

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Elektrotehnika instituut

ATV70LT

Kaija Vill

**TARBIMISE JUHTIMISE MÕJU ELEKTRI
KVALITEEDILE KORTERMAJAS**

Magistritöö

Instituudi direktor: prof. Tõnu Lehtla
Juhendaja: vanemteadur Argo Rosin
Lõpetaja: Kaija Vill

Tallinn 2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Kinnitan, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Varem ei ole selle lõputöö alusel kutse- ega teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud. Töö on koostatud litsentseeritud tarkvara abil.

Tallinn, 14.12.2015.a.

..... Kaija Vill

ATV70LT

Tarbimise juhtimise mõju elektri kvaliteedile kortermajas

Kaija Vill, üliõpilaskood 111728AAAMM, 14. detsember 2015. – 83 lk.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Elektrotehnika instituut, elektriagamite ja elektrivarustuse õppetool

Töö juhendaja: vanemteadur Argo Rosin

Võtmesõnad: tarbimise juhtimine, kortermaja, tarbimise modelleerimine, üheaegsustegur, samaaegsustegur

Referaat:

Lõputöö on 83 leheküljel, sisaldab 11 tabelit ja 47 joonist.

Lõputöö eesmärk on uurida elektri tarbimise agregeeritud juhtimise mõju elektri kvaliteedile kortermajas, selgitada välja peamised tarbimise juhtimisega seotud probleemid ja piirangud ning pakkuda välja meetmed nende kõrvaldamiseks.

Töös modelleeriti tarkvara DIGSILENT PowerFactory abil 60 korteriga kortermaja elektritarbimist nii ilma tarbimise juhtimiseta kui kolme juhtimis-stsenaariumi korral. Nihutatavate koormustena vaadeldi elektrilisi veeboilereid (tekstis „koormused“). Modelleerimise täpsust ja mudelite rakendatavust hinnati maja peajaotuskeskuses läbi viidud energiatarbimise mõõtmiste abil. Lisaks sellele analüüsiti maja ühiskasutatava elektripaigaldise olukorda ja hinnati selle sobivust tarbimise juhtimise meetmete rakendamiseks. Töö koostamise ajal kehtinud õigusaktide nõuete läbivaatamise ning maja elektripaigaldise analüüsi tulemusena anti soovitused nii tehniliste kui regulatiivsete meetmete tõhustamiseks, mis on vajalikud tarbimise juhtimise laiema rakendamise korral.

Autorile teadaolevalt pole Eestis varem tehtud uurimistööd, mis analüüsiks tarbimise juhtimise mõju elektri kvaliteedile kortermajades. Kuna 79% Eesti eluasemefondist on ehitatud aastatel 1960...1992, siis on vajalik selgitada välja, kuidas ja millises mahus on selleaegsetes kortermajades võimalik elektritarbimist juhtida ning missuguseid meetmeid oleks tarbimise juhtimise võimaldamiseks vaja rakendada.

ATV70LT

Impact of Demand Side Management on Power Quality in Apartment Building

Kaija Vill, student code 111728AAAMM, 14. December 2015. – 83 pages

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Power Engineering

Department of Electrical Engineering

Chair of Electrical Drives and Electricity Supply

Tutor of the work: senior research scientist Dr. Argo Rosin

Keywords: demand side management, apartment building, power quality, coincidence factor, load modelling

Summary:

Main objectives of the thesis are following: to find out how demand side management in Estonian ordinary apartment house influences power quality; to identify major problems and limitations associated with demand side management in this kind of apartment houses and to propose measures for their elimination.

Power consumption of an apartment house with 60 flats was modelled using DIGSILENT PowerFactory software. Three different scenarios with application of demand side management and one without it were analysed. Electrical water heaters were assumed as controllable loads. The modeling accuracy and model applicability were evaluated based on power quality measurements in main distribution board of the house. In addition to that, technical condition of house's electrical installation was assessed and based on this, its suitability for demand side management was evaluated. As a result of analysing various legal texts, recommendations for taking technical and regulatory measures to enable wider application of demand side management were given.

Known to the author of this thesis, there have not been any previous studies in Estonia on this particular topic.

SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE	8
EESSÕNA	9
1 SISSEJUHATUS	10
1.1 Tarbimise juhtimine Euroopas ja Eestis	10
1.2 Kirjanduse lühiülevaade	10
1.3 Probleemi püstitus ja töö uudsus	11
2 PÕHIMÕISTED	12
2.1 Mõistete definitsioonid standardis IEC 60050.691	12
2.2 Mõisted muus erialases kirjanduses	13
2.2.1 Schneider Electricu „Electrical installation guide“	13
2.2.2 „Elamute elektripaigaldised“	15
2.2.3 Üheaegsustegur ingliskeelsetes teadusartiklites	15
2.3 Üheaegsustegur ja üheaegsusfunktsioon	15
2.4 Elektri kvaliteedi mõiste	17
2.4.1 Pingetase ja aeglased pingemuutused	18
2.4.2 Kiired pingemuutused	18
2.4.3 Toitepinge asümmeetria	19
2.4.4 Toitekatkestused	20
3 KORTERMAJADE ELEKTRIVARUSTUS	21
3.1 Eesti jaotusvõrgu struktuur	21
3.2 Peakaitse suurus ja üheaegsustegur Elektrilevi OÜ liitumistingimuste järgi	22
3.3 Kortermajade elektripaigaldiste olukord	25
3.4 Viiekorruselise 60 korteriga maja elektritarbimine	25
4 KODUMAJAPIDAMISTE ELEKTRITARBIMINE	27
4.1 Kodumajapidamiste elektritarbimine Eestis	27
4.2 Kodumajapidamiste elektritarbimise modelleerimine	27
4.3 Kodumajapidamiste tarbimise juhtimisest Eestis	30
4.4 Muutused Eesti rahvastikus ja nende mõju elektri tarbimisele	30
5 UURITAVATE JA SEOTUD OBJEKTIDE ANALÜÜS	32
5.1 Jaotusalajaama nr 546 kirjeldus	32
5.2 Uuritava hoone kirjeldus	34
5.2.1 Lühiülevaade suurpaneelilamute ehitamisest Eestis	34
5.2.2 Hoone üldised andmed	34
5.2.3 Elektrivarustus tüüpprojekti kohaselt	34

5.2.4	Elektripaigaldise hetkeseis	35
5.3	Sulavkaitsmete karakteristikud.....	36
5.3.1	Liigvoolukaitse.....	37
5.3.2	Lühisekaitse.....	38
6	MAJA ELEKTRITARBIMISE MÕÕTMISED.....	40
6.1	Maja tarbitav aktiivvõimsus	40
6.1.1	Tarbitava aktiivvõimsuse kõikumine tunni piires	45
6.2	Maja reaktiivvõimsuse tarbimine	48
6.3	Peakaitset läbiva voolu tugevus.....	50
6.4	Maja võimsustegur	51
7	SIMULATSIOONIMUDELI KOOSTAMINE JA TULEMUSED	53
7.1	Modelleerimistarkvara DIgSILENT PowerFactory tutvustus	53
7.1.1	Standardkoormusgraafikud.....	53
7.1.2	Kodumajapidamise tüüpkoormusgraafiku H0 andmed	53
7.2	Mudeli graafilise osa koostamine	55
7.3	Korterite tavatarbimise modelleerimine	57
7.4	Nihutatavate koormuste tarbimisgraafikute modelleerimine – stsenaariumid	60
7.4.1	Stsenaarium 1	61
7.4.2	Stsenaarium 2	62
7.4.3	Stsenaarium 3	62
7.5	Simulatsiooni tulemused	63
7.5.1	Lähtemudel ilma nihutatavate koormusteta.....	63
7.5.2	Mudeli kontrollimine.....	64
7.5.3	Stsenaariumi 1 tulemused.....	65
7.5.4	Stsenaariumi 2 tulemused.....	66
7.5.5	Stsenaariumi 3 tulemused.....	67
8	VÕRDLEV ANALÜÜS JA JÄRELDUSED	68
8.1	Lähtemudeli võrdlus mõõteandmetega.....	68
8.2	Tarbimise juhtimise stsenaariumite tulemuste analüüs	70
8.3	Piirang tarbimise juhtimisele vaadeldavas kortermajas.....	72
9	KOKKUVÕTE.....	73
9.1	Tarbimise juhtimisega kaasnevad probleemid	73
9.2	Ettepanekud meetmete rakendamiseks	74
10	KASUTATUD KIRJANDUS	77
LISAD		81
	Kortermaja Asunduse 9 peajaotuskeskuse olemasolev skeem	82

Tehnilise Järelevalve Ameti peaspetsialisti Meelis Kärsti selgitused..... 83

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Elektrotehnika instituut

KOOSKÕLASTATUD

Prof. T. Lehtla.....

2. veebruar 2015

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Kaija Vill, üliõpilaskood 111728AAAMM

Magistritöö teema: **Tarbimise juhtimise mõju elektri kvaliteedile kortermajas.**

Ülesanne: Uurida agregeeritud tarbimise juhtimise mõju elektri kvaliteedile kortermajas ja koostada ettepanekud tulevaste võimalike negatiivsete mõjude ennetamiseks.

Lähteandmed:

1. Teadusartiklid ja –ajakirjad, erialakirjandus, standardid, ülekande- ja jaotusvõrkude andmed.
2. Hoone projektdokumentatsioon, modelleerimisprogrammide kasutusjuhendid.

Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

1. Anda ülevaade valdkonnaga seotud põhimõistetest ning Eestis rajatud kortermajade elektripaigaldistest ja elektritarbimisest.
2. Uurida ja analüüsida näidiselamu elektripaigaldist ja teostada koormuste mõõtmised.
3. Koostada kortermaja koormuste agregeeritud juhtimisele 3 stsenaariumit, modelleerida ja analüüsida neid tarkvara DIgSILENT PowerFactory abil.
4. Mõõtmiste ja simulatsioonide alusel määrata piirangud tarbimise agregeeritud juhtimise rakendamiseks ja koostada ettepanekud võimalike probleemide ennetamiseks.

Magistritöö esitada eesti keeles kahes eksemplaris koos eesti- ja ühe võõrkeelse referaadiga hiljemalt 14. detsembril 2015.

Juhendaja:

Ülesande vastu võtnud:

Vanemteadur A. Rosin

Üliõpilane K. Vill

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema anti välja Tallinna Tehnikaülikooli vanemteaduri ja töö juhendaja Argo Rosina poolt, uurimaks tarbimise juhtimise võimalikkust ning selle mõju elektri kvaliteedile kortermajas. Töös uuritavaks kortermajaks valiti autori kodumaja, mis oma parameetritelt vastab tüüpilisele Eesti kortermajale ning kus tarbimise juhtimise rakendamisega seotud probleemid ja takistused tulevad hästi esile.

Töö koostamise käigus viidi maja peajaotuskeskuses läbi mõõtmised, mille võimaldamise eest tahab autor tänada KÜ Asunduse 9 esinaist Kai Tutsi. Lisaks mõõtmisele modelleeriti maja tarbimist nii ilma kui koos juhitavate koormustega modeleerimistarkvara DIgSILENT PowerFactory abil. Selleks taotleti firmalt DIgSILENT GmbH üheks aastaks tasuta litsents lõputöö koostamiseks. Autor tänab ettevõtte müügiesindajat Nadine Kochewskit abi eest litsentsiga seotud probleemide lahendamisel.

Programmi PowerFactory võimalusi aitas selgeks saada robotitehnika õppetooli teadur Anton Rassõlkin, keda autor samuti tänab.

Suur tänu kuulub autori kolleegidele Kadi Mölderile, Andres Tanilsoole, Tõnis Tajurile ja Heiki Ilissonile OÜ-st Elektrilevi, kes aitasid nii lähteandmete kogumise kui kortermaja tarbimise kontrollandmete väljastamisega.

Autor tänab töö juhendajat dr Argo Rosinat tulemusliku koostöö, nõuannete ja huvitavate mõtete eest töö koostamise ajal.

Lisaks kõigile eelpool nimetatutele soovib autor tänada oma perekonda igakülgse abi ja toetuse eest õpingute ajal.

1 SISSEJUHATUS

1.1 Tarbimise juhtimine Euroopas ja Eestis

2012. aastal koostasid Euroopa Parlament ja Nõukogu nn energiatõhususe direktiivi [2], mille artiklis 15.8 kohustatakse liikmesriike soodustama nõudlusele reageerijate juurdepääsu süsteemiteenuste turgudele. Riikide energeetikavaldkonda reguleerivad asutused peavad määratlema tarbimise juhtimise meetmete rakendamiseks ja erinevate osapoolte süsteemiteenuste turgudel osalemiseks tehnilised kirjeldused [2][1]. 2014. aasta seisuga oli Euroopa Liidu 28 liikmesriigist ainult viiel regulatiivsed või lepingulised meetmed tarbimise juhtimise rakendamiseks. Vaadeldes kõiki Euroopa riike, on üksnes Suurbritannias ja Prantsusmaal tarbimise juhtimise meetmed kommertskasutuses [1].

Eestis täna laiaulatuslikku tarbimise juhtimist ei toimu ja seda ei nähta lähitulevikus ette ka kohalikes tegevus- ja arengukavades [4][5][6][7]. Samas viidi vastavalt EL energiatõhususe direktiivi nõuetele Elering ASi ja Tallinna Tehnikaülikooli koostöös 2014. aastal läbi tarbimise juhtimise võimalusi käsitlev uuring [3], mille kohaselt oleks tööstuste kaasamine ka praegu olemasoleva tehnoloogiaga võimalik. Kodumajapidamiste osalemine tarbimise juhtimise meetmete rakendamisel pole hetkeseisuga veel majanduslikult otstarbekas.

1.2 Kirjanduse lühiülevaade

Viimase kümne aasta jooksul on maailmas avaldatud hulgaliselt artikleid koduse elektritarbimise modelleerimise kohta tarbimise juhtimise eesmärgil. Neist üks olulisemaid ja Eesti andmetega enim võrreldavaid on soomlaste J. Paatero ja P. Lundi poolt avaldatud [13], kus on kirjeldatud reaalsete kodumajapidamiste tarbimisandmetega sarnaste statistiliste omadustega andmekogumite genereerimise meetodikat simulatsioonide jaoks.

Suur hulk artikleid käsitlevad Suurbritannia majapidamiste tarbimismustrite analüüsi ja simulatsioonimudelite koostamist. Energiatarbimise mustrite koostamist koos põhjaliku ülevaatega majapidamiste elanike arvu ja elektriseadmete kohta on vaadeldud R. Yao ja K. Steemersi artiklis [14]. Üheminutilise ajaintervalliga tarbimise mudeli koostamist kajastavad I. Richardsoni, M. Thomsoni jt artiklid [15][16]. Nende autorite poolt loodud ühe majapidamise elektritarbimise näidissimulatsioon on kõigile huvilistele kättesaadav aadressilt [17]. Mitmest artiklist koosnevas sarjas on Edinburghi ülikooli teadlased töötanud välja lisaks muudele teguritele ka majapidamise elanike tegevust arvestava elektritarbimise mudeli [18][19][20][21].

Eelpool kirjeldatud mudeleid kasutades on mitmed autorid analüüsinud tarbimise juhtimise mõju Inglismaa madalpingevõrgu käidule ja arendamisele [22][23]. Ka Saksamaal on uuritud kodumajapidamiste mudeldamist ja tarbimise juhtimist jaotusvõrgu seisukohalt: [24][25][26].

Üheaegsustegurit jaotusvõrgus ja tema statistilisi parameetreid käsitlevad artiklid [27][28].

1.3 Probleemi püstitus ja töö uudsus

Tarbimise juhtimine on laialdast käsitlemist leidnud alates 1973. aasta energiakriisist. Avalikult hakati tarbimise juhtimist rakendama USAs alates 1980. aastast. Eriti aktuaalseks on teema muutunud just viimastel aastatel elektri tarkvõrkude arendamise kontekstis, kus tarbimise juhtimist käsitletakse ühe võimaliku meetmena nii bilansiteenuse (taastuvenergiaallikate muutuva väljundvõimsuse tasakaalustamiseks) kui süsteemiteenuse (sageduse ja pinge reguleerimine) pakkumiseks ning ka avariireservide tagamiseks.

Vaatamata tarbimise juhtimise mudelite ja algoritmide aktiivsele arendamisele viimase 10 aasta jooksul, on vähe uuritud just agregeeritud tarbimise juhtimist ja selle mõju elektrikvaliteedile. Oluline on siinkohal mõju uurimine madalpingevõrkudele ja olemasolevatele elektripaigaldistele, eriti vanades korterelamutes ja eramutes, kus ajas muutunud (nt lokaalsete taastuvenergiaallikate lisandumine) ja muutuvad (nt koormuste agregeeritud juhtimine) tarbimismustrid avaldavad elektrikvaliteedile suurimat mõju. Sellest lähtuvalt on valitud ka uuritav teema ja objekt.

Eestis ei ole teadaolevalt varem uuritud kortermaja tarbimise juhtimise mõju elektri kvaliteedile. Käesolevas töös on koostatud nii kortermaja tarbimise mudel erinevate tarbimise juhtimise stsenaariumite simuleerimiseks kui ka läbi viidud kontrollmõõtmised ja uuringud peajaotuskeskuses tarbimise juhtimise tegelike võimaluste välja selgitamiseks. Antud töös on välja toodud ka võimalikud tarbimise juhtimise rakendamisega kaasnevad probleemid ja pakutud välja viisid, kuidas neid lahendada.

2 PÕHIMÕISTED

Käesolevas töös uuritakse tarbimise juhtimist korterelamus ning selle mõju tarbijate üheaegsustegurile ja elektri kvaliteedile. Sellest lähtuvalt tuleks esmalt defineerida mõiste „üheaegsustegur“ ja vaadelda lähemalt üheaegsusteguri mõistega seotud probleeme erialases kirjanduses.

2.1 Mõistete definitsioonid standardis IEC 60050.691

Rahvusvaheline elektrotehnika sõnastik ehk standard IEC 60050 [32] defineerib osas 691-10 kuus erinevat tegurit, mis eri maade kirjandust lugedes omavahel segadust tekitavad. Paraku pole seda standardi osa veel eesti keelde tõlgitud. Järgnevalt tuuakse nende mõistete eestikeelsed vasted vastavalt inglise-eesti tehnikasõnaraamatule [33] ja nende IEC 60050 kohased lühiseletused. Kahel viimasel mõistel, *Effective demand factor* ja *Peak responsibility factor* ametlik eestikeelne vaste puudub.

Load factor – koormustegur, ka koormusgraafiku täitetegur

Kindla ajavahemiku (aasta, kuu, päev jm) tarbimise suhe tarbimisse, mis tuleneb sama perioodi pidevast maksimaalsest või muust kindlaksmääratud nõudlusest. Koormustegurit väljendatakse numbriliselt või protsendiga. Alati tuleks täpsustav ajaperiood juurde lisada.

Coincidence factor – üheaegsustegur ehk samaaegsustegur

Elektriseadmete või tarbijate grupi kindla ajavahemiku jooksul esinenud üheaegse maksimaalse tarbimise suhe samal ajaperioodil esinenud individuaalsete maksimaalsete tarbimiste summasse. Üheaegsustegurit väljendatakse numbriliselt või protsendiga ning tema väärtus on $\leq 1,0$. Selle mõiste puhul tuleb täpsustada, millisele süsteemi tasandile see viitab.

Käesolevas töös kasutatavad mõisted *üheaegsustegur* ja *samaaegsustegur* on tähenduselt identsed ja tähistavad ühte ja sama tegurit.

Diversity factor – eriaegsustegur, ka hajuvustegur

Üheaegsusteguri (*coincidence factor*) pöördväärtus, suuruselt $\geq 1,0$.

Demand factor – koormatustegur

Paigaldise või paigaldiste grupi kindla ajavahemiku jooksul esinenud maksimaalse nõudluse suhe vastava paigaldise või paigaldiste grupi summaarsesse installeeritud võimsusesse. Koormatustegurit väljendatakse numbriliselt või protsendiga. Selle mõiste puhul tuleb täpsustada, millisele süsteemi tasandile see viitab.

Effective demand factor – efektiivse nõudluse tegur

Tarbija või tarbijate grupi või paigaldiste grupi efektiivse nõudluse suhe vastava tarbija või tarbijate grupi või paigaldiste grupi summaarsesse installeeritud võimsusesse.

Efektiivne nõudlus on tarbija, tarbijate klassi või tüüpkoormuste nõudluse suurus energiasüsteemi tipukoormusajal või võimalikul tipukoormuse perioodil. Selle mõiste puhul tuleb samuti täpsustada, millisele süsteemi tasandile see viitab.

Peak responsibility factor – tipuvastutustegur

Tarbija või tarbijate grupi või teatud tüüpi paigaldiste grupi efektiivse nõudluse suhe süsteemi tipukoormusesse. Seejuures on oluline, et need kaks väärtust mõõdetakse energiasüsteemi samal tasandil. Samuti tuleb alati märkida, millise ajaperioodi jooksul kirjeldatud tipukoormus esines.

2.2 Mõisted muus erialases kirjanduses

2.2.1 Schneider Electricu „Electrical installation guide“

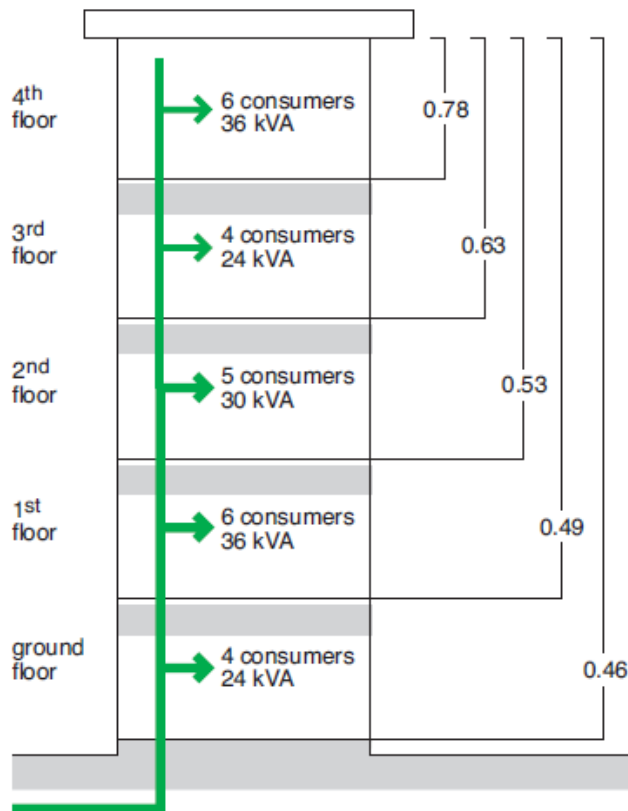
Projekteerimises laialdaselt kasutatavas firma Schneider Electric poolt koostatud juhises „Electrical Installation Guide“ [34] kasutatakse paigaldise maksimaalse võimsusnõudluse määramiseks kahte tegurit: maksimaalset kasutustegurit k_u (*factor of maximum utilization*) ja samaaegsustegurit k_s (*factor of simultaneity*).

Maksimaalne kasutustegur k_u võtab arvesse seda, et erinevat tüüpi elektriseadmete nõudlus tavalistes oludes on tihti väiksem kui seadme nimivõimsus. Märgitakse, et kasutustegur k_u on iga konkreetse elektritarviti jaoks erinev. Erilist tähelepanu tuleb pöörata elektrimootoritele, mis töötavad harva täiskoormusel. Tööstuslikes paigaldistes võib elektrimootorite puhul arvestada k_u väärtuseks 0,75. Hõõglampidest koosneva valgustuspaigaldise kasutustegur on alati 1,0. Pistikupesade ahelate kasutustegur sõltub nende kaudu toidetavatest seadmetest.

Samaaegsustegur k_s arvestab seda, et paigaldise installeeritud elektriseadmed ei tööta kunagi kõik ühel ajal. Samaaegsustegurit rakendatakse tarvitite grupile, näiteks kõigile sellistele seadmetele, mida toidetakse ühest jaotuskeskusest. Juhendis [34] märgitakse, et samaaegsustegur sõltub konkreetsest paigaldisest ja selle väärtuse antud juhul määrab projekterija – universaalseid väärtusi on võimatu ette anda. Siiski on juhendis toodud mõned sagedamini esinevate tarvitigruppide samaaegsustegurid. Valgustusahelate jaoks on k_s võrdne

1,0-ga, kütte- ja jahutusseadmete jaoks samuti 1,0, pistikupesade jaoks 0,1...0,2 (teatud juhtudel võib olla kuni 1,0).

Korterimaja samaaegsustegur on juhendis [34] eraldi välja toodud. Selle järgi sõltub korterimaja tarbitav võimsus maja korterite arvust. Kui 2...4 korteriga maja puhul on $k_s = 1,0$, siis 50 ja enama korteriga maja puhul on $k_s = 0,40$ (vt Joonis 2-1). Märgitakse, et elekterkütte puhul on k_s sõltumata korterite arvust vähemalt 0,80.



Joonis 2-1. Samaaegsusteguri kasutamine viiekorruselise korterimaja näitel [34].

On huvitav märkida, et juhendis [34] osas A18 peatükis 4.5 väidetakse, et IEC standardi kohane mõiste *diversity factor* on tähenduselt identne juhendis kasutatud mõistega *simultaneity factor* – samaaegsustegur ja mõnel teisel inglise keelt kõneleval maal peetakse *diversity factor* all silmas k_s pöördväärtust, mis on alati ≥ 1 . Paraku ongi see näide segadusest mõistetega, sest antud juhul on standardikohane samaaegsustegurile k_s vastav mõiste hoopis *coincidence factor* ning *diversity factor* on defineeritud kui viimase pöördväärtus. Sama juhendi 2015. aasta väljaandes on see viga parandatud.

2.2.2 „Elamute elektripaigaldised“

Eesti Elektritööde Ettevõtjate Liidu poolt välja antud raamatus [35] on käsitletud tarbitava võimsuse määramist vastavalt Elektrikontrollikeskuse 1996. aastal välja antud juhendile „EEI J2:1995. Eluhoonete arvutusliku võimsuse määramine.“.

Nimetatud juhendi järgi kasutatakse tarbitava võimsuse määramiseks nõudlustegurit, mis jääb vahemikku 0,4...0,7. Nõudlustegur on omakorda kolme teguri korrutis. Need tegurid on samaaegsustegur, kasutustegur ja maksimumitegur. Samaaegsustegur arvestab, et kõiki olemasolevaid tarviteid ei lülitata sisse korraga. Kasutustegur arvestab, et ühtegi tarvitit ei kasutata pidevalt. Maksimumitegur arvestab, et tarvitid ei pruugi talitleda täisvõimsusel.

Nagu näha, langevad samaaegsustegur ja maksimumitegur tähenduselt kokku Schneider Electricu juhendis [34] toodud samaaegsusteguri k_s ja maksimaalse kasutusteguriga k_u .

2.2.3 Üheaegsustegur ingliskeelsetes teadusartiklites

Käesolevas töös vaadeldud ingliskeelsetes teadusartiklites [22][25][26][27][28] on kasutatud IEC mõistes üheaegsusteguri (*coincidence factor*) tähenduses kahte erinevat mõistet. Inglise teadlaste koostatud artikkel [22] ja USA uurijate artikkel [27] kasutavad mõisteid *coincidence factor* ja *diversity factor* vastavalt standardile IEC 60050. Saksa teadlaste artiklid [25] ja [26] kasutavad üheaegsusteguri tähenduses mõistet *simultaneity factor* ja sellele vastavat funktsiooni *simultaneity function*. Sama mõistet kasutavad ka hollandi uurijad artiklis [28].

