



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

www.emu.ee



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Päikesepaneelide mõju jaotusvõrgu kadudele

Hajaenergeetika õppekava

Kõrgepingetehnika õppetool

Magistritöö

Õppetooli juhataja

prof Juhan Valtin

Juhendaja

prof Juhan Valtin

Lõpetaja

Anti Natka

Tallinn 2015

Autori deklaratsioon

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

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele. 27. mai 2015 a.

Juhendaja allkiri

Lubatud kaitsmisele Hajaenergeetika õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2015. a. allkiri

Lõputöö kokkuvõte

Autor: **Anti Natka**

Lõputöö liik: **Magistritöö**

Töö pealkiri: **Päikesepaneelide mõju jaotusvõrgu kadudele**

Kuupäev: **27.05.2015**

57 lk

Ülikool: **Tallinna Tehnikaülikool**

Teaduskond: **Energeetikateaduskond**

Instituut: **Elektroenergeetika instituut**

Õppetool: **Hajaenergeetika**

Töö juhendaja(d): **Juhan Valtin**

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Lõputöös uuritakse, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu kadusid. Kirjeldatakse uuritavat madalpingevõrku ja keskpingevõrku. Kirjeldatakse võrgu koormust ning kadusid ning leitakse päikesepaneelide keskmine tootlikkus vaadeldaval perioodil.

Uurimus teostakse erinevatele olukordadele tuginedes, näitamaks kuidas kasvav installeeritud päikesepaneelide võimsus mõjutab uuritavat võrku. Samuti leitakse, milline on koormuse muutus, kus kõik madalpinge alajaama tarbijad on hajatootjad.

Märksõnad: päikesepaneelid, hajaenergeetika, jaotusvõrgu kaod, jaotusvõrgu koormus

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Anti Natka	<i>Kind of the work:</i> Master thesis
<i>Title:</i> Impact of Photovoltaic Panels to the Distribution Network Losses	
<i>Date:</i> 27.05.2015	<i>57 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering	
<i>Chair:</i> Distributed Energetics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Juhan Valtin	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> The master thesis researches how photovoltaic panels impact the distribution network losses. Low voltage and middle voltage network are described. For the analysis the load and network losses are described and found what the average photovoltaic daily generation is. The work is done using different situations to describe how increasing installed power of photovoltaic panels change the network losses. It is also described how the load changes when every consumer is a producer in the substation.	
<i>Key words:</i> photovoltaic paneles, distributed energetics, distribution network losses, distribution network load	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	6
Eessõna.....	7
Sissejuhatus.....	8
1. Uuritava võrgu kirjeldus	11
1. 10/0,4 alajaama koormus algselt	15
2. 10/0,4 kV madalapinge alajaama fiidrite koormused	16
3. Kaod fiidris 1	21
4. Keskpinge fiider	22
5. Päikesekiirgus ja päikesepaneelid	24
6. Kokkuvõte	26
2. Olukord peale päikesepaneelide paigaldamist.....	27
1. Päikesepaneelide mõju talvel	29
2. Päikesepaneelide mõju kevadel.....	31
3. Päikesepaneelide mõju suvel	33
4. Päikesepaneelide mõju sügisel.....	35
5. Mõju alajaama koormusele	36
6. Päikesepaneelide mõju keskpingevõrgu kadudele ning koormustele.....	41
7. Mõju aasta jooksul	43
8. Optimistlik stsenaarium.....	44
9. Kokkuvõte ja ettepanekud	47
Kokkuvõte.....	49
LISA 1. Tallinna keskpingevõrgu normaalskeem	54
LISA 2. Uuritava madalpingevõrgu normaalskeem	55
LISA 3. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi ilmajaama tunni keskmised kiirgused aastatel 2010-2013	56
LISA 4. PV-GIS sisendid ja väljundid.....	57

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Päikesepaneelide mõju jaotusvõrgu kadudele
Üliõpilane:	Anti Natka, 132513 AAHM
Lõputöö juhendaja:	Juhan Valtin
Õppetool:	Kõrgepingetehnika õppetool
Õppetooli juhataja:	Juhan Valtin
Lõputöö esitamise tähtaeg:	27.05.2015

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Teeme uurimine on aktuaalne seoses päikesepaneelide installeeritud võimsuse kasuga. Tulevikus nõutud, et uusehitised oleksid liginullenergia hooned. Ühe võimalusena selle saavutamiseks on päikesepaneelide kasutamine. See teema on oluline eelkõige võrguettevõtetele ja tulevikus ka energiaühistutele ja hajatootjatele.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu koormust ning kadusid.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kuidas mõjutavad päikesepaneelid võrgu koormust erinevatel perioodidel? Kuidas mõjutavad päikesepaneelid võrgukadu? Kuidas mõjutavad madalpingevõrgus olevad päikesepaneelid keskpinge koormust?

Lähteandmed:

Tarbimisandmed madalapingevõrgus, keskpinge fiidri koormus andmed, madalapinge ja keskpingevõrgu kirjeldus, päikesekiirgus andmed.

Graafiline osa:

Graafiline osa on tehtud programmidega Microsoft Word Excel ja PV-GIS.

Eessõna

Lõputöö teema on välja pakutud juhendaja poolt. Palju on räägitud, et hajaenergeetika seadmete laialdasem levik suurendab võrgukadusid. Autori huvi hajaenergeetika osas andis tõuke võrgukadude muutust täpsemalt uurida. Lõputöö kooskõlastamine toimus Elektrilevi OÜ-s. Põhilised algandmed on saadud Elektrilevi OÜ käest. Lõputööga abistas Elektrilevi OÜ võrgu üldplaneerija Marti Laidre. Autor tänab kõiki, kes aitasid kaasa lõputöö valmimisele.

Kontaktandmed:

Anti Natka

andynatka@gmail.com

+372 56620430

Sissejuhatus

Energeetika all mõistetakse süsteemi, mis koosneb tootmisüksustest, võrkudest ning tarbijatest. Tootmisüksused toodavad vajalikus koguses energiat, mis tarbitakse tarbijate poolt. Tarbijateni jõuab energia läbi võrgu. Energia ülekandmiseks kasutatakse võrke, mis ühendavad tootmisüksusi tarbijatega. Sellises süsteemis genereeritakse esmalt tootmisüksuses energia ning läbi ülekandevõrgu viiakse see edasi ülekandealajaamadesse. Ülekandealajaamadest liigub energia edasi jaotusvõrku ning suuremate tarbijateni ja/või teiste energia tootjateni. Jaotusvõrgus asuvad aga jaotusalajaamad ning tarbijad. [1]

Tänapäeva tehnoloogiliselt arenevas maailmas on arenemas ka elektrisüsteemid. Elektrisüsteemid arenevad tsentraliseeritud suuremahuliselt tootmiselt väiksemate detsentraliseeritud tootmisüksuste poole. Energia tootmise seadmed ei ole enam tingimata energeetika ettevõtete omad, vaid seadmete omanikeks on üha suuremal määral ka eraisikud ja/või muud sorti ettevõtted. Energiaseadmed on üha enam ühendatud jaotusvõrku ning on tihti tarbijate lähedal. Selliseid seadmeid võib kutsuda hajaenergeetika seadmeteks. Sellisteks enim levinud hajaenergeetika seadmeteks võib pidada päikese, tuule ning biogaasil põhinevaid energeetika seadmeid. Käesolevas töös keskendutakse päikesepaneelidele. Päikesepaneelidele keskendutakse eelkõige sellepärast, et nende hinnad muutuvad järjest aktiivsemaks kodutarbijatele. [2]

Üheks hajaenergeetika lahenduseks on kindlasti päikesepaneelid. Foto-elektriliste paneelide paigaldusvõimalused on palju laiemad ja paindlikumad kui ükskõik millistel teistel energiatootmiseseadmetel. Päikesepaneelide abil on võimalik hajaenergeetika lahendustes aruka planeerimise korral kasutada energiat kohapeal, mis vähendab vajadust võrkude tugevdamiseks kuna energiavood võrkudes vähenevad. Pikemas perspektiivis võivad tekkida ka energiaühistud. Piirkondlik energiahind võib väheneda ning suureneksid investeeringud piirkonda. [3]

Päikesepaneelide poolt toodetud energia abil vähendavad tarbijad võrgust ostetava energia hulka. Võrgust ostetava energia hulga vähenemisel peaksid vähenema ka kaod elektrivõrgus. 2013. aastal moodustasid kaod Elektrilevi OÜ kogukuludest 10%. Kaod moodustasid kogu ülekantud energiast 5,2 % ehk 365 GWh. Eeldatavasti olid kaod ka 2014. aastal sarnased. [4]
[5]

AS Elering raportis on kirjas, et kõige tundlikum on kadude suhtes hajatootmine jaotusvõrkudes – mida suurem on hajatootmise osakaal võrgus, seda suuremaks kujunevad ka

kaod võrgus. Töös uuritakse Elektrilevi OÜ-lt saadud andmete põhjal päikesepaneelide mõju jaotusvõrgu koormusele ning kadudele. [6]

Väikse võimsusega seadmed lülitatakse Eestis üldjuhul jaotusvõrku ning need peavad vastama Eestis kehtivatele EU ning Eesti normdokumentidele ning standarditele ning võrguettevõtja poolt esitatavatele nõuetele. Näiteks Elektrilevi OÜ poolt heaks kiidetud võrguinverterite nimekiri on leitav ettevõtte kodulehelt [7]. Sealjuures peavad tootmiseseadmed olema seadistatud. Tuleb vältida n.ö. „saarlahenduse“ teket. Eeldusel, et elektrivõrgust kaob pinge või pinge ei vasta normidele, siis peab seade automaatselt ennast võrgust välja lülitama. Väiketootmiseseadmeid võib lülitada võrku enne liitumispunkti ja pärast liitumispunkti. Enne liitumispunkti olev hajatootmiseseade katab tarbija elektritarvet ning võimalik ülejääk läheb võrku müügiks. Kui väikeenergiatootmiseseade asub väljaspool tarbija liitumispunkti, siis müüakse kogu toodang võrku ja tarbija, kes on sõlminud hajatootjaga elektriostulepingu ostab elektrienergiat koos maksude ja võrgutasudega. Töös keskendutakse olukorrale, kus tootmiseseade ühendatud enne liitumispunkti.

Maksud ning võrgutasud moodustavad praegusest elektriarvest ca 60 %. Hajaenergeetika kontseptsioon eeldab, et kõik toodetav elektrienergia tarbitakse ära võimalikult tootmiseseadme ligidal. Juhul kui tarbija poole liitumispunkti ühendatud hajatootmiseseadme nimivõimsus on väiksem kui tarbija minimaalne võimsus, siis läheb kogu toodetav tarbija koormuse katteks. Kui hajatootmiseseadme nimivõimsus on suurem kui tarbija minimaalne võimsus, siis läheb osa elektrienergiat võrku. Võrku mineva elektri kogust mõõdetakse elektriarvestite abil. Tulenevalt asjaolust, et 60% elektriarvest moodustub erinevate maksude (elektriaktsiis, taastuenergia tasu, käibemaks) ning põhi- ja jaotusvõrgu võrgutasudest, siis on kõige kasulikum tarbida võimalikult palju elektrienergiat enne liitumispunkti. [3]

Hajatootjate lisandumisega kaasneb varustuskindluse ning pingekvaliteedi tagamiseks võrguplaneerimise muutumine. Muutub ka võrgu haldamine. Võrgu projekteerimine muutub keerulisemaks. Varasemalt on võrguteenuse kasutajaid käsitletud eraldi. Eksisteerivad tootjad ja tarbijad. Turuosalise rollid mitmekesistuvad hajatootjate tekkimisega. Tarbijatest saavad tootjad. Momendil puudub sellise rolli regulatsioon ning mõiste. Hetkel ei maksa võrgutasu varustuskindlust tagava võrguühenduse valmisoleku eest tootja. [3]

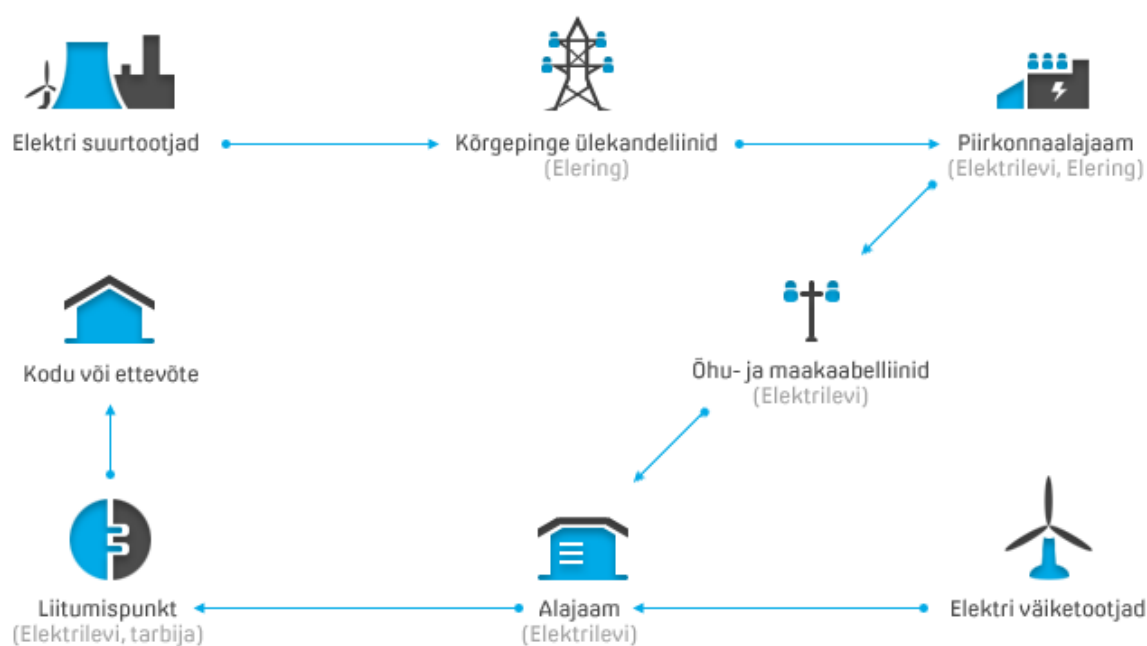
Töö esimeses etapis uuritakse, millised on koormused ning kaod uuritavas võrgus. Koormuste ning kadude analüüsi lähteandmed tuginevad Elektrilevi OÜ-lt saadud andmetele. Analüüs annab hinnangu, millised on kaod uuritava perioodil.

Töö teises etapis analüüsitakse, kuidas mõjutavad päikesepaneelid uuritavat võrku. Analüüsi aluseks on esimeses etapis leitud koormused ning päikesepaneelide tootlikkused. Päikesepaneelide energia tootlikkuse andmed on saadud kasutades veebirakendust PV-GIS. Saamaks tunnipõhised päikesepaneelide tootlikkused leiti 3 aastase perioodi kuu keskmised tunnipõhised päikeseikiirgused. Analüüs teostatakse kolme erineva olukorra põhjal ning hinnatakse, milline on päikesepaneelide mõju aasta jooksul. Uuritakse, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu koormust, kui tulevikus peavad uusehitised olema liginullenergia hooned. Selleks tehakse eeldus, et kõik madalpinge alajaamas olevad tarbijad paigaldavad päikesepaneelid.

Töö eesmärgiks on leida ja kirjeldada, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu koormuseid ning kadusid, arvestades erinevaid olukordi.

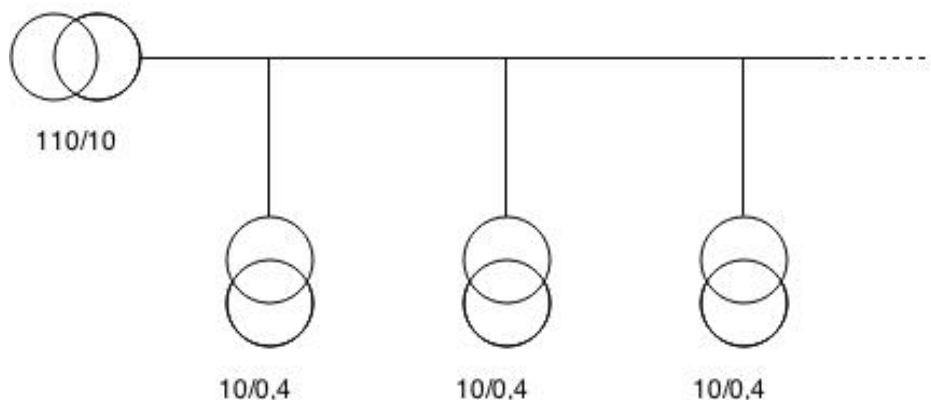
1. Uuritava võrgu kirjeldus

Käesolevas töös uuritakse Tallinna lähedal asuvat 110/10 kV keskpinge alajaama ühte fiidrit, kus lisaks teistele alajaamadele asub ka madalapinge poole pealt uuritav 10/0,4 kV jaotusalajaam. Jaotusalajaam asub elamurajoonis ning sinna on ühendatud kodutarbijad läbi seitsme fiidri. Iga fiidri taga on kolm kuni kuus tarbijat. Kokku on tarbijaid 33. Üks fiider on mõeldud tänavavalgustuse ning muu säärase jaoks. Tänavavalgustuse jaoks olev fiider jääb vaatluse alt välja andmete puudumise tõttu. Koormuste ning kadude hindamiseks on andmed saadud Elektrilevi OÜ-st. Tunnised koormusandmed on saadud nelja ööpäeva kohta, mis sümboliseerivad talvist koormuse maksimumi (15.01), suvist koormuse miinimumi (15.07) ning sügist (15.10) ja kevadist (15.04) koormust. Peale koormusandmete on saadud informatsioon ka kaabli tüüpide ning pikkuste kohta. Uuritava võrgu põhimõtte joonist võib näha alt.



Joonis 1.1 Eesti elektrivõrgu põhimõtteskeem [8]

Joonisel on kujutatud Eesti elektrivõrgu põhimõtte skeemi. Meie poolt uuritavad lõigud on piirkonnaalajaamast mööda õhu- ja maakaabelliine madalpinge alajaama ning sealt edasi liitumispunkti. Tarbijate andmed on saadud ühe juhusliku alajaama osas. Alajaama valikul oli ainukeseks kriteeriumiks koormuste tunniandmed.

