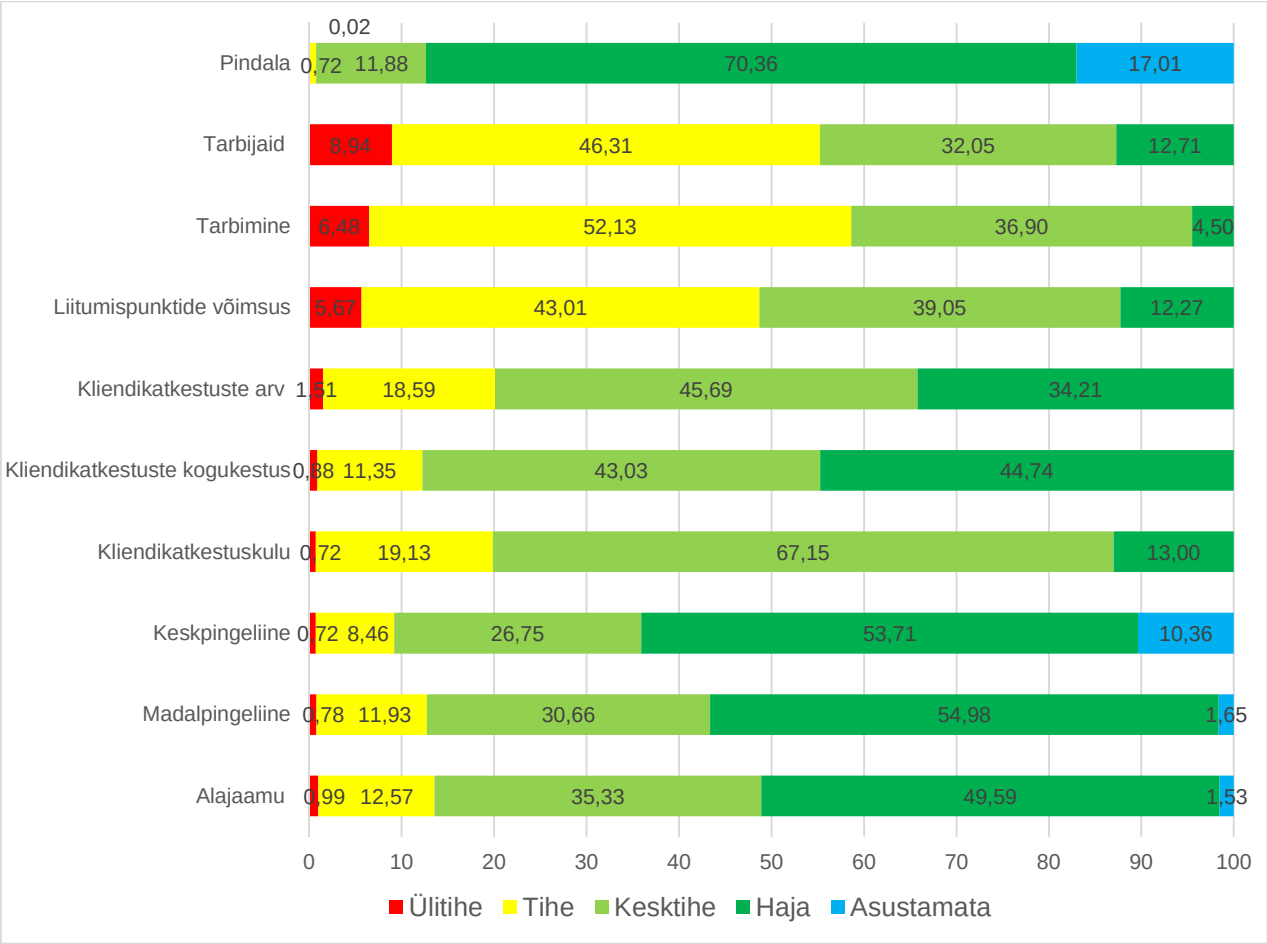
Tabelis 2.1 on toodud varustuskindluse piirkondade koondnäitajad seisuga oktoober 2014. Tabelit illustreerib joonis 2.2, millel on esitatud näitajad protsentuaalselt.

Nagu näha, hõlmab hajavarustuspiirkond üle poole jaotusvõrgu elektriliinide ulatusest, kuid varustab pelgalt 12,7 % Elektrilevi klientidest, kes tarbivad ainult 4,5 % kogutarbimisest (joonis 2.2, 2.3).

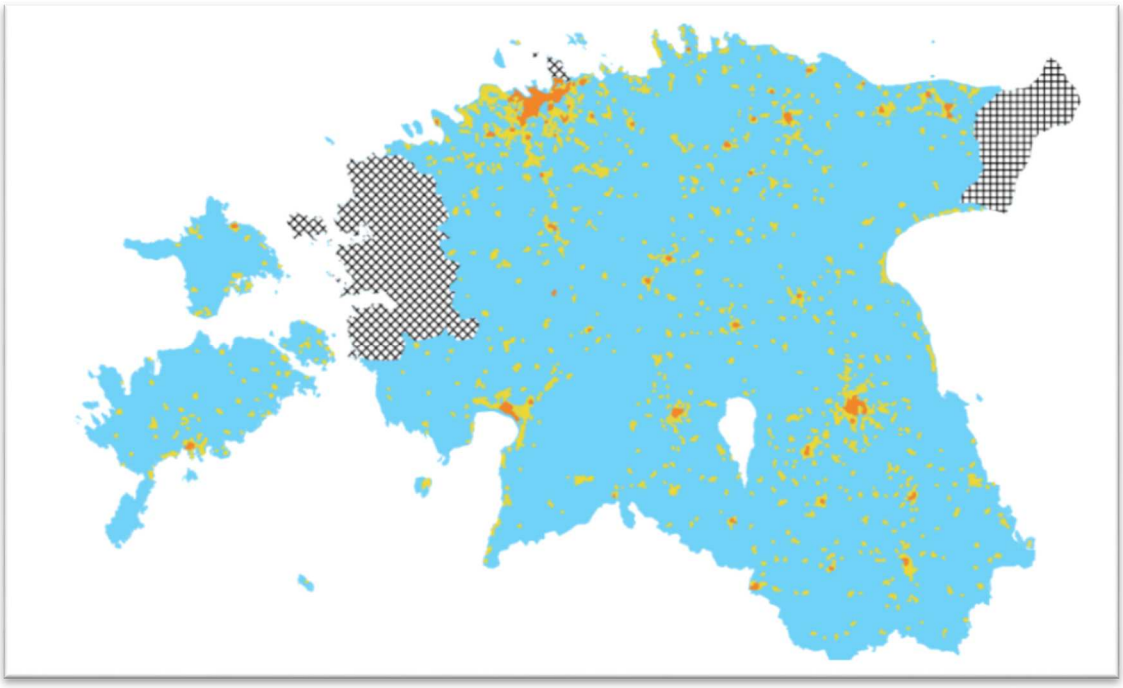
Katkestuste koguarv hajavarustuspiirkonnas moodustab nende koguarvust umbes kolmandiku ja katkestuste koguaeg 44,8 % katkestuste koguajast võrgus tervikuna. Arvestades liinide ulatust hajapiirkonnas (54,4 %), ja tarbijate suhteliselt suurt kaugust juhtimiskeskusest, samuti raskemat ligipääsetavust, oleks võinud eeldada katkestuste arvu ja kestuse suuremat osakaalu Elektrilevi kogunäitajates. Suhteliselt väiksemad näitajad on seletatavad suure hulga tarbimiskohtade olemasoluga, kus puudub praktiliselt või täielikult tarbimine. Elektrilevi andmeil on selliseid tarbimiskohti ca 40000. Tõenäoliselt jäävad selliste tarbimiskohtade katkestused paljudel juhtudel registreerimata.

Tabel 2.1. Varustuskindluse piirkondade koondnäitajad seisuga oktoober 2014

	Piirkond	**Ülitihe**	**Tihe**	**Kesktihe**	**Haja**	**Asustamata**	**Kokku**
Piirid	klienti·GWh/km^4	≥ 400000	2000 <… ≤ 400000	≤ 1…<2000	< 1		
Pindala	km²	4,68	188	3 148	19 065	4 685	27 090
Kodutarbijad	tk	35 171	215 515	166 258	74 824	0	491 768
Põllumajandustarbijad	tk	0	18	1 910	2 538	0	
Tööstustarbijad	tk	48	1 390	4 649	1 405	0	7 492
Teenindustarbijad	tk	14 413	80 795	37 508	4 461	0	137 177
Tarbijaid kokku	tk	49 632	297 718	210 325	83 228	0	640 903
Kodutarbimine	GWh	153	1 122	926	209	0	2 411
Põllumajandustarbimine	GWh	0	1	90	26	0	117
Tööstustarbimine	GWh	6	227	296	20	0	550
Teenindustarbimine	GWh	189	2 028	1 330	34	0	3 581
Aastaenergia kokku	GWh	348	3 378	2 643	289	0	6 659
Liitumispunktide võimsus	MW	486	4 079	3 983	1 239	0	9 787
Kliendikatkestuste arv (2012)	tk	18 191	248 208	611 389	470 426	0	1 348 214
Kliendikatkestuste kogukestus (2012)	min	1 025 556	14 229 670	54 777 564	58 381 948	0	128 414 738
SAIFI	katkestust	0,367	0,834	2,907	5,652	0	2,104
SAIDI	min	21	48	260	701	0	200
KP õhuliin	km	0	45	3 717	10 442	1 876	16 080
KP isoleeritud juhtmega õhuliin	km	0	16	364	847	134	1 360
KP maakaabel	km	155	1 977	2 529	2 210	592	7 464
KP kokku	km	155	2 038	6 610	13 500	2 602	24 904
MP õhuliin	km	1	110	2 286	8 785	330	11 511
MP õhukaabel	km	2	1 179	4 495	7 154	150	12 979
MP maakaabel	km	228	2 633	3 559	2 594	75	9 088
MP kokku	km	231	3 923	10 340	18 532	554	33 579
Komplekt AJ	tk	42	1 282	4 340	5 365	185	11 214
Mast AJ	tk	0	37	2 109	6 061	156	8 363
Kiosk AJ	tk	121	1 193	1 490	308	14	3 126
AJ hoones	tk	41	323	203	27	2	596
AJ kokku	tk	204	2 835	8 142	11 761	357	23 299

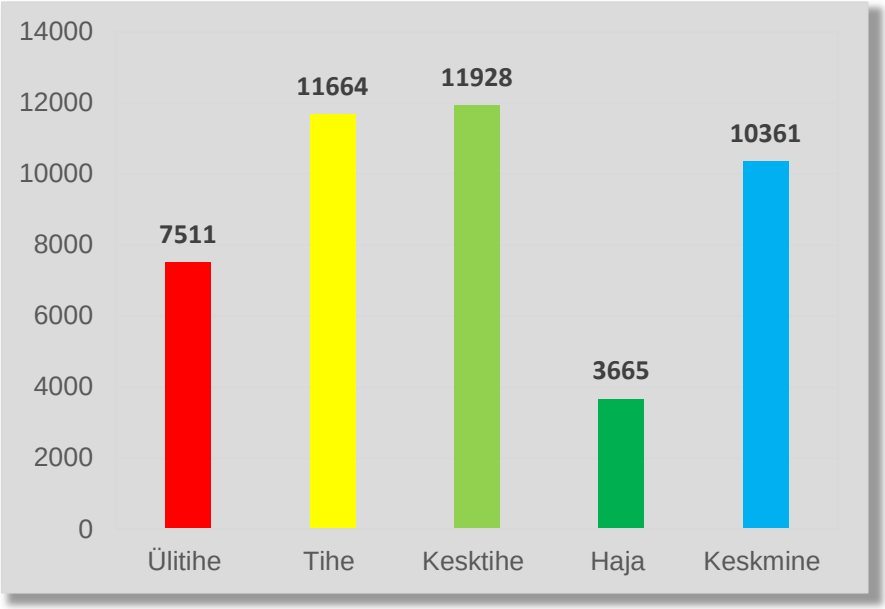


Joonis 2.2. Varustuskindluspiirkondi iseloomustavad protsentuaalsed koondnäitajad



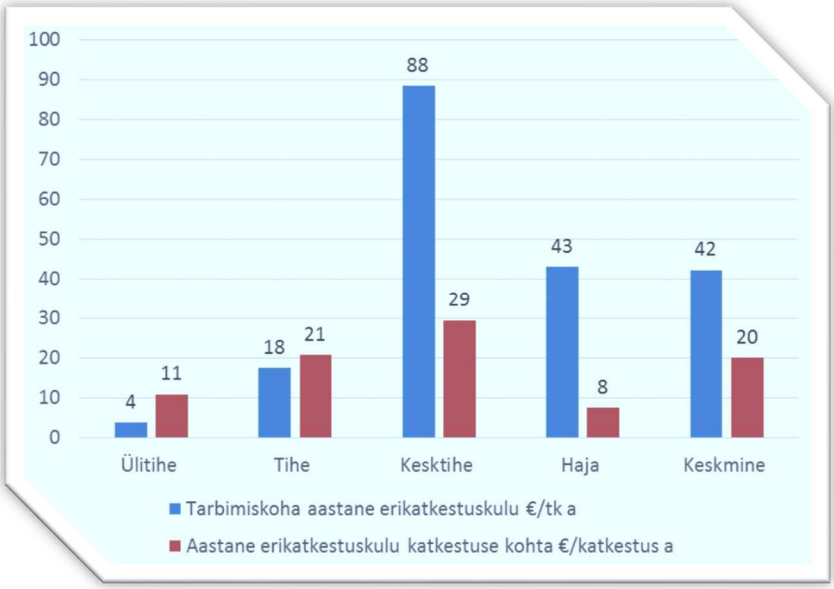
Joonis 2.3. Sinisel territooriumil paikneb 60% ELV võrgust, aga ainult 13 % klientidest, kes tarbivad 4% võrku läbivast elektrist

Hajavarustuspiirkonda iseloomustab tarbimiskoha madal eritarbimine – moodustab umbes kolmandiku võrgu keskmisest – vt joonis 2.4.



Joonis 2.4. Tarbimiskoha aastane eritarbimine kWh/tarbimiskoht

Joonis 2.5 illustreerib aastaseid erikatkestuskulusid ühe tarbimiskoha ja ühe katkestuse kohta. Ühe katkestuse keskmine kulu hajavarustuspiirkonnas on tunduvalt väiksem, kui võrgus tervikuna, samas kui kulu tarbimiskoha kohta on enam-vähem võrdne kogu võrgu keskmise näitajaga.

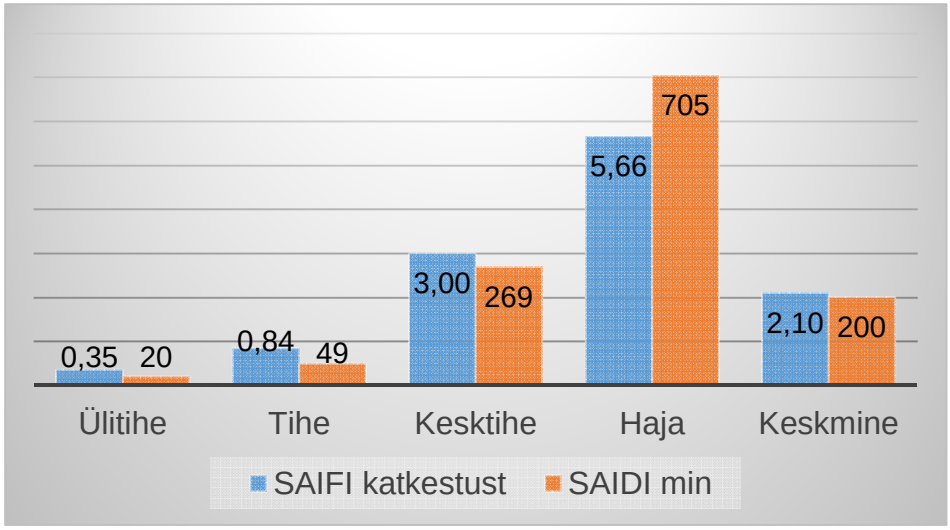


Joonis 2.5. Erikatkestuskulu tarbimiskoha ja katkestuse kohta

Katkestuskulu /*outage cost*/ all mõistame antud võrgu või tema osa toitepiirkonda ühendatud klientide katkestustest tingitud (eeldatav) aastane kogukahju. Katkestuskahju /*interruption cost*/ on katkestuse tulemusel andmata jäänud toodangu, riknenud materjalide ja seadmete maksumus, saamata jäänud müügitulu, jms. Katkestuskahju pole küll täpselt võrdne töökindluse väärtusega, kuid on selle piisavaks asendajaks. Erikatkestuskulu on keskmine katkestuskulu nt ühe tarbimiskoha, ühe katkestuse vms kohta.

Arvestades tarbimise tagasihoidlikku kasvu, on Eesti elektrivõrk selle rahuldamiseks piisav. Samas on 1970/1980. aastatel ehitatud piirkondlikud võrgud rajatud arvestusega, et suur kogus elektrit tarbitakse maal endiste ühismajandite keskustes. Tegelikkuses rändab rahvastik Tallinnasse, Tartusse, Pärnusse; tööstus on suuresti kontsentreeritud Ida-Virumaale. Riigis tervikuna on võrkude edastusvõimsust piisavalt. Samas majandusgeograafiliste muudatuste tõttu ollakse sageli fakti ees, et võrk on ühes kohas, elektritarbijad aga teises. Maapiirkondades pole tarbijate varustamiseks enam senise suurusega elektrivõrku vaja, samas vajab eelkõige Tallinna ja selle lähiümbruse võrk tugevdamist. On vaja jätkuvalt elektrivõrku optimeerida, et ühiskonna kogukulud võrgu ehitamisel ja hooldamisel oleks võimalikult väikesed. Piltlikult öeldes tuleb hakata teatud kohtades elektrivõrku „kokku rullima“ ja teistesse kohtadesse seda juurde ehitama [Eesti elektrisüsteemi…2014].

Ülaltoodust nähtub, et töökindluse seisukohalt on olukord ülitihe- ja tihevarustuskindluspiirkonnas küllalt hea. Katkestuste arv nendes piirkondades moodustab viiendiku koguarvust ja katkestuste summaarne kestus umbes kaheksandiku kogukatkestusajast, samal ajal kui neis piirkondades on üle poole klientidest ja nad tarbivad tunduvalt üle poole võrgu väljastatavast energiakogusest. Nende piirkondade varustuskindluse näitajad SAIFI ja SAIDI (vt joonis 2.6) on samal tasemel enamiku Euroopa riikide vastavate näitajatega, s.h Soome ja Rootsi linnavõrkude omaga [CEER Benchmarking…2014].



Joonis 2.6. Varustuskindluspiirkondade töökindlusindeksid SAIFI ja SAIDI 2014. a

Praktiliselt kõik liinid neis piirkondades on viidud maakaablisse (ca 78 %) või on õhukaablite või kaetud juhtmetega (19 %). Paljasjuhtmetega liinide osakaal on alla 3 %. Tänu heale töökindlusele moodustas 2012. aasta katkestuskahju nende võrkude piirkondades alla viiendiku kogu katkestuskahjust. Seega on vaadeldavates piirkondades ülesandeks eelkõige saavutatud töökindluse säilitamine põhitegevusena, s.h vananenud seadmete rekonstrueerimise või asendamise teel. Rikkesageduse (SAIFI) edasise vähendamise põhiteeks on ennetava hoolduse efektiivsuse tõstmine ning seadmete ja personali väärtoimimiste vältimine. Lähtuvalt üleriigilise planeeringu eesmärkidest tuleb neis piirkondades kogu võrk viia maakaablisse [Üleriigiline…2013]. Vähendamaks kaabli rikkeid kaevetöödel tuleb maksimaalselt lihtsustada ja kiirendada kaevetööde kooskõlatusi kaabli valdajaga. Rikete kestus (SAIDI) on vähendatav eelkõige katkenud toite taastamiskiiruse tõstmise teel. Rikete mõju ulatuse (katkestatud klientide arvu) vähendamiseks tuleb täiustada võrgu konfiguratsiooni koos vastava releekaitse ning automaatika rakendamisega (mitmepoolne toide, sektsioneerivad lahk- ja taaslülitid). Ülitiheda ja tiheda varustuskindluse piirkonnad oleksid soodsad tarkvõrkude arendamiseks. Arvestades töökindluse indeksite juba

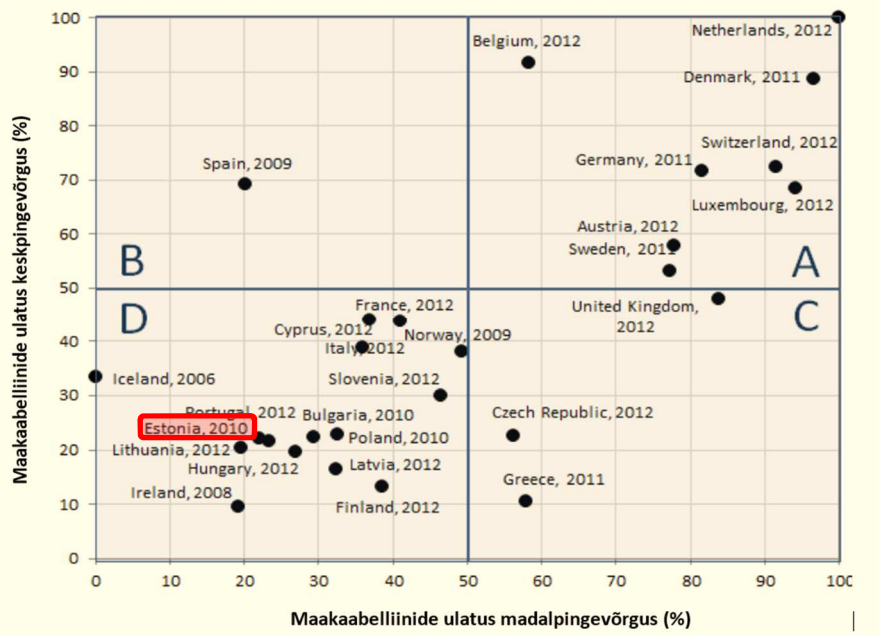
suhteliselt kõrget taset neis piirkondades pole nende edasisel tõstmisel eriti märgatavat mõju võrgu kui terviku näitajatele.

Töökindluse näitajate otsustavaks tõstmiseks kogu võrgu ulatuses peab ELV pöörama põhitähelepanu kesktihe- ja hajavarustuspiirkonnale. Seejuures on ühiskondlikust aspektist just kesktihepiirkonna katkestuskulul suurim mõju ühiskondlikele kogukuludele (vt joonis 2.2). Seetõttu on ELV kesktihepiirkonna üldine arendamise strateegia üsnagi selge – just sellesse, mille koguulatus ületab märgatavalt ülitihe- ja tihepiirkonna oma, tuleb teha olulisi investeeringuid, muutmaks piirkonna varustuskindluse võimalikult ilmastikukindlaks. Eelkõige on kesktihepiirkonnas, kus tänase seisuga on maakaabelliine ainult 34 % ulatuses, paljasjuhtmetega õhuliinide osakaal moodustab aga 39 %, päevakorras ulatuslik õhuliinide asendamine maakaabelliinidega.

Arvestades varustuskindluspiirkondade erinevat iseloomu, on oluline kehtestada teiste riikide, s.h Soome eeskujul erinevad töökindlusalased normid ja stiimulid erinevatele piirkondadele [Hesmondhalgh…2012].

2.2 Hajavarustuspiirkonna probleeme

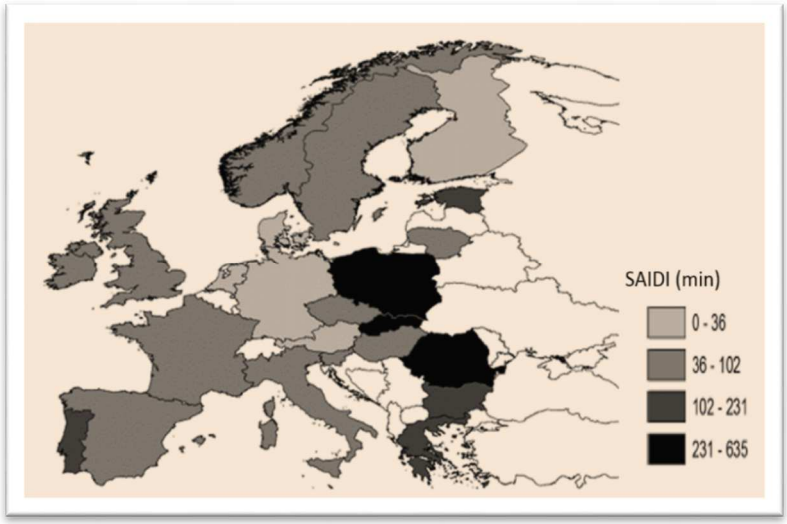
Võrkude arendamisel hajavarustuspiirkonnas on kerkinud üles keerulised ülesanded. ELV hajavarustuspiirkonna jaotusvõrk koosneb põhiliselt õhuliinidega ja lühikeste kaabelliini lõikudega teostatud radiaalfiidritest. Paljasjuhtmetega õhuliinide osakaal on 63 %, maakaabelliinide oma aga ainult 14 %. Just õhuliinide suur osakaal hajapiirkonnas (86 %), aga ka kesktihepiirkonnas (66 %) tingib suurel määral Eesti jaotusvõrkude paiknemise Euroopa Liidu liikmesmaade rühmitumises liinide iseloomu järgi suhteliselt madalal kohal – vt joonis 2.7. Soomes läbiviidud uuringud on näidanud, et oluline varustuskindluse muutus leiab aset siis, kui maakaabli osakaal võrgus on tõusnud 75-80 %ni.



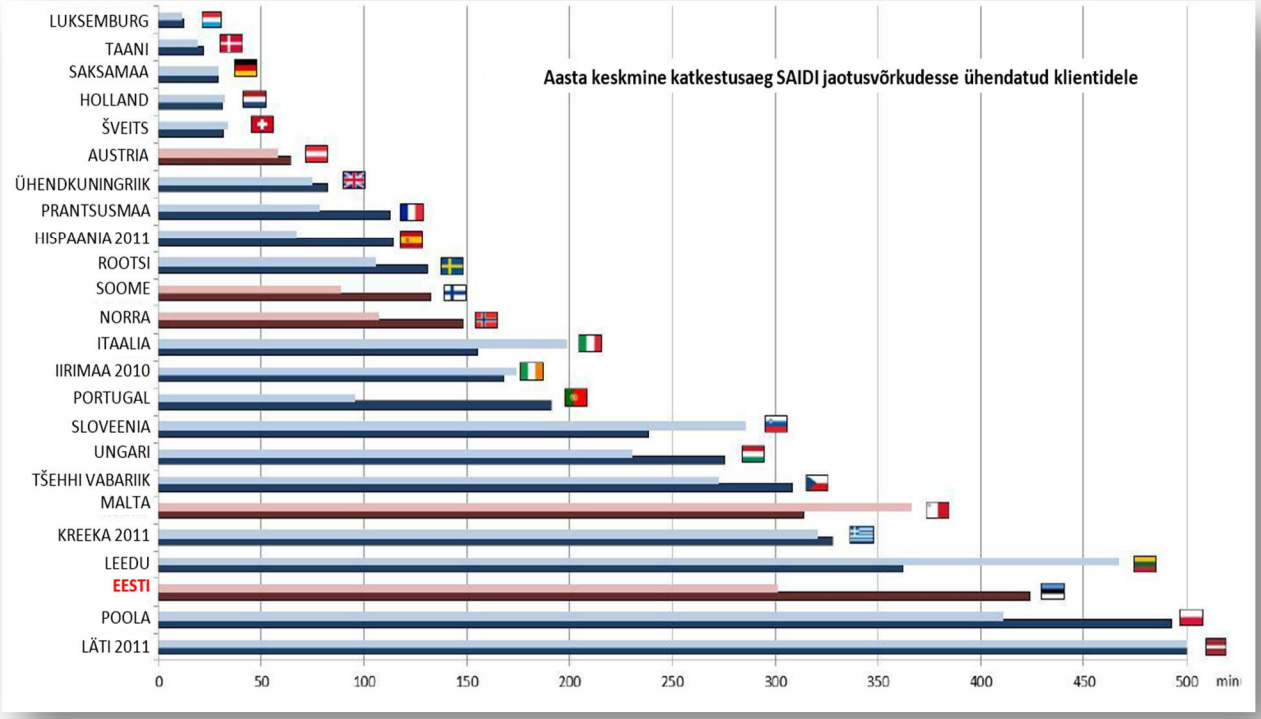
Joonis 2.7. Euroopa Liidu riikide rühmitumine jaotusvõrgu liinide iseloomu järgi
Allikas: [CEER Benchmarking…2014]

Eesti töökindluse näitajate suhteliselt madal tase on osaliselt tingitud madalast klienditihedusest ja ebasoodsast võrgu topoloogiast suurel osal territooriumist. Hajavarustuspiirkonna ja osaliselt ka kesktihepiirkonna töökindluse näitajad põhjustavad Eesti liigitumise EL liikmesriikide hulka, kus

katkestuskestus on suhteliselt suur – 188 min (joonised 2.8 ja 2.9), mis on seletatav asjaoluga, et Elektrilevi OÜ elektrivõrgud on olnud aastaid alainvesteeritud [Aruanne…2014].



Joonis 2.8. Euroopa Liidu liikmesriikide liigitumine SAIDI väärtuse järgi 2009. a
Allikas: [Schmidthaler…2013]



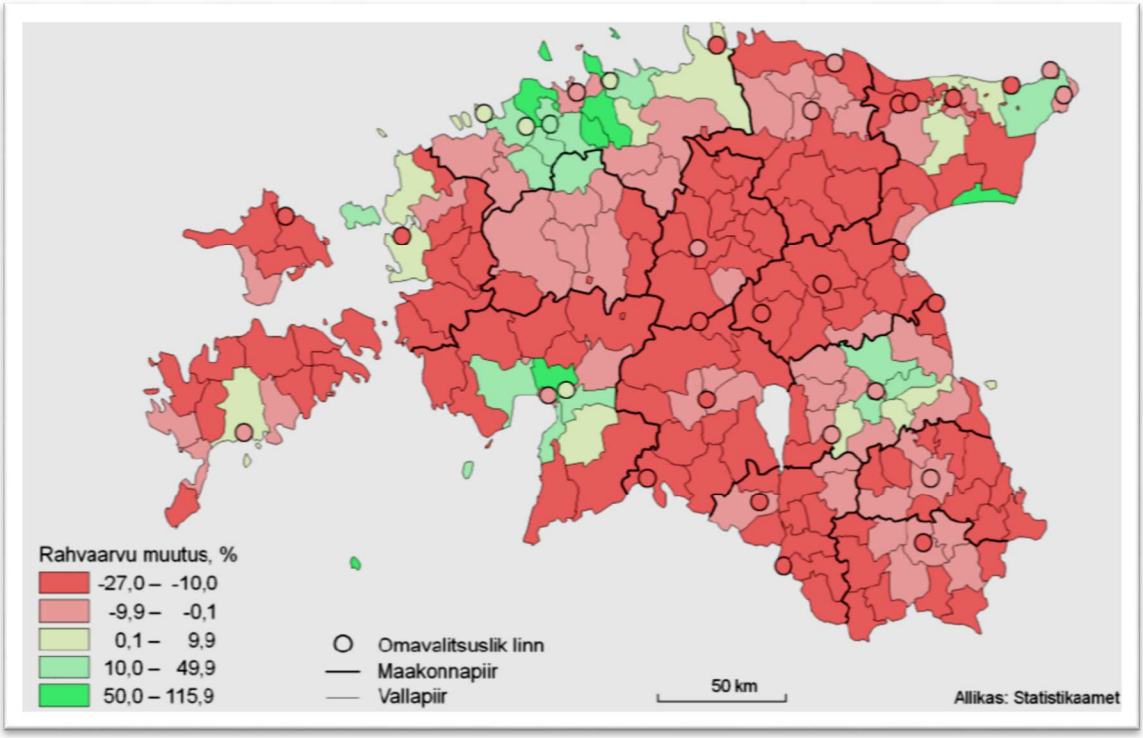
Joonis 2.9. Aasta keskmine katkestusaeg SAIDI jaotusvõrkudesse ühendatud klientidele
Ühtlustatud summaarne SAIDI madalpinge klientidele, arvestades kõiki katkestusi kõigil pinge-astmeil, k.a plaanilised ja erakordsetest sündmustest põhjustatud katkestused:
aastal 2012; aastate 2008-2012 keskmine.
Ühtlustamata summaarne SAIDI madalpinge klientidele, arvestatud kõiki katkestusi, v.a madalpingevõrgu juhtumeist põhjustatud: aastal 2012; aastate 2008-2012 keskmine.
Allikas: [CEER Benchmarking…2014]

Madala klienditiheduse ja suurele kaugusele edastatavate energiakoguste väiksuse tõttu ei ole hajapiirkonna elektrivarustus suures osas kasumlik, ka on võrgukaod suhteliselt suured.

Et vähendada jaotusvõrguettevõtte kulusid, tuleb paljude maade eeskujul lubada hajavarustuspiirkonnas suuremaid pingekadusid ja keskmisest madalamat töökindluse nivood. Teiste maade kogemustel aktsepteerivad seda nii kodumajapidamised kui äriettevõtted.

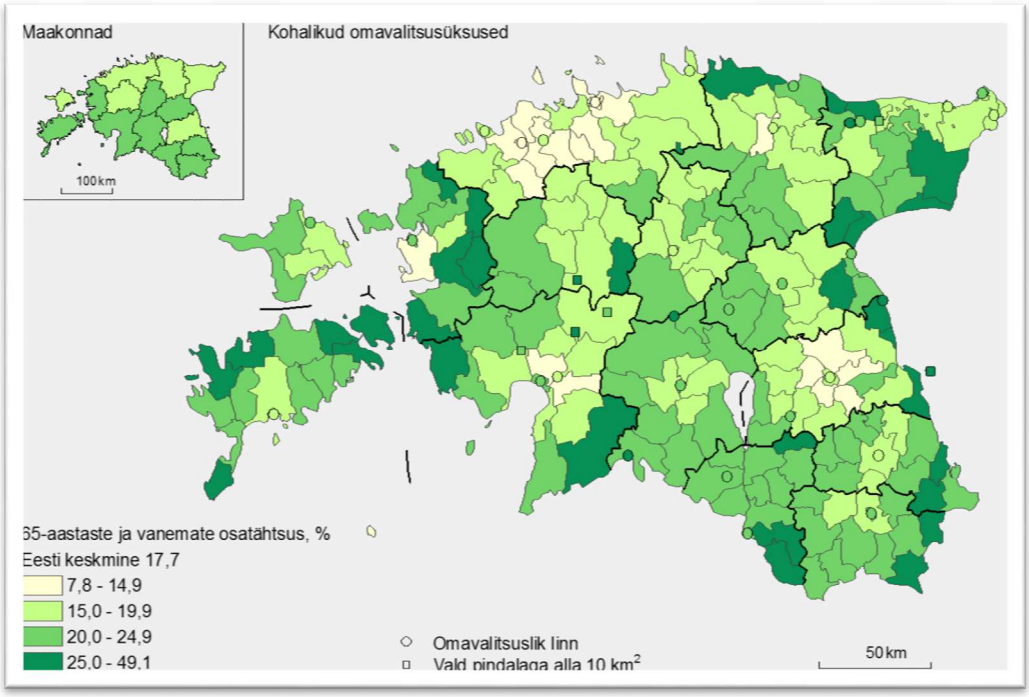
Arvestades hajavarustuspiirkonna madalaid töökindluse näitajaid ning suure osa liinide suurt tööiga, seisab Elektrilevi silmitsi vajadusega reinvesteerida nimetatud piirkondade elektrivõrkudesse. Tekib võimalus rakendada uuemaid kuluefektiivsemaid ja samas töökindlamaid jaotusvõrgu kontseptsioone, võrreldes olemasoleva võrguga. See osutub võimalikuks tänu uutele võrgu komponentidele ja süsteemidele, nagu kaugjuhitavad taaslülitid (reklouserid), multifunktsionaalsed programmeeritavad digitaalreleed, uudsed madalama kuluga piirkonnaalajaamade lahendused, arvestite automaatne kauglugemine ja uued infosüsteemid.

Samas on nende piirkondade, kui peamiselt ääremaade, võrkude arendamine seotud oluliste investeerimisriskidega. Rahvastikuprognoosid näitavad, et Eestis on vananemine vältimatu protsess. Rahvastiku vananemise ja rahvaarvu mõõduka kahanemise foonil jätkub tõenäoliselt aeglane linnastumine ja valglinnastumine maaelanikkonna kahanemise arvel – vt joonis 2.10.



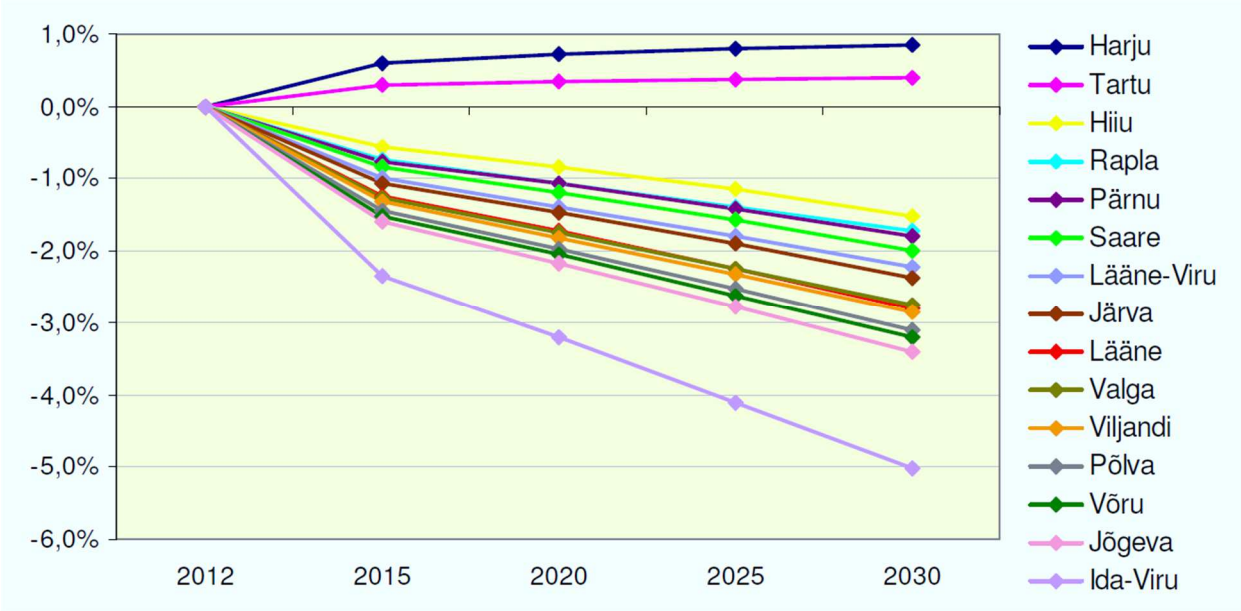
Joonis 2.10. Rahvaarvu muutus 2010. aastal võrreldes 2000. aastaga

Joonis 2.11 illustreerib vähemalt 65-aastaste osatähtsust rahvastikus:



Joonis 2.11. Vähemalt 65-aastaste osatähtsus rahvastikus
Allikas: [Tiit…2013]

Töös [Rahvastiku…2012] toodud rahvastikuprognoosi kõik kolm stsenaariumit näitavad Eesti elanike arvu vähenemist ja vananemist aastatel 2012-2030. Riigisiseselt toimub elanike arvu muutumine erineva kiirusega. Näitena on joonisel 2.12 toodud rahvaarvu muutumise prognoos maakonniti baasstsenaariumi puhul.

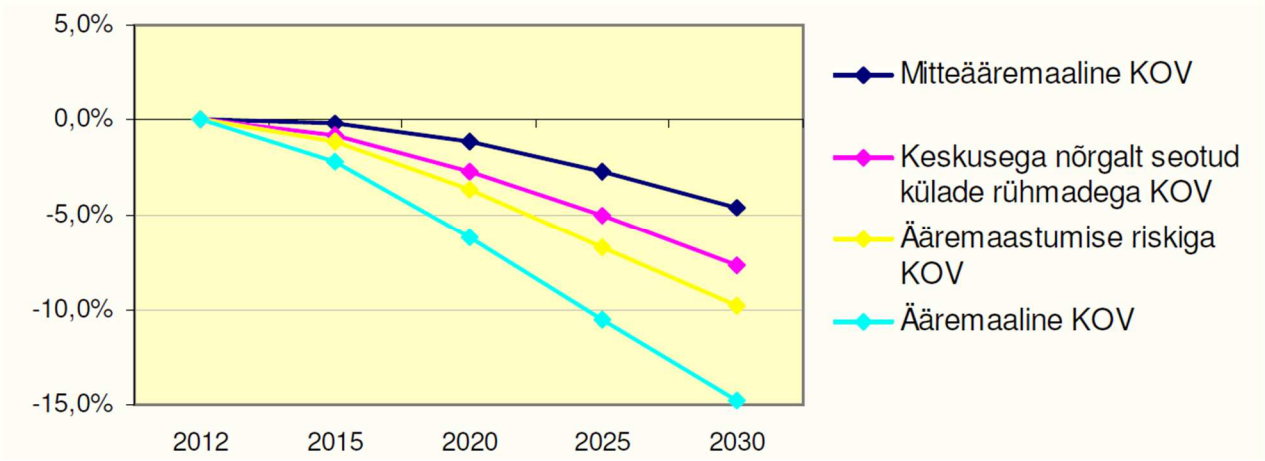


Joonis 2.12. Rahvaarvu prognoos maakonniti, baasstsenaarium
Allikas: [Rahvastiku…2012]

Nagu näha, on paremas seisus rahvastiku olukord Harjumaal ja Tartumaal. Suhteliselt paremas seisus järgnevad Raplamaa, Pärnumaa ja Lääne-Virumaa. Ülejäänud maakondi iseloomustab selgelt

negatiivne rahvastikuareng – elanike arvu keskmisest kiirem kahanemine ja eakate osakaalu suurenemine. Aastatel 2012-2030 süveneb negatiivne rahvastikuareng ennekõike Ida-Virumaal, Jõgevamaal ja Lääne-Eesti maakondades - Läänemaal ja Hiiumaal.

Rahvastiku arengu trendide erinevused ilmnevad ka kohalike omavalitsuste (KOV) ääremaastumise taseme lõikes. Prognoosi kohaselt väheneb elanike arv ääremaastunud omavalitsusüksustes ligi kaks korda kiiremini kui ääremaastumisriskiga kohalikes omavalitsustes. Omavalitsusüksustes, kus on keskusega nõrgalt seotud külade rühmad, väheneb rahvastik aeglasemalt – vt joonis 2.13.



Joonis 2.13. Rahvastiku prognoos omavalitsusüksuste ääremaastumise taseme alusel, baasstsenaarium. Allikas: [Rahvastiku…2012]

Maakonnakeskustest kaugemal paiknevad ääremaalised ja ääremaastumise riskiga kohalikud omavalitsused kaotavad elanikke kõigis maakondades.

Maapiirkondadest jätkub noorte väljaränne, linnadest pöörduvad põhiliselt tagasi eakamad, kui sedagi. Eakate osakaal suureneb kõige kiiremini Ida-Virumaal ja Läänemaal. Eestis on välja kujunenud selgepiiriline hierarhiline asustussüsteem [Üleriigiline…2013]. Tugev ja end taastootev asustushierarhia toob endaga kaasa investeeringute mehaanilise suunamise kõrgemal positsioonil olevatesse keskustesse, kus keskne asend ja suurus on põhiargumentideks. Selline hierarhia jätab piirkonnad väljaspool suuremaid keskusi otseselt sõltuvaks riigi kui terviku (majanduslikust) käekäigust. Jäiga hierarhia kaasnähtuseks – üldise rahvaarvu vähenemise taustal – on ulatuslik ääremaastumine ning linnalähedaste ja linnadest kaugel olevate piirkondade vahel laienev lõhe töökohtade ja teenuste kättesaadavuse ning sotsiaalmajandusliku heaolu osas. Elanike arvu kahanemine ääremaadel halvendab teenuste kättesaadavust ja elukvaliteeti. Sellised suundumused mõjutavad negatiivselt majanduse kasvuvõimalusi. Seega valitseb ääremaadel, s.t hajavarustuspiirkonnas, taandarengu oht ja elektrivõrgu koormuste negatiivse trendi perspektiiv. Seetõttu on kesktihepiirkonna arendamisel väga oluline põhjalikult analüüsida piirkonna võimalikke majanduslikke ja demograafilisi arenguid nii lähemas kui kaugemas tulevikus.

Võrreldes valdava osa Eesti jaotusvõrgu esmase ehitamise ajaga on tarbimiskoormuste asukohad ja suurused oluliselt muutunud. Põhjusteks on endiste kolhoosikeskuste taandareng, üksikmajapidamiste hääbumine maapiirkondades, linnalähedaste suvilate massiline kasutusele võtmine aastaringsete elukohtadena, tööstusettevõtete ümberpaiknemine jms. Muutumas on ka elektritootmise asukohad ja struktuur. Sellest tulenevalt on tekkinud just hajavarustuspiirkonnas palju võrgu osi, kus edastamisteenuse maht on väike ja mis on alakasutuses ning kus tarbijatega sõlmitud võrgulepingutes fikseeritud võrguühenduste läbilaskevõime ei vasta tihti tegelikele vajadustele.

Võrgutasu muutuvkomponendi suur osakaal vähendab elektrienergia mikro- ja väiketootmise mahu kasvades oluliselt võrguettevõtja tulubaasi, mis omakorda raskendab varustuskindluse tagamist.