2.3 Üheaegsustegur ja üheaegsusfunktsioon

Kodumajapidamiste elektritarbimise juhuslikku iseloomu ilma tarbimise juhtimiseta kirjeldab üheaegsusfunktsioon $g(n)$ [25][30], mis arvestab vaadeldavast võrguelemendist (alajaamast) toidetavate majapidamiste arvu n . Saksamaa jaotusettevõtete poolt tehtud mõõtmiste kohaselt avaldub aasta suurima tarbimise ajal kindla jaotusvõrgu elemendi (näiteks alajaama) poolt toidetavate majapidamiste üheaegsusfunktsioon valemiga (1) [25]:

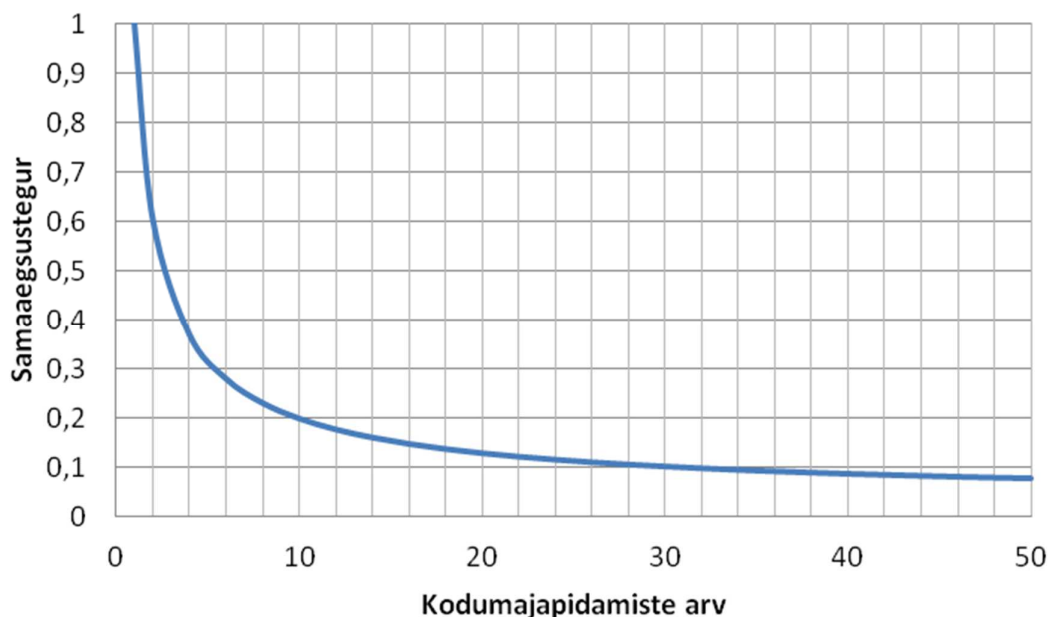
$$g(n) = g_{\infty} + \frac{1-g_{\infty}}{\sqrt[4]{n^3}}, \quad (1)$$

kus $g(n)$ – üheaegsusfunktsioon kohal n

g_{∞} – üheaegsusfunktsiooni piirväärtus, kui $n \rightarrow \infty$. $g_{\infty} = 0,028$

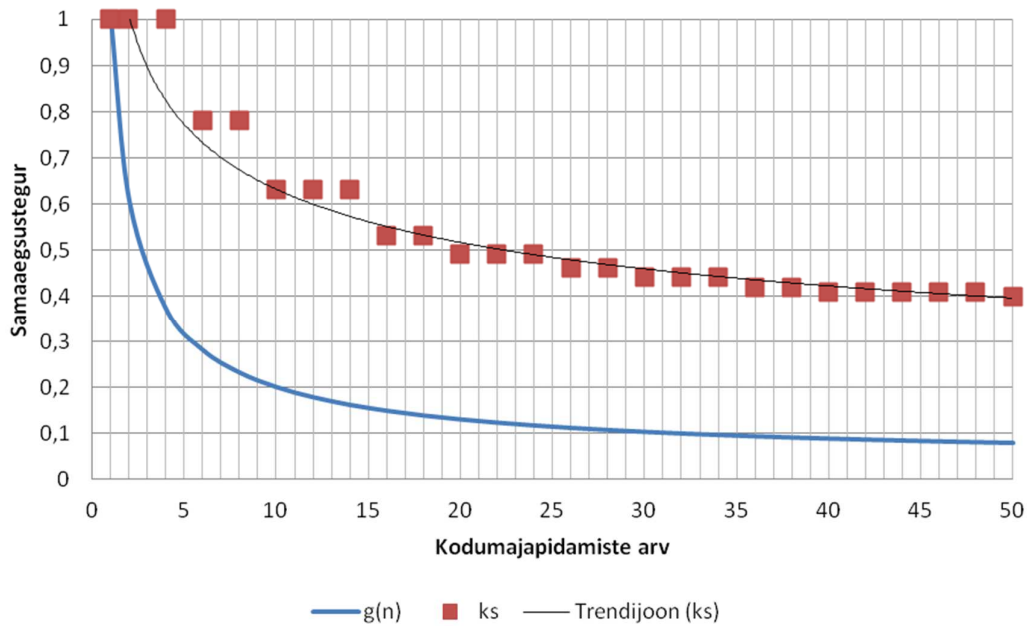
n – vaadeldavate majapidamiste arv

Funktsiooni graafik on toodud järgmisel joonisel (Joonis 2-2). Nagu näha, kahaneb samaaegsustegur tarbijate arvu kasvades kiiresti ja läheneb piirprotsessis $n \rightarrow \infty$ kindlale väärtusele $g_\infty = 0,028$. See on üheaegsusteguri väärtus reaalses Saksamaa võrgus väga suure tarbijate arvu korral.



Joonis 2-2. Samaaegsusfunktsioon sõltuvalt kodumajapidamiste arvust.

Eelnevalt kirjeldatud samaaegsusteguri graafik ei ole vastavuses IEC standardite järgi koostatud projekteerijatele mõeldud Schneider Electricu juhendiga (vt juhend [34]). Selles juhendis antakse projekteerijatele soovitus kasutada paigaldiste projekteerimisel samaaegsusteguri minimaalset väärtust tavajuhtudel 0,4 ning elekterküttega kortermajades 0,8. Antud juhendit kasutatakse laialdaselt ka Eesti inseneribüroodes elektripaigaldiste projekteerimisel. Joonis 2-3 kujutab võrdluseks mõlemat graafikut samas koordinaatteljestikus.



Joonis 2-3. Samaaegsusfunktsiooni $g(n)$ [25] ja samaaegsussteguri k_s [34] väärtuste võrdlus erineva majapidamiste arvu korral.

2.4 Elektri kvaliteedi mõiste

Elektrienergia kvaliteet on koos elektrienergia tarnimisega seotud teeninduskvaliteediga üks osa laiemast mõistest – elektrivarustuse kvaliteedist. Elektri kvaliteet omakorda jaguneb pinge kvaliteediks ja varustusstabiilsuseks [37]. Jaotusvõrguettevõtjad peavad tarbijatele esmajoonel tagama nõuetekohase pinge minimaalse katkestuste ajaga. Elektri kvaliteedinõuded võivad olla erinevatele klientidele erinevad. Samas ei tohi ka tarbija oma seadmetega elektri kvaliteeti halvendada, kuna üks olulisimaid võrguhäiringute põhjustajaid on klient ise oma nõuetele mittevastavate seadmetega.

Tarbimise juhtimise kontekstis tähendab elektri kvaliteet eelkõige nii talitlussuuruste vastavust nimisuurustele kui varustuskindluse jäämist vähemalt samale tasemele ilma juhtimiseta. Koormuste agregeeritud sisse- ja väljalülitamine ei tohi põhjustada ühegi võrguosa ülekoormust ega avalduda pingemuutuste väljumisega lubatud piiridest. Tänapäeva elektroonikaseadmed on tundlikud toitepinge häirimisele ja pinge hetkväärtuse kõikumistele. Katkestuste tõttu andmata jäänud energia põhjustab majanduslikku kahju nii võrguteenuse tarbijatele kui võrguettevõtetele.

Pinge kvaliteedinäitajad jagunevad järgmiselt:

- võrgusagedus,

- pingetase ja aeglased pingemuutused,
- kiired pingemuutused,
- toitekatkestused,
- võrgusageduslikud ja transientliigpinged,
- toitepinge asümmeetria,
- kõrgemad ja vaheharmoonikud,
- alaliskomponendid vahelduvvooluvõrkudes.

Tarbimise juhtimine mõjutab enim kiireid ja aeglasi pingemuutuseid, toitepinge asümmeetriat ühefaasiliste koormuste juhtimisel, toitekatkestusi.

2.4.1 Pingetase ja aeglased pingemuutused

Aeglased pingemuutused on pinge efektiivväärtuse suurenemised või vähenemised, mida väljendatakse voltides või protsentides nimipinge suhtes. Aeglased pingemuutused on enamasti põhjustatud võrgu koormuse muutumisest.

Standardi EVS-EN 50160 kohaselt on madalpingevõrgus pingekvaliteedi

- kõrgtase, kui faasipinge efektiivväärtuse 10-minutiline keskvärtus on 220...240 V ja 10-minutiliste keskvärtuste keskvärtus on 225...235 V;
- normaaltase, kui efektiivväärtuse 10-minutiline keskvärtus on 207...244 V;
- standardtase, kui 95% efektiivväärtuse 10-minutilistest keskvärtustest on 207...253 V ja 10-minutiliste keskvärtuste keskvärtus alati 195,5...253 V.

Keskpingevõrgus on pingekvaliteedi

- kõrgtase, kui efektiivväärtuse 10-minutiline keskvärtus on liitumispunkti lepingulise pinge U_c suhtes +/- 4% ja 10-minutiliste keskvärtuste keskvärtus U_c +/- 2,5%;
- normaaltase, kui efektiivväärtuse 10-minutiline keskvärtus on U_c +/- 10%;
- standardtase, kui 95% efektiivväärtuse 10-minutilistest keskvärtustest on U_c +/- 10%.

2.4.2 Kiired pingemuutused

Standardi EVS-EN 50160 järgi on kiire pingemuutus pinge efektiivväärtuse kiire üksikmuutus kahe püsiva kuid täpsustamata kestusega järjestikuse taseme vahel. Kiireid pingemuutusi põhjustavad peamiselt erinevate tarvitite ja tootmisseadmete lülitustoimingud.

Nagu aeglasi pingemuutuseidki, väljendatakse kiireid pingemuutusi protsentides nimipinge suhtes. Madalpingevõrgus pole standardi EVS-EN 61000 kohaselt elektriseadmete lülitustoimingute arvu kohta piiranguid, kui kiire pingemuut ei ületa 4%. Viitega lülitatavatele seadmetele on piiranguteta lubatud lülitustoiminguid teha, kui nende lülitamisest tingitud kiired pingemuutused võrgus ei ületa 6%. Kui viitega lülitatavad seadmed põhjustavad madalpingevõrgus kiiret pingemuutu 6...7%, on nende lülitustoimingud lubatud kuni 2 korral ööpäevas.

Keskpingevõrgus on üldjuhul lubatud seadmete poolt põhjustatavad kiired pingemuudud kuni 4% ulatuses (piiranguid ei seata). Kui pingemuudu ulatus jääb piiresse 4...6%, on lülitustoiminguid lubatud ööpäevas teha kuni 4 korda.

2.4.3 Toitepinge asümmeetria

Koormuste agregeeritud juhtimisel kortermajades, kus iga korteri elektrivarustus on ühefaasiline, tuleb muuhulgas jälgida ka faaside võrdset koormatust. Pinge asümmeetria ongi mitmefaasilise võrgu seisund, mille korral faasipingete efektiivväärtused või faasidevahelised nihkenurgad pole võrdsed.

Asümmeetriat iseloomustab asümmeetriategur ehk pinge vastujärgnevuskomponendi suhe pärijärgnevuskomponenti.

Faasidevaheliste pingete järgi avaldub asümmeetriategur k_a ja selle arvutamiseks vajalik tegur b järgmiselt [37]:

$$k_a = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6b}}{1+\sqrt{3-6b}}} \quad (2)$$

$$b = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (3)$$

Valemis (3) toodud U_{12} , U_{23} , U_{31} on faasidevahelised pinged.

Nädalas on toitepinge asümmeetria osas

- kõrgtase, kui alati $k_a \leq 1\%$;
- normaaltase, kui alati $k_a \leq 1,5\%$;
- standardtase, kui 95% ajast $k_a \leq 2\%$.

Vastujärgnevuskomponent häirib mitmete tarvitite, eriti mootorite tööd. Nulljärgnevuskomponent, mida seni pole normeeritud, tekitab neutraalnihke ehk pingetõusu keskpingevõrkude faasijuhtide ja maa vahel, lisakoormuse isolatsioonile ja pingetrafode magnetahelatele. [37]

2.4.4 Toitekatkestused

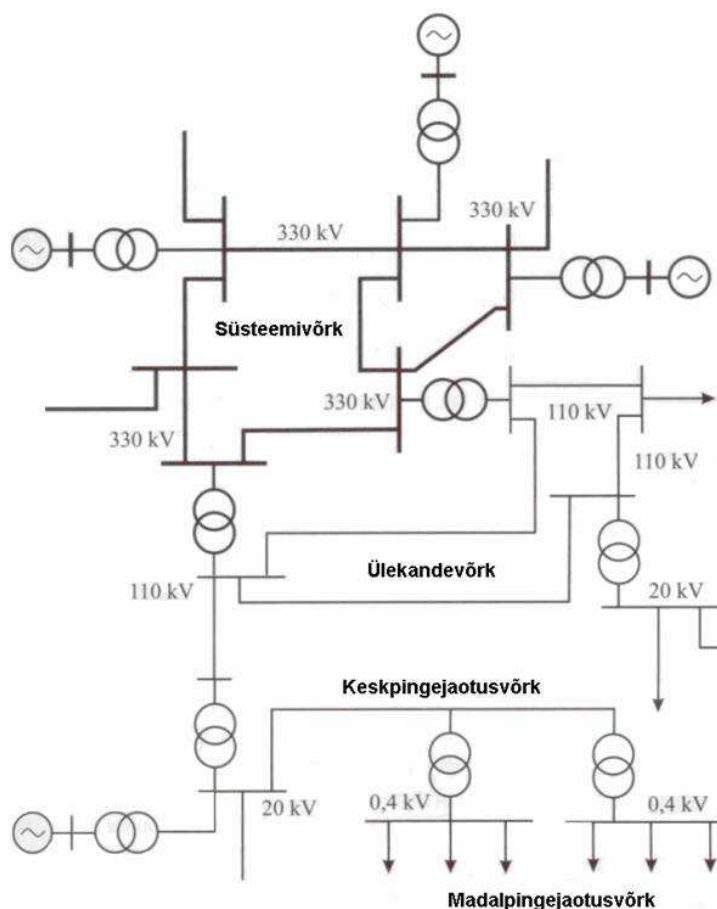
Standardi EVS-EN 50160 mõistes on toitekatkestus seisund, kus pinge tarnepunktis (liitumispunktis) on väiksem kui 1% lepingulisest pingest. Kui pinge on siiski üle 1%, on tegemist pingehälbega. Toitekatkestused jagatakse ootamatuteks ja plaanilisteks. Pikaajaline ootamatu toitekatkestus kestab üle 3 minuti, lühiajaline alla 3 minuti.

Klientide toitepidevuse üheks olulisemaks näitajaks on toitekatkestuse keskmine kestus kliendi kohta ehk SAIDI (*system average interruption duration index*). Elektrilevi OÜ eesmärgid 2017. aastaks: plaaniliste katkestuste SAIDI 50 minutit, mitteplaaniliste katkestuste SAIDI 150 minutit [38].

3 KORTERMAJADE ELEKTRIVARUSTUS

3.1 Eesti jaotusvõrgu struktuur

Suurtes elektrijaamades toodetud elekter jaotatakse tarbijatele esmalt läbi ülekandevõrgu (nimipingetega 330 kV, 220 kV ja 110 kV) ja seejärel läbi jaotusvõrgu (nimipingetel 35...0,4 kV). Eesti elektrisüsteemi põhimõtteskeem on toodud joonisel (Joonis 3-1) [37]. Joonisel näidatud süsteemi- ja ülekandevõrku nimetatakse tihti ühise nimetusega ülekandevõrk või põhivõrk. Keskpinge- ja madalpingejaotusvõrku nimetatakse ka lihtsalt jaotusvõrguks.



Joonis 3-1. Eesti elektrisüsteemi põhimõtteskeem [37].

Keskpingevõrgu ehitus sõltub nimipingetest. Nimipingetel 6 kV ja 10 kV toimub elektrienergia jaotamine peamiselt linnades, pingetel 15 ja 20 kV peamiselt maal. Pingeastmel 35 kV kantakse energiat üle suurematesse jaotusalajaamadesse, kus edasine jaotamine toimub väiksemal pingeastmel. [37]

Eestis on võetud suund erinevate pingeastmete arvu vähendamisele. Eelistatud pingeastmeks linnades loetakse 10 kV ja hajaasustusega aladel 20 kV. 35 kV võrk viiakse aja jooksul

vastavalt vajadustele üle kas 110 kV või 20 kV pingele. [37] Kui viimane pole otstarbekas, arendatakse erandjuhul ka 35 kV võrku. 6 kV ja 15 kV nimipingetega võrkusid ei arendata ning vajalike uuenduste käigus asendatakse need eelistatud nimipingetega [38].

Olenevalt tarbijate paigutusest ja iseloomust võivad nii elektrivõrgu konfiguratsioon kui seadmete parameetrid oluliselt erineda. Koormustiheduse põhjal võib keskpingevärke jagada linna- ja maavõrkudeks.

Linna- ja maavõrkude omadused on toodud järgmises tabelis (Tabel 3-1). Nagu näha, on erinevused tingitud peamiselt piirkonna tarbijate hulgast ja paigutusest. Linnades on tarbijaid palju ja koormustihedus suur. Maapiirkonnas aga tarbijaid vähe ning nende paiknemine hajus. Viimane muudab võrgu haldamise keerukaks ja kulukaks. 58% Eesti jaotusvõrgust asub hajaasustusega piirkonnas, kuid läbi selle tarbitakse vaid 4% kogu võrku läbivast energiast [39].

Tabel 3-1. Linna- ja maavõrkude peamised omadused [37].

Omadus	Linnavõrk	Maavõrk
Koormustihedus (kW/km ²)	>1000	<100
Tarbijate arv trafo kohta	50...1000	1...10
Madalpingefiidri pikkus (m)	<300	500...1000
Liini tüüp	kaabelliin	õhuliin
Alumiiniumjuhi ristlõige (mm ²)	120...400	16...50
Trafo niminäivvõimsus (kVA)	300...1600	16...50
Võrgu konfiguratsioon	avatud silmusvõrk	radiaalvõrk

3.2 Peakaitse suurus ja üheaegsustegur Elektrilevi OÜ liitumistingimuste järgi

Elektrilevi OÜ liitumistingimustes [40] on toodud tabel, mille järgi leitakse dokumentaalse tõestuse puudumisel elamu liitumispunkti lubatud kaitsme suurus. Eramutel on selleks 1x20 A või 3x16 A. Mitme korteriga elamul määratakse lubatud kolmefaasilise kaitsme suurus järgmise tabeli (Tabel 3-2) järgi. Tabelis eristatakse kortermajasid elektripliitide olemasolu järgi.

Liitumispunkti kaitsmetena kuni 100 A nimivooluni kasutab Elektrilevi OÜ säätetreguleerimiseta B- või C-tunnusjoonega liinikaitse lüliteid. Üle 100 A (kaasa arvatud) nimivooluga peakaitse korral võib kasutada nii kaitselüliteid kui gG-tunnusjoonega

sulavkaitsmeid. Kui liitumispunkti asukoht on dokumentaalselt määramata, siis vastavalt Võrgueeskirjale asub see kortermaja liitumiskilbis peakaitsme elamupoolsetel klemmidel, mis tähendab, et peakaitse ise on jaotusvõrguettevõtja omand. [38]

Tabel 3-2. Kortermaja liitumispunkti lubatud kaitsme suurus Elektrilevi OÜ liitumistingimuste kohaselt [40].

Korterite arv	Elektripliitideta, A	Elektripliitidega, A
4	25	32
6	32	40
8	32	40
12	40	50
14	40	63
18	50	63
20	50	63
24	63	80
30	63	100
40	80	100
60	100	125
100	125	200
200	160	315
300	250	500

Kirjeldatud peakaitsete suuruse tabeli alusel on võimalik leida maksimaalne kasutatav võimsus korteri kohta ja üheaegsustegur peakaitse suhtes nii elektripliitidega kui elektripliitideta majades (Tabel 3-3 ja Tabel 3-4). Arvutustes on eeldatud, et kortermaja peakaitse on kolmefaasiline ning nelja korteriga maja puhul on üheaegsustegur 1,0.

Elektripliitideta kortermaja puhul (Tabel 3-3) kahaneb korteri kohta kasutatav võimsus ja vastavalt sellele ka üheaegsustegur pöördvõrdeliselt korterite arvu kasvuga, olles 200 ja 300 korteriga majades ainult 0,6 kW ja 0,1. Arvestades tänapäevaseid soovitusi üheaegsusteguri määramiseks ja juhistiku projekteerimiseks [34], peaks minimaalne üheaegsustegur olema ükskõik millise tarbijate arvu korral elekterkütteta majades 0,4 ja elekterküttega majades 0,8.

Elektripliitidega kortermaja (

Tabel 3-4) puhul on kasutatav võimsus korteri kohta märksa suurem kui ilma elektripliitideta majades ning samaaegsustegur ületab suure korterite arvu korral kaks korda samaaegsustegurit ilma elektripliitideta maja puhul. Huvitav on märkida, et kõige halvemas olukorras korteri kohta kasutatava võimsuse mõttes on need elektripliitidega majad, kus on u 200 korterit. Sellistes majades on korteri kasutatav võimsus 1,1 kW, samas kui 300 korteriga majas on see korteri kohta suurem – 1,2 kW.

Tabel 3-3. Üheaegsusteguri suurus elektripliitideta kortermaja puhul Elektrilevi OÜ liitumistingimuste järgi.

Korterite arv	Peakaitse elektripliitideta, A	Maja summaarne võimsus, kW	Võimsus korteri kohta, kW	Üheaegsustegur
4	25	17,3	4,3	1,0
6	32	22,1	3,7	0,9
8	32	22,1	2,8	0,6
12	40	27,6	2,3	0,5
14	40	27,6	2,0	0,5
18	50	34,5	1,9	0,4
20	50	34,5	1,7	0,4
24	63	43,5	1,8	0,4
30	63	43,5	1,4	0,3
40	80	55,2	1,4	0,3
60	100	69,0	1,2	0,3
100	125	86,3	0,9	0,2
200	160	110,4	0,6	0,1
300	250	172,5	0,6	0,1

Tabel 3-4. Üheaegsusteguri suurus elektripliitidega kortermaja puhul Elektrilevi OÜ liitumistingimuste järgi.

Korterite arv	Peakaitse elektripliitidega, A	Maja summaarne võimsus, kW	Võimsus korteri kohta, kW	Üheaegsustegur
4	32	22,1	5,5	1,0
6	40	27,6	4,6	0,8
8	40	27,6	3,5	0,6
12	50	34,5	2,9	0,5
14	63	43,5	3,1	0,6
18	63	43,5	2,4	0,4
20	63	43,5	2,2	0,4
24	80	55,2	2,3	0,4
30	100	69,0	2,3	0,4
40	100	69,0	1,7	0,3
60	125	86,3	1,4	0,3
100	200	138,0	1,4	0,3
200	315	217,4	1,1	0,2
300	500	345,0	1,2	0,2

3.3 Korterimajade elektripaigaldiste olukord

Rasmus Elmi on oma magistritöös [42] uurinud Eesti korterimajade elektripaigaldiste renoveerimise võimalusi. Autor toob välja, et paljude ajavahemikus 1930...1990 ehitatud korterelamute elektripaigaldised on halvas või väga halvas seisukorras.

Lisaks sellele, et juhistikud ja jaotuskeskuste seadmed on amortiseerunud ja oma tööea ületanud, ei vasta need dimensioneerituse ja muude omaduste poolest tänapäevastele ja lähituleviku energeetilistele vajadustele. Renoveerimata juhistikuga korterites on elektripliidi toide toodud tavaliselt 4 mm² või 6 mm² ristlõikepindalaga alumiiniumjuhiga, ülejäänud tarbijaid toideti 2,5 mm² pindalaga alumiiniumjuhtidega. Eeskirja [43] järgi on süvispaigalduse korral 2,5 mm² ristlõikepindalaga alumiiniumjuhi maksimaalne lubatav voolutugevus 13,5 A. Kui aga selline juhistik on kaitstud tavapärase 16 A nimivooluga kaitselülitiga, võib tekkida juhtide ülekoormus ja tuleoht.

Olukorra muudab veelgi hullemaks asjaolu, et praktiliselt puudub kontroll elektripaigaldiste seisukorra üle ning tihti esineb korterimajades elanikepoolset omavolilist paigaldise ümberehitamist, mis ei vasta ühelegi standardile ega ohutusnõudele. Seega on korterimajade elektripaigaldiste korrektne uuendamine oluline teema.

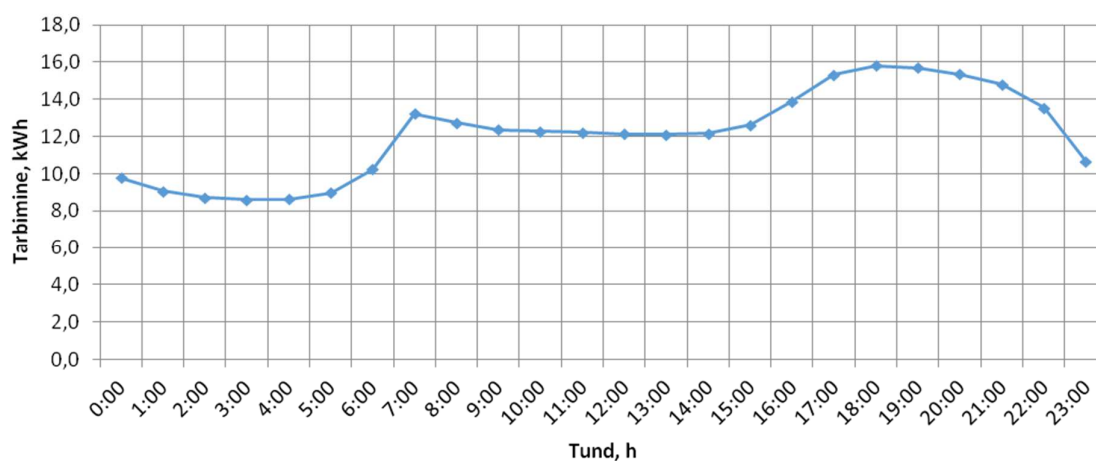
3.4 Viiekorruselise 60 korteriga maja elektritarbimine

Käesoleva magistritöö tulemuste hindamiseks ja võrdlemiseks tegeliku olukorraga küsiti OÜ Elektrilevi mõõteosakonnast viiekorruselise 60 korteriga näidismaja andmed. Kuna Elektriturseaduse § 69 lg 1 [41] järgi ei tohi võrguettevõtja avalikustada konkreetse maja korterite tarbimisandmeid ilma tarbimiskoha omanike loata, väljastati Elektrilevi poolt viie sama tüüpi maja keskmised tarbimisandmed. Andmed väljastati 2014. aasta jaanuari kohta, mis oli viimaste aastate maksimaalse tarbimisega kuu. Kuna antud piirkonna majad polnud 2015. a märtsi seisuga veel üle viidud kauglugemisele, on tunnitarbimised arvatud kuu summaarse tarbimise põhjal Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafiku järgi.

Tüüpkoormusgraafiku näol on tegemist matemaatilise kõveraga, mille järgi jaotatakse arvestite kauglugemise puudumisel kliendi kuu jooksul tarbitud elektrienergia kogus tundide vahel. Elektrilevi kõige levinum tüüpkoormusgraafik kehtib kõikidele kodu- ja väikeäriklientidele ehk neile, kelle tarbimiskoha peakaitse on kuni 63 A. Suurema peakaitsemega majades on (2015. aasta alguse seisuga) enamasti paigaldatud kaugloetavad tunnipõhised arvestid. Elektrilevi tüüpkoormusgraafik on kujundatud kodu- ja

väikeärikliendide varasema keskmise tarbimise põhjal. Arvestades varasemat keskmist kogutarbimist aasta igal tunnil Elektrilevi võrgus, on igale tunnile omistatud kindel tegur, mille järgi konkreetse tunni tarbimine arvestatakse. [53]

2014. aasta jaanuari jooksul tarbiti näidismajas 8709 kWh elektrienergiat. Maksimaalse tarbimisega päev oli 6. jaanuar, kui tarbiti 291 kWh energiat. Suurim tunnitarbimine oli samal päeval ajavahemikus 18:00...19:00, kui tarbiti energiat 15,8 kWh, mis kolmefaasilise 100A peakaitsme korral moodustab 22,9 % kaitsme maksimaalkoormusest. Sama päeva minimaalne tunnitarbimine oli 8,6 kWh (peakaitsme koormatus 12,5 %), mis esines ajavahemikul 03:00...04:00 (Joonis 3-2).



Joonis 3-2. Näidismaja tarbimine tüüpgraafiku kohaselt 6. jaanuaril 2014.

Jooniselt on näha, et tüüpkoormusgraafik on päeva lõikes võrdlemisi ühtlane. Puuduvad suured võimsustipud hommikul ja õhtusel ajal, mis oleksid tüüpilised kodutarbimisele. Põhjus võib siin olla selles, et kasutatud tüüpkoormusgraafik on ühine nii kodu- kui väikeärikliendidele. Äritegevus toimub põhiliselt ajavahemikus 8:00-17:00 ja suurendab tüüpgraafikul kodumajapidamiste kahe tipuaja vahelist tarbimist. Tarbimisandmed tunni kohta ei anna paraku ka informatsiooni, kuidas muutub tarbitav võimsus tunni sees. Selle analüüsimiseks on vaja teha mõõtmised peajaotuskeskuses.

4 KODUMAJAPIDAMISTE ELEKTRITARBIMINE

4.1 Kodumajapidamiste elektritarbimine Eestis

Vastavalt Statistikaameti 2011. aastal läbi viidud leibkondade energiatarbimise uuringule ja artiklile [12], on Eesti kodumajapidamiste osakaal kogu riigi energia lõpptarbimisest üks Euroopa suurimaid, olles 2010. aastal ca 35%. Elektrienergia moodustab kodumajapidamiste energiatarbimisest pea viiendiku ja sellega on Eesti lähedal Euroopa keskmisele näitajale.

72% Eesti eluruumidest asub linnades ja 28% maal (alevikes ja külades). Üle 80% linnaeluruumidest asuvad kortermajades. Maal on kortermajades asuvate eluruumide osakaal 40%. Suurtes, 10 või enama korteriga kortermajades paikneb ligi 65% eluruumidest (üle 366 000 korteri). 75% eluhooneid linnas ja 54% hoonetest maal on ehitatud ajavahemikul 1946...1990. [12]

Keskmiselt tarbiti 2010 aastal Eesti kodumajapidamistes elektrit 3464 kWh. Linnas asuva majapidamise keskmine aastatarbimine oli 3060 kWh ja maamajapidamise aastatarbimine 4553 kWh. 8% eluruumidest köetakse elektriga, kuid statsionaarne elektriküttesüsteem on ainult 4%-l elamutest. Soojuspumpadega oli 2010. aastal varustatud veidi üle 3% eluruumidest. [12]

Kodumajapidamiste elektrienergia tarbimine on aasta-aastalt kasvanud, kodudes olevate elektriseadmete hulk suureneb pidevalt. 99%-l leibkondadest oli külmkapp, 16%-l eraldiseisev sügavkülmik, 89%-l pesumasin, 72%-l elektripliit, 19%-l elektriahi, 93%-l tolmuimeja, 61%-l mikrolaineahi, 37%-l veeboiler. [12]

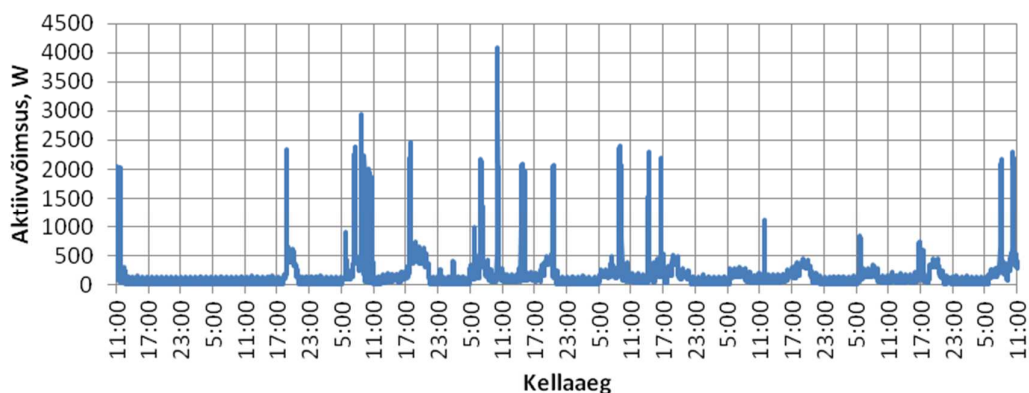
4.2 Kodumajapidamiste elektritarbimise modelleerimine

Seoses tarkvõrkude arendamise, tarbimise juhtimise rakendamise ja elektrienergia hajatootmise levikuga on päevakorda kerkinud kodumajapidamiste elektritarbimise võimalikult täpne (kuni 1 minutilise täpsusega) modelleerimine. Uute tehnoloogiate rakendamisel ei piisa enam tavapäraest siiani kasutatud meetoditest ja mudelitest jaotusvõrkude arendamisel ja planeerimisel. Tavalised kodumajapidamised võivad nüüd olla nii tarbija kui tootja rollis ning oma käitumisega mõjutada jaotusvõrgu toimimist. See aga, koos koduste elektriseadmete muutuva iseloomuga, muudab oluliselt majapidamiste elektritarbimise mustreid.