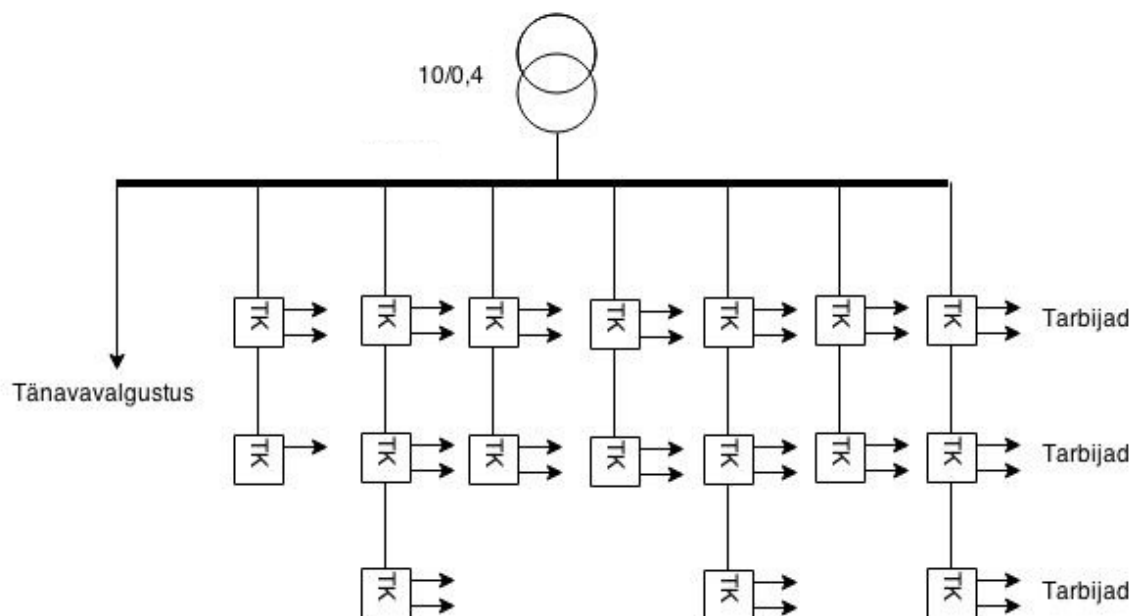


Joonis 1.2 Uuritava 110/10kV keskpingevõrgu põhimõtteline skeem

Jooniselt on näha töös uuritava keskpingevõrgu põhimõtte skeemi vt. ka lisa 1. Elektrilevist saadud andmete abil on uuritud, milline on madalapinge võrgus olevate hajatootmiseseadmete mõju koormustele ning kadudele. Saadud andmete hulka kuuluvad 110/10 kV alajaamas oleva ühe fiidri koormus vaadeldavatel ajahetkedel. Fiidri koormus on mõõdetud liini alguses. Lisaks sellele skeemil vasakult kolmanda 10/0,4 kV alajaama tarbijate koormused. Töös on eeldatud, et eelnevates kahes alajaamas on samasugused koormused kui kolmandas. Selline üldistus sai tehtud, kuna puuduvad koormusandmed eelnevate alajaamade kohta. Punktiiriga on tähistatud seda võrgu osa, mis jääb uurimise alt välja. Juhul kui päikesepaneelide tootlikkus on nii suur, et madalapinge alajaama kõik tarbijad suudavad oma koormused sellega katta, siis ülejääv energia transporditakse just sinna võrku. Sellise lähenemise korral on võimalik öelda, kui suures osas väheneb fiidri koormus fiidri algusest kuni kolmanda alajaamani. See tähendab seda, et juhul kui kolmandasse 10/0,4 kV alajaama paigaldatakse hajatootmiseseade, siis väheneb ülekantav energia hulk. Energia hulk väheneb tarbija juurest toodetud energia võrra. Esimesena väheneb koormus lõigul 110/10 kV alajaam esimene 10/0,4 kV alajaam. Järgmisena väheneb koormus esimese ning teise 10/0,4 kV alajaama vahelisel lõigul. Kolmandana väheneb koormus vasakult teise ning kolmanda 10/0,4 kV alajaama vahel. Tänu koormuse ning ülekantava energia vähenemisele vähenevad ka kaod uuritavas lõigus.

Keskpinge alajaama kadude uurimisel on arvestatud, et keskpinge alajaamade vahel on kaabel SAX-120, mille takistus on 0,29 Ω /km. Tegelikult kasutatakse vaadeldavas lõigus mitmeid kaableid, kuid seda kaablit kasutatakse pikkuseliselt kõige rohkem. Lõigu pikkus 110/10 kV alajaamast esimese alajaamani on 3980 m. Esimesest alajaamast teise alajaamani on kaabli pikkus 630 m. Teisest alajaamast uuritava alajaamani on 691 m. Sellele tuginedes on leitud,

milline on liinitakistus. Peale liinitakistuse leidmist saame leida, milline on uuritava lõigu kadu. Kao leidmiseks on kasutatud valemeid 1.1 ja 1.2. Nimipinge on 10 kV [9]



Joonis 1.3 Uuritava 10/0,4 kV madalpingevõrgu põhimõtteline skeem

Jooniselt näeme uuritava madalpingevõrgu põhimõtte skeemi vt ka lisa 2. Tarbijad on tähistatud noolekestega. TK tähisega on tähistatud transiitkilbid. Jooniselt ei ole näha liitumiskilpe, kuna töö arvutustes on need välja jäetud. Liitumiskilbid asuvad selles võrgus transiitkilpide läheduses. See võrgu põhimõtte skeem on nõ tavaolukorras. Tegelikuses on fiidrid omavahel ka ühenduses, kuid normaaltingimustel on nad lahutatud. Selles töös uuritakse hajaenergeetika mõju alajaama fiidriole. Fiidri koormusi hakkavad mõjutama päikesepaneelid.

Kao leidmiseks on kasutatud valemeid 1.1 ja 1.2. Nimipinge on 0,4 kV. Kaabel mille kaudu on transiitkilp ühendatud on AHXX 4x240, mille takistus on 0,114 Ω /km. Arvutuses ei ole arvestatud kadudega, mis tekivad transiitkilbi ja tarbijate vahel. See kadu on võrreldes fiidri kadudega väga väike, kuna tarbijate liitumiskilbid on transiitkilpide läheduses. [9]

Madalpinge alajaama esimese fiidri lõigu pikkused on järgmised. Alajaamast kuni esimese transiitkilbini on paigaldatud 82,3 m kaablit. Esimese transiitkilbi ja teise transiitkilbi vahel oleva kaabli pikkus on 57,5 m. Teise transiitkilbi ja kolmanda transiitkilbi vahel oleva kaabli pikkus on 56,7 m. [9]



Joonis 1.4 Transiitkilp [9]

Joonisel on näha transiitkilp. Transiitkilbid on reeglina lihtsa ehitusega. Enamasti on kilbil kaks sisendit ning üks väljund. Väljundit kasutatakse mõõtekilbi jaoks. Madalpingekaablivõrkudes kasutatakse võrguosade eraldamiseks transiitkilpe. [10]



Joonis 1.5 Liitumiskilp [9]

Joonisel näeme liitumiskilpi koos kahe arvestiga. Liitumiskilp on elektrimüüja omand. Liitumiskilbist viiakse kaablid edasi elamu jaotuskilbini. Sellel liitumiskilbil on ühe arvesti juures ka eraldi lüliti. See lüliti on seal sellepärast, et sinna liitumiskilpi on juba ühendatud hajatootmiseseade. Vastavalt seadusele peab olema võimalik sellist seadet välja lülitada. [10]

Joonisel 4 ja 5 on näha, et transiitkilbid ning liitumiskilbid asuvad üksteisele väga lähedal. Sellel põhjusel ei ole ka arvestatud kadusid transiitkilbi, liitumiskilbi ning elamu jaotuskilbi vahel.

Kadude leidmiseks on kasutatud valemeid.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} * R$$

Valem 1.1 Liini koormuskadu [11]

P – aktiivvõimsus

Q – reaktiivvõimsus

U – võrgu nimipinge

R – liinitakistus

Käesolevas töös on eeldatud, et reaktiivvõimsus on 0, kuna kodutarbijatel ei mõõdeta reaktiivkoormusi. Madalapinge poole peal on pinge 400V ning keskpinge poolel on 1000V.

Liinilõigu takistus on leitud valemiga

$$R = R_0 * l$$

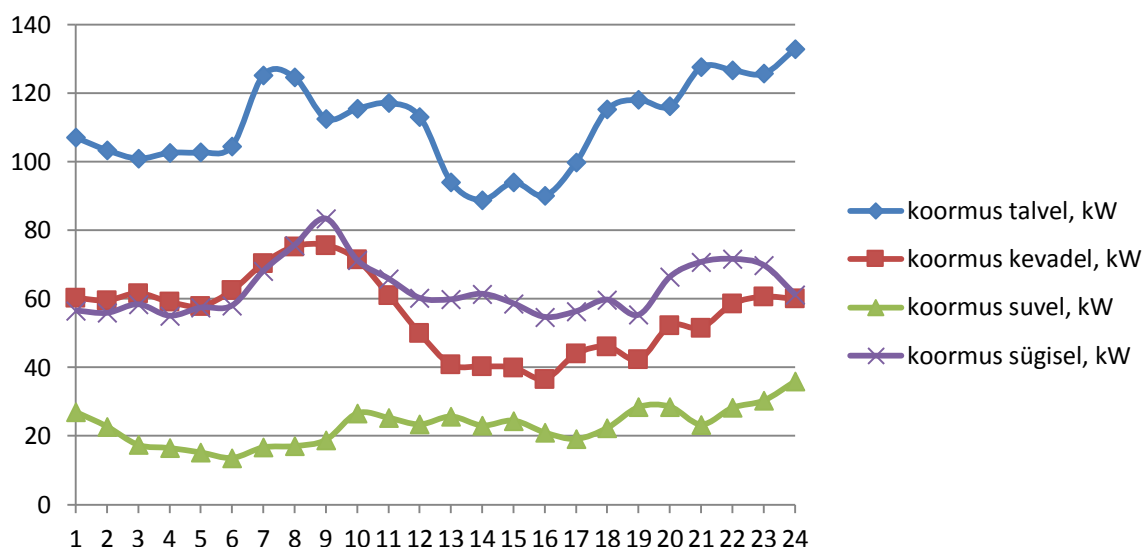
Valem 1.2 Liinilõigu takistus [12]

R₀ – takistus pikkusühiku kohta

L – liinilõigu pikkus

1. 10/0,4 alajaama koormus algselt

10/0,4 kV alajaama hetkeolukorra kirjeldamiseks on kasutatud jooniseid. Joonisel on välja toodud madalpinge alajaama koormus uuritavatel perioodidel.

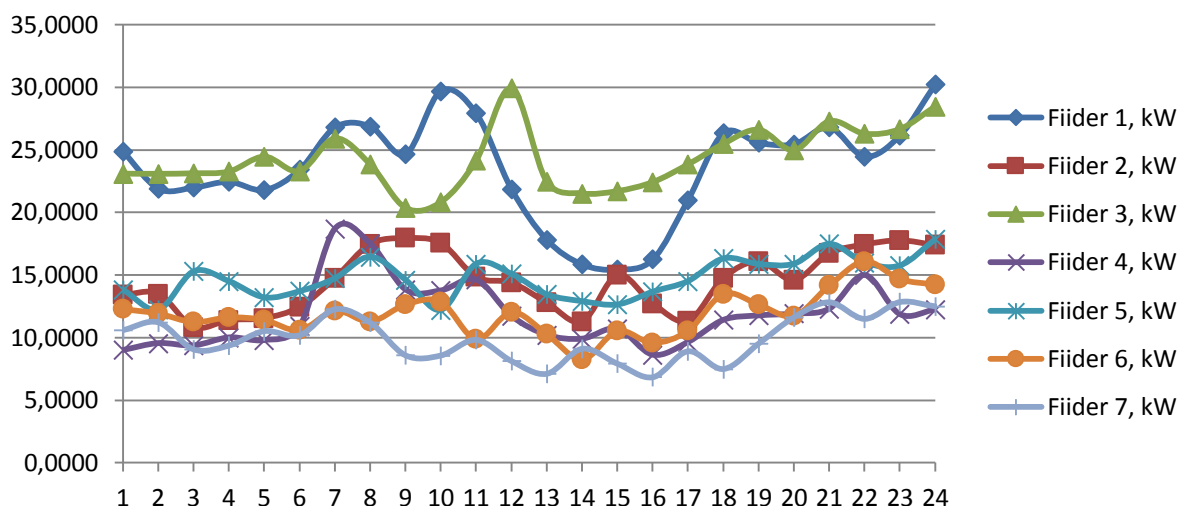


Joonis 1.6 10/0,4 kV alajaama koormus [13]

Alajaama koormus on välja arvatud tarbijate koormusandmete põhjal. Esmalt on leitud iga fiidri koormus ning pärast seda on need liidetud. Sinna hulka ei kuulu tänavavalgustuse koormus. Talveperioodil on alajaama koormus suurim ning suviti kõige väiksem. Sügisel ja kevadele on koormused sarnased. Kevadel on mõnevõrra madalam koormus pärast lõunat. See võib olla tingitud soojemast välisõhutemperatuurist. Selle tagajärjel on kütmiseks kulutatav energia madalam. Võimalik, et sügisene ja kevadine koormus erineb rohkem, kuid andmete puudumise tõttu ei saa seda täpselt öelda. Ühes ööpäevas läbib alajaama talvel 2660,0 kWh energiat, kevadel aga 1337,2 kWh. Kevadine koormus on pea kaks korda väiksem kui talvel ning 2,5 korda suurem kui suvel. Suvel on koormus viiendik talvisest koormusest. Vaadeldaval päeval, mis esindab suvist koormusmiinimumi, läbis alajaama 550,9 kWh elektrienergiat. Sügisel on alajaama läbiv energia sarnane kevadisele energiale. Sügisel on alajaama läbiv ööpäevane energia 1512,2 kWh. Sügisene koormus on pea kolm korda suurem kui suvel ning enam kui 1,5 korda väiksem kui talvel.

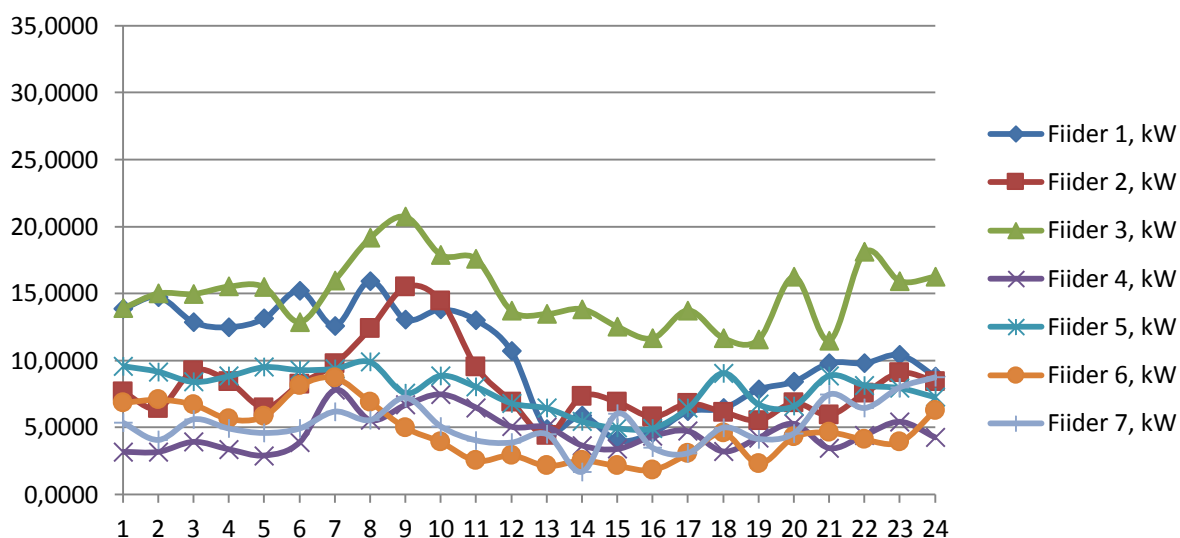
2. 10/0,4 kV madalapinge alajaama fiidrite koormused

Järgnevalt vaatame, millised on uuritava 10/0,4 kV alajaama fiidrite koormused. Tulemuste illustreerimiseks on koostatud joonised.



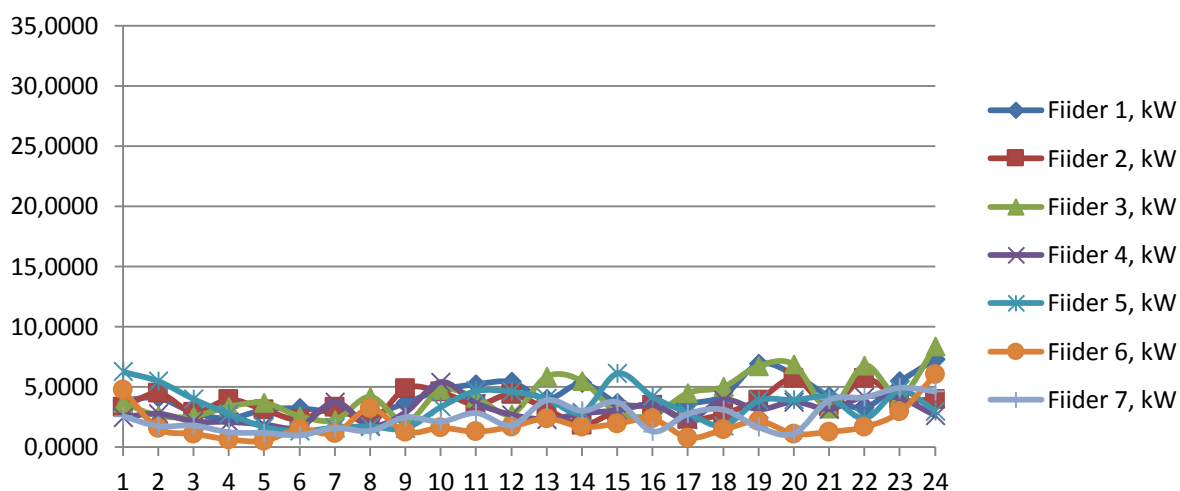
Joonis 1.7 10/0,4 kV alajaama fiidrite koormused talvel [13]

Joonisel on näha uuritava 10/0,4 kV jaotusalajamaa fiidrite koormused. Keskmise koormuse on talveperioodil 15,8 kW. Jooniselt on näha, et fiidrid 1 ja 3 on teistest rohkem koormatud. Põhjusi võib olla mitmeid. See võib olla seletatav asjaoluga, et sellel perioodil on nende tarbijate elektrienergia tarbimine suurem, kuna nendes fiidrites on rohkem tarbijaid kui teistes. Võimalik, et tarbijad on keskmiselt suurema tarbimisega kui teistes fiidrites. On võimalus, et nende kahe fiidri küljes on juhuslikult suuremad elektrienergia tarbijad. Fiidrite 1 ja 3 koormused muutuvad ka rohkem kui teised. Koormuskõveralt on näha, et öösel on koormus mõnevõrra väiksem ning alates kella kuuest - seitsmest hakkavad koormused tõusma kuni lõunani. Ajavahemikku 10-12 võib nimetada esimeseks koormusmaksimumiks. Peale esimest koormusmaksimumi fiidrite ning alajaama koormus väheneb kuni kella viieni õhtul. Õhtune koormuse suurenemine on seletatav sellega, et inimesed jõuavad töölt koju ning lülitavad erinevaid seadmeid sisse. Koormuskõveralt on näha, et ühelgi tunnil ei lange koormus fiidritel alla 6 kW-i. Miinimumkoormus 6,8 kW on fiidris 7. Maksimumkoormus 30,2 kW on fiidris 1. Fiidri 1 keskmine koormus on 23,6 kW ning fiidri 3 keskmine koormus on 24,3 kW. Ööpäevas läbib fiidrit 1 565,8 kWh ning fiidrit 3 583,2 kWh. Fiidrid 1 ja 3 on ca 1,5 korda rohkem koormatud kui teised fiidrid.