Kahjuks pole praegusel ajal kõigile ühiskonnaliikmetele tagatud võrdsed võimalused põhivajaduste rahuldamiseks. Tugevate mitmetasandiliste koondumisprotsesside tulemusel on ohustatud haja-asustuse kui Eesti kultuuriloolise pärandi säilimine kestliku elukeskkonnana. Peamiste teenuste kättesaadavus hajaasustuspiirkonnas on viimasel kümnendil halvenenud. Väikeasulates on sageli halvem ka pakutava teenuse, s.h elektrivarustuse kvaliteet. Suur võrgumaht ühe kliendi kohta tähendab suuremat rikete tõenäosust.

Samas tuleb vältida Eestis tekkimast uusi piirkondi, kus puudub püsiasustus. Kestlik ja usaldusväärne energiasüsteem, s.h hästitoimiv jaotusvõrk, tagab majanduse ja igapäevaelu tõrgeteta toimimise. Kvaliteetse ja vastuvõetava hinnaga energia kättesaadavus kindlustab ettevõtluse arengu ja inimeste elamisvõimalused igal pool Eestis.

Hajaasustuse probleemide kõrvaleheitmine võib ajutiselt kulutusi kokku hoida, kuid kaotab see-eest Eesti maastikulise eripära ning hävitab poollooduslikud kooslused

Hajaasustuse tingimustes on oluline sobivate võrguteenuste valik. Hajaasustuses tuleb arvestada, et kulutused elektrivarustuse korrashoiule inimese kohta on kõrged.

2.3 Hajavarustuspiirkonna võrguinvesteeringute eesmärgid ja kriteeriumid

Arvestades ülal öeldut, on käesoleva töö eesmärgiks vaadelda hajavarustuspiirkonna võrgu erinevaid arengustrateegiaid ja välja pakkuda nende valiku metoodika lähtuvalt nimetatud piirkonna valdava taandarengu ja võrgu suureneva alakasutuse riskidest, tagades samal ajal klientidele nõuetele vastava kvaliteediga võrguteenuse optimaalsete hindade juures. Määratletakse hajavarustuspiirkonna sobivaimad võrguskeemid ja reserveerimise vajadus, arvestades olemasoleva võrguga. Nähakse ette lisaks maa- ja õhukaabli kasutamisele ka olemasolevate õhuliinide eluea pikendamist ja ilmastikukindluse suurendamist. Probleeme käsitletakse hajavarustuspiirkonna erinevate võimalike arengustsenaariumide puhul.

Oluline on teha valikud varustuskindluse tagamiseks ja suurendamiseks ning võrkudesse investeerimiseks piisavalt läbipaistvate ja ühiskonna kui terviku suhtes võimalikult mõistlike kriteeriumide alusel. Arvestades hajavarustuspiirkonna arengutrendide määramatust, tuleks ELV finantsriskide vähendamiseks maksimaalselt ära kasutada olemasoleva võrgu ressurss ja hooldusning remonditöödega võimalikult pikendada olemasolevate liinide ja alajaamade eluiga. Samast lähtudes tuleks eelistada investeeringuid pigem lihtsatesse, ökonoomsetesse ja eluea poolest piirkonna taandarengut ning kasutuse vähenemist arvestavatesse tehnilistesse lahendustesse.

Samas tuleb hajapiirkonnas olulise kriteeriumina arvestada ilmastikukindlust, kuna tegemist on enamuses keskustest kaugel asuvate pikkade, sageli metsavaheliste liinidega, mille hooldamine ja rikete ning tormide kahjude likvideerimine on seotud märkimisväärsete kuludega. Ilmastikukindlus omakorda tuleks saavutada vastuvõetavate kuludega.

Õhuliinide edasine üleviimine maakaabelliinidesse võimaldaks oluliselt parendada jaotusvõrkude ilmastikukindlust, kuid see nõuab märksa suuremaid investeeringuid, kui praegune võrgutasude suurus võimaldaks. Sellises olukorras toimub olemasolevate õhuliinide üleviimine maakaablitesse ainult siis, kui tekib vajadus liine loomulikust vananemisest tingituna uuendada. Sellise strateegia puhul kasvab maakaablite osakaal ligikaudu 2,5 % aastas. Soomes läbiviidud uuringud on näidanud, et oluline varustuskindluse muutus leiab aset siis, kui maakaabli osakaal võrgus on tõusnud 75-80 %ni. See tähendaks, et võrgu loomuliku uuendamise teel saavutatakse märkimisväärne varustuskindluse tõus Eestis 20 aasta jooksul. Samas näitab praktika, et kogu õhuliinide võrgu asendamine maakaabelvõrguga pole otstarbekas ja sageli ka võimalik. Eriti käib öeldu pikkade radiaalliinide kohta. 35 kV liinide maakaablisse viimine tuleb kõne alla nende pikkustel kuni 25 km, vastasel korral tekivad tõsised probleemid kaabli mahtuvustega. Ka üleriigiline planeering Eesti

2030+ ei näe asulavälistes piirkondades kogu võrgu viimist maakaablisse vaid märgitakse vajadust suurendada õhu- ja maakaablite osakaalu ning nüüdisajastada õhuliine [Üleriigiline…2013].

Seega on tegemist keerukate omavahel seotud eesmärkide ja lahendusvõimalustega. Muidugi tuleb töökindlusalased eesmärgid püstitada realistlikud, s.t saavutatavad mõistlike tööjõu ja materiaalsete ressursside kulutustega. Üldpõhimõtteks on, et võrku tehtavad kulutused peavad lähtuma ühiskondlikust kogukasust. Arengu plaanimisel on põhilisteks kogukasu arvetavateks kriteeriumideks ühest küljest töökindlus ja teisest küljest võrguga seotud kulud. Nende vastuoluliste kriteeriumide ületamiseks oleks põhiliseks üldise iseloomuga kaasaegseks kompromisslahenduseks võrguga seotud kogukulude minimeerimine. Kogukulud hõlmaksid investeerimis-, hoolde- ja remondikulusid, opereerimiskulusid (rikete likvideerimine, reserveerimine, automatiseerimine) ning olulise kuluelemendina ka töökindluse väärtuseks olevat ühiskondlikku katkestuskulu.

Sellisel lähenemisel on põhiraskuseks usaldusväärsete katkestuskahju hinnangute leidmine. Ühtlasi tuleb arvestada, et klientidele osutatava võrguteenuse kvaliteet peab siiski vastama riiklikult seatud nõuetele ja arvestama ühiskonnas aktsepteeritavate katkestuste ja kahjudega. Sellest tulenevalt on teiseks võimalikuks lähenemiseks võrgu investeerimis-, käidu- ja opereerimiskulude minimeerimine, arvestades töökindlust normatiivsel teel.

Siin on peamiseks probleemiks põhjendatud (mõistlikud, otstarbekad) töökindluse normid. Arvestades tarbija maksevõimet, Eesti hajaasustust, elektriehitusturu võimekust ning hinna ja kvaliteedioootuste osas täna valitsevat ebakõla, on selge, et kiirelt ja igal pool üle Eesti ei ole võrdselt hea ja tarbija ootustele vastava võrgukvaliteedi saavutamine võimalik ning tuleb teha teatud mööndusi hajapiirkonna varustuskindluse osas. Arvestama peab seejuures maakondade sotsiaalse taristu teemaplaneeringutes toodud järeldustega teenuste kättesaadavuse osas.

Seoses hajavarustuspiirkonna elektritarbimise arengute suure määramatusega ja sellest tulenevate majanduslike riskidega, käsitletakse lahenduste otsinguid hajavarustuspiirkonna erinevate võimalike arengustsenaariumide puhul. Investeeringuriske on võimalik vähendada, uurides keskpingejaotusvõrgu erinevate funktsioonide ja regulatsiooni vastastikmõju erinevatele investeerimisstrateegiatele.

Nagu öeldud, on hajavarustuspiirkonna jaotusvõrk suures osas alakasutuses. Seda soodustab oluliselt tänane valdavalt tarbitud energiakogusel põhinev võrgutasu, mille tulemusel hajapiirkonna võrkude ülalpidamist toetavad oluliselt teiste piirkondade tarbijad. Võrgutasude struktuur peab soodustama elektrisüsteemi mõistlikku kasutamist lühiajalises vaates ja toetama võrgu efektiivset arengut pikaajalises perspektiivis. Neid eesmärke saab täita, rakendades võrgutasus lisaks edastuskomponendile võimsuskomponenti.

Võrgutasude kontrolli all hoidmiseks tuleb hakata elektrijaotusvõrku optimeerima, et ühiskonna kogukulud elektrisüsteemi ehitamisel ja hooldamisel oleks võimalikult väikesed. Vajadusel tuleb seejuures arvestada Eleringi kavandatavaid põhivõrgu arendusi [Eesti elektrisüsteemi…2014]. Töös käsitletakse vajalikke muudatusi hajavarustuspiirkonna eelkõige keskpingevõrgu skeemides võrgumahu vähendamiseks reserveerivate ringtoidete lühendamise teel kaugetes piirkondades ja toidete haruliinideks ümberkujundamisega ning automatiseerimise täiustamisega. Nihe hajatootmise poole toob kaasa vajaduse võrkude lokaalseteks kohandusteks.

Võrreldakse erinevate liinitüüpide (maakaabel, õhukaabel, kaetud juhe, paljasjuhe) kasutatavust kesk- ja madalpingevõrgus investeeringute, hilisemate käidu kulude, vajaliku eluea ja ilmastikukindluse seisukohalt. Käsitletakse perspektiivi arvestamist ristlõigete valikul.

Püütakse välja töötada põhimõtted ja metoodika hajapiirkonna võrgu ja selle objektide, s.h liinitüübi valikuks sõltuvalt piirkonna arengustsenaariumist, klientidest ja nende paiknemisest, koormustest.

Määratletakse nn "abiviitega võrkude" mõiste ja selle sisu. Koostatakse suunised abikaugete võrkude rikete kõrvaldamise ühiskondlikult aktsepteeritava mõistliku prioriteetsuse määramiseks, s.h ka teenusele vastav hind kliendile.

Töös püütakse anda püstitatud eesmärkide praktilised ja ökonoomsed realiseerimise suunised, nähes ette opereerimiskulude vähenemist. Töö tulemused peaksid olema kasutatavad energeetika arengukavades ja seadusloomes, ettevõtte sisemiste eesmärkide ja plaanide koostamisel, samuti regulaatorile investeerimisvajaduste põhjendamisel järgnevatel regulatsiooniperioodidel.

2.4 Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu võimalikud arengustsenaariumid

Seoses hajavarustuspiirkonna elektritarbimise arengute suure määramatusega ja sellest tulenevate majanduslike riskidega, käsitletakse lahenduste otsinguid hajavarustuspiirkonna erinevate võimalike arengustsenaariumide puhul. Samuti võib osutuda otstarbekaks erinevate võrguosade käsitlemisel kasutada erinevaid stsenaariume. Investeeringuriske on võimalik vähendada, uurides keskpingejaotusvõrgu erinevate funktsioonide ja regulatsiooni vastastikmõju erinevatele investeerimisstrateegiatele.

Nagu öeldud, jätkub maapiirkondadest, s.h eriti hajavarustuspiirkonnast, noorte väljaränne, tagasi pöörduvad linnadest eakamad. Ühtlasi asub maale, püsivalt või perioodiliselt, elama üha enam nn „ökoinimesi“. Maapiirkondade looduslähedus võib osutuda atraktiivseks ka teatud hulgale inimestele teistest riikidest. Öeldu võib suurendada võimalusi nn „hõbedase“ majanduse teenuste arendamiseks ja selles on omad võimalused ka väiksematel asulatel [Üleriigiline…2013].

Euroopa Liidud keskkonna- ja energiapoliitika survestavad Eestit panustama taastuvenergeetika (päike, tuul, biomass, maasoojus) eelisarendamisele. Maa- ja veealade kasutuses on seetõttu prognoositavad nihked suurte tuuleparkide rajamisele rannikule ja rannikumerre. Tulevikus toodetakse märgatav kogus energiat kohalikke ressursse (s.h biogaas) kasutavates hajutatult paiknevates koostootmisjaamades. Hajusam energiatootmine ja kohalike ressursside kasutuselevõtt ning energiaühistute potentsiaali kasutamine loob pikaajalisi töökohti ka maapiirkondades. Taastuvenergia väiketehnoloogiate kasutuselevõtt parandab elamisvõimalusi ääremaade külades.

Elektriautode kasutuselevõtt avalikus sektoris võib märgatavalt suurendada elektrilisi koormusi ja elektritarbimist hajavarustuspiirkonnas. See võib suurendada ELV tulubaasi hajavarustuspiirkonnas ja vähendada finantsriske, eriti kui energia tarbimise kasvuga kaasneb ainult mõõdukas koormustipu kasv.

Vältimaks uute ilma püsiasustusega piirkondade teket, on teenuste kättesaadavuse problemaatikaga tegelenud põhjalikult maakondade sotsiaalse taristu teemaplaneeringud, mille toodud järeldusi tuleb arvestada [Üleriigiline…2013].

Arvestada tuleb energiatarbimise võimalike struktuursete nihetega ja tulevikuväljavaatega, uute ettevõtete loomise võimalusega (nagu nt Piusa klaasivabrik, kohalik saeveski vms).

Ülal öeldu põhjal võiks hajavarustuspiirkonna arengus arvestada eelkõige järgmiste võimalike elektritarbimise ja koormuse muutuste stsenaariumitega:

1. Mõõdukas (tagasihoidlik, jätkuv) tarbimise ja koormustipu kasv
2. Stabiilne tarbimine (tarbimine ja ka koormustipp ei kasva ega kahane)
3. Tarbimise taandareng (kahaneb tarbimine, võib-olla ka koormustipp)
4. Tarbimine jätkuvalt (täielikult või praktiliselt) puudub

Lisaks võib üksikutes piirkondades toimuda tarbimise ja koormustipu hüppeline kasv tänu uue ettevõtte rajamisele. Selline areng peaks selguma eelkõige kohalikest arengukavadest ja/või liitumisaotlustest.

Võrgu plaanimise seisukohalt on esmase tähtsusega koormustipu areng, kuna just koormustipp määrab ära võrgu vajaliku läbilaskevõime, seega juhtmete ja kaablite ristlõiked, trafode võimsused jms.

Arvestades hajavarustuspiirkonna erinevate osade (fiidrite, fiidri sektsioonide, tüviliinide, haruliinide toitepiirkonnad) erinevaid võimalikke tuleviku väljavaated, võib osutuda otstarbekaks kasutada nende käsitlemisel erinevaid, rohkem tõenäolisi stsenaariume.

On selge, et kõik toodud arengud on juhusliku iseloomuga, suuresti määramatud nii ulatuselt kui ajaliselt. Ühe või teise stsenaariumi realiseerumise tõenäosust mõjutavad järgmised peamised tegurid või asjaolud:

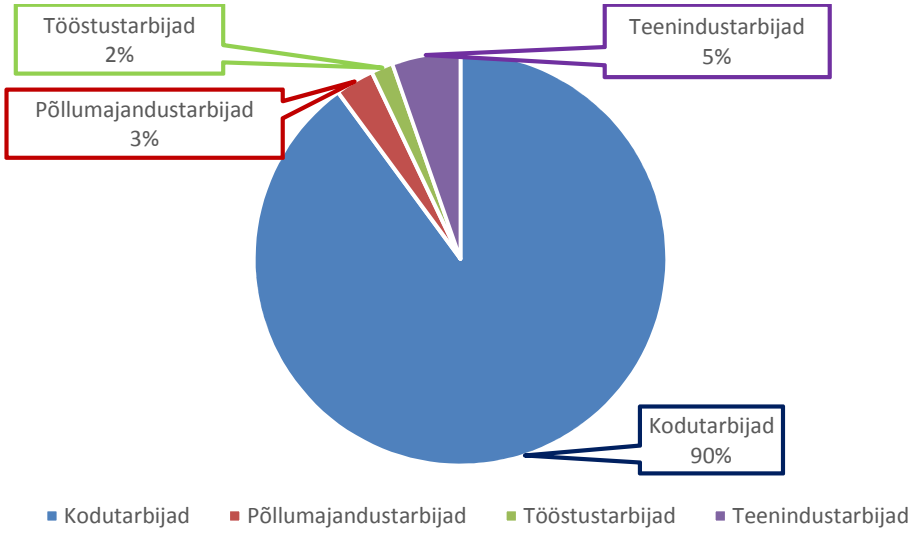
- Tarbimise ja koormustipu trend viimase 3…5 aasta jooksul;
- Koormusteguri (või koormustipu aja) suurus ja trend viimase 3…5 aasta jooksul;
- Hõbemajanduse arendamise võimalus (määratud põhiliselt looduslike tingimustega - mere, järve, jõe lähedus, metsa olemasolu jms);
- Taristu olukord (asulate, teede lähedus, veevarustus, maaparandus);
- Olemasolevate rajatiste (hooned, piirded jms) seisukord;
- Kohaliku majanduse, ettevõtluse võimalused, s.h koolide, lasteaedade, pangaautomaatide jms lähedus;
- Maakonna, üld- ja detailplaneeringud (viimased on aluseks maakasutusele ja lähiaastate ehitustegevusele);
- Liitumistaotlused.

Analüüsides toodud faktoreid, oleks võimalik konkreetse hajavarustuapiirkonna jaoks omistada igale stsenaariumile tema realiseerumise hinnangulise tõenäosuse.

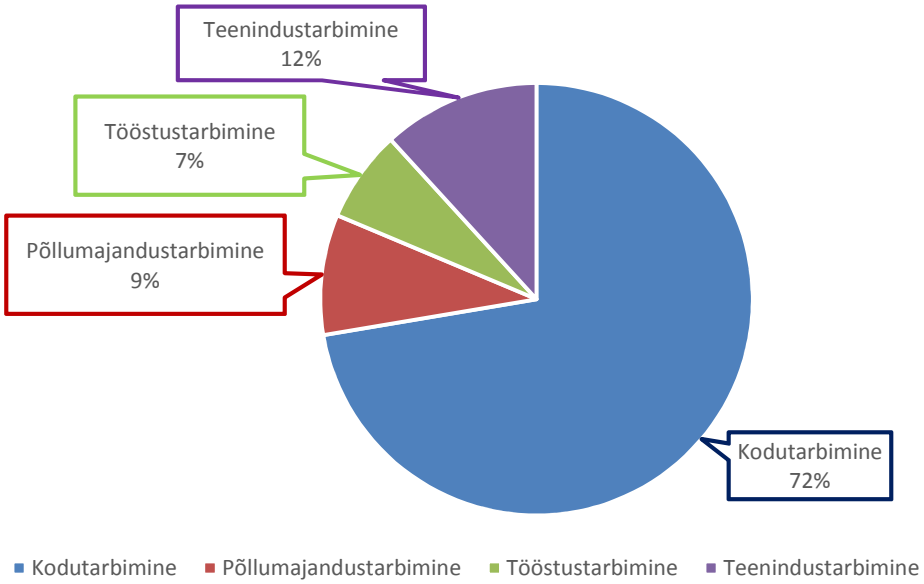
3. HAJAVARUSTUSPIIRKONNA OLUKORRA HINNANG

3.1 Üldist

Järgnevad joonised 3.1…3.3 illustreerivad mõningaid hajapiirkonda iseloomustavaid protsentuaalseid näitajaid: tarbijate koosseisu, tarbimise jagunemist ning liinide ja alajaamade jagunemist. Vastavad näitajad absoluutarvudes võib leida tabelist 2.1.



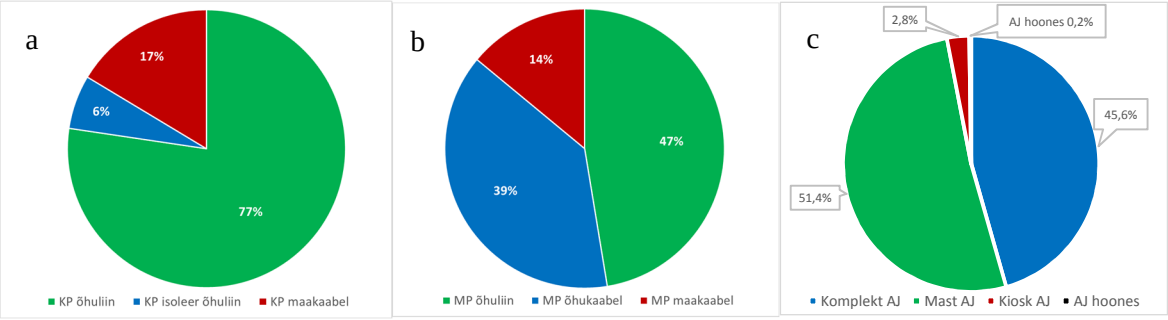
Joonis 3.1. Hajatarbijate protsentuaalne koosseis



Joonis 3.2. Hajatarbimise protsentuaalne jagunemine

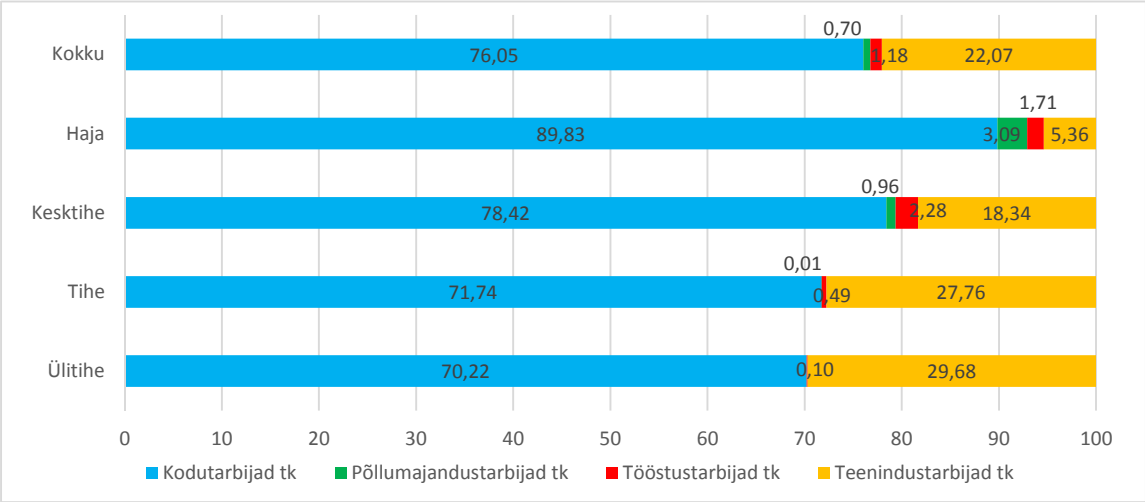
Nagu näha, on hajavarustuspiirkonnas rõhuvas enamuses kodutarbijad, seda nii arvult kui tarbimiselt. Ülejäänud tarbimissektorite osakaal on väike.

Elektriliinidest prevaleerivad, eriti keskpingel, paljasjuhtmetega õhuliinid. Madalpingel on küllalt suur osakaal ka õhukaablitel. Alajaamadest on ootuspäraselt ülekaalus komplekt- ja mastalajaamad.

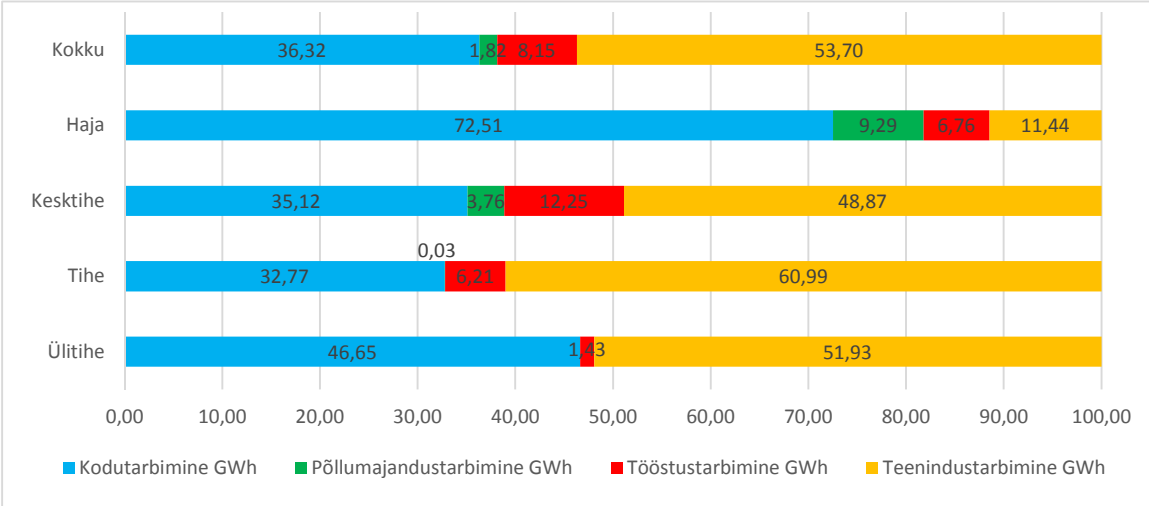


Joonis 3.3. Keskpingeliinide (a), madalpingeliinide (b) ja KP/MP alajaamade (c) protsentuaalne jagunemine hajavarustuskindluspiirkonnas

Huvi võiks pakkuda ka erinevate sektorite tarbijate ja tarbimiste protsentuaalne jaotus varustuskindluspiirkondades – vt joonised 3.4 ja 3.5.



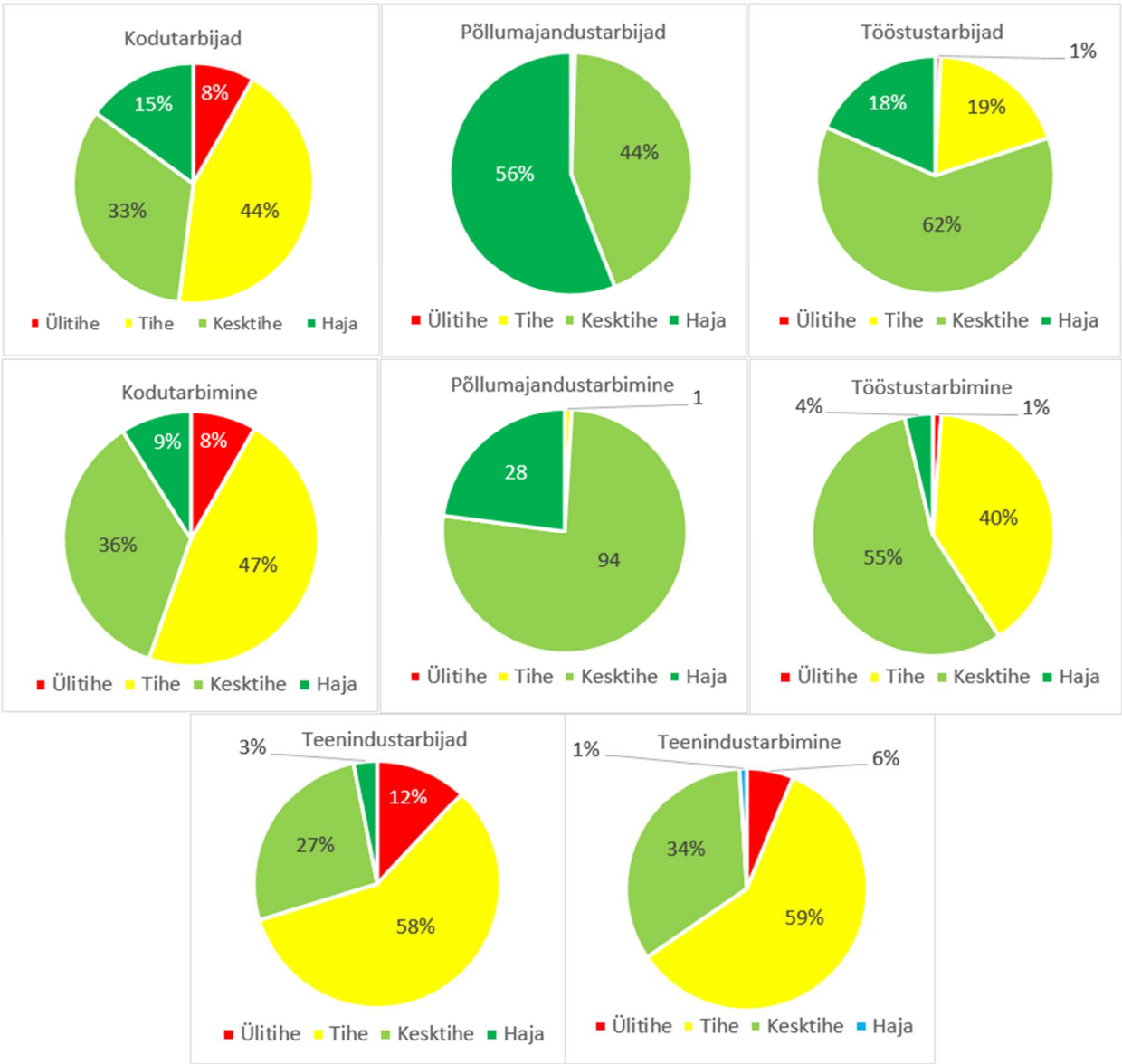
Joonis 3.4. Erinevate sektorite tarbijate protsentuaalne jaotus varustuskindluspiirkondades



Joonis 3.5. Erinevate sektorite tarbimise protsentuaalne jaotus varustuskindluspiirkondades

Nagu näha, paikneb põhiosa põllumajandustarbijaist ja –tarbimisest hajavarustuspiirkonnas, aga suurel määral ka kesktihepiirkonnas. Tööstustarbijaid paikneb kõige rohkem haja- ja kesktihepiirkonnas, tarbimine jaotub mõnevõrra ühtlasemalt kõigi piirkondade vahel. Teenindustarbimise maht on väike hajapiirkonnas. Viimases on kõige suurem kodutarbijate ja

kodutarbimise osakaal. Öeldut illustreerib ka joonis 3.6 (vt ka tabel 2.1, kus on toodud vastavad näitajad absoluutarvudes).



Joonis 3.6. Erinevate sektorite tarbijate ja tarbimise protsentuaalne jaotus varustuskindluspiirkondade vahel

Käesolevas töös on põhitähelepanu pööratud hajavarustuspiirkonnale. Nimelt nägime, et ülitihe- ja tihepiirkondades on varustuskindluse tase küllalt kõrge ning võrguettevõtte tegevus seisneb üldjuhul ennetavas hoolduses olemasoleva taseme säilitamiseks, s.t mitteplaanitavate uuendus- ja hooldustöödes ehk põhitegevuses.

Teisest küljest on ühiskondlikust aspektist just kesktihepiirkonna varustuskindlusel suurim mõju ühiskondlikele kogukuludele. Kesktihepiirkonnas võib üldiselt eeldada koormuse säilimist või ka mõningat kasvu, seda muuhulgas ka hajapiirkonna tarbimise taandarengu arvel. Seetõttu on ELV kesktihepiirkonna arendamise üldine strateegia suhteliselt selge – just selles tuleks elektrivarustus muuta võimalikult ilmastikukindlaks. Eelkõige peaks kesktihepiirkonnas olema päevakorras õhuliinide ulatuslik asendamine keskpingel maakaabelliinidega, madalpinges maa- ja õhukaabelliinidega, aga ka automatiseerimisel. Vajadusel tuleb rajada täiendavaid liine ringtoite loomiseks.

Just hajavarustuspiirkonda tehtavate investeeringute plaanimine on kõige problemaatilisem seoses elektritarbimise arengute suure määramatusega ja sellest tulenevate majanduslike riskidega. Põhimõtteliselt tuleb selles piirkonnas uute maa- ja õhukaabelliinide rajamise kõrval eelkõige kaaluda olemasoleva võrguressursi maksimaalset ärakasutamist õhuliinide eluea pikendamise ja ilmastikukindluse suurendamise teel. Arvestades hajavarustuspiirkonna elektritarbimise arengute suure määramatusega, s.h võimaliku taandarenguga, ja jaotusvõrgu olemasoleva alakasutusega ning selle edasise laienemise riskiga, peavad töökindlusalased eesmärgid olema saavutatavad mõistlike tööjõu ja materiaalsete ressursside kulutustega.

Prioriteetide ja meetodite hindamiseks ja valikuks tuleb määratleda hajavarustuspiirkonnad, kuhu planeerida investeeringuid esmajärjekorras. Määratleda võib piirkonnaalajaamade, käidupiirkondade, maakondade vms põhiselt.

Määratlemisel piirkonnaalajaamade põhiselt tuleks nad järjestada nt kas hajavarustuspiirkonna ulatuse, selle piirkonna tarbijate arvu, piirkonna tarbimise või mõne nende kombinatsiooni järgi. Kõige lihtsam on järjestada hajavarustuspiirkonna ulatuse järgi. Viimane on tihedalt korreleeritud tarbijate arvu ja tarbimisega. Seda illustreerib joonis 3.7.

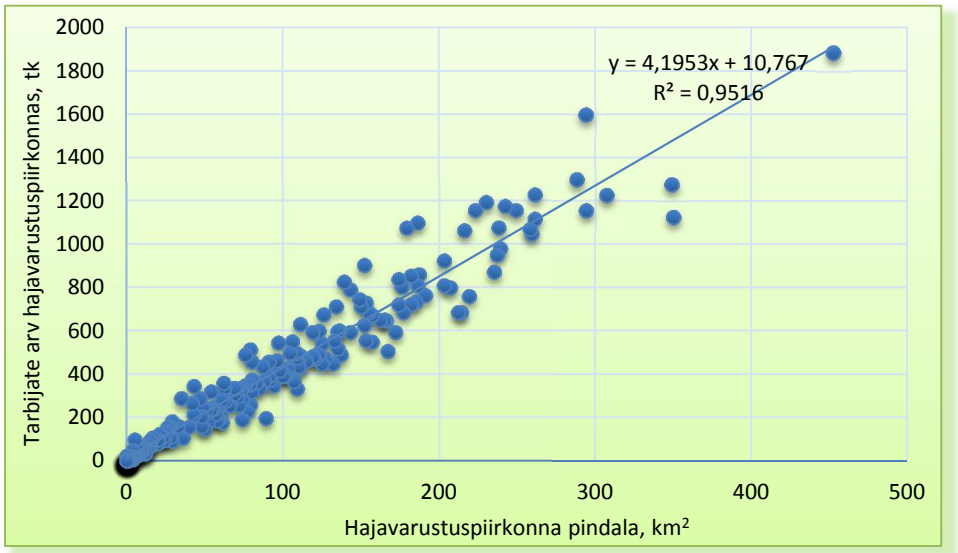
Analoogilised on seosed hajavarustuspiirkonna pindala ja tarbimise ning tarbijate arvu ja tarbimise vahel. Seda iseloomustab ka vastav korrelatsioonimaatriks:

	km^2	tk	MWh
km^2	**1**	0,9755	0,8958
tk	0,9755	**1**	0,9251
MWh	0,8958	0,9251	**1**

(3.1)

Korrelatsioonimaatriksi elemendid e korrelatsioonikordajad iseloomustavad vastastikuse lineaarse sõltuvuse tugevust. Kuna korrelatsioonikordajad on suuremad 0,7st, on tegemist tugevate seostega.

Üheks võimaluseks on investeerimisvajadusi hinnata tulenevalt hajavarustuspiirkonna võrgu osade tehnilisest seisukorrast ja nende jääkressursist.



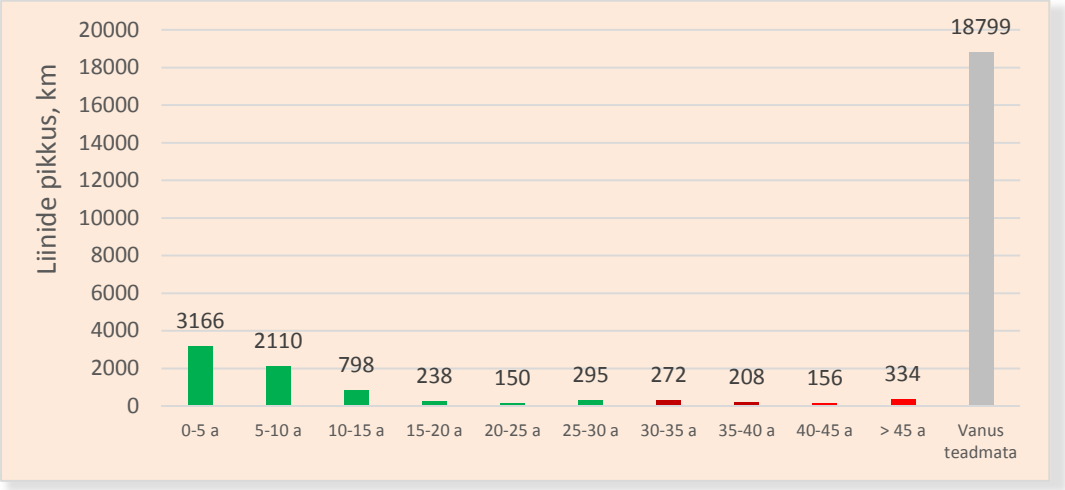
Joonis 3.7. Piirkonnaalajaamade hajavarustuspiirkonna pindala ja tarbijate arvu seos (korrelatsioonikordaja 0,9755)

3.2 ELV Elektrivõrgu tehnilisest seisukorrast ja jääkressursist

3.2.1 Elektriliinid

Paljud elektriliinid, eriti hajavarustuspiirkonnas, on rajatud kuuekümnendail-seitsmekümnendail aastail ja nende tehniline seisund jätab tugevasti soovida. Suurem osa jaotusvõrkude õhuliinidest on teostatud alumiinium- ja terasalumiiniumjuhtmetega A ja AC, millede eluiga on 45-50 aastat, kuid esineb ka alumiiniumjuhtme markidega AH ja AЖ teostatud liine, mille elueaks loetakse 25 a. Paljud keskpinge fiidrid on väga pikad – üle 10 km. Fiidrite suured pikkused, sektsioneerimis-võimaluste ja rikete avastamise automaatika vähesus hajavarustuspiirkondades teevad rikete avastamise ja kõrvaldamise aeganõudvaks, põhjustades pikki katkestuskestusi rikete korral. Suure hulga elektriliinide ja alajaamade tehniline olukord jätab soovida kõrge eluea tõttu.

Keskpingeliine on kokku 26 527 km. Nende vanuseline jaotus on joonisel 3.8 [Elektrilevi…2014].



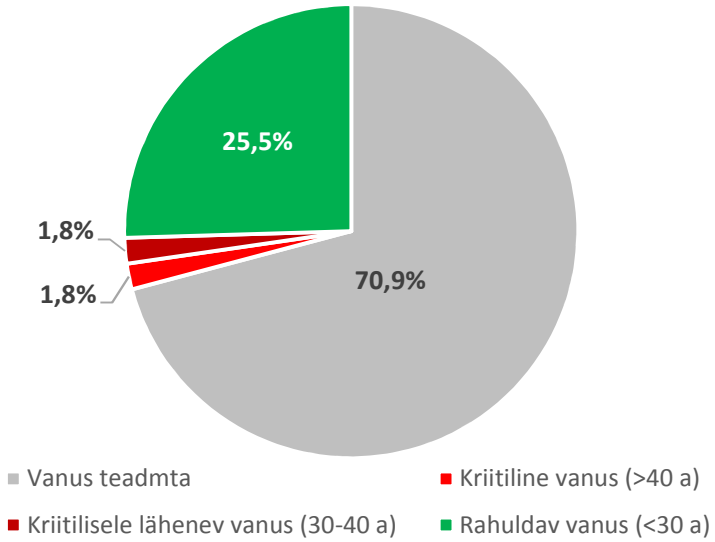
Joonis 3.8. Keskpingeliinide vanuseline jaotus

Täielikku hinnangut keskpingeliinide vanuste kohta ei saa anda, kuna üle 70 % liinide kohta piisavad andmed puuduvad (vt joonis 3.9).

Plastkaablite ja kaetud juhtmega liinide seisukord on hea, kuna nende vanus on alla 30 a. Õlikaablite vanus on valdavalt üle 30 eluaasta, kuid nende kriitilisus tulenevalt vanusest pole otseselt teada. Siiski, arvestades õlikaablite paigaldusaega ja vene ajal tehtud investeeringuid, on nende uuendamise vajadus väga tõenäoline. Õlikaablite väljavahetamiseks tuleks rakendada uusi tehnoloogiad, nagu paigaldus torudesse, kaevudesse, tunnelitesse, vähendada tuleks muhvide tüüpide arvu. Maakaabli haruliini ette paigaldatud lahklüliti on rikke korral otstarbekas demonteerida, kui haruliin on lühem kui 5 km või selle toitel on vähem kui 5 alajaama või kui haruliinist ei kujune perspektiivselt tüviliini.

Elektriliini varuosade (isolaatorid, muhvid, mastid, traaversid, tõmmitsad, juhtmed, kaablid jne) kättesaadavus on üldiselt hea, kuigi kriisisituatsioonides on esinenud probleeme. Kuna on esinenud liinisidemete katkemisi, oleks soovitav kasutusele võtta tehases valmistatud eelpingestatud terassidemed.

Arvestades liinide kasuliku eluea pikkuseks 40 a, võiks rikete tõenäosuse järgi keskpingeliinid jagada nelja riskirühma - vt joonis 3.9. Liine, mille vanus on teadmata, tuleks käsitada ühe riskigrupina.

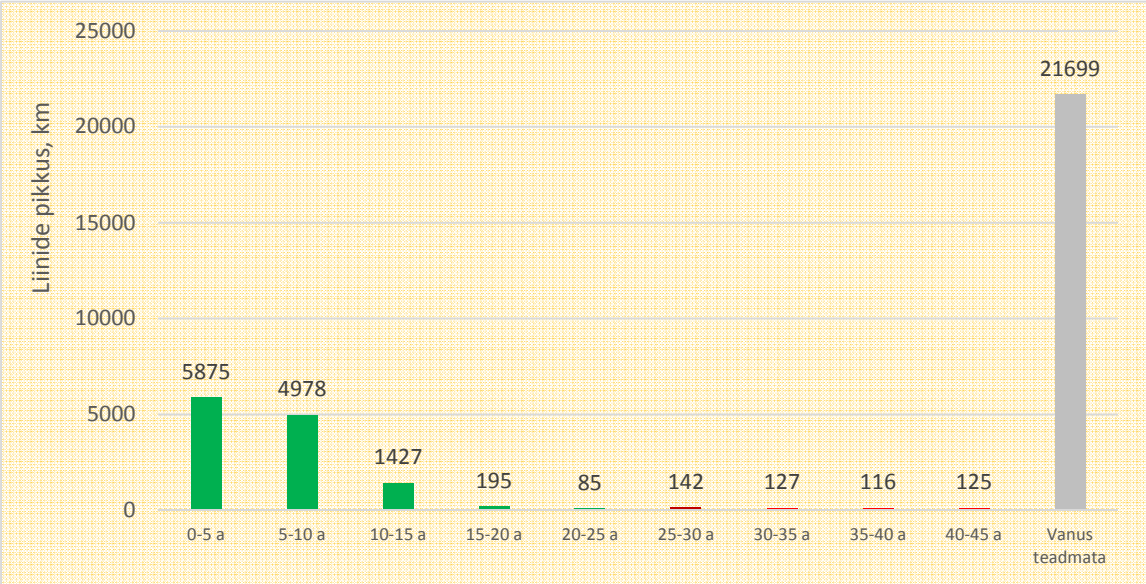


Joonis 3.9. Keskpingeliinide jaotus riskirühmadesse rikete tõenäosuse järgi

Madalpingeliine liine on ELV-l kokku 34769 km. Nende vanuselist jaotust illustreerib joonis 3.10 [Elektrilevi…2014]. Nagu näha, on ka siin valdava osa (üle 60 % - vt joonis 3.11) liinide vanus teadmata. Osaliselt on võimalik teadmata liiniosa vanust hinnata mastide vanuse järgi.

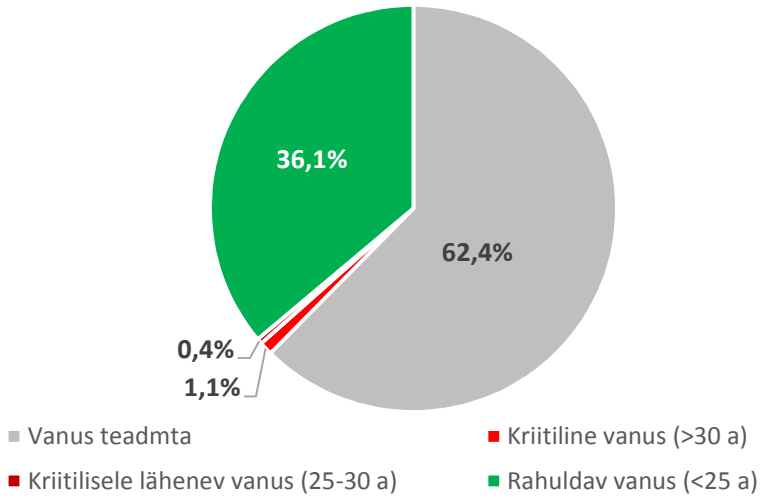
Säilinud on väga pikki madalpingefiidreid – kaugeimate tarbijate kaugus KP/MP alajaamast ületab 4-5 km. Sellised fiidrite pikkused ei võimalda väga sageli kindlustada vajalikku pinge kvaliteeti tarbijate juures, ka on nende rikkelisus kõrge. Normaalseks madalpingefiidrite pikkuseks loetakse nt Soomes kuni 0,4-0,5 km.

Õhukaablite (EX, AMKA) ja XLPE isolatsiooniga maakaablite (AXMK/AXPK) seisukord on hea, kuna need on paigaldatud viimase 15 a jooksul. Kriitilised on vanade õhuliinide paljasjuhtmed, mis põhjustavad suurel hulgal katkestusi. Vananenud madalpingekaablite asendamisel tuleks samuti kasutada uusi tehnoloogiaid (paigaldus torudesse, kaevudesse, tunnelitesse). Varuosade kättesaadavus (isolaatorid, muhvid, mastid, traaversid, tõmmitsad, juhtmed, kaablid jne) on hea.