Kodumajapidamiste elektritarbimist iseloomustavad omadused:

- iga majapidamise tarbimismuster on erinev;
- tarbimine on erinev sõltuvalt aastaajast, kuupäevast ja kellaajast;
- nõudlus võib olla mõnel ajahetkel väga suur;
- nõudlus muutub kiiresti (minutitega) ja suurtes piirides;
- nõudlustipud on päeva lõikes juhuslikes kohtades.

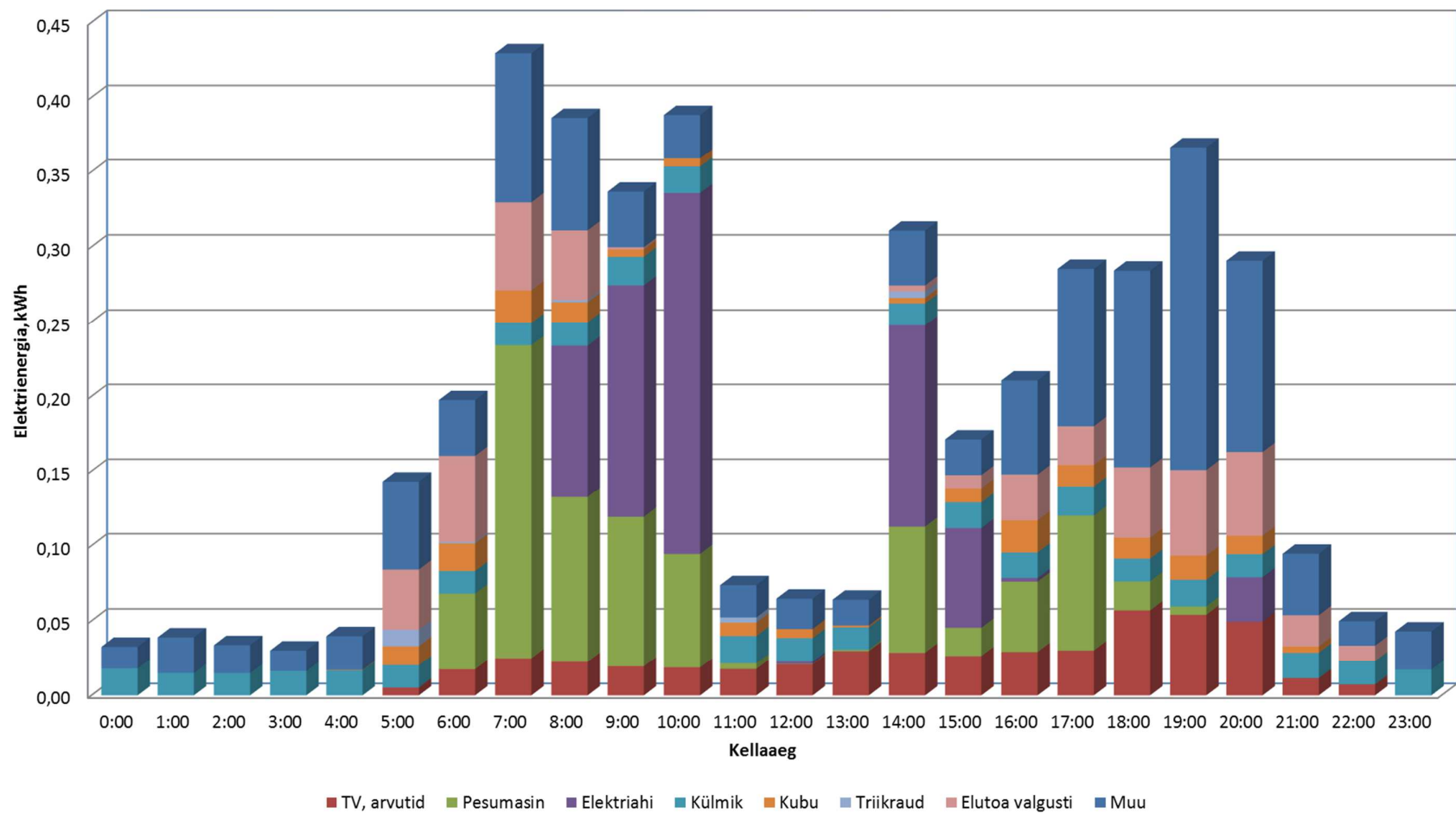
Kodumajapidamiste tarbimist iseloomustavad eelkõige ajas juhuslikud ja suured, lühikest aega kestvad nn võimsustipud. Käesoleva töö autor tegi 2014. aasta sügisel õppeaine „AAV0170 Energiatarbimise juhtimine“ raames oma koduses elektripaigaldises elektritarbimise mõõtmisi. Alljärgneval joonisel (Joonis 4-1) on kujutatud aktiivvõimsuse tarbimine nädala jooksul.



Joonis 4-1. Kodumajapidamise aktiivvõimsustarve nädala vältel.

Jooniselt on näha, et korrapära tarbimises puudub. Juhuslikel aegadel päeva jooksul esinevad väga suured võimsustipud, mis kestavad küll lühikest aega, kuid võivad sellest hoolimata põhjustada kaitsmete rakendumise. Samas on võimsustippude välisel ajal tarbimine madal, arvestades kaitsmete ja juhistiku dimensioneeritust. Baastarbimine jääb 0,3 kW piiresse, maksimaalne koomustipp ulatub aga üle 4 kW.

Joonis 4-2 kujutab ühe kodumajapidamise elektritarbimise muutumist ööpäeva vältel. Näha on kaks selgesti eristuvat tipuaega hommikul ja õhtul. Seejuures õhtune tiputarbimise aeg kestab hommikusest tipust kauem. Öösel on tarbimine minimaalne (tunni keskmine võimsus ca 30 W). Päeval ulatub tunni keskmine võimsus üle 400 W. Võrreldes seda joonist eelmisega, võib väita, et ehkki tunni keskmistena leitud väärtused on väikesed (näiteks öine keskmine tunnivõimsus 30 W), võib teatud ajahetkedel tarbitav võimsus ületada ka kaitsme nimiväärtuse.



Joonis 4-2. Koduse elektritarbimise keskmine graafik ööpäeva ja tarvitite lõikes (ainetööst „Energiatarbimise juhtimine“).

Kuna sellised võimsustipud on enamasti lühiajalised, ei pruugi kaitse rakendada, kuid lähtuvalt inimeste tarbimiskäitumisest on madalamatel võrgutasanditel vajalik suur võimsusvaru ja arvestada tuleks tarbimisvõimsuste reaalse hetkemaksimumidega.

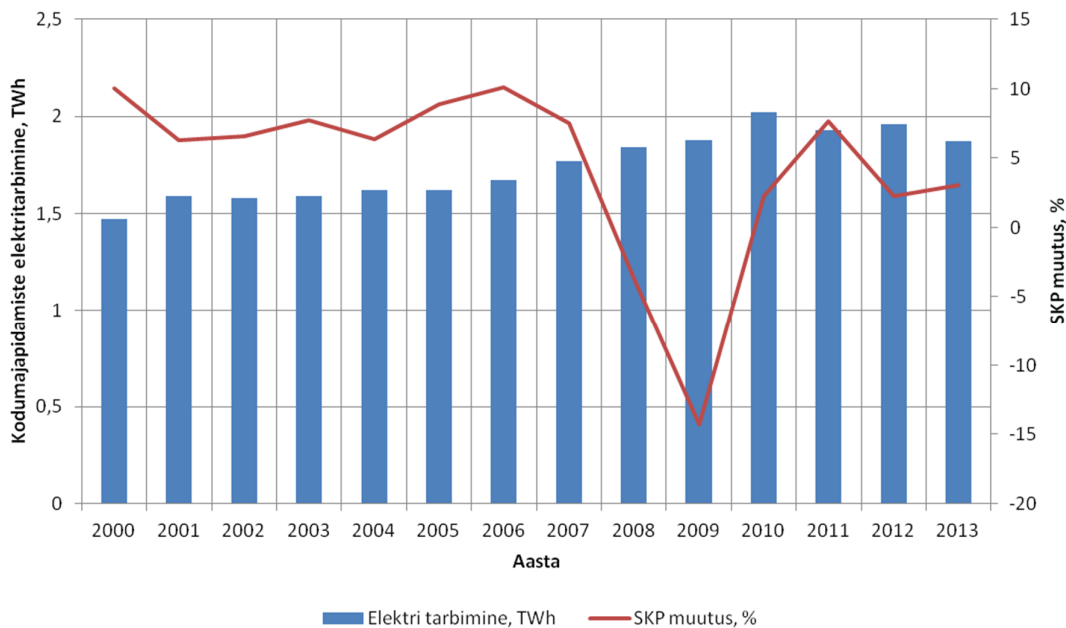
Kodumajapidamiste tarbimise efektiivseks modelleerimiseks peab mudel piisava täpsusega arvestama eeltoodud reaalse tarbimiskõverate eriomadusi. Jaotusvõrgu seisukohalt on oluline korrigeerida paljude erinevate majapidamiste tarbimist ning mudel peab arvestama eri majapidamistes esinevate võimsustippude juhuslikku samaaegsust. Lisaks on oluline tarbimise modelleerimine võimalikult väikese ajasammuga (nt 1 minut) ja mudeli paindlikkus tulevikus muutuvate tarbimismustrite lisamiseks. [15]

4.3 Kodumajapidamiste tarbimise juhtimisest Eestis

Kodumajapidamiste puhul on võimalik rääkida nihutatavate koormuste tarbimise juhtimisest. Käesolevas töös on nihutatavate koormustena vaadeldud esmajoones elektrilisi veeboilereid (edaspidi tekstis „koormus“). Lisaks veeboileritele saab kasutajate igapäevaelu oluliselt häirimata juhtida ka elektrilisi kütteseadmeid, näiteks elektriradiaatoreid, pesumasinaid, nõudepesumasinaid, sügavkülmikuid. Argo Rosin on oma uurimustöös [3] välja selgitanud, et hinnanguliselt on Eesti kodumajapidamiste tarbimise juhtimise potentsiaal kokku 55 ... 230 MW.

4.4 Muutused Eesti rahvastikus ja nende mõju elektri tarbimisele

Kodumajapidamiste elektritarbimist mõjutavad mitmed tegurid. Üheks nendest on riigi elanike arv. Aruande [47] kohaselt väheneb 2020. aastaks Eesti rahvastik võrreldes 2012. aastaga 16 000...18 000 elaniku võrra. Kuni 2020. aastani prognoositakse rahvastiku vähenemise kiiruseks keskmiselt 0,2 % aastas. Alates 2020. aastast rahvastiku vähenemine kiireneb, olles ligikaudu 0,3...0,4 % aastas. Aastal 2030 on Eesti rahvaarv Eurostati prognoosi järgi 1 280 000, firma Geomedia prognoosi kohaselt 1 290 000. Kodumajapidamiste elektritarbimine alates aastast 2000 on toodud järgmisel joonisel (Joonis 4-3) [48].



Joonis 4-3. Kodumajapidamiste elektritarbimine ja SKP muutus aastatel 2000...2013 [48].

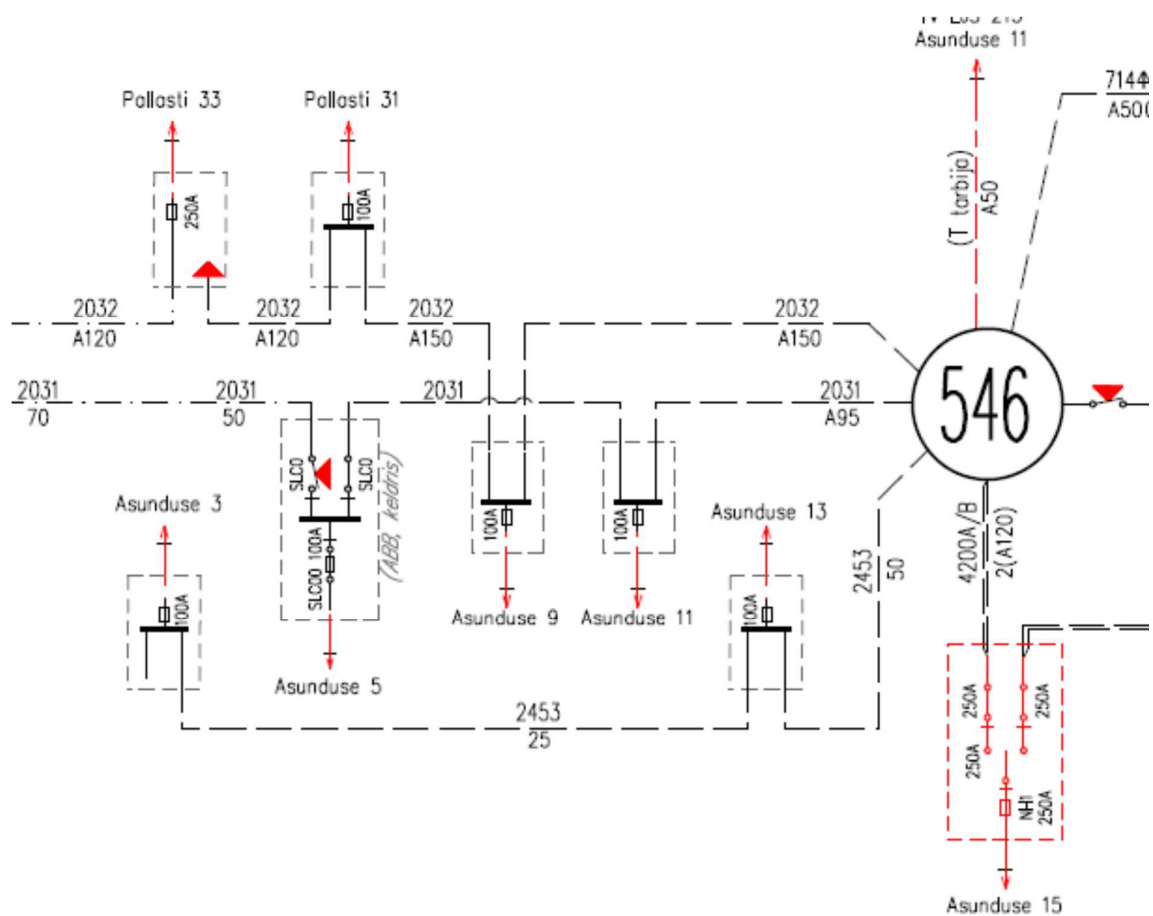
Konsultatsioonikeskuse Geomedia poolt koostatud prognoosi [47] kohaselt jätkub 2030. aastani elanikkonna koondumine Harju- ja Tartumaale. Kõigis teistes Eesti maakondades rahvastiku arv väheneb. 2030. aastal elab baasstsenaariumi järgi 43,8 % Eesti inimestest Harjumaal, 11,5 % Tartumaal ja 10,5 % Ida-Virumaal.

Eakate arv on 2030. aastaks kasvanud 270 000-ni, ehk võrreldes 2012. aastaga kasvanud 14%. Kuna samaaegselt rahvastiku üldarv väheneb, siis eakate osakaal rahvastikus on tõusuteel. Prognooside järgi moodustavad 2020. aastal eakad rahvastikust 20 % ning 2030. aastal 23 %. Kõige kiiremini suureneb eakate osakaal Hiiu- ja Harjumaal. [47]

5 UURITAVATE JA SEOTUD OBJEKTIDE ANALÜÜS

5.1 Jaotusalajaama nr 546 kirjeldus

Mudeli aluseks olevat maja toitev jaotusalajaam nr 546 asub Lasnamäel Asunduse tänaval viiekordsete kortermajade rajoonis. Alajaamas on kaks 320 kVA võimsusega 6/0,4 kV trafot, mis toidavad kahte madalpinge sektsiooni. Sektsioonide vahel on 1000 A nimivooluga koormuslahklüliti, et ühe trafo rikke korral oleks kõigile tarbijatele toide tagatud. I sektsioonist väljub 8 fiidrit, II sektsioonist 7 fiidrit. Alajaamast saavad toite üheksa kortermaja ja mitmed tehnorajatised. Kolme kortermaja on võimalik toita ka naaberalajaamast nr 469 (vt Joonis 5-1) [80][50].

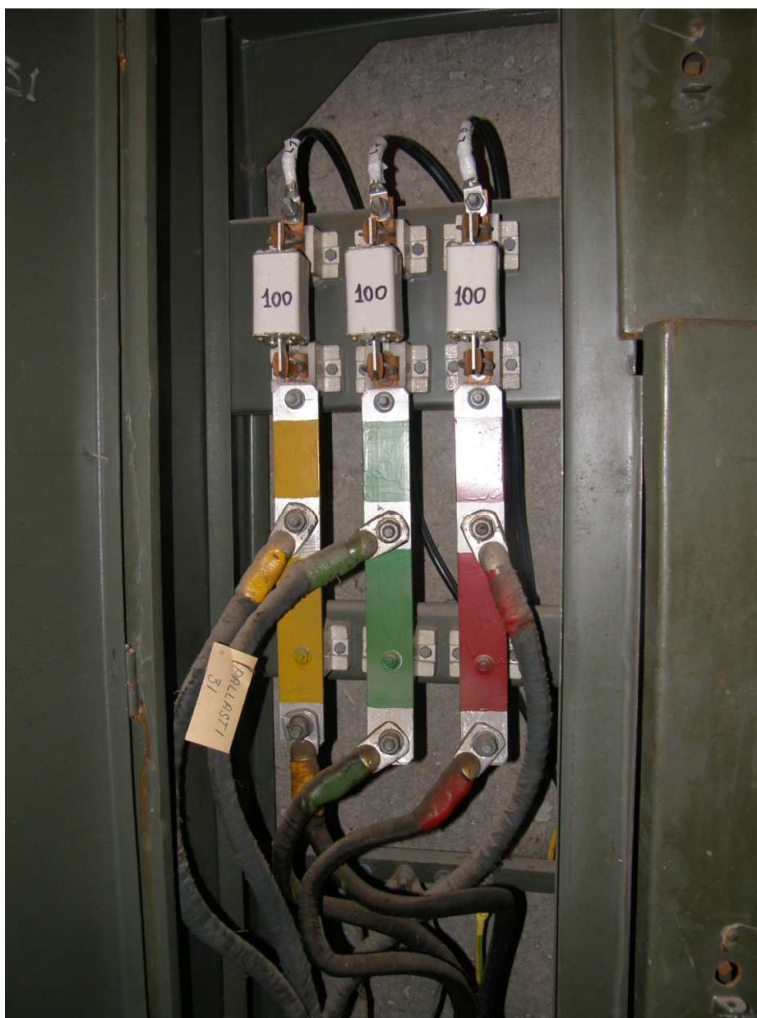


Joonis 5-1. Fragment alajaama nr 546 teeninduspiirkonna skeemist [80].

Vaatluse all olev fiider nr 2032 saab toite I sektsioonist, mida varustab 320 kVA-ne trafo I. Trafo I madalpingepoolele on enne sektsiooni ühendatud 600 A koormuslahklüliti AV-10S, ping- ja voolutrafod ning 1000 A koormuslahklüliti. Väljuvad fiidrid on kaitstud sulavkaitsme ja lahkkaitse kombinatsiooniga. Vaadeldavat fiidrit nr 2032 kaitsevad

sulavkaitse PN-2 400/250A (nimivool 250 A, maksimaalne lahutatav lühisvool 400 kA) ja 400 A lahkkaitselüliti [80][50].

Uuritav hoone aadressiga Asunduse 9 (peakaitsmega 3x100 A, gG-tüüpi sularid) saab toite otse alajaamast (vt Joonis 5-1) ehitusaegse kaabliga SB-1 3x95+35. Lisaks saab sama kaabli kaudu toite ka naabermaja Pallasti 31 (peakaitse samuti 3x100 A, gG-tüüpi sularid), kusjuures Pallasti 31 maja kaabel on ühendatud vahetult Asunduse 9 maja peakilbis siseneva toitekaabli külge (vt Joonis 5-2). Kahe maja vahelise kaabli pikkus on ca 65 m. Naaberalajaama ja 546. alajaama toitepiirkondade normaallahutuskoht asub Pallasti 33 maja peajaotuskeskuses. Avariiolukorras on fiider 2032:546 võimalik üle viia naaberalajaama toitele. Kaabli SB-1 3x95+35 maksimaalne lubatud koormusvool maasse paigaldatuna on 208 A [34].



Joonis 5-2. Alajaamast sisenev toitekaabel ja naabermajja (Pallasti 31) suunduv kaabel Asunduse 9 peajaotuskeskuses.

5.2 Uuritava hoone kirjeldus

5.2.1 Lühiülevaade suurpaneel lamute ehitamisest Eestis

Eestis algas ulatuslik suurpaneel lamute tootmine möödunud sajandi kuuekümnendal aastal. Tollane Nõukogude Liit ostis vastava tehnoloogia Prantsusmaalt, firmalt Camus [8]. See tehnoloogia oli oma mehhaniseerituse ja automatiseerituse poolest võrreldav tänapäevaste tehnoloogiatega, kuid probleeme esines betooni kivistumise, sarrusvarraste ja paneeli plaatide nõutava paksuse saavutamise [8].

Esimese tehase, milleks oli Raudbetootoodete tehas Lasnamäel, võimsus oli 25 000 m² elamispinda aastas. Esimese suurpaneel lamute ehitus algas 1961. aastal. 1965. a avati Männikul teine sarnane kolm korda võimsam tehas, mis moodustas koos Lasnamäel asuva tsehhiga Tallinna Majaehituskombinaadi [8]. Lisaks Tallinna kombinaadile oli sarnane kombinaat ka Tartus, osa paneel lamute ehitati väljaspool Eestit valmistatud paneelidest.

Ajavahemikul 1960...1992 ehitati Eestis ca 2 000 000 m² elamispinda, mis arvestatuna viiekorruselise nelja sektsiooniga (ehk 60 korteriga) maja peale teeb ca 1000 elamut [8]. Suurim osa Eesti eluasemefondist ongi ehitatud eelpool nimetatud perioodil – 79% kogu olemasolevast elamupinnast [8].

5.2.2 Hoone üldised andmed

Uuritav hoone asub Tallinnas Lasnamäel, Asunduse tänaval. Tegemist on 1964. aastal ehitatud viiekorruselise kolme sektsiooniga seeria I-464KЭ suurpaneel lamute, milles on 60 korterit, maja suletud netopind on 3298 m² [9]. Trepikojas on ühel korrusel neli korterit. Korterid jagunevad tubade arvu järgi järgmiselt: ühetoalisi kortereid on 10, kahetoalisi 45 ja kolmetoalisi 5 tükki. Kortertest 40% on 2015. aasta alguse seisuga hõivatud pensionäride poolt, 30% kortereist elavad üksikud nooremad inimesed (siia alla kuuluvad ka tühjad korterid) ja 30% väikeste või suurte lastega pered. Hoonet iseloomustab ehitusaegne madal elektrifitseerituse tase: majas on keskküte, tsentraalne soojaveevarustus ja gaaspliidid, lift puudub. Maja üldkasutatav elektripaigaldis rekonstrueeriti aastal 2011, 2014. aastal renoveeriti fassaad, katus ja trepikojad.

5.2.3 Elektrivarustus tüüpprojekti kohaselt

Tüüpprojekti kohaselt on tegemist vähese elektritarbimisega majaga. Originaalprojekti kohane arvutuslik võimsus korteri kohta on 0,7 kW ja maja arvutuslik võimsus sisendis 42 kW,

tüüpprojekti järgne maja keskmine tarbitav võimsus 27,2 kW, korterite ja üldtarbijate arvestuslike võimsuste summa 77,5 kW [10]. Ehitusaegsete normide kohaselt oli majas TN-C juhistikusüsteem, toitepinge 3x380/220 V. Ühetoalisse korterisse oli tüüpprojektiga ette nähtud 3 pistikupesa ja 3 valgustit (arvestuslik ehk installeeritud võimsus 1,1 kW), kahetoalisse 6 pistikupesa ja 4 valgustit (installeeritud võimsus 1,25 kW), kolmetoalisse 8 pistikupesa ja 5 valgustit (installeeritud võimsus 1,44 kW).

5.2.4 Elektripaigaldise hetkeseis

2011. aastal viidi hoones läbi peajaotuskeskuse ja magistraalliinide rekonstrueerimine. Peajaotuskeskuse olemasolev elektriskeem on toodud käesoleva töö lisas nr 1. Elamu peakaitsme moodustavad kolm 100 A nimivooluga gG-tunnusjoonega sulavkaitset, millele vastab maksimaalne summaarne tarbitav võimsus 69 kW. Pärast peakaitset on paigaldatud C-tunnusjoonega 63 A kaitselülitiid kolme trepikoja tarbijate (korterite) jaoks ja üks kolmefaasiline C40 kaitselüliti ning arvesti maja kommunaaltarvitite (trepikodade valgustid, soojussõlm jm) jaoks. Iga trepikoja jaoks on ette nähtud 3-faasiline toide, igal faasil on eraldi ühefaasiline C63 kaitselüliti, mis ühe faasi ülekoormuse korral jätab teised faasid tööle. Maksimaalne tarvitatav võimsus trepikoja kohta on 43,5 kW, ehk faasi kohta 14,5 kW.

Trepikodade keskustes jagatakse toide korterite jaoks igal korrusel läbi nelja ühefaasilise 32 A C-tunnusjoonega kaitselüliti. Pärast C32 lüliti on korteri elektriarvesti ja seejärel sõltuvalt korterist üks kuni kolm C16 kaitselüliti. See teeb maksimaalseks tarbitavaks võimsuseks korteri kohta 3,68...7,36 kW. Kuna trepikojas on 20 korterit, ei ole võimalik jagada igale faasile võrdne arv tarbijaid. Korrusekilbi uurimisest selgus, et korrusel võetakse kolmefaasilisest magistraalliinist kaks faasi, mis jagatakse nelja korteri vahel, nii et kaks korterit on ühel faasil ja kaks teisel.

Vaadates maja korrusekilpe, on näha, et esineb kortereid, millele ei piisa 16 A kaitselülitiist. Üks korteriomanik oli ühe oma C16 kaitselüliti ülekoormuskaitse rakendumise vältimiseks kleeplindiga fikseerinud. Kuigi selline teguviis pole lubatud ja kujutab ohtu antud korteri elektripaigaldisele, näitab see, et grupi vajatav võimsus ületab 3,7 kW.

Vaadates peajaotuskeskuse skeemi, on tuvastatavad mitmed puudused, mis viitavad sellele, et olenemata elektripaigaldise nõuetekohasuse tunnistuse olemasolule, võib maja elektrisüsteem olla tegelikult kõigile nõuetele mittevastav. Skeemi (vt Lisa 1) puudused on järgmised:

- korterelamu aadressiks on Asunduse 9 asemel märgitud Astangu 9;
- peakaitsme tunnusjoone tüüp on märkimata;

- kõigi kaablite tüübid ja ristlõiked on märkimata;
- kaitseaparaatide karakteristikud on märkimata;
- rikkevoolukaitse aparaatide parameetrid on märkimata.

5.3 Sulavkaitsmete karakteristikud

Uuritava elamu peakaitsme moodustavad kolm 100 A nimivooluga gG-tunnusjoonega sulavkaitset. Käesoleva uurimistöö tulemuste korrektseks tõlgendamiseks on oluline tunda gG-tüüpi sularite karakteristikuid.

Madalpinge korkkaitsmed ja nugakontaktidega sulavkaitsmete liigitamisel kasutatakse kahe tähe kombinatsiooni vastavalt standardile EVS-HD 60269. Esimene täht tähistab funktsiooniklassi ja teine kaitstavaid objekte või kaitsme kasutusvaldkonda.

Kaitsmete funktsiooniklassid on järgmised:

1. Funktsiooniklass g. Tuleneb saksakeelsest sõnast „*Ganzbereichsicherung*“, mis viitab kogupiirkonnakaitsesele. Funktsiooniklassiga g sulavkaitse lahutab kõik voolud alates madalatest sulamisvooludest kuni nimilahutusvõimsuseni. Toimib nii liigvoolu kui lühise korral.
2. Funktsiooniklass a. Tuleneb ingliskeelsest väljendist „*accompanied fuses*“, mis tähendab täiendavaid kaitsmeid. Selle funktsiooniklassiga kaitsmed lahutavad kõik voolud alates 6,3 kordsest kaitsme nimivoolust kuni nimilahutusvõimsuseni. Seda tüüpi sulareid kasutatakse tavaliselt lühisekaitseks lisaks termoreleele, mis kaitseb seadmeid liigvoolu eest.

Kaitsmete kasutusvaldkonnad jagunevad järgmiselt:

1. Tähis L: sular on mõeldud liinikaitsesks.
2. Tähis M: sular on mõeldud mootorite kaitseks.
3. Tähis B: sulareid võib kasutada kaevandustes (sks k *Bergbauanlageschutz*)
4. Tähis G: üldotstarbelised sulavkaitsmed (ingl k *general purpose*).