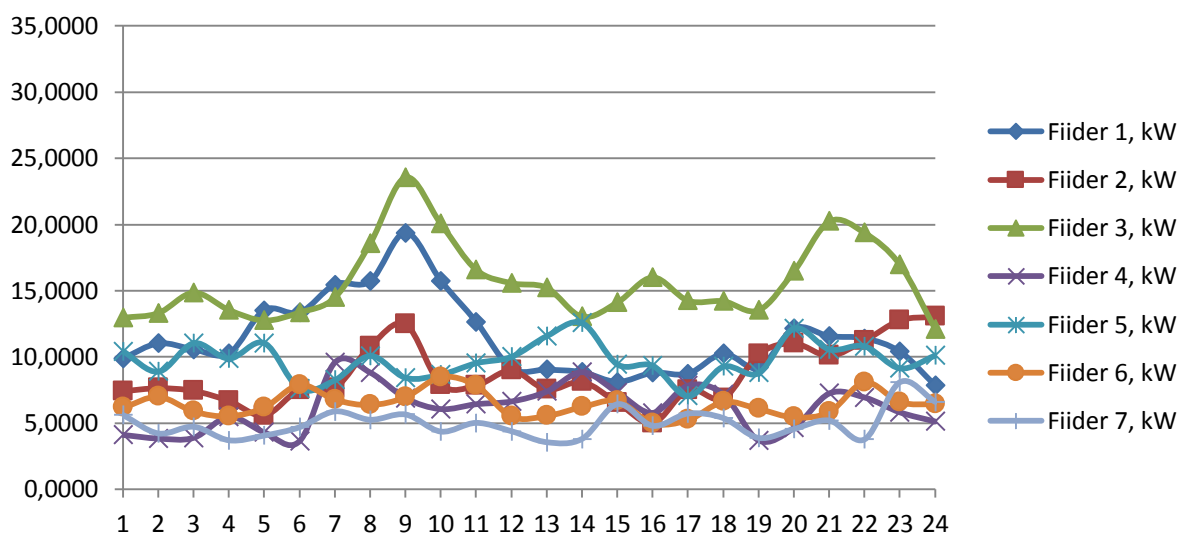
Joonis 1.8 10/0,4 kV alajaama fiidrite koormused kevadel [13]

Joonisel on kujutatud madalpinge alajaama koormusi märtsikuu ööpäeva jooksul. Märtsis on koormused väiksemad kui talvel. Keskmine fiidri koormus on 8,0 kW. Koormus hakkab suurenema hommikul kella kuue ajal. Esimene koormusmaksimum on kolmandas fiidris kell 9. Koormusmaksimum on ca 20 kW. Järgmine koormuse tõus tekib fiidrites õhtul kella viie ajal. Fiider 3 teine koormusmaksimum on kell 22. Teine koormusmaksimum on 18,0 kW. Jooniselt näeme, et fiidri 3 koormus on suurem kui teiste fiidrite koormused. Kolmanda fiidri suurem koormus võib olla juhuslik. Fiidri 3 keskmine koormus on 15,0 kW. Miinimumkoormus on 11,5 kW ning koormusmaksimum on 20,7 kW. Ööpäevas läbib kolmandat fiidrit 359,1 kWh. Keskmiselt on fiider 3 pea kaks korda rohkem koormatud kui keskmine fiidri koormus. Fiidri 1 keskmine koormus on 10,3 kW. Miinimumkoormus on 4,0 kW ning maksimumkoormus fiidris 1 on 15,9 kW. Ööpäevas läbib esimest fiidrit 248,3 kWh.



Joonis 1.9 10/0,4 kV alajaama fiidrite koormused suvel [13]

Joonisel on näha suvise teoreetilise koormusmiinimumi ajal olevaid fiidrite koormusi. Võrreldes talvise koormusmaksimumiga on koormus vähenenud kuni neli korda. Suvine vähene koormus on seletatav sellega, et välistemperatuurid on kõrgemad ning kütmisele energiat nii palju enam ei kulu. Lisaks on ka valgemat aega rohkem, mis vähendab kulu valgustusele. Põhjuseid võib olla veelgi. Sarnaselt talvisele koormusele on ka suvel näha, et öösel on koormus ning energia tarbimine väiksem kui päeval. Näiteks suvine koormusmiinimum fiidris 1 on 2,4 kW. Võrreldes seda talvise koormusega on vahe seitsmekordne. Koormusmaksimum on selles fiidris 7,3 kW. Keskmise koormuse selle fiidris on 4,2 kW ning ööpäevas läbib alajaama 102,3 kWh energiat. Fiidri 3 miinimumkoormus on 1,8 kW ning maksimum 8,3 kW. Keskmise koormuse on 4,2 kW on sama, mis fiidris 2. Keskmiselt läbib fiidrit ööpäevas 101,2 kWh elektrienergiat. Mõlemad fiidrid on sarnaselt koormatud. Keskmise fiidri koormus on suvisel perioodil 3,2 kW, mis on ligi neljandiku võrra vähem kui fiidrites 1 ja 3.



Joonis 1.10 10/0,4 kV alajaama fiidrite koormused sügisel [13]

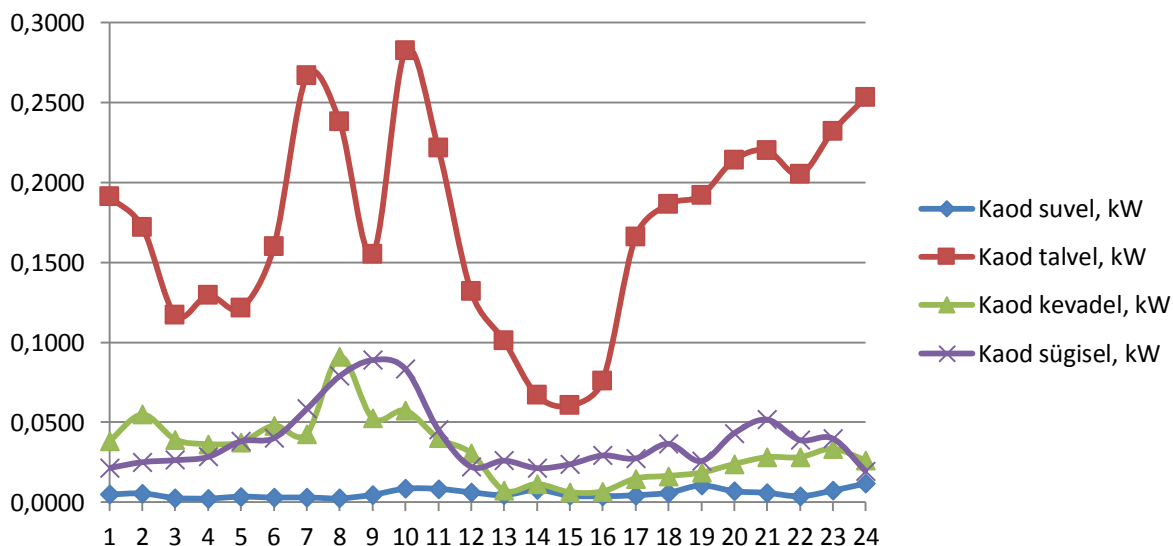
Sügisene koormus on analoogne kevadisele koormusele. Sügisel on keskmine fiidri koormus 9 kW, kevadel 8 kW. Joonisel näeme, et ka sellel perioodil on suurima koormusega kolmas fiider. Kolmanda fiidri keskmine koormus on 15,6 kW. Ööpäevas läbib fiidrit 375,5 kWh elektrienergiat. Miinimumkoormus selles fiidris on 12,1 kW ning maksimum 23,6 kW. Fiidri 3 maksimumid esinevad kella 9 ning kella 21 ajal. Koormusmiinimumid on kell 5, 14 ning 19. Fiider 3 on ca 1,5 korda rohkem koormatud kui keskmine fiider. Fiidri 1 keskmine koormus on 11,2 kW ning ööpäevas läbib fiidrit 272,8 kWh elektrienergiat. Fiidri koormusmaksimum on 19,4 kW ning miinimumkoormus on 7,8 kW. Fiidri 1 koormusmaksimum on hommikul kell 9.

Fiidrite koormuste joonised on koostatud samale skaalale. See annab ülevaatlukuma pildi fiidri koormustest erinevatel perioodidel ning selle abil on võimalik koormusi erinevatel perioodidel ja olukordades võrrelda. Fiidrite koormuste joonistelt selgus, et kõige suurema koormusega on selles alajaamas fiider 1 ja fiider 3. Fiider 1 ööpäevased elektrienergia kogused on järgmised. Talvel on selle fiidri tarbijad tarbinud üle 565,8 kWh energiat. Kevadel on selle fiidri tarbijad tarbinud energia 248,3 kWh. Suvel on selle fiidri tarbijate energiavajadus 102,3 kWh ning sügisel 272,8 kWh. Fiider 3 vastavad tarbimisanded on järgmised. Talvisel ajal on tarbijad tarbinud 583,2 kWh ning kevadel 359,1 kWh. Suvel on kolmanda fiidri tarbijad tarbinud 101,2 kWh. Sügisel on kolmanda fiidri tarbimine 375,5

kWh. Mõlema fiidri energiatarbimine on suhteliselt sarnane. Kõige enam erineb sügisene ning kevadine energiatarbimine. Esimese fiidri energiatarve kogu alajaama koormusest moodustab sügisel 19% ning kevadel 18%. Kolmanda fiidri energiatarve on sügisel 27% ning kevadel 25%. Kuna esimese fiidri energiatarbe osakaal on ühtlasem kui kolmanda fiidri oma, siis uuritakse lähemalt just fiidri 1 koormuseid. Fiidrite koormused sõltuvad tugevalt inimeste tarbimisharjumustest. Uuritud andmete põhjal ei saa teha väga palju oletusi. Saab öelda, et hommikul tarbimine suureneb ning lõuna ajal võib esineda koormusmaksimum. Järgmine suurem tõus tekib õhtu poole ning sellel ajal võib esineda ka koormusmaksimum. Need järeldused ei pruugi paika pidada, kui analüüs teha kõikidele päevadele aastas.

3. Kaod fiidris 1

Käesolevas töös uuritakse, milline on päikesepaneelide toodetud energia mõju uuritava võrgu koormustele ning kadudele. Alajaamas on mitu fiidrit. Põhjalikumalt uuritakse fiidrit üks. Fiidri kao leidmiseks on leitud lõigu kadu alajaamast kuni viimase transiitkilbini. Uuritavas fiidris on selliseid transiitkilpe 3. Esmalt on leitud kõikide transiitkilpide vahelised kaod. Fiidri kadude leidmiseks on transiitkilpide vahelised kaod liidetud.

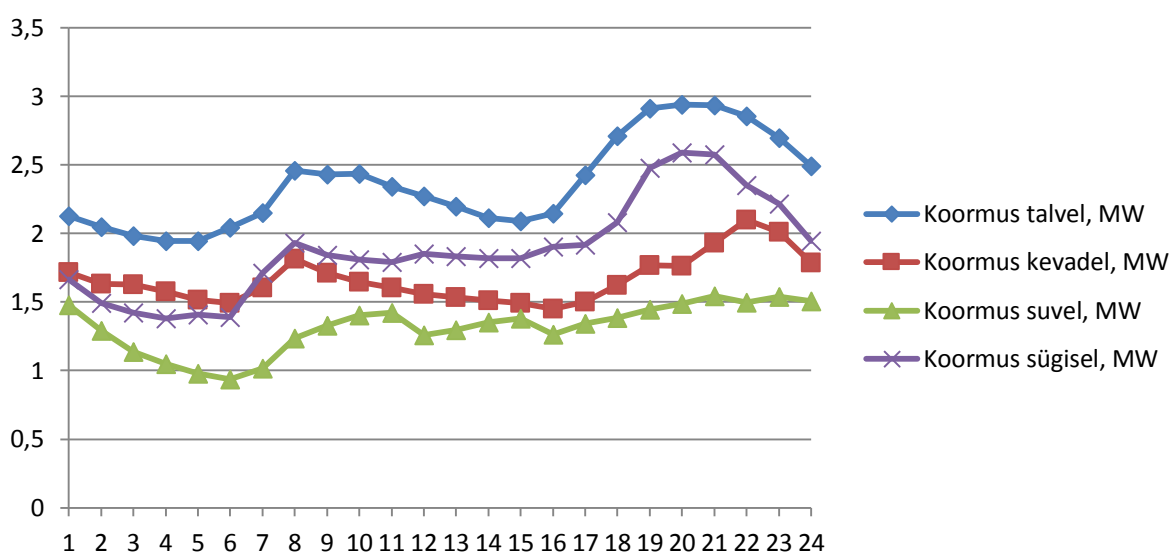


Joonis 1.11 Kaod 10/0,4 kV alajaama esimeses fiidris [13]

Joonisel näeme, millised on kaod uuritava alajaama fiidris enne hajatootmisseadmete paigaldamist. Joonisel on välja toodud kaod esimeses fiidris. Kaod ei ole väga suured tänu sellele, et juhi ristlõige on suur ning sellel on väike takistus. Fiidri kaod on otseselt seotud koormusega. Koormuse suurenedes suurenevad ka kaod [11]. Võrreldes kadusid alajaama

esimese fiidris koormustega on näha, et mida suurem on fiidri koormus, seda suurem on ka selle fiidri kadu. Talviti on sellise fiidri kaod ühes ööpäevas ca 4,16 kWh. Ühes nädalas teeb see ca 29,11 kWh. Näiteks talvel läbib seda fiidrit ööpäevas 565,8 kWh. Ööpäevane kadu on vähem kui 1%. Kevadel on uuritava lõigu kaod 0,79 kWh. See teeb nädalaseks energiakaoks ca 5,51 kWh. Suvel, kui koormus on väikseim, on sellise lõigu kaod päevas 0,13 kWh, mis teeb nädalas ca 0,91 kWh. Sügisesed kaod on päevas ca 0,94 kWh. Nädalas teeb see umbes 6,58 kWh. Fiidri koormusmaksimumid ja -miinimumid ühtivad fiidri kadude miinimumide ja maksimumidega.

4. Keskpinge fiider



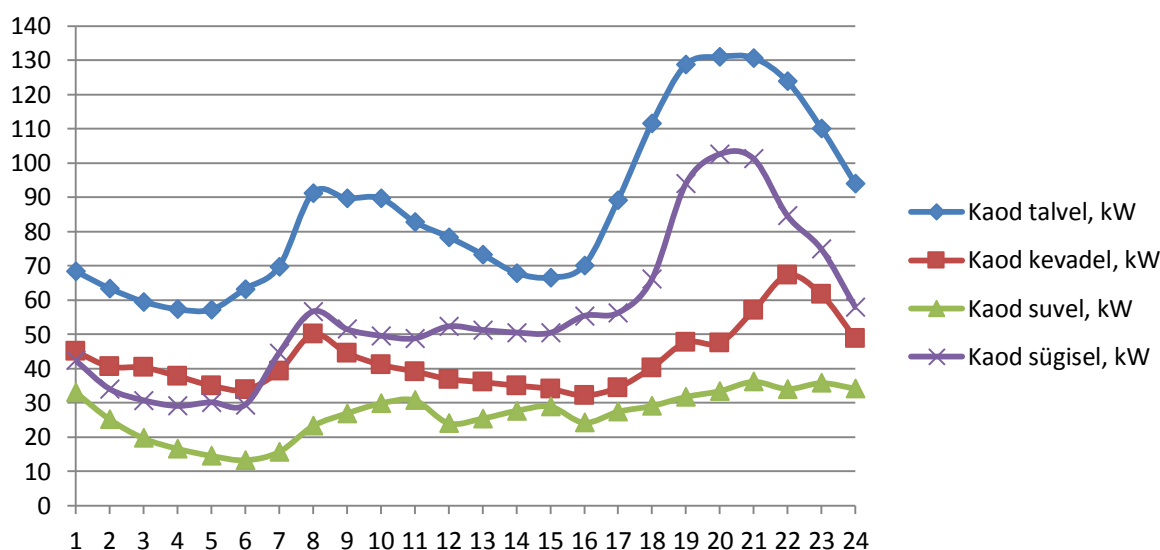
Joonis 1.12 Keskpinge fiidri koormused vaadeldaval perioodil [13]

Keskpinge koormusandmed on esitatud joonisel. Mõõdetud on need fiidri alguses. Töös uuritav madalpinge alajaam asub kolmandana selles fiidris. Joonisel näeme, et talvel on fiidri koormus kõige suurem. Öhtul on fiidri koormus ca 3 MW. Kevade ning sügise koormused on varahommikul analoogsed. Fiidri koormus püsib öhtul viieni 1,4 MW ning 2 MW vahel. Oktoobris suureneb öhtul fiidri koormus pea 2,5 MW-ini. Suvel on selle fiidri koormus vahemikus 1,6 MW kuni 0,9 MW. Suurim erinevus on talvise koormusmaksimumi ning suvise koormusmaksimumi ajal. Siis on koormuste vahe pea kahekordne. Sügisel on fiidri koormus 1,4 MW ning 2,6 MW vahel.

Keskpingevõrgu lõigu kadude uurimisel on eeldatud, et kaks madalpinge alajaama on samasuguse koormusega nagu töös uuritav madalpinge alajaam. Selle abil on leitud, kuidas muutub kadu hajaenergeetikaseadmete paigaldamisel. Kao muutus on leitud lõigul 10 kV

fiidri algusest kuni kolmanda 10/0,4 kV alajaamani. Tulemuste illustreerimiseks on koostatud joonised.

Töös uuritav 10/0,4 kV alajaama poolt tarbitav energia moodustab 2-5 % alajaama 110/10 kV ühe fiidri ööpäevasest koormusest. Talvisest koormusest moodustab 10/0,4 kV alajaam 5% keskpinge alajaama koormusest. Kevadel ja suvel on madalapinge alajaama osakaal 2% fiidri koormusest. Sügisel moodustab madalapinge alajaam 3% keskpinge alajaama ühe fiidri koormusest. Kuna koormuse osakaal on suhteliselt väike, siis ei oma madalpinge alajaama ühes fiidris päikesepaneelide paigaldamine suurt mõju keskpinge fiidri koormusele. Kuna kaod on koormusest sõltuvad, siis ei oma see ka suurt mõju keskpingel uuritava lõigu kadudele.



Joonis 1.13 Keskpinge fiidri kaod vaadeldaval lõigul [13]

Joonisel on näha, et talvel on keskpinge kaod uuritavas lõigus 57 – 131 kW. Kõige suuremad on kaod õhtul kell 19 kuni 21. Ööpäevas on talvel kaod ca 2066 kWh. Kaod moodustavad ca 3,6 % ülekantavast energiast. Kevadel on kaod 32 - 67 kW. Kao maksimum on kevadel kell 22 ning kao miinimum kell 6. Kevadel on ööpäevas selle lõigu kaod ca 1025 kWh. See on ca kaks korda vähem kui talvel. Kevadel moodustavad kaod 2,6% ülekantavast energiast. Suvel on kaod kõige väiksemad. Lõigu kaod on vahemikus 13 - 36 kW. Kao maksimum on õhtul üheksast üheni. Miinimumkadu on kell 6. Suvine ööpäevane kadu on sellel lõigul ca 642 kWh. Suvel moodustavad kaod umbes 2% ööpäevasest energiast. Sügisel on kaod 30 - 103 kW. Kaomaksimum on õhtul seitsmest üheksani. Miinimumkadu on hommikul kolmest

kuueni. Sügisel on ööpäevased kaod ca 1344 kWh. Selle lõigu kaod moodustavad sügisel ca 3% ülekantavast energiast.

5. Päikesekiirgus ja päikesepaneelid

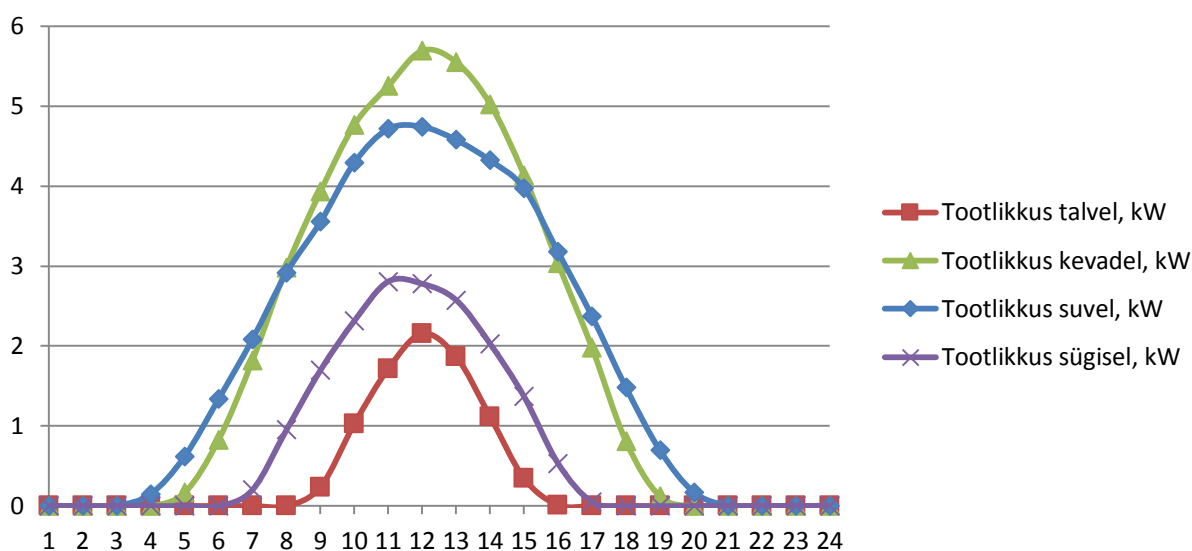
Leidmaks, milline on päikesepaneelide keskmine tootlikkus, tuli leida mitu parameetrit. Esiteks on leitud, millised on ööpäevase tunni keskmised päikesekiirgused. Keskmised päikesekiirguse andmed on leitud kolmeaastase perioodi vältel. Lisas 3 on välja toodud nelja vaadeldava perioodi tunni keskmised päikesekiirguse andmed. Päikesekiirguse andmed on saadud Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudilt. Andmed ei pärine uuritava piirkonna lähedalt, kuid on sobivad näitamaks, milline on päikesepaneelide tunnipõhised tootlikkused. Ööpäevaste tootlikkuste juures on arvestatud päikesekiirguse tugevust erinevatel kellaaegadel vt. joonis 1.14. Andmetöötluse tulemus võimaldab töös leida, milline on päikesepaneelide tootlikkus ööpäeva jooksul. Päikesekiirguse tunni keskmised andmed on välja toodud lisades.