Joonis 3.10. Madalpingeliinide vanuseline jaotus

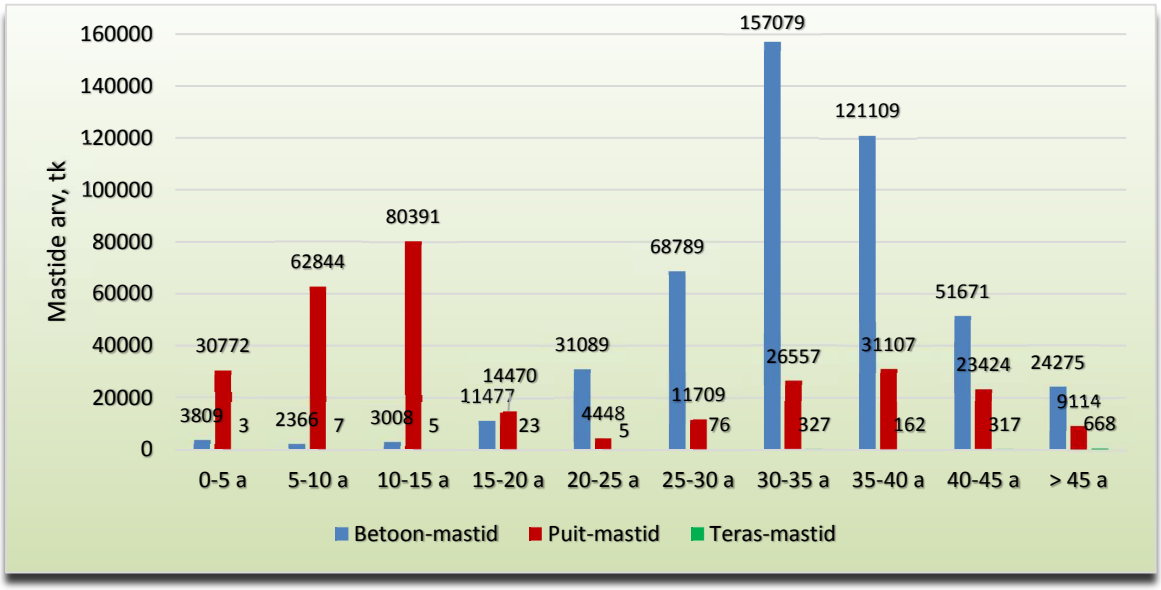
Ka madalpingeliinid võiks rikete tõenäosuse järgi jagada nelja riskirühma lähtuvalt 30. aastasest uuendustsüklist - vt joonis 3.11. Liine, mille vanus on teadmata, tuleks käsitada ühe riskigrupina.



Joonis 3.11. Madalpingeliinide jaotus riskirühmadesse rikete tõenäosuse järgi

Elektrilevil on kokku 771101 masti, neist 540527 madalpingel ja 218210 keskpingel. Mastide vanuselist jaotust iseloomustab joonis 3.12. Kõige rohkem on võrgus raudbetoonmaste, mida uusehitusel ja rekonstrueerimisel enam ei kasuta, nende asemel kasutatakse nii madal- kui keskpingel immutatud puitmaste. Viimaste eluiga (30 a) on raudbetoonmastide omast (40-50 a) mõnevõrra lühem, kuid puitmaste on hõlpsam transportida ja utiliseerida. Tänapäeval kasutatakse kahte tüüpi immutust: tiheasustusega piirkonnas tanalith-immutust, hajaasustusega piirkonnas kreosootimmutust.

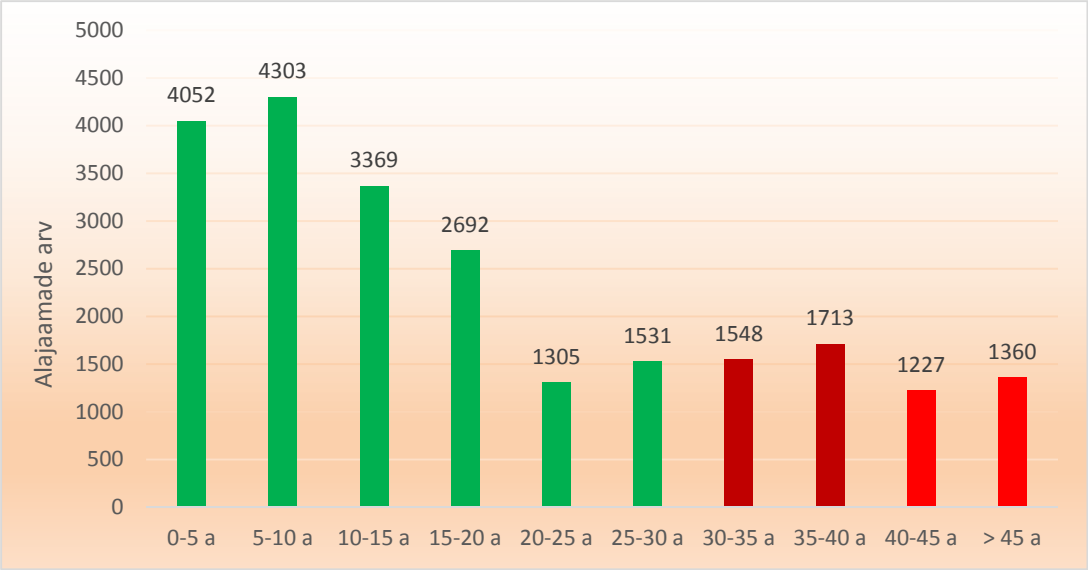
Mastide rekonstrueerimisotsuste tegemisel tuleb vanuse kõrval arvestada defekteerimise tulemusi ja puitmastide immutuse tüüpi. Defektide kriitilisuse hindamisel pöörata suuremat tähelepanu pigi- ja CCA immutusega puitmastidele, betoonmastidest künamastidele ja vanemat tüüpi mastidele. Defektse masti ohtlikkus (kriitilisus) sõltub asukohast: kas asustatud või asustamata piirkond, sageli külastatav ala (põllud, marja- ja seenemetsad jms), ristumised. Kindlasti tuleb tuvastada maaühendusi saanud raudbetoonmastid (defektidega, lühisvoolu jälgedega) ja need asendada.



Joonis 3.12. Õhuliini mastide vanuseline jaotus

3.2.2 Alajaamad

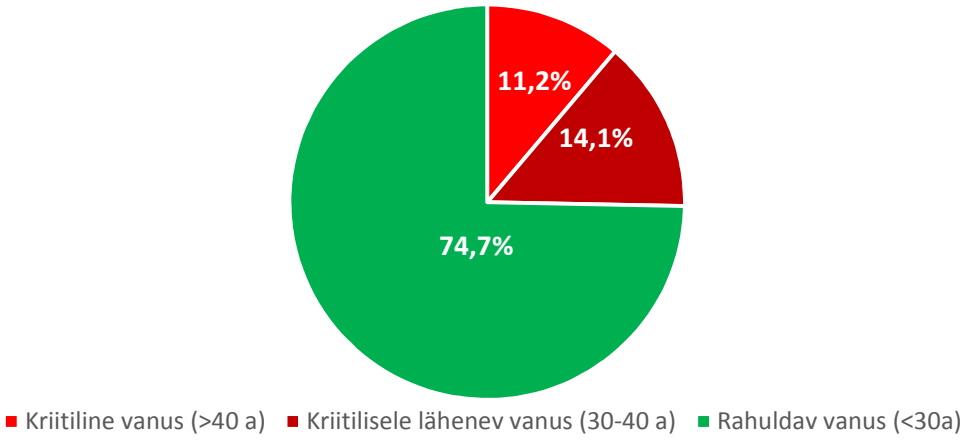
Kokku on 23 096 KP/MP alajaama ja 239 jaotusalajaama. KP/MP alajaamade vanuseline jaotus on toodud joonisel 3.13.



Joonis 3.13. KP/MP alajaamade vanuseline jaotus

25% alajaamadest on vanemad kui 30 a - vt joonis 3.14. Kindlustamaks alajaamade uuendamine 30 aastase tsükliga, oleks vaja uuendada ca 770 alajaama aastas, täna uuendatakse ca 500 tk aastas. 40 a tsükli korral oleks uuendamisvajadus ca 577 tk/a.

Varuosade kättesaadavus on hea, vanemat tüüpi alajaamade varuosade vajadus on väike, sest valdavalt asendatakse alajaamad tervikuna. Hajapiirkonnas on vajalik kuluefektiivsema komplektalajaama tüübi kasutuselevõtt. Uuematel komplektalajaamadel on avastatud probleeme *Nalf* tüüpi keskpingelülitega (ca 1000 tk) ja kontaktühendustega jadavinnaklüliti piirkonnas.

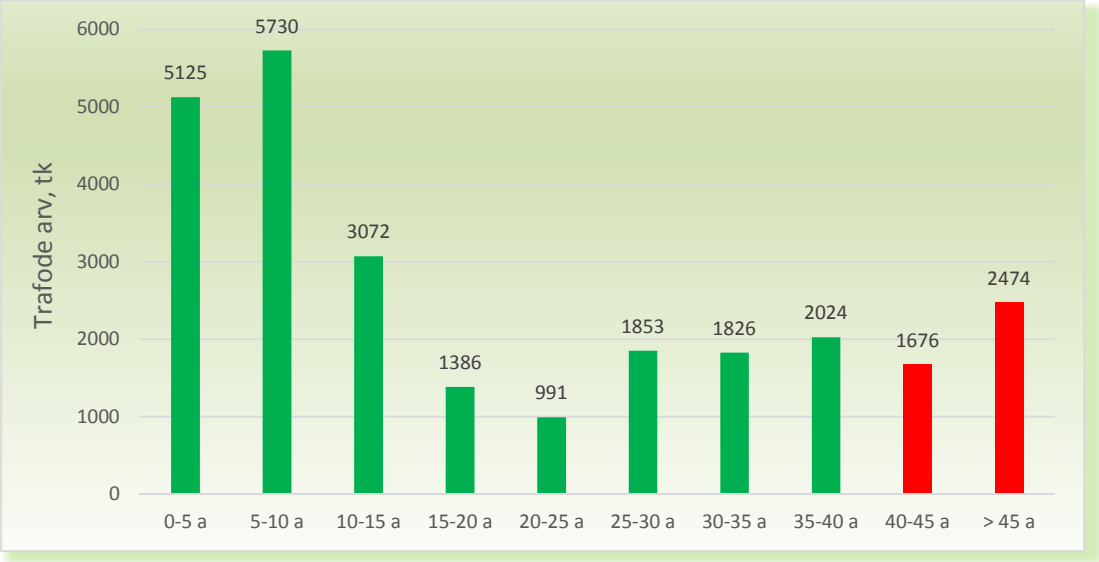


Joonis 3.14. KP/MP alajaamade jaotumine riskirühmadesse

Jaotusalajaamade jaotusseadmed on otstarbekas jaotada kaheks: vanemad vene ja SDV päritolu ning kaasaegsed euroopa päritolu JS-d. Vanemad jaotusseadmed olid projekteeritud 30-ks aastaks. Nende seisukord on väga halb, üle veerandi 239-st jaotusseadmest (66) on vanusega üle 40 aasta vajavad kiiret uuendamist. Ehituslik seisund on kehv, puudub küte ja ventilatsioon, paljude Tallinna jaotusalajaamade kaablikanalid on vett täis. Varuosade kättesaadavus kriitiline, kuna üle 10 a

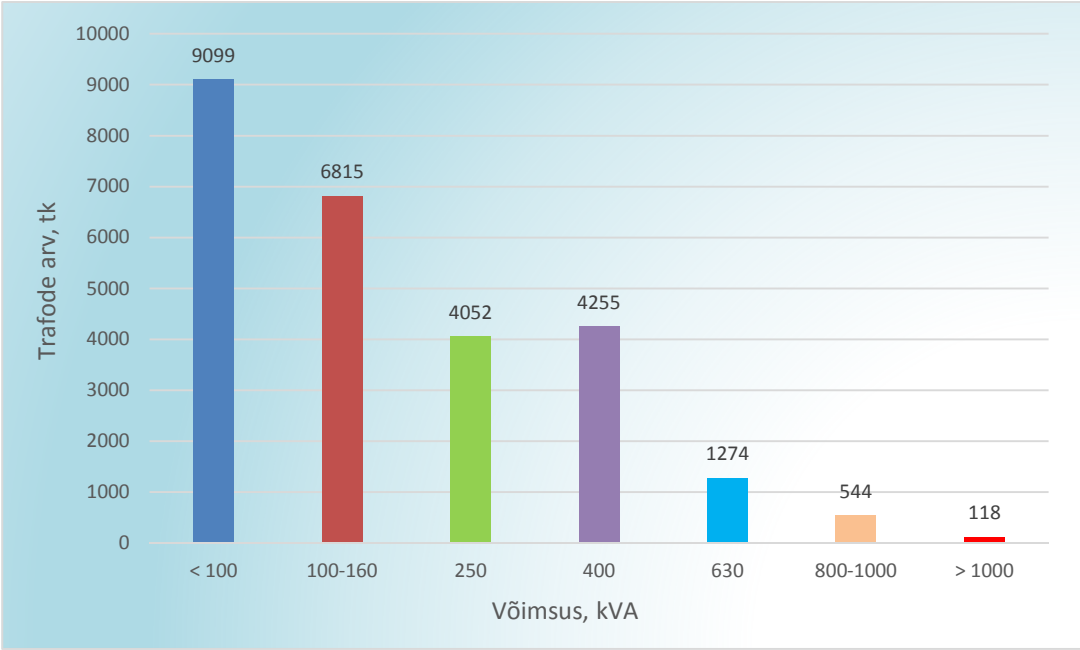
vanade seadmete tugi pole tootjatele kohustuslik. Vanemate võimsuslülitite varuosi praktiliselt pole. Varuosad vene päritolu kambritele tekivad demonteeritud amortiseerunud alajaamadest, olles ise praktiliselt utiili väärtusega. Ka Saksa DV seadmetele samuti varuosi pole. Jaotusseadmete uuendamist ja remonti teevad tavaliselt tootjatehase esindajad ning on väga kulukas. Ka on probleemiks korrashoiu kogemustega personali puudus. Kindlustamaks jaotusalajaamade 30 aastase tsükliga uuendamine, tuleks aastas rekonstrueerida 3-4 jaotusseadet, s.t oluliselt rohkem, kui viimastel aastatel.

Elektrilevil on 26157 KP/MP trafot. Nende vanuselist jagunemist illustreerib joonis 3.15.

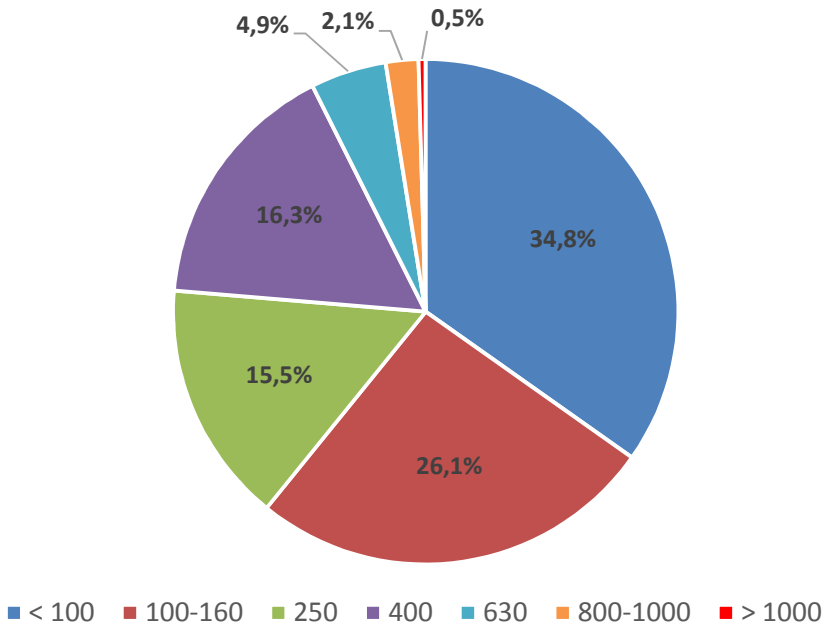


Joonis 3.15. KP/MP trafode vanuseline jaotus

KP/MP trafode jagunemist võimsuse järgi iseloomustavad joonised 3.16 ja 3.17.



Joonis 3.16. KP/MP trafode jagunemine võimsuse järgi



Joonis 3.17. KP/MP trafode protsentuaalne jagunemine võimsuse järgi

16,8% KP/MP trafodest on vanemad kui 40 a. Arvestades, et trafo eluiga on määratud koormatuse ajalooga ja trafod on valdavalt olnud alakoormatud, on trafod heas seisus. Vajaduse korral on võimalik ja ka pigem otstarbekas trafode koormatust suurendada. Nende 40 aastase uuendustsükli tagamiseks on tänane uuendustempo (ca 700 trafot aastas) rahuldav.

3.2.3 Jääkressurss

Elektriliinide ja alajaamade jääkressursi objektiivne hindamine on raskendatud. Liinide rajamise aasta õiget pilti ei anna, kuna pidevalt on vastavalt vajadustele ja finantsvõimalustele vahetatud või remonditud maste ja kaablimuhve, vahetatud isolaatoreid, juhet ja kaablit. Sageli on analoogne olukord ka alajaamade osas – ka neid on remonditud ja rekonstrueeritud või on välja vahetatud aparatuuri. Õiget pilti ei anna ka bilansilised jääkmaksumused või kulumid ümberhindluste tõttu 1991. a rubladest kroonidesse vahekorraga 10:1 ja 1994. a. eesmärgiga korrigeerida rajatiste ja seadmete 1991. a ümberhindluse tulemusel kujunenud põhjendamatult madalaid jääkväärtusi. Siiski jäid ka selle ümberhindluse tulemused reaalsest jääkväärtusest madalamaks kartuses liigselt suurendada amortisatsiooni osa elektri hinnas. Objektiivsemaks tuleb pidada võrgupiirkondade meistrite poolt antud eksperthinnanguid. Parima tulemuse annab otsene vaatlus, võttes samas arvesse ka rajamise aastat, bilansilist jääkmaksumust ja piirkonnameistri eksperthinnangu. Teatud pildi annab ka alajaama trafode koormatus – normaalseks koormatustasemeks loetakse 40% nimi-võimsusest, mis tagab piisava võimsuse varu mitmesugustes hädaolukordades ning trafode koormus- ja tühijooksukadude ligikaudse võrdsuse ning seega minimaalsed kaod trafodes normaaltalitluses.

Liini perspektiivikuse hindamisel tuleb analüüsida liini poolt toidetava(te) objekti(de) tarbimise dünaamikat lähiminevikus (nt 3-5 a), hinnata vaatluse teel või eksperthinnangu alusel selle/nende seisukorda ning hinnata võimalikke kasutusperspektiive.

3.3 Piirkonnaalajaamadest

Kokku on ELV-s 245 piirkonnaalajaama, millest 133 on ühised Eleringiga (s.t kõrgepinge pool kuulub ülekandevõrgule ning keskpinge pool ELV-le.). Neis on kokku 419 jaotusseadet.

Piirkonnaalajaamade jaotusseadmete osas on olukord analoogiline jaotusalajaamade jaotusseadmetega (vt p 3.3.2): ka need jagunevad vanemateks ning kaasaegseteks. Vanemad on projekteeritud elueaga 30 aastat, nende seisukord on väga halb ja nad vajavad kiiret uuendamist – kolmandik jaotusseadmest (145) on vanusega üle 40 aasta. Ka nende puhul on varuosade kättesaadavus kriitiline. Kriitilised on eelkõige metallist hooned, samuti valitseb korrashoidu teostava kogemustega inimvara defitsiit. Kindlustamaks 30 aastane uuendustsükkel, on vaja aastas rekonstrueerida 14 jaotusseadet. Viimastel aastatel on saavutatud sellest oluliselt vähem – vt [Elektrilevi…2014].

Kokku on ELV-l piirkonna alajaamades 2013 aasta lõpu seisuga trafosid ülempingega 35 kV 167 tk ja ülempingega 110 kV 12tk. Hinnanguliselt on vastavalt 42 trafot ja 2 trafot vanusega üle 45 a riskirühmas. Varuosad on saadavad.

Et diferentseerida töökindlusalased nõuded piirkonnaalajaamadele, on soovitav liigitada piirkonnaalajaamad varustuskindluspiirkondade näitajate järgi. Analüüs näitas, et parima tulemuse annab liigitus agregeeritud näitaja *tarbijad·tarbimine/pindala* (tk·GWh/km^2) järgi.

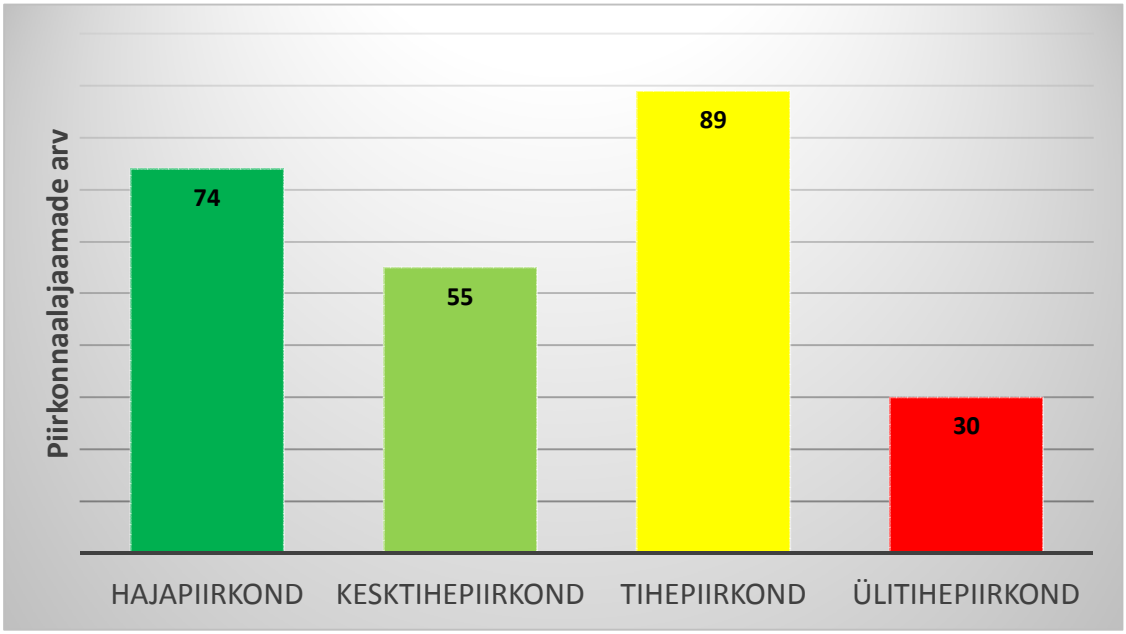
Otstarbekas on sätestada näitaja tk·GWh/km^2 tabelis 3.1 toodud vahemikud, mis määratlevad prevaleeriva varustuskindluspiirkonna ja vastavad töökindlusnõuded piirkonnaalajaamadele:

Tabel 3.1. Piirkonna alajaamade liigitusvahemikud varustuskindluspiirkondade järgi

< 50	≥ 50 < 200	≥ 200 < 20000	≥ 20000
Hajapiirkond	Kesktihepiirkond	Tihepiirkond	Ülitihepiirkond

Vastav liigitus on esitatud tabelis 3.2. Saadud liigitus tuleb üle vaadata ja täpsustada ekspertide poolt. Nii on mainitud tabelis mõned n.ö „valesse gruppi sattunud“ alajaamad tähistatud sinise värviga.

Liigituse arvulist jagunemist illustreerib joonis 3.18.



Joonis 3.18. Piirkonnaalajaamade arvuline jagunemine varustuskindluspiirkondade alusel

Tabel 3.2. Piirkonna alajaamade liigitus varustuskindluspiirkondade alusel

Hajapiirkond	Kesktihepiirkond	Tihepiirkond	Ülitihepiirkond
Virtsu 110/35/10	Ohukotsu 35/10	Sonda 35/6	Metsakombinaadi 110/10
Eesti EJ	Rasina 35/10	Laitse 35/10	Tartu 330/110/35/15/10
Aruküla 220/110/10	Hagudi 35/10	Järva-Jaani 35/10	Lemmatsi 35/10
Ahtme ej 110/35/6	Lauka 35/10	Rõngu 110/35/15/10	Anne 110/35/15/10
Konsu 35/6/0,4	Männiku 35/10	Tamsalu 35/10	Ropka 35/6
Televisiooni 35/10	Käva 35/6	Mustvee 110/35/15/10	Kallavere 110/35/10
Risti 110/35/10	Saesaare 35/10	Kiisa 330/110/35/10	Ekskavaatori 35/6
Ahtme 35/6	Kanepi 110/10	Aidu 110/35/10/6	Kvartsi 35/6
Pannjärve 35/6	Nasva 35/10	Alatskivi 110/15	Ülejõe 110/35/10
Kavastu 10	Vastseliina 35/10	Pajusti 35/10	Valuoja 35/6
Vanaaseme 35/15/10	Riisipere 35/10	Puhja 110/15/6	Pärnu 35/10
Põdra 110/10	Valjala 110/10	Räpina 35/10	Veerenni 35/6
Kesklinna 35/6	Aidu (Jaoskonna 3b) 110/6	Toila 35/10	Paljassaare 110/6
Ringsu	Konsu 110/35/6	Jänese 35/10	Pargi 110/6
Kesklinna 10/6	Lavassaare 35/10	Imavere 110/15	Kesk 35/6
Tootsi 35/6	Võhma 35/15	Loksa 110/10	Papiniidu 110/35/10
Võiküla 110/35/10	Karu 35/10	Aseri 110/10	Kadaka 110/10
Mõntu 35/10	Alajõe 110/10	Kose 35/10	Uus Volta 110/6
Nõva 110/10	Rakke 35/10	Kuusalu 110/35/10	Järve 110/35/6
Allika 110/10/6	Mustla 35/15	Väike-Maarja 110/35/10	Elektrijaama 110/35/10/6
Ahtme 110/35/6	Taari 35/10	Märjamaa 35/10	TPI 35/6
Tusti 110/35/10	Kabli 110/10	Rummu 110/35/10	Emajõe 110/10
Uus-Sauga 10/6	Haiba 35/10	Aegviidu 35/10	Kopli 110/35/6
Kullamaa 110/10	Abja 110/15	Vändra 110/35/10	Ranna 110/10/6
Järise 35/10	Tsirguliina 330/110/35/10	Tõrva 110/15	Veskimetsa 110/35/10/6
Käru 35/10	Pajusi 15/10	Audru 110/35/10	Endla 110/35/6
Lelle 35/10	Võsu 110/10	Türi 110/35/10	Ülemiste 110/35/6
Järlepa 35/10	Ellamaa 110/35/10/6	Pärna 35/15	Mustamäe 35/6
Mäetaguse 35/10	Jägala 110/20	Otepää 110/35/10	Ida 110/10
Kurtna 35/10/6	Klooga 35/10	Paikuse 110/10	Lasnamäe 110/10/6
Leebiku II lp	Sompa 35/10	Liikva JA	
Rõuge 110/10	Voldi 110/15	Alutaguse 110/35/6	
Simuna 35/10	Pärnu-Jaagupi 110/35/10	Uus Kopli 110/35/6	
Kabala 35/10	Koeru 35/10	Türi-I 35/10	
Vigala 110/10	Aravete 110/35/10	Aruküla 330/110/20/10	
Lõpe 110/10	Käina 35/10	Oru 110/35/6	
Valgu 110/10	Eesti EJ OT 110/35/6	Põltsamaa 110/35/15/10	
Oiu 110/15	Häädemeeste 35/15	Järvakandi 110/10	
Ruusmäe 110/10	Kohtla-Nõmme 35/6	Reola 35/10kv	
Avinurme 35/10	MVT 110/6/6	Kärdla 35/10	
Kihelkonna 35/10	Viru 35/6	Uus LVT 6	
Esna 35/10	Kilingi-Nõmme 110/35/15	Keila-Joa 35/10	
Saare 110/15/10	Raasiku 110/10	Elavhõbe 35/6	
Lepassaare 35/10	Sõmerpalu 110/10	Viljandi 110/35/15/6	
Iisaku 35/10	Mõisaküla 35/15	Saku 35/10	
Tori 35/10	Püssi 330/220/110/10	Iru 110/10	
Maaritsa 110/10	Kaiu 35/10	Jõgeva 110/35/15/10	
Kantküla 110/10	Kehtna 110/10	Loo 110/35/10	
Leisi 110/35/10	Suure-Jaani 110/15	Kohila 110/10	
Uhtna 110/20/10	Haljala 110/35/10	Tapa 110/35/10	
Roosna-Alliku 110/10	Kuuste 110/10	Paide 330/110/35/10	
Tõstamaa 35/10	Kadrina 110/10	Harku 330/110/20	
Roela 110/35/10	Nuia 35/15	Kiviõli-linn 35/10/6	
Suurküla 35/10	Orissaare 110/10	Topi 110/10	

Kullenga 35/10 Lasnamäe 110/35/10/6 Mõniste 110/35/10 Kõue 35/10 Lehtse 35/10 Muhu 110/10 Muti 35/10 Keava 35/10 Laekvere 35/10 Koigi 110/10 Emmaste 35/10 Läätsa 35/10 Värska 35/10 Ruusa 110/10 Puurmani 35/15/10 Varbla 35/10 Padise 35/10 Kolga 110/10 Viitna 110/10 K-Järve EJ	Linda 110/10	Põlva 110/35/10 Saue 35/10 Elevaatori 35/10 Põhja 35/10 Võru 110/35/10 Sindi i 35/10 Elva 110/15 Kehra 110/35/10 Rapla 110/35/10 Jüri 110/10 Keila 110/35/10 Reinu 110/35/6 Kunda 110/20/10/6 Rakvere 330/110/35/10 Rakvere Põhja 110/10 Soo 110/10 Kose-jõe 35/6 Valga 110/10 Paldiski 110/35/6 Kohtla-Järve 35/10/6 Jõhvi - Ida 35/6 Järveküla 110/20 Jõhvi 35/6 Sikassaare 110/35/10 Laagri 110/35/10 Paide I 35/10 Tabasalu 110/10 Pääsküla 35/6 Hiiu 35/6 Tõnismäe 110/10 Viimsi 110/10 Kivimäe 110/6 Tööstuse 110/6 Savi 35/10 LVT 110/35/6	

3.4 Elektrivõrgu kasutusefektiivsuse näitajad

Elektrivõrgu, s.h hajavarustuspiirkonna arendusotsustuste tegemisel on olulised võrgu ja tema elementide (fiidrid, liinid, alajaamad) kasutusefektiivsuse näitajad.

Elektrivõrgu kui terviku kasutuse määra iseloomustab võrgukasutustegur /*grid utilization factor*/ ehk koormustegur /*load factor*/, kusjuures kasutustegur väljendatakse tavaliselt protsentides, koormustegur aga suhtelistes ühikutes. :

$$Võrgukasutustegur\ \% = \frac{Aastane\ müüdud\ energiakogus}{Tippkoormus*8760} * 100 = \frac{Keskmine\ koormus}{Tippkoormus} * 100 \qquad (3.2)$$

Analoogilised tegurid võib kohaldada ka fiidritele või üksikutele liinidele, iseloomustamaks nende kasutuse määra.

Kasutustegurid (koormustegurid) iseloomustavad teatud määral elektriseadmete kasutuse efektiivsust ja ka nende võimalikku ülekoormuse ohtu. Siiski iseloomustavad need tegurid pigem koormuse ühtlikkust. Kui koormustegur on lähedane ühele (kasutustegur lähedane 100 %le), on tegemist enam-vähem ühtlase koormusega aastaringselt. Vastupidi, tegurite madal väärtus vastab suurel määral muutlikule koormusele. Koormuse ühtlikkust iseloomustab ka võrgu (või tema osa) teatud perioodi, tavaliselt aasta, koormuse ebaühtlikkustegur:

$$k_{eü} = \frac{Vähim\ \ koormus}{Tippkoormu\ \ s} \tag{3.3}$$

Märksa paremini iseloomustab võrgu elemendi kasutuse efektiivsust ja ka ülekoormatuse ohtu tema kasutustegur (koormatustegur) /*utilization factor*/.

Elektriliinide läbilaskevõime hindamise aluseks on juhtmete ja kaablite termiline taluvus. Liini kasutusmäära ja koormatust iseloomustavaks näitajaks võib pidada liini kasutustegurit

$$Liini\ kasutustegur = \frac{I_{\max}}{I_{\text{lub}}}, \tag{3.4}$$

kus I_{lub} – kestvalt lubatud vool juhtmele või kaablile;

I_{max} – suurim võimalik normaaltalitluse vool liinis **(**nt avariijärgses või remonditalitluses).

Fiidri kasutuse määra ja ülekoormuse ohtu võib hinnata fiidri tüviliini lõikude *i* kasutusteguritest vähimaga:

$$Fiidri\ kasutustegur = \min_i \frac{I_{\max i}}{I_{lub\ i}} \tag{3.5}$$

Trafo kasutuse määra iseloomustab tema kasutustegur

$$Trafo\ kasutustegur\ \% = \frac{Aastane\ trafot\ läbinud\ energiakogus}{S_N * 8760} * 100 \tag{3.6}$$

või trafo koormatus

$$k_{koorm\ tr} = \frac{S_{max}}{S_N} \quad \text{või arvestades trafo lubatavat ülekoormatavust} \quad k_{koorm\ tr} = \frac{S_{max}}{1{,}4 * S_N} \tag{3.7}$$

Võrgu või tema osa KP/MP alajaamade kasutuse määra iseloomustab KP/MP alajaamade kasutustegur

$$KP/MP\ alajaamade\ kasutustegur\ \% = \frac{Aastane\ müüdud\ energiakogus}{KP/MP\ alajaamade\ koguvõimsus * 8760} * 100 \tag{3.8}$$

Kasutustegurid või koormatused näitavad, mil määral on elektrivarustussüsteemi element koormatud. Kui tegur on suur, on element lähedal ülekoormusele, teguri madal väärtus peegeldab paigaldise kasutamise ebaefektiivsust.

Olemasoleva olukorra hindamisel tuleb toodud näitajate arvutamiseks kasutada olemasolevaid ja/või lähimineviku energiate ja koormusvõimsuste andmeid. Eelseisvate investeerimisotsustuste tegemisel tuleb arvesse võtta võimalikke tulevikutrende.

3.5 Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu koormatus

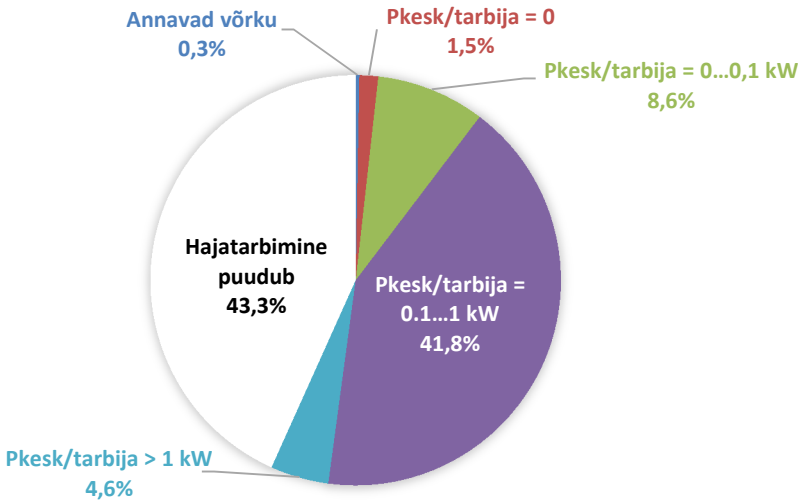
Kahjuks puuduvad KP/MP alajaamade ja madalpinge tarbijate vajalikud andmed p 3.4 toodud kasutusefektiivsuse näitajate hindamiseks. Küll oleks võimalik KP/MP alajaamade koormatust hinnata alajaama toitepiirkonna ühe tarbija aasta keskmise võimsuse alusel.

Analüüs näitab, et umbes poolte alajaamade puhul jääb keskmise hajatarbija aasta keskmine võimsus alla 1 kW. Ainult 4,6 % KP/MP alajaamade hajatarbijate aasta keskmine koormus ületab 1 kW. 43 % KP/MP alajaamade toitepiirkonnad ei hõlma hajavarustuspiirkonda. Olukorda illustreerib joonis 3.19.

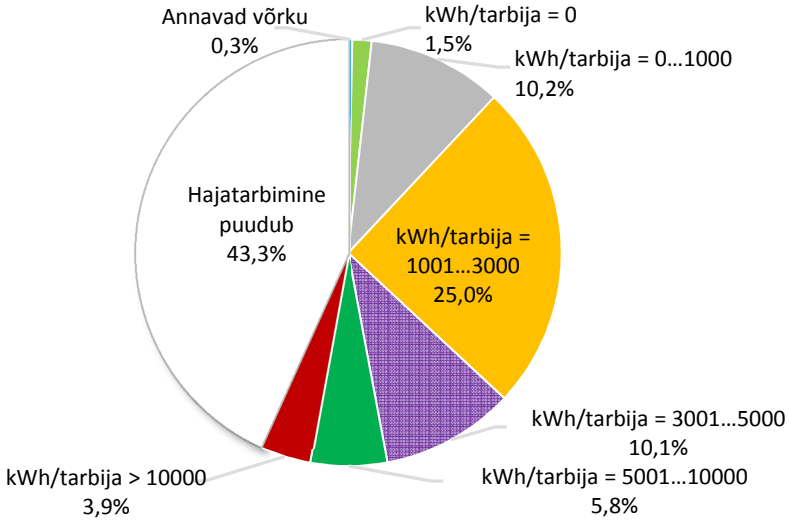
Tavatarbijale lihtsamini mõistetav on tarbimise määra iseloomustamine mitte keskmise koormuse vaid aastase kogutarbimise alusel. KP/MP alajaamade jagunemist toitepiirkonna hajatarbijate keskmise energiatarbimise järgi tarbija kohta illustreerib joonis 3.20.

Võrdleva pildi saamiseks märgime, et 2011. a oli Eesti keskmise majapidamise aastane elektritarbimine 3307 kWh – vt joonis 3.21 [Enerdata…2011].

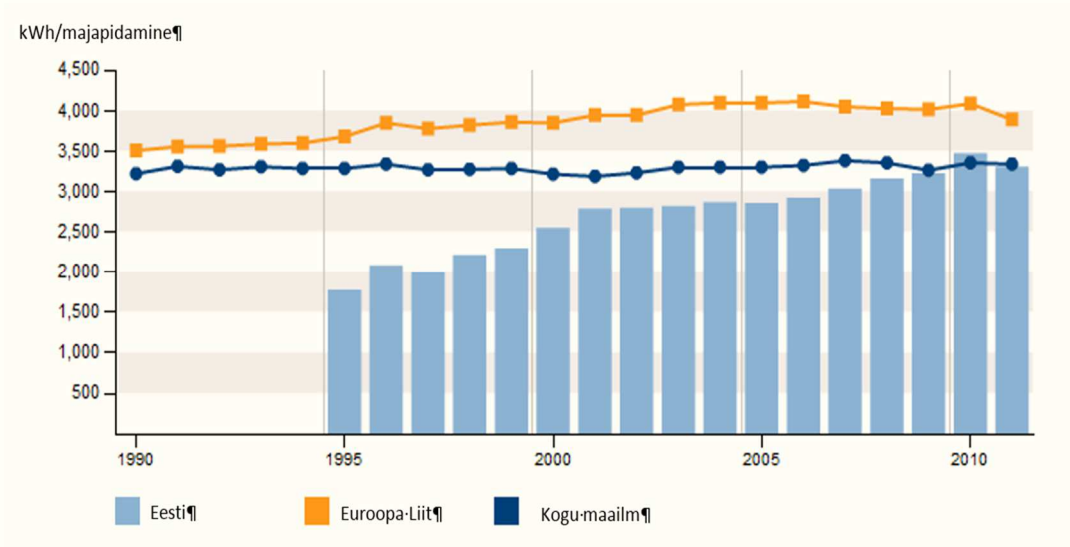
Aastal 2005 moodustas Eesti keskmise majapidamise elektritarbimine elaniku kohta 1203,5 kWh, Soomes oli sama näitaja 3922,5 kWh [Energy…]. Vastavalt uuringule [Leibkondade…2013] moodustas Eestis 2010. a keskmine elektritarbimine leibkonna kohta 3465 kWh, s.h linnades 3061 kWh ja maal 4553 kWh. Aastal 2013 oli Eesti keskmise majapidamise kuine tarbimine 150-340 kWh, keskmise tüüpilise suvemaja tarbimine 35-80 kWh [Vaimann…2013].



Joonis 3.19. KP/MP alajaamade jagunemine hajatarbijate keskmise aastakoormuse järgi

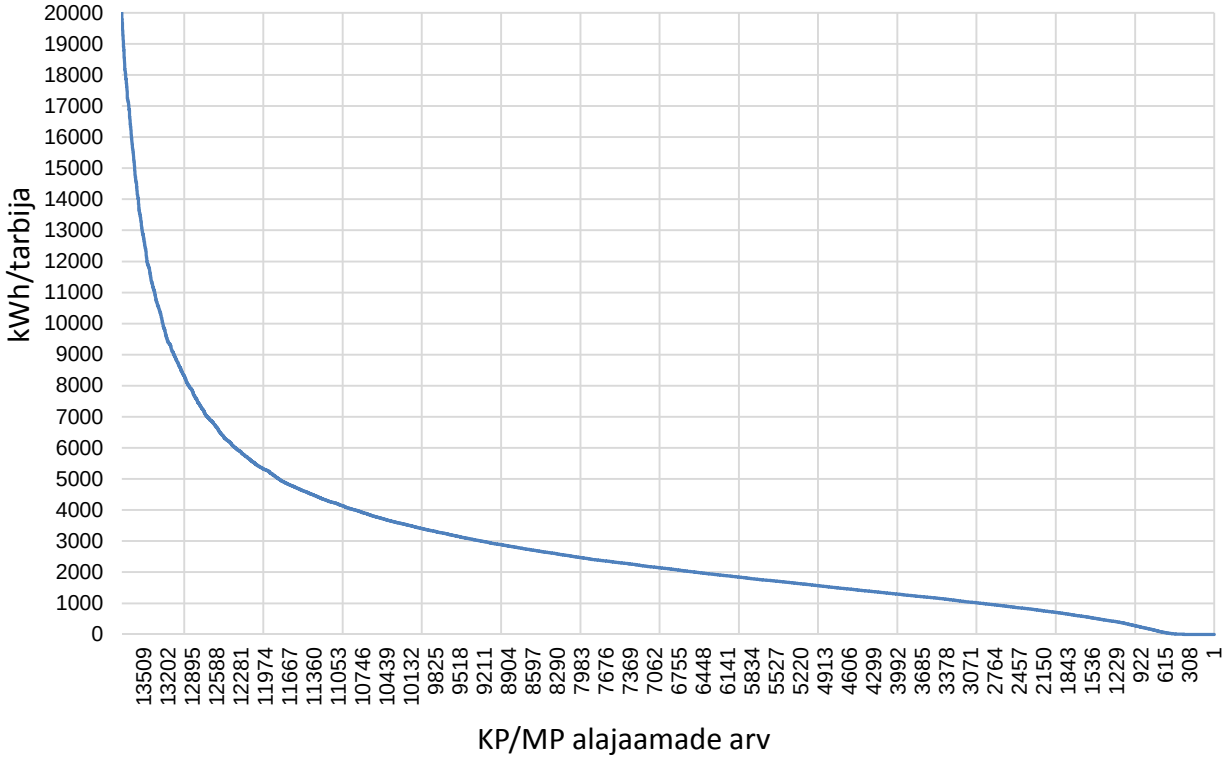


Joonis 3.20. KP/MP alajaamade jagunemine hajatarbijate keskmise aastatarbimise järgi



Joonis 3.21. Eesti keskmise majapidamise aastase elektritarbimise dünaamika ja võrdlus Euroopa Liidu ning kogu maailma keskmistega. Allikas: [Enerdata…2011]

Kujuka pildi Elektrilevi OÜ KP/MP alajaamade koormuste jaotumisest annab toitepiirkondade keskmise tarbija aastatarbimiste jaotuskõver joonisel 3.22.

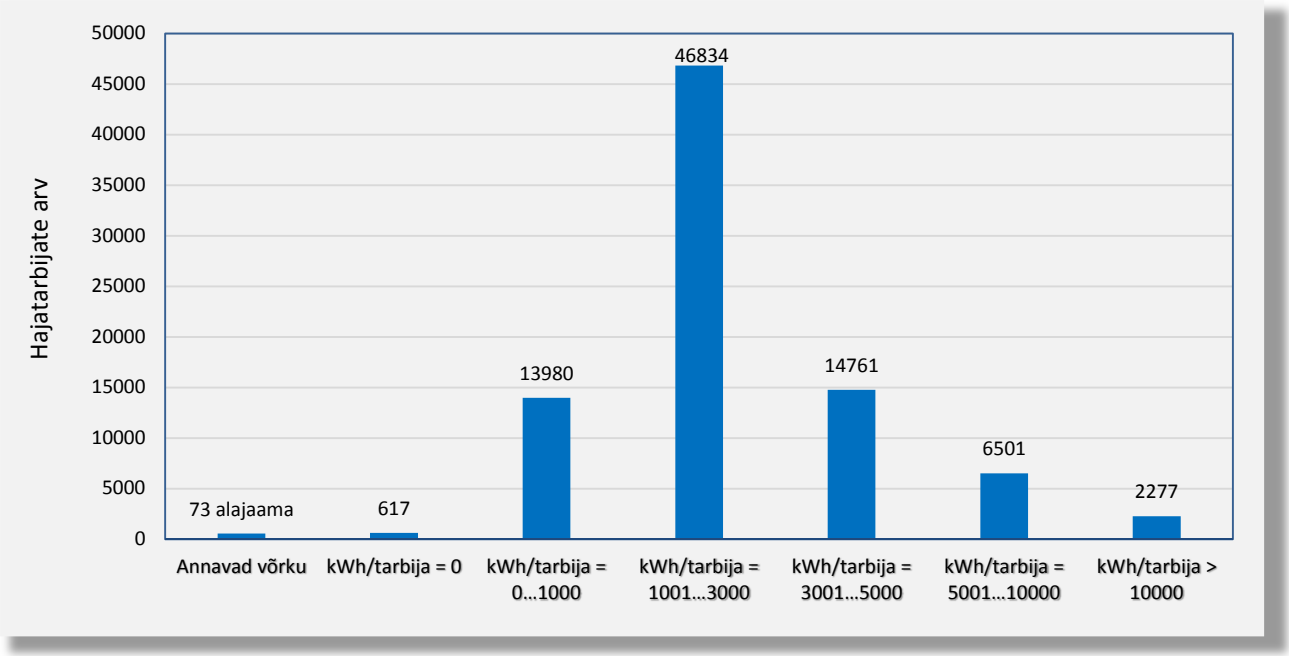


Joonis 3.22. KP/MP alajaamade toitepiirkondade keskmise hajatarbija aastatarbimiste jaotuskõver

Huvi pakub kindlasti KP/MP alajaamade jaotuse kõrval ka hajatarbijate jaotus **keskmise** tarbimise järgi, mida iseloomustab tabel 3.3 ja joonis 3.23.