OÜ Elektrilevi praktikas on kõige enamkasutatavamad kaitsmetüübid gL ja gG. Neil on nn aeglase kaitsmete karakteristikud. [11]

Erinevat tüüpi sulavkaitsmete rakendumise tingimused on defineeritud vastavates standardites. gG ja gM tüüpi sularite rakendumiskarakteristikud on määratud standardiga „EVS-HD 60269-2:2007 Madalpingelised sulavkaitsmed“.

5.3.1 Liigvoolukaitse

Standardi järgi defineeritakse igale sulavkaitsmele sõltuvalt tema nimivoolust I_n mitterakendumisvool I_{nf} (ingl k *non-fusing current*) ja rakendumisvool I_f (ingl k *fusing current*).

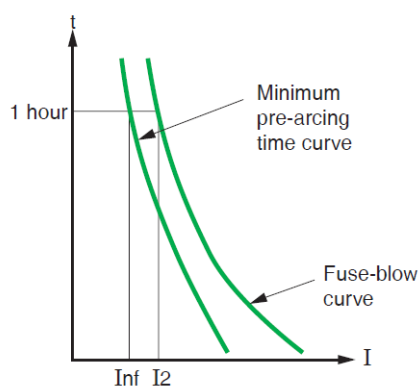
Sulavkaitsme mitterakendumisvool I_{nf} näitab, millist maksimaalset voolu suudab sular etteantud aja jooksul taluda ilma läbi põlemata. Sulavkaitsme rakendumisvool I_f tähistab sellist voolutugevuse väärtust, mille juures peab sular etteantud aja jooksul kindlasti läbi põlema. gG-tüüpi sulavkaitsmete mitterakendumis- ja rakendumisvoolud on toodud järgmises tabelis (Tabel 5-1).

Tabel 5-1. gG-tüüpi madalpingekaitsmete rakendumisvoolud vastavalt standardile EVS-HD 60269.

Nimivool I_n (A)	Mitterakendumisvool I_{nf}	Rakendumisvool I_f	Etteantud aeg, h
$I_n \leq 4$ A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n \leq 16$ A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4

Eelpool toodud tabelist nähtub, et 100 A nimivooluga sulavkaitse ei tohi voolutugevuse 125 A korral läbi põleda 2 tunni jooksul. Samas 160 A voolu korral peab kaitse rakenduma maksimaalselt 2 tunni jooksul.

Standardis EVS-HD 60269 toodud tüüptestid nõuavad, et iga üksiku konkreetse sulari karakteristik peab paiknema kahe piirkõvera vahel, mis määravad igale nimivoolule I_{nf} ja I_f (Joonis 5-3).



Joonis 5-3. gG-tüüpi sulavkaitsme rakendumiskarakteristikud I_t -tasandil [34].

See aga tähendab, et kaks sularit, mis mõlemad standardi nõuetele vastavad, võivad omada väikese ülekoormuse korral märkimisväärselt erinevaid karakteristikuid ja rakendumisaegu.

Lähtuvalt eeltoodust soovitatakse Schneider Electricu juhendis [34] installeerida paigaldisse sularite kasutamisel kaablid, mille lubatav koormusvool on kaitsmete nimivoolust suurem, et võimaliku pikaajalise ülekoormuse korral ei esineks ebasoovitavaid tagajärgi. Halvimal juhul peavad kaablid olema võimelised mitme tunni jooksul taluma kuni 60% ülekoormust. See tähendab, et 100 A peakaitsmega kortermaja peakaitsetelt tulevad toitekaablid peavad olema dimensioneeritud 160 A voolule. Paigaldusviisi E – õhkasetus – korral talub 160 A voolu vaskjuht ristlõikega vähemalt 50 mm² ja alumiiniumjuht ristlõikega vähemalt 70 mm².

Vaatluste põhjal maja peajaotuskeskuses tehti kindlaks, et kolme peakaitsemelt tuleva eeldatavalt vasest faasijuhi ristlõige on igäühel 25 mm². Magistraalliinide jaotuskeskusest väljuvate faasijuhtide ristlõige on 16 mm². 25 mm² ristlõikega vaskjuht talub paigaldusviisi E (õhkasetus) korral koormusvoolu kuni 107 A, alumiiniumist juhi puhul on maksimaalne koormusvool sama paigaldusviisi korral 82 A. 16 mm² ristlõikega juhtidele on maksimaalsed koormusvoolud vastavalt 84 ja 64 A. Eelnevast järeldub, et gG-tüüpi sulavkaitse ei kaitse maja juhistikku piisavalt ja nõrgimaks kohaks osutuvad peakaitse ja magistraalliinide jaotuskeskuse vahel olevad 25 mm² ristlõikega vaskkaablid. Magistraalliinide jaotuskeskusest väljuvad kaablid on kaitstud C63 automaatkaitselülititega.

5.3.2 Lühisekaitse

Standard „EVS-HD 60269-2:2007 Madalpingelised sulavkaitsmed“ defineerib gG ja gM tüüpi sulavkaitsmete lühisvoolu vähimad väärtused ja maksimaalsed etteantud ajad, mille jooksul peab sular kindlasti läbi põlema. Valik neist karakteristikutest on toodud järgmises tabelis (Tabel 5-2).

Nagu tabelist näha, rakendub 100 A nimivooluga gG-tüüpi sulavkaitse 5 sekundi jooksul, kui lühisvool on vähemalt 580 A. Lühisvoolu 1200 A korral peab sular läbi põlema maksimaalselt 0,2 sekundi jooksul.

Tabel 5-2. Lühisvoolu vähimad väärtused standardi EVS-HD 60269 järgi.

Sulari nimivool, A	gG-tüüpi sularit läbiv vool (A) vastavalt rakendumisaajale		
	0,2 s	0,4 s	5 s
16	130	110	65
20	170	145	85
25	215	180	110
32	310	270	150
40	380	320	190
50	540	470	260
63	650	550	320
80	950	840	425
100	1200	1000	580
125	1700	1450	715
160	2100	1700	950
200	3000	2500	1300
250	3600	2950	1650

6 MAJA ELEKTRITARBIMISE MÕÕTMISED

Mudeli kontrollimiseks ja kortermaja elektritarbimisest realistliku pildi saamiseks viidi maja peajaotuskeskuses septembris 2015 läbi energiatarbimise mõõtmised. Mõõteseadmena kasutati võrguanalüsaatorit Fluke 1735. Mõõtmised toimusid ajavahemikul laupäev 5. september 2015 kell 11:00 kuni teisipäev 8. september 2015 kell 10:20. Mõõtmised tehti võimsuste mõõtmise režiimis.

Võrguanalüsaatori Fluke 1735 tehnilised andmed ja mõõtemääramused võimsuste mõõtmisel:

- mälumaht mõõtetulemuste salvestamiseks: 3,5 MB;
- sãmplimissagedus 10,24 kHz;
- temperatuurivahemik töötamisel: 0...+40 °C;
- referentstemperatuur 21...25 °C;
- temperatuurikoefitsient: +/- 0,1% mõõtetulemusest 1 °C kohta, mis erineb ref. temperatuurist;
- pingeline mõõtevahemik tähtsõhõnduses 57...480 V AC;
- sisemine määramatus +/- (0,7% tulemusest + 15 väikseimat numbrikohta);
- operatiivne määramatus +/- (1,5% tulemusest + 20 väikseimat numbrikohta);
- resolutsioon 1...10W;
- määramatus võimsusteguri mõõtmisel +/- 1% maksimaalsest väärtusest.

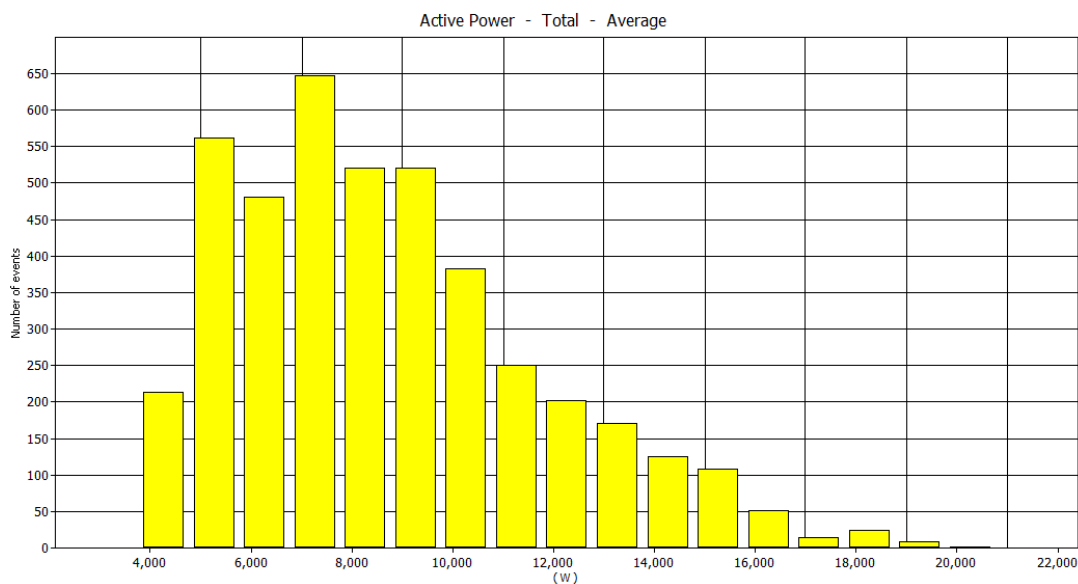
Mõõteseadme salvestas iga minuti kohta keskmise, minimaalse ja maksimaalse voolu, pinget, võimsust, võimsusteguri jm parameetrite väärtused. Kokku salvestati 4282 minuti lugemid, mis valitud mõõtmiste resolutsiooni korral oli lähedane maksimumväärtusele. Mõõteandmete analüüsimiseks kasutati tarkvara Fluke Power Log 4.3.1, täiendav analüüs tehti programliga MS Excel.

6.1 Maja tarbitav aktiivvõimsus

Kuna maja tarbimise simulatsioonil keskenduti peamiselt aktiivenergia tarbimisele, analüüsitakse käesolevas peatükis eelkõige aktiivvõimsuse tarbimist.

Mõõteperioodi jooksul registreeritud aktiivvõimsuse väärtused erinesid suurtes piirides. Maksimaalne ühe minuti keskmine aktiivvõimsustarve esines esmaspäeva, 7. septembri õhtul kell 19:42, kui maja tarbimine oli 19,282 kW. Minimaalne ühe minuti aktiivvõimsustarve oli sama päeva, 7. septembri hommikul kell 4:49, kui maja tarbimine oli 3,259 kW.

Joonis 6-1 kujutab kogu ajavahemiku kolme faasi summaarse aktiivvõimsuse minutikeskmiste väärtuste jagunemise histogrammi. Tulemustest on näha, et antud mõõteperioodi kõige sagedamini esinev võimsus oli 7,4 kW. Üle 12 kW-st tarbimist esines märksa harvem kui vahemikku 4...12 kW jäävaid minuti keskmisi võimsusi.



Joonis 6-1. Ühe minuti keskmiste summaarsete aktiivvõimsuste histogramm.

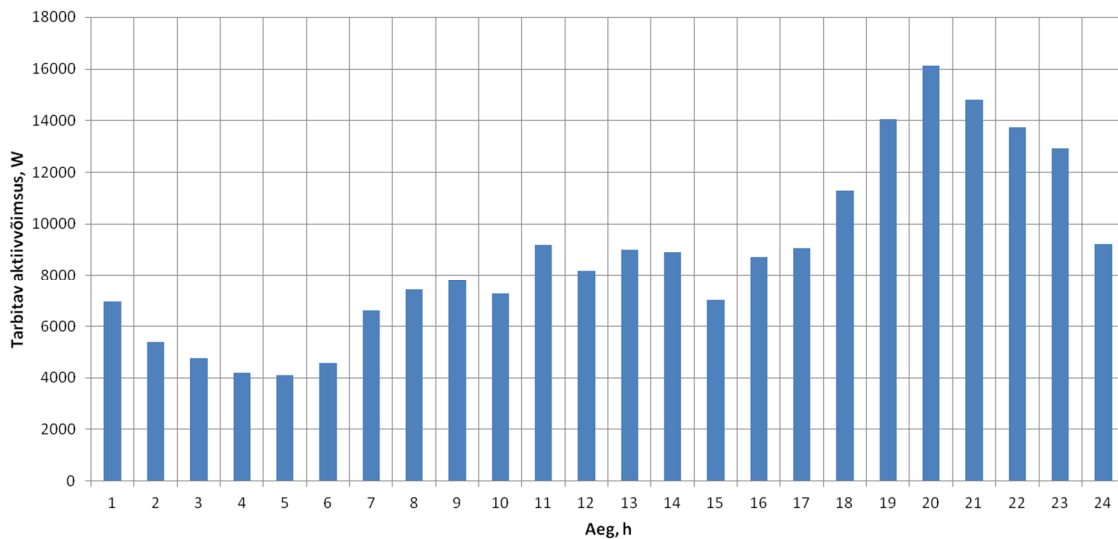
Joonis 6-2 kujutab tundide keskmist summaarset tarbitavat aktiivvõimsust esmaspäeva, 7. septembri jooksul. Nagu jooniselt näha, esineb suurim tarbimine kella 19:00 ja 20:00 vahel, kui keskmine tunni võimsus oli 16,141 kW. Minimaalse tarbimisega tund oli 04:00-05:00, kui maja summaarne keskmine koormus ulatus kõigest 4,11 kW-ni.

Päeva jooksul on täheldatavad kaks tipuaega, millest esimene – lõunane tiptund kell 10:00...11:00 – pole eriti selgelt väljendunud. Õhtune tippaeg aga eristub selgesti päeva ülejäänud tarbimisest. Tarbimise märgatav suurenemine algab kella 17-st ja kestab kella 23:00ni.

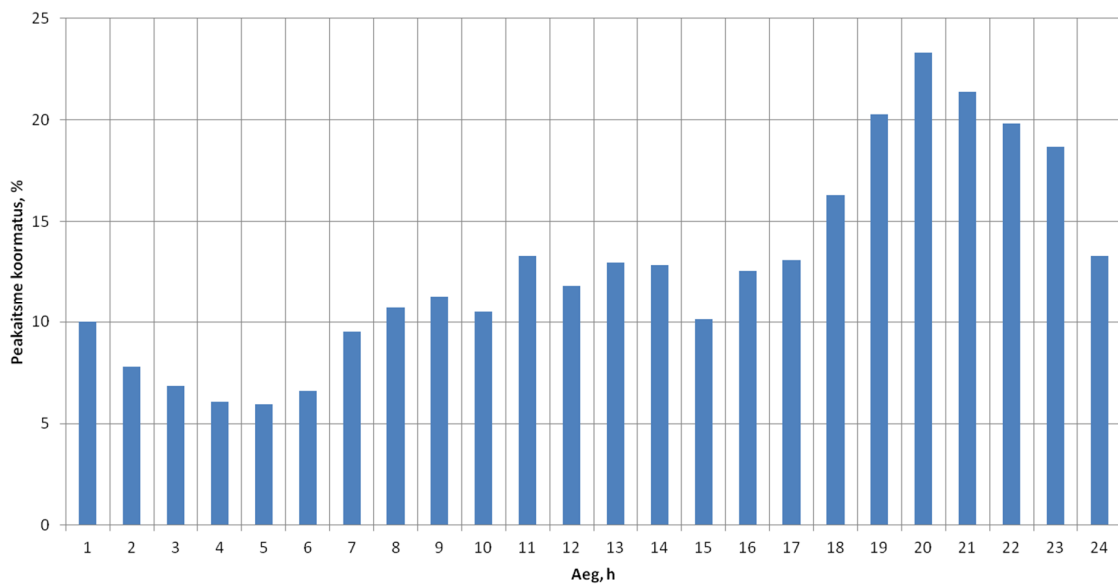
Peakaitse keskmine koormatus samal päeval on toodud järgmisel joonisel (Joonis 6-3). Hommikuse miinimumi ajal on peakaitse keskmine summaarne koormatus kõigest 6% (ajavahemikul 03:00...05:00). Samas õhtuse tiptarbitamise ajal ulatus koormatus 23%-ni.

Vaadeldes tarbitavat aktiivvõimsust faaside lõikes (Joonis 6-4), võib näha, et faaside koormused pole jagatud ühtlaselt. Suurimad erinevused esinesid õhtuse tiptunni ajal, kui faasi 1 koormus oli peaaegu 2 korda suurem kui kahel ülejäänud faasil. Kella 18:00 ja 19:00 vahel oli faasi 1 keskmine koormus 6,73 kW, samas kui faasis 2 oli see 3,65 kW ja faasis 3

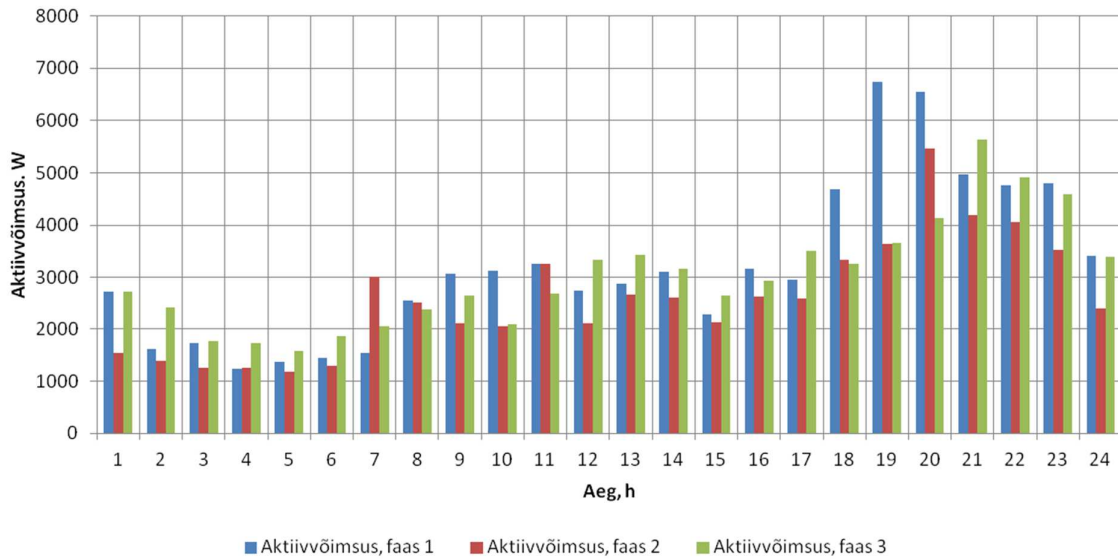
3,66 kW. Võrreldes faasiga 2 oli faasi 1 koormus sellest 84% ja faasi 3 koormus 0,3% suurem.



Joonis 6-2. Maja summaarne tarbitav aktiivvõimsus 7. septembril 2015.

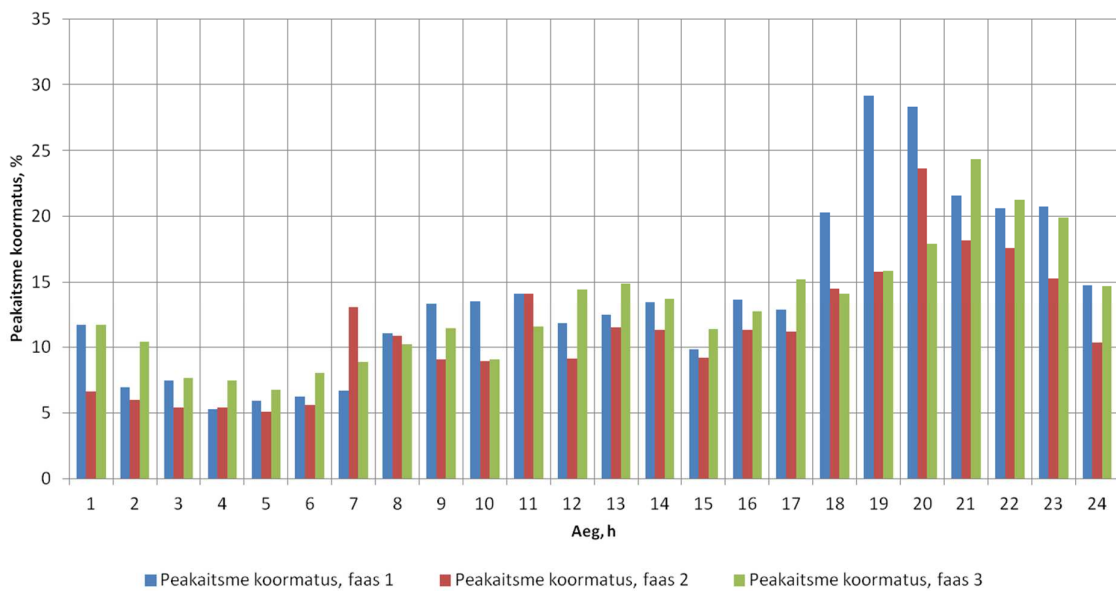


Joonis 6-3. Peakitsme keskmine koormatus 7. septembril 2015



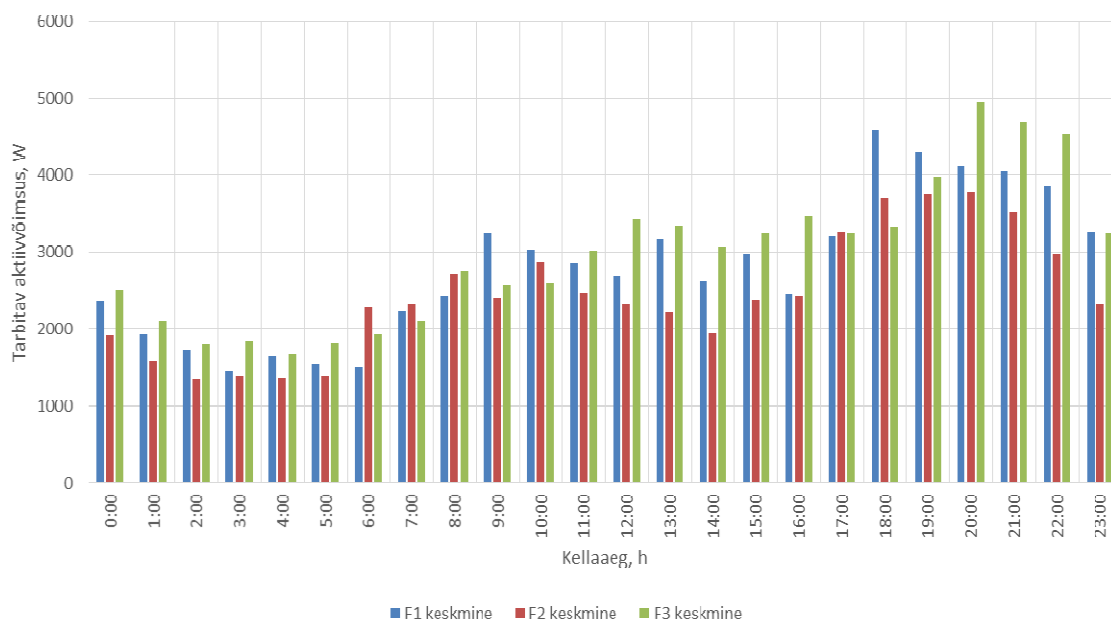
Joonis 6-4. Faaside keskmised aktiivvõimsused mõõteperioodi maksimaalse tarbimisega päeval 7. septembril 2015.

Arvutades absoluutsed tarbimised ümber peakaitsme suhteliseks koormatuseks, saab analüüsida iga sulari keskmist koormatust eraldi (Joonis 6-5). Vaadeldaval mõõtepäeval, 7. septembril oli keskmiselt kõige väiksema koormusega faas nr 2. Üksnes hommikul 06:00...07:00 oli faasi 2 koormus ülejäänud kahest faasist suurem. Suurima koormatusega faas 7. septembril oli faas 1.



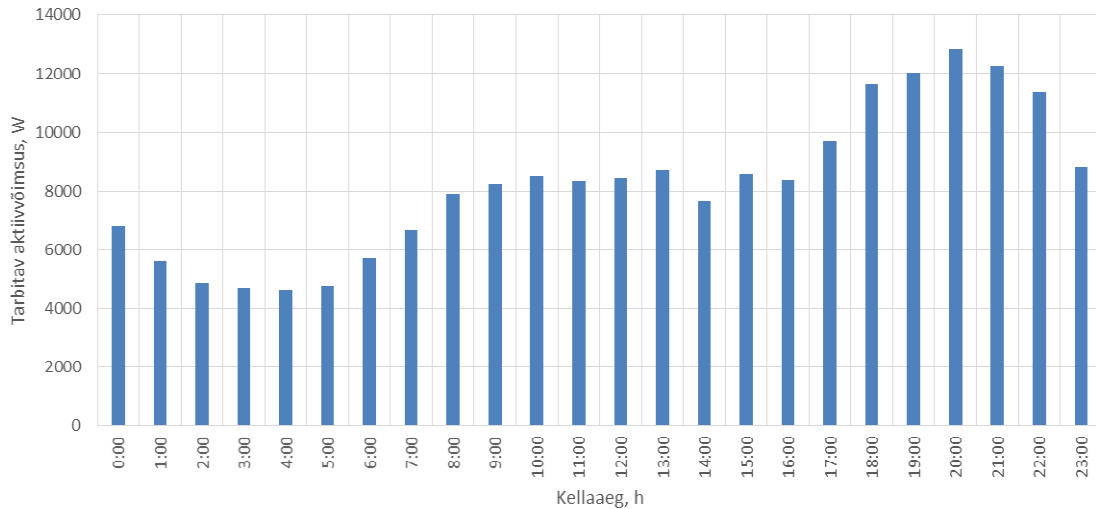
Joonis 6-5. Peakaitse faaside koormatus 7. septembril 2015.

Kuna üksiku mõõtepäeva andmed ei pruugi anda olukorrast adekvaatset ülevaadet, koostati peakaitsme faaside koormatuse täpsemaks uurimiseks graafikud mõõteperioodi keskmiste tulemustega (Joonis 6-6, Joonis 6-7). Joonis 6-6 kujutab faaside löikes maja keskmist tarbitavat aktiivvõimsust. Siin on erinevused faaside vahel küll väiksemad kui ühe päeva löikes, kuid on siiski märkimisväärsed. Suurimad on erinevused faaside vahel pärastlõunasel ja õhtusel ajal. Suhteliselt enim koormatud on faas 3 (keskmine tunnivõimsus 2969 W) ja kõige vähem koormatud faas 2 (keskmine võimsus 2444 W). Faasi 1 ühe tunni keskmine koormus mõõteperioodil oli 2803 W. Faaside järjestus koormatuse alusel perioodi keskmisena erineb üksiku mõõtepäeva faaside järjestusest koormatuse järgi.



Joonis 6-6. Mõõteperioodi keskmine tarbitav aktiivvõimsus faaside löikes.

Mõõteperioodi keskmine tunnis tarbitav summaarne aktiivvõimsus on toodud järgmisel joonisel (Joonis 6-7). Suurima tarbimisega tund on ajavahemikus 20:00-21:00, mil maja keskmine tarbimine ulatus 12,84 kW-ni. Kõige väiksema koormusega tund oli ajavahemikus 04:00-05:00, kui keskmine tarbimine oli 4,65 kW. Keskmiselt erineb tunnis keskmiselt tarbitav aktiivvõimsus ööpäeva piires ligikaudu 2,76 korda.



Joonis 6-7. Mõõteperioodi keskmine summaarne tunnis tarbitav aktiivvõimsus.

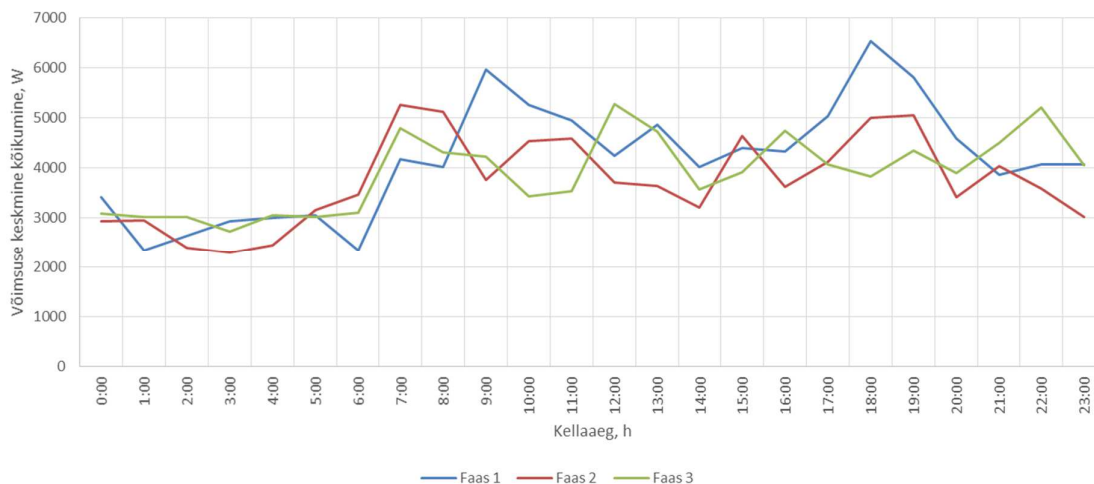
6.1.1 Tarbitava aktiivvõimsuse kõikumine tunni piires

Kuna tarkvarapaketi PowerFactory tehtud maja elektritarbimise mudel simuleerib tarbimist tunni keskmiste suurustena, siis tegeliku olukorra täpsemaks hindamiseks ja simulatsioonitulemuste õigeks tõlgendamiseks on vaja vaadelda ka maja tegeliku aktiivvõimsuse kõikumist tunni piires. Järgnevalt on kirjeldatud tunnis tarbitud minimaalse ja maksimaalse võimsuse erinevusi faaside kaupa.

Joonis 6-8 kirjeldab faaside kaupa tunni minimaalse ja maksimaalse (minutis mõõdetud) võimsuse vahet vattides. Jooniselt on näha, et kõige väiksem kõikumine esineb minimaalse tarbimisega ajal, vahemikus 00:00-06:00. Suurimad erinevused võimsuse miinimum- ja maksimumväärtuste vahel on õhtuse koormusmaksimumi ajal 17:00-20:00.