Järgnevalt on valitud välja päikesepaneelide võimsus. Päikesepaneelide võimsuse valikul on lähtutud sellest, et seadme nimivõimsus jääks mikrotootja piiridesse. See tähendab, et päikesepaneelide nimivõimsus ei tohiks olla suurem kui 11 kW [14]. Elektrilevi spetsialistide sõnul on hetkel keskmine installeeritud võimsus ca 8 kW. Arvutustes on eeldatud, et tänu päikesepaneelide odavnemisele hakkavad tarbijad ka suurema nimivõimsusega päikesepaneeli paigaldama. Töös on eeldatud, et tulevikus võiks keskmine installeeritud päikesepaneelide nimivõimsus olla 10 kW. [15]

10 kW päikesepaneelide tootlikkuse leidmiseks on kasutatud veebirakendust PV-GIS. PV-GIS võimaldab geograafilise asukoha põhjal näidata, milliseks kujuneb päeva keskmine päikesepaneelide tootlikkus. Rakenduse kasutamiseks tuleb valida päikesepaneelide geograafiline asukoht. Töös on valitud auskohaks uuritava alajaama lähedane geograafiline punkt. Asukoha põhiliselt leitakse, milline on päikesepaneelide kiirgus. Tulemused väljastatakse 12 kuu kohta. Lisaks nimivõimsuse valikule tuleb täpsustada, millised on päikesepaneelide kaod. Arvutustes on eeldatud, et päikesepaneelide inverteri kaod on 5% [16]. Lisaks eelnevatele parameetritele tuleb valida päikesepaneelide kaldenurk. Arvutustes on eeldatud, et päikesepaneelide kaldenurk on 42°. Selline kaldenurk on optimeeritud ning sellisel juhul on tootlikkus maksimaalne [17]. Peale kaldenurga tuleb valida ka kõrvalekalle lõunakaarest. Töös on eeldatud, et kõik päikesepaneelid on orienteeritud lõuna suunal. Lõuna suunal orienteeritud päikesepaneelid omavad kõige suuremat tootlikkust. [18] Programmi

suurimaks puuduseks on see, et tunnipõhiseid andmeid see ei väljasta. Programm väljastab andmed, milliseks kujuneb ööpäevane keskmine energiatootlikkus. Ööpäeva keskmist energiatootlikkust on kasutatud tunni andmete koostamiseks. Selle tarvis koostati tunni keskmiste päikesekiirguste tabel. PV-GIS kasutamise puuduseks on see, et tootlikkust hinnatakse pigem tagasihoidlikuks. PV-GIS rakenduse tulemused on toodud välja lisas 4. [19]

Lisas 3 ja 4 olevate andmete põhjal on koostatud päeva keskmine päikesepaneelide tootlikkus. PV-GIS veebirakendusest on leitud vaadeldavate kuude päeva keskmise toodetud energia hulga. Jaanuaris toodavad sellised paneelid keskmiselt päevas programmi järgi 8,47 kWh, juulis 45,20 kWh, märtsis 46,10 kWh ning oktoobris 17,30 kWh. Kasutades neid andmeid, on leitud 10 kW päikesepaneelide tootlikkused ühe tunni kohta.



Joonis 1.14 10 kW päikesepaneelide keskmine tootlikkus uuritava perioodil

Joonisel näeme, et kevadel ja suvel on päikesepaneelide tootlikkus kõige suurem. Päikesepaneelide tootlikkus talvel ja sügisel on madalam. Märtsis on päikesepaneelide tootlikkus suurem tänu madalamale välitemperatuurile. Mida madalam on päikesepaneeli ümbritsev keskkond, seda suurem on nende efektiivsus [20]. Päikesekiirguse tootlikkused ei ole ideaalsed. Hoolimata sellest aitab see töös arvutada, milliseks muutuvad võrgukoormused ning -kaod. Joonisel on näha, et päikepaneelide tootlikkus on suurim kell 11-13, mis jälgib loomulikku päikese liikumist taevas. Mida kõrgemal on päike, seda suurem on ka päikesepaneelide tootlikkus.

Päikesepaneelid toodaksid sellisel juhul talvel detsembrist veebruarini 770,1 kWh. Märtsist maini on selliste paneelide tootlikkus 4195,1 kWh. Juunist kuni augustini 4113,2 kWh. Sügisei ehk perioodil september kuni november toodab selline süsteem 1574,3 kWh. Aastas oleks sellise päikesepaneeli tootlikkus 10652,7 kWh. Võrreldes seda analoogsete süsteemidega, mis on paigaldatud ning, mille inverterid annavad informatsiooni interneti teel, on tulemus liiga suur. Näiteks Randveres asuva 12 kW päikesepaneelide tootlikkus oli 2014 aastal 9977 kWh [21]. Randveres asuv päikesepaneelide nimivõimsus on suurem, millest võib eeldada, et ka päikesepaneelide tootlikkus on suurem kui 10 kW päikesepaneelidel. Nelja päeva keskmiste tootlikkustega leitud aastane tootlikkus on hinnanguliselt liiga suur. Täpsema tulemuse saaksime eeldades, et talvel on toodetud energia veelgi väiksem. Arvutustes on eeldatud, et kogu talve jooksul on toodetud energia ühesugune. Arvutustes eeldatud talvine tootlikkus on kogu talveperioodi jaoks liiga suur. Aluseks on võetud jaanuarikuu kiirus. Täpsemaks hindamiseks tuleks seda veelgi vähendada.

6. Kokkuvõte

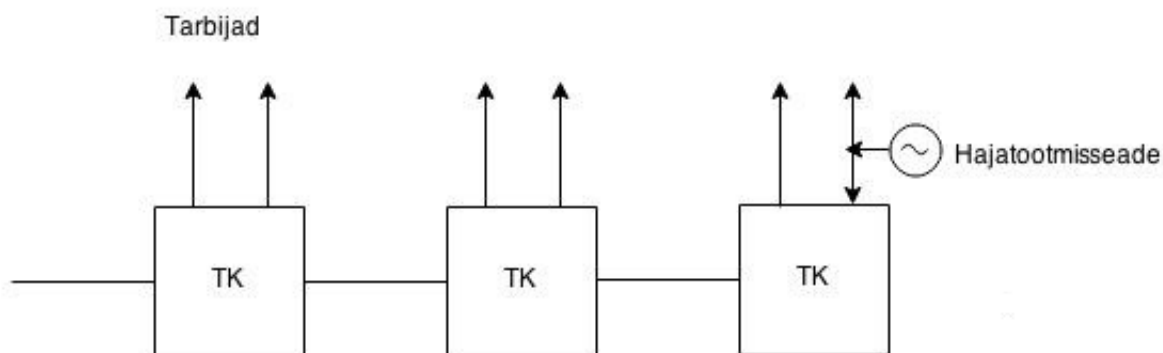
Madalpingevõrgu uurimisel selgus, et madalapinge alajaamas on fiidrid erinevalt koormatud. Kõige enam on koormatud fiidrid 1 ja 3. Üheks põhjuseks võib olla asjaolu, et nendes fiidrites on kõige rohkem tarbijaid (6). Talvel on selle alajaama fiidrite koormused suurimad ning suvel kõige madalamad. Talve perioodil, kui võrk on kõige enam koormatud, moodustavad võrgukaod vaid 1% selles fiidrist ülekantavast energiast. Kevadel ja sügisel on koormused sarnased. Fiidri koormused leiti liites selle fiidri tarbijad. Koormuste leidmisel selgus, et inimeste tarbimisharjumused on erinevad, mis põhjustavad ka fiidrite erineva koormatuse. Reeglina saab öelda, et hommikuti hakkab koormus suurenema kella kuue ajal ning koormusmaksimume esineb selles piirkonnas lõunal kell 12. Peale esimest koormusmaksimumi koormus langeb kuni õhtul viieni. Mõnes fiidris on koormusmaksimumid ka õhtul kümne ajal.

Keskpinge fiidri koormuste uurimisel selgus, et sarnaselt madalpinge fiidritele on ka seal talvel kõige suuremad koormused ning kaod. Keskpingevõrgus moodustavad talvel kaod 3% ülekantavast energiast. Uuritav madalpinge alajaam moodustab keskpingevõrgu koormusest kaks kuni viis protsenti.

Saamaks teada, kuidas mõjutavad päikesepaneelid uuritavat võrku paigaldatakse fiidri 1 tarbijatele päikesepaneelid. Päikesepaneelid on 10 kW nimivõimsusega. Päikesepaneelid on orienteeritud lõuna suunal, kaldenurgaga 42°.

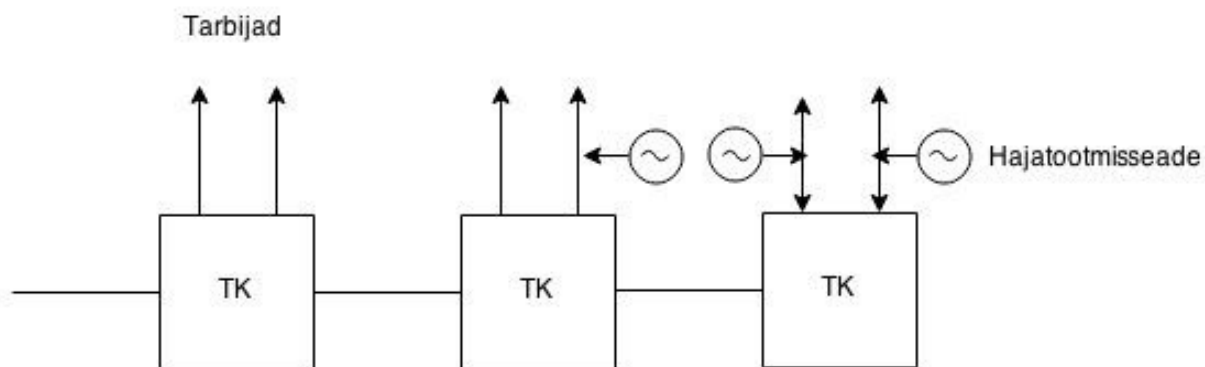
2. Olukord peale päikesepaneelide paigaldamist

Hajaenergeetika mõju uurimise jaoks on leitud, kuidas mõjutavad päikesepaneelid madalpinge alajaama koormust. Iga nelja perioodi juures uuriti, milline on päikesepaneelide mõju koormusele. Esmalt eeldati, et uuritavas fiidris paigaldatakse üks 10 kW päikesepaneel fiidri lõppu. Järgmiseks eeldati, et fiidris on pooled tarbijad hajatootjad ehk fiidrisse on paigaldatud kolm 10 kW päikesepaneeli fiidri lõppu. Viimasena uuritakse, milline on olukord kui kõik tarbijad fiidris paigaldavad 10 kW päikesepaneeli. Tulemuste illustreerimiseks on koostatud joonised.



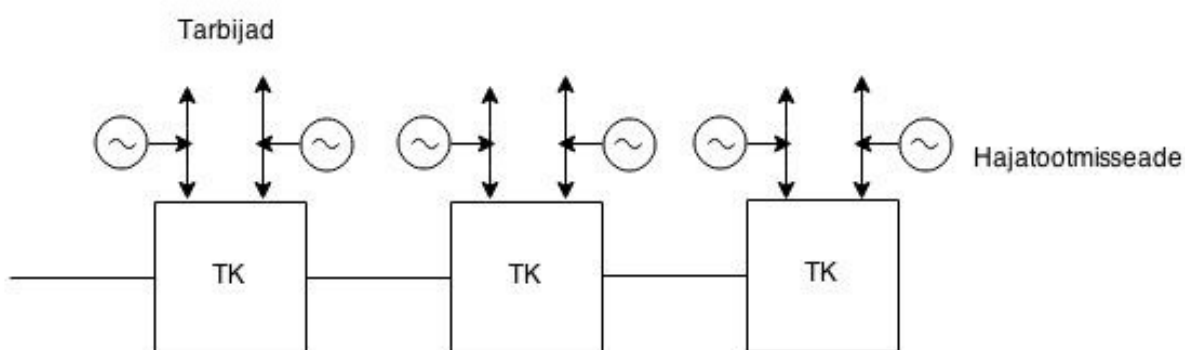
Joonis 2.1 Kadude uurimine olukorras 1

Joonisel on kujutatud olukord, kus üks tarbija hakkab hajatootjaks. Hajatootmisseade on ühendatud selliselt, et toodetav energia tarbitakse esmalt tarbija poolt ning ülejääk müüakse võrku. Puudujääv energia võetakse võrgust.



Joonis 2.2 Kadude uurimine olukorras 2

Joonisel on näha olukord, kus pooled tarbijad hakkavad hajatootjaks. Hajatootmiseadmed on ühendatud selliselt, et toodetav energia tarbitakse esmalt kohapeal ning ülejääk müüakse võrku. Puudujääv energia võetakse samamoodi võrgust. Ülejääv energia müüakse võrku.



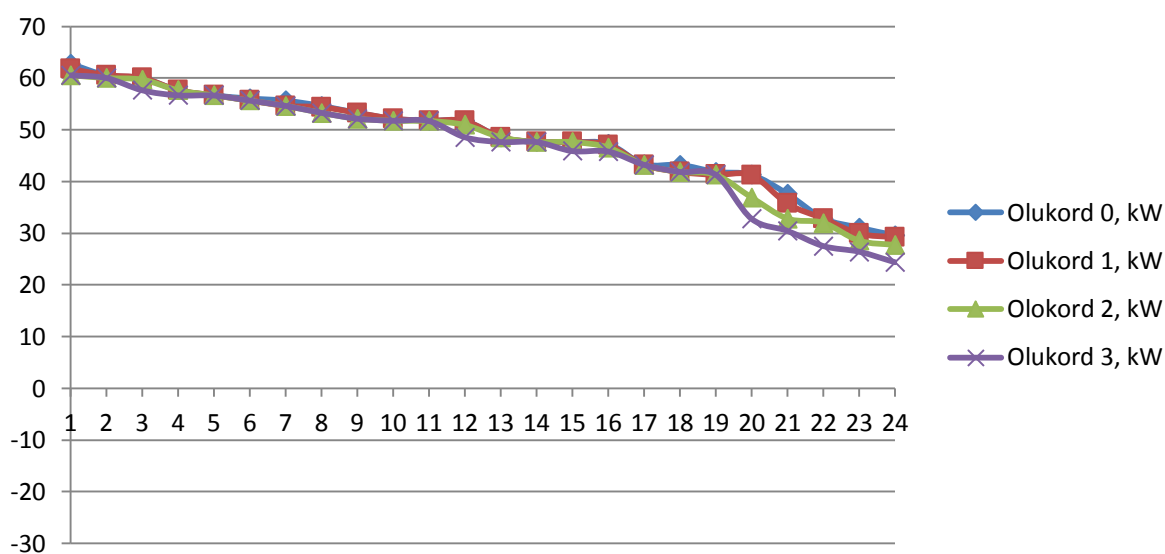
Joonis 2.3 Kadude uurimine olukorras 3

Joonisel on näha olukord 3. Sellisel juhul on fiidri kõik tarbijad ka hajatootjad. Toodetav energia tarbitakse esmalt kohapeal ning ülejääk müüakse võrku. Puudujääv energia tarbitakse keskpinge võrgust.

Kõikide olukordade puhul koostatakse uuritavale fiidrile koormuskestvusgraafikuid. Arvutustes hinnatakse, kui palju energiat on ööpäevas vaja keskpinge võrgust täiendavalt võtte, et katta tarbijate vajadused. Koormuskestvusgraafikutel võivad olla nii positiivsed kui negatiivsed väärtused. Positiivsete väärtuste korral toimub energia tarbimine. Juhul kui graafik on negatiivses skaalas, siis toimub hajatootmiseadmete tõttu energia ületootmine ning koormus muutub negatiivseks. Negatiivse koormuse korral antakse ülejääv energia võrku. Olukorra 0 puhul räägitakse töös algsituatsioonist.

Lisaks koormuskestvusgraafikutele on esitatud ka kao muutuste joonised. Kaod on leitud ühe fiidri terves pikkuses. See tähendab seda, et on leitud fiidri kaod alajaama algusest kuni viimase transiitkilbini. Joonisel positiivsed väärtused tähendavad kao vähenemist ning negatiivsed väärtused tähistavad kao suurenemist. Kadude hindamise juures välja toodud, milline on kadu ühe nädala jooksul arvestades hajatootmisseedmete mõju. Järeldustes on välja toodud, milline on kadu aasta jooksul.

1. Päikesepaneelide mõju talvel



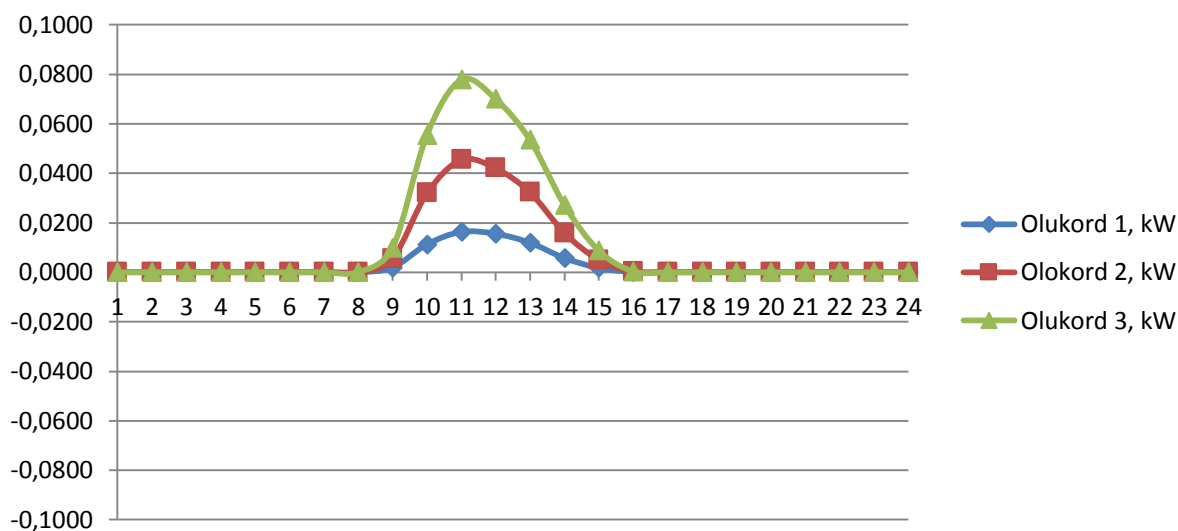
Joonis 2.4 10/0,4 alajaama fiidri koormuskestvusgraafik talvel

Joonisel on näha, et päikesepaneelide mõju koormuse muutumisele on väike. Kõige suurem mõju koormusele on olukorras 3, kui kõik fiidri tarbijad on hajatootjad. Sellises olukorras väheneb fiidri koormus talvise koormusmaksimumi ajal 4%. Kõige väiksem mõju on siis, kui fiidri lõpus on ainult üks hajatootja. Koormus väheneb ca 1%. Eeldusel, et fiidris on 50% hajatootjad, muutub koormus väiksemaks 2% võrra.