Tabel 3.3. Hajatarbijate jaotus keskmise aastatarbimise järgi

Jaotusalajaamu	**25238**	**Tarbijaid**
Annavad võrku	73	556
kWh/tarbija = 0	372	617
kWh/tarbija = 0…1000	2579	13980
kWh/tarbija = 1001…3000	6301	46834
kWh/tarbija = 3001…5000	2553	14761
kWh/tarbija = 5001…10000	1463	6501
kWh/tarbija > 10000	976	2277
Hajatarbimine puudub	10921	



Joonis 3.23. Hajatarbijate jaotus keskmise aastatarbimise järgi

3.6 Alakasutuses elektrivõrk ja vähene tarbimine hajavarustuspiirkonnas

Ajalooliselt kujunes keskpingevõrgu skeem Eestis järgmistel põhimõtetel:

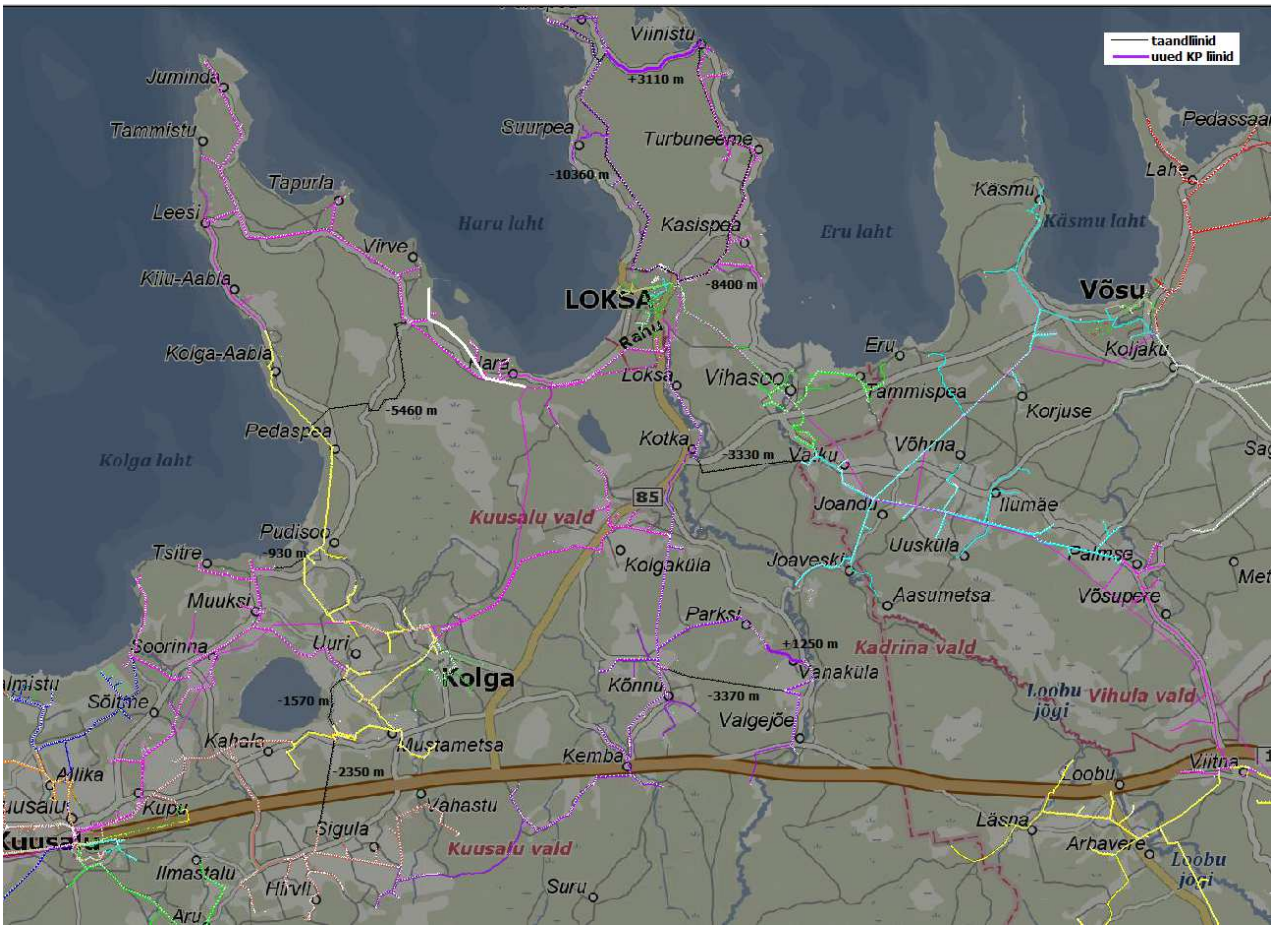
- Kasutati enamasti ringtoiteskeeme piirkonna alajaama(-de) sektsioonide vahel;
- Varustuskindluse parandamiseks, koormuste katmiseks ning arvestades võrgu seisukorda ehitati pidevalt juurde olemasolevate ringide ühendamiseks uusi silmusühendusi, ühendatud kokku ringidelt lähtuvaid haruliine;
- Kahe sõltumatu toiteallika nõue paljude tarbijakategooriate puhul oli üheks põhjuseks silmuste arvu suurenemisel.

Võrreldes valdava osa Eesti jaotusvõrgu esmase ehitamise ajaga on tarbimise paigutus ja ulatus oluliselt muutunud. Seda on põhjustanud endiste sovhoosi- ja kolhoosikeskuste taandareng, linnalähedaste piirkondade valglinnastumine, üksikmajapidamiste hääbumine maapiirkondades ja linnalähedaste suvilate massiline kasutuselevõtt aastaringse elukohana. Paljud omal ajal

üksikobjektide, nagu laudad, töökojad jms varustuskindluse tõstmiseks rajatud täiendavad silmusühendused on muutunud tarbetuks, sest seoses suurmajandite kadumisega on paljud sellised objektid jäänud kasutuseta ja lagunevad või ei vaja nad sedavõrd töökindlat toidet, kui varem.

Muutumas on ka elektrienergia tootmise paiknemine ja struktuur.

Selle tulemusel on muutunud võrgu konfiguratsioon ning kasvanud põhitoiteks mittevajaliku võrgu maht. Võrgu mahu vähendamiseks tuleks üleliigsed ringliinid kvalifitseerida nn taandliinideks, mis võrgu arengu käigus jäetakse hääbuma, s.t mida enam ei remondita ega rekonstrueerita ja mis viiakse kasutusest välja, kui hoolduskulud ületavad mõistliku piiri. Õhuliinide kasutusest eemaldamine tähendab nende demonteerimist. Hinnanguliselt leidub hajavarustuspiirkonnas praktiliselt kasutuseta keskpingeliine ca 1000 km ulatuses. 1000 km keskpingeliine moodustab 5,8 % paljasjuhtmetega keskpingeliinide kogupikkusest. Seega kasutuseta ringliinide kvalifitseerimine taandliinideks vähendab paljasjuhtmetega õhuliinide hoolde- ja remondikulusid vähemalt 6 %, kuid arvestades nende liinide kõrget eluiga, võib see määr ulatuda 9-10 %ni. Samal määral, s.t kuni 10 % väheneb ka paljasjuhtmetega õhuliinide rikete hulk taandliinide kasutusest välja viimisel. Joonisel 3.24 on toodud taandliinide näide Kolga ja Loksa alajaamade toitepiirkonnas: taandliinide koguulatuseks piirkonnas on 25,4 km.



Joonis 3.24. Taandliinide näide Kolga ja Loksa alajaamade toitepiirkonnas

Taandliinideks klassifitseerimise tulemustest tuleb informeerida võrgu dispetšereid.

Võrgu alakasutust põhjustab ka palju nulltarbimisega või vähese tarbimisega tarbimiskohti. Elektrilevi võrgus tervikuna oli 2013 a ca 45000 tarbimiskohta ehk 8 % kõigist tarbimispunktidest, kus tarbimine praktiliselt puudub juba aastaid. Jooniselt 3.19 nähtub, et umbes 400 hajapiirkonna KP/MP alajaamas ehk ca 1,5 % nende koguarvust 617 tarbijaga puudub koormus täielikult. 8,6 %

KP/MP alajaamade toitepiirkonnas ligi 14000 madalpingetarbijaga jääb ühe tarbija aasta keskmine võimsus P_{kesk} alla 100 W ehk keskmine aastatarbimine alla 1000 kWh (joonis 3.19-3.23). Üle 1200 KP/MP alajaama ca 3000 hajatarbijat tarbivad keskmiselt alla 1 kWh päevas ehk 365 kWh aastas (joonis 3.22). Sedavõrd madal koormus viitab väga madalale koormatusele ja asjaolule, et suur hulk hajapiirkonna tarbimiskohti on reaalses kasutuses suhteliselt lühikest aega aastas (sesoonselt).

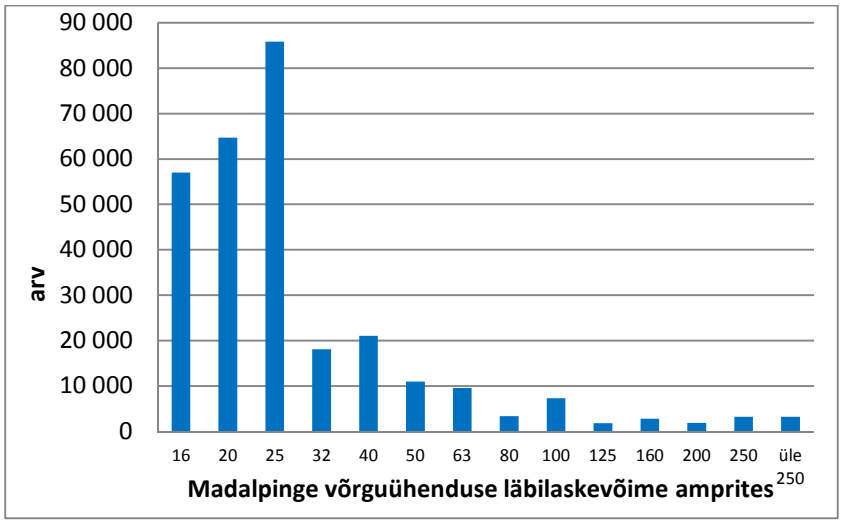
Tarbimiskohtade aastased tarbimismahud ei allu normaaljaotusseadusele (vt joonised 1.16 ja 1.17). Seega klassikaline „kolme sigma“ reegel äärmuslike (madalate) tarbimismahtude väljasõelumiseks pole rakendatav ning lähtuda tuleb eksperthinnangutest. Näiteks võiks madala kasutuse piiriks võtta aastase elektritarbimise 400 kWh, s.o kümme korda väiksema tarbimise, kui on kasumliku tarbimise piir 4000 kWh (vt p 1.2.4 ja joonis 1.16). Meenutame võrdluseks, et aastal 2010 moodustas Eesti keskmise majapidamise elektritarbimine 3465 kWh (vt p 1.2.4).

Olgu märgitud, et ka teistes varustuskindluse piirkondades leidub 235 KP/MP alajaama 281 tarbijaga, kus tarbimine puudub. Lisaks on neis piirkondades 285 alajaama mille toitepiirkonnas ligi 5800 tarbijaga jääb ühe tarbija keskmine aastatarbimine alla 1000 kWh. 143 KP/MP alajaama ca 950 tarbijat tarbivad keskmiselt alla 1 kWh päevas.

Et hinnata jaotusvõrgu kui terviku kasutuse määra, arvestame, et ELV 2013. majandusaastal oli:

- Võrguteenuse müügimaht 6492 GWh.
- Võrguteenuse müügimahu madalpingel leiame, kui 67% kogu müügimahust [Eesti Energia aastaaruanne 2012]: 4350 GWh
- Võrguteenuse müügitulu 241,4 M€
- Võrguteenuse müügitulu madalpingel = Keskmine võrguteenuse hind*müügimaht = = 37,2*4350 000 = 1618 M€
- Keskmine võrguteenuse hind 37,2 €/MWh
- Võrguühenduste koguarv 290851

Joonisel 3.25 on toodud madalpinge tarbimiskohtade jaotus võrguühenduse läbilaskevõime alusel:



Joonis 3.25. Madalpinge tarbimiskohtade jaotus võrguühenduse läbilaskevõime alusel

Joonise põhjal on leitav võrguühenduste summaarne läbilaskevõime (peakaitsete summaarne rakendusvoolvool): $I_{inst\,\Sigma}$ = 11037468 A

Kogu võrgu keskmine koormusvõimsus: P_{kesk} = 4350/8760 = 0,497 GW

Eeldades kogu võrgu koormusteguriks 0,5, siis võrgu koormustipp $P_{max} = P_{kesk}/0,5 = 0,994$ GW

Koormustippude üheaegsusteguri tüüpiline väärtus, kui koormuste arv on suurem kui 100, on piires 0,2-0,5 [Lee Willis …2005]

Eeldades koormuste üheaegsusteguriks 0,4, saame üksikkoormuste koormustippude summaks

$P_{max\,\Sigma} = P_{max}$ /üheaegsustegur = 0,994/0,4 = 2,485 GW

Sel juhul võrguühenduste suurimate voolude ligikaudne summa:

$I_{max\,\Sigma} = P_{max\,\Sigma}/\sqrt{3}U_N = 2485000/\sqrt{3}*0,4 = 3591040$ A

Siis **madalpinge võrguühenduse keskmine kasutustegur** =
= $I_{max\,\Sigma} / I_{inst\,\Sigma}$ = 3591040/11037468 = **0,325**, mida tuleb pidada üsna madalaks.

Korrates sama arvutust kuni 63 A võrguühendustele, saame:

Kuni 63 A võrguühenduste arv 287600

Müügimaht kuni 63 A võrguühenduste kaudu on ligikaudu 2871 GWh

Joonise põhjal on leitav kuni 63 A võrguühenduste summaarne läbilaskevõime ehk kuni 63 A peakaitsete summaarne rakendusvoolvool: $I_{inst\,63} = 9774118$ A

Kogu võrgu keskmine koormusvõimsus: $P_{kesk} = 2871/8760 = 0,328$ GW

Eeldades kogu võrgu koormusteguriks 0,5, siis võrgu koormustipp $P_{max} = P_{kesk}/0,5 = 0,656$ GW

Eeldades koormuste üheaegsusteguriks 0,4, saame üksikkoormuste koormustippude summaks

$P_{max\,\Sigma} = P_{max} / 0,4 = 1,64$ GW

Sel juhul võrguühenduste suurimate voolude ligikaudne summa, eeldades

$I_{max\,\Sigma} = P_{max\,\Sigma}/\sqrt{3}U_N = 1640000/\sqrt{3}*0,4 = 2369942$ A

Siis **kuni 63 A võrguühenduse keskmine kasutustegur** = $I_{max\,\Sigma} / I_{inst\,63}$ = 2369942/9774118 = **0,242**

Seega on kuni 63 A võrguühenduste keskmine kasutustegur veelgi madalam kogu madalpingevõrgu vastavast näitajast ja näitab võrgu märgatavat alakasutust.

Ajaliselt on hajavarustuspiirkonna elektrivõrk 95% ajast alakoormatud.

Näeme, et null- ja vähese tarbimisega tarbimiskohtade suur hulk põhjustab hajavarustuspiirkonnas täiendavalt palju alakasutuses võrgu osi, mille edastamisteenuse maht on väike ja kus võrguühenduste läbilaskevõime ei vasta tihti tegelikule vajadusele vaid ületab seda märgatavalt. Hinnanguliselt ligikaudu 10% võrguressursist on kasutuseta, kuid selle alalhoidmiseks on võrguettevõtja sunnitud tegema ebamõistlikke investeerimisotsuseid.

Elektrivõrgu alakasutust soodustab oluliselt tänane ainult tarbitud energiakogusel põhinev võrgutasu, mille tulemusel toimub alakasutuses võrgu ülalpidamine ja tarbimiseta ning vähe tarbivate klientide ristsubsideerimine võrgu ülejäänud osade rohkem tarbivate tarbijate arvel, põhiliselt üle kasumlikkuse piiri, s.t üle 4000 kWh aastas tarbivate tarbijate poolt.

Võrgutasude struktuur peab soodustama elektrivõrgu mõistlikku kasutamist lühiajalises vaates ja toetama võrgu efektiivset arengut pikaajalises perspektiivis. Neid eesmärke saab täita, rakendades võrgutasus lisaks energia edastuskomponendile võimsuskomponenti. See tähendab, et võrgu valmisoleku väärtustamiseks tuleb tänane ühekomponendiline võrgutasu muuta kahe-komponendiliseks, rakendades kilovatt-tunni põhise edastustasu kõrval kilovatipõhist võimsustasu või siis peakaitse nimivoolust lähtuvat ampritasu. See tagab õiglasema panustamise jaotusvõrgu

ülalpidamiskuludesse kõigi võrguühenduse kasutajate poolt ja hoiab ära ebaefektiivsed võrgu-investeeringud või vähendab neid oluliselt. Efektiivne tariifistruktuur nihutab kasumlikkuse piiri väiksemate aastatarbimiste suunas.

Muidugi peab tariifi muutmine toimuma lähtuvalt tänasest tulubaasist.

Tänase võrgutasu äärmuslikuks alternatiiviks oleks muuta võrgutasu ühekomponendiliseks puhtal kujul peakaitse nimivoolust lähtuvaks ampritasuks. Sellisel juhul kujuneks Elektrilevi andmeil kogu madalpingevõrgu ulatuses keskmise võrguühenduse peakaitse ühe ampri baashinnaks ligi 22 €/A.

Keskmine amprite arv ühe võrguühenduse kohta: 11037468/290851 = 37,95 A, mille kohaselt **keskmise võrguühenduse aastane ampritasu oleks 835 € ehk 70 € kuus**.

Vaadeldes ainult kuni 63 A võrguühendusi, kujuneks peakaitse ühe ampri baashinnaks **17,0 €/A.**

Keskmine amprite arv ühe kuni 63 A võrguühenduse kohta: 9774118/287600 = 34,0 A, mis teeb **keskmise kuni 63 A võrguühenduse aastaseks ampritasuks 578 € ehk 48,2 € kuus**.

Nagu juba öeldud, on õigeks lähenemiseks kompromiss kahe ühekomponendilise võrgutasu vahel, kehtestades **kahekomponendilise tariifi, mis lähtuks tänase tariifi aluseks olevast tulubaasist**.

Selline võrgutasude struktuur motiveerib tarbijaid lepinguliste tarbimistingimuste vastavusse viimist tegelike vajadustega ja kaaluma kasutamata võrguühendusest loobumist.

Ka töös [ENMAK…2014] rõhutatakse, et võrkude parema ja reaalsetest tarbijate vajadustest sõltuva planeerimise seisukohalt on otstarbekas rakendada tarbimis-punkti liitumisvõimsusest sõltuvat tariifi püsikulu komponenti, sh rakendada võrguühenduse kasutamise tasu kõigile võrguteenusest kasu saajatele.

Ühtlasi tuleks revideerida piiranguid võrgulepingu ülesütlemisel, et lihtsustada seda vähese või nullkasutusega tarbimiskohtade suhtes.

Olgu ka märgitud, et tänase võrgutasu muutuvkomponendi suur osakaal vähendab elektrienergia mikro- ja väiketootmise mahu kasvades oluliselt võrguettevõtja tulubaasi, mis omakorda raskendab varustuskindluse tagamist.

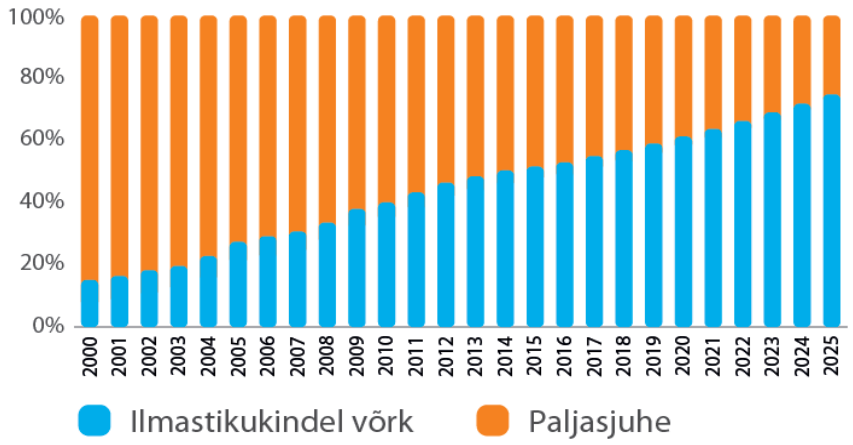
4. HAJAVARUSTUSPIIRKONNA ELEKTRIVÕRGU ARENGUSUUNAD

4.1 Üldpõhimõtteid

Eespool öeldust nähtub, et investeeringute prioriteetide ja nende realiseerimismeetodite valik on keeruline omavahel seotud eesmärkide ja lahendusvõimalustega ülesanne, mida mõjutavad mitmed tegurid. Üheks otsustusi mõjutavaks teguriks on erinevate varustuspiirkondade ulatus, mis määratakse kindlaks ruutkaartide alusel vastavalt töös [Valtin…2013] toodud põhimõtetele. Oluline on püstitada erinevatele varustuspiirkondadele erinevad võrguvara haldamise prioriteedid ja töökindlusealased normid. Ka Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 (ENMAK 2030) rõhutab, et arvestades Eesti rahvastiku paiknemist ja tihedust (tiheasustuspiirkonnad, hajapiirkonnad jne.) ning vajadust vähendada survet tariifide tõusuks, on otstarbekas diferentseerida nõutavad jaotusvõrkude töökindlusnäitajate (SAIFI, SAIDI, CAIDI) sihtväärtused sõltuvalt tarbimistihedusest (ja potentsiaalsest katkestuskahjust) [ENMAK…2014].

Hajavarustuspiirkonnas on ühiskonna seisukohalt väga oluliseks kriteeriumiks ilmastikukindlus – seda nii klientide suhteliselt suure katkestuskahju tõttu tulenevalt halvematest töökindlusnäitajatest (SAIFI, SAIDI, CAIDI) kui suurte kulude tõttu elektriettevõttele tormikahjustuste likvideerimiseks ja rikete kõrvaldamiseks. Ka Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 toob esile, et jaotusvõrkudega seotud suurimateks väljakutseteks on rikkelisuse vähendamine ning võrkude ilmastikukindlaks muutmine. 2013. aastal oli Elektrilevi OÜ võrgus just ilmastikust tingitud rikkeid 56%, võrgu vanusest tingitud rikkeid aga 29%.

Kui 2000.aastal oli ilmastikukindla võrgu osakaal 15%, siis täna ollakse 50% piirimail ja 2025.aastaks on kavas jõuda 75 %-ni – vt joonis 4.1. 2013. aastal oli ilmastikukindlate võrkude osakaal jaotusvõrkudes ca. 25-30%. Energiamajanduse arengukava aastaks 2030 peab optimaalseks ilmastikukindla võrgu osakaaluks ca. 75-80%, millest ligikaudu poole moodustaks maakaablid ning ülejäänu kaetud õhuliinid. [ENMAK…2014].



Joonis 4.1. Ilmastikukindla võrgu osakaalu dünaamika

Jaotusvõrkude arendamisel tuleks lähtuda senisest enam piirkondlikust varustustihedusest, kus potentsiaalne katkestuskahju on suurim. Samas tuleb parandada võrguteenuse kvaliteeti võrgutasu oluliselt tõstmata. Seetõttu tuleks investeeringute tegemisel silmas pidada pigem lihtsaid, ökonoomseid ja eluea poolest kasutuse vähenemist arvestavaid tehnilisi lahendusi.

Investeeringute plaanimisel võrgu rikkeid ennetavaks arendamiseks on üks põhiküsimusi rekonstrueeritava võrgu osa (liini lõigu) optimaalne suurus ja ka optimaalne plaanilise katkestuse kestus, mis peaks jääma lubatud aja piiridesse. Määramisel tuleks arvestada klientide hulka, katkestuskahju ulatust, karjalautade jms olemasolu.

Ennetavateks töödeks on juhtmete sidumine, isolaatorite vahetus, mastide vahetus, juhtmete vahetus jms ja need peavad tuginema defekteerimise (defektituvastuse) tulemustele.

Nagu öeldud eespool, tuleb investeerimisprioriteetide ja -meetodite hindamiseks ja valikuks määratleda hajavarustuspiirkonnad, kuhu planeerida investeeringuid esmajärjekorras. Määratleda võib piirkonnaalajaamade, käidupiirkondade, maakondade vms põhiselt.

Investeeringute prioriteete ja meetodeid mõjutavad paljud tegurid, millest eelkõige tuleks nimetada järgmisi.

- Tarbimise olukord. Prioriteetsemad oleks suurema hajatarbimisega ja suurema hajatarbijate arvuga võrguosad. Parima tulemuse annab eeldatavalt järjestamine agregeeritud näitaja – *tarbijate arvxtarbimine* järgi. Illustratsiooniks on tabelis 4.1 toodud piirkonnaalajaamade järjestamisel erinevate hajapiirkonna tunnuste järgi 25 ettepoole platseerunud alajaama tunnuse kahanemise järjekorras. Värvid tähistavad vastavas piirkonnaalajaama toitepiirkonnas prevaleerivat varustuskindluspiirkonda: hajapiirkond; kesktihepiirkond; tihepiirkond.

  Nagu tabelist näha, platseerus 249st piirkonnaalajaamast 16 (Viljandi, Kilingi-Nõmme, Mustla, Otepää, Linda, Võru, Pärna, Alatskivi, Rõngu, Jõgeva, Kuuste, Kose, Tõrva, Põlva, Elva ja Valjala) esimese kahekümneviie hulka kõigi viie hajapiirkonna näitaja järgi, kolm (Kanepi, Põltsamaa, Pärnu-Jaagupi) nelja näitaja järgi ning üks (Vastseliina) kolme näitaja järgi.

- Võrguosa arenguperspektiivid. Hajavarustuspiirkonna elektritarbimise arengu suure määramatusega seoses tuleks investeerimislahendusi otsida hajavarustuspiirkondade erinevate võimalike arengustsenaariumide puhul. Otstarbekaks võib osutuda erinevate võrguosade käsitlemisel kasutada erinevaid stsenaariume. Arengustsenaariume ja nende hindamise põhimõtteid käsitleti punktis 2.4. Keskpingevõrgu puhul võiks üldjuhul aluseks võtta teise stsenaariumi - stabiilne tarbimine, s.t tarbimine ja ka koormustipp ei kasva ega kahane.

- Liinide asukoht – metsas, avamaastikul, teedest eemal. Näitena on tabelis 4.2 esitatud 15 rohkema metsatrassidega käidupiirkonda järjestatuna trasside pikkuse ja osakaalu järgi.

Tabel 4.2. 15 rohkem metsastatud liinitrassidega käidupiirkonda

Käidupiirkond – järjestus metsatrasside ulatuse järgi	km	Käidupiirkond – järjestus metsatrasside suhtelise ulatuse järgi	%
Jõhvi Maa	472	Jõhvi Maa	52%
Hiiumaa	469	Kotka	45%
Kallaste	467	Hiiumaa	41%
Kotka	407	Tapa	37%
Orissaare	393	Kallaste	34%
Räpina	378	Võru Maa	32%
Valjala	373	Kuressaare	32%
Võru Maa	372	Harju-Risti	32%
Mõniste	360	Orissaare	31%
Kilingi-Nõmme	324	Räpina	30%
Roela	303	Aruküla	30%
Rakvere maa	303	Mõniste	30%
Kuressaare	300	Valjala	29%
Kose	287	Rakvere Maa	29%
Aruküla	265	Turba	29%

Tabel 4.1. Erinevate hajapiirkonna tunnuste järgi 25 ettepoole platseerunud piirkonnaalajaama tunnuse kahanemise järjekorras

Piirkonnaalajaam - järjestus hajapiirkonna pindala järgi	Haja-pindala, km^2	Piirkonnaalajaam - järjestus hajatarbijate arvu järgi	Haja-tarbijad, tk	Piirkonnaalajaam - järjestus hajatarbimise järgi	Haja-tarbimine, MWh	Piirkonnaalajaam - järjestus näitaja *hajatarbijadxhaja-tarbimine* järgi	Haja-tarbijadx haja-tarbimine, tkxMWh	Piirkonnaalajaam - järjestus näitaja *hajatarbijadxhaja-tarbiminexhajapindala* järgi	Hajatarbijadx *hajatarbiminex hajapindala*, tkxMWhxkm^2
Viljandi 110/35/15/6	453	Viljandi 110/35/15/6	1 884	Viljandi 110/35/15/6	5 807	Viljandi 110/35/15/6	10940388	Viljandi 110/35/15/6	724800705
Kilingi-Nõmme 110/35/15	350	Võru 110/35/10	1 598	Otepää 110/35/10	4 537	Otepää 110/35/10	5553288	Pärna 35/15	282334450
Mustla 35/15	349	Pärna 35/15	1 295	Jõgeva 110/35/15/10	4 152	Võru 110/35/10	5460366	Elva 110/15	268001014
Otepää 110/35/10	307	Mustla 35/15	1 274	Pärna 35/15	4 148	Pärna 35/15	5371660	Võru 110/35/10	245716470
Linda 110/10	294	Alatskivi 110/15	1 226	Kuuste 110/10	4 053	Mustla 35/15	4930380	Kuuste 110/10	237708450
Võru 110/35/10	294	Otepää 110/35/10	1 224	Kose 35/10	3 881	Kuuste 110/10	4754169	Jõgeva 110/35/15/10	221280840
Pärna 35/15	288	Põlva 110/35/10	1 190	Mustla 35/15	3 870	Jõgeva 110/35/15/10	4338840	Sikassaare 110/35/10	198951408
Alatskivi 110/15	261	Kuuste 110/10	1 173	Elva 110/15	3 749	Elva 110/15	4322597	Kose 35/10	191736924
Rõngu 110/35/15/10	261	Linda 110/10	1 155	Sikassaare 110/35/10	3 639	Kose 35/10	4168194	Otepää 110/35/10	161045352
Jõgeva 110/35/15/10	259	Kanepi 110/10	1 154	Võru 110/35/10	3 417	Põlva 110/35/10	3973410	Mustla 35/15	157772160
Vastseliina 35/10	258	Elva 110/15	1 153	Linda 110/10	3 354	Sikassaare 110/35/10	3901008	Põlva 110/35/10	147016170
Kanepi 110/10	249	Kilingi-Nõmme 110/35/15	1 127	Põlva 110/35/10	3 339	Alatskivi 110/15	3879064	Alatskivi 110/15	120250984
Kuuste 110/10	242	Rõngu 110/35/15/10	1 114	Alatskivi 110/15	3 164	Linda 110/10	3873870	Linda 110/10	104594490
Saare 110/15/10	239	Orissaare 110/10	1 096	Põltsamaa 110/35/15/10	3 130	Orissaare 110/10	3429384	Puhja 110/15/6	90491455
Kose 35/10	238	Kose 35/10	1 074	Orissaare 110/10	3 129	Kanepi 110/10	3218506	Kilingi-Nõmme 110/35/15	83364190
Mõniste 110/35/10	237	Sikassaare 110/35/10	1 072	Valjala 110/10	2 990	Kilingi-Nõmme 110/35/15	3206315	Orissaare 110/10	82305216
Tõrva 110/15	235	Vastseliina 35/10	1 066	Puhja 110/15/6	2 929	Valjala 110/10	3169400	Rõngu 110/35/15/10	80183492
Põlva 110/35/10	230	Valjala 110/10	1 060	Kuusalu 110/35/10	2 920	Rõngu 110/35/15/10	2764948	Põltsamaa 110/35/15/10	74838300
Elva 110/15	223	Jõgeva 110/35/15/10	1 045	Kilingi-Nõmme 110/35/15	2 845	Põltsamaa 110/35/15/10	2494610	Kuusalu 110/35/10	72710920
Türi 110/35/10	219	Saare 110/15/10	977	Kanepi 110/10	2 789	Puhja 110/15/6	2445715	Audru 110/35/10	72424853
Valjala 110/10	216	Mõniste 110/35/10	948	Tõrva 110/15	2 496	Tõrva 110/15	2169024	Valjala 110/10	63388000
Võhma 35/15	214	Rasina 35/10	921	Rõngu 110/35/15/10	2 482	Vastseliina 35/10	2108548	Pärnu-Jaagupi 110/35/10	50116200
Vändra 110/35/10	212	Käina 35/10	900	Pärnu-Jaagupi 110/35/10	2 481	Rõuge 110/10	2036034	Mustvee 110/35/15/10	48487992
Põltsamaa 110/35/15/10	207	Tõrva 110/15		Häädemeeste 35/15	2 390	Pärnu-Jaagupi 110/35/10	2004648	Tõrva 110/15	47718528
Pärnu-Jaagupi 110/35/10	203	Rõuge 110/10	858	Rõuge 110/10	2 373	Kuusalu 110/35/10	1965160	Käina 35/10	46828800

Töökindlusnäitajate ja metsatrasside ning lagetrasside suhtelise ulatuse vahelisi korrelatsioone R iseloomustab allpool toodud käidupiirkondade põhjal leitud korrelatsiooni maatriks:

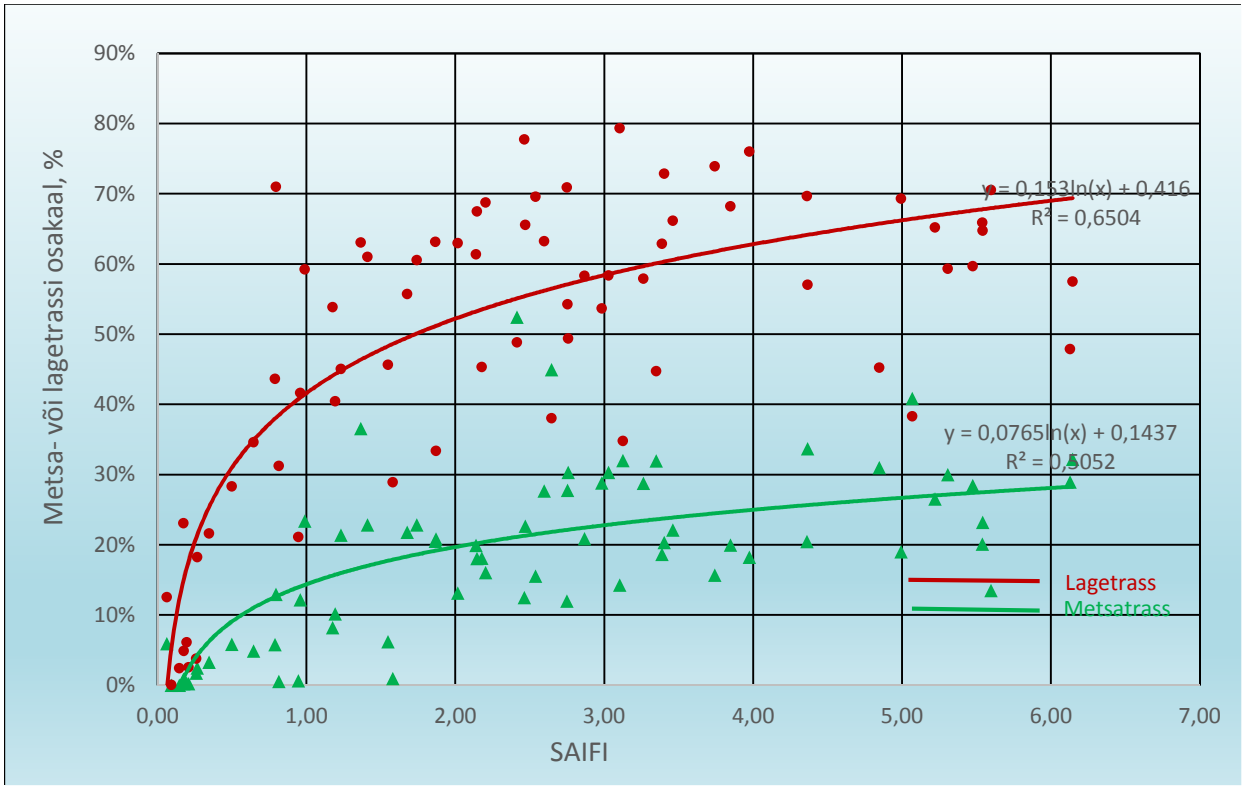
	SAIFI	SAIDI	Rikete arv	Liine, km	Metsas, %	Lagedal, %
SAIFI	**1**					
SAIDI	0,9387	**1**				
Rikete arv	0,8015	0,7869	**1**			
Liine, km	0,7766	0,7775	0,9047	**1**		
Metsas, %	**0,6331**	**0,6401**	**0,5663**	0,6627	**1**	
Lagedal, %	**0,6159**	**0,5257**	**0,7651**	0,7544	0,5014	**1**

Kokkuleppelised piirid seose tugevuse iseloomustamiseks:

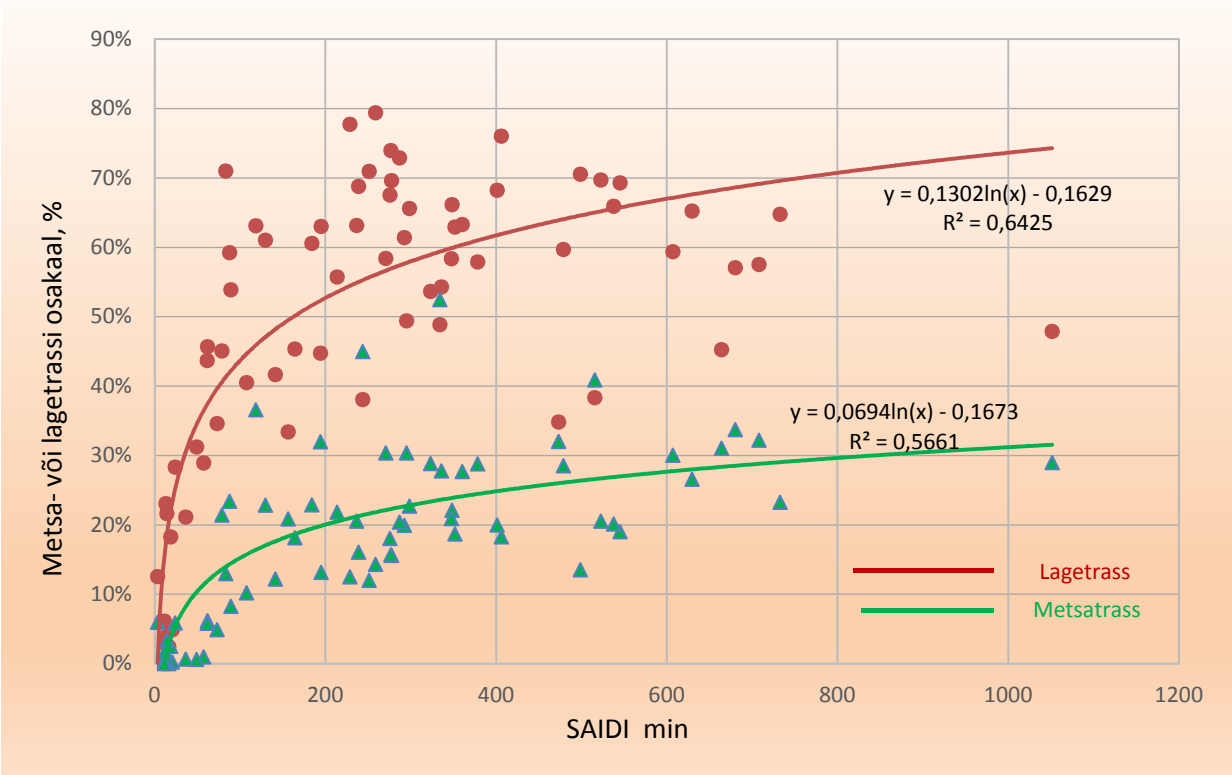
$|r| \leq 0{,}3$ – nõrk seos;
$0{,}3 < |r| < 0{,}7$ – keskmise tugevusega seos;
$|r| \geq 0{,}7$ – tugev seos

Nagu nähtub, on rikkenäitajate (SAIFI, SAIDI, rikete arv) ja metsa- ning lagetrasside vahelised korrelatsioonid keskmise tugevusega ega erine oluliselt. Seda illustreerivad joonised 4.1-4.3. Siin ja ka järgnevatel joonistel 4.4-4.6 on kujutatud suurima usaldusnäitajaga R^2 regressiooni-võrrandid.

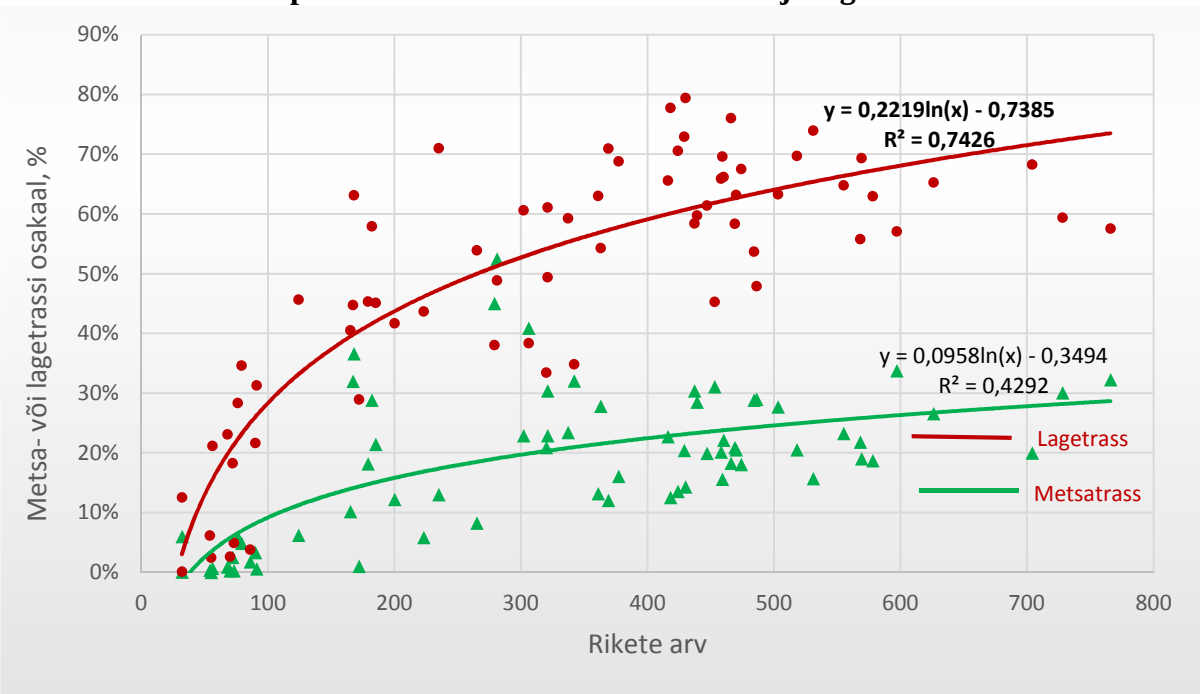
Sõltuvuste tugevused, mida iseloomustab väärtus R2, on keskmised, kusjuures metsatrasside puhul isegi nõrgem kui lagetrasside puhul. Seega vastupidiselt levinud seisukohale on rikkelisuse sõltuvus lagetrasside ulatusest isegi veidi tugevam, kui sõltuvus metsatrasside ulatusest. Metsatrassidel mõjutavad rikkelisust tuule ja/või lume toimel liinidele langenud oksad ja puud, lagetrassidel on suurem mõju tuulel, jäitel, lindudel, juhukoormustel, mööduvatel lühistel ja sissesõitudel. Analoogne pilt ilmneb ka Soome kogemustest – vt tabel 4.3[Lehtonen…2010].



Joonis 4.1. Käidupiirkondade SAIFI sõltuvus metsa- ja lagetrasside osakaalust



Joonis 4.2. Käidupiirkondade SAIDI sõltuvus metsa- ja lagetrasside osakaalust



Joonis 4.3. Käidupiirkondade rikete arvu sõltuvus metsa- ja lagetrasside osakaalust

Mida kaugemal on liinid teedest, seda pikem on rikete avastamise ja kõrvaldamise aeg, seega seda suuremaks kujunevad SAIDI ja CAIDI. Ka on rikete sagedus teedeäärsetes liinides mõnevõrra väiksem (vt tabel 4.3).