Võimsuse kõikumine on suurim faasis 1, ulatudes 6,5 kW-ni. Eelnevast on teada, et faas 1 oli võrreldes kahe teise faasiga keskmiselt koormatud. Faasi 3 (mis on selle maja suurima koormusega faas) suurim koormuse kõikumine leidis aset ajavahemikus 12:00-13:00, olles 5,27 kW. Faas 2 (suhteliselt kõige vähem koormatud faas) puhul oli suurim kõikumine 07:00-08:00 5,26 kW.

Joonis 6-9 kuni Joonis 6-11 kirjeldavad tunni minimaalseid, keskmisi ja maksimaalseid mõõdetud aktiivvõimsusi ööpäeva lõikes faaside kaupa. Graafikuid vaadeldes on näha, et võimsuse kõikumine esineb keskmisest rohkem üles- kui allapoole.

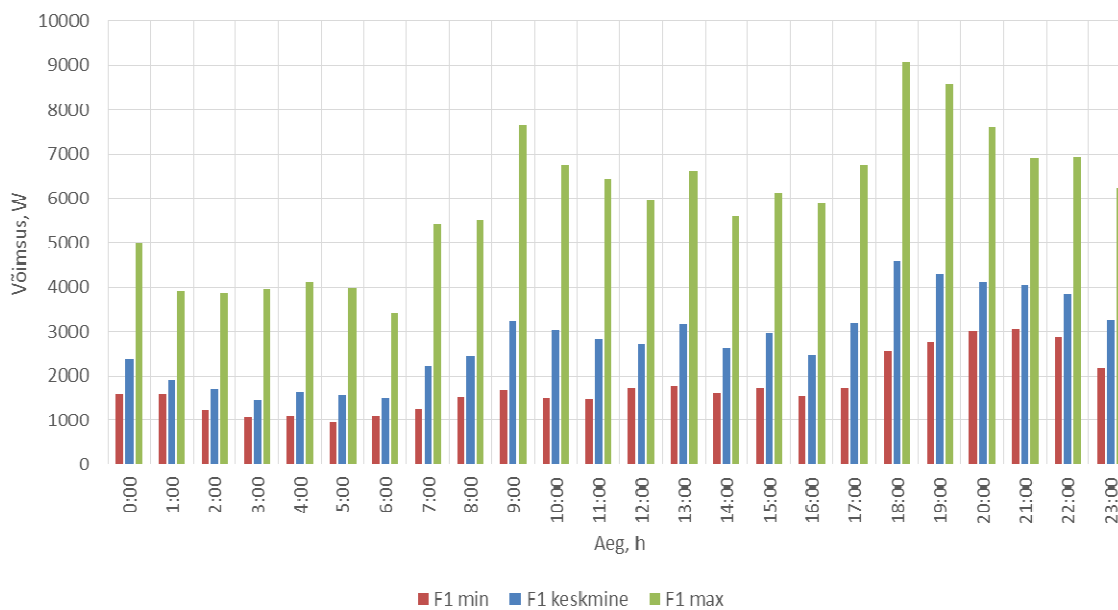


Joonis 6-8. Tarbitava aktiivvõimsuse tunni keskmine kõikumine (min. – maks.) absoluutsuurustes faaside kaupa.

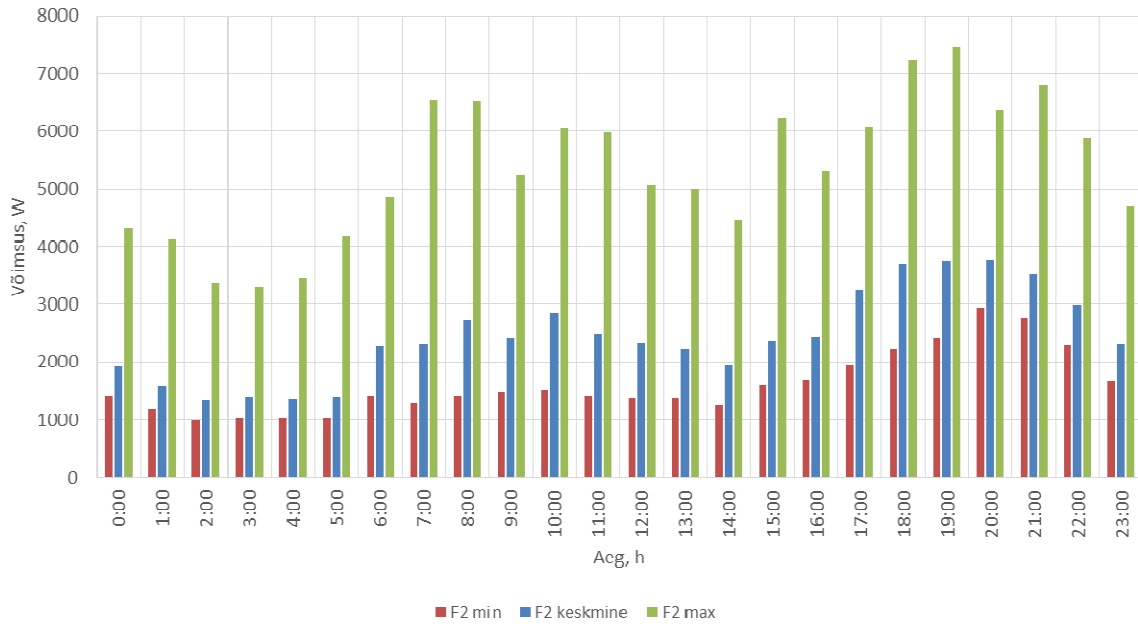
Tabel 6-1 võtab kokku iga faasi absoluutsed maksimaalsed ja minimaalsed minuti keskmised võimsused ning nende esinemise kuupäeva ja kellaaja.

Tabel 6-1. Faaside võimsuste absoluutsed ekstreemväärtused ja nende esinemise aeg.

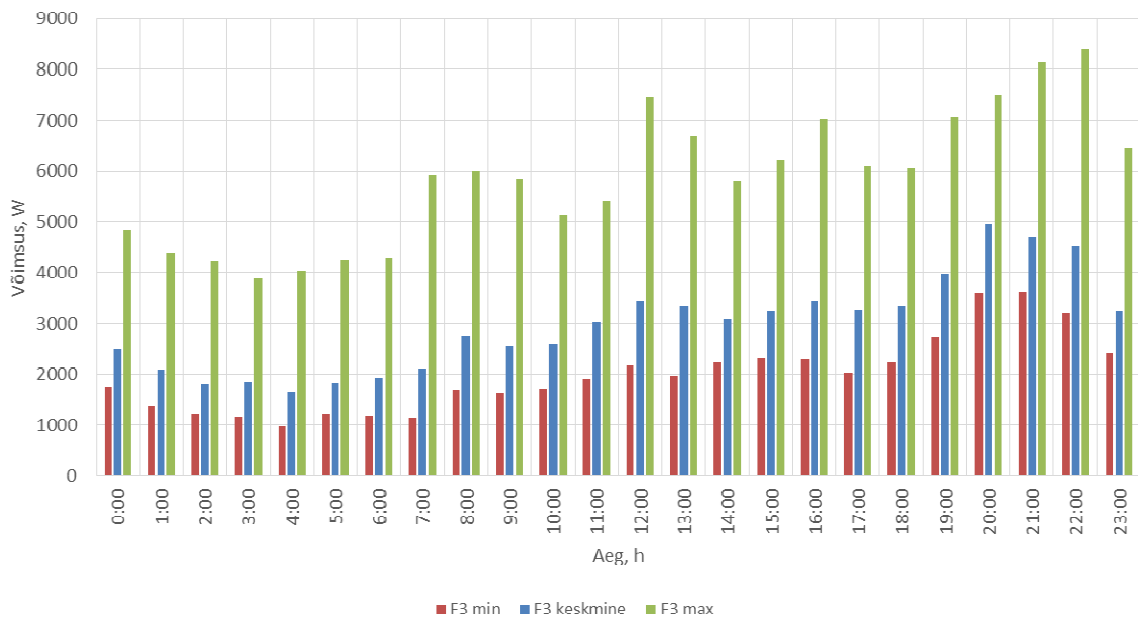
	Maks P, W	Maks P aeg	Min P, W	Min P aeg
Faas 1	11385	7. sept 19:02	809	8. sept 5:19
Faas 2	11040	7. sept 19:37	853	7. sept 2:47
Faas 3	9999	5. sept 12:40	684	7. sept 4:46



Joonis 6-9. Faasi 1 minimaalne, keskmine ja maksimaalne võimsus tunnis ööpäeva lõikes.



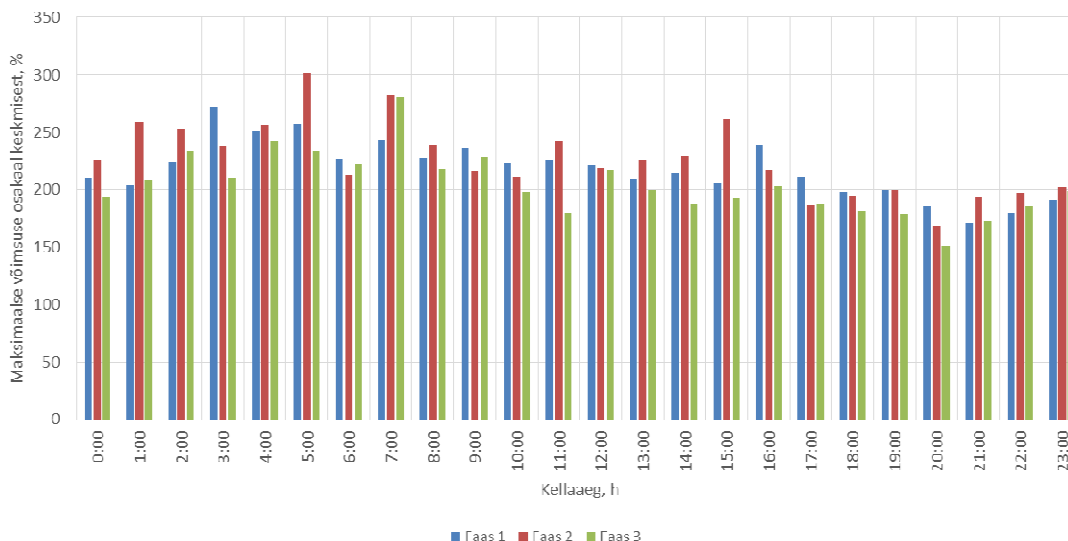
Joonis 6-10. Faasi 2 minimaalne, keskmine ja maksimaalne võimsus tunnis ööpäeva lõikes.



Joonis 6-11. Faasi 3 minimaalne, keskmine ja maksimaalne võimsus tunnis ööpäeva lõikes.

Joonis 6-12 kujutab faaside kaupa maksimaalse võimsuse osakaalu keskmisest võimsusest. Keskmiselt on tunni maksimaalne võimsus keskmisest võimsusest suurem 2,16 korda. Faasis 2 oli maksimaalne võimsus keskmisest suurem kuni kolm korda. Suhteliselt rohkem erineb

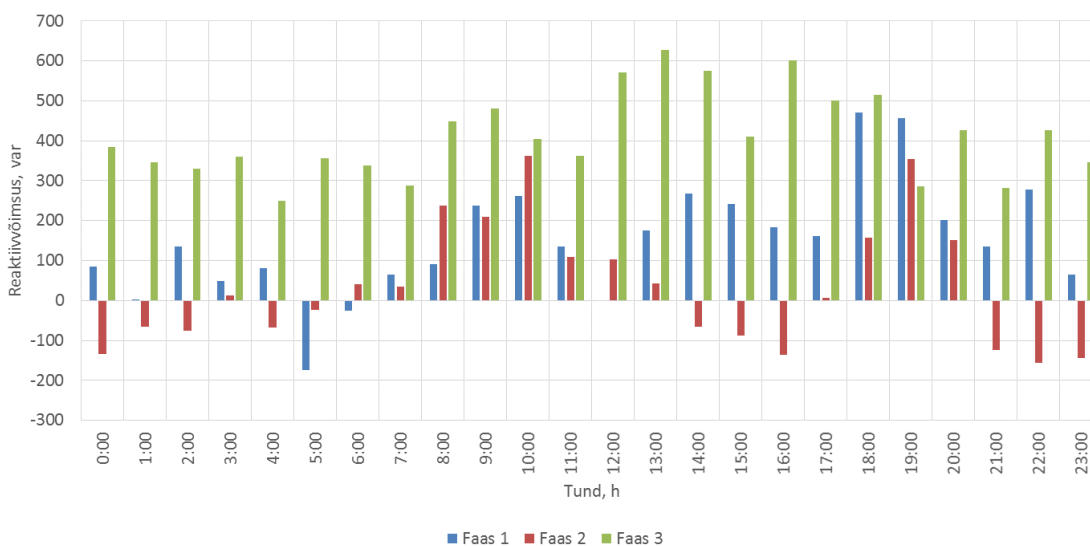
maksimaalne võimsus keskmisest väiksema tarbimisega ajal varahommikuti. Suhteliselt väiksem on erinevus maksimaalse ja keskmise võimsuse vahel õhtuse tipptarbimise ajal.



Joonis 6-12. Faasi maksimaalse koormuse osakaal faasi keskmisest koormusest tunnis.

6.2 Maja reaktiivvõimsuse tarbimine

Maja peakaitsme faaside keskmine reaktiivvõimsuse tarbimine on toodud järgmisel joonisel (Joonis 6-13).



Joonis 6-13. Induktiivse ja mahtvusliku reaktiivvõimsuse keskmine tarbimine faaside lõikes.

Eelnevast on teada, et maja enim koormatud faas (aktiivenergia tarbimise järgi) on faas nr 3 ja kõige vähem koormatud faas on 2. faas. Jooniselt nähtub, et analoogiliselt aktiivvõimsusele, tarbitakse enim induktiivset reaktiivvõimsust 3. faasis ja kõige vähem induktiivset reaktiivvõimsust 2. faasis. 2. faasi keskmine koormus oli mõõteperioodi vältel 11 tunni jooksul ööpäevast mahtuvuslik, ehk reaktiivvõimsust genereeriti. Seevastu 3. faasi keskmised koormused olid kõigil tundidel induktiivsed. Faasi nr 1 keskmised koormused olid 21 tunni jooksul ööpäevast induktiivsed ja 3 tunni jooksul mahtuvuslikud.

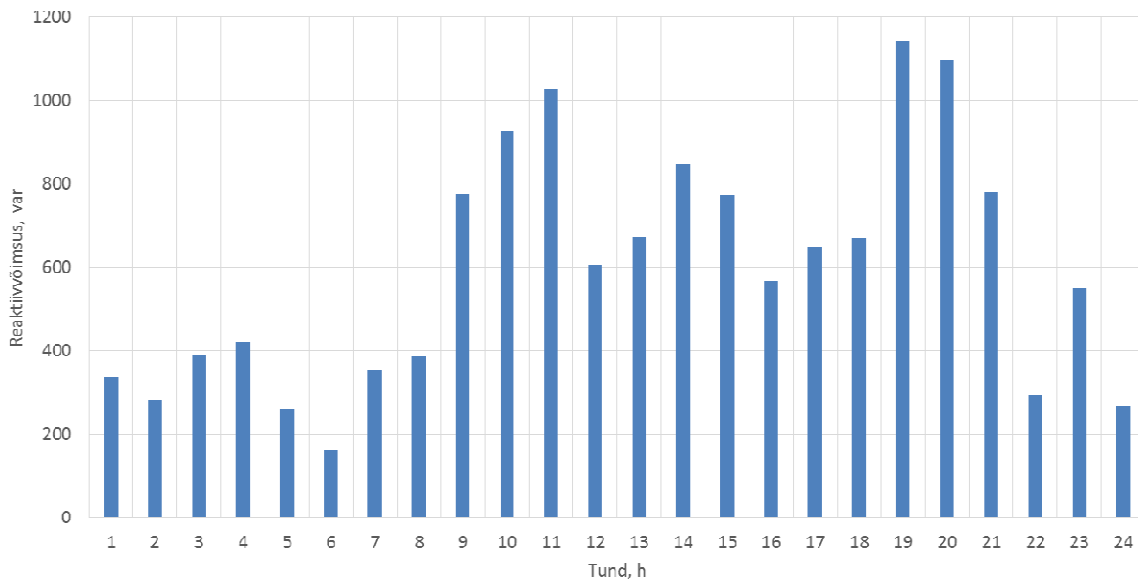
Tunni keskmine maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine mõõteperioodi jooksul oli 628 var faasis 3 kell 13:00-14:00. Faasi 1 maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine oli 470 var ajavahemikus 18:00-19:00. Faasi 2 maksimaalne reaktiivvõimsuse tarbimine oli 362 var ajavahemikus 10:00-11:00. Keskmised ja absoluutsed ekstreemväärtused on toodud järgmises tabelis (Tabel 6-2).

Tabel 6-2. Mõõteperioodi tunni keskmised ja ekstreemsed reaktiivvõimsuse väärtused.

	Maks. keskmine (induktiivne) Q, var	Absoluutne maks. Q, var	Min. keskmine (mahtuvuslik) Q, var	Absoluutne min. Q, var
Faas 1	470	1556	-173	-530
Faas 2	362	1408	-156	-640
Faas 3	628	1813	-	-329

Summaarne keskmine reaktiivvõimsuse tarbimine on graafikuna toodud allpool (Joonis 6-14). Analoogiliselt aktiivvõimsuse tarbimisele on reaktiivenergia tarbimises kaks tipuaega – hommikul ja õhtul. Maksimaalne induktiivne reaktiivvõimsus ulatub 1141 var-ni ja minimaalne tarbimine 160 var-ni.

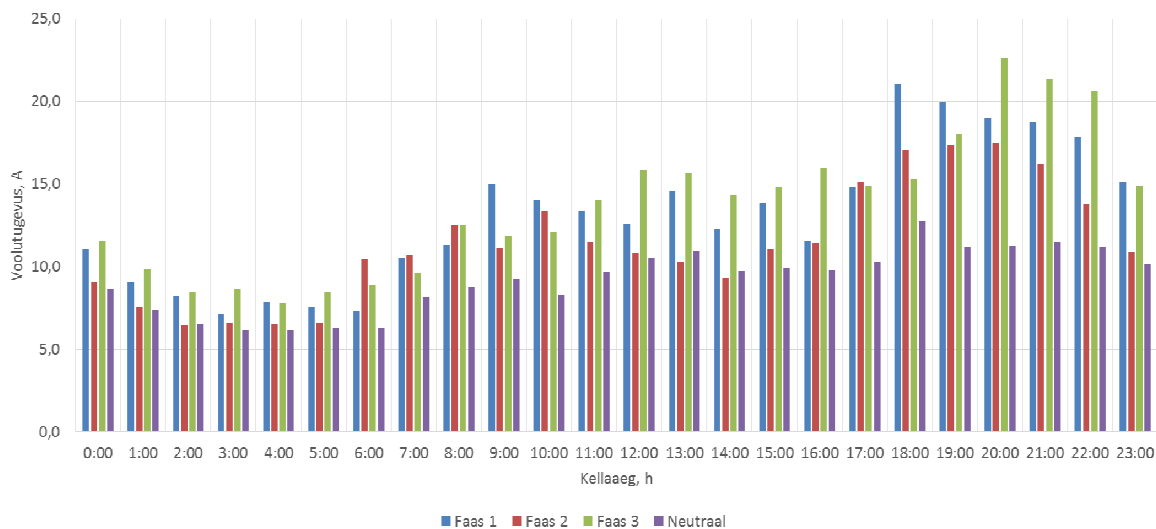
Varahommikune reaktiivenergia miinimum tuleneb selle perioodi peamiselt mahtuvusliku iseloomuga tarbimisest, mis vähendab summaarset induktiivset reaktiivvõimsust. Tipuaegade induktiivne reaktiivenergia tarbimine võib tuleneda võimsate kodumasinate ja muude tarvitite (pesumasinad, elektriahjud, elektripliidid, valgustus) töötamisest.



Joonis 6-14. Summaarne keskmine reaktiivvõimsuse tarbimine ööpäeva lõikes.

6.3 Peakaitset läbiva voolu tugevus

Nii tarbitav aktiiv- kui reaktiivvõimsus mõjutavad peakaitset läbiva voolu tugevust. Faaside ja PEN-juhi tunni keskmisi voolutugevusi kujutab järgmine joonis (Joonis 6-15).



Joonis 6-15. Peakaitse faase ja PEN-juhti läbivad keskmised voolud.

Jooniselt on näha, et faasidevahelised erinevused voolutugevuste osas on suured. Taas ilmneb, et suhteliselt enim on koormatud faas 3 ja kõige vähem on koormatud faas 2. Faaside

ebasümmeetriast tulenevalt on ka PEN-juhti läbiv vool võrreldav faasivooludega. Graafikul kujutatud voolutugevuste maksimaalsed ja minimaalsed väärtused on koondatud allpool toodud tabelisse (Tabel 6-3).

Tabel 6-3. Tunni minimaalne ja maksimaalne keskmine voolutugevus.

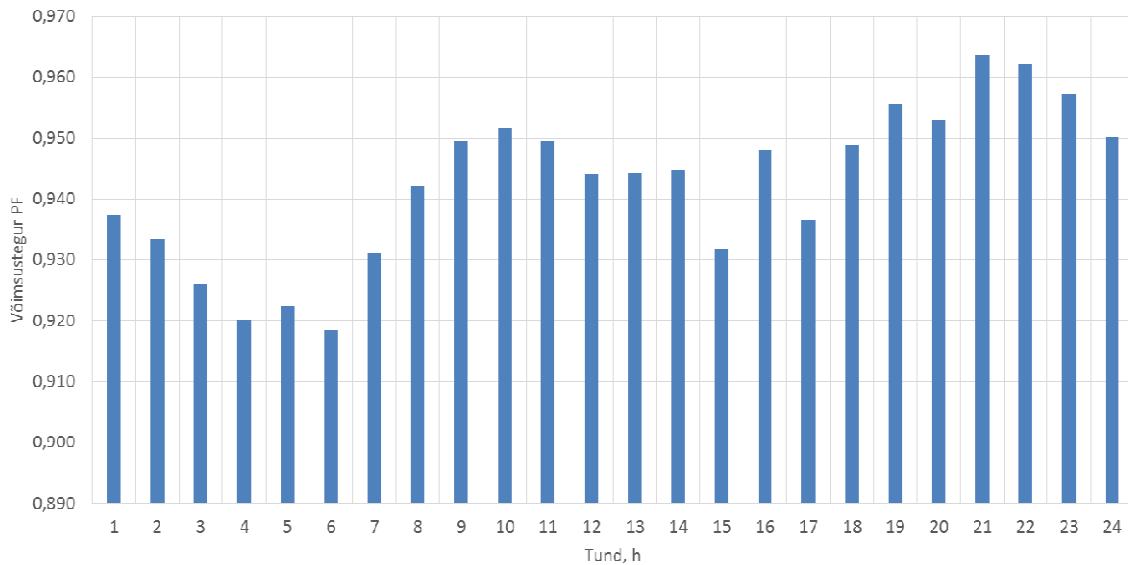
	Minimaalne kesk. vool, A	Maksimaalne kesk. vool, A
Faas 1	7,1	21
Faas 2	6,4	17,5
Faas 3	7,8	22,6
PEN-juht	6,1	12,8

Kuna maja peakaitsme nimivool on 100 A, on voolutugevuste järgi peakaitsme koormatus protsentides arvvaartustelt võrdne voolutugevustega amprites. Seega oli mõõteperioodi jooksul faasi 3 maksimaalne keskmine koormatus 22,6%, faasis 1 21% ja faasis 3 17%.

6.4 Maja võimsustegur

Fluke võrganalüsaatoriga oli võimalik mõõta ka kortermaja võimsustegurit PF. Võimsustegur PF erineb tavamõistes võimsustegurist $\cos\varphi$ selle poolest, et ta kujutab endast aktiivvõimsuse P ja näivvõimsuse S suhet, mis tähendab, et PF võtab arvesse ka kõrgemate vooluharmonooniliste mõju energiaülekandele. Tegur $\cos\varphi$ arvestab üksnes voolu põhiharmonoonilise olemasoluga ning jätab arvestamata kõrgemate harmooniliste toime.

Mõõteperioodi keskmine PF on toodud järgmisel joonisel (Joonis 6-16). Keskmine minimaalne PF väärtus oli 0,918 (ajavahemikus 05:00-06:00) ja maksimaalne väärtus 0,964 (ajavahemikus 20:00-21:00). Graafikult on näha, et PF dünaamika ööpäeva jooksul kordab aktiivvõimsuse tarbimise dünaamikat. Madalama tarbimisega ajal on PF samuti madalam ning õhtuse tiputarbimise ajal on ka PF maksimaalne.



Joonis 6-16. Mõõteperioodi ööpäeva keskmine võimsustegur PF.

Põhjus võib olla selles, et minimaalse tarbimise ajal on suurem mõju võimsustegurile mahtvusliku iseloomuga koduelektroonikal (näiteks arvutite toiteplokid, mis on ööseks võrku jäetud). Suurema tarbimisega ajal kasutatakse enam aktiivse iseloomuga tarviteid (elektripliidid, pesumasin jm), mis leevendavad harmooniliste mõju võimsustegurile ning suurendavad selle väärtust. Seda on näidanud ka töö autori poolt aine „Energiatarbimise juhtimine“ raames sügisel 2014 tehtud kodutarbimise analüüs.

Vaatamata sellele, et käesoleva töö koostamise ajal kehtinud Elektrilevi OÜ võrgulepingu tingimuste järgi üle 63 A peakaitsemeega ainult elamispindu sisaldavate korterelamute reaktiivvõimsuse tarbimist ei maksustata [52], selgus mõõtmistest, et võimsusteguri väärtusest tulenevalt reaktiivvõimsuse kompenseerimise järele vajadust pole. Küll võib pidevalt muutuva koormuse iseloom, mahtvusliku ja induktiivse vahel, esile kutsuda teatud olukordade resonantsnähtusi, mis võivad esile kutsuda toiteplokkide kiirenevat vananemist. Nimetatud nähtuste uurimine ei kuulunud käesoleva töö ülesannete hulka.

7 SIMULATSIOONIMUDELI KOOSTAMINE JA TULEMUSED

7.1 Modelleerimistarkvara DIgSILENT PowerFactory tutvustus

Firma DIgSILENT GmbH poolt välja töötatud modelleerimistarkvara PowerFactory on ette nähtud energiasüsteemide modelleerimiseks, talitluse analüüsimiseks ja simuleerimiseks. Käesoleva töö koostamiseks taotleti firmalt DIgSILENT GmbH üheks aastaks tasuta litsents lõputöö koostamiseks (ingl. k. *PowerFactory Licence for Thesis*).

7.1.1 Standardkoormusgraafikud

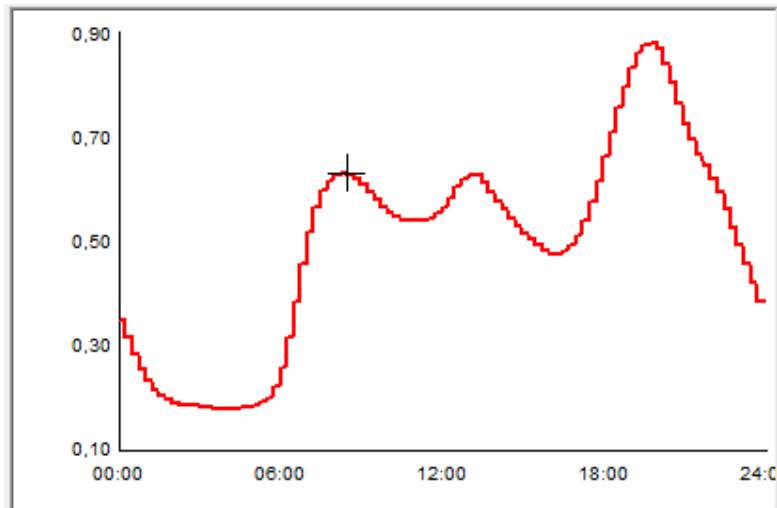
Kodumajapidamiste elektritarbimise modelleerimiseks läheb vaja tüüpkoormusgraafikuid. Programmis PowerFactory on kasutusel Saksa Energia- ja Veemajanduse Assotsiatsiooni [51] (sks. k. *Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*, edaspidi *BDEW*) poolt koostatud standard-koormusgraafikud. Käesolevas peatükis analüüsitakse üksnes kodumajapidamiste koormusgraafikuid (sks. k. üldnimetusega *Haushalt H0*), et teha kindlaks, kas need sobivad ka Eesti oludesse.

Kodumajapidamiste tarbimise modelleerimisel on võimalik kasutada nii kogu aastat hõlmavat koormusgraafikut H0 kui tüüpiliste päevade graafikuid. Tüüppäevade graafikud jagunevad aastaaja järgi (talv, suvi, kevad-sügis ehk nn üleminekuage (sks. k. *übergang*)) ja nädalapäeva alusel (tööpäev, laupäev, pühapäev ja riigipüha).

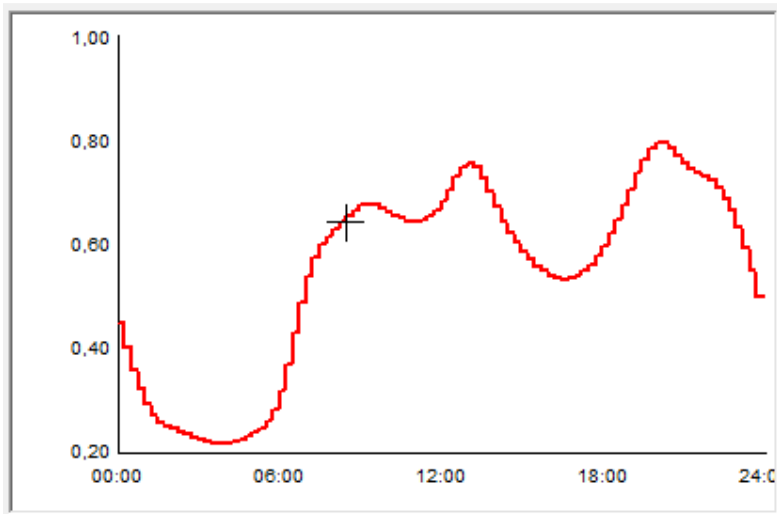
7.1.2 Kodumajapidamise tüüpkoormusgraafiku H0 andmed.