Olukorras 0 on maksimumkoormus 62,8 kW ning miinimumkoormus 29,6 kW. Keskmise koormuse ilma hajatootjateta on 48,56 kW. Olukorras 1 väheneb maksimum- ja miinimumkoormus. Uus koormusmaksimum on 61,8 kW ning -miinimum 29,2 kW. Keskmise koormuse olukorras 1 on 48,2 kW. Olukorras 2 vähenevad nii koormusmaksimum kui miinimum. Koormusmaksimum on 60,6 kW ning miinimum 27,7 kW. Keskmise koormuse on 47,5 kW. Olukorras 3 on koormusmaksimum 60,6 kW ning miinimum 24,4 kW. Keskmise koormuse on 46,4 kW. Tuginedes sellele saab öelda, et päikesepaneelid vähendavad uuritava fiidri koormusmaksimume ning -miinimume. Lisaks sellele väheneb ka keskmine võimsus.

Kõige suurem muutus toimub olukorras 3. Päikesepaneelide mõju koormusele ei ole väga suur. Olukorras 3 väheneb keskmine koormus vaid 2,1 kW. Ööpäevas teeb see 50,4 kWh.

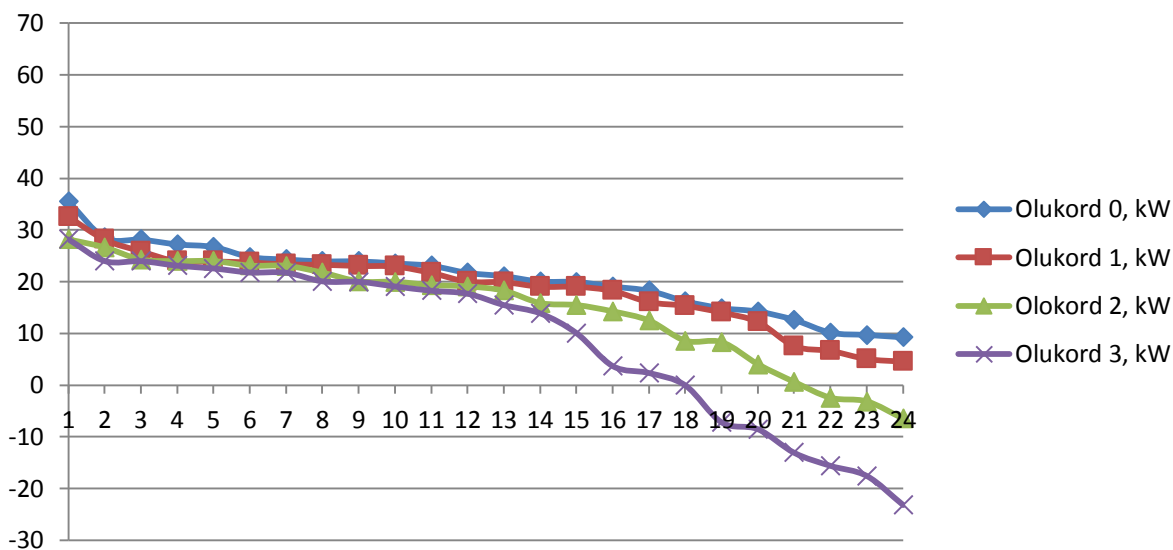
Olukorras 0 tarbitakse fiidris 1165 kWh-i energiat. Olukorras 1 läbib esimest fiidrit 1156 kWh. Olukorras 2 väheneb ööpäevane energiatarve ca 25 kWh. Olukorras 3 on ööpäevane energiatarve 1114 kWh.



Joonis 2.5 10/0,4 alajaama fiidri kao muutus talvel

Joonisel on kujutatud kao muutust võrreldes situatsiooniga, kus ühtegi hajatootjat ei olnud. Kuna talvisel ajal ei ületa päikesepaneelide tootlikkus tarbijate koormusi, siis ei teki ka kadude suurenemist. Võimsuskadud vähenevad kõige rohkem siis, kui fiidris on kõik tarbijad hajatootjad. Seda kirjeldab olukord 3. Kõige vähem vähenevad kaod kui ainult üks tarbija on ka hajatootja. Kadude vähenemine toimub ainult sellel ajal kui päikesepaneelid genereerivad võimsust. Tänu päikesepaneelide poolt toodetud energiale väheneb fiidri koormus. Olukorras 1 vähenevad kaod 2% ning päevas uuritava lõigu kaod 4,09 kWh. Olukorras 2 vähenevad kaod 4%. Päevas on sellisel juhul kaod 3,98 kWh. Viimases olukorras vähenevad kaod 7%. Ööpäeva jooksul on sellisel juhul kaod 3,86 kWh.

2. Päikesepaneelide mõju kevadel



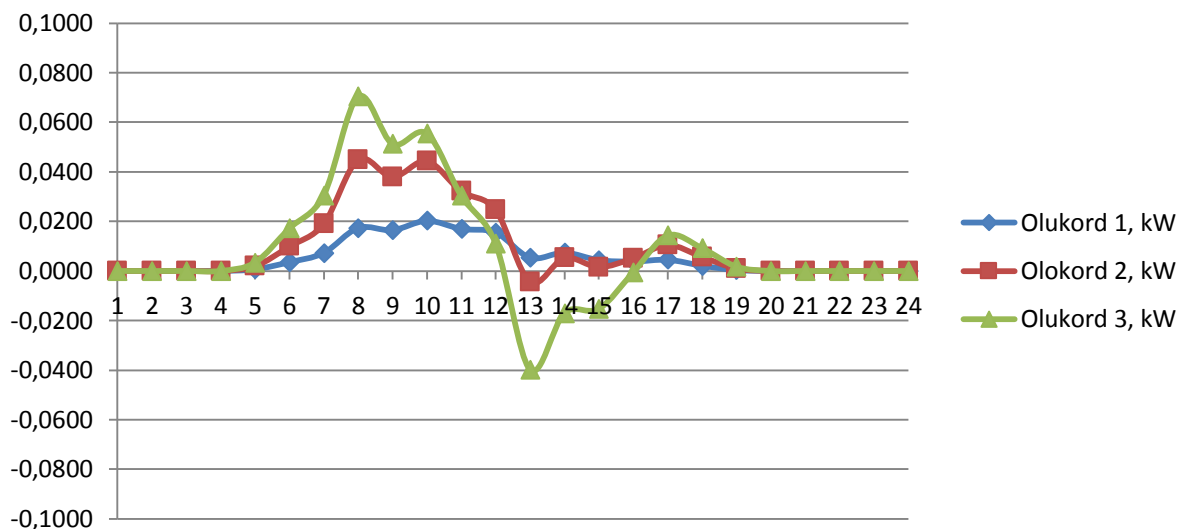
Joonis 2.6 10/0,4 alajaama fiidri koormuskestvusgraafik kevadel

Joonisel on näha, milliseks muutub kevadel ühe päeva koormuskestvusgraafik. Algselt on suurim koormus ca 35 kW. Vähim koormus on ca 10 kW. Juhul kui fiidri lõpus muutub üks tarbija hajatootjaks, on olukord muutunud. Maksimumkoormus on vähenenud ca 2 kW võrra ning vähim koormus on sellises olukorras ca 5 kW. Juhul kui fiidris on pooled tarbijad hajatootjad, muutub fiider energiat andvaks. Sellises olukorras annaks fiider võrku energiat kolme tunni jooksul. Antav energia on ca 12 kWh. Maksimumkoormus on sellisel juhul vähem kui 30 kW. Olukorras, kus kõik tarbijad on ka hajatootjad, on situatsioon järgmine - fiider muutub kuueks tunniks energiaandjaks. Fiider annab kuue tunni jooksul ca 85 kWh energiat.

Olukorras 0 on maksimumkoormus 35,5 kW ning miinimumkoormus 9,2 kW. Keskmine koormus on 20,7 kW. Olukorras 1 on maksimumkoormus 32,5 kW ning miinimum 4,5 kW. Keskmine koormus on vähenenud 18,7 kW. Olukorras 2 on maksimumkoormus 28,1 kW ning miinimumkoormus -6,6 kW. Keskmine koormus on 14,9 kW. Olukorras 3 on maksimumkoormus sama mis olukorras 2, ehk 28,1 kW. Miinimumkoormus on -23,2 kW. Keskmine koormus on 9,1 kW.

Olukorras 0 on selle fiidri ööpäevane energia tarbimine 496 kWh. Olukorras 1 on fiidri ööpäevane tarbimine 450 kWh. Olukorras 2 on ööpäevane energia veelgi vähenenud. Olukorras 2 on ööpäevane energiatarve 357 kWh. Olukorras, kus fiidris on 6 hajatootjat, on

energiatarve vähenenud ligi poole võrra. Olukorras 3 on alajaama fiidri ööpäevane energiatarve 219 kWh.

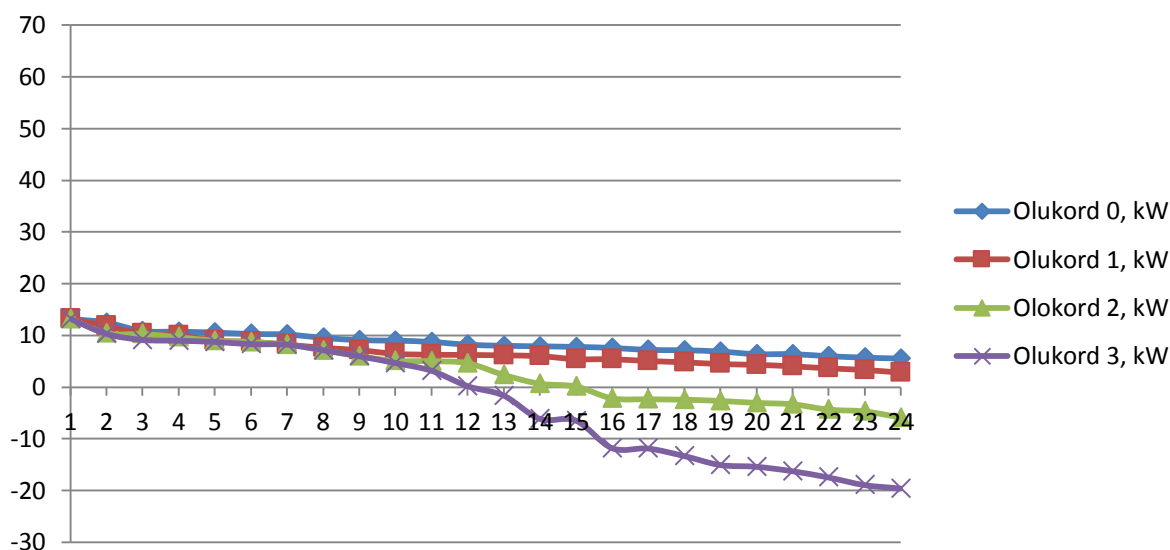


Joonis 2.7 10/0,4 alajaama fiidri kao muutus kevadel

Kadude muutus on illustreeritud joonisel. Olukorras 1 on näha, et tänu päikesepaneelide poolt genereeritud võimsusele, on kaod fiidris vähenenud. Olukorras 2 on summaarselt kaod väiksemad. Kell üks päeval on kao muutus negatiivne. See tähendab, et siis on fiidri koormus suurem kui olukorras 0. See on tingitud sellest, et siis on fiidri koormus negatiivne ning koormuse absoluutväärtus on suurem kui algselt. Olukorras kus kõik tarbijad on hajatootjad on summaarselt kaod väiksemad kui esialgselt. Kaod suurenevad pärast 12. Kao suuremine on tingitud suurest tootmisest.

Olukorras 1 vähenevad kaod 16%. Sellises olukorras, kus fiidris on üks hajatootja, on fiidri kadu 0,66 kWh ööpäevas. Olukorras kaks väheneb kadu 30%. Fiidri kadu on sellisel olukorras 0,55 kWh. Olukorras 3 väheneb kadu 28%. Fiidri kadu on sellises olukorras 0,57 kWh. Olukorras 3 on kadu suurem kui olukorras 2. See on seletatav asjaoluga, et pärast lõunat toimub kao suuremine. Kaod suurenevad, sest sellele hetkel ületab tootmine tarbimist nii palju, et ülejään võimsus on suurem kui olukorras 0.

3. Päikesepaneelide mõju suvel



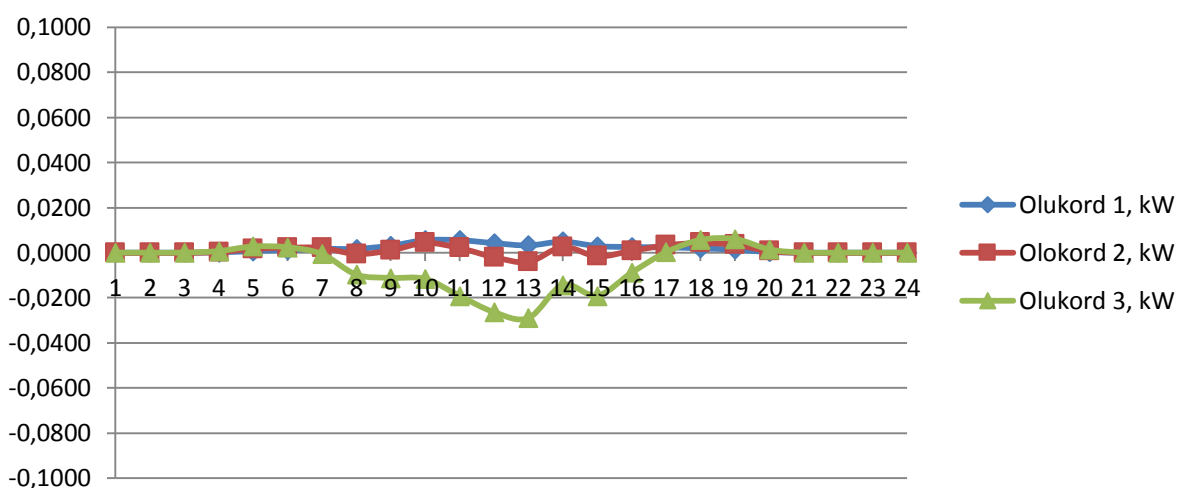
Joonis 2.8 10/0,4 kV alajaama fiidri koormuskestvusgraafik suvel

Joonisel näeme, milline on päikesepaneelide mõju alajaamas esimesele fiidri. Olukorda, kus ükski tarbija ei ole hajatootja, illustreerib joonisel sinine joon. Punase joonega on välja toodud olukord, kus fiidri lõpus asub üks hajatootja. Rohelise joonega on välja toodud situatsioon, kus pooled tarbijad on hajatootjad. Olukorras 3 on kõik hajatootjad. Ühe 10 kW päikesepaneeli lisamisega jääb koormuse tipp samasuguseks. Ühe hajatootja lisamisega väheneb ööpäevane koormus 22%. Juhul, kui selle fiidri tarbijatest 50% on ka hajatootjad, on koormuse vähenemine suurem. Sellises olukorras väheneb fiidri koormus 36%. Sellises olukorras muutub fiidri koormus negatiivseks, mis tähendab, et fiidris tekib energiaülejääk. Fiider on üheksa tunni jooksul energiat andev. Eeldusel, et kõik tarbijad on ka hajatootjad, muutub situatsioon veelgi enam. Olukorras 3 on fiider 12 tundi päevas energiat võttev ning 12 tundi energiat andev. Alajaamale tähendab see koormuse suurenemist. Fiidri koormus on suurem ca 18%. Selle tulemusena suurenevad ka kaod. Koormus on suurem kui olukorras 0, sest suurem osa energiast toodetakse lõuna ajal.

Olukorras 0 on miinimumkoormus 5,5 kW ning maksimumkoormus ca 13,2 kW. Keskmise koormus on 8,6 kW. Olukorras 1 on koormusmaksimum endiselt 13,2 kW. Miinimumkoormus on 2,8 kW ning keskmine koormus on 6,7 kW. Ka olukorras 2 ei ole maksimumkoormus muutunud. Miinimumkoormus on negatiivne, st fiider annab siis energiat. Miinimumkoormus on -5,8 kW. Keskmise koormus olukorras 3 on 2,9 kW. Olukorra 3 puhul on maksimumkoormus endiselt 13,2 kW. Miinimumkoormus on -19,6 kW. Keskmise

koormus on $-2,7$ kW. Negatiivne keskmine koormus näitab, et keskmiselt annab fiider rohkem energiat kui tarbib.

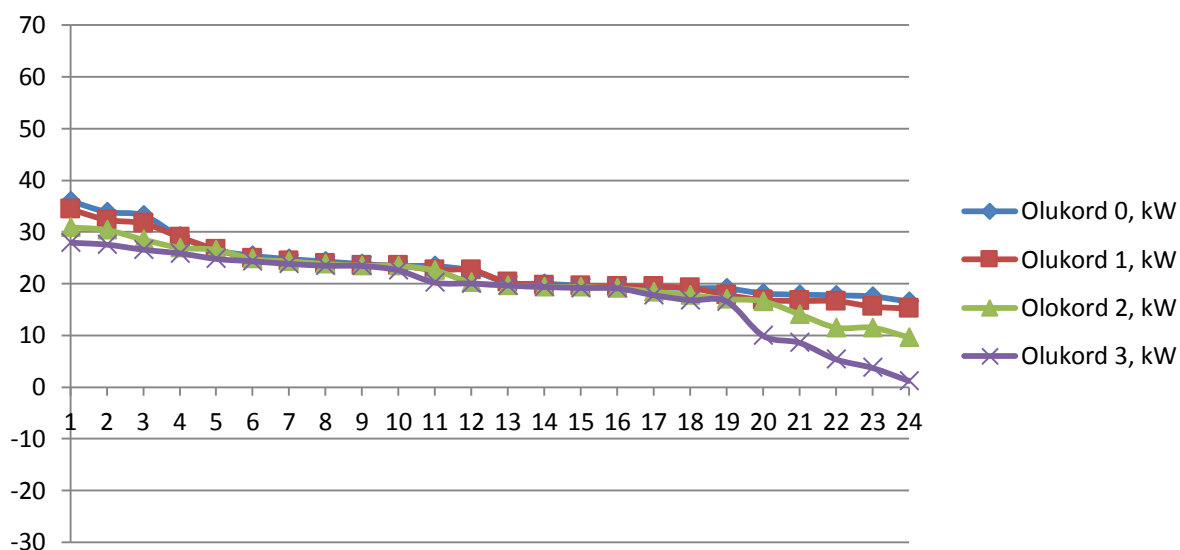
Olukorras 0 läbib alajaama 205 kWh energiat. Ühe hajatootja lisandumisel on ööpäevane energia 160 kWh. Juhul kui fiidris on pooled tarbijad hajatootjad, väheneb tarbitav energia veelgi. Olukorras 2 on fiidri energiatarbimine ööpäevas 70 kWh. Olukorras 3 toodavad päikesepaneelid mõnel ajal rohkem energiat kui tarbitakse. Selle tulemusel muutub fiider energiatarbivaks. Ühes ööpäevas annab see fiider energiat 65 kWh.