Tabel 4.3. Erinevat tüüpi liinide rikkesagedus (riket/100 km) Soomes

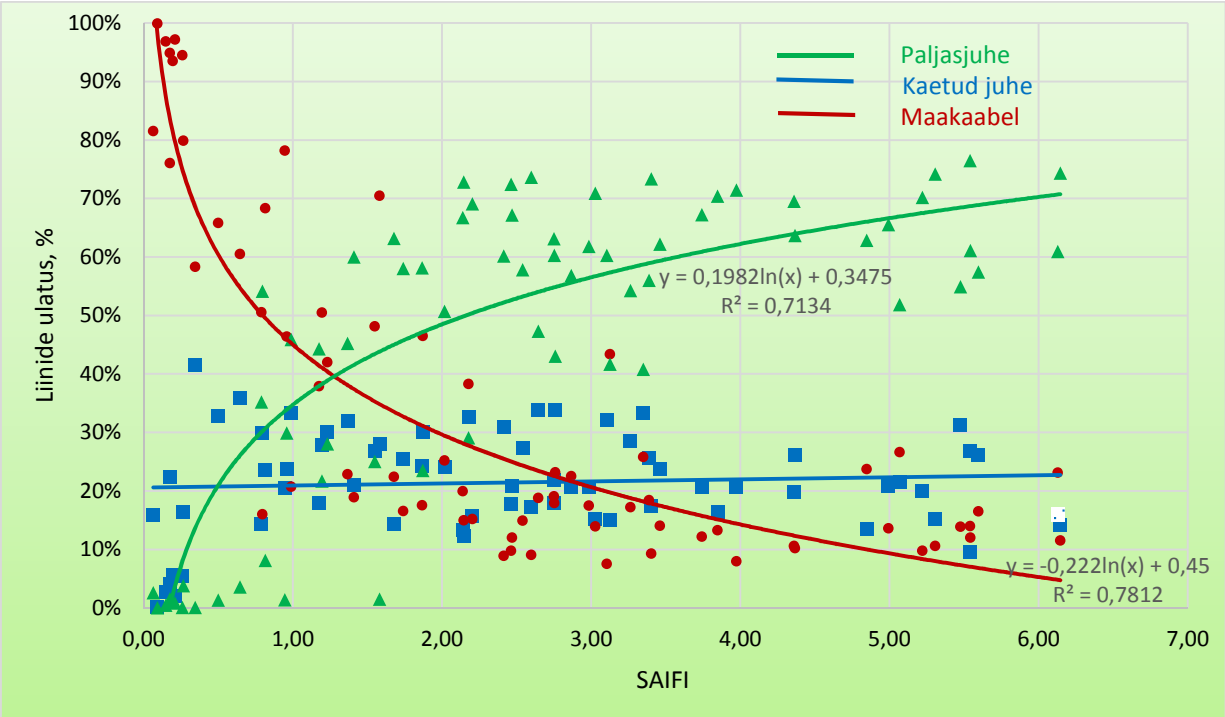
Juhtme tüüp	Metsas	Tee ääres	Avamaal
Paljasjuhe	7,70	3,60	4,10
Kaetud (PAS) juhe	0,68	0,33	0,42
Õhukaabel	0,50	0,23	0,86
Maakaabel	0,79	0,78	0,82

- Valdav liini tüüp – paljasjuhtmete suurema osakaaluga võrguosa prioriteetsem, kuna paljasjuhtmetega liinide rikkelisus on tunduvalt kõrgem. Seda iseloomustab kujukalt käidupiirkondade töökindlusnäitajate tugev korrelatsioon paljasjuhtmeliste (PJ) liinide ulatusega. Samas on tugev ka maakaabelliinide (MK) ulatuse ja rikkelisuse tugev negatiivne korrelatsioon:

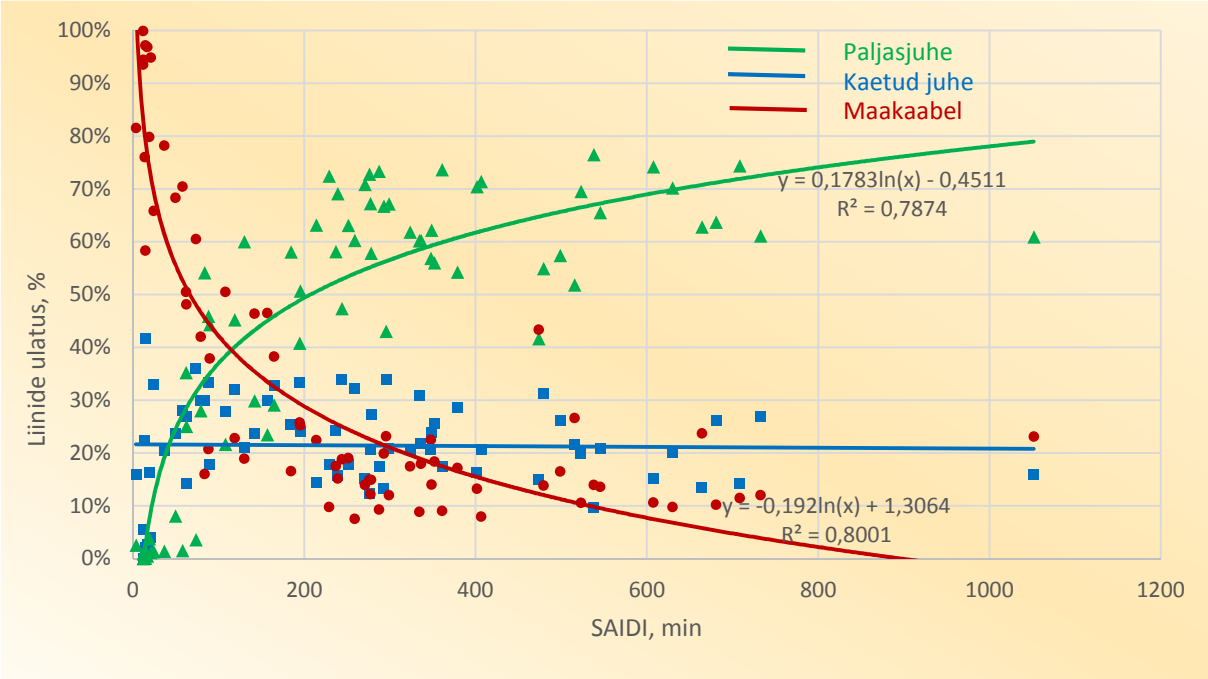
	SAIFI	SAIDI	Rikkeid	MK, %	KJ, %	PJ, %	Kokku, km
SAIFI	**1**						
SAIDI	0,9387	**1**					
Rikkeid	0,8015	0,7869	**1**				
MK, %	**-0,7207**	**-0,6582**	**-0,8161**	**1**			
KJ, %	**0,0684**	**-0,0204**	**-0,0265**	-0,3556	**1**		
PJ, %	**0,7473**	**0,7104**	**0,8813**	-0,9491	0,0430	**1**	
Kokku, km	0,7766	0,7775	0,9047	-0,8504	0,0828	0,8811	**1**

Ootuspäraselt on rikkenäitajad tugevas negatiivses sõltuvuses maakaabelliinide ulatusest, kusjuures ootuspäraselt on korrelatsioon SAIDIga mõnevõrra nõrgem, kui SAIFIga ja rikete arvuga. Väga tugev on rikkenäitajate sõltuvus paljasjuhtmetega liinide ulatusest. Täielikult puudub korrelatsioon rikkenäitajate ja kaetud juhtmetega (KJ) õhuliinide ulatuse vahel. Ilmselt on põhjuseks viimaste suhteliselt väike ulatus ja ka lühike statistika periood.

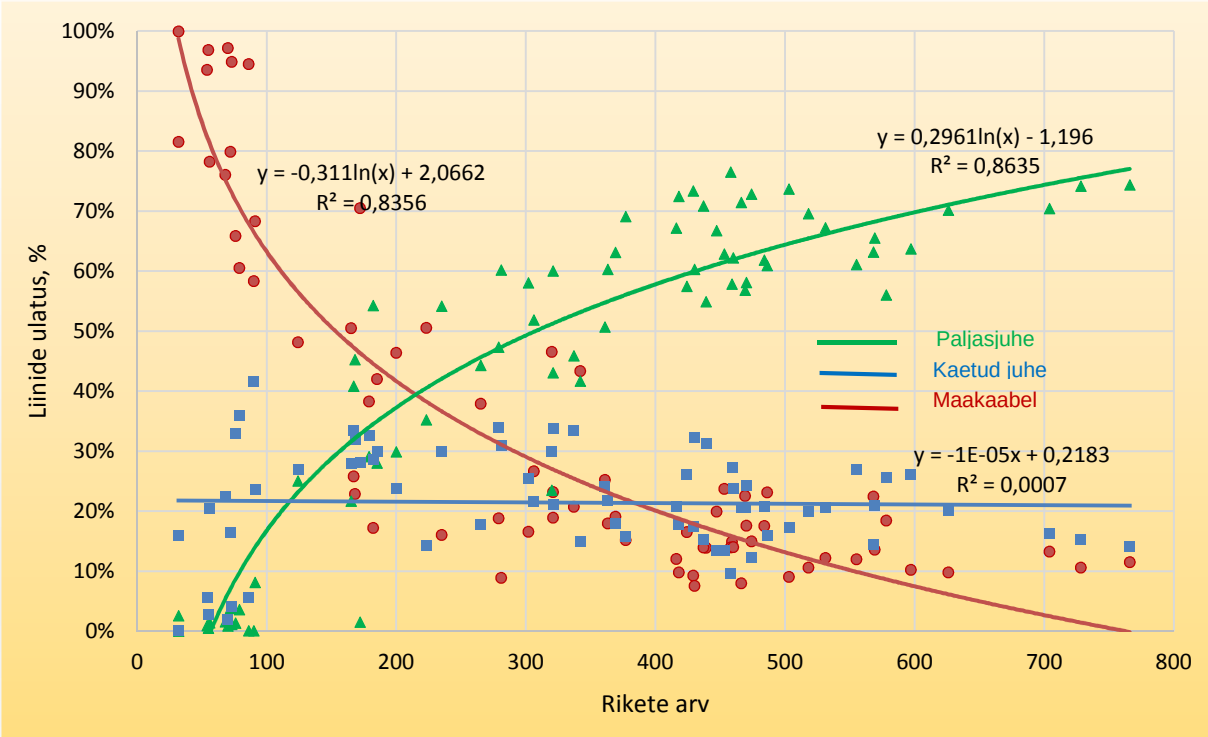
Käidupiirkondade töökindlusnäitajate sõltuvusi liinide tüübist iseloomustavad joonistel 4.4-4.6 toodud regressioonkõverad ja nende usaldusnäitajad R^2. Joonistel mõistetakse kaetud juhtmete all ka õhukaableid.



Joonis 4.4. Käidupiirkondade SAIFI sõltuvus liini tüübist



Joonis 4.5. Käidupiirkondade SAIDI sõltuvus liini tüübist



Joonis 4.6. Käidupiirkondade rikete arvu sõltuvus liini tüübist

- Liinide vanus – üldjuhul vanemad liinid või võrguosad prioriteetsemad, esmajoones p 3.2 käsitletud riskigrupid.
- Mastide tüüp – eelkõige tuleb tähelepanu pöörata pigiimmutusega puitmastidele, raud-betoonmastidest küna tüüpi ja vanemat tüüpi mastidele.
- Liinide koormatus – prioriteetsemad on suuremalt koormatud liinid või võrguosad (p 3.5).

- Võrguosa (liinide) toide – kas hajapiirkonnast või tihedamast piirkonnast – prioriteetsem viimasel juhul;
- Rikete sagedus – prioriteetsemad on suurema rikkesagedusega (SAIFI) võrguosad või suurema CAIFi väärtusega klientide toide;
- Defektsus, eriti kriitiline defektsus.

Jaotusvõrgu töökindlusse tehtavate investeeringute kasumlikkus sõltub suuresti eeldustest kvaliteedi regulatsiooni tulevase arengu kohta. Uuringud näitavad, et regulatsiooni määramatus mõjutab tugevasti investeeringu strateegia puhast nüüdisväärtust (NPV). Seega on oluline leida investeeringu strateegia, mis on stabiilne regulatsiooni muudatuste suhtes.

Lihtsaim moodus otsustamaks, mida rekonstrueerida (asendada) ja millistes osades teha eelkõige ennetustöid, oleks lähtuda vanusest**.** Täpsem oleks vanuse kõrval arvestada ka defektsust, masti (immutuse) tüüpi, aga ka rikete ajalugu, sidemete katkemist, rikete kontsentratsiooni. Kindlasti tuleks välja selgitada ja asendada maaühendusi saanud raudbetoonmastid (defektidega, lühisvoolu jälgedega).

Ettevõtluse arendamiseks vajalike ühenduste loomise kulud kaetakse liitumistasudega, seega nende osas investeerimisriskid praktiliselt puuduvad.

Võrgu arendamise põhiliste strateegiatena võib vaadelda järgmisi:

– võrgu säilitamine ja rekonstrueerimine olemasoleval kujul;

– keskpingevõrgu optimeerimine liinide toomisega teede äärde ja kasutades kaetud juhtmeid;

– keskpingevõrgu optimeerimine liinide toomisega teede äärde ja tüviliinide viimisega maakaablisse;

– keskpingevõrgu täielik viimine maakaablisse.

Madalpingevõrke tuleks arendada vastavalt eeldatavale arengustsenaariumile (p 2.4) – kas viia liinid maakaablisse, kasutada õhukaableid, tuua liinid teede äärde või kvalifitseerida nad taandliinideks.

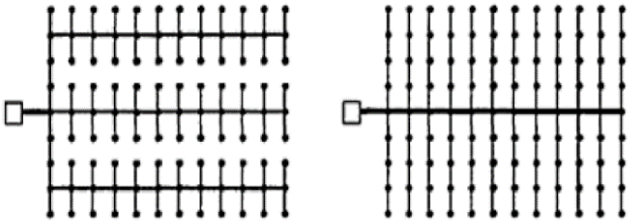
4.2 Võrgu konfiguratsiooni korrastamine (optimeerimine)

4.2.1 Keskpingevõrk

Jaotusvõrgu konfiguratsioon mõjutab oluliselt kliendikatkestuste arvu ja eriti kestust, samuti pingelohkude hulka ja ulatust. Töös [Valtin…2013] on esitatud tüüpilised Soomes ja Rootsis kasutatavad jaotusvõrgu konfiguratsioonid ja soovitatud erinevatele varustuskindluse piirkondadele. Haruliinidega radiaalvõrgud on odavaks lahenduseks suurel alal (kuni 100 km^2) väikeste koormuste (suurusjärgus 10 kVA) toiteks, seega eelkõige hajapiirkondades. Samas on töökindlus madalaim võrreldes teiste konfiguratsioonidega. Suhteliselt ökonoomseks tüüpkonfiguratsiooniks radiaalvõrgu kõrval on avatud, radiaalselt talitlev ringvõrk, mis sobib eelkõige kesktihepiirkondades, aga suuremate koormuste puhul ka hajavarustuspiirkondades. Mõlema tüübi puhul on rikkesagedus (SAIFI) sama, kuid ringskeemi puhul on SAIDI madalam. Siiski on avatud ringi ehituskulud suuremad, kui radiaalvõrgu puhul ja on soovitav ainult keskpingevõrkudes. Kui fiidri toitepiirkonda jäävad erinevad varustuskindluse piirkonnad, tuleb kasutada nn hübriidskeeme, mis sisaldavad erinevaid konfiguratsioone. Sellistel juhtudel tuleb arvestada ka, et hajavarustuspiirkondade töökindluse suurendamine võib tõsta ka kesktihe- ja tihepiirkondade töökindlust. Fiidri all mõistetakse kogu ühest toitealajaama punktist toidetavat võrguosa. Fiidri ulatus antud hetkel on määratud lahutuspunktide seisuga.

Sõltuvalt hajavarustuspiirkonda toitva fiidri iseloomust tuleks keskpingel arvestada järgmisi seisukohti.

- Fiider toidab ainult suhteliselt väikese võimsusega hajatarbijaid, mille varustuskindluse nõuded pole väga kõrged - otstarbekas on haruliinidega radiaalvõrk, kui ökonoomseim. Radiaalvõrku on võimalik konfigureerida mitmeti. Näitena on joonisel 4.7 toodud kaks võimalust suure hulga KP/MP alajaamade ühendamiseks - mitme tüviliiniga ja ühe tugeva tüviliiniga variant [Lee Willis…2005]:



Joonis 4.7. Mitme tüviliiniga (vasemal) ja ühe tugeva tüviliiniga (paremal) fiider

Suuremate tarbijate olemasolul võib tüviliini(de) osas kasutada ka avatud ringskeemi, lubades seejuures toidet ka toitealajaama samalt sektsioonilt.

- Kui fiider toidab ainult hajatarbijaid, s.h ka suhteliselt suuri tarbijaid – siis on otstarbekas nende toide tüviliinilt avatud ringskeemi kohaselt. SAIFI on eelmise skeemiga võrreldes sama, kuid SAIDI on väiksem. Parima töökindluse tagab toide piirkonnaalajaama erinevatelt sektsioonidelt, kuid võib lubada ka toidet samalt sektsioonilt.
- Kui fiidri toitepiirkonda jääb hajatarbijate kõrval ka kesktihepiirkonna tarbijaid – soovitavaks skeemiks on eelkõige haruliinidega avatud ringskeem, lubades erandjuhtudel toidet piirkonnaalajaama samalt sektsioonilt. Ringvõrgu töökindlus suureneb (nii SAIFIt kui SAIDIt väheneb) suletud ringskeemi puhul. Normaalselt suletud kaugjuhitav sektsioonivõimsuslüliti avaneb rikke puhul ühel või teiselpool lülitit. Töösse jäänud ringitüviliinilt lõigult toidetavad tarbijad toitekatkestuse all ei kannata, seega suletud ring vähendab SAIFIt fiidris ligikaudu poole võrra, suurendab aga mõnevõrra energiakadusid.
- Fiidri toitepiirkonda jääb hajatarbijate kõrval tihe- ja kesktihepiirkonna tarbijaid. Nende toide on soovitav suletud tüviliinilt. Haruliine tüviringliinilt tuleb kasutada hajatarbijate ja kesktihetarbijate toiteks. Tihepiirkonna ja suuremate kesktihetarbijate toiteks ei tuleks neid kasutada.
- Fiidri toitepiirkonda jääb hajatarbijate kõrval ka ülitihepiirkonna tarbijaid. Sobivaimaks on kahe- või mitmepoolse toitega võrk erinevatest piirkonnaalajaamadest. Hajatarbijate ja osalt kesktihetarbijate toide toimub haruliinide kaudu.

Nagu eespool öeldud, tuleb üleliigsete jooksevkulude vähendamiseks vähendada alakasutatud võrgu mahtu, tunnistades üleliigsed ringliinid taandliinideks. Keskpingeliste taandliinide identifitseerimiseks tuleb analüüsida vaadeldava(te)st piirkonnaalajaama(de)st toidetavat keskpingevõrku ja viia see vastavusse ülaltoodud ja töös [Valtin….2013] toodud soovitustega. Hajavarustuspiirkondades on üldtunnustatud võrgu konfiguratsiooniks radiaalvõrk, mistõttu tuleks ringtoidet moodustavad madala koormatusega liinid kvalifitseerida taandliinideks. Kesktihe- ja tihepiirkondades tuleb kaaluda mitmekordseid silmuseid moodustavate liinide taandliiniks kvalifitseerimist. Ülitihepiirkonnas on keskpingel soovitav kahe- või mitmepoolse toitega võrk säilitada.

4.2.2 Madalpingevõrk

Hajavarustuspiirkonna madalpingevõrkudes on eelkõige soovitav haruliinidega radiaalvõrk. Ulatusliku elektriküttega kesktihevarustuspiirkonnas ja tihevarustuspiirkonnas on soovitavaks konfiguratsiooniks avatud ringvõrk. Kahepoolse toide või reserveeritud toide sama alajaama erinevatelt madalpinge sektsioonidelt tuleb kõne alla ainult ülitihevarustuspiirkonnas.

Madalpingeliste taandliinide identifitseerimiseks tuleb vaadeldava piirkonnaalajaama toitepiirkonnas välja sõeluda KP/MP alajaamad, millel aastane koormus puudub täielikult. Seejärel tuleb hinnata väljasõelutud alajaamade toitepiirkondade tarbijate võimalikku arengustsenaariumit (vt 2.4). Kui selleks kvalifitseerub neljas stsenaarium, s.t tarbimine jätkuvalt puudub, on otstarbekas vastavad madalpingeliinid määratleda taandliinideks. Kui taandliinideks osutuvad antud KP/MP alajaama toitepiirkonna kõik liinid, on otstarbekas KP/MP alajaam koos teda toitva keskpingeharuliiniga või selle lõiguga kasutusest välja viia.

4.3 Võrgukoosluse arendamine

4.3.1 Keskpingevõrk

Omal ajal seisnes praeguseks vananenud võrgu planeerimine eeskätt võrgu pikkuse minimeerimises, arvestades tehnilisi kitsendusi (lubatav pingekadu ja lubatav vool), eesmärgiga kokku hoida materjalide kulu. Seetõttu kulgesid õhuliinid sageli läbi metsaalade, mis tõi kaasa rea töökindluse, trasside hooldamise, metsa maksumusega jms probleeme ning ilmastikunähtustega seotud riske. Radiaalvõrgud hajapiirkonnas, eriti haruliinid, on suures osas (muuhulgas nt ka Soomes ja Rootsi maapiirkondades) teostatud õhuliinidega, sest nende rajamine on suhteliselt odav, samas on aga töökindlus madal. Et vähendada ilmastiku riske ja tõsta töökindlust, rajatakse Soomes keskmiselt 50% ja Rootsis peaaegu 100 % uusi õhuliine kaetud juhtmetega või õhukaablitega. Kaetud juhtmetega liin vajab 40% kitsamat trassi kui paljasjuhtmetega liin. Metsaaladel kitseneb liinikoridor 4 meetrini. Liini paiknemisel teede ääres on võimalik jätta metsariba maastikupildi säilitamiseks ja müra vähendamiseks. Piirkonnaalajaamast väljuvad kaheahelalised liinid saab paigutada suhteliselt kitsasse koridori. Kaetud juhtmetega liinide korral kasutatava mastalajaama maksumus on umbes 1/3 võrra odavam kui maakaablite korral kasutatav kioskalajaam. Erinevate õhuliini tüüpide töökindlust ja vastavaid kulusid illustreerivad kvalitatiivselt joonis 4.8 ja tabel 4.3.

Hajavarustuspiirkonna elektrivõrgu koosluse arendamisel tuleks arvestada järgmisi seisukohti:

- Mastide ressursi olemasolul tuleb kaaluda paljasjuhtme asendamist kaetud juhtmega, seda ka tüviliinide kaugematel lõikudel. Siiski tuleb arvesse võtta ka lisatingimusi – metsatrassi ulatus, liini koormatus, reserveerimise võimalused. Metsatrassidel on raudbetoonmastide eluiga eeldatavalt juhtmete elueast suurem.
- Kaetud juhtmete puhul tuleb arvestada liigpingekaitse süsteemi omapära – vt p 4.4.6.
- Olemasolevatel liinidel paljasjuhtmete asendamine kaetud juhtmetega nõuab portselan- või klaasisolaatorite asendamist polümeerisolaatoritega (vt tabel 4.3 ja p 4.4.6) Isolaatorite asendamine olemasolevatel mastidel polümeerisolaatoritega SDI82ga nõuab ka traaversi vahetust. Tabelis 4.4 on esitatud portselan- ja komposiitisolaatorite omaduste võrdlus.

Tabel 4.4. Portselan- ja komposiitisolaatorite omaduste võrdlus

Näitaja	Portselanisolaatorid	Polümeerisolaatorid
Kaal	Suur	90% kergemad
Haprus	Habras, kergesti purunev löökide toimel	Mittehabras
Transport	Riskantne ja kallis	Lihtne ja ökonoomne
Paigaldamine	Riskantne, kallis ja töömahukas	Väga lihtne ja ökonoomne
Käsitlemine	Keerukas	Lihtne
Hoolduskulud	Kõrged	Madalad
Vandalism	Kergesti kahjustatavad	Väga vastupidavad
Vigastused	10-15 % vigastuvad transpordil, ladustamisel ja paigaldamisel	Painduvad ja väga vigastuskindlad
Mehaaniline vastupidavus	Alaneb tänu armatuuri oksüdeerumisele	Kuna on monoliitne, siis probleeme pole
Tugevus	Kõrge survetugevus, madal tõmbetugevus	Väga hea tõmbetugevus tänu valutehnoloogiale, madal survetugevus
Üle- ja läbilöögikindlus	Madal	Kõrge
Roome- ja erosioonikindlus	Väga madal	Suurepärane
Dielektriline tugevus	Madalam, kui polümeeril	Suurepärane
Reostus ja saastamine	Tugevasti mõjutatud	Ei mõju oluliselt
Hüdrofoobsus	Pole hüdrofoobne, kuid niiskusega pinnal tekkiv veekile soodustab ülelööke	Suurpärane hüdrofoobne käitumine – ei märgu
UV kiirguse vastupidavus	Väga hea	Mõõdukas, silikoonkummil hea
Isepuhastuvus	Puudub. Mustus, sool, tolm, lumi jäävad hästi peale	Hea tänu heale hüdrofoobsusele
Hooldus	Vajab puhastamist, pesemist, määrimist	Ei vaja hooldust
Vigade avastamine	Suhteliselt lihtne	Raske
Eluiga	Kõrge	Küllalt kõrge
Sobivus kaetud juhtmetele	Ei sobi	Hästi sobiv
Hind	Madal	Madalam kui portselanil

- Raudbetoonmastide ja nendel paiknevate isolaatorite vanuse ja eluea võib lugeda samaks.
- Liinide toomine teede äärde kiirendab rikete lokaliseerimist ja kõrvaldamist. Samuti hõlbustab see liinide, eriti kaetud juhtmetega liinide, ülevaatusi.
- Asustuse sidususe tugevdamiseks tuleb tugevdada asulaid ühendavaid tüviliine ja säilitada asulaid toitvate haruliinide varustuskindlus.
- Katkestussageduse näitajat SAIFIt vähendab keskmiselt poole võrra õhuliinide viimine maakaablisse tänu viimase suurele ilmastikukindlusele. Teisest küljest võtab rikete kõrvaldamine maakaabelliinides rohkem aega.
- Liinide maakaablisse viimisel peaks Soome ja Rootsi eeskujul toimuma valikuliselt. Keskpingel tuleks esmase prioriteedina maakaablisse viia ainult tüvi- ja ringliinid, soovitavalt mööda uut trassi tuues nad võimalikult teede äärde. Prioriteetsete hulka kuuluks ka suurema rikkelisusega liinilõigud.
- Kaabeldamist tuleks alustada piirkonnaalajaamadest ja pidades silmas edastatavat energiakogust. Eelkõige tuleb maakaablisse viia need tüviliinid, mille juhtmete ja mastide ressurss on ammendumas.
- Haruliinide osas tuleks kaabeldamine esialgu kõne alla ainult suurema kasutusmäära puhul. Keskpingelised haruliinid on otstarbekas rajada kaabelliinidena vanale trassile, kuigi see suurendab hilisemaid käidukulusid.

- Pikkade liinide korral tuleb kaaluda ka õhuliinide lõiguti (sektsiooniti) asendamist, raskest keskkonnast tulenevalt võivad erandina alles jääda ka üksikud õhuliini lõigud.
- Arvestada tuleb asjaoluga, et maaomanikud on üldiselt õhuliinide vastu. Kompensatsioonid maaomanikele mõjutavad oluliselt paigaldiste maksumust.
- Ulatuslike liinilõikude ühekorraga rekonstrueerimist raskendab vahel asjaolu, et kaheksa-kümnendatel aastatel vahetati puitmastid massiliselt r/b mastide vastu. Seetõttu paiknevad olemasolevatel liinidel mastid sageli läbisegi. Kuna puitmastide eluiga on väiksem r/b mastide omast, võib osutuda vajalikuks vahetada ainult puitmastid.
- Kindlasti tuleb välja selgitada maaühendusi saanud raudbetoonmastid (defektidega, lühisvoolu jälgedega) ja need asendada.
- Tuleb arvestada, et raudbetoonmastide eluiga on pikem, kui juhtmetel (seda eriti metsatrassidel). Eelduse kohaselt on Isolaatorite ja r/b masti vanus ja eluiga võib lugeda ühesuguseks. Seetõttu tuleks kasutada, eriti metsatrassidel, maksimaalselt ära r/b mastide ja isolaatorite jääkressurss.
- Raudbetoonjalandite kasutamine pole otstarbekas kuna immutusvahend kreosoot18 ja vasel põhinev tanalith E tagavad puitmastide eluea 40 a.
- Raudbetoonjalandite kasutamine võib osutuda otstarbekaks immutusvahendite keelustamisel keskkondlikel kaalutlustel. See on siiski vähe tõenäoline, sest jätkub intensiivne uue põlvkonna puidukaitsekemikaalide väljatöötamine, mille tulemusena on oodata uusi keskkonnasõbralikke ja suhteliselt odavaid puidukaitsevahendeid [Reiska…2012].
- Isoleeritud juhtmete kasutamisel tuleb arvestada nende erinevate tüüpide erinevusi ning nende iseärasusi võrreldes paljasjuhtmetega (vt p 4.4).
- Oluliselt parandab töökindlust võrgu sektsioneerimine. Viimane iseenesest ei vähenda rikete sagedust vaid tänu täiendavatele rikneda võivatele elementidele pigem isegi veidi suurendab seda. Siiski võimaldab sektsioneerimine kiiremini lokaliseerida rikkekoht ja ringvõrgu puhul paindlikumalt fiidrid rekonfigureerida.
- Taaslülitite */recloser/* kasutamine võimaldab vähendada lühikatkestuste ulatust, kuid nende paigaldamine hajavarustuspiirkonda ei ole otstarbekas.
- Kaetud juhtmetega liinid on lindudele paremini nähtavad võrreldes paljasjuhtmetega liinidega ning seega neile vähem ohtlikud. Ka puudub oht suurtele lindudele, kelle tiibade siruulatus on suurem faasidevahelisest kaugusest. Oht puudutada pingestatud osi lendu tõusmisel mastidelt väike.

4.3.2 Madalpingevõrk

- Madalpingeliinide uuendamisel tuleb kõne alla ainult õhukaabelliin, seda ka mastide ressursi ammendumisel (mastid vahetada). Õhukaabel võimaldab tõhusalt ära kasutada olemasolevate mastide eluea, kuna uut liini paigaldades saame ka töökorras maste veel kasutada. Selline lähenemine tagab soodsa „ilmastikukindla võrgukilomeetri“ maksumuse ja võimaldab kiiremini parandada võrgu töökindlust.
- Madalpingeliinide maakaablisse viimine tuleb kõne alla ainult uute liinide puhul uusehituste ja kinnisvara arenduste liitumisel.
- Ilma tarbimiseta tarbimiskohtadel tuleb kaaluda võimalust jätta kauglugemisega arvestid paigaldamata.

4.4 Kaetud juhtmed ja õhukaablid

4.4.1 Ülevaade

Maailmapraktikas võib eristada kolme isoleeritud juhtide süsteemi:

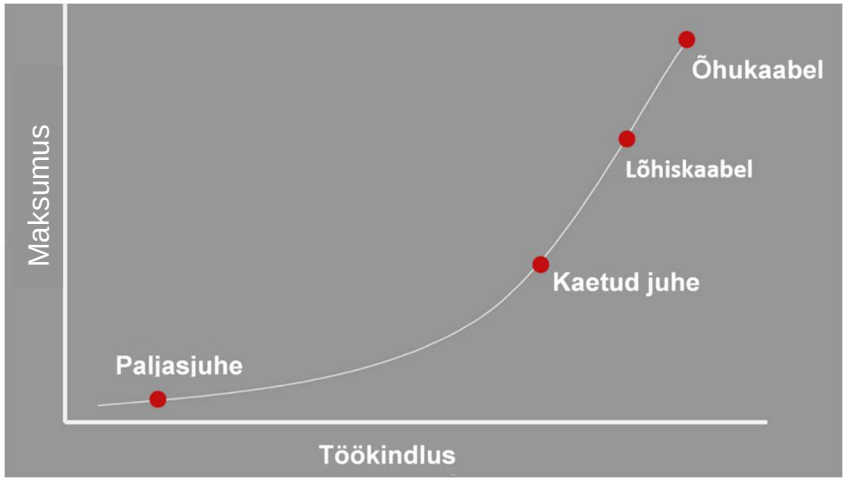
– kaetud juhtmed (ühe või mitmekihilised);

– õhukaablid;

– lõhiskaablid.

Isoleermaterjaliks on põhiliselt põiksidestuses polüetüleen (XLPE) ja kõrgtihe polüetüleen (HDPE), voolujuhina on kasutuses alumiiniumsulamist juhtmed või tugevdava südamikuga, nt teras-alumiiniumjuhtmed.

Erinevate õhuliini tüüpide töökindlust ja vastavaid kulusid illustreerib kvalitatiivselt joonis 4.8.



Joonis 4.8. Erinevate õhuliini tüüpide maksumuse ja töökindluse kvalitatiivne vahekord
Allikas: [Wareing…2005]

Tabel 4.5 iseloomustab jaotusvõrgu erinevat tüüpi liinide suhtelist maksumust [Accessories… 2011].

Tabel 4.5. Jaotusvõrgu erinevat tüüpi liinide suhteline maksumus

Liini tüüp	Suhteline maksumus
Paljas juhe	1,0
Kaetud juhe	1,3
Lõhiskaabel	2,0
Õhukaabel	2,5
Maakaabel	3,0

Detailsed Ensto kaetud juhtmetega ja õhukaablitega õhuliinide venekeelsed projekteerimisjuhised on allalaetavad Interneti leheküljelt **http://www.consultelectro.ru/page/ensto_tipovoy_proekt**

4.4.2 Kaetud juhtmed.

Ühekihilistes juhtmetes (joonis 4.9) kasutatakse tavaliselt 2,3 mm paksuse XLPE või HDPE isolatsiooniga alumiiniumsulamist juhtmeid. Toodetakse ka 1,6 ja 1,8 mm isolatsiooniga terasalumiiniumjuhtmetega (ACSR või AACSR) variante. Õhem isolatsioon vähendab kaetud

juhtme läbimõõtu ja seega juhtmeile mõjuvaid tuule- ja jäitekoormusi ning vibratsiooni, kuid vähendab oluliselt ka kulumiskindlust.

Joonis 4.9. Ühekatteline kaetud juhe

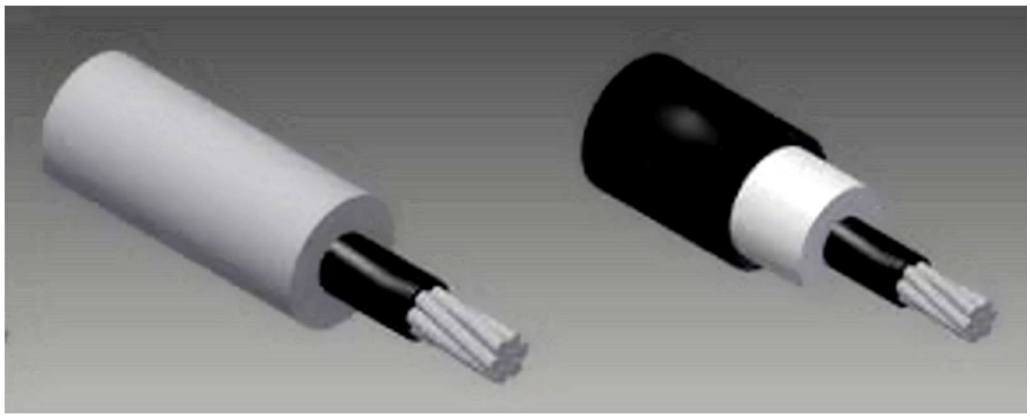
Ühekihilise XLPE isolatsiooni impulsstugevus on umbes 115 kV, kuid kokkupuutel puudega või traaversiga tekkiv elektriväli vähendab teatud perioodi (minutitest kuudeni) jooksul isolatsiooni tugevust. Pinna väljatugevused on portselanisolaatorite puhul suuremad tänu portselani ja XLPE kihi dielektriliste konstantide suurele erinevusele (kolm korda suurem, kui polümeerisolaatori puhul), eriti kui XLPE tahmasisaldus on 3 % ringis. Parem on olukord HDPE katte puhul, mille tahmasisaldus on tunduvalt väiksem.

Saadeval on mitmesuguseid ühekihilisi kaetud juhtmeid, millest levinumateks on järgmised.

SAX juhe – Soomes toodetav (Pirelli Cables & Systems Oy) üks varasemaid kaetud juhtmeid, mis on laialt kasutusel Skandinaavia keskpingevõrkudes, Ühendkuningriigis ja mujal. Tavalisemad on voolujuhi ristlõiked 30-120 mm^2. Alumiiniumsulamist täiskompaktjuht on kaetud 2,3…3,3 mm paksuse XLPE kihiga, mille süsiniku sisaldus on 2,5…3 %. On saadaval määrdevabana või määrde, teibi ja pulbrilise veetõkestusega variandis.

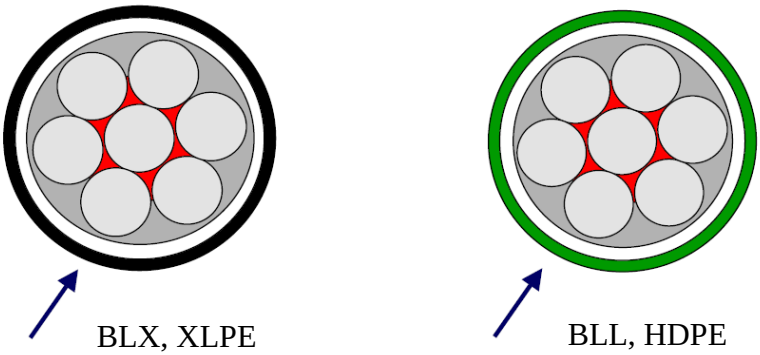
PAS/BLX juhe – toodetakse Norras ja Rootsis (ABB Norsk Kabel, Rekka jt). On sarnane SAX juhtmega, alumiiniumsulamist kompaktjuht ristlõikega 35…240 mm^2, katte paksus 2…3 mm. BLX valmistatakse ka vaskjuhiga. Üsna eksitavalt tähistab BLX ka Rootsis toodetavat mitmekihilist juhet (vt allpool).

Keskpingele mõeldud **mitmekihilistes juhtmetes** on 2-3 kihti - vt joonis 4.10:



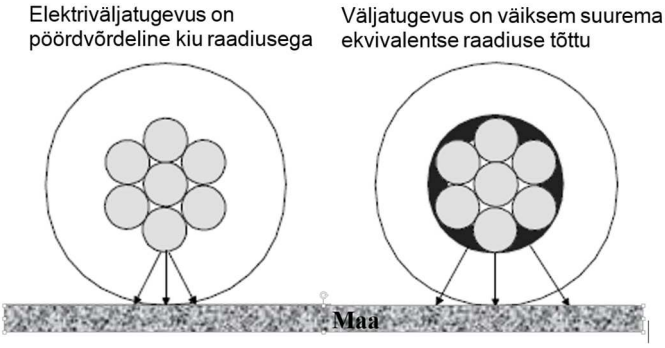
Joonis 4.10. Kahe ja kolmekihiline kaetud juhe

Levinud tüüpideks on BLL ja BLX juhtmed – vt joonis 4.11.



Joonis 4.11. Ekstrudeeritud kolmekihilised kaetud juhtmed

BLX-T juhe - Rootsis (Amo Kraft AB) ja Soomes toodetav kolme ekstrudeeritud kihiga juhe. Kattematerjal on väikese (0,5%) või nullise süsinikusisaldusega, mis vähendab söövitusprobleeme. Voolujuht on üldiselt mittekompaktne, mistõttu läbimõõt on veidi suurem, kui kompaktjuhtme puhul. Saadaval on ka osaliselt kompaktjuhiga variant. Etüülvinüülatsetaadist (EVA) mastiks tagab niiskuskindluse. Kolm isoleerkihti on järgmised: sisemine kiht on pooljuhtiv, keskmine isoleeriv kiht on polüetüleenist, välimine kiht on kulumiskindel HPDE. Pooljuhtiv kiht ühtlustab elektrivälja ja vähendab elektrivälja tugevust juhtme ümber kokkupuutel okstega, traaversiga vms (joonis 4.12). See võimaldab pikaajalist (kuni mitu kuud) kontakti maandatud objektiga.



Joonis 4.12. Pooljuhtiva kihi toime

BLL-juhe – toodab samuti Amo Kraft AB, on analoogne eelmisega, vastab uusimale kaetud juhtmeid käsitavale eurostandardile [European…2006].

Erinevate juhtmemarkide võrdlus: Vanad SAX ja PAS juhtmed ja ühekihilised BLX juhtmed:

- on vibratsioonitundlikud (tänu kompaktvoolujuhile);
- madal roomekindlus XLPE kihi suure süsiniku sisalduse tõttu ja suurele elektriväljatugevuse tõttu juhtme pinnal, mille tulemusel kattekiht muutub hapraks ega võimalda pikka kontakti maandatud objektiga;
- isoleerkiht libiseb metallosal;
- veekindluse tagamine on kulukas;
- määrdes tekivad mikromullid, kus areneb koroonalahendus ja intensiivistub roome;
- kattekiht pole keskkonnasõbralik;
- voolujuhti kattev teip kipub punduma.

Uued mitmekihilised BLX ja eriti BLL juhtmed on suures ulatuses neist puudustest vabad:

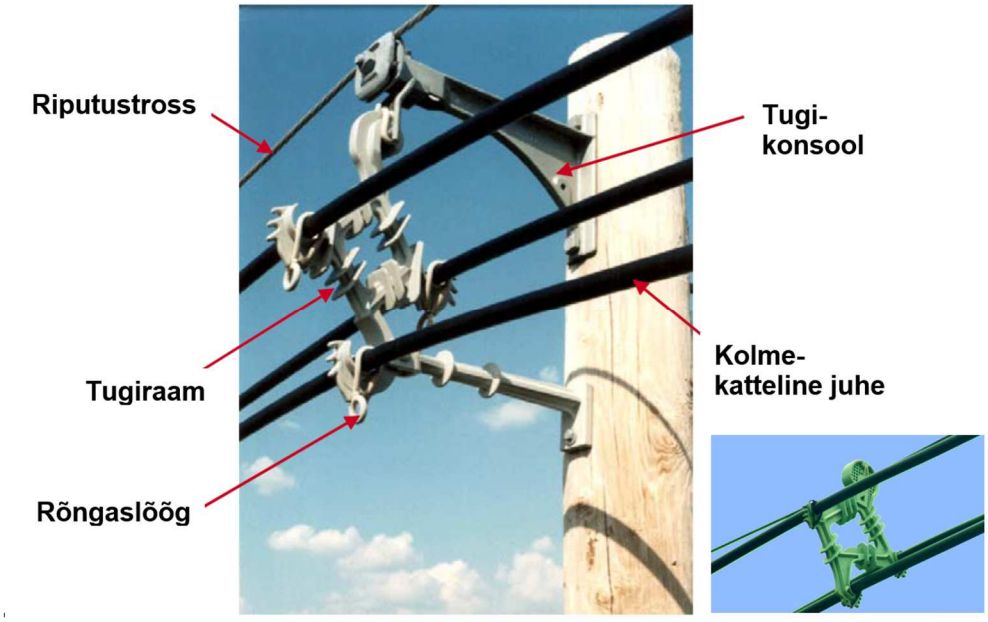
- on vibratsioonikindlad tänu kiudjuhtmele, mis soodustab vibratsiooni summutamist;

- suur roomekindlus tänu kulumiskindlale HPDE väliskihile ja pooljuhtivale sisekihile, mis vähendab elektrivälja tugevust juhtme pinnal. Seetõttu on võimalik pikaajaline kontakt maandatud objektidega (kuni mitu kuud);
- puudub kihtide libisemine;
- EVA mastiks tagab niiskuskindluse;
- kattekiht on UV kiirguse kindel
- kattekihi materjal on taaskasutatav.

Kogemused näitavad, et mehaaniline hõõrdumine kokkupuutel erinevate objektidega (puud, oksad, traaversid jm) ei ole probleemiks [Wareing…2005]. Elektrilise kulumiskindluse seisukohalt on parimaks valikuks kolmekihilised kaetud juhtmed BLX ja BLL. Ühekihilised juhtmed on pingel 10 kV vastuvõetava kulumiskindlusega kihi paksuse puhul vähemalt 3,3 mm. Rootsi ja Soome kogemustel on tänu keskkonna madalale soolsusele voolujuhi korrosioon praktiliselt välistatud ja kasutatavad on määrdevabad juhtmed.

4.4.3 Lõhiskaabel

Lõhiskaabel (e ripplõhiskaabel) kujutab endast riputustrossiga kolmefaasilist kolmnurkpaigutuses kaetud juhtme süsteemi polümeerist tugiraamil – vt joonis 4.13.



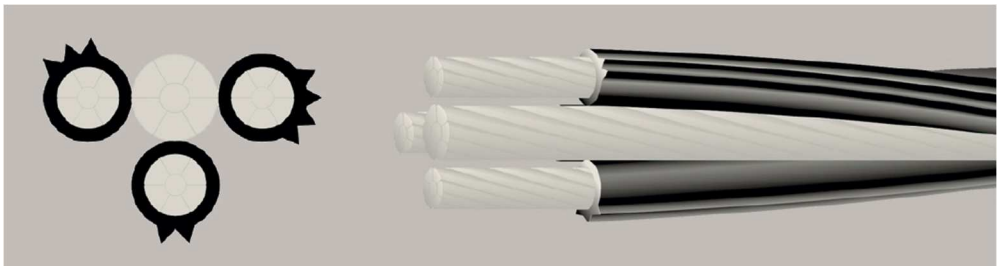
Joonis 4.13. Lõhiskaabli kinnitus mastil ja vahehoidik

Toodetakse lõhiskaableid USAs ja nad on kasutusel põhiliselt Lõuna- ja Põhja-Ameerikas. Faasijuhe on kolmekihiline kaetud mittekompaktjuhe, ultraviolettkiirguse stabilisatsiooniga ja vett tõkestava kompaundiga voolujuhi ja isolatsiooni vahel. Visangu ulatuses paiknevad polümeerist distantshoidikud.