Kodumajapidamiste tüüpkoormusgraafik koosneb erinevate tüüpilise tarbimismustriga päevade graafikutest. Eristatud on aastaajad ja riiklikud pühad. Talveks loetakse ajavahemikku 1. november kuni 20. märts. Kevad (sks. k. *Übergang 1*) algab 21. märtsil ja kestab kuni 14. maini. Suvine graafik kehtib 15. maist kuni 14. septembrini. Sügisene graafik (sks. k. *Übergang 2*) kehtib 15. septembrist 31. oktoobrini. Lisaks arvestatakse tüüpkoormusgraafikus Saksamaa riiklikke pühasid, millest osa kehtivad ka Eestis: uusaasta 1. jaanuaril, tööpüha 1. mail, Saksamaa päev 3. oktoobril, jõulude esimene ja teine püha 25. ja 26. detsembril. Peale nende on modelleerimisel võimalik arvestada lisaks mõne liikuva pühaga.

Talvise ja suvise tööpäeva tüüpkoormusgraafikud on näitena toodud järgmistel joonistel: Joonis 7-1 ja Joonis 7-2. Joonised on võetud pildina programmi infoaknast. Abstsisssteljel on toodud ööpäeva tunnid ja ordinaatteljel tarbimise suhtelised ühikud ööpäeva keskmise suhtes.



Joonis 7-1. Kodumajapidamise talvise tööpäeva tüüpkoormusgraafik programmis PowerFactory.



Joonis 7-2. Kodumajapidamise suvise tööpäeva tüüpkoormusgraafik programmis PowerFactory

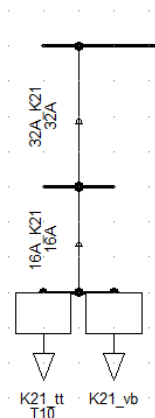
Kuigi programm PowerFactory võimaldaks kasutada tarbimise modelleerimiseks eelpool kirjeldatud tüüpgraafikuid, otsustati nendest töö tegemisel siiski loobuda. Mudeli simulatsioonitulemuste kontrollimiseks oli töö koostamise käigus võimalik kasutada Elektrilevi OÜ poolt väljastatud andmeid, mis vastasid ettevõtte koostatud tarbimisgraafikutele. Seega otsustati Saksa kodumajapidamiste graafikute asemel kasutada Eesti koduklientide tüüptarbimisgraafikuid.

7.2 Mudeli graafilise osa koostamine

Maja mudeli koostamisel kasutati realselt olemasoleva 60 korteriga maja andmeid. Peakaitse moodustavad kolm ühefaasilist 100 A nimivooluga sulavkaitset. Trepikodade magistraalliine kaitsevad ühefaasilised 63 A nimivooluga C-tunnusjoonega kaitselülitid. Enne korteri elektriarvestit on igal tarbijal üks ühefaasiline 32 A kaitselüliti ja pärast arvestit üks kuni kolm C16 kaitselüliti. Mudeli koostamise lihtsustamiseks eeldati, et igal korteril on ainult üks C16 kaitselüliti.

Tarkvara PowerFactory võimaldab mudeli jagada osade kaupa eraldi lehtedele. Arvutustulemusi see ei mõjuta, sest mudeli osad on võimalik üksteisega siduda. Korteri piires jagati tarbijad kahte gruppi: juhitud koormus (tähis K^{**}_{vb} , kus $**$ tähistab korteri numbrit) ja nn ülejäänud tarbimine (tähis K^{**}_{tt}).

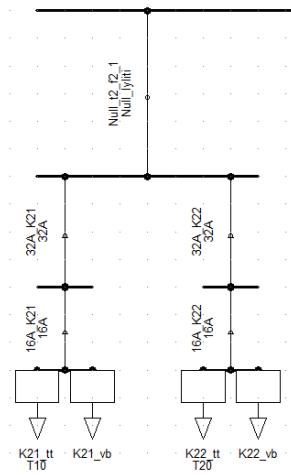
Mudeli graafiline osa koostati lähtuvalt reaalse maja korterite ühendusskeemist ja sellest, et iga faasi kohta oleks võrdne arv tarbijaid. Joonis 7-3 on kujutatud ühe korteri tarbijad: vasakpoolne koormus on nn tavatarbimine ja parempoolne tähistab juhitud koormust. Mõlemad tarvitite grupid saavad toite 16A nimivooluga kaitselülitist, millele eelneb 32A kaitselüliti. Tegelikult on 16A ja 32A kaitselüliti vahel elektriarvesti, kuid mudeli lihtsuse huvides on see jäetud tähistamata.



Joonis 7-3. Ühe korteri mudeli graafiline esitus tarkvaras PowerFactory.

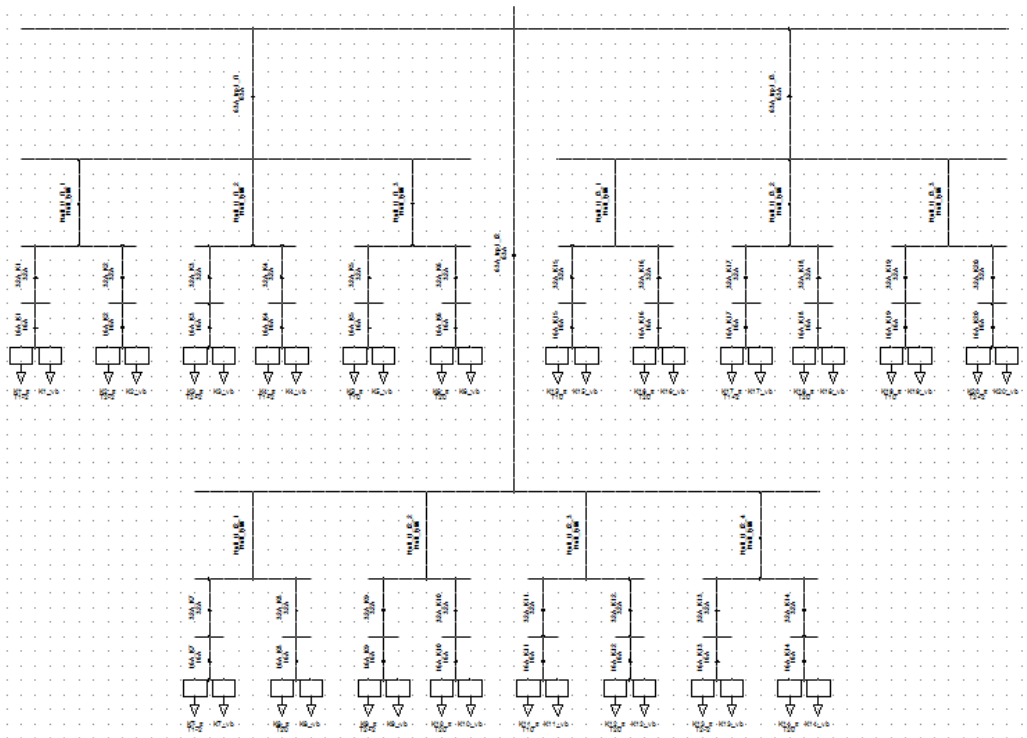
Korteri trepikoja jaotuskeskust uurides selgus, et ühel korrusel võetakse magistraalliinist kaks faasi, mis jagatakse nelja korteri vahel, nii et kaks korterit on ühel faasil ja kaks teisel. Sellest lähtuvalt koostati ka käesolev mudel nii, et korterid on paari kaupa kokku ühendatud (vt Joonis 7-4). Edasi ühendati korterite paardid kokku nii, et igale faasile satuks enamvähem võrdne arv tarbijaid. Kuna trepikojas on 20 korterit, mis ei jagu võrdselt 3 faasi vahel, jäi ühele faasile

(esimese trepikoja puhul faasile L2) kaks korterit rohkem kui teistele faasidele. See kompenseeriti teiste trepikodade koostamisel, kui kaks liigset korterit ühendati vastavalt faasidele L1 ja L3 trepikodade nr 2 ja 3 korral.



Joonis 7-4. Kaks korterit saavad toite ühelt faasilt.

Summaarselt oli igal faasil kokku ikkagi võrdne arv kortereid – 20. Ühe trepikoja üldvaade programmis PowerFactory koos trepikoja kaitsmete ja kolme peakaitsmega on toodud järgmisel joonisel (Joonis 7-5).



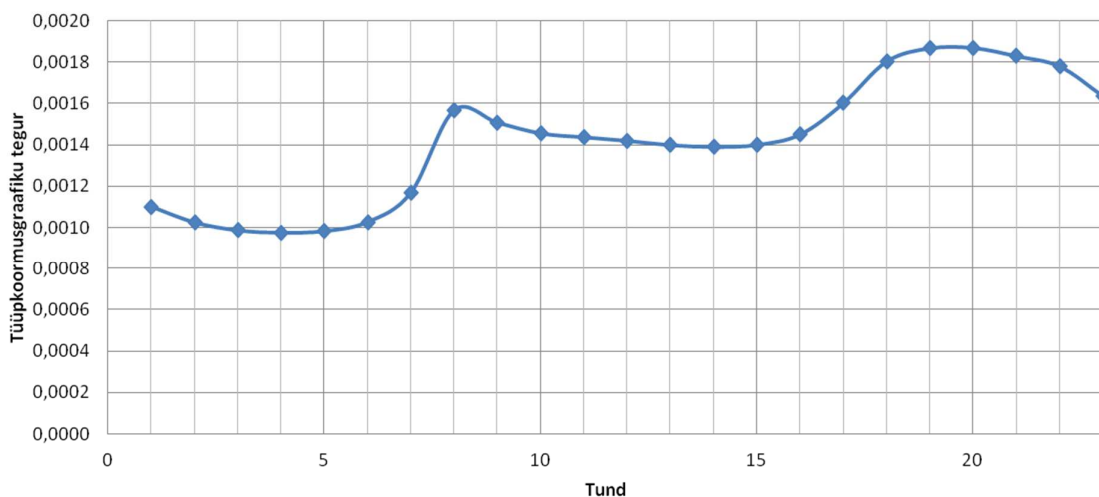
Joonis 7-5. Esimese trepikoja skeemi üldvaade programmis PowerFactory.

7.3 Korterite tavatarbimise modelleerimine

Korterite tavatarbimise ja juhitavate koormuste tarbimise täpsemaks modelleerimiseks on programmile PowerFactory võimalik csv-failiga ette anda koormusgraafik. Korterite tavatarbimise graafikute koostamisel võeti aluseks Elektrilevi OÜ koduklientide ühe talvapäeva (maksimaalse tarbimise) tüüpkoormusgraafikud [53]. Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafiku võrdlemisel modelleerimistarkvaras PowerFactory kasutusel olevate Saksa kodumajapidamiste tüüpkoormusgraafikutega selgus, et viimased ei kajasta piisavalt täpselt Eesti majapidamiste elektritarbimist ja seetõttu otsustati nende kasutamisest loobuda.

Tüüpkoormusgraafiku puhul on tegemist matemaatilise kõveraga, mille järgi jaotatakse arvestite kauglugemise puudumisel kliendi kuu jooksul tarbitud elektrienergia kogus tundide vahel. Elektrilevi kõige levinum tüüpkoormusgraafik kehtib kõikidele kodu- ja väikeäriklientidele ehk neile, kelle tarbimiskoha peakaitse on kuni 63 A. Suurema peakaitsemega majades on (2015. aasta alguse seisuga) enamasti paigaldatud kaugloetavad tunnipõhised arvestid. Elektrilevi tüüpkoormusgraafik on kujundatud kodu- ja väikeäriklientide varasema keskmise tarbimise põhjal. Arvestades varasemat keskmist kogutarbimist aasta igal tunnil Elektrilevi võrgus, on igale tunnile omistatud kindel tegur, mille järgi konkreetse tunni tarbimine arvestatakse. [53] Käesolevas töös võeti kodutarbimise modelleerimisel aluseks 14. jaanuari 2015 tüüpkoormusgraafik.

Tüüpkoormusgraafiku näol on tegemist aasta iga päeva igale tunnile vastavate teguritega (vt Joonis 7-6). Konkreetse tunni tarbimine saadakse tunniteguri ja kuus tarbitud elektrienergia koguse korrutamisel.

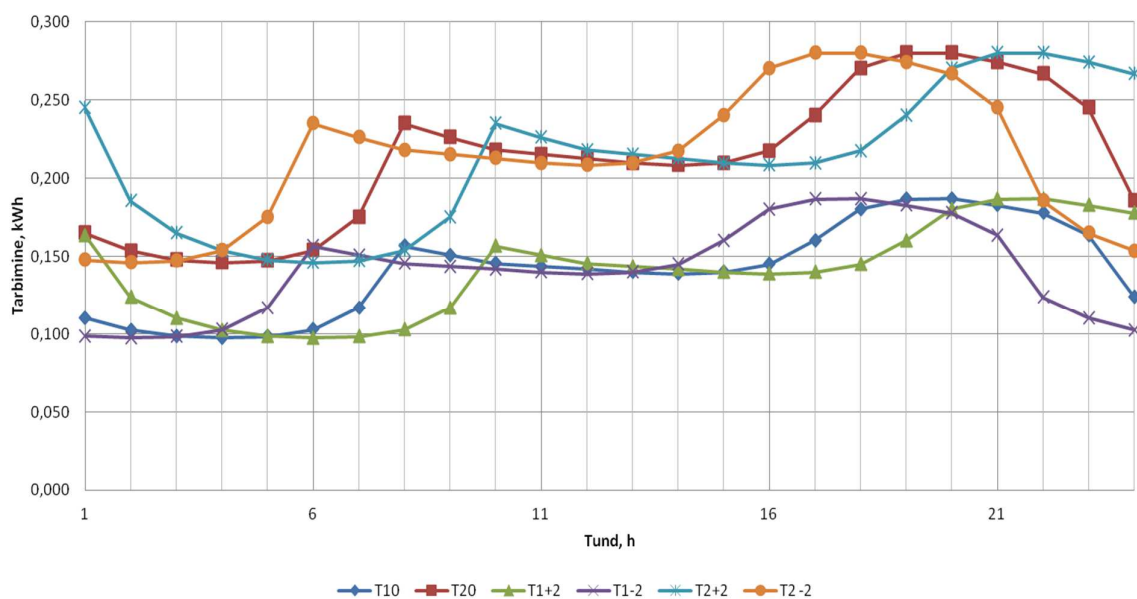


Joonis 7-6. Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafiku tegurid 14. jaanuaril 2015.

Vaadeldavas kortermajas elavad elanike vaatluse põhjal hinnanguliselt 40% korteritest pensionärid, 30% korteritest elavad lastega pered ja 30% üksikud nooremad inimesed. Elektribarbimise täpsemaks modelleerimiseks jagati korterite leibkonnad nende tarbimismahu alusel (ilma juhitavate koormusteta) kahte rühma: vähem tarbivad (tarbivad talvisel ajal kuus ca 100 kWh, ehk päevas 3,39 kWh) ja rohkem tarbivad (tarbivad kuus ca 150 kWh, päevas 5,1 kWh). Vastavalt maksimaalsele kuutarbimisele arvutati tüüpkoormusgraafiku tegureid kasutades igale tunnile tarbitud elektrienergia kogus kWh-des.

Lisaks tarbimise erinevale mahule eri tüüpi kodutarbijate korral, tuli arvestada ka tarbimise ajalist hajutatust. Käesoleva töö juhendaja poolse eksperthinnangu kohaselt otsustati 60% tarbijate koormusgraafikud jätta ajaliselt samaks kui on Elektrilevi OÜ tüüpgraafiku järgi. 20%-l tarbijatest otsustati nihutada tarbimine 2 tundi varasemaks ja 20%-l tarbijatest 2 tundi hilisemaks (vt Tabel 7-1). Seejuures võeti kasutusele ka tähised erinevate tarbimisgraafikute tähistamiseks. Vähem tarbivate leibkondade tarbimisgraafikuid tähistatakse edaspidi tähisega T1 ja rohkem tarbivate leibkondade graafikuid tähisega T2. Ajalist nihet tähistab vastavalt tähise järellisand „-2“, „0“ või „+2“.

Töös kasutatud tarbimisgraafikuid kujutab Joonis 7-7.



Joonis 7-7. Töös kasutatavad tavatarbimise graafikud.

Tabel 7-1. Korterite arvu jagunemine erinevate tarbimisgraafikute vahel.

	Vähem tarbivad: T1 (40% korteritest)	Rohkem tarbivad: T2 (60% korteritest)
Tarbimise nihe -2 h (20%)	T1-2: 5 krt	T2-2: 7 krt
Tarbimise nihe 0 h (60%)	T10: 14 krt	T20: 22 krt
Tarbimise nihe +2 h (20%)	T1+2: 5 krt	T2+2: 7 krt

Reaalse olukorraga võimalikult sarnase mudeli koostamiseks tuli erinevad tarbimisgraafikud jagada korterite vahel nii, nagu nad võiksid olla reaalsuses jagunenud. Selleks koostati 60 korteriga tabel, kus püüti võimalikult ühtlaselt ent samas juhuslikkuse alusel korterite vahel erinevad tarbimisgraafikud ära jaotada (vt Tabel 7-2).

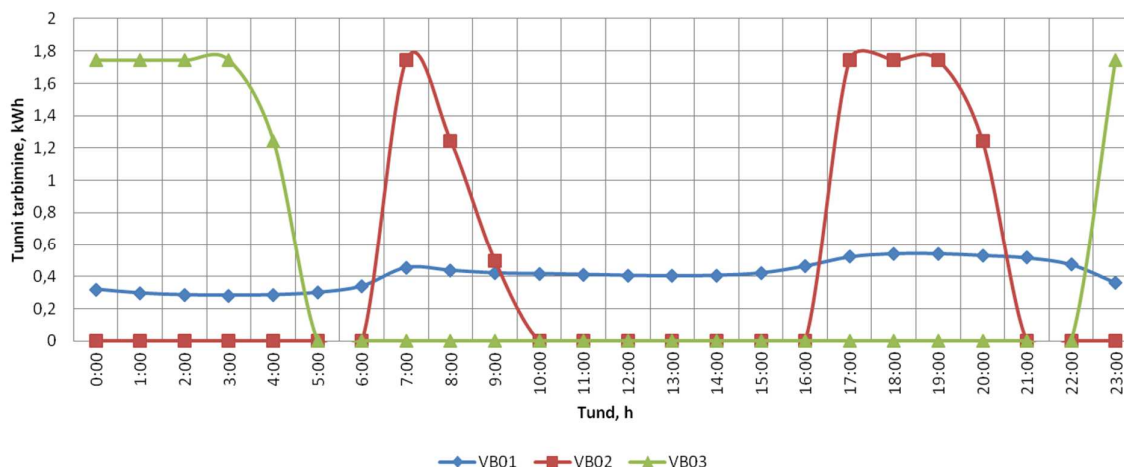
Tabel 7-2. Tarbimisgraafikute jagunemine korterite vahel.

Korter	Graafik	Korter	Graafik	Korter	Graafik
1	T1-2	21	T10	41	T1+2
2	T2-2	22	T20	42	T20
3	T2+2	23	T2-2	43	T2-2
4	T1+2	24	T20	44	T10
5	T10	25	T10	45	T20
6	T20	26	T2+2	46	T10
7	T1-2	27	T10	47	T1+2
8	T20	28	T20	48	T20
9	T2+2	29	T1-2	49	T2+2
10	T20	30	T2-2	50	T10
11	T10	31	T20	51	T20
12	T20	32	T10	52	T2-2
13	T2-2	33	T2+2	53	T1-2
14	T20	34	T20	54	T20
15	T10	35	T1-2	55	T2-2
16	T20	36	T20	56	T20
17	T1+2	37	T10	57	T10
18	T20	38	T20	58	T20
19	T10	39	T1+2	59	T10
20	T2+2	40	T20	60	T2+2

7.4 Nihutatavate koormuste tarbimisgraafikute modelleerimine – stsenaariumid

Nihutatavateks koormusteks võivad vaadeldavat tüüpi kortermajades kõige sagedamini olla veeboilerid või elektriradiaatorid. Käesolevas töös käsitleti nihutatavate koormustena veeboilerid, kuna elamupiirkonnas on maju, millel puudub soojaveearustus ja sooja vett saadakse gaasi- või elektriboileritest.

Juhitavate koormuste tarbimisgraafikute koostamisel tugineti töö juhendaja eksperthinnangule. Koormuste mõju modelleerimiseks maja elektritarbimisele loodi kolm stsenaariumit (vt Joonis 7-8). Stsenaariumi 1 puhul tarbivad koormused elektrienergiat ühtlaselt kogu ööpäeva jooksul, võrdeliselt ülejäänud tarbimisele. Stsenaariumi 2 korral langeb kõigi juhitavate koormuste tarbimine päeva jooksul kahele tipuajale hommikul ja pärastlõunal. Stsenaariumi 3 korral tarbitakse kogu vajaminev energia öösel ja päevane tarbimine loetakse nulliks (näiteks salvestuskütte korral).



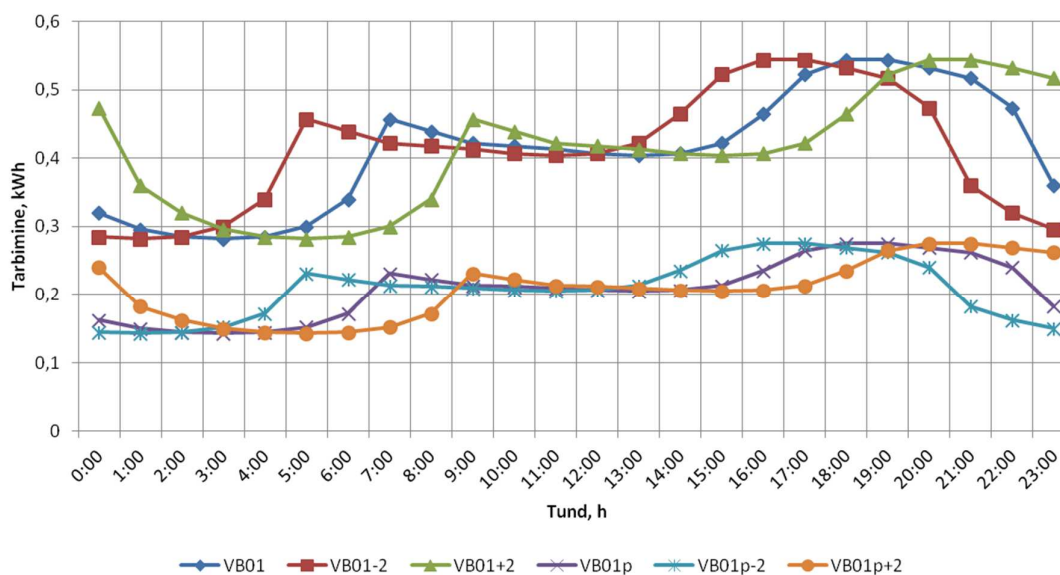
Joonis 7-8. Juhitavate koormuste tarbimise põhigraafikud kolme stsenaariumi korral.

Iga stsenaariumi korral tuli mudeli täpsuse huvides jagada juhitavad koormused tarbimismahu ja tarbimise ajastatuse alusel kuude rühma. Tarbimismahu alusel jagati koormused vähem tarbivate leibkondade omadeks (tarbivad päevas 5 kWh) ja rohkem tarbivate leibkondade koormusteks (päevane tarbimine 10 kWh). Ajaliselt jagati koormused analoogiliselt tavatarbimisele: 60% koormustest tarbivad ajaliselt vastavalt Elektrilevi tüüpkoormusgraafikule, 20% 2 tundi varem ja 20% 2 tundi hiljem.

Sarnaselt korterite tavatarbimisele tähistati juhitavate koormuste erinevad tarbimisgraafikud järgmiste nimedega: stsenaariumi 1 põhigraafik VB01, stsenaariumi 2 põhigraafik VB02 ja stsenaariumi 3 põhigraafik VB03. Vähem tarbivate leibkondade tarbimisgraafiku eristamiseks lisati tähise lõppu täht „p“. Ajalist nihet tähistati 2 tundi varasema tarbimise korral tähisega „-2“ ja 2 tundi hilisemat tarbimist tähisega „+2“. Seega tähistab näiteks „VB01p+2“, et tegemist on stsenaariumi number 1 kaks tundi hilisema tarbimisega vähem tarbiva leibkonna juhitava koormuse tarbimisgraafikuga.

7.4.1 Stsenaarium 1

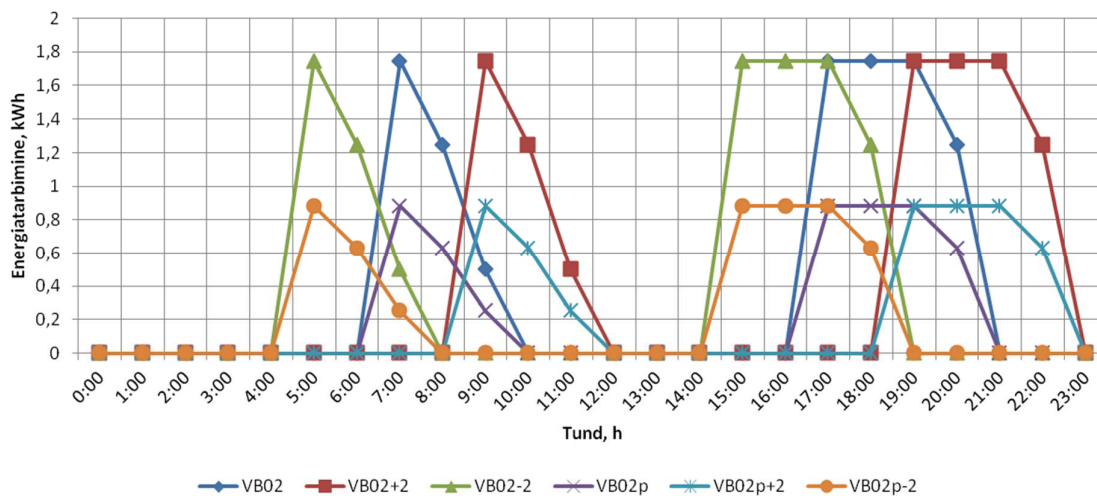
Esimese stsenaariumi puhul tarbivad kõik juhitavad koormused elektrienergiat päeva kõigil tundidel. Nende tarbimisgraafikute koostamise aluseks oli Elektrilevi OÜ 14. jaanuari 2015 tüüpkoormusgraafik. Vastavalt tüüpkoormusgraafiku teguritele arutati tundide elektritarbimised, nii et vähem tarbivate leibkondade koormuste päevane summaarne tarbimine oli 5 kWh ja rohkem tarbivate leibkondade puhul 10 kWh. Joonis 7-9 kujutab kõigi tarbijate koormuste päevaseid koormusgraafikuid stsenaariumi 1 korral.



Joonis 7-9. Juhitavate koormuste tarbimisgraafikud stsenaariumi 1 puhul.

7.4.2 Stsenaarium 2

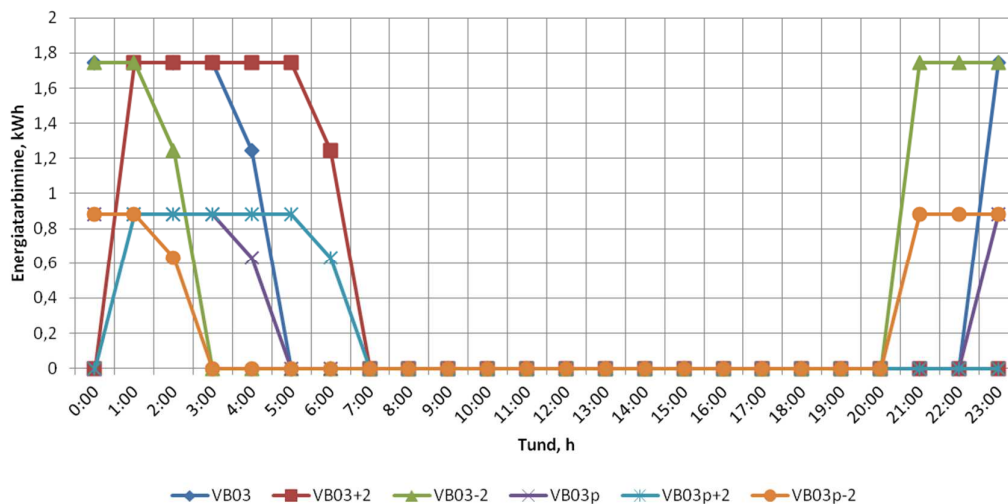
Stsenaariumi 2 korral langeb kõigi juhitavate koormuste tarbimine kahele päeva tipparbimise ajale: hommikune tipp tund on vahemikus 5:00..9:00 ja õhtune tipp tund 15:00...21:00 (Joonis 7-10). Selline juhitavate koormuste tarbimine sarnaneb enim elektrilise veeboileriga korterite tarbimismustrile [55].



Joonis 7-10. Juhtivate koormuste tarbimisgraafikud stsenaariumi 2 puhul.

7.4.3 Stsenaarium 3

Stsenaariumi 3 korral tarbivad kõik juhitavad koormused elektrit ainult öisel ajal, kui ülejäänud tarbimine on minimaalne (Joonis 7-11). Antud stsenaarium eeldab, et kõigis korterites on salvestavad veeboilerid, mis tarbivad vee soojendamiseks elektrit üksnes öösel.



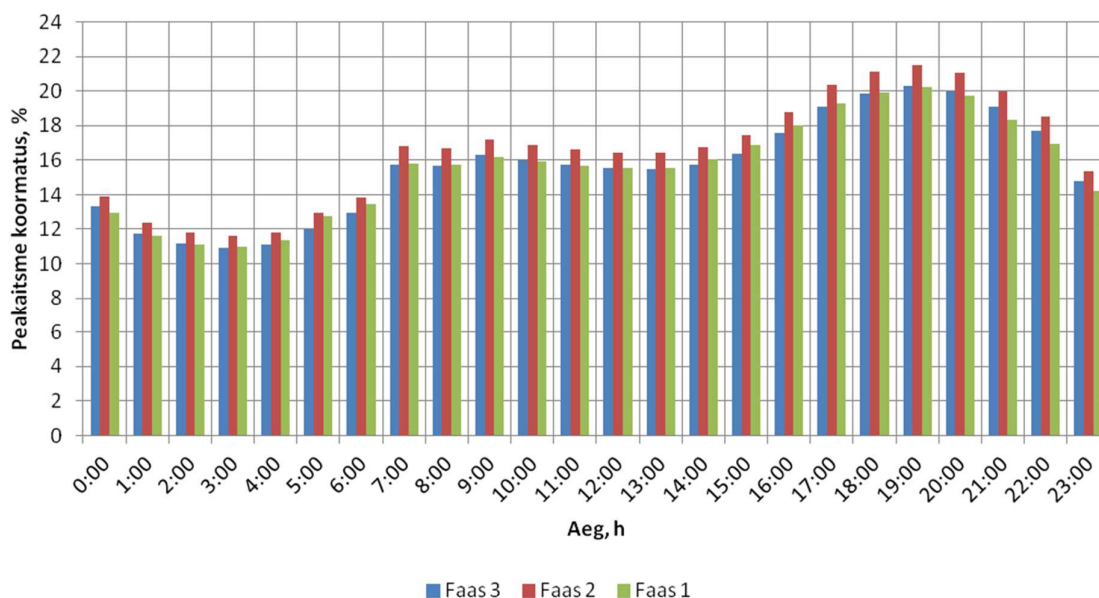
Joonis 7-11. Veeboilerite tarbimisgraafikud stsenaariumi 3 puhul.