Joonis 2.9 10/0,4 alajaama fiidrite kao muutus suvel

Joonisel on kujutatud fiidri üks kadude muutust. Esimese situatsiooni korral on fiidris üks hajatootja. Joonisel on näha, et kao muut on positiivne. See tähendab seda, et kaod vähenevad. Olukorras 1 vähenevad kaod 34%. Päevas on sellised fiidri kaod 0,09 kWh. Olukord 2 kirjeldab situatsiooni, kus pooled tarbijad on ka hajatootjad. Joonisel on näha, et kuni üheteistkümmeni toimub kao vähenemine ning peale seda kao vähenemine aeglustub. Kell üks päeval näeme, et kaod on muutunud negatiivseks. See tähendab seda, et kaod on suurenenud võrreldes algsituatsiooniga. Kaod vähenevad ca 17%. Päevas on sellise lõigu kaod 0,11 kWh. Olukorras 3 on näha, et hommikul seitsmest õhtul viieni toimub kadude suurenemine. See on seletatav asjaoluga, et päikesepaneelid toodavad selles vahemikus suurema osa energiat ning fiidris ei ole piisavalt suuri tarbijaid, kes suudaksid toodetud energiat kohe ära tarbida. Tänu suuremale koormusele on ka kaod suuremad. Sellises olukorras suurenevad kaod ca 101%. Päevas on sellises situatsioonis kaod 0,26 kWh.

4. Päikesepaneelide mõju sügisel



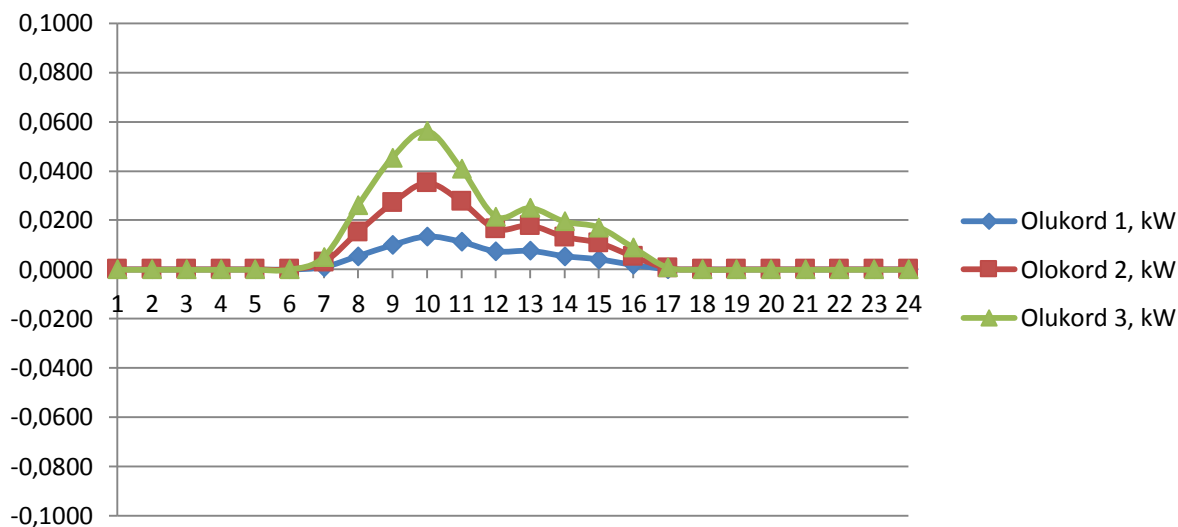
Joonis 2.10 10/0,4 alajaama fiidri koormuskestvusgraafik sügisel

Joonisel näeme, et päikesepaneelidel on mõju ka sügisesele koormuskestvusgraafikule. Hoolimata sellest, et arvutustes ei olnud sügisene päikesekiirgus väga suur, on päikesepaneelide mõju koormuse muutusele siiski olemas. Ühe hajatootja abil väheneb maksimumkoormus. Võrreldes olukorraga 0 väheneb koormus 3%. Eeldusel, et 50% tarbijatest on hajatootjad, väheneb koormus ca 9%. Tänu hajatootjatele väheneb maksimumkoormus ning väheneb ka miinimumkoormus. Viimases olukorras, kus kõik tarbijad on hajatootjad, ei muutu koormus negatiivseks. See on seletatav sellega, et võrreldes kevadega on päikesepaneelide tootlikkus väiksem ning tootlikkus ei ületa fiidri tarbimist. Tänu sellele, et koormused vähenevad, vähenevad ka kaod selles fiidris.

Olukorras 0 on maksimumkoormus 36,0 kW ning miinimumkoormus 16,6 kW. Keskmise koormuse on 23,0 kW. Olukorras 1 vähenevad maksimum- ning miinimumkoormused. Maksimumkoormus on 34,3 kW ning miinimumkoormus 15,1 kW. Keskmise koormuse on 22,2 kW. Olukorras 2 on maksimumkoormus 30,9 kW ning miinimumkoormus 9,57 kW. Keskmise koormuse on 29,8 kW. Olukorras 3 on maksimumkoormus 27,9 kW ning miinimumkoormus 1,2 kW. Keskmise koormuse on 18,7 kW-i. Miinimumkoormused vähenevad, sest päikesepaneelide poolt toodetud energia ning tarbijate miinimumid langevad samale ajale.

Ööpäevas on olukorras 0 fiidri energia tarbimine 551 kWh. Olukorras 1 väheneb energiatarve ööpäevas 534 kWh-i. Olukorras 2 on ööpäevane energiatarve 500 kWh ning olukorras 3

on 447 kWh. Juhul kui iga fiidri tarbija on ka hajatootja, säästetakse ööpäevas 103 kWh. Tänu sellele vähenevad ka kaod.

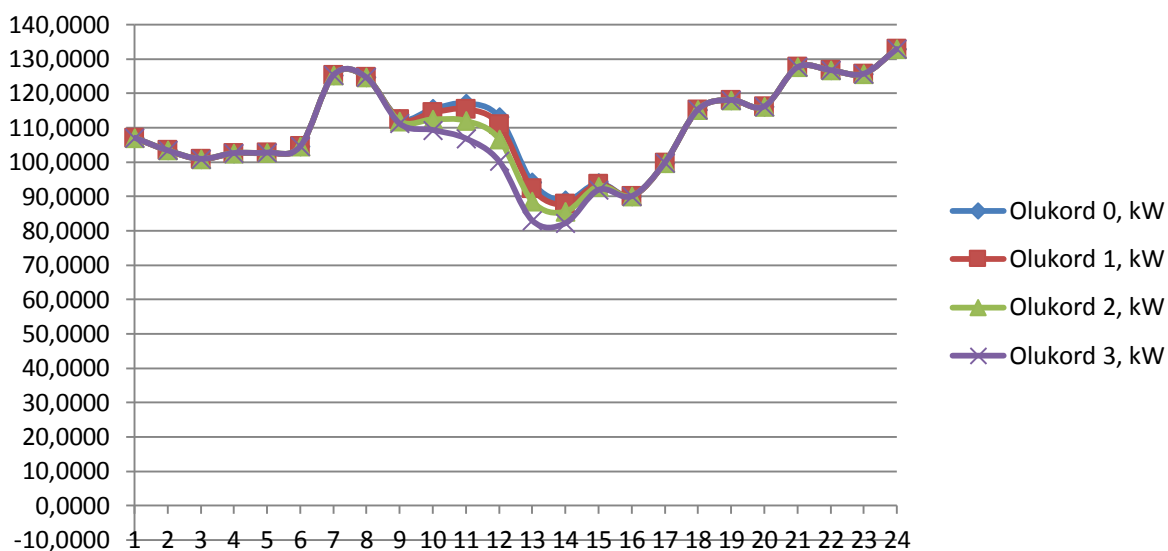


Joonis 2.11 10/0,4 alajaama fiidri kao muutus sügisel

Koormuste vähenemise joonisel on näha, et kõikides olukordades toimub kadude vähenemine. Kõige suurem mõju kadude vähenemisele on hommikul kümne ajal. See on seletatav sellega, et sellel ajal on tarbimine väga suur ning päikesepaneelid vähendavad sellel ajal tarbitavat elektrienergiat piisavalt, et muutus oleks märgatav. Olukorras 1 vähenevad kaod 7%. Olukorras 1 on kaod 0,87 kWh ööpäevas. Olukorras 2 vähenevad kaod 18%. Olukorras 2 on kaod ööpäevas 0,77 kWh. Olukorras 3 vähenevad kaod 28%. Olukorras 3 on ööpäevas kaod 0,67 kWh. Võrreldes teiste perioodidega on päikesepaneelide mõju väiksem. See on seletatav sellega, et sügisel ei ole päikesepaneelide poolt toodetud energia suur.

5. Mõju alajaama koormusele

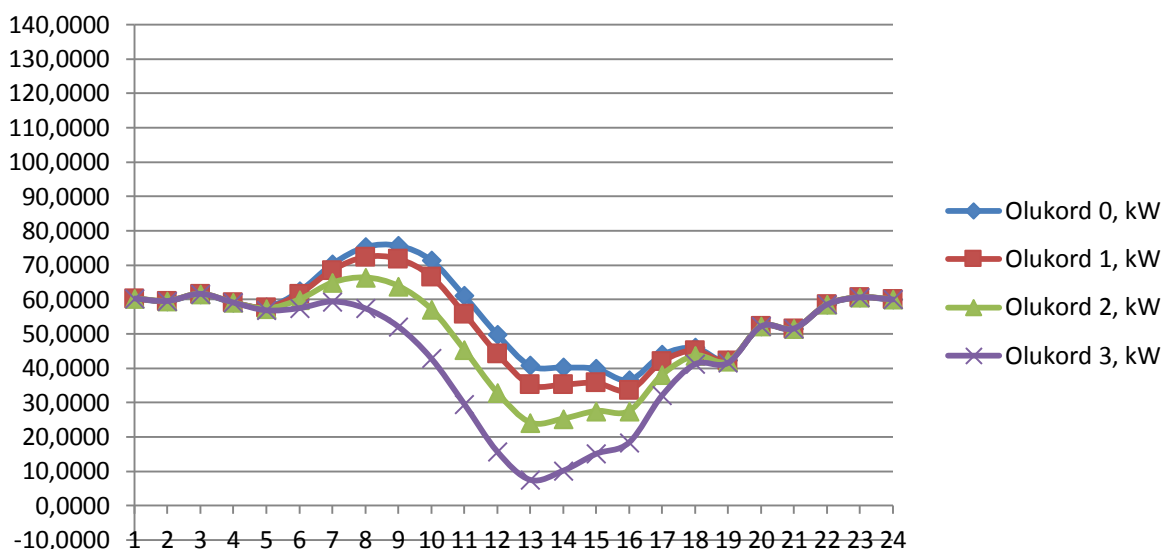
Järgmisena uuritakse töös, kuidas mõjutavad päikesepaneelid alajaama koormust. Koormuste muutumiseks on koostatud alljärgnevad joonised. Koormuste uurimisel on leitud, milline on madalpinge alajaama võimsus enne transformaatorit. Selle leidmiseks on liidetud kõikide fiidrite koormused. Välja on jäetud tänavavalgustuse fiider. Tänavavalgustuse fiidri tarbimisandmed puuduvad.



Joonis 2.12 10/0,4 kV alajaama koormus talvel

Joonisel näeme uuritava alajaama koormust talvel. Olukorras 0 on sellise alajaama maksimumkoormus 133,0 kW ning miinimum 88,9 kW. Keskmise koormus on 110,8 kW. Sellisest alajaamast läbib ööpäevas 2660,0 kWh elektrienergiat. Olukorras 1 jääb maksimumkoormus samaks. Miinimumkoormus on 87,7 kW. Keskmise koormus on olukorras 1 110,5 kW. Ööpäevas läbib alajaama 2651 kWh elektrienergiat. Olukorras 2 jääb maksimumkoormus samaks. Miinimumkoormus on 85,5 kW. Keskmise koormus on 109,8 kW ning ööpäevas läbib alajaama 2634,5 kWh elektrienergiat. Olukorras 3 jääb koormusmaksimum samaks. Koormusmiinimum on 82,2 kW ning keskmise koormus 108,7 kW. Ööpäevas läbib alajaama 2609,1 kWh elektrienergiat.

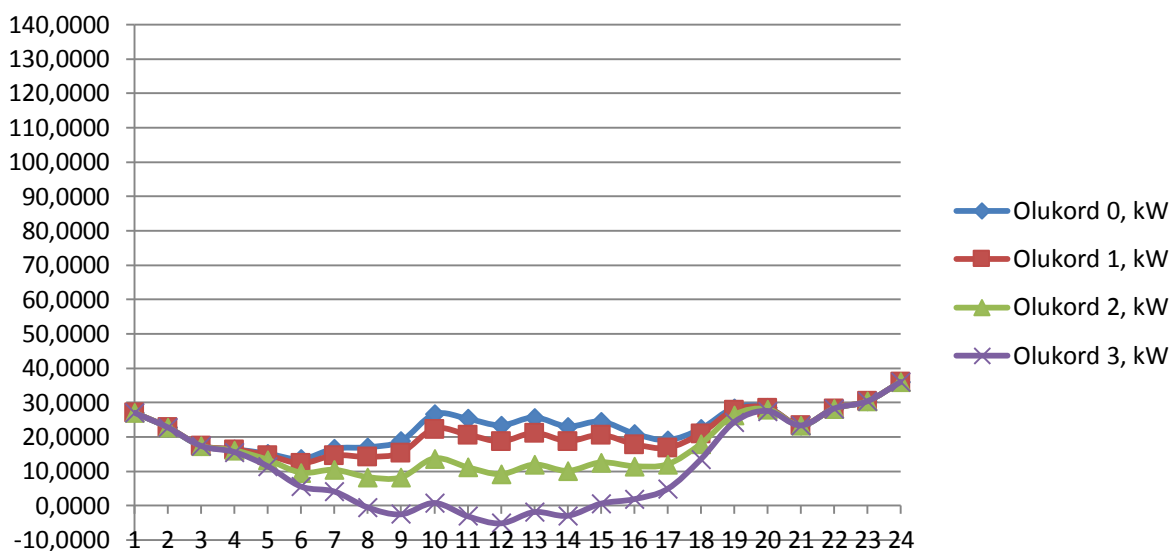
Päikesepaneelid ei mõjuta koormusmaksimume. Mõju koormusmiinimumile on väike, kuna päikesepaneelide tootlikkus on vaadeldaval perioodil väga väike. Ööpäevane elektrienergia liikumine 110/10 kV alajaamast 10/0,4 kV alajaama suunas väheneb kõige rohkem olukorras 3. Sellisel juhul on vähenemine 2%. Olukorras 2 väheneb elektrienergia 1% ning olukorras 1 vähem kui 1%. Juhul kui fiidri tarbijatel on paigaldatud päikesepaneelid, siis päikesepaneelide poolt toodetud energia mõju talvisele koormusele on väga väike.



Joonis 2.13 10/0,4 kV alajaama koormus kevadel

Joonisel näeme uuritava alajaama koormust kevadel. Olukorras 0 on sellise alajaama maksimumkoormus 37,4 kW ning miinimum 21,7 kW. Keskmise koormus on 29,0 kW. Sellisest alajaamast läbib ööpäevas 696,7 kWh elektrienergiat. Olukorras 1 jääb maksimumkoormus samaks. Miinimumkoormus on 18,6 kW. Keskmise koormus on olukorras 1 27,1 kW. Ööpäevas läbib alajaama 650,8 kWh elektrienergiat. Olukorras 2 jääb maksimumkoormus samaks. Miinimumkoormus on 8,5 kW. Keskmise koormus on 23,3 kW ning ööpäevas on alajaama tarbimine 558,7 kWh. Olukorras 3 jääb koormusmaksimum samaks. Koormusmiinimum on -6,8 kW ning keskmise koormus 17,5 kW. Ööpäevas läbib alajaama 420,3 kWh elektrienergiat.

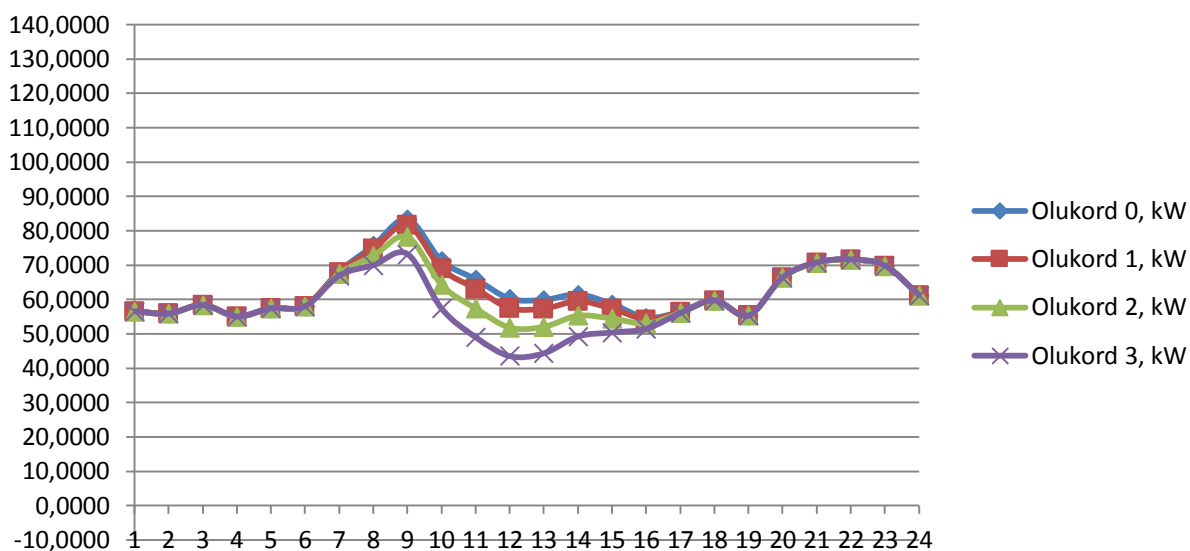
Päikesepaneelid ei mõjuta alajaama koormusmaksimume. Ööpäevane elektrienergia liikumine 110/10 kV alajaamas 10/0,4 kV alajaama suunas väheneb kõige rohkem olukorras 3. Sellisel juhul on vähenemine 40 %. Olukorras 2 väheneb elektrienergia tarbimine 20% ning olukorras 1 väheneb tarbimine 7%. Olukorras 3 muutub alajaam ka keskpinge võrku toitvaks alajaamaks, sest siis on päikesepaneelide poolt toodetud energia ülejääk. See toimub üheteistkümnest kuni kella kolmeni päeval.



Joonis 2.14 Alajaama 10/0,4 kV koormus suvel

Joonisel näeme uuritava alajaama koormust suvel. Olukorras 0 on sellise alajaama maksimumkoormus 35,9 kW ning miinimumkoormus 13,6 kW. Keskmise koormus on 23,0 kW. Selle alajaama tarbimine on ööpäevas 550,8 kWh. Olukorras 1 jääb maksimumkoormus samaks. Miinimumkoormus on 12,3 kW. Keskmise koormus olukorras 1 on 21,1 kW. Alajaama koormus on ööpäevas 505,6 kWh. Olukorras 2 jääb maksimumkoormus samaks ja miinimumkoormus väheneb. Miinimumkoormus olukorras 2 on 17,3 kW. Keskmise koormus on 17,3 kW ning ööpäevas on alajaama tarbimine 415,2 kWh elektrienergiat. Olukorras 3 jääb koormusmaksimum samaks. Koormusmiinimum on -5,1 kW ning keskmise koormus 11,7 kW. Ööpäevas on alajaama tarbimine 279,7 kWh.

Päikesepaneelid ei mõjuta suvel alajaama koormusmaksimume. Ööpäevane elektrienergia liikumine 110/10 kV alajaamas 10/0,4 kV alajaama suunas väheneb kõige rohkem olukorras 3. Sellisel juhul on vähenemine 49 %. Olukorras 2 väheneb elektrienergia 25% ning olukorras 1 8%. Olukorras 3 muutub alajaam ka keskpingevõrku toitvaks alajaamaks. See toimub lõuna ajal. See on põhjustatud sellest, et päikesepaneelide tootlikkus on sellel ajal suurim.