4.4.4 Õhukaabel

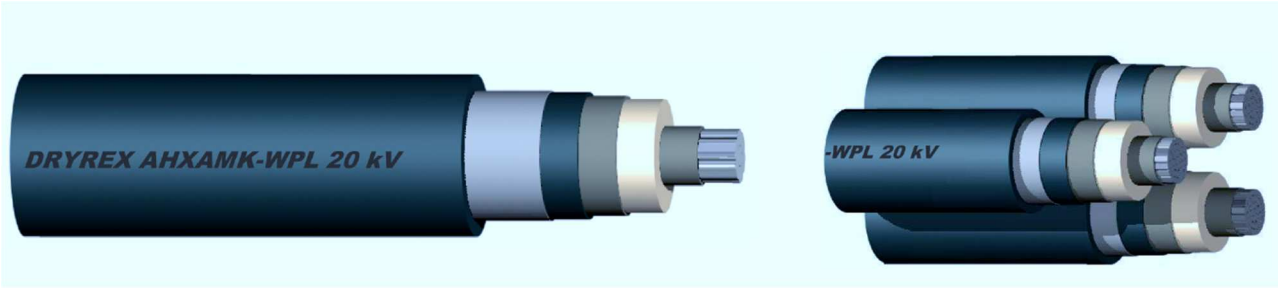
Õhukaabel on mõeldud riputamiseks õhuliini mastidele ilma täiendava isolatsioonita.

Madalpingel on laialt levinud alumiiniumisulamist rippkeerdkaabel **AMKA** (joonis 4.14), milles isoleeritudjuhtide kolm faasi on keerutatud ümber kandetrossi, mis toimib ka PEN-juhtmena.



Joonis 4.14. Kandetrossiga 1 kV rippkeerdkaabel AMKA

Kaasajal on kasutusse tulnud universaalkaablid paigaldamiseks pinnasesse, õhku ja vette. Valmistatakse Soomes, Rootsis ja USAs keskpingetele (AHXAMK-WPL ehk Multi-Wiski, EXCEL, AXCES) – vt joonis 4.15.



Joonis 4.15. Universaalkaabel AHXAMK-WPL 20 kV (Reka Kaapeli Oy)

Tänu madalamale impedantsile võrreldes paljas- ja kaetud juhtmetega on pingekaod neis väiksemad. See võimaldab suurendada liinide pikkust 40…50 %. Paigaldamiseks pole vaja traaverseid mastidel. On praktiliselt sama äikesekindlad, kui maakaablid [Universal…].

4.4.5 Kaetud juhtmete liigpingekaitse

Pikselöök liini või selle lähedusse indutseerib liinis liigpinge. Samas suurusjärgus liigpinge tekib kõigis faasides. Faasi ja maa vaheline liigpinge võib ulatuda mitmesaja kilovoldini. Liikudes lähima mastini tekitab liigpinge kaarleeklahenduse traaversi ja juhtme vahel, mis läheb üle võrgu-sagedusega lühisvooluks suurusega mitu kiloamprit. Suurus sõltub võrgu lühisvõimsusest ja lühisekoha kaugusest piirkonnaalajaamast. Tänu ioniseerunud õhule tekib faaside vahel elektrikaar, mis hakkab edasi liikuma piki juhtmeid koormuse suunas. Tavalisel paljasjuhtmetega liinil toimub kaarleegi liikumine vabalt ja liigpingepiirikud paigaldatakse seadmete juurde. Kaetud juhtmetega liinil takistab isolatsioonikiht vaba liikumist. Kaarleek põletab süttides isolatsioonikihti augu ja jääb seal põlema kuni juhe saab vigastatud või põleb selles kohas läbi, kui alajaamas ei toimi fiidri kaitse küllalt kiiresti. Vigastuste vältimiseks tuleb kaetud juhtmetega liinidele paigaldada vajalikesse kohtadesse kaarleegikaitseseadmed. Nende ülesanne on luua äikeseliigpingele ja kaarleegile maksimaalselt ohutu lahendustee juhet vigastamata.

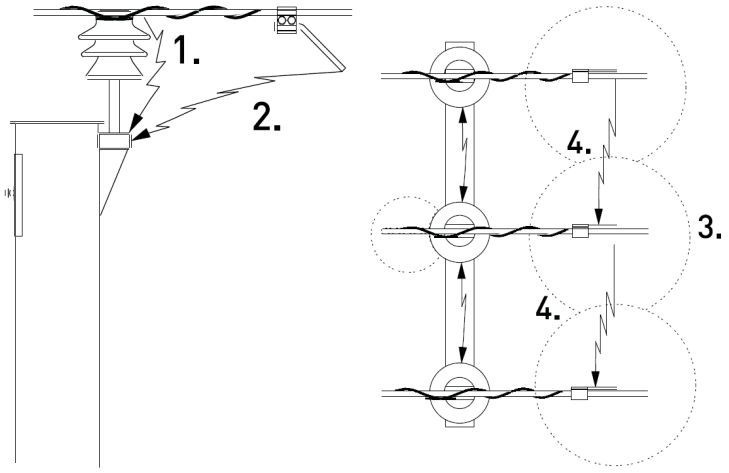
Kaarleegikaitseseadmed kaitsevad eelkõige liinijuhet, kuid samaaegselt ka teisi liini elemente. Kaarleegikaitseseadmeid paigaldatakse eelkõige nendes liinilõikudes, kus äikese esinemise tõenäosus on suurem nagu põllud, kõrgendikud jms. Samuti tuleb kaarleegikaitset kasutada inimeste poolt sageli külastatavates kohtades – hoonete läheduses, õuealadel, teede läheduses, ristmeväljades spordiväljakute lähedal jne.

Kaetud juhtmetega liinide kaitseks liigpingete eest on järgmised kasutusel järgmised seadmed:

- Kaarleegikaitseseadmed /*Power Arc Device (PAD)*/
- Sädevahemikud /*Arc Protection Device (APD)*/
- Liigpingepiirikud /*surge arrester*/
- Voolupiirikud /*current limiting device*/

Kaarleegikaitseseadmed juhtivad tekkiva kaarleegi võimalikult kaugele juhtmetest ja isolaatorist. Seega kaarleek põledes ei vigasta juhet – vt joonis 4.16.

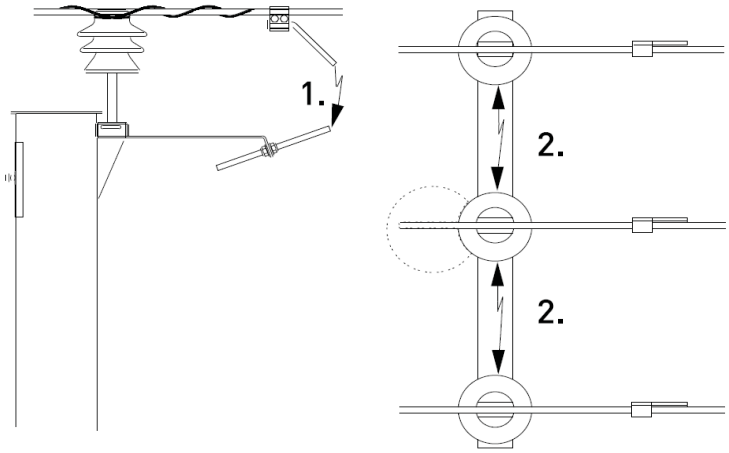
Kaarleek tekitab isolaatoril ülelöögi (1), mille järel see liigub pikki alumiiniumtraati kaitseelektroodile(2). Kaarleek, põledes traaversi ja kaitseelektroodi vahel, ioniseerib õhu juhtivaks (3) ja tekitab faaside vahelise lühise (4), kuni rakendub piirkonnaalajaamade kaitse.



Joonis 4.16. Kaarleegikaitseseade kaetud juhtmetega liinil

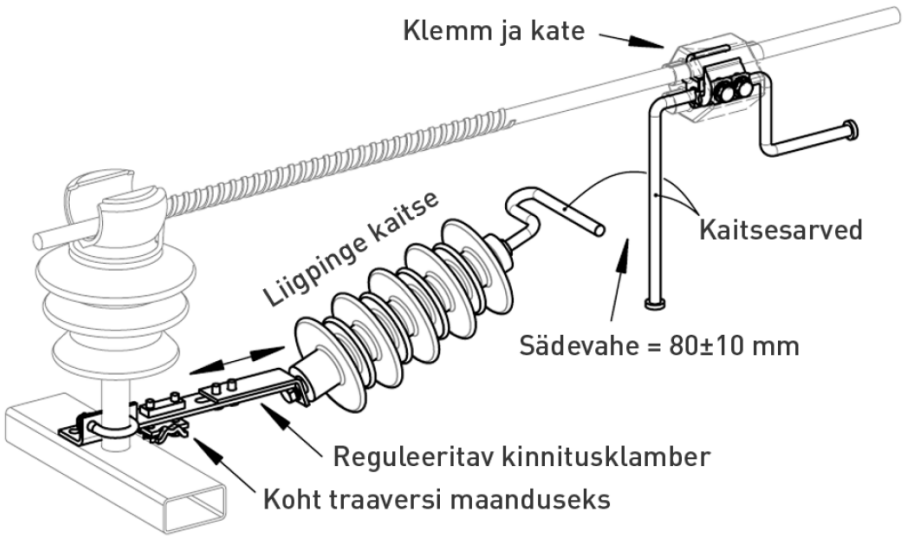
Kaitseelektroodide omavaheline kaugus ei tohi olla suurem kui faaside vaheline kaugus liinil. Kaarleegikaitse klemm monteeritakse juhtmele hammastega läbi isolatsiooni, seega pole juhet vaja isolatsioonist puhastada. Klemmid ei vähenda juhtme tõmbetugevust, klemme on lihtne monteerida valmis liinidele, kui tekkinud äikesekahjustused seda eeldavad. Klemme saab kasutada kantavate maanduste kinnituskohtadena. Ühepoolse toitega radiaalliinil monteeritakse kaarleegikaitse klemm isolaatorist liini lõpu suunas, kuhu liigub koormusvool, ringliinil mõlemale poole isolaatorit. Kaarleegikaitseseadmed on kasutatavad tugi-, tõmbe- ja rippisolaatoritel.

Sädevahemik - vt joonis 4.17. Väikeste lühisvoolude korral liigub kaarleek aeglasemalt ja põleb isolaatoril kauem. Et kaarleek ei vigastaks isolaatorit, tuleb monteerida vastuelektrood, moodustades nii sädevahemiku, kuhu kaarleek saab isolaatorilt siirduda (1). Sel juhul tekib faasidevaheline lühis traaversi kaudu (2), sellest aga rakenduvad kaitsed piirkonnaalajaamas. Sädevahemiku toime ei sõltu koormuse liikumise suunast, seega võib selle paigaldada ükskõik kummale poole isolaatorit või ka masti mõlemale poolele. Sädevahemikku võib kasutada tugi-, tõmbe- ja rippisolaatorite puhul.



Joonis 4.17. Sädevahemik kaetud juhtmetega liinil

Voolupiirikud - vt joonis 4.18. Juhtme kaitseks on kasulikum kasutada voolupiirikuid kui ainult liigpingepiirikuid tänu võimalusele väiksema liigpingepiiriku valikuks.



Joonis 4.18. Voolupiirik kaetud juhtmetega liini liigpingekaitseks

Voolupiirava kaitse eeliseks on, et selle töö ei põhjusta tarbijatele elektrikatkestust, kuna ei toimu fiidri väljalülitumist piirkonnaalajaamast. Liini tulnud äikeselaeng siirdub läbi metalloksiid-pingepiiriku ja sädevahemiku kaudu isolaatorist mööda, liini tööpinge aga ei löö läbi väiksemat liigpingekaitset, sest kaitse teine ots on õhus. Kaarleek süttib isolaatori ülelöögipingest madalamal pingel ja äikeselaengu lahendus toimub kaitsekomplekti kaudu. Kaitsele sattunud linnud, oravad või puuoksad ei põhjusta kaitse töötamist.

Voolu piirav kaitse paigaldataks traaversile ükskõik kummale poole sõltumata koormuse suunast. Traavers tuleb alati maandada. Piirikute paigaldustihedus liinil sõltub pingest, juhtmete kõrgusest maast, puude asukohast ja maastiku tüübist. Kasutatakse SDI 46.7 kaitsekomplekti, kusjuures liigpingepiirik kinnitatakse isolaatori varda külge reguleeritava vahetüki abil ja sädevahemiku kaitsesarv juhtmetele hammastega läbi isolatsiooni. Ühele traaversile on vaja kolm kaitsekomplekti.

Liigpingekaitseseadmete valik sõltub võrgu lühisvoolu suurusest. Järgnev tabel annab soovitused seadmete valikuks sõltuvalt lühisvoolu suurusest.

Tabel 4.6. Kaetud juhtmetega liini liigpingekaitseseadmete valiku soovitused

Traaversi tüüp	Lühisvool, kA	Kaitse moodus
Faaside vahekaugus 40…60 cm	Ca 1,0	Sädevahemik, liigpingekaitse, voolu piirik
Faaside vahekaugus 40…60 cm	2…3	Kaarleegikaitse kahekordse alumiinium-traadiga, sädevahemik, liigpingepiirik, voolupiirik
Faaside vahekaugus 40…60 cm	> 3	Kaarleegikaitse, sädevahemik voolupiirik, liigpingepiirik
Faaside vahekaugus üle 60 cm		Sädevahemik, liigpingepiirik, voolupiirik

Juhtme kaitsemooduste valikul tuleks arvesse võtta järgmist [ENSTO…]:

Tabel 4.7. Arvestatavad tegurid kaetud juhtmetega liini liigpingekaitseseadmete valikul

Näitaja	Kaarleegikaitse	Sädevahemik	Liigpingekaitse	Voolupiirik
Juhtme kaitse	Hea	Hea	Hea	Hea
Võrgu elementide kaitse	Ei kaitse	Väikesed trafod	Trafod, kaablid	Väikesed trafod
Elektrivarustuskindlus	Katkestus	Katkestus	Pidev	Pidev
Avamaastik	Vaja linnukaitse	Vaja linnukaitse	Vaja linnukaitse	Vaja linnukaitse
Raadiohäired	Ei esine	Ei esine	Ei esine	Ei esine
Kaitse kestvus	2-3 pikselööki 10 kA 1 s	2-3 pikselööki 10 kA 1 s	Võib vigastuda piksevoolu suure energia puhul	Võib vigastuda piksevoolu suure energia puhul
Hind		Soodne	Kõrge	Mõõdukas

Detailsed juhised liigpingejaitseseadmete paigaldamiseks võib leida allikatest [Accessories…2011], [ENSTO...].

4.4.6 Isolaatorite valik ja roome probleemid

Paljasjuhtmete korral ei oma kasutatud isolaatorite dielektriline konstant olulist tähtsust, kuna kogu pinge rakendub isolaatorile. Kaetud juhtmete puhul jaguneb pinge isoleerkatte ja isolaatori vahel. Et minimeerida juhtme pinna erosiooni (soovitumist), tuleb vähendada isoleerkattele langeva pinge gradienti. Portselanisolaatori dielektriline konstant on kolm korda suurem kui polümeerisolaatoril, mistõttu suurem osa pingest jaguneb isoleerkattele. Polümeerisolaatorite, eriti spetsiaalselt isoleerkattele sobitatute (HPDE) kasutamine vähendab tunduvalt kattele langeva pinge osa. Pinge jagunemise arvutused klaas- ja portselanisolaatoritel kaetud juhtmetega liinidel näitavad, et isoleerkattele langeb suur osa pingest [Pihler…2000]. Seetõttu on kaetud juhtmetega tungivalt soovitav kasutada polümeerisolaatoreid.

Kuna kaetud juhtmete isoleerkate ei kujuta endast täielikku isolatsiooni, esinevad tema pinnal nõrgad pindlahendusvoolud (tavaliselt alla 0,3 mA). Need voolud voolavad paratamatult faaside vahel ja faaside ning maa vahel. Need voolud suurendavad katte roome nähtust ja söövitavad seda, eriti saastatud keskkonnas. See viib lõpuks katte vigastumisele ja juhtme riknemisele. Lahendusi tugevdavad paljast metallist spiraalsidemed.

Roome on eriti probleemiks kõrge tahma sisaldusega kattematerjali puhul. Odava hinna tõttu on tahm kasutusel XLPE UV inhibiitorina. HDPE materjalides kasutatakse kallimat titaandioksiidi. Roomevoole tekitab eelkõige elektriväli hammasklemmi spiraalsidemeta vahel.

Joonis 4.19. Roome portselanisolaatorile seotud XLPE kattega kaetud juhtme pinnal

Roome vähendamiseks:

- kasutada klaas- ja portselanisolaatorite asemel polümeerisolaatoreid;
- ühendada spiraalsidemed hammasklemmidega;
- kasutada vähendatud või nullise tahma sisaldusega materjalist katteid.

Juhtmed võib siduda isolaatori ülauurdesse või kaelale eelpingestatud terastraadist spiraal-sidemetega või alumiiniumtraadiga. Spiraalsidemete CO 25, CO 70 või CO 120 kasutamisel seotakse juhe igale isolaatorile kahe sideme abil, seega kuus sidet ühele mastile. Kasutades sidumiseks alumiiniumtraati, peab selle ristlõige olema 25 mm², kuna seda kasutatakse siis ühtlasi ka kaarleegikaitseklemmide ühendamiseks isolaatori kaelaga ja omavahel. Sidumiseks kasutatav 16 mm² ristlõikega alumiiniumtraat ei sobi kaarleegikaitseklemmide ühendamiseks. Sidumisel kaelale tuleb siduda isolaatori mastipoolsele küljele, et vältida sideme katkemisel juhtme alla kukkumist. Nurgamastidel tuleb alati siduda kaelale.

Roome võib tekitada raadiohäireid.

4.5 Käidu täiustamine

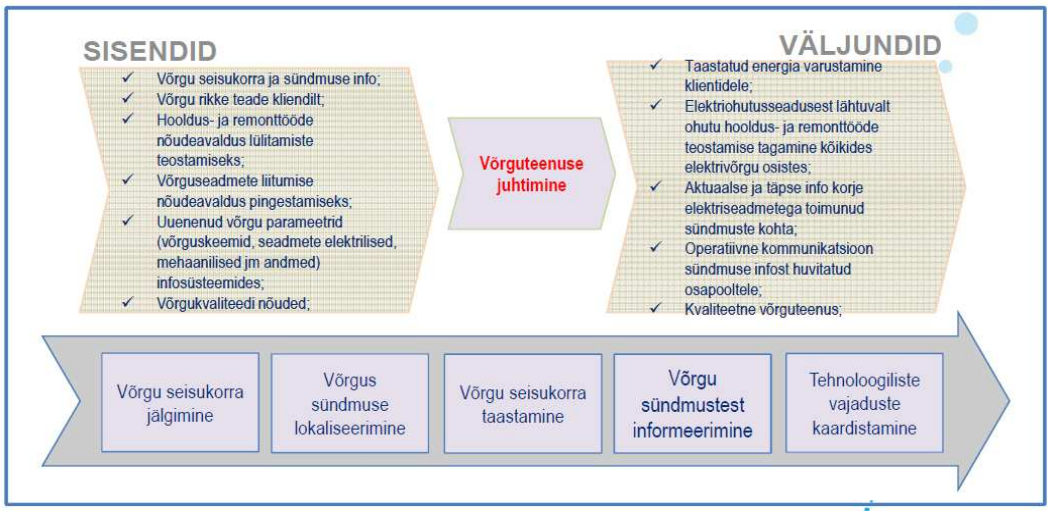
ELV teeb tõsist tööd põhitegevuse efektiivsuse tõstmiseks eesmärgiga tõsta töökindlust, vähendada tegevuskulusid, s.h võrgukadusid ning pikendada objektide kasutusiga. Põhitegevuseks on tööd, mida ei plaanita ja mida tuleb teha igapäevase käiduna. Erandiks on võsaraie, mida küll plaanitakse, kuid mis loetakse alati põhitegevuseks.

4.5.1 Ülevaade ELV käidukorraldusest

Käidu korraldamisel täidab olulist osa ELV juhtimiskeskus, kes tegeleb võrguteenuste juhtimisega eesmärgiga tagada optimaalne võrguteenus ja rikete korral taastada minimaalse ajaga klientide elektrivarustus - vt joonis 4.19.

Juhtimiskeskuse osakonna üksuste rollid on järgmised:

- Keskus: juhendite väljatöötamine, väljaõpe, arendustegevus, tegevuste analüüs, järelkontroll;
- Võrgu juhtimise tehnoloogia sektor: tarkvõrgu kontseptsiooni ja põhimõtete välja töötamine, realiseerimine ja seire;
- Juhtimiskeskus: võrgutalitluse seire, operatiivtööde juhtimine, lülitamiste korraldamine;
- Operatiivteeninduse sektor: operatiivtööks vajaliku ressursi, samuti kriisiolukorraks valmis-oleku tagamine.



Joonis 4.19. ELV võrguteenuste juhtimine
Allikas: [Tõnne…2014]

Juhtimiskeskus peaks andma tööde suunised: tööde mahud, kus, sooritamise ajad – kas suvel või talvel. Kuidas rakendada pingealust tööd, abigeneraatoreid jne.

Märkimist väärib juhtimiskeskuses kasutusele võetud Elektrilevi elektrikatkestuste marsruutimise infosüsteem ELKAM.

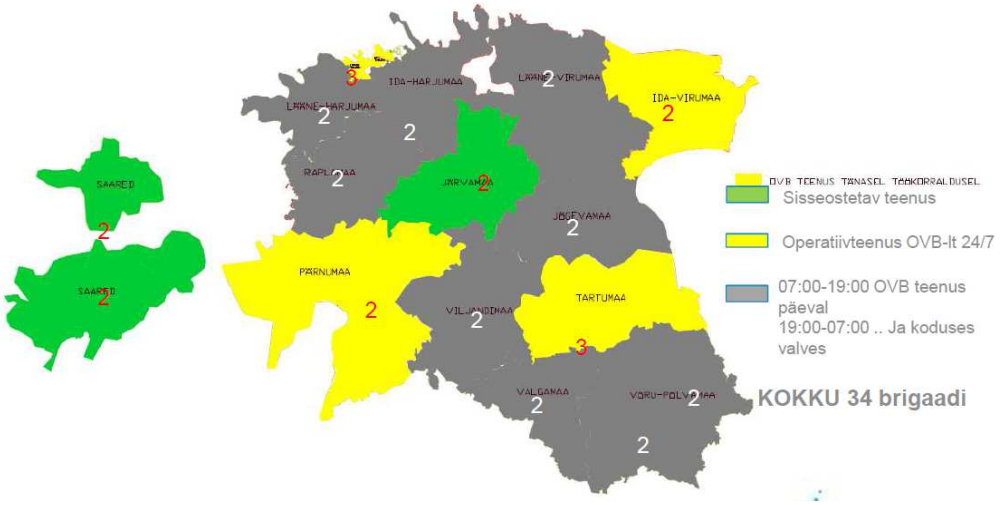
Hajavarustuspiirkonna töökindluse seisukohalt on olulisim operatiivteeninduse sektor.

Rikete käitlemine on suures osas antud üle ELV partneritele (vt joonised 4.20 ja 4.21). Tänase seisuga on kokku 202 operatiivväljasõidu brigaadi (OVB), mis jagunevad järgnevalt:

- operatiivbrigaade 34;
- lepingupartneri brigaade 63;
- elektritööde firmade brigaade 105.

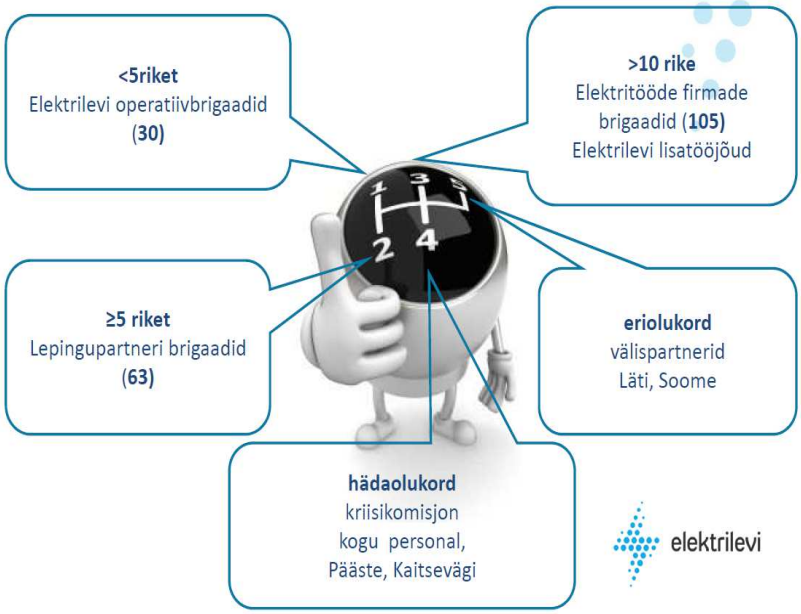
Joonis 4.20. Lepingupartnerite paiknevus alates 01.04.2014
Allikas: [Tõnne…2014]

Lepingus partneriga sätestatakse, millise ajaga peab jõudma rikke piirkonda.



Joonis 4.21. ELV operatiivväljasõidubrigaadide paiknemine ja tegutsemisgraafik
Allikas: [Tõnne…2014]

ELV ja partnerite ressursside rakendamist mitmesugustes rikkeolukordades peegeldab joonis 4.22.



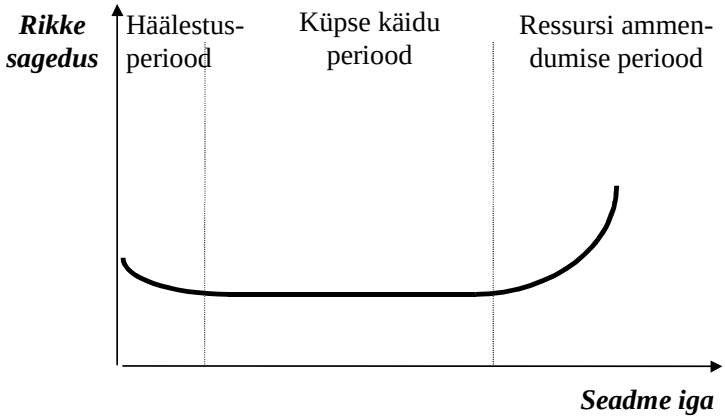
Joonis 4.22. Rikete likvideerimise mudel
Allikas: [Tõnne…2014]

4.5.2 Töö käigus üles kerkinud käitu puutuvad aspektid

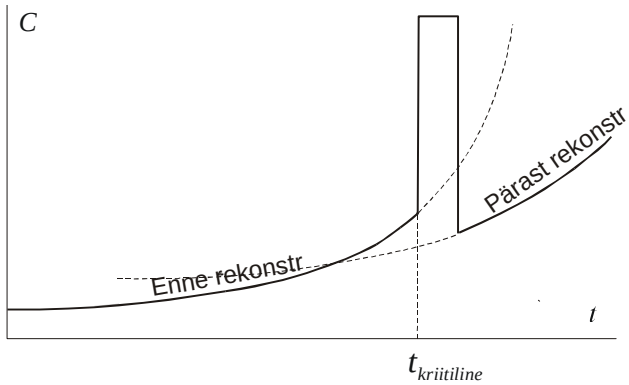
- Käidutööde suure mahu tõttu tuleks kaaluda korrashoiu investeeringute suurendamist. Samuti tuleb leida optimaalne tasakaal ennetava ja rikkepõhise hoolduse mahtude vahel.
- Kaalumisel on olnud, kas peaks ELV kõik OVB-d üle andma partneritele. Seda ei tule lugeda otstarbekaks. Oma brigaadid tagavad pideva valmisoleku ja kindlustavad maksimaalse kiirusega tegutsemise hädaolukordades (vt joonised 4.21 ja 4.22). Ühtlasi tegeleksid oma OVB-d rikete kõrvaldamisest vabal ajal võrgu defekteerimise ehk defektituvastusega /*flaw detection*/, s.t defektide seirega ja klassifitseerimisega.
- ELV peaks arendama erinevate parandustööde hinnakirju, et hinnata partnerite tööde eest esitatavate arvete õigsust.

- Isoleeritud juhtmetega liinid nõuavad regulaarseid ülevaatusi, avastamaks tekkinud probleeme, nagu nt puud või oksad liinil vms.
- Võrgu iga komponendi ressursi säilitamiseks on tootjad reeglina ette näinud teatud hoolduse ja remondi eeskirjad, mille mittetäitmisel kulud oluliselt kasvavad. Tootjad on selgelt väljendanud, et komponentide rikkelisus ja rikete likvideerimise kulud suurenevad oluliselt pärast ressursi ärakasutamist. Seda iseloomustab kujukalt nn „vanni kõver“ /*bathtub curve*/ - joonis 4.23.

  Siit järeldub, et võrguettevõtjal tähtajatute kohustuste täitjana pole majanduslikult otstarbekas kasutada võrgu komponente üle nende ettenähtud eluea, sest rikete likvideerimise kulud on suuremad õigeaegse uuendamise kuludest (joonis 4.24). Seadmete kasutamine tehnilisest elueast kauem või hoolduse ja remondi kulude piiramine põhjustab ülemääraseid rikkeid. See viib omakorda komponentide vanused võrguosas väga ebaühtlaseks, mis võrgu uuendamisel toob teatud osas kaasa ressursi lõpuni kasutamata jätmise ja kokkuvõttes püsikulude ja võrgu arenduskulude ebamõistliku tõusu.



Joonis 4.23. Tüüpiline töökindluse sõltuvus ajast („vanni kõver“)



Joonis 4.24. Võrgu komponendi kulud sõltuvalt east

- Seega on majanduslikult mõistlik konkreetsesse võrguossa või toiteskeemi paigaldada samasuguse elueaga komponente ja ka uuendada neid võimalikult üheaegselt. See tähendab, et võrgu püsikulusid on võimalik vähendada mõistliku võrgukomponentide valikuga, õigeaegse asendamisega ning kompleksse remontimisega.
- Kompleksremonte on otstarbekas rakendada tüviliinidele ja sellelt väljuvate haruliinidele – töökindlus selle tulemusel praktiliselt ei kannata. Remontide perioodsus oleks määratud võrgukomponentide hoolduse ja remondi eeskirjadega. Võsa raie võib toimuda erineva perioodsusega sõltuvalt võsa kasvukiirusest.

- Oluline on silmas pidada, et tööde mahud hooldamisel, remondil ning investeerimisel ei kuhjuks, muidu tekib oht nende tegemata jätmiseks ebapiisava rahalise ja tehnilise võimekuse tõttu, mis võib põhjustada massilise üheaegse võrgu komponentide tööst väljalangemise.
- Uuendamise investeeringute ja jooksvate tegevuskulude omavaheliste proportsioonide võrdlemine pole mõistlik, sest nende majanduslik otstarbekus sõltub võrgu komponentide kvaliteedist, nende uuendatuse tasemest ja tootjate poolt ettenähtud hoolduse ja remondi nõuete täitmisest.
- Tuleks analüüsida võrgu kõigi komponentide jääkresurssi ja tootjate poolt ettenähtud hoolduse ning remondi mahu ettekirjutuste täitmist. Selleks tuleb välja arendada vajalikud infosüsteemid.
- Teatud piirkondades võiks testimise eesmärgil kaaluda võrgu komponentide käitamist kauem kavandatud elueast, et hinnata nende tegelikku jääkressurssi. Seejuures tuleb varustuskindluse näitajate osas lubada erikokkulepete sõlmimist.
- Kindlasti tuleks rakendada Soome praktikat ja lubada teatud võrguosades või teatud tarbimiskohtadele pikemaid katkestusaegu. Teatavasti kehtivad praegu järgmised rikete likvideerimise nõuded: jaotusvõrgus tuleb rikkest põhjustatud katkestus kõrvaldada

  – 12 tunni jooksul ajavahemikus 1. aprillist kuni 30. septembrini;

  – 16 tunni jooksul ajavahemikus 1. oktoobrist kuni 31. märtsini.

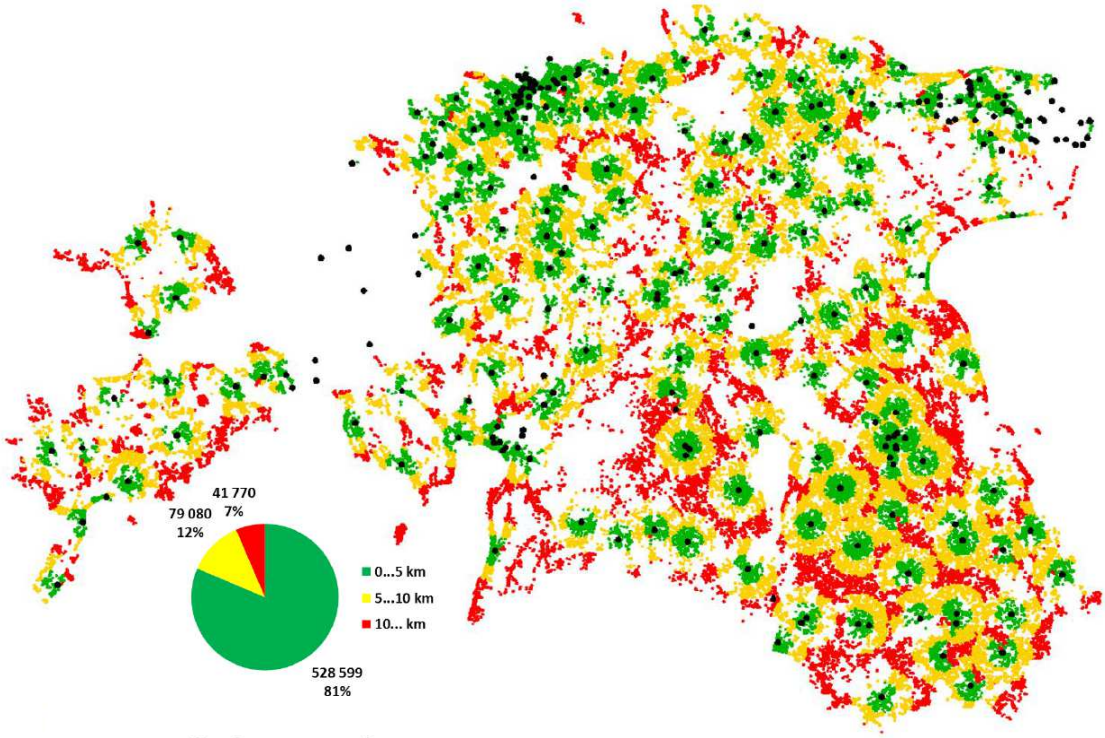
  Riketest põhjustatud katkestuste kestus võib ühe tarbimiskoha kohta olla kuni 70 tundi aastas.

  Kui katkestuse põhjustas sündmus, mis kestab pikemat aega ja mida võrguettevõtja objektiivselt ei suuda ära hoida ega takistada, tuleb katkestus kõrvaldada 3 päeva jooksul alates selle sündmuse lõppemisest. Sündmuseks võib olla loodusõnnetus (vt joonis 1.13), liinide projekteerimisnorme ületav keskmine tuul 21 m/s või jäite paksus 10 mm.

  Pikemaid katkestusaegu tuleks lubada nn „abikaugetele" piirkondadele või tarbijatele. Joonis 4.25 iseloomustab klientide kaugusi piirkonnaalajaamadest. Kaugemal, kui 10 km paikneb 41770 tarbimiskohta ehk 7 %.
- Kuna abi osutamise kiirus ei sõltu ainuüksi kaugusest vaid ka objekti iseloomust, ligipääsetavusest, tarbimismahust ja rikke kõrvaldamise prioriteedist, oleks õigem nimetada selliseid objekte abiviitega piirkondadeks või tarbijaiks.

  Abiviitega tarbijaiks oleks esmajoones hajavarustuspiirkonna alatarbimisega, raskesti ligipääsetavad ja väheprioriteetsed tarbimiskohad. Abiviitega võrguosadeks võib siis lugeda need, mis varustavad abiviitega tarbimiskohti ja ainult neid.
- Ühiskond peab mõistma ja aktsepteerima, et objektiivselt eksisteerib teatud hulk abiviitega tarbimiskohti, mille toitekatkestused tormide ja muude loodusõnnetuste korral likvideeritakse viimases järjekorras. Tuleb nõustuda ELV sätestatud objektide prioriteetsused rikete kõrvaldamisel:

  1. Oht inimelule: objektid, kus on otsene oht inimelule või on seotud kriisi reguleerimisega.
  2. Elutähtsad teenused: objektid elutähtsate teenuste toimepidevuse tagamiseks.
     Hädaolukorra seadus nimetab 45 elutähtsat teenust.
     Vt https://www.siseministeerium.ee/elutahtsad-valdkonnad-ja-teenused-2/
  3. Ühiskondlikud teenused: objektid ühiskondlike teenuste tagamiseks (koolid, haiglad, kauplused jms).
  4. Majanduslikult oluline: majanduslikult olulised objektid ja massikogunemise kohad.



Joonis 4.25. Klientide kaugused piirkonnaalajaamadest

- Otstarbekas oleks lisada viies prioriteetsuse grupp – suurema tarbimisega ja tarbijate arvuga kohad
- Prioriteetsuse ajakohastamine toimub kord aastas koostöös kohalike omavalitsustega.
- Abiviitega tarbijaiks oleks esmajoones ülaltoodud prioriteetsusgruppidesse mitte kuuluvad hajavarustuspiirkonna nulltarbimisega ja vähese tarbimisega raskesti ligipääsetavad tootmisbaasidest kaugemale jäävad tarbimiskohad. Abiviitega võrguosadeks võib siis lugeda need, mis varustavad abiviitega tarbimiskohti ja ainult neid. Kuna võrguteenuse kvaliteedinäitajad ei vasta üldistele nõuetele, tuleks abiviitega tarbijaile kehtestada võrguteenuse hinnasoodustusi või võibolla loobuda üldse võrgutasust.
- Abiviitega piirkondade teenindamisel (eelkõige rikete avastamine, aga ka lihtsamate rikete kõrvaldamine) võiks kaaluda vabatahtlike kaasamist, korraldades neile ka vastavad õppused ohutuse tagamiseks.
- Omaette probleemiks on, kuidas toimida abiviitega piirkondades – kas ennetada rikkeid defekteerimise alusel või ainult likvideerida rikkeid. Vastuse peaks andma majanduslik võrdlus. Põhilisteks ennetavateks töödeks on juhtmete sidumine, isolaatorite vahetus, mastide vahetus, juhtmete vahetus.
- Üldiseks seisukohaks on, et kesktihedas piirkonnas toimuks rikete ennetamine defekteerimise alusel; hajapiirkondades aga seisundi seire, kuid operatiivtegevus oleks rikkepõhine. Seisundi seire (defekteerimise) tulemused aitaksid kiirendada rikke lokaliseerimist. Seejuures mida hõredam asustus ja mida madalam pinge, seda vähem ennetustöid.
- Kuna hajavarustuspiirkonna töökindluse suurendamine võib tõsta ka kesktihe- ja tihepiirkondade töökindlust, siis rikkepõhist lähenemist tuleks rakendada eelkõige nendele fiidritele, mis täies ulatuses paiknevad hajavarustuspiirkonnas. Ülejäänud juhtudel tuleks eelistada ennetuslikku lähenemist, seda eriti tüviliinide osas.

- Võrgu dispetšeritel peavad olema teada defekteerimise tulemused, et õieti suunata OVBsid.
- Defekteerimine hajapiirkonnas võiks toimuda iga 5 a tagant. See tähendaks, igal aastal defekteeritakse ca 20 % võrgust. Ülevaatused võiks toimuda piirkonnaalajaamade või teatud hulga jaotusalajaamade kaupa. Hajapiirkonnas on keskpingel ca 400 fiidrit ja koos asustamata piirkonnaga üle 13000 km õhuliine, mis tähendab, et aastas tuleks defekteerida üle 2500 km liine. Defekteerimisele lisandub ka võsaraie metsatrassidel üle 1000 km ulatuses. Arvestades nimetatud tööde suurt mahtu, võiks võib-olla rakendada Soome praktikat – alata defekteerimist teatud vanusest (Soomes 20 a).
- Perspektiivne oleks droonide kasutamine liini trasside, eriti isoleeritud juhtmetega õhuliinide seisukorra jälgimiseks.
- Vajalik oleks korrastada defektide spetsifikatsiooni ja defekteerimisel anda selged järeldused liini komponendi (juhe, mast, vundament, isolaator, side, tarvik, lüliti jms) defektsuse kohta – kas kriitiline, s.t vajab kohest kõrvaldamist, või mittekriitiline, mille kõrvaldamisega võib viivitada. Vaja oleks lisada defektitüübid *„karjakoppel või asula, aga eelpingestatud ja topeltsidemed puuduvad“* ja *„ühisriputus, aga eelpingestatud ja topeltsidemed puuduvad“*. Selgitada tuleb defektide *„mitteküllaldane gabariit“*, ja *„mitteküllaldane ripe“* erinevust. Mastide ressursi hindamisel tuleb tähelepanu pöörata mikropragudele.
- Vaja oleks selget ja ülevaatlikku defektide, rikete ja katkestuste statistikat ELV nii võrgu kui terviku kui ka varustuskindluse piirkondade kohta nii ajalises kui põhjuste lõikes, mis võimaldaks hinnata defektide põhjusi ja tagajärgi. Leida tuleks defektsuse ja rikkelisuse erinäitajad - defekt/km ja rike/km ning nende vaheline korrelatsioon. Hinnata tuleks defektide korrelatsioone vanusega, s.h juhtme vanuse ja katkemise ning juhtme vanuse ja sideme katkemise vahelist korrelatsiooni, seda eraldi metsa- ja põllutrassidel.
- Rikete ennetamiseks tuleb kõrvaldada seni avastatud kriitilised defektid. Selgub, et nt umbes 100000 masti on hinnatud defektseteks.
- Vahetada tuleb olemasolevad vananenud ja katkemisohtlikud sidemed karjakoplites ja asustatud piirkondades. Ümbersidumine ilma juhtme vahetuseta on tavapärane tegevus - aastas toimub juhtmete ümbersidumine keskmiselt 10000-el mastil. Sidemetest on perspektiivsed vene päritolu eelpingestatud ristsidemed. Ristmeväljades ja ristumistel teedega tuleks kasutada eelpingestatud topeltsidemeid.
- Paljasjuhtmed tuleks siduda isolaatori mastipoolsele küljele, et vältida juhtme alla kukkumist sideme katkemisel. Kaetud juhtmed tuleb siduda isolaatori peale.
- Kaetud juhtmetega liinidelt puude, okste jms kõrvaldamine toimub pingealuse tööna.
- Käidu korraldamisel, rikete analüüsil ja ka investeeringute plaanimisel tuleb kasutusele võtta varustuskindluse indeks CAIFI (rikete sagedus katkestatud kliendi kohta) – annab teavet enim katkestuse all kannatavatest klientidest.
- Korrastada tuleks liini passid, eriti mastide ja juhtmete vanuse seisukohalt.

4.5.3 Võsa raiumise mõju elektriliinide riketele

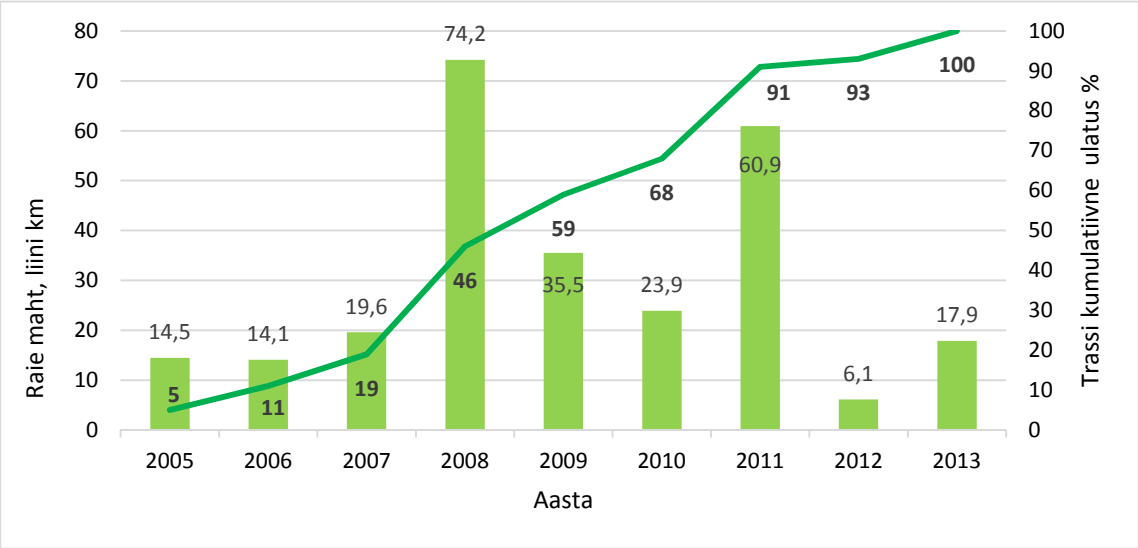
Umbes 60 % jaotusvõrgu riketest on põhjustatud kontaktidest puudega ja okstega [Cheng…2009]. Seetõttu pakub huvi, kuidas mõjub trassi puhastus rikete sagedusele ja kui tihti tuleks teha trassi puhastust kaetud ja paljasjuhtmete korral. Analüüsiti Hiiumaa ja Põlva käidupiirkonna näidet, kus tehti üleüldine trasside puhastus võsast.

Kõigepealt vaatleme võsa raiumise mõju elektriliinide riketele Hiiumaa näitel. Elektrilevi poolt on antud Hiiumaa võsa raiemahud 10 kV liinide trassidel aastatel 2005-2013. a (tabel 4.8) ja rikked Hiiumaa võrgus (tabel 4.9) kuude lõikes alates 2011 aastast 2014. a oktoobrini. Rikete põhjused on esitatud kahes jaotises, millede pealkirjad on kujundlikult MIKS ja MIS. Alljärgnevas ei ole vaadeldud võsa raie mahtu ja rikkeid Hiiumaa MP liinidel.

Hiiumaal on 394,62 km 10 kV liine, mis võib jagada 217 üksikuks liiniosaks, seega ühe liiniosa pikkus on keskmiselt 1,8 km. Valdav osa liine on paljasjuhtmetega, ristlõiked on 25, 35 ja 50 mm^2.