Nagu jooniselt näha, tarbivad 60% korterite juhitavad koormused elektrienergiat ajavahemikus 23:00...03:00 (graafik VB03). 20% koormustest nihutati 2 tundi varasemaks ja 20% kaks tundi hilisemaks. Summaarselt leiab koormuste elektritarbimine aset ajavahemikus 21:00...05:00. Kirjeldatud ajavahemik on sobiv analüüsiks eelkõige seetõttu, et elektri turuhind on ajavahemikus 21:00...6:00 alla keskmise [54], mil peamiselt hinnapõhist tarbimise juhtimist võidakse rakendada.

7.5 Simulatsiooni tulemused

7.5.1 Lähtemudel ilma nihutatavate koormusteta

Ilma nihutatavate koormusteta mudel kajastab vaadeldava kortermaja praegust olukorda, kus tarbimist ei juhita ja nihutatavad koormused puuduvad. Peakaitse koormatuse simulatsiooni tulemused ilma juhitavate koormusteta on näidatud joonisel (Joonis 7-12). Simulatsioon on koostatud kortermaja suurima elektritarbimisega päevale talveperioodil. Näidatud on tunni keskmine peakaitse koormatus protsentides kaitsme nimikoormatusest kolme faasi kohta eraldi.



Joonis 7-12. Peakaitse koormatuse simulatsiooni tunni keskmised tulemused ilma veeboileriteta.

Tulemused näitavad, et koormused pole faaside vahel võrdselt jagunenud. Faasi 2 koormus on mõnevõrra suurem kui teistel faasidel, erinevus teiste faasidega jääb vahemikku 4...5 %.

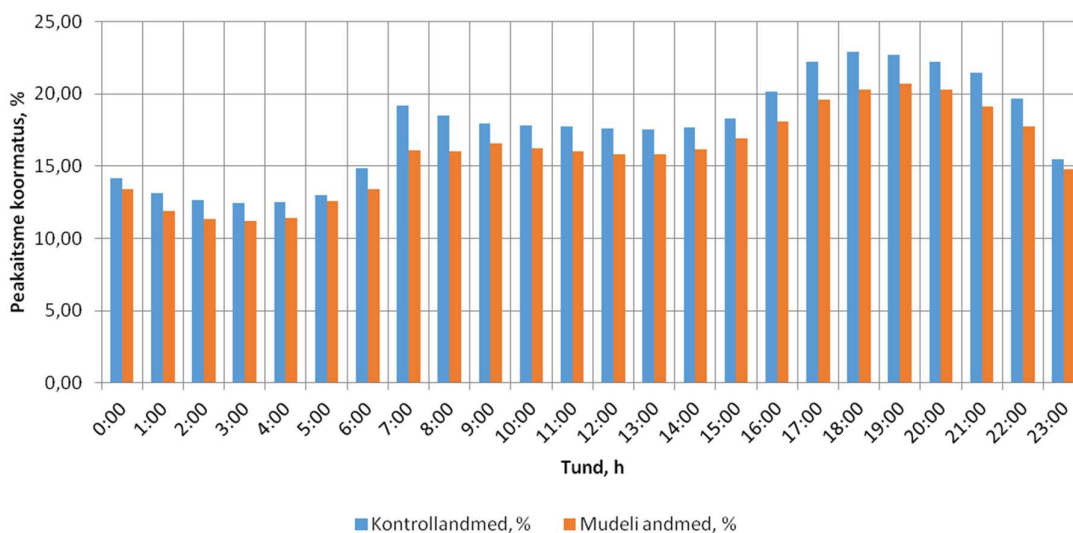
Erinevus on kõige väiksem varahommikul kell 5:00 ja 6:00, suurim aga õhtuse tiputarbimise ajal kell 18:00...20:00.

Tulemuste kohaselt ei ületa antud kortermaja peakaitsme suurim tunni keskmine koormatus ka õhtuse tiputarbimise ajal 22 %. Väikseim koormatus jääb alla 12 % ja see esineb varahommikul ajavahemikus 2:00...4:00.

7.5.2 Mudeli kontrollimine

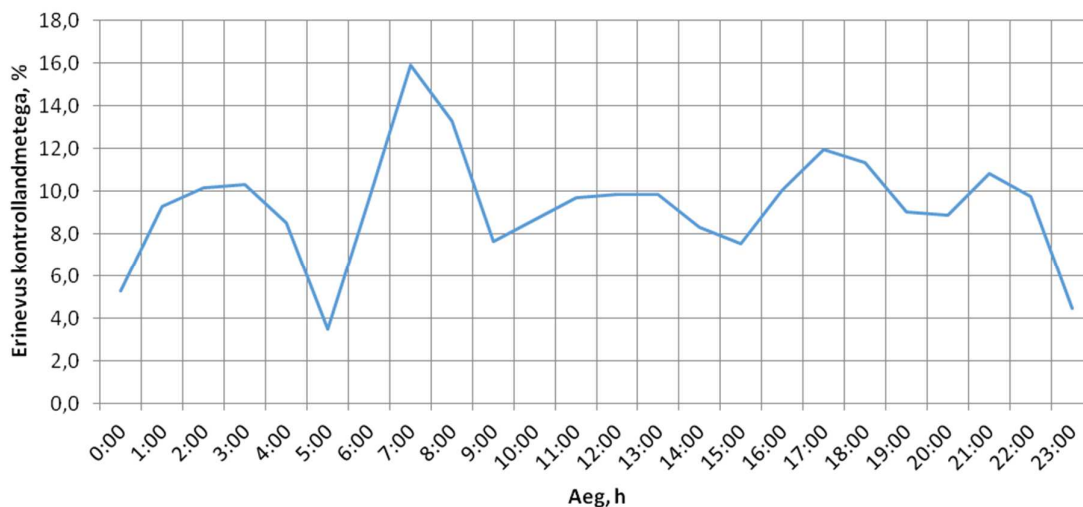
Kontrollimaks mudeli vastavust reaalsele tingimustele, küsiti Elektrilevi OÜ mõõteosakonnast viie sama tüüpi (5 korrust ja 60 korterit) kortermaja keskmised tarbimisandmed (vt peatükk 5). Viimaste aastate suurima tarbimisega kuu oli 2014. aasta jaanuar ning selle kuu tarbimisandmeid kasutati mudeli kontrollimiseks.

Mudeli simulatsioonitulemused ja Elektrilevi OÜ kontrollandmete võrdlus on toodud järgmisel joonisel (Joonis 7-13). Joonisel on näidatud simulatsiooni tulemused kolme faasi keskmisena.



Joonis 7-13. Peakaitsme koormatuse simulatsiooni tulemuste võrdlus Elektrilevi OÜ kontrollandmetega.

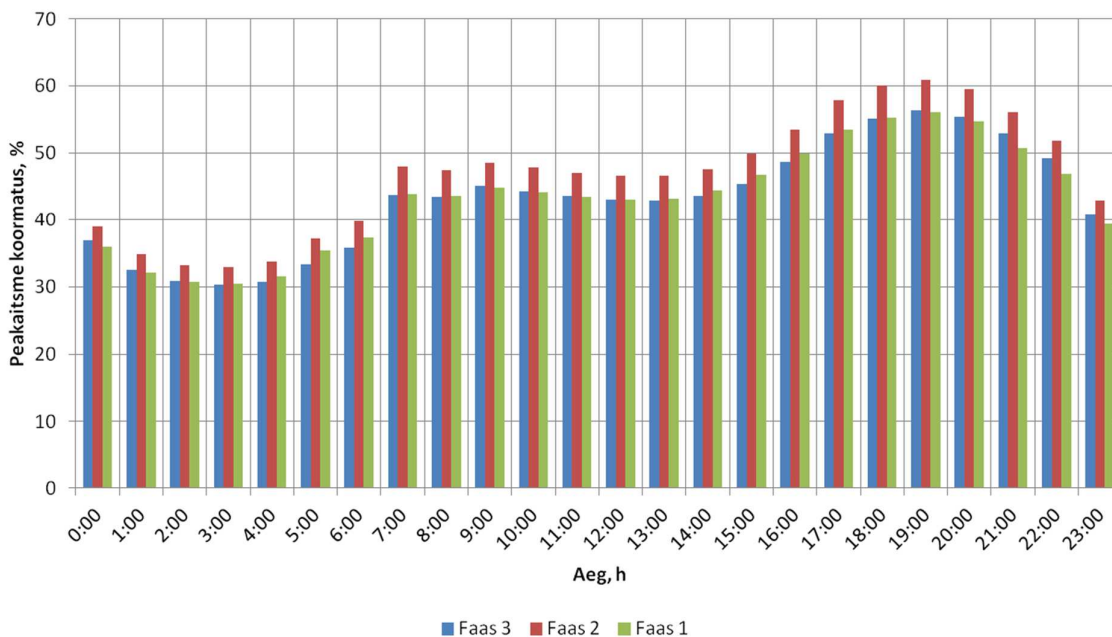
Tulemused näitavad, et elektritarbimine lähtemudeli järgi on väiksem kui kontrollandmete kohaselt. Erinevust ööpäeva jooksul protsentides kajastab järgmine joonis (Joonis 7-14). Sellelt graafikult on näha, et erinevused tundide lõikes varieeruvad laias vahemikus. Väikseim erinevus, 3,5 % on kell 5:00, suurim erinevus 16 % kell 7:00 hommikul.



Joonis 7-14. Simulatsioonitulemuste erinevus Elektrilevi OÜ kontrollandmetest protsentides tundide lõikes.

7.5.3 Stsenariumi 1 tulemused

Esimese stsenaariumi puhul tarbivad kõik juhitavad koormused elektrienergiat päeva kõigil tundidel (vt ka ptk. 7.4.1). Koormuste keskmine päeva jooksul tarvitav energia on jagatud ühtlaselt ööpäeva kõigile tundidele. Nende tarbimisgraafikute koostamise aluseks oli Elektrilevi OÜ 14. jaanuari 2015 tüüpkoormusgraafik.



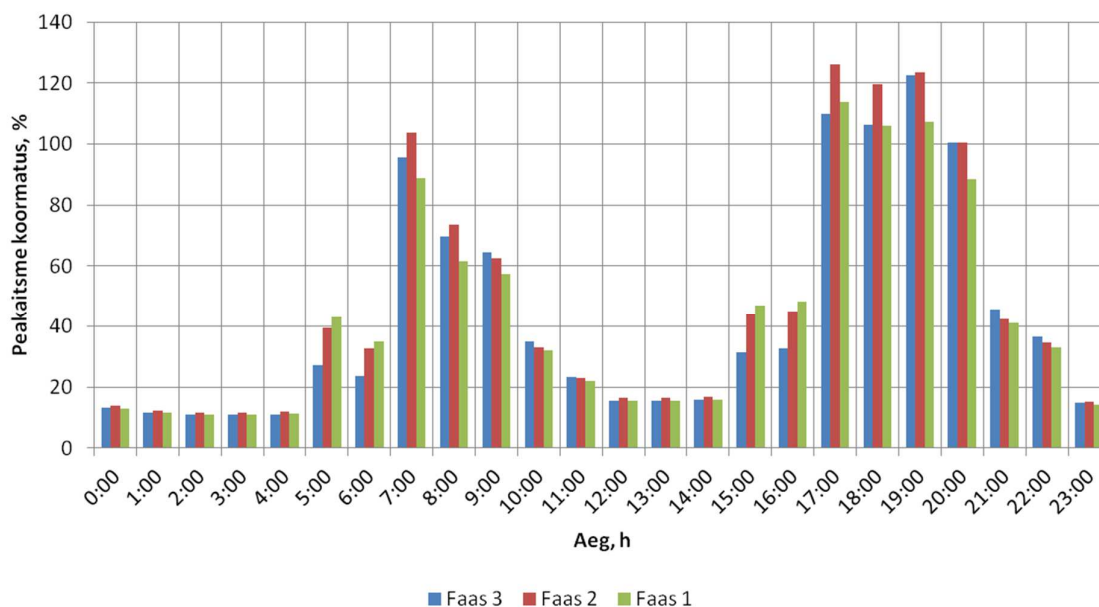
Joonis 7-15. Stsenariumi 1 simulatsioonitulemused: peakaitse koormatus suurima tarbimisega päeva tundide lõikes.

Tulemuste graafikult on näha, et minimaalne tunni keskmine võimsus esines ajavahemikus 3:00 kuni 4:00, kui faaside 1 ja 3 peakaitsme koormatus oli 30% ning faasi 2 peakaitsmel 33%. Maksimaalne tarbimine leidis aset ajavahemikus 19:00 kuni 20:00, kui faaside 1 ja 3 koormus oli 56% maksimaalsest ning faasil 2 61%.

7.5.4 Stsenaariumi 2 tulemused

Stsenaariumi 2 korral langeb kõigi juhitavate koormuste tarbimine kahele päeva tipptarbimise ajale: hommikune tipptund on vahemikus 5:00..9:00 ja õhtune tipptund 15:00...21:00.

Simulatsiooni tulemusi peakaitsme koormatuse vaates kujutab Joonis 7-16. Tulemustest nähtub, et kui juhitavate koormuste tarbimine langeb kokku muu tarbimise tippajaga, on nelja tunni jooksul ööpäevast peakaitsme nimikoormus ületatud, olles maksimaalselt kuni 126% (faas nr 2 kell 17:00-18:00). Ööpäeva kriitilised tunnid on kell 07:00...08:00 hommikul (suurima koormusega on faas 2, 104%) ja 17:00...20:00 õhtul, kui kõik faasid on üle koormatud. Kella 20:00 kuni 21:00-ni töötab peakaitse maksimaalkoormusel (faasid 2 ja 3 koormatud 100%-liselt, faas 188%).



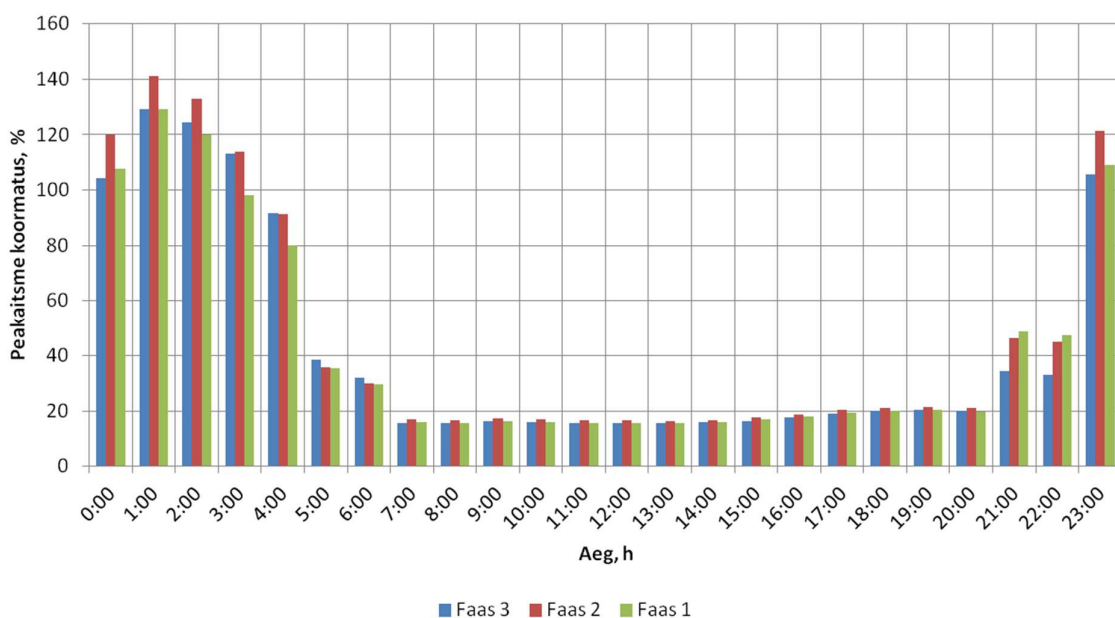
Joonis 7-16. Stsenaariumi 2 simulatsioonitulemused ööpäeva tundide lõikes.

Simulatsioonitulemustest nähtub, et kuna faaside koormatus pole ühesugune, võib ööpäeva mõnedel tundidel tekkida olukord, kus ühe faasi sular rakendub, kuid teised kaks faasi jäävad tööle.

7.5.5 Stsenaariumi 3 tulemused

Stsenaariumi 3 korral tarbivad kõik juhitavad koormused elektrit ainult öisel ajal, kui ülejäänud tarbimine on minimaalne. Selline muster on võimalik näiteks siis, kui kõigis korterites on salvestavad veeboilerid, mis tarbivad vee soojendamiseks elektrit öösel.

Joonis 7-17 kujutab simulatsiooni tulemusi. Nagu jooniselt näha, on peakaitse öisel ajal ajavahemikus 23:00 kuni 04:00 kuni 142% ulatuses üle koormatud. Seejuures kella 03:00 kuni 04:00-ni on kaks faasi kolmest üle koormatud. Päeval ajal kella 05:00-st kuni 21:00-ni on tarbimine sarnane ilma juhitavate koormusteta tarbimisele, jäädes maksimaalselt 22%-ni peakaitse koormatusest.

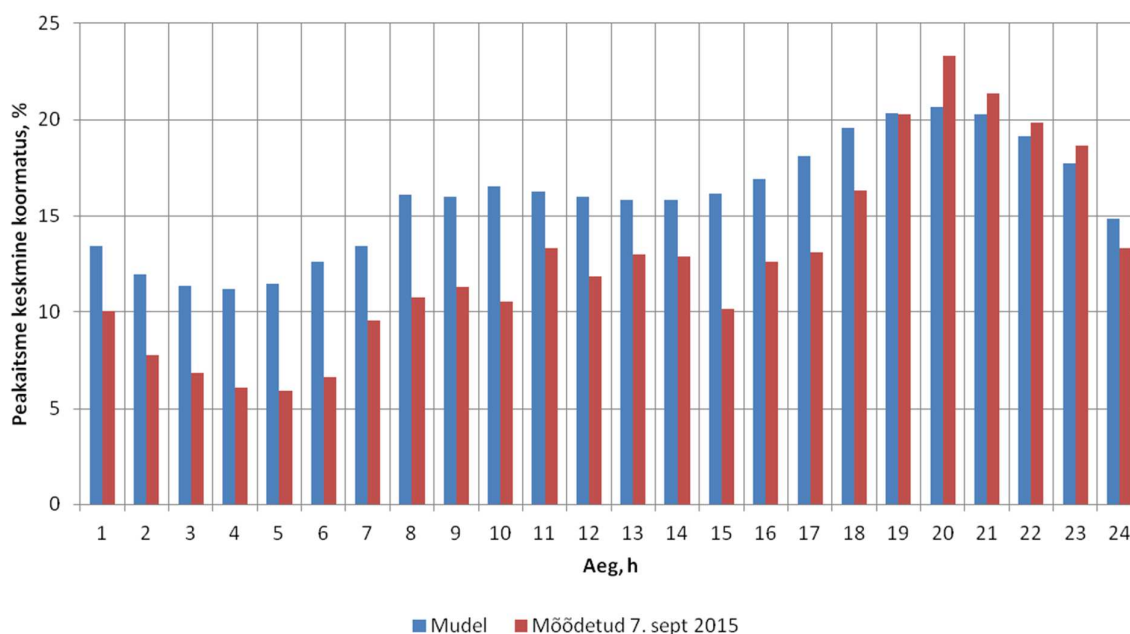


Joonis 7-17. Stsenaariumi 3 simulatsioonitulemused ööpäeva tundide lõikes.

8 VÖRDLEV ANALÜÜS JA JÄRELDUSED

8.1 Lähtemudeli võrdlus mõõteandmetega

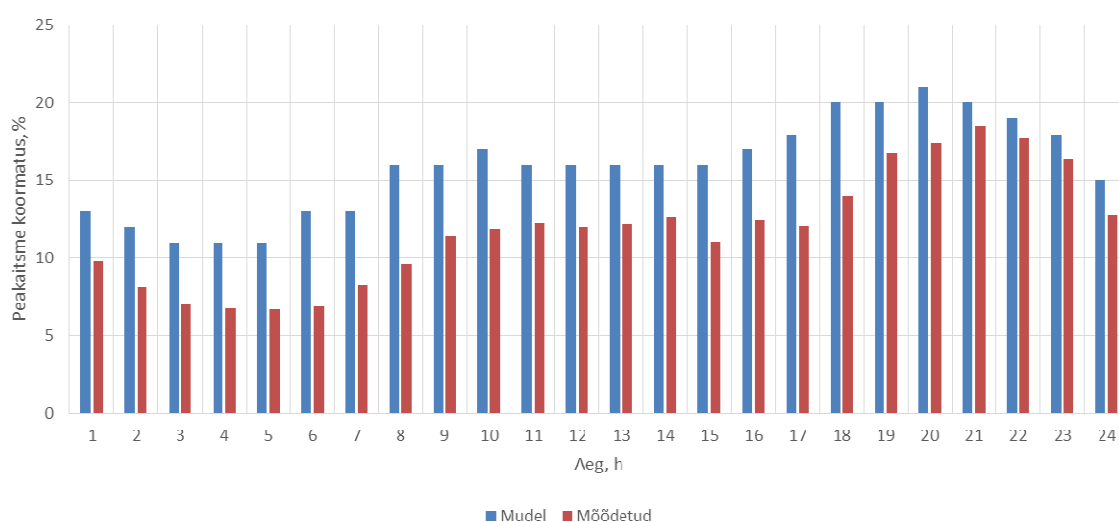
Kuna maja peajaotuskeskuses tehti septembrikuu alguses mõõtmised, on võimalik tulemusi võrrelda koormusteta lähtemudeli simulatsioonitulemustega ja hinnata simulatsioonitulemuste täpsust. Joonis 8-1 kujutab nihutatavate koormusteta mudeli peakaitsme koormatuse võrdlust tegelike mõõteandmetega ühe mõõtepäeva jooksul, mis oli mõõteperioodi suurima koormusega päev. Nagu jooniselt näha, on mudeldatud tarbimine ööpäeva vältel ühtlasem kui tegelik mõõdetud tarbimine. Minimaalse tarbimisega varahommikul ajal oli peakaitsme tegelik koormatus pea 2 korda väiksem kui lähtemudelis. Samas õhtuse tipptarbimisega ajal ületas tegelik tarbimine mudeli tarbimise: ajavahemikul 19:00-20:00 oli peakaitsme tegelik keskmine koormatus üle 23 %, kuid mudelis samal ajal 20,5 %. Keskmine erinevus ööpäeva jooksul mudeli ja konkreetse mõõtepäeva vaheliste tulemuste vahel on siiski 3,13 protsendipunkti mudeli kasuks.



Joonis 8-1. Peakaitsme koormatuse võrdlus: mudel ilma nihutatavate koormusteta ja 7. septembril mõõdetud tulemused.

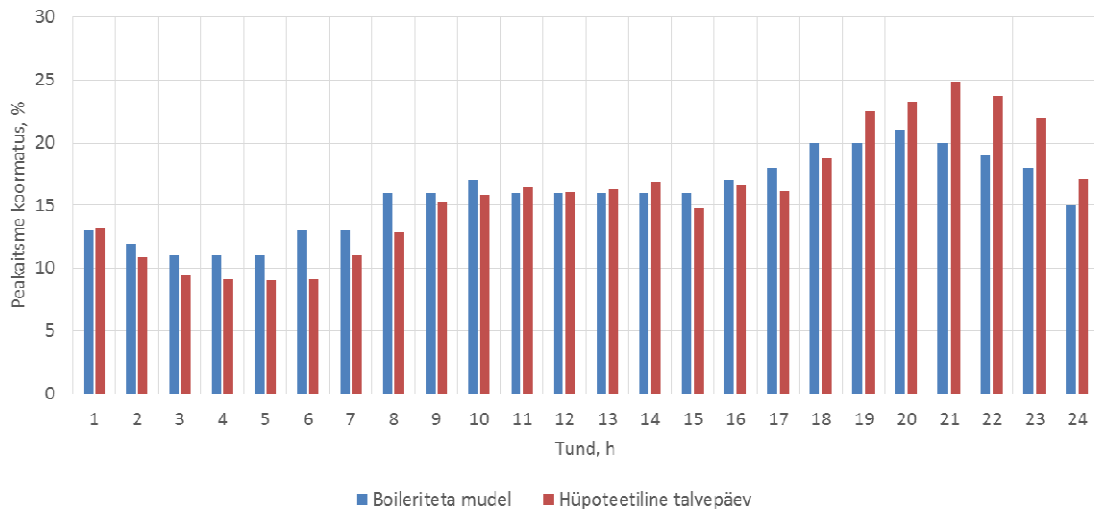
Mudelis kasutatud tarbimisgraafikud on koostatud OÜ Elektrilevi 2015. aasta jaanuarikuu eramute ja väikeäride tüüptarbimisgraafiku põhjal ning käesolevad tulemused näitavad ilmekalt, kuidas kortermaja tegelik ööpäevane tarbimine võib erineda tüüpkoormusgraafikust.

Joonis 8-2 kujutab mudeli simulatsioonitulemuste võrdlust mõõteperioodi keskmiste väärtustega. Võrreldes eelmise graafikuga on siin erinevused mudeli tulemustest väiksemad, kuna arvesse on võetud kolme ööpäeva keskmised mõõteandmed. Sel joonisel ei ületa ükski mõõteperioodi keskmine tunnikoormus mudeli simulatsioonitulemusi. Samas on säilinud seaduspära, et minimaalse tarbimisega ajal on erinevused simulatsioonitulemustest suuremad kui maksimumtarbimisega ajal. Võttes arvesse, et mudel modelleerib jaanuarikuu maksimaalse tarbimisega päeva, võib oletada, et tegelikkuses on külmadel talvapäevadel maja keskmine tarbimine öhtusel tipua ajal märksa suurem kui tüüpkoormusgraafiku järgi võiks eeldada.



Joonis 8-2. Peakaitsme koormatuse võrdlus: nihutatavate koormusteta mudeli tulemused ja mõõteperioodi keskmine koormatus tundide lõikes.

Lähtemudeli simulatsioonitulemuste keskmine erinevus mõõteperioodi keskmistest väärtustest oli 4 protsendipunkti mudeli kasuks. Peab meeles pidama, et mudel simuleerib maksimaalse tarbimisega talvapäeva ning neid tulemusi võrreldakse septembri andmetega, mis ei kajasta aasta tegelikke maksimumväärtusi. Tegelikku maksimumi saab hinnata, eeldusel, et talvise tegeliku koormusgraafiku kuju jääb sarnaseks septembri koormusgraafikule. Talvisel külmal ajal võib öhtune tegelik koormustipp olla hinnanguliselt kuni 5 protsendipunkti võrra suurem kui tüüptarbimisgraafiku öhtune tipp (Joonis 8-3). Samal ajal hommikune miinimumtarbimine on vähemalt 7 tunni vältel tüüpgraafikuga võrreldes madalam.



Joonis 8-3. Peakaitse koormatus: nihutatavate koormusteta mudeli tulemused ja hinnanguline tegeliku talvepäeva tarbimine.

8.2 Tarbimise juhtimise stsenaariumite tulemuste analüüs

Tarbimise juhtimise modelleeritud stsenaariumite tulemuste tõlgendamisel tuleb arvestada järgmiste oluliste teguritega, mis ilmnevad nii mõõteandmetest kui maja elektripaigaldise ehitusest:

- maksimaalse tarbimisega talvepäeval võib öhtune koormustipp olla oluliselt suurem kui tüüpkõormusgraafik ette näeb;
- faaside koormused on reaalsuses väga ebahühtlaselt jagunenud ning tarbimise agregeeritud juhtimine ühefaasiliste koormustega suurendab faasidevahelisi erinevusi absoluutsuurustes veelgi;
- maja peakaitse kolm sularit võivad rakenduda üksteisest sõltumatult, jättes tööle kaks või ühe faasi;
- maja juhistik peajaotuskeskuses võib olla sulavkaitsmete karakteristikutele mittevastav, mis tähendab, et sularid ei rakendu õigeaegselt ja juhistikus tekib suur ülekoormuse oht.

Vastavalt läbiviidud simulatsioonile ja mõõtmistele, saab stsenaariumite rakendatavuse osas teha järgmised järeldused:

1. **Stsenaariumi 1** tulemused (Joonis 7-15) näitavad, et koormuste ühtlane jagunemine ööpäeva peale jätab koormusgraafiku kuju sarnaseks nihutatavate koormusteta graafikule, kuid tõstab maksimaalse tarbimise 62%-ni peakaitsme koormatusest.
2. **Stsenaariumi 2** kohaselt langesid nihutatavate koormuste tarbimised kokku päevaste tiputarbimise aegadega (Joonis 7-16). Tulemused näitavad, et 4 tunni jooksul ööpäevas on peakaitse üle koormatud. Need kriitilised tunnid on kell 07:00...08:00 hommikul ja 17:00...20:00 õhtul. Kella 20:00 kuni 21:00-ni töötab peakaitse maksimaalkoormusel.
3. **Stsenaariumi 3** järgi tarbisid antud mudelis juhitud koormused öisel ajal ajavahemikus 21:00...05:00 (Joonis 7-17). Tulemuste kohaselt on maja peakaitse kella 23:00-st kuni 04:00-ni üle koormatud. See näitab, et ehkki öist aega peetakse üldiselt vähese koormusega ajaks, mil saaks nihutatavad koormused elektrit tarbida, ei saa seda stsenaariumit vaadeldud tingimustel kortermajas rakendada. Kortermaja korterid on omavahel nii trepikodade kaitselülitite kui maja peakaitse kaudu seotud ning nende maksimaalne üheaegsustegur on erinevate tasemete kaitseaparatuuride nimiväärtuste ja juhistike ristlõigete poolt piiratud.