Joonis 2.15 Alajaama 10/0,4 kV koormus sügisel

Joonisel näeme uuritava alajaama koormust sügisel. Olukorras 0 on sellise alajaama maksimumkoormus 83,4 kW ning miinimumkoormus 54,7 kW. Keskmise koormus on 63,0 kW. Selle alajaama tarbimine on 1512,2 kWh. Olukorras 1 on maksimumkoormus 81,7 kW. Miinimumkoormus on 54,2 kW. Keskmise koormus olukorras 1 on 62,3 kW. Ööpäevas on alajaama tarbimine 1494,8 kWh. Olukorras 2 väheneb koormusmaksimum ja koormusmiinimum. Koormusmaksimum on 78,3 kW ja miinimumkoormus 51,9 kW. Keskmise koormus on 60,8 kW ning ööpäevas on alajaama tarbimine 1460,3 kWh. Olukorras 3 on koormusmaksimum 73,2 kW. Koormusmiinimum on 43,6 kW ning keskmise koormus 58,7 kW. Ööpäevas on alajaama tarbimine 1408,4 kWh.

Päikesepaneelid mõjutavad koormusmaksimume natukene. Võrreldes teiste perioodidega vähenevad koormusmaksimumid rohkem. See tuleneb sellest, et vaadeldaval päeval langeb koormusmaksimum ning päikesepaneelide tootlikkus kokku. Koormusmiinimumid vähenevad igas olukorras. Ööpäevane elektrienergia liikumine 110/10 kV alajaamas 10/0,4 kV alajaama suunas väheneb kõige rohkem olukorras 3. Sellisel juhul on vähenemine 49 %. Olukorras 2 väheneb elektrienergia 25% ning olukorras 1 väheneb ööpäevane energia 8%. Olukorras 3 muutub alajaam ka keskpinge võrku toitvaks alajaamaks. See toimub lõuna ajal. See on põhjustatud sellest, et siis on päikesepaneelide tootlikkus suurim.

6. Päikesepaneelide mõju keskpinge võrgu kadudele ning koormustele

Päikesepaneelide mõju keskpingele ei ole väga suur. Üheks põhjuseks on asjaolu, et keskpinge fiidri koormus on kordades suurem, võrreldes madalpinge alajaama koormusega. Uuritav 10/0,4 kV alajaam moodustab ca 2-5% keskpinge alajaama 110/10 kV ühe fiidri koormusest. Päikesepaneelid madalapinge alajaama ühes fiidris ei mõjuta keskpinge fiidri koormust oluliselt, sest toodetud energia kogus on liiga väike. Arvutuste tulemused on esitatud tabelites.

Tabel 2.1 Päikesepaneelide mõju keskpinge fiidri koormusele talvel

	Olukord 0	Olukord 1	Olukord 2	Olukord 3
Energia ööpäeva, MWh	56,72	56,71	56,69	56,66
Keskmine koormus, MW	2,36	2,36	2,36	2,36
Maksimumkoormus, MW	2,94	2,94	2,94	2,94
Miinumkoormus, MW	1,94	1,94	1,94	1,94
Koormuse muutus	0%	-0,01%	-0,04%	-0,09%

Talveperioodil mõjutavad päikesepaneelid keskpinget kõige vähem. Olukorras 1 on päikesepaneelide mõju väga madal. Ööpäevas mõjutavad päikesepaneelid koormus 0,01 %. Olukorras 2 on mõju 0,04% võrreldes algse situatsiooniga. Olukorras 3 on fiidri ööpäevane keskmine koormus vähenenud 0,09 %. Koormusmaksimumid ja koormusmiinimumid jäävad kõigis olukordades samaks.

Tabel 2.2 Päikesepaneelide mõju keskpinge fiidri koormusele kevadel

	Olukord 0	Olukord 1	Olukord 2	Olukord 3
Energia ööpäeva, MWh	39,98	39,93	39,84	39,70
Keskmine koormus, MW	1,67	1,66	1,66	1,65
Maksimumkoormus, MW	2,10	2,10	2,10	2,10
Miinumkoormus, MW	1,45	1,45	1,44	1,43
Koormuse muutus	0 %	-0,12%	-0,35%	-0,69%

Kevadel on päikesepaneelide mõju suurem kui talvel. Olukorras 1 väheneb päikesepaneelide poolt toodetud energia ööpäevast keskmist koormus 0,12 %. Olukorras 2 vähendavad päikesepaneelid ööpäevas keskmist koormust 0,35 % ning olukorras 3 väheneb ööpäevane keskmine koormus 0,69 %. Päikesepaneelide poolt toodetud energia ei vähenda fiidri koormusmaksimumi. Igas olukorras on see 2,10 MW. Olukorras 1 jääb muutumatuks koormusmiinimum, mis on 1,45 MW. Olukorras 2 on koormusmiinimum 1,44 MW. Olukorras 3 on koormusmiinimum 1,43 MW.

Tabel 2.3 Päikesepaneelide mõju keskpinge fiidri koormusele suvel

	Olukord 0	Olukord 1	Olukord 2	Olukord 3
Energia ööpäevas, MWh	31,59	31,54	31,45	31,31
Keskmine koormus, MW	1,32	1,31	1,31	1,30
Maksimumkoormus, MW	1,54	1,54	1,54	1,54
Miinumkoormus, MW	0,94	0,93	0,93	0,93
Koormuse muutus	0%	-0,14 %	-0,43 %	-0,86 %

Suvel on päikesepaneelide mõju suurem kui talvel ja kevadel. Olukorras 1 vähendab päikesepaneelide poolt toodetud energia ööpäevast keskmist koormus 0,14 %. Olukorras 2 vähendavad päikesepaneelid ööpäevas keskmist koormust 0,43 % ning olukorras 3 väheneb ööpäevane keskmine koormus 0,86 %. Päikesepaneelide poolt toodetud energia ei vähenda fiidri koormusmaksimume. Igas olukorras on see 1,54 MW. Kõikides olukordades, kus päikesepaneelid toodavad energiat väheneb koormusmiinimum. Uus koormusmiinimum on 0,93 MW.

Tabel 2.4 Päikesepaneelide mõju keskpinge fiidri koormusele sügisel

	Olukord 0	Olukord 1	Olukord 2	Olukord 3
Energia ööpäevas, MWh	45,24	45,23	45,19	45,14
Keskmine koormus, MW	1,89	1,88	1,88	1,88
Maksimumkoormus, MW	2,59	2,59	2,59	2,59
Miinumkoormus, MW	1,38	1,38	1,38	1,38
Koormuse muutus	0%	-0,04%	-0,11%	-0,23%

Sügisel on päikesepaneelide mõju väiksem kui kevadel ja suvel. Olukorras 1 väheneb päikesepaneelide poolt toodetud energia ööpäevast keskmist koormust 0,04 %. Olukorras 2 vähendavad päikesepaneelid ööpäevas keskmist koormust 0,11 % ning olukorras 3 väheneb ööpäevane keskmine koormus 0,23 %. Päikesepaneelide poolt toodetud energia ei vähenda fiidri koormusmaksimume ja koormusmiinimume. Igas olukorras on fiidri maksimumkoormus 2,59 MW. Fiidri miinimumkoormus on igas olukorras 1,38 MW.

Arvutuste tulemustest on näha, et juhul kui uuritava madalpinge alajaama ühe fiidri tarbijad paigaldavad päikesepaneelid, siis need ei mõjuta oluliselt keskpinge fiidri koormuseid. Koormus küll väheneb tänu toodetud energiale, kuid ei oma suurt rolli koormuse muutuses. Sellest võib järeldada, et keskpinge liinilõigu kaod ei muutu oluliselt. Kaod on otseselt seotud fiidri koormusega.

7. Mõju aasta jooksul

Aastase mõju uurimiseks on töö autor teinud eelduse, et talvist, suvist, kevadist ning sügist koormust on 91 päeva. Seoses asjaoluga, et päikesepaneelid ei mõjuta keskpinget olulisel määral ei ole seda välja toodud.

Tabel 2.5 Kaod madalpinge alajaama fiidris

	Olukord 0, kWh	Olukord 1, kWh	Olukord 2, kWh	Olukord 3, kWh
Talv	379	372	362	351
Kevad	72	60	50	52
Suvi	12	8	10	24
Sügis	86	79	70	61
Aastas	548	520	492	488

Ülal tabelis on välja toodud arvutuslikud kaod aasta jooksul. Olukorras 0 on aastased kaod selles fiidris hinnanguliselt 547 kWh. Talvel on kaod kõige suuremad ning suvel kõige väiksemad. Alumises tabelis on välja toodud kaomuutus aastas võrreldes algse olukorraga. Talvise kao osakaal on 69% aastastest kadudest. Olukorras 1 kaod vähenevad. Päikesepaneelide poolt toodetud energia abil vähenevad aastased kaod 28 kWh. Kõige enam vähenevad kaod kevadel ja suvel. Suvel vähenevad kaod 31% ning talvel 16 %. Olukorras 2 on aastased hinnangulised kaod 492 kWh. Talvise kao osakaal on endiselt kõige suurem.

Kõige enam vähenevad kaod kevadel. Kaod vähenevad ca 30 %. Suvel on kaod suuremad kui olukorras 1. See on tingitud madalas koormusest fiidris ning suure päikesepaneelide poolt toodetud energia osakaalule. Olukorras 3 on aastased kaod hinnanguliselt 488 kWh. Suvisel ajal on kaod kaks korda suuremad kui olukorras 0. Kevadel on kaod mõnevõrra suurem kui olukorras 2. Talvel vähenevad selle fiidri kaod 7%. Sügisel ja kevadel vähenevad kaod kõige enam võrreldes algsituatsiooniga. Sügisel vähenevad kaod 29% ning kevadel 28%. Tabelitest saab järeldada, et suvel suurenevad kaod, kui päikesepaneelide installeeritud võimsus on piisavalt suur.

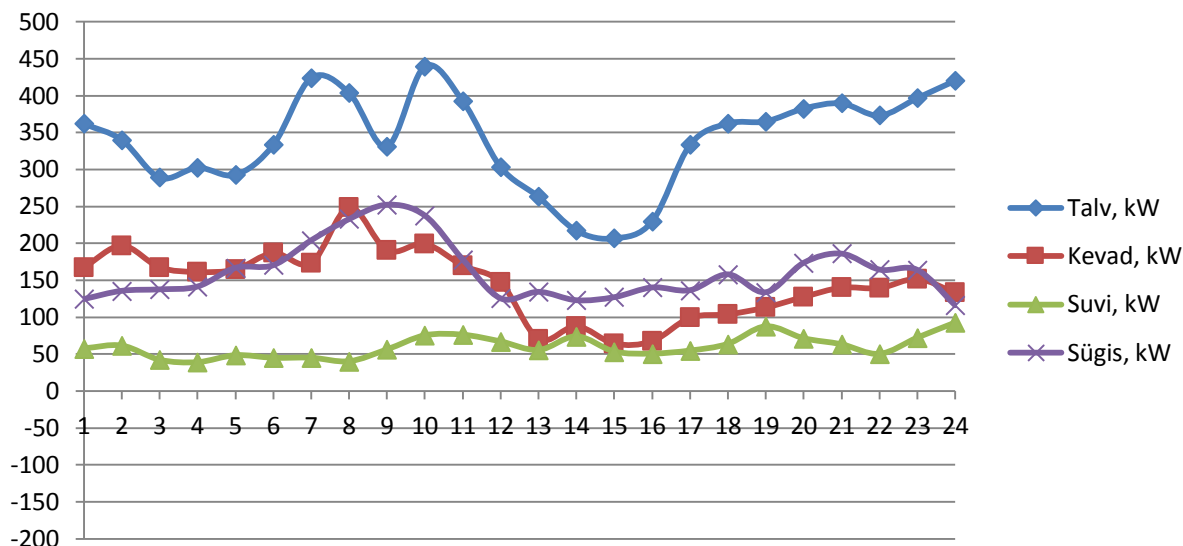
Tabel 2.6 Aastane kaomuutus madalpinge alajaama fiidris

	Olukord 1	Olukord 2	Olukord 3
Talv	-2%	-4%	-7%
Kevad	-16%	-30%	-28%
Suvi	-31%	-15%	100%
Sügis	-7%	-18%	-29%
Aastas	-5%	-10%	-11%

8. Optimistlik stsenaarium

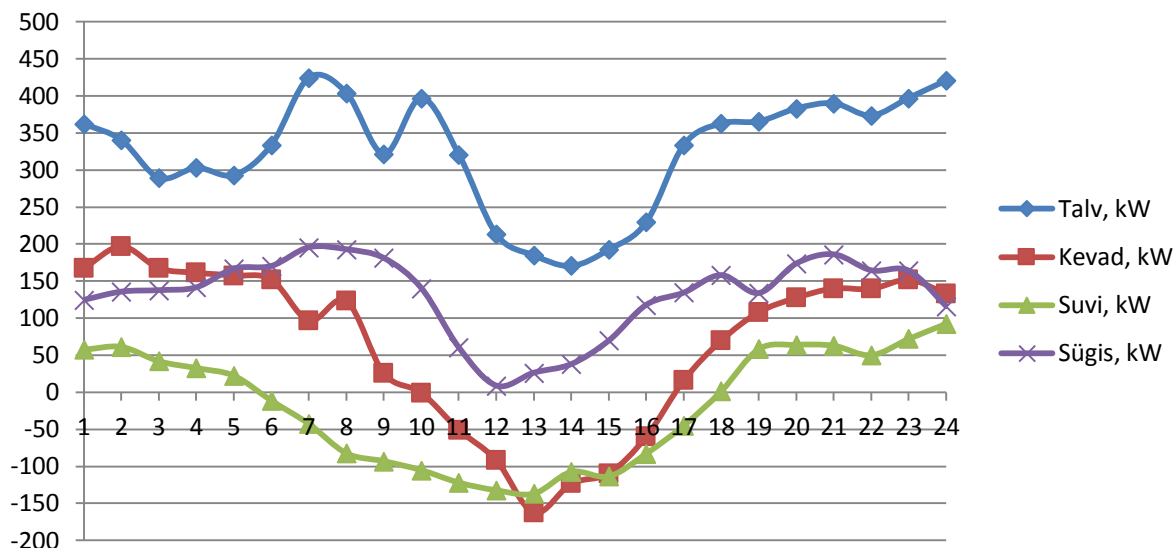
Optimistliku stsenaariume koostamisel on eeldatud, et kõikide fiidrite tarbijad on hajatootjad. Lihtsustamise huvides on kõikide fiidrite tarbijad asendatud fiidri 1 tarbijatega. Optimistlik stsenaarium annab ettekujutuse, milliseks kujunevad jaotusvõrgu koormused ning kaod olukorras, kus fiidri tarbijad on liginullenergia hooned. Lihtsustus on tehtud, ka päikesepaneelide võimsuste valikul. Päikesepaneelide valikul on lähtutud, et kõik tarbijad paigaldavad samasugused paneelid. See ei tähenda, et hooned ka kohe liginullenergia hooneteks saavad, kuid annab ettekujutuse, mis juhtub jaotusvõrguga sellises situatsioonis, kus kõik tarbijad on hajatootjad. Stsenaariumis on tegemist ideaalsete tingimustega. Tegelikuses on päikesepaneelide tootlikkus stohhastilise iseloomuga. Tulemuste illustreerimiseks on koostatud joonised.

Selleks, et saaksime sellise alajaama koormust võrrelda vaadeldakse, milline on alajaama koormus, juhul kui kõik fiidrid oleksid samasuguse koormusega nagu fiidri 1 tarbijad.



Joonis 2.16 10/0,4 kV alajaama koormus 1 fiidri tarbijate põhjal

Joonisel on näha, alajaama koormused tingimusel, et kõik seitse fiidrit on sarnase tarbimisega nagu algselt fiidri 1 tarbijad. Koormusmaksimumide ja miinimumide hetked kattuvad eelmistes peatükkides, kus räägiti fiidri 1 koormusest. Koormuste väärtused on korrutatud seitsmega. Talvisel ajal on koormusmaksimum 439,8 kW ning miinimum 207,1 kW. Ööpäeva jooksul tarbib fiider 8158,1 kWh elektrienergiat ning keskmine koormus on 340,0 kW. Võrreldes algse situatsiooniga on tarbimine suurenenud enam kui kolm korda. Suurem energiatarbimine on seletatav sellega, et esimene fiider on suurema tarbimisega kui keskmiselt selles alajaamas. Kevadel on maksimumkoormus 248,7 kW ning miinimumkoormus 64,3 kW. Ööpäevas läbib alajaama 3472,9 kWh elektrienergiat ning keskmine koormus on 144,7 kWh. Suvel on maksimumkoormus 92,5 kW ning miinimumkoormus 38,8 kW. Ööpäevas läbib alajaama 1439,6 kWh elektrienergiat ning keskmine koormus on 60,0 kW. Sügisel on maksimumkoormus 252,2 kW ja miinimumkoormus 116,0 kW. Ööpäevas on alajaama tarbimine 3861,8 kWh ning keskmine koormus on 160,9 kWh.



Joonis 2.17 10/0,4 kV alajaama koormus optimistliku stsenaariumi korral.

Joonisel on kujutatud olukorda, kus kõik fiidri tarbijad on asendatud fiidri 1 tarbijatega. Lisaks sellel on kõikidel tarbijatel ka 10 kW päikesepaneelid. Välja on toodud see olukord, kuna tulevikus on nõutud, et uusehitised peavad olema liginullenergia hooned. [22]

Uues olukorras on alajaama talvine koormusmaksimum vähenenud 4%. Uus koormusmaksimum on 424,1 kW. Miinimumkoormus on vähenenud 18%. Uus koormusmiinimum on 170,6 kW. Alajaamast läbivat energiat vähendatakse 4%. Ööpäevas läbib alajaama 7802,3 kWh elektrienergiat. Tänu päikesepaneelidele väheneb ööpäevane energiat tarve. Ööpäevane tarbimine on 355,7 kWh. Keskmise koormuse on vähenenud 4%. Sellises olukorras on keskmine koormus 325,1 kW. Seoses asjaoluga, et talvine päikesepaneelide tootlikkus on valitud pisut liiga kõrge siis tuleb sellesse kriitiliselt suhtuda.

Kevadel on alajaama koormus uues situatsioonis muutunud enam kui talvel. Maksimumkoormus on vähenenud 21%. Uus koormusmaksimum on 196,9 kW. Miinimumkoormus on vähenenud ligi 3,5 korda. See on seletatav asjaoluga, et suur osa energiast toodetakse lõuna ajal ning sellel ajal esineb fiidris koormusmiinimum. Uus koormusmiinimum on -162,4 kW. Ööpäevas läbib alajaama 1536,7 kWh elektrienergiat, mis on 56% vähem. Tänu päikesepaneelide säästetakse päevas 1936,2 kWh elektrienergiat. Keskmise koormuse on vähenenud 56%. Uus keskmine koormus on kevadel 64,0 kW.

Suvel on alajaama koormused muutunud veelgi enam. Ühe erandina võib tuua välja maksimumkoormuse, mis on jäänud samaks. See on seletatav asjaoluga, et koormusmaksimum on öisel ajal. Päikesepaneelide tootlikkus seda aga ilma

salvestusseadmeta mõjutada ei saa. Miinimumkoormus on vähenenud ca 4,5 korda. Uus koormusmiinimum on 137 kW. Ööpäevas läbib alajaama -458,8 kWh elektrienergiat. Tänu päikesepaneelidele kaetakse ööpäevas kogu tarbitav energiahulk ning ülejääk saadetakse keskpingevõrku. Keskmise koormus on -19,1 kW.