Tabel 4.8. Võsa raiumise maht aastate jooksul Hiiumaa KP liinide trassidel

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Raiemaht, liini km	14,5	14,1	19,6	74,2	35,5	23,9	60,9	6,1	17,9
Kumulatiivselt, %	5	11	19	46	59	68	91	93	100



Joonis 4.26. Võsaraide maht Hiiumaa KP liinide trassidel

Tavaliselt on võsa eemaldatud 14-35 km aastas, rekordiline on 2008. aasta , millal raiuti 74,2 km ja 2011 aasta, millal kõrvaldati liinitrassidelt 60,9 km võsa. Viimane on oluline, sest kumulatiivne võsa puhastamise tase tõusis 91%ni ja selle põhjal saab analüüsida võsa raiumise mõju rikete vähenemisele.

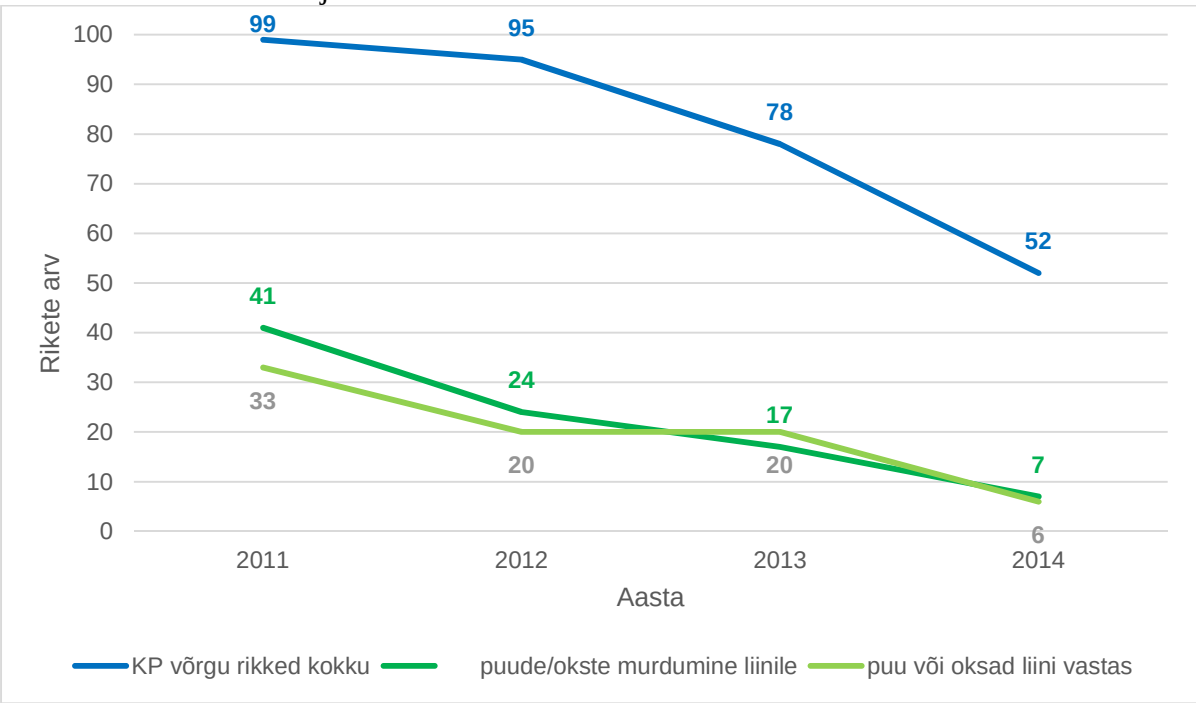
Alljärgnevalt on toodud Hiiumaa kogu rikete hulk KP võrgus ja ka rikked, mida saab seostada võsa mõjuga liini riketele. Registreeritud rikete põhjused jagunevad kaheks osaks, esimesed põhjused vastavad küsimusele, *miks* rike tekkis ja teised põhjused vastavad küsimusele *mis* põhjustas rikke. Põhjuste nimekiri on suhteliselt pikk ja arvatavasti vahel tekib dispetšeril raskusi õige põhjuse leidmisega, sest paljude rikete õige klassifitseerimine on keerukas. Kuigi andmed on tabelis pisut vastukäivad, kasutame edaspidises analüüsis just alltoodud põhjusi.

Tabel 4.8. Rikked Hiiumaa 10 kV võrgus

	2011	2012	2013	2014 *
KP võrgu rikked kokku	99	95	78	52
MIKS: hooldamata liinitrass	2	2	1	0
puude/okste murdumine liinile	41	24	17	7
MIS: puu või oksad liini vastas	33	20	20	6

*ekstrapoleeritud terveks aastaks jaanuar-oktoober andmete alusel arvestades 2013 aastat.

Tabeli andmeid illustreerib joonis 4.27.



Joonis 4.27. Rikked Hiiumaa 10 kV võrgus

Toodud andmetest saab teha järgmised järeldused.

Rikete koguarv väheneb aastatega. Kuigi aasta 2014 pole veel läbi, on 2014 aastal olnud rikkeid tunduvalt vähem, mille üheks põhjuseks on võsa peaaegu täielik kõrvaldamine liini trassidelt. Tõenäoliseks põhjuseks on ka tugevate tormide puudumine.

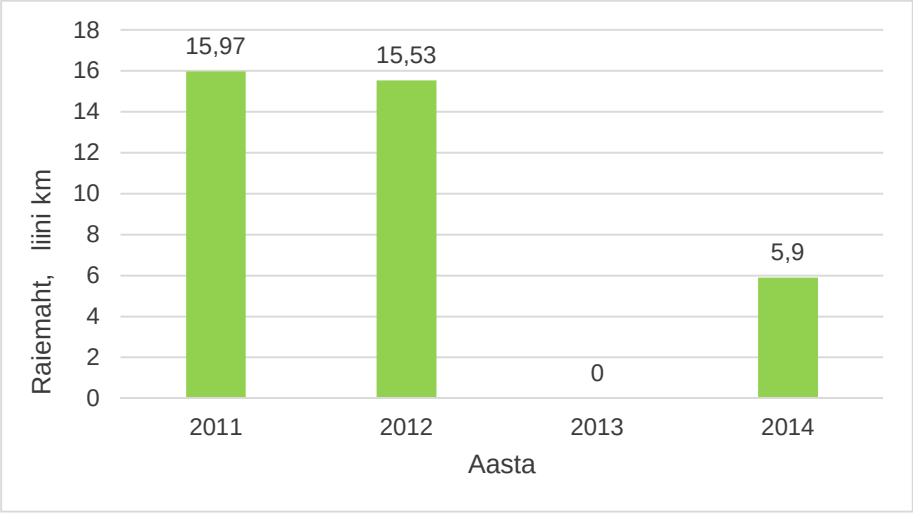
Puude ja okste murdumise mõju rikete koguarvule on väga suur, põhjustades 20-40 % rikete koguhulgast. Seega võsa ja rikkeid põhjustavate, kuid liinitrassist väljapool asuvate puude mõju rikete koguarvule on suur. Aastal 2011 raiuti võsa 60,9 km, mis on väga suur maht. Võib eeldada, et võsa raiumine mõjutab eelkõige järgmise aasta rikete arvu, kuigi mõjutab ka sama aasta rikkeid. Rikete hulk MIKS aastal 2012 võrreldes 2011 aastaga vähenes 17 rikke võrra ja rikete hulk MIS 13 rikke võrra, keskmiselt siis vähenes 15 rikke võrra. Võib arvutada keskmise võsa raiumise mõju rikete arvule. Selleks on 0,25 riket 1 km võsaraide kohta 2012 aastal. 2013 aastal on see näitaja 0,67 ja 2014 aastal 0,67 riket 1 km võsaraide kohta. Viimane siiski arvutatud rikete ligikaudse arvu alusel. Võib leida võsa raiumise keskmise mõju näitaja rikete vähenemisele ja selleks on ligikaudu 0,5 riket vähem ühe km raide kohta. Oluline on märkida ka seda, et ka pärast trassi täielikku puhastamist võsast esineb ikka üksikuid okstest ja peale langevatest puudest tingitud rikkeid.

Teise näitena on vaadeldud võsa raiumise mõju KP elektriliini riketele Põlva käidupiirkonnas. Põlva võrgu KP liinide kogupikkus on 328 km, nendest paljasjuhtmetega metsas 68,62 km. Tabelis 4.9 on toodud võsa raiumise mahud aastatel 2011-2014.

Tabel 4.9. Võsa raiumise maht aastate jooksul Põlva käidupiirkonna KP liinide trassidel

	2011	2012	2013	2014
Raiemaht, liini km	15,97	15,53	0	5,9

Vaadeldud aastate jooksul on võsa raiutud 55% metsas asuvate liinide trassidest.



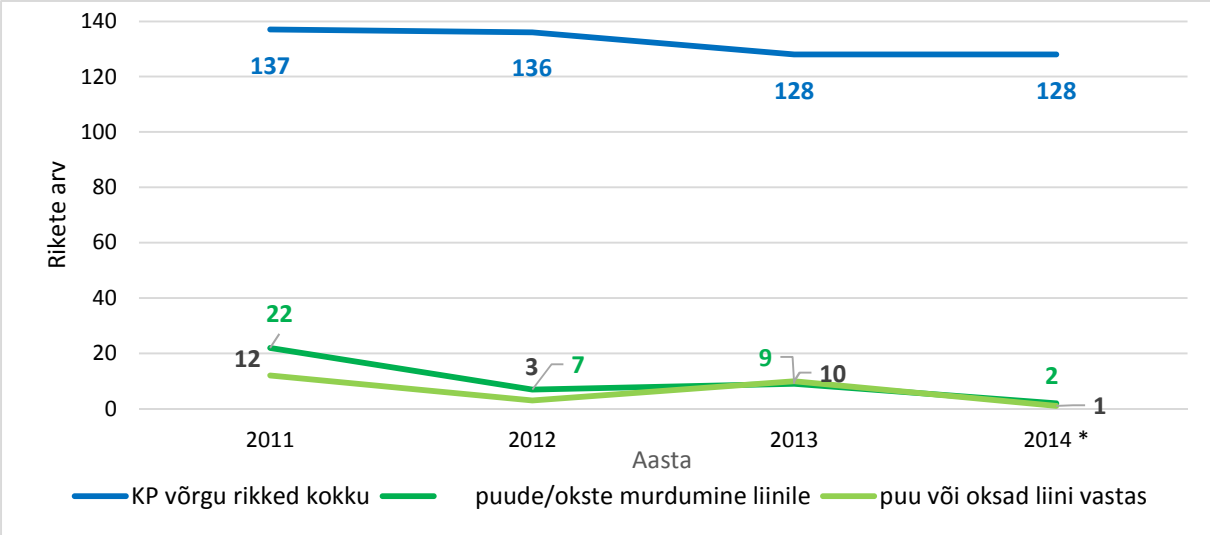
Joonis 4.28. Võsaraide maht Põlva käidupiirkonna KP liinide trassidel

Rikete tabelis on välja toodud *miks* ja *mis* põhjused analoogiliselt Hiiumaa elektrivõrgule.

Tabel 4.10. Rikked Põlva 10 kV võrgus

	2011	2012	2013	2014 *
KP võrgu rikked kokku	137	136	128	128
MIKS: hooldamata liinitrass	2	1	0	0
puude/okste murdumine liinile	22	7	9	2
MIS: puu või oksad liini vastas	12	3	10	1

*ekstrapoleeritud terveks aastaks jaanuar-oktoober andmete alusel arvestades 2013 aastat.



Joonis 4.29. Rikked Põlva 10 kV võrgus

Ka siin sarnaselt Hiiumaa elektrivõrgule rikete koguhulk väheneb. Puude ja võsa murdumise mõju rikete koguarvule on ligikaudu 2 – 20%, olles tunduvalt väiksem Hiiumaa näitajatest. Tõenäoliselt on see põhjustatud tuule madalamast keskmisest kiirusest piirkonnas. Teiseks põhjuseks võib olla metsatrasside väiksem osakaal võrreldes Hiiumaaga (vastavalt 21 % ja 41 %). 2011 aastal tehtud raide mõju rikete vähenemisele on keskmiselt 0,78 riket vähem ühe km raide kohta. 2012 aasta võsa raide mõju 2013 aasta rikete vähenemisele ei ilmne, hoopis rikete arv suurenes. Üheks põhjuseks on tõenäoliselt see, et võsa raide tööd mõjusid kohe samal aastal. Teiseks põhjuseks on siiski võsa

raide mõju juhuslikkus riketele, eriti kui rikete koguhulk on väike. Samuti põhjustas rikete arvu suurenemist aasta lõpu tugevad tormid (St. Jude jt).

Kokkuvõttes võib järeldada, et võsa raide tööd vähendavad rikete koguhulka, kuigi säilib mõju juhuslikkus. Lähtestatistika väike maht ei võimaldanud teha sügavamat uuringut ja hinnata trassi puhastuse vajalikku perioodsust paljas- ja kaetud juhtmetega õhuliinide puhul. Usaldusväärsemate tulemuste saamiseks tuleb parandada suhtumist rikete ja nende põhjuste statistikale.

Lõpetuseks olgu märgitud, et oluline on kindlustada maakaabli trasside korrashoid, samuti on vaja maksimaalselt kiirendada kaablitööde kooskõlastusi, et vältida kaablite tahtlikke rikkeid.

.

5. KULUD, NENDE OPTIMEERIMINE

5.1 Võrgu plaanimise sotsiaalmajanduslikud eesmärgid

Jaotusvõrgud on oma varustuspiirkonnas monopoolses seisundis, mis toob endaga kaasa ühest küljest kohustuse tagada elektritarbijate toide ja teisest küljest töötamise reguleeritud hinna struktuuri tingimustes. Reguleeritud hinnad on kulupõhised ja jaotusvõrgu, kui reguleeritud elektriettevõtte plaanimine seisneb kulude minimeerimises. Samas peab jaotusvõrk katma kõik oma kulud ja saama ka mõistliku investeeringutasuvuse.

Nagu juba öeldud, seisnes omal ajal praeguseks vananenud võrgu planeerimise filosoofia põhiliselt võrgu pikkuse minimeerimises aasta-aastalt, arvestades tehnilisi kitsendusi (lubatav pingekadu ja lubatav vool) eesmärgiga kokku hoida materjalide kulu. Tänapäevasel lähenemisel tuleb lähtuda elutsükli kulukriteeriumist, mis arvestab kapitalikulude kõrval ka elutsükli jooksul esinevaid jooksvaid kulusid, nagu käidu- ja hoolduskulud, kadude maksumus ja ka töökindluse väärtus.

Jämedas plaanis tuleb leida optimaalne tasakaal kapitalikulude /*capital expenditures, CAPEX*/ ja tegevuskulude /*operational expenditures, OPEX*/ vahel, kusjuures moodsal lähenemisel tuleb ühe kulu liigina arvesse võtta ka katkestuskulusid.

Kapitalikulud kujutavad endast investeeringuid jaotusvõrkudesse, nagu täiendavate liinide ja alajaamade rajamine, sektsioneerimisseadmete paigaldamine, olemasolevate komponentide asendamine töökindlamatega (nt paljasjuhtmete asendamine isoleeritud juhtmetega, õhuliinide asendamine maakaabelliinidega) jms. Kapitalikulud mõjutavad eelkõige rikete sagedust jaotusvõrgus. Investeeringud automaatika- ja kaitseseadmetesse vähendavad ka katkestuste kestust.

Tegevuskulud on ettevõtte normaalse äritegevusega, s.o jaotusvõrgu põhitegevusega kaasnevad kulud, s.o käidu- (korrashoiu-) ja hoolduskulud ning võrgukadude maksumus. Korrashoiu- ja remondikulud mõjutavad eelkõige toitekatkestuste ja seadmete seisakute kestusi.

Seega on võrgu plaanimise eesmärgiks leida tehniliselt sobiv ökonoomne lahendus reast tehnilistest alternatiividest (kaabelliin või õhuliin, radiaalvõrk või ringvõrk jne). Eksisteerib rida erinevaid tehnikaid lahendi leidmiseks. Sotsiaalmajanduslikust aspektist võib sellise optimeerimisülesande sihifunktsiooni esitada järgneval kujul:

$$min\{C\} = min\,\{C_I + C_L + C_O + C_F + C_R\} \tag{5.1}$$

kus C – kogukulu üle plaanimisperioodi

C_I – investeerimiskulu

C_L – kadude maksumus

C_O – käidu- ja hoolduskulu (ülalpidamiskulud)

C_F – katkestuskulu (katkestuskahju, remondikulud jne)

C_R – jääkväärtus ja lammutuskulu

Kogukulu üle plaanimisperioodi tuleb minimeerida, arvestades tehnilisi, seadusandlikke ja regulatiivseid kitsendusi, nagu nt pinge piirangud, koormatavus, lühisetaluvus, nõuded varustuskindlusele, rikete lokaliseerimisele ja hädaolukordade protseduuridele ning ohutuseeskirjad.

Investeerimiskulu hõlmab seadmete hinda ja nende transpordi ning paigalduse maksumust. Oluline osa koguinvesteeringutest on seotud maakaabelliinide rajamisega ja sõltuvad suurel määral liini trassi geotehnilistest tingimustest. Paigaldiste maksumust mõjutavad oluliselt kompensatsioonid maaomanikele. Näiteks metsastel trassidel moodustab Soome kogemustel kompensatsioon

keskmiselt 2000 €/km [Syrjänen,…2003]. Metsastel trassidel on liinide rikkelisus suurem ja ligipääs raskendatud, seega on ka jooksvad kulud suuremad. Kompensatsioonid on ligi poole väiksemad trasside puhul piki teid. Samuti on tänu paremale ligipääsetavusele ehitus- ja jooksvad kulud väiksemad. Tuulistes piirkondades (rannikualad) on liinide investeeringukulud 10…20% suuremad vajaduse tõttu kasutada tugevdatud konstruktsiooniga maste [Syrjänen,…2003].

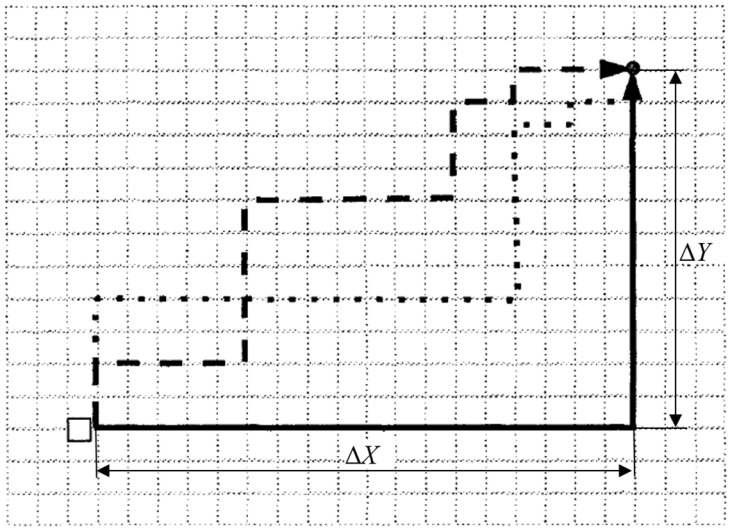
Seega on otstarbekas rajada fiidrid üldiselt piki teid, maanteid ja maaomandi piire. See tähendab, et trass on piiritletud üldiselt nelinurkse ruudustikuga, nagu näidatud joonisel 5.1, kus fiidri segmendid on piiratud täisnurkse teede ja tänavate mustriga. Selle tulemusel trassi sirgjooneline pikkus, mis leitakse valemiga

$$Pikkus = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \tag{5.1}$$

on harva fiidri pikkuse heaks hinnanguks. Plaanimise eesmärgil on palju paremaks lähenduseks Lebesgue meetrika järgi leitud pikkus:

$$Pikkus = |\Delta X| + |\Delta Y|, \tag{5.2}$$

mis annab fiidri pikkuse kiire hinnangu.



Joonis 5.1. Jaotusfiidri võimalikud trassid [Lee Williams…2005]

Kui trassi valik on piiratud teede ja tänavate võrguga, on võimalik leida rea erinevaid trasse, mille pikkused ja millega seotud kulud on ligilähedased ja leitavad valemiga (5.2).

Katkestuskulusid käsitletakse ulatuslikult töödes [Raesaar…2004], [Raesaar…2005], [Valtin…2013].

Jaotusvõrkude komplitseerituse ja muutujate suure hulga tõttu taandub jaotusvõrgu plaanimine põhiliselt alajaamade võimsuse ja paigutuse ning fiidri trasside ja edastuvõime määramisele. Vahel antakse fiidritrass ette ja ülesanne taandub ainult edastusvõime optimeerimisele.

Erinevate strateegiate sihifunktsioon ja tasuvusuuringute tulemused sõltuvad suurel määral sellest, kas lähenetakse sotsiaalmajanduslikust, regulatiivmajanduslikust või kliendi seisukohast. Elektrivõrgu arenguplaanide tasuvusuuringutel on kolm olulist tunnust: intressimäär p, plaanimisperiood t ja koormuse kasv ρ.

Erinevate kulukomponentide puhasnüüdisväärtusele (NPV) rakendatav kapitalisatsiooni tegur:

$$\kappa = \Psi \frac{\Psi^t - 1}{\Psi - 1} \tag{5.3}$$

kus, kui aastamaksed sõltuvad koormuse ruudust (nt kadude maksumus), siis

$$\Psi = \frac{(1+\rho)^2}{1+p}\,; \tag{5.4}$$

kui aasta aastamaksed sõltuvad koormusest lineaarselt (nt kliendi katkestuskulu), siis

$$\Psi = \frac{1+\rho}{1+p} \tag{5.5}$$

Aastamaksetele, mis jäävad konstantseks vaadeldaval perioodil, nt trafode tühijooksukadude maksumus, võib arvutada kapitalisatsiooni teguri, võttes koormuskasvu määra ρ võrdseks nulliga.

Kui näiteks koormuse kasv eeldatakse muutuvaks plaanimisperioodil, võib toodud valemeid rakendada eraldi igale erineva kasvuga ajalõigule. Käesolevas vaadeldav võrgu topoloogia optimeerimisalgoritm võimaldab põhimõtteliselt rakendada igale koormussõlmele igal aastal erinevat koormuskasvu määra.

Plaanimisperiood peaks olema seotud võrgu komponentide elueaga. Sageli on aga vaja arvestada erinevate komponentide erinevate eluigadega. Sel juhul võib olla otstarbekas NPV meetodi asemel kasutada annuiteetide meetodit. Vahel võib olla vajalik tehnilise eluea asemel arvestada ökonoomset eluiga (nt koormuse kasvul liigne kõrvalekalle ökonoomsest voolutihedusest). Seda varianti hajavarustuskindluspiirkonnas ilmselt arvestada pole vaja.

Analüüsis arvestatakse nii võrgu kui kliendi investeeringute jääkväärtusi arvutusperioodi T lõpul. Investeeringu tehniline eluiga sõltub projektist, kuid on alati pikem, kui arvutusperiood.

Investeeringu kasude hindamiseks tuleb hinnata toitekatkestuste riski enne ja pärast investeeringut. Finantsriskide täielikuks kajastamiseks peavad meetodid imiteerima stohhastilisi toitekatkestusi ja nende tagajärgi. Eksisteerivad erinevad toitekatkestuste riski hindamise meetodid.

Jaotusvõrgu töökindlusse tehtavate investeeringute kasumlikkus sõltub suuresti eeldustest kvaliteedi regulatsiooni tulevase arengu kohta. Uuringud näitavad, et regulatsiooni määramatus mõjutab tugevasti investeeringu strateegia puhast nüüdisväärtust (NPV). Seega on oluline leida investeeringu strateegia, mis on stabiilne regulatsiooni muudatuste suhtes.

Rootsi uuringud näitavad regulatsiooni skeemi olulist mõju korduvinvesteeringute tõenäosustele. Valitud riski arvestamise strateegia (arvestatakse või mitte) võib mõjutada investeerimisotsustusi.

5.2 Uute liinide rajamise tasuvuse hinnang

5.2.1 Sissejuhatus

Töös [Valtin, Raesaar,… 2013] on toodud kaabelvõrgule ülemineku tasuvuse hinnangud kesktihe- ja hajavarustuspiirkonna õhuliinide kaabeldamise korral. Käesolevas on hajavarustuspiirkonna uute liinide ehitamise majanduslikke põhjendusi uuendatud.

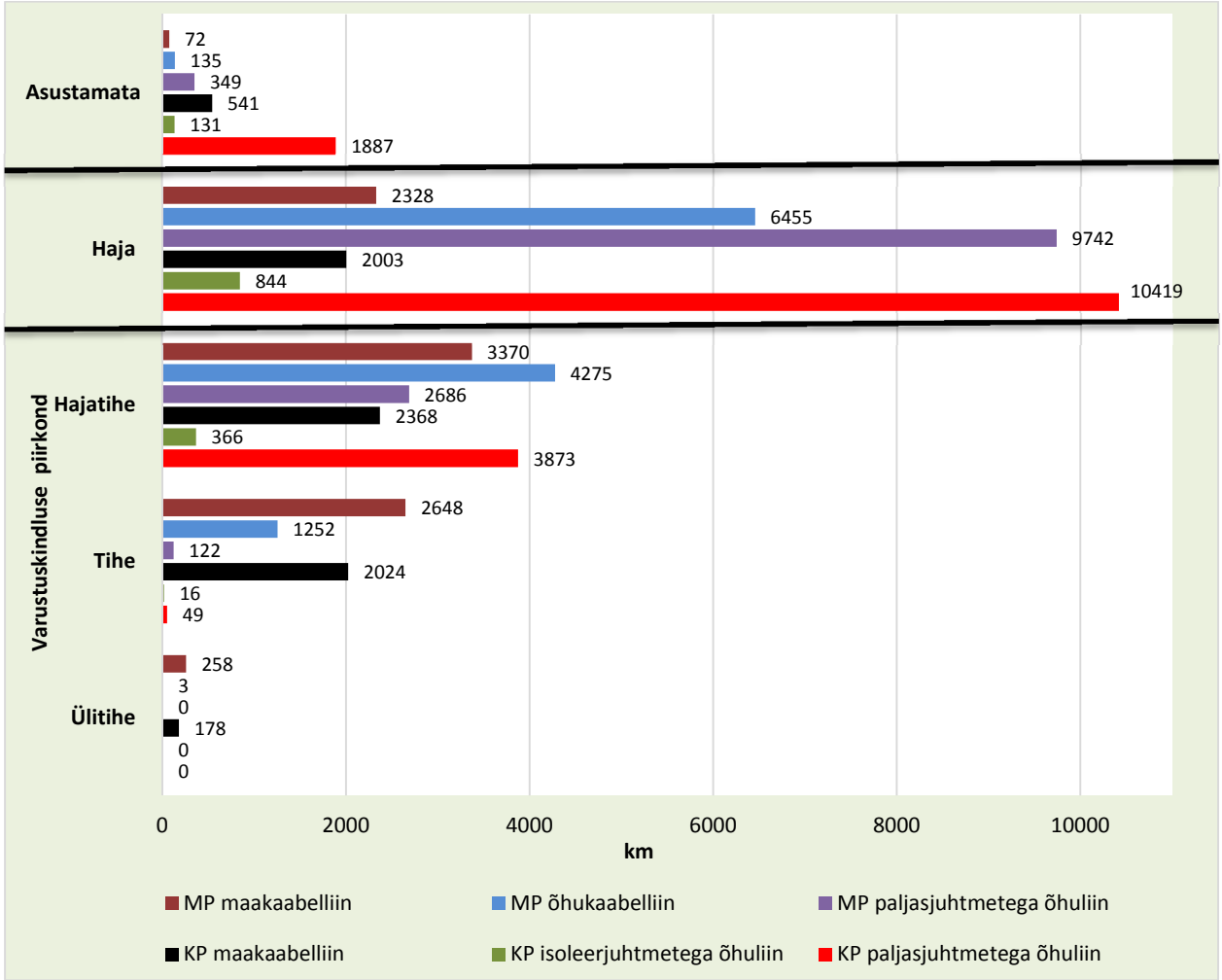
Jaotusvõrguettevõtte põhikohustuseks on kindlustada klientide töökindel ja kvaliteetne võrguteenus **vähimate võimalike tariifide** juures. Samas on varustuskindluse tõstmine kulukas ja nõuab elektrivõrguettevõttelt suuri investeeringuid, millega kaasneb võrgutasude tõus. See tähendab, et pole õige seada eesmärgiks maksimaalne vaid optimaalne varustuskindlus, mis tagab mõistliku kompromissi varustuskindluse nivoo ja investeeringute suuruse vahel.

Arvestades vajadust leida optimaalsed lahendused, on jaotusvõrguettevõtjad asunud olulisel määral maakaabli kõrval kasutama ka õhukaablit, eelkõige madala kliendi- ja tarbimistihedusega hajapiirkondades. Selline lahendus võimaldab efektiivselt vähendada rikkeid, kuigi ei pruugi tagada

võrgu sõltumatust ilmastikust parimal võimalikul tasemel pikas perspektiivis. Kaetud juhtmete kasutamine vähendab liini koridori vajalikku laiust seda eriti mitmeahelaliste liinide korral.

Varustuskindluse piirkondade määratlemise lõppeesmärgiks on leida igale piirkonna tüübile enim sobiv investeerimisstrateegia, mis tagaks kogu võrgu vähimkulu arendamise ja käidu nõuetekohase varustuskindluse ning kvaliteedi juures.

Joonis 5.2 näitab erinevat tüüpi liinide ulatust varustuskindluse piirkondades [Valtin, Raesaar,… 2013]. Üle 70 % Elektrilevi võrgu territooriumist kuulub hajapiirkonda. Samas paikneb selles piirkonnas 13% klientidest ja ainult 5 % tarbimisest (joonis 2.2). Suurim klientide arv paikneb tihepiirkonnas, samuti tarbitakse selles piirkonnas suurim energiakogus – vastavalt 46 ja 52 % (vt joonis 2.2). Ülitihe piirkond moodustab ainult 0,02 % kogu territooriumist, kuid sinna on koondunud 9 % kliente ja 6 % tarbimisest.



Joonis 5.2. Erinevat tüüpi liinide ulatus varustuskindluse piirkondades
[Valtin, Raesaar,… 2013]

Elektrivõrkude arengu planeerimise majanduslikes tasuvusarvutustes arvestatakse moodsal lähenemisel varustuskindluse väärtust, milleks võetakse toitekatkestuste tulemusel tarbijaile andmata jääva energia tõenäolise kogusega seotud ühiskondlik katkestuskulu. See tähendab, et tasuvusarvutustes käsitatakse katkestuskulu ühe kulu liigina investeerimiskulude, remondi- ja hoolduskulude ning kadude maksumuse kõrval. Katkestuskulu all mõistetakse võrgu või tema osa toitepiirkonda ühendatud klientide toitekatkestusest tingitud eeldatavat aastast ühiskondlikku kogukahju. Nagu öeldud, sisaldab katkestuskahju mudel kahte karakteristikut (erikahju):

- katkestatud võimsusühiku hind *CD* (€/kW)
- andmata energiaühiku hind *CENS* (€/kWh).

Katkestuskulu arvutustes tuleb põhimõtteliselt arvesse võtta ka plaanilistest katkestustest tingitud kahjumit. Mõningate hinnangute kohaselt moodustab see ca kümnendiku sundkatkestuste kahjumist. Käesoleva töö raames puudub vajadus arvesse võtta plaanilistest katkestustest tingitud kahju muutumist üleminekul kaabelvõrgule, sest see ei mõjuta praktiliselt plaaniliste katkestuste sagedust. [Lassila…2007].

Arvestades mööduvate rikete suurt hulka Elektrilevi jaotusvõrkudes oleks igati kohane neist tingitud kahjude arvesse võtt kaabelvõrgule ülemineku majandusliku tasuvuse hindamisel. Mööduvate rikete hulk maakaabelvõrgus väheneb praktiliselt nullini. Samas puudub esialgu mööduvate rikete kahju arvestamise võimalus piisava statistika püüdmise tõttu.

Eesti oludele vastavad ligikaudsed katkestuskahjude erinäitajad majandussektorite ja katkestuste iseloomu lõikes on koondatud tabelisse 5.1 [Valtin, Raesaar,… 2013].

Tabel 5.1. Eesti oludele vastavad katkestuskahjude erinäitajad majandussektorite ja katkestuste iseloomu lõikes

	Sundkatkestus		Plaaniline katkestus		Kiirtaas-lülitus	Viittaas-lülitus
	CD, €/kW	CENS, €/kWh	CD, €/kW	CENS, €/kWh	CD, €/kW	CEN, €S/kWh
Tööstus	2,3	15,8	1,1	7,0	0,08	0,3
Põllumajandus	0,5	12,3	0,23	5,0	0,2	0,4
Äri ja avalik sektor	2,0	20,4	0,20	15,0	1,0	1,8
Kodutarbimine	0,5	5,8	0,1	2,2	0,1	0,4
Riigi keskmine	1,8	16,0	0,9	9,5	0,5	0,8

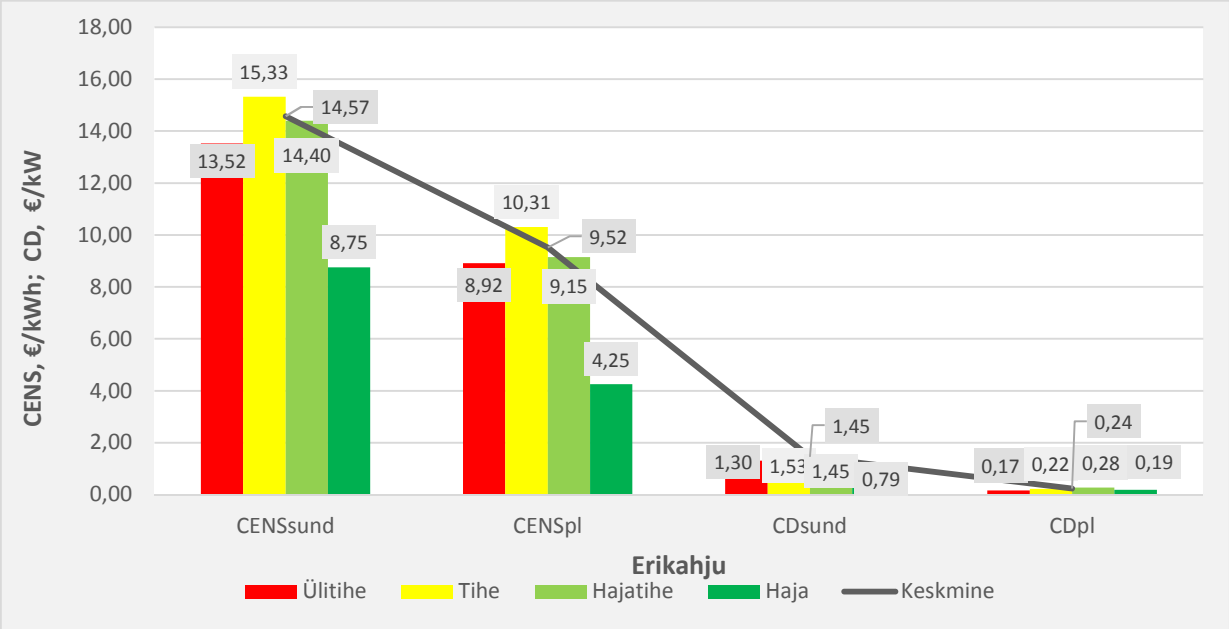
Leitud on keskmised katkestuskahju karakteristikud (s.t andmata energia hind CENS ja katkestatud võimsuse hind CD) erinevatele varustuskindluse piirkondadele tarbimissektorite osakaalude (vt joonis 3.6) järgi kaalutud keskmistena. Tulemused on koondatud tabelisse 5.2 [Valtin, Raesaar,… 2013] .

Tabel 5.2. Katkestuskahju karakteristikud erinevatele varustuskindluse piirkondadele

Piirkond		Ülitihe	Tihe	Kesktihe	Haja	Keskmine
$CENS_{sund}$	€/kWh	13,52	15,33	14,40	8,75	14,57
$CENS_{pl}$	€/kWh	8,92	10,31	9,15	4,25	9,52
CD_{sund}	€/kW	1,30	1,53	1,45	0,79	1,45
CD_{pl}	€/kW	0,17	0,22	0,28	0,19	0,24

Tabeli andmeid illustreerib joonis 5.3.

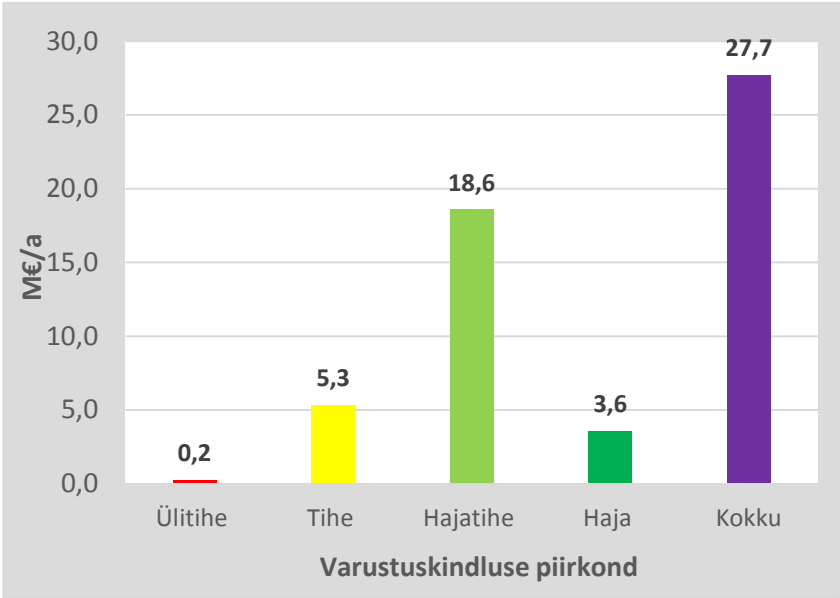
Tabelis 5.3. on esitatud Elektrilevi klientide aastase katkestuskulu hinnang varustuskindluse piirkondade lõikes, sama on illustreeritud joonisel 5.4. Aastal 2012 moodustas summaarne katkestuskahju mitteplaanilistest püsikatkestustest 27,7 miljonit eurot.



Joonis 5.3. Katkestuskahju karakteristikud varustuskindluse piirkondade lõikes [Valtin, Raesaar,… 2013]

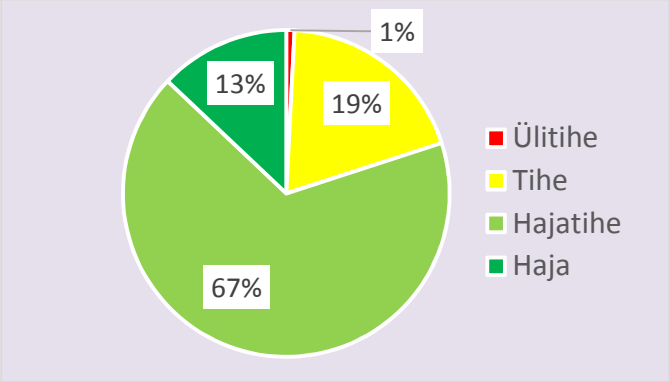
Tabel 5.3. Elektrilevi klientide aastase katkestuskulu hinnang

Piirkond		**Ülitihe**	**Tihe**	**Hajatihe**	**Haja**	**Kokku**
Keskmisele kliendile andmata energia	kWh/kl	0,28	1,09	6,10	4,91	3,95
Klientidele andmata energia	MWh/a	16,55	330,29	1280,61	409,13	2585,14
Klientide katkestatud võimsus	MW/a	2,52	163,18	81,74	1,21	600,44
Katkestuskulu andmata energiast	M€/a	0,22	5,06	18,45	3,58	27,31
Katkestuskulu katkestatud võimsusest	M€/a	0,0033	0,25	0,12	0,001	0,37
Katkestuskulu kokku	**M€/a**	**0,2**	**5,3**	**18,6**	**3,6**	**27,7**



Joonis 5.4. Katkestuskulu varustuskindluse piirkondade lõikes [Valtin, Raesaar,… 2013]

Katkestuskulude protsentuaalne jagunemine varustuspiirkondade lõikes on toodud joonisel 5.5.



Joonis 5.2. Katkestuskulude protsentuaalne jagunemine varustuspiirkondade lõikes

On näha, et suurimad katkestuskulud – 18,6 miljonit eurot ehk 67 % esinesid 2012 a kesktihedas varustuskindluse piirkonnas. Seega tuleks varustuskindluse tõstmisel pöörata suurimat tähelepanu just sellele piirkonnale. Arvestades õhuliinide suurt osakaalu hajatihedas piirkonnas, on just siin suur potentsiaal töökindluse parandamiseks liinide maakaablisse viimise teel. Veelgi suurem õhuliinide osakaal on hajapiirkonnas ja asustamata aladel. Samas on katkestuskahju osakaal hajapiirkonnas suhteliselt tagasihoidlik, liinid on pikad, koormused väikesed. Siiski tuleks analüüsida uute liinide rajamise tasuvust hajapiirkonnas.

5.2.2. Tasuvuse hinnang

Kuna tasuvusuuring pole suunatud võrgu konkreetsele piirkonnale, fiidrile või liinile, vaadeldakse järgnevalt tasuvusarvutust keskmiselt võrgu ühe kilomeetri kohta.

On ilmne, et liini varustuskindluse tõstmiseks tehtud investeeringud tasuvad end seda paremini, mida suurem on liini kaudu edastatav energia või koormus. Selleks on leitud keskmine liinis ülekantav energia kui varustuspiirkonnas kogu ülekantud energia ja vastava pingeastme (kesk- või madalpinge) liinide kogupikkuse suhe:

Keskmine ülekantav energia = ülekantud kogu energia / liinide kogupikkus, MWh/km

Ilmselt langeb üldiselt tüviliinidele suurem koormatus. Töös [Raesaar, Treufeldt…2012] toodud andmete alusel on tüviliinide osakaal fiidrite kogupikkuses keskmiselt 40 %. Sel juhul tüviliinide keskmine koormatus:

Keskmine tüviliinides ülekantav energia = keskmine ülekantav energia / 0.4 x liinide kogupikkus, MWh/km

Haruliinide koormatus on eeldatud võrdseks keskmise ülekantava energiaga.

Tasuvusarvutus on tehtud kahes etapis:

- hinnati puhta nüüdisväärtuse *NPV* alusel nii tüviliinide ja kui haruliinide tasuvus ja leiti ka lihttasuvusajad *T*;
- leiti nn tasuvuslävi, s.t liinis ülekantav võimsus (liini koormatus) kui NPV = 0.

Arvutus viidi läbi varustuskindluse hajapiirkonnale eraldi keskpingeliinidele ja madalpingeliinidele. Uute liinide elueaks on eeldatud 40 a ja diskonteerimismääraks on võetud 7 %. Neil tingimustel on annuiteedi tegur ehk ühtlase maksete seeria ajaldustegur /*uniform series present worth factor*/ 13,331. Investeeringute määrad vastavad Elektrilevi andmetele.

Tasuvusarvutuste tulemused on esitatud tabelis 5.4. Punase värviga on tähistatud ülekantava energia ja võimsuse piirsuurused, millest alates hakkab tasuma paljasjuhtmega õhuliini asendamine maakaabelliiniga või kaetud juhtmetega õhuliiniga.

Tabel 5.4. Hajapiirkonna õhuliinide asendamise tasuvusarvutuse tulemused

		Keskpinge				Madalpinge			
		Paljasjuhtmega liin maakaabel-liiniks		Paljasjuhtmega liin isoleer-juhtmega liiniks		Paljasjuhtmega liin maakaabelliiniks		Paljasjuhtmega liin õhukaabelliiniks	
40% liinidest tüviliinid	Keskmine ülekantav energia, MWh/km	58	*NPV=-28*	58	*NPV=-18*	41,3	*NPV=-25*	41,3	*NPV=-10*
	Keskmine ülekantav võimsus, kW/km	7	*T=297a*	7	*T=196a*	4,7	*T=124a*	4,7	*T=58a*
Haru-	Keskmine ülekantav energia, MWh/km	23	*NPV=-29*	23	*NPV=-18*	16,5	*NPV=-26*	16,5	*NPV=-12*
liinid	Keskmine ülekantav võimsus, kW/km	2,6	*T=742a*	2,6	*T=491a*	1,9	*T=310a*	1,9	*T=145a*
Tasuvuslävi NPV=0	Keskmine ülekantav energia, MWh/km	1280	*NPV=0*	846	*NPV=0*	384	*NPV=0*	180	*NPV=0*
	Keskmine ülekantav võimsus, kW/km	146	*T=13a*	97	*T=13a*	44	*T=13a*	21	*T=13a*

Hajapiirkonnas on tasuvusläviks, mille puhul keskpinge liini viimine maakaablisse end tasub, aastane ülekantav energia kogus 1280 MWh ehk ülekantav aasta keskmine võimsus 146 kW. Madalpingel on vastavateks arvudeks 384 MWh ja 44 kW Tasuvuslävi, mille puhul keskpinge liini viimine isoleerjuhtmetega liiniks end tasub, on aastane ülekantav energia kogus, 846 MWh ehk aasta keskmine võimsus 97 kW. Madalpingel on vastavateks arvudeks 180 MWh ja 21 kW.

Hajapiirkonnas on läviväärtused kõrged ning keskmise võimsusega koormatud liinide nii maa- kui õhukaablisse viimise tasuvusajad on ebamõistlikult kõrged. Tingitud on see hajapiirkonna keskmiste tarbijate väikestest katkestuskuludest ja **väga väikesest** keskmisest ülekantavast energiast. Kõne alla võib tulla ainult kõrgelt koormatud (tasuvuslävid vt tabel 5.4) või väga rikkelistes piirkondades paiknevate suhteliselt lühemate liinide asendamine kaabelliinidega või kaetud juhtmetega õhuliinidega.

6. KOKKUVÕTE

Kokkuvõttes võib välja tuua alljärgnevad töös saadud põhilised järeldused.