Täpsustavad märkused stsenaariumite rakendamisele:

1. Vaatamata sellele, et **stsenaariumi 1** puhul peakaitsme koormatus ei ületa lubatavat maksimumi, tuleb arvesse võtta faaside ebavõrdseid koormusi. Maja kõik korterid on ühefaasilised ning koormuste lisandumisel võivad faasidevahelised erinevused suurened. Siinkohal peaks maja tarbimise juhtimisel püüdma pigem faaside koormusi ühtlustada ja samal ajal jälgima peakaitsme faaside koormatust.
2. Arvestades eelpool toodud lähtemudeli ja maja tegeliku koormuse võrdlust, pole võimalik antud kortermajas nihutatavate koormuste tarbimist **stsenaariumi 2** kohaselt juhtida. Lähtemudeli analüüsist selgus, et tegelike koormusmaksimumide ajal võib maja peakaitse koormus olla oluliselt suurem kui mudel näitab. Nihutatavate koormuste tarbimised tuleks sellest tulenevalt ajastada väljapoole maja tiputarbimise aegasid. Lisaks võib eeldada, et maja tipukoormuse aegadega langevad kokku ka teiste majade tiputarbimised, on kogu elektrivõrgu seisukohast eelistatav koormuste ajaliselt võimalikult hajutatud tarbimine ja tarbimine pigem ööpäeva koormusmiinimumide ajal.
3. Analüüsides **stsenaariumi 3** tulemusi konkreetse maja vaates, pole kõigi nihutatavate koormuste sisselülitamine ainult öisel ajal lubatud. Kuigi antud stsenaariumi korral oli

- juhitavate koormuste tarbimine ajaliselt hajutatud 4 tunni ulatuses, pole see siiski piisav ajaline nihe. Tulemused näitavad peakaitsme ülekoormust kuni 42% ulatuses. Lisaks võib tegeliku maja puhul olukorda halvendada faaside ebavõrdne koormatus, mida juhitavad koormused võivad suurendada.
4. Tarbimise juhtimise võimalusi antud majas suurendaks peakaitset läbivate voolude kontrollimine ja ajaliselt suurem hajutamine kogu ööpäeva peale vältides seejuures öhtust koormusmaksimumi aega.

8.3 Piirang tarbimise juhtimisele vaadeldavas kortermajas

Olemasolevast paigaldisest tulenev põhiline piirang tarbimise juhtimisele on järgmine:

1. 100 A nimivooluga gG-tunnusjoonega sulari karakteristiku tõttu on lubatav kestev ülekoormus 60%, ehk kaitse ei pruugi rakenduda, kui voolutugevus on 160 A kahe tunni jooksul.
2. Maja peakaitsemest lähtuvate magistraalliinide ristlõige on 25 mm², mis tähendab suurimat koormustaluvust 107 A ehk ülekoormuse taluvust 7%, mis pole vastavuses punktiga 1.

Olemasoleva paigaldise seisukorrast tulenevalt hinnang tarbimise juhtimise stsenaariumite rakendatavusele on järgmine.

1. Stsenaarium 1 on rakendatav, sest peakaitse on koormatud kuni 62%. Soovitav on seejuures samal ajal jälgida faaside koormusi eraldi.
2. Stsenaarium 2 pole rakendatav, sest peakaitse on teatud aegadel keskmiselt koormatud enam kui 120%
3. Stsenaarium 3 pole rakendatav, sest peakaitse on teatud aegadel keskmiselt koormatud enam kui 140%

Juhul kui peajaotuskeskuse kaabeldus viiakse peakaitsemega vastavusse, on rakendatavad kõik tarbimise juhtimise stsenaariumid, eeldusel, et järgitakse koormuste ühtlustamist faaside vahel. Minimaalne vajalik ristlõige selleks on vaskjuhi korral 50 mm².

9 KOKKUVÕTE

Käesolev töö käsitleb elektritarbimise agregeeritud juhtimise mõju elektri kvaliteedile 60 korteriga kortermajas. Töö käigus koostati maja tarbimise mudel ja simuleeriti elektritarbimist programmiga PowerFactory firmalt DIGSILENT. Mudel käsitles nii algset lähteolukorda ilma juhitavate koormusteta ning nihutatavate koormuste tarbimise juhtimise kolme stsenaariumit. Tarbijate käitumise modelleerimiseks jagati nad nii tarbimismahu kui ajalise erinevuse poolest kokku 6 rühmaks. Nihutatavate koormustena võib antud kortermajade raames vaadelda ühefaasilisi elektrilisi veeboilereid või elektriküttekehasid.

Stsenaariumi 1 kohaselt tarbisid nihutatavad koormused ühtlaselt kogu ööpäeva jooksul. Stsenaariumi 2 kohaselt langes kõigi korterite nihutatavate koormuste tarbimine kokku päeva ülejäänud tarbimise tipuaegadega. Stsenaariumi 3 järgi tarbisid nihutatavad koormused ainult öötundidel. Tulemusi võrreldi nii Elektrilevi OÜ poolt väljastatud maksimaalse tarbimisega päeva võrdlusandmetega kui ka septembris mõõdetud reaalsete maja tarbimisandmetega.

Töö tulemusena saab välja tuua vaadeldavas majas tarbimise juhtimist piiravad tegurid ning teha nende näitel ettepanekud nii tehniliste kui regulatiivsete meetmete rakendamiseks.

9.1 Tarbimise juhtimisega kaasnevad probleemid

Vaadeldavas kortermajas pole hetkel võimalik suuremahuline tarbimise juhtimine tulenevalt maja elektripaigaldise olukorrast. Probleeme tekitavad nii nõuetekohasest väiksema ristlõikega kaablid peajaotuskeskuses kui ka faaside väga ebahütlane koormus.

Tarbimise juhtimine ilma maja elektripaigaldist rekonstrueerimata oleks võimalik vaid osaliselt mitte kõiki kortereid hõlmates. Sealjuures peab kontrollima peakaitsme faasivoolude suurus ja ajastama juhitavad koormused nii, et need ei langeks kokku muu tarbimise maksimumaegadega.

Tarbimise juhtimisega kaasnevad vaadeldavat tüüpi kortermajades mitmed probleemid. Järgnevalt on need lühidalt eraldi välja toodud:

- Maja elektripaigaldise olukord võib olla sobimatu nii ohutuse mõttes kui ka tarbimise juhtimise vaates. Tehtud tehniline kontroll ei suutnud tuvastada mitmeid olulisi puudujääke, mistõttu maja elektripaigaldis ei vasta hoolimata kontrollist kõigile nõuetele.
- Maja korterid ja koormused on faaside lõikes ebahütlaselt jagunenud. Mõõtmised näitasid, et tunni keskmised koormused võivad faaside vahel erineda isegi üle kahe

korra. Tarbimise juhtimisel tuleks seda arvestada: näiteks rekonstrueerida maja elektripaigaldis ja ühendada osa kortereid teistele faasidele, nii et koormused faaside vahel ühtlustuvad.

- Kuna tarbimise juhtimine ja aja jooksul toimuv koormuste kasvamine hoonetes (sh korterites) esitavad kaitseaparatuuridele ning juhistikule suuremad nõudmised, peab eelnevalt kindlaks tegema, kas juhistik vastab kaitseseadmete omadustele. Käesolevas töös tuli uuritava maja näitel välja, et peajaotuskeskuse juhistik oma ristlõikepindalalt ei ole sobilik 100A nimivooluga gG-tüüpi sularite kasutamiseks.
- Maja koormusi ei saa juhtida nii, et põhiline tarbimine toimub öösel (stsenaarium 3). Kui kõik koormused 4 tunnise hajutatusega lülitada ööseks sisse (näiteks veeboilerite või elekterküttena), tekib peakaitsemel suur ülekoormus (simulatsioonitulemuste kohaselt kuni 42%). Lahenduseks oleks siin koormuste juhtimine ajaliselt hajutatuna kogu ööpäeva peale, jälgides samal ajal peakaitseme koormatust.
- Antud töös võeti lähtemudeli koostamisel aluseks Elektrilevi OÜ tüüptarbimisgraafikud. Lähtemudelit võrreldi maja tegeliku tarbimisega. Töö käigus selgus, et tüüptarbimisgraafikud ei pruugi koormustippude osas piisavalt hästi kajastada kortermajade tegelikku tarbimist. Septembrikuu ühe mõõtepäeva keskmised koormused õhtusel tipuajal ületasid oluliselt talvepäeva tüüpgraafikujärgset tarbimist, mis peaks olema suurem septembrikuu tarbimisest.

9.2 Ettepanekud meetmete rakendamiseks

Eelpool väljatoodud probleemide lahendamiseks ja ennetamiseks tuleks kasutada nii tehnilisi kui ka regulatiivseid meetmeid, mida käsitletakse järgnevalt.

Tehniliste meetmetena, mis võimaldaksid tulevikus rakendada tarbimise agregeeritud juhtimist, võib käesoleva töö raames nimetada järgmisi:

- Hoonesiseste võrkude rekonstrueerimine ja tugevdamine, et oleks tagatud juhistiku ja kaitseaparatuuri vastavus koormuste suurenemisele.
- Maanduspaigaldise ja juhtide isolatsiooni kontrollimine ja rekonstrueerimine.
- Agregeeritud tarbimise juhtimise kellaajaline hajutamine ööpäeva lõikes sõltuvalt hoone sisendi ja alajaama koormuse tagasisidest.
- Tarbimise juhtimise lahenduse modelleerimisel ja kavandamisel tuleks arvesse võtta vaadeldava kortermaja reaalselt tarbimist. Siinjuures ei piisa tüüpkoormusgraafikutest või kaugloetavate arvestite tundide keskmistest näitudest. Vaja oleks koormuste

maksimumvõimsusi. Objektiivseima tulemuse saamiseks on vaja hoones läbi viia pikema aja jooksul elektritarbimise mõõtmised, et tuvastada peakaitset läbivate voolude muutumisiapason, tarbitavad võimsused faaside löikes ning võimalik koormuste ebahütlane jagunemine.

Regulatiivsete meetmetena, mis looksid eeldused vaadeldavates kortermajades tarbimise agregeeritud juhtimise ohutuks rakendamiseks, võiks välja tuua järgmised:

- Muuta majandus- ja taristuministri määruse nr 86 (vastu võetud 03.07. 2015) „*Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele*“ paragrahvi 10 lõikeid 2 ja 3, nii et kõigi 2. liigi elektripaigaldiste korralise auditi sagedus oleks kuni 5 aastat. Kortermajade elektripaigaldiste olukord on ajas halvenev ning praegune tehnilise kontrolli sagedus iga 10 aasta järel (2. liigi elektripaigaldistele) ning selle ulatus ei pruugi olla piisav, mistõttu tuleb tõsta majade üldkasutatavate elektripaigaldiste kontrolli sagedust ja põhjalikkust.
- Defineerida nii *Seadme ohutuse seaduses* kui ka selle alusel kehtestatud majandus- ja taristuministri määruse nr 86 (vastu võetud 03.07. 2015) „*Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele*“ paragrahvis 10 lõikes 3 toodud mõiste „*ümberehitatud elektripaigaldis*“, et vältida määruse lõike 3 nõuete kohaldamisala mitmeti mõistetavust.
- Tihendada järelevalvet tehnilise kontrolli tegijate suhtes ning vajadusel karmistada nii tehnilise kontrolli tegijate, paigaldajate kui ka omanike karistusi, sest vaadeldavas majas jäid kontrollist hoolimata parandamata mitmed olulised puudused (nõuetele mittevastavad joonised, ebapiisavad juhistiku ristlõiked, usaldusväärselt kontrollimata maanduspaigaldis jm). Järelevalvet auditite nõuetele vastavuse kohta töö koostamise ajal kehtinud korra järgi ei teostata, kuid paigaldise omanikul on auditi tegijalt nõuetele mittevastava tegevuse korral võimalik nõuda kahjude kompenseerimist (vt ka Lisa 2 – Tehnilise Järelevalve Ameti peaspetsialisti Meelis Kärti selgitusi elektripaigaldiste järelevalve teostamise kohta, punkt 2).
 - Selleks lisada majandus- ja taristuministri määrusele nr 86 (vastu võetud 03.07. 2015) „*Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele*“ vastavad paragrahvid.
 - Samuti muuta *Ehitusseadustiku* paragrahvi 130, kuhu lisada nõuded Tehnilise Järelevalve Ameti poolt tehtava järelevalve korra ja mahu kohta

elektripaigaldiste ja elektripaigaldiste audititele kehtestatud nõuete täitmise suhtes (vt täpsemalt järgmine meede).

- Vajadusel muuta rangemaks *Ehitusseadustiku* peatüki 16 „Vastutus“ paragrahve 134, 135 ja 136.
- Muuta *Ehitusseadustiku* paragrahvi 130 lõiget 3, mille kohaselt pole praegu täpsustatud, kui sageli ja millises mahus Tehnilise Järelevalve Amet kontrollib elektripaigaldiste ning paigaldise auditite tegemise vastavust neile esitatavatele nõuetele. Eelnevast ajast, kui kehtis veel *Elektriohutusseadus*, oli teada, et kontroll on pisteline ja väikesemahuline [56]. Selline määramatus tänases seadusandluses ei distsiplineeri ei projekteerijat, ehitajat ega auditite tegijaid oma tööd nõuetekohaselt tegema, kuna teatakse, et nn vahelejäämise tõenäosus on väike. Sõltuvalt hoone elueast oleks tulevikus mõistlik seadusandlikult üheselt mõistetavalt diferentseerida ja tihendada hoone elektripaigaldise kontrolli sagedust. Sama rakendada ka hoone konstruktsioonidele.
- Muuta majandus- ja taristuministri 26. juunil aastal 2015 vastu võetud määrust nr 74 „*Elektripaigaldise käidule ja elektritööle esitatavad nõuded*“ nii, et elektripaigaldise kasutamise järelevaataja (eelmise nimega käidukorraldaja) määramine oleks kohustuslik alates 63 A nimivooluga peakaitsmega madalpingepaigaldistele.

10 KASUTATUD KIRJANDUS

1. A Demand Response Action Plan for Europe. Regulatory requirements and market models. – Belgia: Smart Energy Demand Coalition, 2013 – 47 lk.
2. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2012/27/EL (*Energiatõhususe direktiiv*) // Euroopa Liidu Teataja, L315, 14.11.2012, lk L315/1...L315/56.
3. Rosin, A.; Drovtar, I.; Link, S.; Hõimoja, H.; Mölder, H.; Möller, T. Tarbimise juhtimine. Suurtarbijate koormusgraafikute salvestamine ning analüüs tarbimise juhtimise rakendamise võimaluste tuvastamiseks. // Eleringi toimetised, nr 3/2014 (8), 56 lk.
4. Energiamaajanduse riiklik arengukava aastani 2020. – Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009 – 66 lk.
5. ENMAK 2030+. Eesti energiamaajanduse arengukava aastani 2030. Eelnõu 23.10.2014 – Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2014 – 95 lk.
6. Eesti elektrimaajanduse arengukava aastani 2018 – Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009 – 50 lk.
7. Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020 - Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2010 – 63 lk.
8. Kalamees, T.; Õiger, K.; Kõiv, T.-A.; jt Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõppraport. – Tallinn: TTÜ Ehitusteaduskond, 2009 – 188 lk.
9. Ehitisregister, www.ehr.ee (7.02.2015)
10. Окландер А.М. jt. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по реконструкции и модернизации инженерного оборудования жилых домов первых массовых серий. – Москва, Государственный комитет Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике, 1998 – 38 lk.
11. Aru, K. Trafode keskpingekaitsmete valiku selgitus. OÜ Elektrilevi sisedokument. – Tallinn, 2013 – 7 lk.
12. Raudjärv, R.; Kuskova, L. Energiatarbimine kodumajapidamistes. // Eesti Statistika kvartalikirj 1/13 (2013) 1, lk 6...13.
13. Paatero, J. V.; Lund, P. D. A model for generating household electricity load profiles. // International Journal of Energy Research, vol 30 (2006) nr 5, lk 273...290.
14. Yao, R.; Steemers, K. A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK. // Energy and Buildings 37 (2005), lk 663...671.

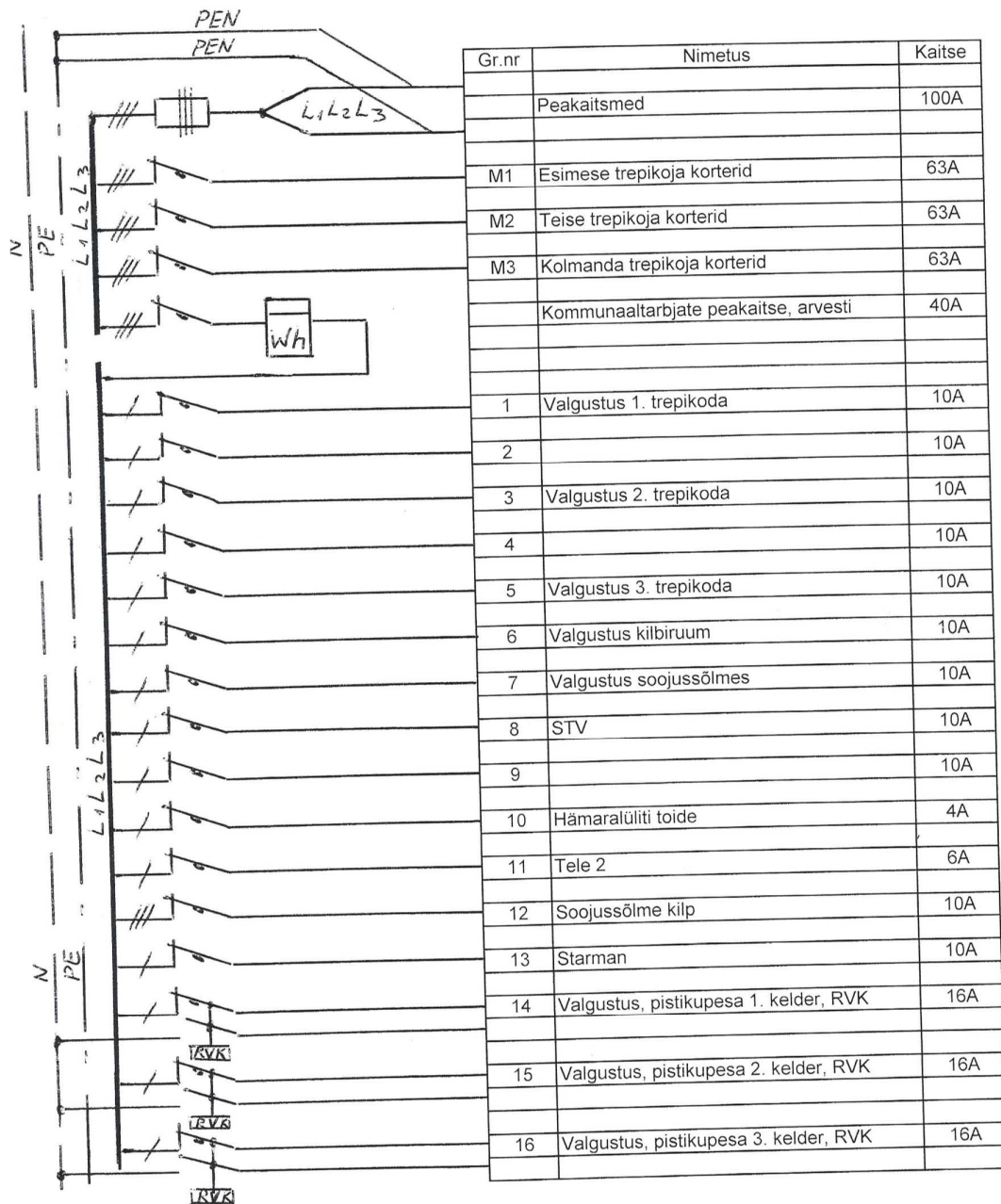
15. Richardson, I.; Thomson, M.; Infield, D.; Clifford, C. Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. // *Energy and Buildings* 42 (2010), lk 1878...1887.
16. Richardson, I.; Thomson, M.; Infield, D. A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. // *Energy and Buildings* 40 (2008), lk 1560...1566.
17. Richardson, I.; Thomson, M. Electricity Demand Model – Simulation Example, Loughborough University Institutional Repository, 2010, <http://hdl.handle.net/2134/5786> (vaadatud 01.02.2015)
18. McLaughlin, S.; Kiprakis, A.; Collin, A.; Tsagarakis, G. Development of Low-Voltage Load Models for the Residential Load Sector. // *IEEE Transactions on Power Systems* 10 (2014).
19. Collin, A.; Tsagarakis, G.; Kiprakis, A.; McLaughlin, S. Multi-scale Electrical Load Modelling for Demand-Side Management. *3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe*, Berlin, 2012, lk 1...8.
20. Collin, A.; Hernando-Gil, I.; Acosta, J.; Djokic, S. An 11 kV Steady State Residential Aggregate Load Model. Part 1: Aggregation Methodology. *IEEE Trondheim Power Tech conference*, 2011, Norra, lk 1...8.
21. Collin, A.; Tsagarakis, G.; Kiprakis, A. Modelling the Electrical Loads of UK Residential Energy Users. *Proceedings of the 47th International Universities' Power Engineering Conference 2012*, UK London, lk 1...6.
22. Navarro, A.; Ochoa, L.; Mancarella, P. Learning from residential Load Data: Impacts on LV Network Planning and Operation. // *IEEE Transactions*, 2012, lk 1...8.
23. Karmacharya, S.; Putrus, G.; Underwood, C.; Mahkamov, K. Evaluation of Domestic Electrical Demand and Its Effect on Low Voltage Network. *47th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, 2012, London, lk 1...4.
24. Dickert, J.; Schegner, P. Residential Load Models for Network Planning Purposes. *Conference Modern Electric Power Systems 2010*, Poola, lk 1...6.
25. Gwisdorf, B.; Stepanescu, S.; Rehtanz, C. Effects of Demand Side Management on the Planning and Operation of Distribution Grids. *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe) 2010 IEEE PES*, Gothenburg, lk 1...6.
26. Lehde, B.; Zdrallek, M. New Load and Infeed Approaches for Cost-Efficient Low-Voltage Grid Design. *22nd International Conference on Electricity Distribution*, Stockholm, 2013, lk 1...4.

27. Chatlani, V.; Tylavsky, D.; Montgomery, D.; Dyer, M. Statistical Properties of Diversity Factors for Probabilistic Loading of Distribution Transformers. *39th North American Power Symposium 2007, USA*, lk 555...561.
28. Groot, R.; Morren, J.; Slootweg, J. Investigation of Simultaneity in Distribution Networks for the Assessment of DA Feasibility. *47th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, 2012, London, lk 1...6.
29. Wright, A.; Firth, S. The nature of domestic electricity-loads and effects of time averaging on statistics and on-site generation calculations. // *Applied Energy* 84 (4) 2007, pp 389-403.
30. Kaufmann, W. Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme. – Frankfurt am Main: VDE-Verlag, 1995 – 254 lk.
31. Raesaar, P. Aine „AEK3025 Alajaamad“ loengukonspekt. – Tallinn: TTÜ Elektroenergeetika instituut, 2000 – 35 lk.
32. IEC60050-691:1973 International Electrotechnical Vocabulary. Tariffs for electricity. – Tallinn, Eesti Standardikeskus. Internetis kättesaadav aadressilt: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=691> (7.02.15)
33. Kull, R.; jt. Inglise-eesti tehnikasõnaraamat – Tallinn: kirjastus Euroõlikool, 2000 – 1000 lk.
34. Electrical installation guide 2010 – Prantsusmaa: Schneider Electric S. A., 2010 – 492 lk.
35. Elamute elektripaigaldised. – Tallinn: Eesti Elektritööde Ettevõtjate Liit, EETEL-EKSPERT, 2005. – 244 lk.
36. Power Engineering Guide – Saksamaa: Siemens AG, 2008 – 419 lk.
37. Meldorf, M.; Tammoja, H.; Treufeldt, Ü.; Kilter, J. Jaotusvõrgud. – Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2007 – 546 lk.
38. Varahalduse põhimõtted. Elektrilevi OÜ, 23.10.2014 – 27 lk.
39. Mere, T. Eesti energiapoliitika mõju riigi konkurentsivõimele. Ettekanne konverentsil „Eesti uus energiapoliitika“, 7. november 2014, Tallinn.
40. Elektrilevi OÜ liitumistingimused. Kehtivad alates 01.01.2015. Kättesaadavad Elektrilevi OÜ kodulehelt www.elektrilevi.ee (5.05.2015).
41. Elektriturseadus. Redaktsiooni kehtivus 01.01.2015...30.06.2015. Elektrooniline Riigi Teataja. Kättesaadav aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/112072014021> (07.05.2015)

42. Elmi, R. Kortermajade elektripaigaldiste renoveerimine. Magistritöö – Tallinn: TTÜ Elektrotehnika instituut, 2015 – 68 lk.
43. EEI 3-5:1994. Ehitiste madalpinge-elektripaigaldised. 5. osa: Elektriseadmete valik ja paigaldamine – Tallinn, Elektrikontrollikeskus, 1996 – 77 lk.
44. Vihtol, S. Tallinnas Preesi tänava elektrivõrgu rekonstrueerimine tarbimiskohtade üleviimiseks 3x220 V pingesüsteemilt 3x230/400 V pingesüsteemile. Magistritöö. – Tallinn: TTÜ Elektroenergeetika instituut, 2015 – 108 lk.
45. Tanilsoo, A. Hinsa alajaama ja selle jaotusvõrgu rekonstruktsioon. Bakalaureusetöö energiakasutuse erialal. – Tartu: Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut, 2014 – 69 lk.
46. Raesaar, P. Elektrivõrkude erikursus. Elektrivõrkude töökindlus. Loengukonspekt. – Tallinn: TTÜ Elektroenergeetika instituut, 2010 – 157 lk.
47. Noorkõiv, R.; Loodla, K. Rahvastiku võimalikud arengutrendid 2012-2030. – Tartu: Geomedia, 2012 – 37 lk.
48. Energiatarbimine kodumajapidamistes. Energiatalgud. Kättesaadav aadressilt: http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Energiatarbimine_kodumajapidamistes (14.05.2015)
49. OÜ Elektrilevi infohaldussüsteem Xpower.
50. Elektrilevi OÜ 0,4 – 20 kV võrgustandard. Osa P345/2. Tingmärgid. – Tallinn: Elektrilevi OÜ, 2013 – 22 lk.
51. Saksa Energia- ja Veemajanduse Assotsiatsioon BDEW. www.bdew.de (18.02.15)
52. Elektrilevi OÜ. Võrguteenuse hind: reaktiivenergia. Kodulehekülg: <https://www.elektrilevi.ee/reaktiivenergia> (25.10.15)
53. Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafikud. Kodulehekülg: <https://www.elektrilevi.ee/> (22.03.15)
54. Auvaart, A.; Rosin, A.; Belonogova, N.; Lebedev, D., "NordPoolSpot price pattern analysis for households energy management," in *Compatibility and Power Electronics (CPE), 2011 7th International Conference-Workshop*, vol., no., pp.103-106, 1-3 June 2011. doi: 10.1109/CPE.2011.5942215
55. Rosin, A.; Hoimoja, H.; Möller, T.; Lehtla, M., "Residential electricity consumption and loads pattern analysis," in *Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ), 2010*, vol., no., pp.111-116, 16-18 June 2010. doi: 10.1109/PQ.2010.5550009
56. Taruste, T. Elektripaigaldise korrasolek on omaniku asi. Äripäev, 01. 12. 2011. Kättesaadav lehelt: http://www.tera.ee/public/files/Elektripaigaldise%20korrasolek%20on%20omaniku%20asi-%20ÄP%2001_12_2011.pdf (vaadatud 30.10.15)

LISAD

Kortermaja Asunduse 9 peajaotuskeskuse olemasolev skeem



Korterelamu Astangu 9 elektripaigaldise peajaotuskeskuse (PJK) elektriskeem

Tehnilise Järelevalve Ameti peaspetsialisti Meelis Kärti selgitused

Väljavõte 29. oktoobril 2015 saadetud kirjast töö autorile.

„/.../ 1. Tehnilise Järelevalve Amet (TJA) teostab elektripaigaldiste järelevalvet vastavalt ohuproгноosile ja laekuvatele avaldustele ning teabele, nii ka korterelamute ühiskasutuses olevate elektripaigaldiste puhul. Elektripaigaldiste (sh korterelamute) nõuetele vastavuse eest vastutavad elektripaigaldise omanikud ja valdajad. Ehk siis peavad nad ka tagama, et ettenähtud juhtudel oleks audit teostatud. Auditiga aga kontrollitaksegi kas elektripaigaldis vastab nõuetele või mitte ja vastavalt sellele peab omanik/valdaja teostama oma paigaldises vajalikke parendustöid.

2. Auditi teostajad omavad akrediteeringut kui inspekteerimisasutused ja seega on täiendavalt hinnatud selliste asutuste tegevuse nõuetele vastavus. Nende tegevust kontrollib nii Eesti Akrediteerimiskeskus kui ka TJA. Samuti vastutavad auditi teostajad oma tegevuse suhtes võlaõigusseaduse sätete alusel ehk siis, kui auditi tegija tegevus ei ole nõuetekohane, siis on elektripaigaldise omanikul võimalus nõuda kahjude kompenseerimist.

3. Elektriõhutusnõuded on sätestatud alates 01.07.2015 seadme ohutuse seaduse ja selle alusel kehtestatud määrustega. Elektripaigaldiste auditi nõuded sätestab majandus- ja taristuministri määrus nr 86 „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele“.

4. Vastutused elektripaigaldise kasutusele võtmise ja kasutamise ning auditi nõuete rikkumise korral on sätestatud seadme ohutuse seaduse §-des 16 ja 17.

5. Hoone elektripaigaldise nõuetele vastavuse eest vastutab selle omanik või valdaja. Tehtud tööde eest aga neid teostanud ettevõtja. /.../“