Sügisel ei muutu alajaam keskpingevõrku toitevaks alajaamaks. Alajaama koormusmaksimum on vähenenud 22%. Uus koormusmaksimum on 195,5 kW. Koormusmiinimum on vähenenud 93%. Koormusmiinimum suur vähenemine on seotud sellega, et koormusmiinimumi ning päikesepaneelide tootlikkused kattuvad. Uus koormusmiinimum on 8,6 kW. Ööpäevas väheneb alajaama tarbitav energia hulk 19%. Ööpäevas läbib alajaama sellises olukorras 3135,2 kWh elektrienergiat. See tähendab, et ööpäevas säästetakse 726,6 kWh elektrienergiat. Keskmise koormus väheneb 19%. Uus keskmine koormus on 130,6 kWh.

Optimistliku stsenaariumi kaod aasta lõikes vähenevad. Talvel vähenevad optimistliku stsenaariumi korral kaod 7%. Kevadel vähenevad kaod 28%. Suvel on kaod kaks korda suuremad kui optimistliku stsenaariumi algolukorras. Sügisel vähenevad kaod 28%. Aasta lõikes kaod vähenevad 11%.

9. Kokkuvõte ja ettepanekud

Päikesepaneelide mõju jaotusvõrgu koormuse ja kadude uurimisel selgus, et uuritava võrgu puhul koormused ning kaod vähenevad kõikides olukordades. Kõige enam mõjutavad päikesepaneelid koormust ning kadusid kevadel ning suvel. Juhul kui fiidris olevate päikesepaneelide võimsus on piisavalt suur siis võivad kaod ka suurened, kuid ööpäeva jooksul kaod siiski vähenevad. Kaod suurevad mõnel tunnil kui päikesepaneelide poolt toodetud võimsus on vähemalt kaks korda suurem kui olukorras 0 tarbitav võimsus. Sellisel juhul on koormus suurem kui olukorras 0, sest päikesepaneelid toodavad liiga palju elektrienergiat. Ülejääv energia tuleb edasi kanda. Talvel on koormus ning kaod kõige suuremad. Päikesepaneelide abil ei ole võimalik vähendada talvel esinevaid koormusi. [23]

Töös on tehtud järeldused vaid nelja päeva koormustele tuginedes. Selleks, et hinnata täpsemalt aastast energiasäästu tuleks päevade valikut suurendada. Peale selle tuleks vaadata ka ekstreemseid olukordi. Töös on leitud päikesepaneelide tootlikkus keskmisel päeval. Tuleks vaadata ka olukorda, kus tootlikkus ei ole leitud keskmise järgi vaid maksimumi. Kõige enam mõjutab see just kevadist ning suvist koormust, sest siis on päikesekiirgus suurim.

Järgnevalt tuleks uurida, kuidas hakkavad päikesepaneelid mõjutama elektri hindu. Juhul kui päikesepaneelid saavutavad ühe suurema osakaalu, siis võivad need mingil perioodil muuta traditsioonilised elektrijaamad konkurentsivõimetuks. Kuna traditsioonilised elektrijaamad ei saa suve ja kevade perioodil osaleda elektrimüügis, siis jaguneb elektrijaama püsikulu väiksemale perioodile. Tänu sellele võivad hinnad tõusta, kui päikesepaneelide osakaal energiatootmises on piisavalt suur. [15]

Optimistliku stsenaariumi korral vähenevad alajaama koormused talvel ja sügisel. Kevadel suudetakse ligi pool fiidri tarbimisest katta hajatootmisseadmetega. Suvel toimub tänu päikesepaneelide poolt toodetud energiale ületootmine. Tuleb silmas pidada, et sellises olukorras toimub ka kadude suurenemine, hoolimata sellest, et tarbitav energia on ööpäevas negatiivne ja väiksem kui algselt. Fiidrite kaod suurenevad, sest kaod ei põhine ööpäevasel summeeritud energial vaid fiidris ülekantavast võimsusest. Fiidrid on suvel enam koormatud kui esialgses olukorras. Fiidrite kaod on suvel kaks korda suuremad kui algselt.

Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli uurida, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu kadusid. Kadude uurimiseks tuli esmalt leida, kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu koormust. Teema käsitlese ajendiks on päikesepaneelide odavnemine ning asjaolu, et tulevikus peavad kõik uusehitised olema liginullenergia hooned. Teema valikut ajendas ka autori huvi selle vastu, kuidas päikesepaneelid kadusid mõjutavad.

Saavutamaks eesmäärke, tutvus autor Tallina lähedal asuva jaotusvõrguga. Jaotusvõrgu omanikuks on selles piirkonnas Elektrilevi OÜ. Elektrilevi OÜ-lt on saadud kõik vajalikud andmed, mis puudutavad elektrivõrku ning tarbimisandmeid. Saamaks aru, millist võrgu osa uuritakse, koostas autor keskpingevõrgu ning madalpingevõrgu skeemid. Autor töötles ilmavaatlusjaama andmeid saamaks teada, milline on päikesepaneelide tootlikkus ühes tunnis. Lisaks tutvuti ka reaalsete päikesepaneelide tootlikkustega. Selleks, et leida kuidas mõjutavad päikesepaneelid jaotusvõrgu kadusid tuli esmalt leida, millised on koormused 10/0,4 kV alajaama fiidris. Pärast koormuste leidmist on võimalik leida, millised on kaod.

Madalpinge alajaamas olevate fiidrite koormuste uurimisel selgus, et mõned fiidrid on enam koormatud kui teised. Võimalik, et see tuleneb sellest, et uuritavaid päevi on ainult 4. Täpsema tulemuse saamiseks tuleks jätkata uurimist. Fiidrite uurimisel selgus, et hommikuti hakkab koormus suurenema. Lõuna ajal võib esineda koormusmaksimume. Peale lõunat fiidrite koormused vähenevad. Koormus suureneb õhtul kella viie ajal. Fiidrite koormusmaksimumid võivad esineda ka õhtuti kella kümne ajal. Autor veendus, et talvel on koormused suuremad kui kevadel, suvel ja sügisel. Kevadel ning sügisel on koormused sarnased, kuid täpsemate järelduste saamiseks tuleks uuritavate päevade arvu suurendada. Fiidri koormuste uurimisel täheldati, et tarbijad on erinevate tarbimisharjumustega.

Keskpinge alajaama fiidrite koormused on kordades suuremad kui madalpinge alajaamas. Koormusmaksimumid esinevad õhtuti. Tänu suuremale koormusele on ka kaod suuremad. Uurides päikesepaneelide mõju keskpingele selgus, et mõju keskpinge koormuse muutusele ning kadudele on väike. Mõju on väike, sest päikesepaneelide poolt toodetud energia on marginaalne võrreldes keskpinge alajaama fiidri koormusega. Täpsemalt tuleks uurida olukorda, kui keskpinge fiidri kõikides alajaamades paigaldatakse kõikidele tarbijatele päikesepaneelid, vähendamaks eramu energiakulu ning saavutamaks liginullenergia hoone nõuet.

Uurides erinevaid olukordi selgus, et aasta lõikes koormused ja kaod vähenevad madalpinge alajaama fiidris peale päikesepaneelide installeeritud võimsuse kasvu. Kõige väiksema mõjuga koormustele ja kadudele on päikesepaneelide tootlikkus talvel, kui tootmine on kõige madalam ning koormus kõige suurem. Mitte üheskis olukorras ei saavutanud päikesepaneelide poolt toodetud energia märkimisväärset kokkuhoidu kadudelt.

Olukorras, kui ainult üks tarbija fiidris on hajatootja, ei oma suurt mõju fiidri koormustele ning kadudele. Installeeritud võimsus ei suuda genereerida piisavalt energiat, et katta fiidris tarbijate vajadusi. Ühe tarbija juures olev päikesepaneel võimaldab vähendada küll selle tarbija võrgust ostetava energia hulka, kuid terve fiidri osas jääb energiat puudu.

Olukorras, kui hajatootjaid on fiidris 50%, võivad mõnel tunnil päevas kevadel ning suvel kaod suurened. Kadude suurenemine on tingitud sellest, et päikesepaneelide poolt toodetav energia ületab kahekordselt fiidri koormust. Ööpäeva lõikes kaod vähenevad talvel, kevadel, suvel ning sügisel. Suvel on kadude muutus väiksem kui olukorras 1.

Olukorras, kui kõik fiidri tarbijad on hajatootjad, muutub fiider mõnel tunnil kevadel ning suvel energiat andvaks. Suvel suurenevad fiidri kaod kui kõik selle fiidri tarbijad on hajatootjad. Kaod suurenevad, sest installeeritud päikesepaneelid poolt toodetud energia ületab kahekordselt tarbitavat energiat. Talvel ning sügisel kaod vähenevad. Talvisel ajal on kadude vähenemine väike, sest päikesepaneelid ei tooda piisavalt energiat.

Uurides olukorda, kui madalpinge alajaama kõik tarbijad on hajatootjad selgus, et talvel ja sügisel fiidri keskmised koormused vähenevad. Keskmine koormus väheneb ka kevadel ja suvel. Tänu suvisele madalale tarbimisele ning suurele energia tootlikkusele kaod suurenevad, sest ülejääv energia on suurem kui esialgselt tarbitav energia.

Erinevate olukordade analüüsist saab teada, et päikesepaneelide installeeritud võimsuse kasvamisega võivad algselt suveperioodil kaod väheneda. Piisava installeeritud võimsuse korral kadude vähenemine suvel aeglustub. Olukorras, kui kõikide fiidrite tarbijad on hajatootjad, suurenevad suvel kaod ligi kaks korda. Kao suurenemine toimub tänu päikesepaneelide poolt toodetud energiale ja vähesele tarbimisele. Päikesepaneelid saavad mõjutada võrgu kadusid sellel ajal kui päikesepaneelid toodavad energiat.

Kirjandus

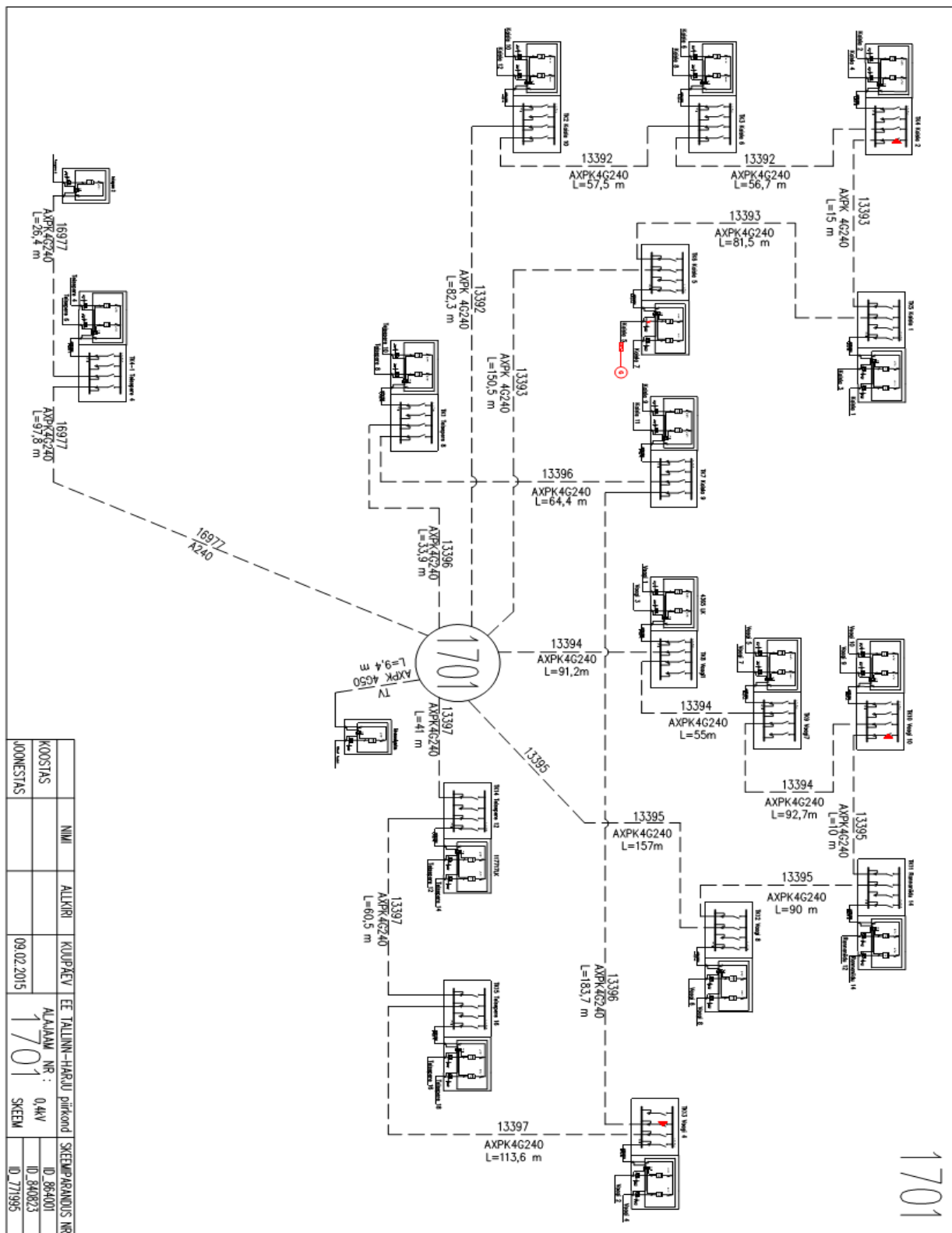
- [1] R. Teemets, „TTÜ,“ 2010. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar_1._Elektrisysteem._Konspekt_2010kevad.pdf. [Kasutatud 6 märts 2015].
- [2] Eesti Taastuvenergia Koda, „Seadmete hinnalangus ja toetused kasvatavad taastuvenergia osatähtsust,“ 2. juuli 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuvenergeetika.ee/2014/07/seadmete-hinnalangus-ja-toetused-kasvatavad-taastuvenergia-osatahtsust/>. [Kasutatud 1 mai 2015].
- [3] Eesti Arengufond, „Elektrivõrgu tänane olukord. Võimalikud arengustsenaariumid,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/1/12/Eesti_Arengufond._Elektriv%C3%B5rgu_t%C3%A4nane_olukord._V%C3%B5imalikud_arengustsenaariumid.pdf. [Kasutatud 25 mai 2015].
- [4] Eesti Energia AS, „Aastaruanne 2013,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.energia.ee/-/doc/10187/pdf/concern/annual_report_2013_est.pdf. [Kasutatud 4 mai 2015].
- [5] Elektrilevi OÜ, „Majandusaasta aruanne 2013,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/el_majandusaasta_aruanne_2013.pdf. [Kasutatud 2 mai 2015].
- [6] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2013,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: http://elering.ee/public/Infokeskus/Aruanded/Elering_Varustuskindluse_aruanne_2012.pdf. [Kasutatud 29 märts 2015].
- [7] Elektrilevi OÜ, „Heakskiidetud võrguinverterite nimekiri,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/mikrotootja_vorguinverterite_nimekiri.pdf. [Kasutatud 13 märts 2015].
- [8] Elektrilevi OÜ, „Eesti elektrisüsteem,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/eesti-elektrisusteem>. [Kasutatud 15 märts 2015].

- [9] Elektrilevi OÜ, *Võrgu kirjeldus*, 2015.
- [10] M. Meldorf, H. Tammoja, T. Ülo ja J. Kilter, *Jaotusvõrgud*, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2007.
- [11] E. Tiigimägi, „Elektrivõrgud,“ Tallinn, 1997.
- [12] L. Margus, „Elektrivarustus,“ Tallinn, 1999.
- [13] Elektrilevi OÜ, *Koormus andmed*, 2015.
- [14] Elektrilevi OÜ, „Liitumine mikrotootjale,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/liitumine-mikrotootjale>. [Kasutatud 29 märts 2015].
- [15] D. W. Cai, S. Adlakha, S. H. Low, P. D. Martini ja K. M. Chandy, „Impact of residential PV adoption on Retail Electricity Rates,“ 2 juuli 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <http://smart.caltech.edu/papers/Cai-energy-policy.pdf>. [Kasutatud 4 mai 2015].
- [16] A. Jagomägi, „Elekter päikesest Eestis aastal 2012,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: http://f.ell.ee/failid/LVP/2012/09/02_Eelekter_paikesest.pdf. [Kasutatud 28 märts 2015].
- [17] SolarPartner, „Päikeseenergiasüsteemide tootlikkus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://solarpartner.ee/paikesest/tootlikkus>. [Kasutatud 2 mai 2015].
- [18] Taastuenergia OÜ, „Päikesepaneelide paigaldamine ning suunamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneeli-paigaldamine-suunamine.html>. [Kasutatud 11 märts 2015].
- [19] A. Meesak, „Elektri mikrotootjaks: Miks ja kuidas?,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://tek.emu.ee/userfiles/taastuenergia_keskus/Seminaride%20ettekanded/p2ikeseenergiap2ev_2012/Meesak_Elektri%20mikrotootjaks.pdf. [Kasutatud 25 mai 2015].
- [20] S. Dubey, J. N. Sarvaiya ja B. Seshadri, „Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review,“ Energy Research Institute, Nanyang Technological University, Singapore, 2013.
- [21] SolarWorld AG, „Päikeseelektriijaam 12 kW Randveres - Yearly results 2014,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.suntrol-portal.com/en/page/paikeseelektriijaam->

12-kw-randveres/year/2014/axis/static/output/real/p/1/chart/default. [Kasutatud 25 mai 2015].

- [22] T. Kalamees ja T. Tark, „Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-_ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf. [Kasutatud 25 mai 2015].
- [23] P. Taklaja, „Elektrienergia hajatootmine, selle mõju elektrivõrgule,“ 10 oktoober 2013. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/5/58/Taklaja,_P._Elektrienergia_hajatootmine,_selle_m%C3%B5ju_v%C3%B5rgule_10.04.2014.pdf. [Kasutatud 25 mai 2015].

LISA 2. Uuritava madalpingevõrgu normaalskeem



MOONESTAS	NMI	ALIKIRI	KUUPMEV	EE TALLINN-HARJU piirkond	SKEEMIPÄRANDIS NR.
			09.02.2015	ALAJAAM NR : 1701	ID 864001
					ID 340823
					ID 771995

1701

LISA 3. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi ilmajaama tunni keskmised kiirgused aastatel 2010-2013

	Jaanuar	juuli	märts	oktoober
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0,000418	0	0
4	0	0,017533	0,00011	0
5	0	0,073566	0,014072	0
6	0	0,15905	0,068823	8,96E-05
7	0	0,248297	0,151425	0,014038
8	2,95508E-05	0,347162	0,24788	0,065771
9	0,008156028	0,42282	0,326608	0,117204
10	0,035401891	0,511231	0,39598	0,159857
11	0,059101655	0,561499	0,436513	0,193877
12	0,074202128	0,564665	0,473026	0,191906
13	0,064243499	0,545012	0,461001	0,177748
14	0,038445626	0,514397	0,417507	0,139964
15	0,011879433	0,472849	0,34364	0,094474
16	0,000413712	0,378017	0,25212	0,036768
17	0	0,282348	0,16451	0,003584
18	0	0,176195	0,067178	0
19	0	0,082646	0,01027	0
20	0	0,02037	0	0
21	0	0,000568	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

LISA 4. PV-GIS sisendid ja väljundid



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 59°26'14" North, 24°33'45" East, Elevation: 6 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 10.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.4% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 5.0%

Combined PV system losses: 14.6%

Fixed system: inclination=42 deg., orientation=0 deg. (Optimum at given orientation)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	8.47	262	0.88	27.1
Feb	15.50	433	1.62	45.5
Mar	35.20	1090	3.85	119
Apr	46.10	1380	5.30	159
May	51.60	1600	6.19	192
Jun	49.00	1470	6.00	180
Jul	45.20	1400	5.65	175
Aug	41.70	1290	5.09	158
Sep	29.90	897	3.51	105
Oct	17.30	536	1.93	59.9
Nov	7.39	222	0.80	23.9
Dec	4.57	142	0.48	14.9
Year	29.40	894	3.45	105
Total for year		10700		1260

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.