- Jaotusvõrgu haldamisel tuleb leida optimaalne tasakaal ühelt poolt võrgu arendamise ja tegevuskulude ning teiselt poolt elektrivarustuskindluse vahel.
- Eesti Energia kontserni kuuluv Elektrilevi OÜ on Eesti suurim jaotusvõrguettevõte 497 000 kliendiga üle Eesti, kuuludes Euroopa 200 suurema jaotusvõrguettevõtte hulka. Ta haldab üle 63 000 kilomeetrit elektriliine ja ligi 24 000 alajaama ning tema turuosa moodustab ca 88 % Eesti elektrijaotusvõrkude turust.
- Investeeringud on vähendanud rikete arvu ELV võrgus aasta-aastalt. ELV eesmärgiks on viia rikete arv aastaks 2017 tasemele 12 000 riket aastas.
- Pingeaste 35 kV on mõistlik säilitada piirkondades, kus ei toimu arenguid ja vahekaugused ületavad 20 kV võrgu jaoks optimaalseid. Arenevates piirkondades on otstarbekas 35 kV võrk üle viia pingele 110 kV.
- Keskpinge neljal erineval pingeastmel on ELV-l elektriliine kokku 26 527 km. Tiheasustusega piirkondades, kus vahekaugused on väikesed, on perspektiivne nimipinge 10 kV. Pikemate vahekauguste korral (kesktihe- ja hajaasustusega piirkonnad) on perspektiivseks nimipingeks 20 kV. Madalpingel on kasutusel põhiliselt 0,4 kV. Olemasolev 0,22 kV nn vanapinge võrk viiakse üle 0,4 kVle. Vähesel määral on kasutusel 1 kV peamiselt terviseradade valgustusel.
- Tarbimiskohti, kus tarbimine jääb alla kasumlikkuse piiri – ca 4000 kWh aastas – on umbes 487 000, mis tarbisid 2013. aastal kokku 953 GWh ehk ca 14,5 % kogutarbimisest (6562 GWh). Seal hulgas on umbes 45 000 nulltarbimisega tarbimiskohta, mis ei tasu võrguteenuse eest.
- Ca 620 000 tarbimiskohta e üle 95 % koguarvust tarbisid aastas alla 20 000 kWh ja nende tarbimine moodustas ligi poole kogutarbimisest. Nende tarbimiskohtade keskmine aastane tarbimine moodustas 2013. aastal 4245 kWh, mis on lähedane kasumlikkuse piirile.
- Hajavarustuspiirkonnas moodustab katkestuste arv umbes kolmandiku nende koguarvust ja katkestuste koguaeg ca 45 % katkestuste koguajast. Seejuures jäävad null- või vähese tarbimisega tarbimiskohtade katkestused sageli tõenäoliselt registreerimata.
- Töökindluse olukord ülitihe- ja tihevarustuskindluspiirkonnas on küllalt hea. Neis piirkondades paikneb üle poole ELV klientidest, kes tarbivad tunduvalt üle poole kogu väljastatavast energiakogusest, kuid katkestuste arv moodustab vaid viiendiku koguarvust ja katkestuste kestus umbes kaheksandiku kogu katkestusajast. Nende piirkondade varustuskindluse näitajad SAIFI ja SAIDI on samal tasemel enamiku Euroopa riikide näitajatega, s.h Soome ja Rootsi linnavõrkude omaga ning nende edasisel tõstmisel pole olulist mõju võrgu kui terviku näitajatele. Praktiliselt kõik liinid neis piirkondades on ilmastikukindlad maa- või õhukaabelliinid.
- Töökindluse näitajate tõstmiseks kogu võrgu ulatuses tuleb põhitähelepanu pöörata kesktihe- ja hajavarustuspiirkonnale. Ühiskondlikele kogukuludele on suurim mõju kesktihepiirkonna katkestuskulul. Just sellesse piirkonda, mille koguulatus ületab märgatavalt ülitihe- ja tihepiirkonna oma, tuleb teha olulisi investeeringuid ja muuta piirkonna varustuskindlus võimalikult ilmastikukindlaks.
- Õhuliinide suur osakaal haja- ja kesktihepiirkonnas tingib Eesti jaotusvõrkude paiknemise Euroopa Liidu liikmesmaade rühmitumises liinide iseloomu järgi suhteliselt madalal kohal.

- Eesti töökindluse näitajate suhteliselt madal tase on osaliselt tingitud madalast klienditihedusest ja suure osa võrgu ebasoodsast topoloogiast. Hajavarustuspiirkonna ja osaliselt ka kesktihe-piirkonna töökindluse näitajad põhjustavad Eesti liigitumise EL suhteliselt suure katkestus-kestusega riikide hulka. Eesti jaotusvõrgud on olnud aastaid alainvesteeritud.
- Riigis tervikuna on võrkude edastusvõimsust piisavalt. Siiski vajab Tallinna ja selle lähiümbruse võrk tugevdamist, maapiirkondades pole aga senise ulatusega võrku sageli vaja, sest rahvaarvu mõõduka kahanemise foonil jätkub tõenäoliselt aeglane linnastumine ja valglinnastumine maaelanikkonna kahanemise arvel. Rahvastikuprognoosi kõik kolm stsenaariumit näitavad Eesti elanike arvu vähenemist ja vananemist aastatel 2012-2030. Keskustest kaugemal paiknevad ääremaalised ja ääremaastumise riskiga kohalikud omavalitsused kaotavad elanikke kõigis maakondades.
- Seetõttu on nende piirkondade võrkude arendamine seotud oluliste investeerimisriskidega. Rahvastikuprognoosid näitavad, et Eestis on vananemine vältimatu protsess. Suurimate finants-riskidega on seotud hajavarustuspiirkonna elektrivarustuse arendamine.
- Hajavarustuspiirkonnas on kulutused elektrivarustuse korrashoiule inimese kohta kõrged. Samas tuleb vältida Eestis tekkimast uusi püsiasustuseta piirkondi ning kindlustada hästitoimiv jaotusvõrk, mis tagab elamisvõimalused igal pool. Hajaasustuse probleemide kõrvaleheitmine võib ajutiselt kulutusi kokku hoida, kuid kaotab see-eest Eesti maastikulise eripära ning hävitab poollooduslikud kooslused.
- Et vähendada jaotusvõrguettevõtte kulusid, on oluline paljude maade, s.h nt ka Soome, eeskujul kehtestada erinevatele varustuskindluspiirkondadele erinevad töökindluse ja kvaliteedi normid, lubades hajavarustuspiirkonnas suuremaid pingekadusid ja keskmisest madalamat töökindluse nivood. Mujal maades aktsepteerivad seda nii kodumajapidamised kui äriettevõtted.
- Seoses hajavarustuspiirkonna arengute määramatusega tuleb finantsriskide vähendamiseks maksimaalselt ära kasutada olemasoleva võrgu ressurss ja hooldus- ning remonditöödega võimalikult pikendada olemasolevate liinide ja alajaamade eluiga. Eelistada tuleb lihtsaid, ökonoomseid ja eluealt taandarengut ning kasutuse vähenemist arvestavaid tehnilisi lahendusi.
- Hajavarustuspiirkonnas on oluline ilmastikukindlus – tegemist on enamuses keskustest kaugel asuvate pikkade, sageli metsavaheliste liinidega, mille hooldamine ja rikete ning tormikahjude kõrvaldamine on seotud märkimisväärsete kuludega. Ilmastikukindlus tuleks aga saavutada vastuvõetavate kuludega.
- Võrgu loomulik uuendamine võimaldab saavutada märkimisväärse varustuskindluse tõusu alles 20 aasta jooksul.
- Kogu õhuliinide võrgu asendamine maakaabelvõrguga pole otstarbekas ja sageli ka võimalik.
- Peamiseks probleemiks on põhjendatud töökindluse normid. Arvestades tarbija maksevõimet, Eesti hajaasustust, elektriehitusturu võimekust ning hinna ja kvaliteediootuste osas valitsevat ebakõla, on selge, et kiirelt ja igal pool üle Eesti pole võrdselt hea ja tarbija ootustele vastava võrgukvaliteedi saavutamine võimalik ning tuleb teha teatud mööndusi hajapiirkonna varustus-kindluse osas. Arvestama peab seejuures maakondade sotsiaalse taristu teemaplaneeringutes toodud järeldustega teenuste kättesaadavuse osas.
- Hajavarustuspiirkonna arengus tuleks arvestada eelkõige järgmiste võimalike tarbimise ja koormuse muutuste stsenaariumitega:
  - mõõdukas (tagasihoidlik, jätkuv) tarbimise ja koormustipu kasv;
  - stabiilne tarbimine (tarbimine ja ka koormustipp ei kasva ega kahane);

– tarbimise taandareng (kahaneb tarbimine, võib-olla ka koormustipp);
– tarbimine jätkuvalt (täielikult või praktiliselt) puudub.

Seejuures on esmase tähtsusega koormustipu areng, kuna just koormustipp määrab ära võrgu vajaliku läbilaskevõime.

- Hajavarustuspiirkonna erinevate osade erinevate võimalike tuleviku väljavaadete tõttu võib osutuda otstarbekaks kasutada nende käsitlemisel erinevaid tõenäolisi stsenaariume.
- Hajavarustuspiirkonnas on nii arvult kui tarbimiselt rõhuvas enamuses kodutarbijad. Hajapiirkonnas, aga suurel määral ka kesktihepiirkonnas paikneb põhiosa põllumajandustarbijaist ja -tarbimisest. Tööstustarbijaid on kõige rohkem haja- ja kesktihepiirkonnas, tarbimine jaotub ühtlasemalt kõigi piirkondade vahel. Teenindustarbimise maht hajapiirkonnas on väike.
- Investeeringute plaanimine hajavarustuspiirkonda on probleemne seoses elektritarbimise arengu suure määramatusega ja sellest tuleneva majandusliku riskiga. Selles piirkonnas tuleb uute maa- ja õhukaabelliinide rajamise kõrval eelkõige kaaluda olemasoleva võrguressursi maksimaalset ärakasutamist õhuliinide eluea pikendamise ja ilmastikukindluse suurendamise teel.
- Hajavarustuspiirkonna ulatus on tihedalt korreleeritud tarbijate arvu ja tarbimisega.
- ELV võrgu elektriliinidest prevaleerivad paljasjuhtmetega õhuliinid. Madalpingel on küllalt suur osakaal ka õhukaablitel. Alajaamadest on ülekaalus komplekt- ja mastalajaamad.
- Keskpingeliinidest on teadaolevalt ainult 4% jõudnud kriitilisse ikka, kuid 71 % liinide vanus on teadmata ning tõenäoliselt on needki jõudnud kriitilisse ikka. Analoogne on olukord madalpingel – teadaolevalt on ainult 1,5 % liine kriitilises eas, 62 % liinide vanus on teadmata.
- Mastide rekonstrueerimise üle otsustamisel tuleb vanuse kõrval arvestada defektituvastuse tulemusi, puitmastide immutuse tüüpi, pöörates suuremat tähelepanu pigi- ja CCA immutusega mastidele, betoonmastidest künamastidele ja vanemat tüüpi mastidele. Defektse masti ohtlikkus on suurem asustatud piirkonnas, sageli külastataval alal (põllud, marja- ja seenemetsad jms), ristumistel. Kindlasti tuleb tuvastada ja asendada maaühendusi saanud raudbetoonmastid.
- KP/MP alajaamadest on kriitilisse või selle lähedasse ikka jõudnud üle veerandi. Hajapiirkonnas on vajalik kuluefektiivsema komplektalajaama tüübi kasutuselevõtt.
- Kindlustamaks KP/MP alajaamade uuendamine 30 aastase tsükliga, oleks vaja uuendada ca 770 alajaama aastas, 40 a tsükli korral ca 577 tk/a. Täna uuendatakse ca 500 alajaama aastas.
- 16,8% KP/MP trafodest on vanemad kui 40 a. Tänu valdavale alakoormatusele on trafod heas seisus. Vajadusel võib otstarbekas olla trafode koormatuse suurendamine. 40 aastase uuendustsükli tagamiseks on trafode tänane uuendustempo (ca 700 trafot aastas) rahuldav.
- Jaotusvõrgu jääkressursi hindamine on raskendatud. Rajamise aasta õiget pilti ei anna, sest pidevalt on vahetatud või remonditud maste ja kaablimuhve, vahetatud isolaatoreid, juhet ja kaablit, – remonditud ja rekonstrueeritud või välja vahetatud on alajaamade seadmeid ja aparatuuri. Õiget pilti ei anna ka bilansilised jääkmaksumused või kulumid. Objektiivsemaks tuleb pidada võrgupiirkondade meistrite eksperthinnanguid.
- Liinide perspektiivikuse hindamisel tuleb analüüsida toidetavate objektide tarbimise dünaamikat lähiminevikus, hinnata nende seisukorda ning võimalikke kasutusperspektiive.
- Kolmandik (145) piirkonnaalajaamade jaotusseadmetest on vanusega üle 40 aasta ja väga halvas seisukorras ning vajavad kiiret uuendamist. Nende varuosade kättesaadavus on raske. Kriitilised

on eelkõige metallist hooned, napib kogemustega inimvara. Kindlustamaks 30 aastane uuendustsükkel, on vaja aastas rekonstrueerida oluliselt rohkem, kui viimastel aastatel.

- Et diferentseerida töökindluse nõuded piirkonnaalajaamadele, tuleks need liigitada varustuskindluspiirkondade agregeeritud näitaja *tarbijatihedus·tarbimistihedus·pindala* (tk·GWh/km^2) järgi. Töös on toodud liigituse sobivad vahemikud ja esitatud soovitav liigitus.
- Elektrivõrgu arendusotsustuste tegemisel on olulised võrgu ja tema elementide (fiidrid, liinid, alajaamad) kasutusefektiivsuse näitajad, nagu võrgu, liini, fiidri, alajaama, trafo kasutustegurid, koormustegur, koormuse ebaühtlikkustegur.
- 43 % KP/MP alajaamade toitepiirkondadest ei hõlma hajavarustuspiirkonda.
- Võrreldes valdava osa Eesti jaotusvõrgu esmase ehitamise ajaga on tarbimise paigutus ja ulatus oluliselt muutunud, mille tulemusel on kasvanud mittevajaliku võrgu maht. Üleliigsed ringliinid tuleb kvalifitseerida nn taandliinideks, mis jäetakse hääbuma, s.t mida enam ei remondita ega rekonstrueerita ja mis viiakse kasutusest välja, kui hoolduskulud ületavad mõistliku piiri. Kasutuseta liine on hinnanguliselt kuni 1000 km ehk 5,8 % paljasjuhtmetega keskpingeliinide kogupikkusest. Nende kvalifitseerimine taandliinideks vähendab paljasjuhtmetega õhuliinide hoolde- ja remondikulusid kuni 10 %. Samal määral väheneb ka paljasjuhtmetega õhuliinide rikete hulk taandliinide kasutusest välja viimisel.
- Võrgu alakasutust põhjustab ka suur hulk null- või vähese tarbimisega tarbimiskohti. ELV võrgus tervikuna oli 2013 a ca 45000 tarbimiskohta ehk 8 % kõigist tarbimiskohtadest, kus tarbimine praktiliselt puudub juba aastaid.
- Umbes 400s hajapiirkonna KP/MP alajaamas ehk ca 1,5 % nende koguarvust puudub koormus täielikult. 8,6 % KP/MP alajaamade toitepiirkonnas jääb ligi 14000 tarbijal aasta keskmine võimsus alla 100 W ehk keskmine aastatarbimine alla 1000 kWh. Üle 1200 KP/MP alajaama ca 3000 hajatarbijat tarbivad keskmiselt alla 1 kWh päevas, s.t alla 365 kWh aastas. Võrdluseks moodustas Eestis 2010. a keskmine elektritarbimine leibkonna kohta 3465 kWh, s.h linnades 3061 kWh ja maal 4553 kWh.
- Vähese kasutuse piiriks võiks võtta aastase elektritarbimise 400 kWh, s.o kümme korda väiksema, kui on kasumliku tarbimise piir 4000 kWh.
- Sedavõrd madal koormus viitab väga madalale koormatusele ja asjaolule, et suur hulk hajapiirkonna tarbimiskohti on reaalses kasutuses suhteliselt lühikest aega aastas (sesoonselt).
- Analüüs näitab, et kuni 63 A-se peakaitsme vooluga võrguühenduse keskmine kasutustegur on 0,242, mis viitab võrgu olulisele alakasutusele. Ajaliselt on hajavarustuspiirkonna elektrivõrk 95% ajast alakoormatud.
- Null- ja vähese tarbimisega tarbimiskohtade suur hulk põhjustab täiendavalt palju alakasutuses võrgu osi, mille edastusteenuse maht on väike ja kus võrguühenduste läbilaskevõime ületab märgatavalt vajaduse. Hinnanguliselt on võrguressursist ligikaudu 10% kasutuseta, kuid selle alalhoidmiseks on ELV sunnitud tegema ebamõistlikke investeerimisotsuseid.
- Võrgu alakasutust soodustab oluliselt tänane ainult tarbitud energiakogusel põhinev võrgutasu, mille tulemusel toimub alakasutuses võrgu ülalpidamine ja tarbimiseta ning vähe tarbivate klientide ristsubsideerimine võrgu ülejäänud osade rohkem tarbivate tarbijate arvel, põhiliselt üle kasumlikkuse piiri, s.t üle 4000 kWh aastas tarbivate tarbijate poolt.
- Võrgutasude struktuur peab soodustama elektrivõrgu mõistlikku kasutamist lühiajalises vaates ja toetama võrgu efektiivset arengut pikaajalises perspektiivis. Neid eesmärke saab täita,

rakendades võrgutasus lisaks energia edastuskomponendile võimsuskomponenti. See tähendab, et võrgu valmisoleku väärtustamiseks tuleb ühekomponendiline võrgutasu muuta kahekomponendiliseks, rakendades kilovatt-tunni põhise edastustasu kõrval kilovatipõhist võimsustasu või siis peakaitse nimivoolust lähtuvat ampritasu. See tagab õiglasema panustamise jaotusvõrgu ülalpidamiskuludesse kõigi võrguühenduse kasutajate poolt ja hoiab ära ebaefektiivsed võrguinvesteeringud või vähendab neid oluliselt.

- Muidugi peab kahekomponendiline tariif lähtuma tänase tariifi aluseks olevast tulubaasist
- Vaadeldes ainult kuni 63 A võrguühendusi, kujuneks peakaitse ühe ampri hinnaks 17,0 €/A.
- Ühtlasi tuleks lihtsustada vähese või nullkasutusega tarbimiskohtade võrgulepingu ülesütlemist.
- Võrgutasu muutuvkomponendi suur osakaal vähendab elektrienergia mikro- ja väiketootmise mahu kasvades oluliselt ELV tulubaasi, mis omakorda raskendab varustuskindluse tagamist.
- Investeeringute prioriteetide ja realiseerimismeetodite valik on keeruline omavahel seotud eesmärkide ja lahendusvõimalustega ülesanne, mida mõjutavad mitmed tegurid. Oluline on püstitada erinevatele varustuspiirkondadele erinevad võrguvara haldamise prioriteedid ja töökindluse normid.
- Tuleb nõustuda ENMAK 2030ga, mis rõhutab, et arvestades Eesti rahvastiku paiknemist ja tihedust ning vajadust vähendada survet tariifide tõusuks, on otstarbekas diferentseerida nõutavad jaotusvõrkude töökindlusnäitajate (SAIFI, SAIDI, CAIDI) sihtväärtused sõltuvalt tarbimistihedusest ja potentsiaalsest katkestuskahjust.
- Hajavarustuspiirkonnas on ühiskonna seisukohalt oluliseks kriteeriumiks ilmastikukindlus – seda nii klientide suhteliselt suure katkestuskahju tõttu tulenevalt madalamast töökindlusest kui suurte kulude tõttu jaotusvõrgule tormikahjustuste likvideerimisel ja rikete kõrvaldamisel.
- 2013. a oli ELV võrgus ilmastikupõhiseid rikkeid 56%, võrgu vanusest tingitud rikkeid aga 29%.
- 2013. aastal oli ilmastikukindlate jaotusvõrkude osakaal 25-30%, täna ollakse 50% piirimail ja 2025.aastaks on kavas jõuda 75 %-ni. Lähemas tulevikus võib optimaalseks osakaaluks lugeda 75-80%, millest poole moodustaks maakaablid ning ülejäänu isoleeritud õhuliinid.
- Investeeringute prioriteete ja meetodeid mõjutavad paljud tegurid, eelkõige:
  - tarbimise olukord - prioriteetsemad oleks suure tarbimise ja tarbijate arvuga võrguosad;
  - võrguosa arenguperspektiivid (erinevad võimalikud arengustsenaariumid, vajadusel erinevatele võrguosadele erinevad stsenaariumid);
  - liinide asukoht – kas metsas, avamaastikul, teedest eemal. Selgub, et vastupidiselt levinud seisukohale on rikkelisuse sõltuvus lagetrasside ulatusest isegi tugevam, kui metsatrasside ulatusest. Metsatrassidel mõjutavad rikkelisust tuule ja/või lume toimel liinidele langenud oksad ja puud, lagetrassidel on suurem mõju tuulel, jäitel, lindudel, juhukoormustel, mööduvatel lühistel ja sissesõitudel. Analoogne pilt ilmneb ka Soome kogemustest;
  - mida kaugemal on liinid teedest, seda pikem on rikete avastamise ja kõrvaldamise aeg, seega seda suuremaks kujunevad SAIDI ja CAIDI. Rikete sagedus teedeäärsetes liinides on mõnevõrra väiksem;
  - valdav liini ja mastide tüüp – paljasjuhtmetega liinide rikkelisus on tunduvalt kõrgem;
  - liinide vanus ja koormatus;
  - võrguosa toide – suuremat tähelepanu tuleb pöörata tihedamast piirkonnast lähtuvatele liinidele;

  - rikete sagedus – prioriteetsemad on suurema rikkesagedusega (SAIFI) võrguosad või suurema CAIFi väärtusega klientide toide;
  - defektsus, eriti kriitiline defektsus.

- Madalpingevõrke tuleks arendada vastavalt eeldatavale arengustsenaariumile – kas viies liinid maa- või õhukaablisse, tuua liinid teede äärde või kvalifitseerida nad taandliinideks.
- Jaotusvõrgu konfiguratsioon mõjutab oluliselt kliendikatkestuste arvu ja eriti kestust, samuti pingelohkude hulka ja ulatust.
- Hajavarustuspiirkondades tuleb keskpingel eelistada radiaalvõrku ning ringtoidet moodustavad madala koormatusega liinid kvalifitseerida taandliinideks. Kesktihe- ja tihepiirkondades tuleks taandliinideks kvalifitseerida mitmekordseid silmuseid moodustavad liinid. Ülitihepiirkonnas on keskpingel soovitav kahe- või mitmepoolse toitega võrk säilitada.
- Madalpingel on hajavarustuspiirkonnas eelkõige soovitav haruliinidega radiaalvõrk, ulatusliku elektriküttega kesktihe- ja tihevarustuspiirkonnas avatud ringvõrk. Kahepoolne toide või reserveeritud toide sama alajaama erinevatelt madalpinge sektsioonidelt tuleb kõne alla ainult ülitihevarustuspiirkonnas.
- Olemasolevatel liinidel paljasjuhtmete asendamine kaetud juhtmetega nõuab portselan- või klaasisolaatorite asendamist polümeerisolaatoritega ja võib-olla ka traaversite vahetust.
- Asustuse sidususe tugevdamiseks tuleb tugevdada asulaid ühendavaid tüviliine ja säilitada asulaid toitvate haruliinide varustuskindlus.
- Õhuliinide viimine maakaablisse vähendab rikkesagedust keskmiselt poole võrra, kuid rikete kõrvaldamine võtab maakaabelliinides rohkem aega.
- Keskpingel tuleks esmalt viia maakaablisse tüvi- ja ringliinid, aga ka suurema rikkelisusega liinilõigud, soovitavalt mööda uut trassi, tuues nad võimalikult teede äärde. Alustada tuleks piirkonnaalajaamadest, arvestades edastatavat energiakogust. Eelkõige tuleb maakaablisse viia need tüviliinid, mille juhtmete ja mastide ressurss on ammendumas. Mastide ressursi olemasolul tuleb tüviliinide kaugematel lõikudel kaaluda paljasjuhtme asendamist kaetud juhtmega.
- Keskpingeliste haruliinide kaabeldamine esialgu kõne alla ainult vanadel trassidel suurema kasutusmäära puhul.
- Pikkade liinide korral tuleb kaaluda ka õhuliinide lõiguti asendamist, raskest keskkonnast tulenevalt võivad erandina üksikud õhuliini lõigud alles jääda.
- Tuleb arvestada, et maaomanikud on üldiselt õhuliinide vastu ja kompensatsioonid neile mõjutavad oluliselt maksumust.
- Raudbetoonjalandite kasutamine pole otstarbekas kuna immutusvahendid tagavad puitmastide eluea vähemalt 40 a.
- Võrgu sektsioneerimine võimaldab kiiremini lokaliseerida rikkekoht ja ringvõrgu puhul paindlikumalt fiidrid rekonfigureerida.
- Isoleeritud juhtmetega liinid on lindudele paremini nähtavad ning seega neile vähem ohtlikud. Ka puudub oht faasidevahelisest kaugusest suurema tiibade siruulatusega lindudele Oht puudutada pingestatud osi lendu tõusmisel mastidelt on väike.
- Madalpingeliinide uuendamisel tuleb kõne alla ainult õhukaabelliin. Õhukaabel võimaldab tõhusalt ära kasutada olemasolevate mastide eluea, kuna uut liini paigaldades saame ka

töökorras maste veel kasutada. Selline lähenemine tagab soodsa „ilmastikukindla võrgu-kilomeetri“ maksumuse ja võimaldab parandada võrgu töökindlust kiiremini. Maakaabelliinid tulevad kõne alla ainult uusehituste ja kinnisvara arenduste liitumisel.

- Töös antakse ülevaade kaetud juhtmetest ja õhukaablitest ning kaetud juhtmete liigpingekaitse meetoditest.
- Uutel mitmekihilistel BLX ja eriti BLL kaetud juhtmetel on vanemate tüüpide ees rida eeliseid, nagu vibratsiooni- ja niiskuskindlus, kattekihi UV kiirguse kindlus, kihtide libisemise puudumine, kattekihi materjali keskkonnasõbralikkus ning juhtme suur roomekindlus. Viimane võimaldab pikaajalist (kuni mitu kuud) kontakti maandatud objektidega.
- Käidutööde suure mahu tõttu tuleks suurenda korrashoiu rahastamist. Tuleb leida optimaalne tasakaal ennetava ja rikkepõhise hoolduse mahtude vahel.
- Kõigi OVBde üle andmine partneritele pole otstarbekas, sest oma brigaadid tagavad pideva valmisoleku ja kindlustavad maksimaalse kiirusega tegutsemise hädaolukordades.
- Arendama peab parandustööde hinnakirju, et hinnata partnerite esitatavate arvete õigsust.
- Isoleeritud juhtmetega liinid nõuavad regulaarseid ülevaatusi, avastamaks tekkinud probleeme, nagu nt puud või oksad liinil vms.
- Majanduslikult pole otstarbekas kasutada võrgu komponente üle nende ettenähtud eluea, sest see põhjustab ülemääraseid rikkeid, mille likvideerimise kulud muutuvad suuremaks õigeaegse uuendamise kuludest. Samuti viib see võrguosa komponentide vanused ebaühtlaseks, mis võrgu uuendamisel toob teatud osas kaasa ressursi lõpuni kasutamata jätmise ja kokkuvõttes püsikulude ja võrgu arenduskulude ebamõistliku tõusu.
- Majanduslikult on mõistlik konkreetsesse võrguossa või toiteskeemi paigaldada samasuguse elueaga komponente ja uuendada neid võimalikult üheaegselt.
- Kompleksremonte on otstarbekas rakendada tüviliinidele ja sellelt väljuvate haruliinidele – töökindlus selle tulemusel praktiliselt ei kannata.
- Oluline on jälgida, et tööde mahud hooldamisel, remondil ning investeerimisel ei kuhjuks. Vastasel korral tekib oht nende tegemata jätmiseks ebapiisavate ressursside tõttu, mis võib põhjustada võrgu komponentide massilise üheaegse tööst väljalangemise.
- Uuendamise investeeringute ja jooksvate tegevuskulude omavaheliste proportsioonide võrdlemine pole mõistlik, sest nende majanduslik otstarbekus sõltub võrgu komponentide kvaliteedist, nende uuendatuse tasemest ja tootjate poolt ettenähtud hoolduse ja remondi nõuete täitmisest.
- Tuleb välja arendada infosüsteemid võrgu komponentide jääkressursi analüüsiks ja ettenähtud hoolduse ning remondi ettekirjutuste täitmise jälgimiseks.
- Tuleb nõustuda ELV sätestatud objektide prioriteetsustega rikete kõrvaldamisel, kuid otstarbekas oleks lisada viies prioriteetsuse grupp – suurema tarbimisega ja tarbijate arvuga kohad. Prioriteetide ajakohastamine peab toimuma koostöös kohalike omavalitsustega.
- Kindlasti tuleks rakendada Soome praktikat ja lubada teatud (nt abiviitega) võrguosades või teatud (nt abiviitega) tarbimiskohtadele pikemaid katkestusaegu.
- Abiviitega tarbijaiks oleks prioriteetsusgruppidesse mitte kuuluvad hajavarustuspiirkonna null- ja vähese tarbimisega raskesti ligipääsetavad, tootmisbaasidest kaugemale jäävad tarbimiskohad. Abiviitega võrguosadeks oleks need, mis varustavad abiviitega tarbimiskohti ja ainult

neid. Abiviitega tarbijaile tuleks kehtestada võrguteenuse hinnasoodustusi või võib-olla loobuda üldse võrgutasust.

- Abiviitega piirkondade teenindamisel võiks kaaluda vabatahtlike kaasamist. Eelnevalt tuleb korraldada neile õppused ohutuse tagamiseks.
- Kesktihedas piirkonnas tuleb rakendada rikete ennetamist defektituvastuse alusel; hajapiirkondades rikkepõhist käitu. Seisundi seire tulemused aitaksid kiirendada rikete lokaliseerimist. Mida hõredam asustus ja mida madalam pinge, seda vähem tuleks teha ennetustöid.
- Kuna hajavarustuspiirkonna töökindluse suurendamine võib tõsta ka kesktihe- ja tihepiirkondade töökindlust, siis rikkepõhist lähenemist tuleks rakendada eelkõige nendele fiidritele, mis täies ulatuses paiknevad hajavarustuspiirkonnas. Ülejäänud juhtudel tuleks eelistada ennetuslikku lähenemist, seda eriti tüviliinide osas.
- Defektituvastus hajapiirkonnas võiks toimuda iga 5 a tagant, mis tähendaks 20 % võrgu defektituvastust igal aastal. Ülevaatused võiks toimuda piirkonnaalajaamade või teatud hulga jaotusalajaamade kaupa. Arvestades tööde suurt mahtu, võiks rakendada Soome praktikat – alata defektituvastust objekti teatud vanusest (nt 20 a).
- Vajalik oleks korrastada defektide spetsifikatsiooni ja defektituvastusel anda selged järeldused liini komponendi defektsuse kohta – kas kriitiline, mis vajab kohest kõrvaldamist, või mittekriitiline, mille kõrvaldamisega võib viivitada.
- Vaja oleks selget ja ülevaatlikku defektide, rikete ja katkestuste statistikat ELV võrgu kui terviku kui ka varustuskindluse piirkondade kohta nii ajalises kui põhjuste lõikes, mis võimaldaks hinnata defektide tagajärgi. Leida tuleks defektsuse ja rikkelisuse erinäitajad – defekt/km ja rike/km ning nende vaheline korrelatsioon.
- Rikete ennetamiseks tuleb kõrvaldada seni avastatud kriitilised defektid. Selgub, et nt umbes 100000 masti on hinnatud defektseteks.
- Perspektiivne oleks droonide kasutamine liini trasside, eriti isoleeritud juhtmetega õhuliinide seisukorra jälgimiseks.
- Kaetud juhtmetega liinidelt puude, okste jms kõrvaldamine tuleb sooritada pingealuse tööna.
- Korrastada tuleks liini passid, eriti mastide ja juhtmete vanuse seisukohalt.
- Töös analüüsiti Hiiumaa ja Põlva käidupiirkonna liinitrasside võsa puhastust. Selgus, et võsaraie vähendab rikete koguhulka, kuid mõju on suuresti juhuslik. Lähtestatistika väike maht ei võimalda teha sügavamat uuringut ja hinnata trassi puhastuse vajalikku perioodsust paljas- ja kaetud juhtmetega õhuliinide puhul. Usaldusväärsemate tulemuste saamiseks tuleb parandada suhtumist rikete ja nende põhjuste statistikale.
- Oluline on kindlustada maakaablitrasside korrashoid, samuti on vaja maksimaalselt kiirendada kaablitööde kooskõlastusi, et vältida kaabelliinide tahtlikke rikkeid.
- Kogukulu üle plaanimisperioodi tuleb minimeerida, arvestades tehnilisi, seadusandlikke ja regulatiivseid kitsendusi, (pinge piirangud, koormatavus, lühisetaluvus, nõuded varustuskindlusele, rikete lokaliseerimise ja hädaolukordade protseduurid, ohutuseeskirjad).
- Oluline osa koguinvesteeringutest on seotud maakaabelliinide rajamisega ja sõltuvad suurel määral liini trassi geotehnilistest tingimustest. Paigaldiste maksumust mõjutavad oluliselt kompensatsioonid maaomanikele. Metsastel trassidel on liinide rikkelisus suurem ja ligipääs raskendatud, seega on ka jooksvad kulud suuremad. Kompensatsioonid on ligi poole väiksemad

trasside puhul piki teid. Samuti on tänu paremale ligipääsetavusele ehitus- ja jooksvad kulud väiksemad.

- Seega on otstarbekas rajada fiidrid üldiselt piki teid, maanteid ja maaomandi piire. See tähendab, et trass on piiritletud üldiselt nelinurkse ruudustikuga. Seetõttu on plaanimise eesmärgil trassi pikkuse heaks lähenduseks Lebesgue meetrika järgi leitud pikkus.
- Jaotusvõrkude komplitseerituse ja muutujate suure hulga tõttu taandub jaotusvõrgu plaanimine põhiliselt alajaamade võimsuse ja paigutuse ning fiidri trasside ja edastuvõime määramisele. Vahel antakse fiidritrass ette ja ülesanne taandub ainult edastusvõime optimeerimisele.
- Plaanimisperiood tuleb siduda võrgu komponentide elueaga. Sageli on vaja arvestada erinevate komponentide erinevate eluigadega. Sel juhul võib olla otstarbekas NPV meetodi asemel kasutada annuiteetide meetodit.
- Investeeringute analüüsil tuleb arvestada nii võrgu kui kliendi investeeringute jääkväärtusi arvutusperioodi lõpul. Investeeringu tehniline eluiga sõltub projektist, kuid on alati pikem, kui arvutusperiood.
- On uuendatud liinide kaablisse viimise tasuvusarvutust keskmiselt võrgu ühe kilomeetri kohta.
- Väga ligikaudsel hinnangul on hajapiirkonnas liini maakaablisse viimise tasuvusläviks aastane ülekantav energiakogus 1280 MWh ehk aasta keskmine võimsus 146 kW. Madalpingel on vastavateks arvudeks 384 MWh ja 44 kW. Keskpinge liini viimine isoleerjuhtmetega liiniks on tasuv, kui aastane ülekantav energia kogus on 846 MWh ehk aasta keskmine võimsus 97 kW. Madalpingel oleks vastavateks arvudeks 180 MWh ja 21 kW.
- Hajapiirkonnas on läviväärtused kõrged ning keskmise võimsusega koormatud liinide nii maa- kui õhukaablisse viimise tasuvusajad ebamõistlikult kõrged. Tingitud on see hajapiirkonna keskmiste tarbijate väikestest katkestuskuludest ja väga väikesest keskmisest ülekantavast energiast. Kõne alla võib tulla ainult kõrgelt koormatud või väga rikkelistes piirkondades paiknevate suhteliselt lühemate liinide asendamine kaabelliinidega või kaetud juhtmetega õhuliinidega.

KIRJANDUS

1. Accessories for Low Voltage Distribution Networks. ENSTO 2013, 56 p.
2. Accessories for Medium Voltage Distribution Networks. ENSTO 2011, 56 p.
3. Alvehag, K. Risk-based methods for reliability investments under performance based regulation. Elforsk rapport 13:62, 2013, 95 p.
4. Amokabel Presentation. Covered Conductor Conference 2006-05-30 in Brno. AMO Kraft AB, 38 sl.
5. Aruanne elektri- ja gaasiturust Eestis. Konkurentsiamet, Tallinn, 2012. 82 lk.
6. Aruanne energiamajanduse arengukava elektrimajanduse(elektrivõrgu) tegevuskava koostamisest. Koostas Lembit Vali, Eesti Arengufond 2014. 13 lk. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/2/2a/Aruanne_v%C3%B5rk.pdf
7. Billinton, R., Allan, R. N. Reliability Evaluation of Power Systems. Plenum Press, New York, 1996. 534 p.
8. CEER Benchmarking Report 5.1 on the Continuity of Electricity Supply. Data update. Council of European Energy Regulators (CEER), Brussels, 2014, 23 p. http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab3/C13-EQS-57-03_BR5.1_19-Dec-2013_updated-Feb-2014.pdf
9. Cheng, D. Integrated System Model Reliability Evaluation and Prediction for Electrical Power Systems: Graph Trace Analysis Based Solutions. Dissertation for the degree of D.Ph. Virginia State University, Blacksburg, Virginia 2009, 160 p.
10. Chowdhury, A. A., Koval, D. O. Power Distribution System Reliability. Practical Methods and Applications. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009. 556 p.
11. Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2014. Eleringi toimetised nr 2/2014 (7), Tallinn 2014, 61 lk. http://issuu.com/elering/docs/elering_varustuskindluse_aruanne_20
12. Eesti Energia aastaaruanne 2012. Tallinn, 2013. 155 lk.
13. Eesti regionaalarengu strateegia 2005-2015.a. Siseministeeriumi regionaalarengu osakond, 2005. 26 lk.
14. Eesti statistika andmebaas. Statistikaamet. http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp
15. Elektrilevi OÜ 2013. aasta investeeringute ja varade aruanne. Koostas: Tiit Hõbejõgi. 2014, 57 lk.
16. ENMAK 2030+. Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030. Eelnõu. Tallinn, 2014. 95 lk
17. Enerdata. 2011. Energy Efficiency Indicators. http://www.wec-indicators.enerdata.eu/household-electricity-use.html
18. Energy > Electricity > Consumption by households per capita. http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Energy/Electricity/Consumption-by-households-per-capita
19. ENSTO 6–24 kV õhuliini lahendused. 34 lk. http://www.ensto.com/download/17119_Ohuliinilahenduste_kataloog.pdf
20. EURELECTRIC http://www2.eurelectric.org/Content/Default.asp

21. European Standard EN 50397-1: Covered Conductors for Overhead Lines and the Related Accessories for Rated Voltages above 1 kV A.C. and not Exceeding 36 kV A.C. Part 1: Covered Conductors. 2006. 25 p.
22. Gençoğlu, M.T. The Comparison of Ceramic and Non-Ceramic Insulators. e-Journal of New World Sciences Academy, 2007, Volume: 2, Number: 4, Article Number: A0038. 21 p.
23. Hakala S. Kaukokäytettävien kohteiden valinta Helsinkin kesijänniteverkossa. Diplomityö. Aalto Yliopiston Teknillinen Korkeakoulu. 2010.
24. Hesmondhalgh, S., Zarakas, W., Brown, T. Approaches to Setting Electric Distribution Reliability Standards and Outcomes. The Brattle Group Ltd. London, UK. 2012, 191 p.
25. Hilber, P. Maintenance Optimization for Power Distribution Systems. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2008, 68 p.
26. Hyvärinen, M. Electrical Networks and Economies of Load Density. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology, Department of Electrical Engineering. 2008, 158 pp.
27. Jaotusvõrgu 2009/10 varade aruanne. Eesti Energia Jaotusvõrk OÜ, 2010, 25 p.
28. Keller, K., Franken B.F.C. Quality of supply and market regulation; survey within Europe. KEMA Consulting, Arnhem 2006. 60 p.
29. Lågland H. Comparison of Different Reliability Improving Investment Strategies of Finnish Medium-Voltage Distribution Systems. Acta Wasaensia No 256, Electrical Engineering 2, Universitas Wasaensis 2012, 218 p. http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-384-4.pdf
30. Lassila, J., Kaipia, T., Partanen, J., Järventausta, P., Verho, P., Mäkinen, A., Kivikko, K. A Comparison Of The Electricity Distribution Investment Strategies. CIRED 19th International Conference on Electricity Distribution Vienna, 21-24 May 2007, Paper 0525, 4 pp.
31. Lee Willis, H. Power Distribution Planning Reference Book. Marcel Dekker Inc. NY, Basel, 2005. 1241 p.
32. Leibkondade energiatarbimise uuring 2012. Lõppraport. Eesti Statistika, Tallinn 2013, 29 lk.
33. Lehtonen M., Saarijärvi E. ja Nurminen K. Kevyt kaapelijärjestelmä hajaasutusalueiden tarpeisiin. Kapeli-projektin loppuraportti. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan laitos, 2010, 52 s. http://www.merinova.fi/tiedostopankki/KAPELI_LOPPURAPORTTI_286.pdf
34. Partanen J., Honkapuro S., Lassila J., Kaipia T., Verho P., Järventausta P., Stranden J., Mäkinen A. Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot. Lappeenranta University of Technology and Tampere University of Technology, 2010. http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_toimitusvarmuuskriteeristo_2010_loppuraportti.pdf
35. Pihler J, Electric Field Distribution for CC Lines with Porcelain and Glass Insulators. International Covered Conductor Conference, Helsinki, Finland, 2000.
36. Raesaar P., Tiigimägi E., Valtin J. Eesti elektritarbijate toitekatkestustest tingitud majandusliku kahju hindamine. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Tallinn, 2004. 146 lk.
37. Raesaar P., Tiigimägi E., Valtin J. Eesti põhivõrgu katkestuskulude ja rikke- ning katkestuskarakteristikute hindamine. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Tallinn, 2005. 80 lk.
38. Raesaar P., Tiigimägi E., Valtin J. Töökindlus jaotusvõrkudes. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Tallinn, 2006. 186 lk.
39. Raesaar P., Treufeldt Ü. Mahtuvuslike maaühendusvoolude keskse ja hajutatud kompenseerimise kasutamine keskpingevõrgus üleminekul õhuliinidelt kaablivõrgule. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Tallinn, 2012. 133 lk.

40. Rahvastiku võimalikud arengutrendid 2012-2030. Koostajad: Noorkõiv, R., Loodla, K. Konsultatsiooni- ja koolituskeskus Geomedia. Tartu 2012, 37 lk. https://www.siseministeerium.ee/public/KOV-indeks_2011_rahvastiku_aruannne.pdf
41. Raudjärv, R., Kuskova, L. Energiatarbimine kodumajapidamistes. Eesti Statistika kvartalikiri. 1/13, lk 6-20. https://www.google.ee/?gws_rd=cr&ei=7xl2UoWqLObx4gSpwoHQDQ#q=Energiatarbimine+kodumajapidamistes
42. Reiska, R. Puidu kaitseimmutus. TTÜ Puidutöötlemise õppetool, 2012. 41 lk.
43. Saarijärvi, E. Geographical Perspectives on the Development of Power Distribution Systems in Sparsely Populated Areas. Doctoral dissertation, Aalborg University, 2013, 209 p. http://lib.tkk.fi/Diss/2014/isbn9789526055053/isbn9789526055053.pdf
44. Schmidthaler, M., Schmidinger, S., Reichl, J., Cohen, J. The Effects of Regulatory Frameworks on Electricity Supply Security: A European Analysis. Electricity Market Regulation, Electricity Supply Security, Energy Policy, 2013, 33 p. http://www.energyefficiency.at/dokumente/upload/The%20effects%20of%20regulatory%20frameworks%20on%20electricity%20supply%20security%20-%20A%20European%20Analysis_2ceff.pdf
45. Syrjänen M J and Korhonen P, Evaluation of Cost Efficiency in Finnish Electricity Distribution. Annals of Operations Research 121, p. 105-122, 2003.
46. THIES, H. H., ZDRALLEK, M., SCHWAN, M. A Model to Optimise Capex and Opex for a Given Quality Level. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013. 4 p. A model to optimise CAPEX and OPEX.pdf
47. Tiit, E.-M. Eesti rahvastik REL2011 andmetel. Vabariigi Presidendi mõttekoda 9. aprill 2013. Esitlus. Tartu Ülikool, Statistikaamet, 100 sl.
48. Tõnne, T. Juhtimiskeskus. 2014, 43 sl.
49. Universal Cables Handbook. NKT Cables, Falun, Sweden. 48 p. www.nktcables.com
50. Vaimann, T., Janson, K., Bolgov, V., Kallaste A. Analysis of Off-Grid Hybrid Power Supply for Sparsely Populated Areas. Electric Power Engineering 2013. 5 pp.
51. Valtin, J., Raesaar P., Tammoja H. Elektrilevi OÜ kesk- ja madalpingevõrgu varustuskindluse näitajad ja muutuste mõjurid erinevates varustuskindluse piirkondades üleminekul kaabli-võrgule. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Tallinn, 2013. 136 lk.
52. Varahalduse põhimõtted. Elektrilevi OÜ, 2013. 18 lk.
53. Verho, P., Mäkinen, A., Kivikko, K., Repo, S., Järventausta, P., Kaipia, T., Lassila, J., Partanen, J., Pylvänäinen, J. 2007 Visionary development of distribution networks. The 19th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2007), Vienna, Austria, 4p.
54. Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral. Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus 2011 a. (https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=882449&replstring=33)
55. Wareing, J. B. Covered Conductor Systems for Distribution. Report. EA Technology, Partners in Power Asset Management, 2005. 73 p.
56. Üleriigiline planeering Eesti 2030+. Tallinn 2013. 52 lk. http://eesti2030.files.wordpress.com/2014/07/eesti2030.pdf