



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TAASTUVENERGIALAHENDUSE VALIK, ANALÜÜS JA PROJEKTEERIMINE TALUKOMPLEKSILE VÕRUMAA

SELECTION, ANALYSIS AND DESIGN OF A RENEWABLE ENERGY SOLUTION
FOR A FARM COMPLEX IN VÕRUMAA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Vahur Maask

Üliõpilaskood: 153775 AAAM

Juhendajad: Taavi Möller

Argo Rosin

Tallinn, 2017.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendajad:
/ allkiri /

.....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Taastuenergialahenduse valik, analüüs ja projekteerimine talukompleksile Võrumaal

Vahur Maask, üliõpilaskood 153775AAAM, mai 2017. – 74 lk.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Inseneriteaduskond

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendajad: insener Taavi Möller ja vanemteadur Argo Rosin

Võtmesõnad: taastuenergia, tuuleenergia, päikeseenergia, hüdroenergia, tasuvusanalüüs, projekteerimine, talukompleks

Referaat:

Lõputöö on 74 lehel, töö põhiosa sisaldab 17 tabelit, 9 illustratsiooni ja 25 joonist.

Lõputöö eesmärk on uurida talukompleksile sobivaid taastuenergialahendusi ning koostada projekt sobivaima väljaheitamiseks. Koostatud on Võrumaal Lasva vallas Paidra külas asuva talukompleksi taastuenergialahenduse tasuvusanalüüs ja projekt.

Lõputöö eripäraks on tasuvusanalüüsi põhjalikkus, sest uuriti erinevaid seadmeid ning taastuenergiaallikaid, ning objekt ise, sest teadaolevalt pole taolise tarbimismustriga talule samasugust analüüsi ja projekti teostatud. Töös käsitletakse ka päikseelektrijaama tasuvuse tõstmist paneelide kinnituse valikuga.

Lõputöö põhiosa on jaotatud kolmeks. Esimeses osas uuritakse talu energiatarbimist ning kasutatavaid seadmeid, millest joonistub välja tarbimismuster. Tarbimise uuring põhineb otsestel mõõtmistel, Elektrilevi kodulehelt saadud tarbimisajalool, vaatlusel ning elanike küsitlemisel. Teises osas otsitakse talule sobivaid taastuenergialahendusi ning tehakse lõpliku lahenduse valik. Taastuenergiaallikateks valitakse kolm: tuul, päike ja vesi. Tuule andmed saadakse Võru meteoroloogiajaama mõõtetulemustest. Päikese kiirguse andmed arvutatakse veebikalkulaatoriga PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*). Vee ressurss leitakse Maa-ameti kaardirakendusega ning objektile tehtud mõõtmistega. Kolmandas osas koostatakse valitud taastuenergialahenduse eelprojekt, mis sisaldab mehaanilisi jooniseid ning elektriskeeme.

Selection, analysis and design of a renewable energy solution for a farm complex in Võrumaa

Vahur Maask, student code 153775AAAM, May 2017. – 74 pages

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

School of Engineering

Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Tutors of the work: Engineer Taavi Möller and Senior Research Scientist Argo Rosin

Key words: renewable energy, wind energy, solar energy, hydropower, cost-benefit analysis, design, farm complex

Summary:

The master thesis includes 74 pages, including 17 tables, 9 illustrations and 25 drawings.

Aim of this thesis is to explore renewable energy solutions suitable for the farm complex and to prepare a project for the most appropriate solution. Cost-benefit analysis and project of renewable energy solution is done for a farm in Võrumaa municipality of Lasva village of Paidra.

Distinctive features of the thesis are the depth of the cost-benefit analysis, as the various equipment and renewable energy sources have been examined, and the object itself, because it is not known that the same analysis and project has been carried out with a farm which has the same consumption pattern. The work also covers an increase in the profitability of the solar power station by means of a choice of supporting frame for panels.

The main part of the thesis is divided into three. The first part examines the energy consumption of the farm and installed appliances. Consumption study is based on direct measurements, the history of the consumption, the observation and interviews with residents. In the second part, suitable renewable energy solutions are searched and the final choice is made. The following three: wind, sun and water are selected for the renewable power sources. Wind data is obtained from measurement of the metrology station of Võru. The solar irradiance data is calculated by PVGIS. The water resources are calculated with a card application and direct measurements. The third part is drawn up by a selected renewable energy pre-project, which includes mechanical drawings and electrical circuits.

SISUKORD

Lõputöö ülesanne -----	6
1. Sissejuhatus -----	7
2. Objekti tarbimise analüüs -----	9
2.1. Talus kasutatavad tarvitid -----	9
2.2. Energiatarbimise ajalugu -----	11
3. Taastuenergiaallikate tasuvuse hinnang objektile-----	14
3.1. Tuuleenergia -----	15
3.1.1. Asukoha valik -----	15
3.1.2. Elektrituuliku valik ja maksumus-----	17
3.1.3. Rakenduse hinnang -----	19
3.2. Hüdroenergia-----	23
3.2.1. Asukoht ning süsteemi taristu-----	23
3.2.2. Süsteemi valik ning maksumus -----	24
3.2.3. Rakenduse hinnang -----	27
3.3. Päikeseenergia -----	30
3.3.1. Asukoha valik -----	31
3.3.2. Inverterite valik -----	31
3.3.3. Paneelide ja kaabli valik -----	33
3.3.4. Akude valik hübriidlahenduses -----	35
3.3.5. Valitud süsteemide maksumused ja tasuvus -----	37
3.3.6. Paneelide kalde muutmine erinevatel aastaegadel -----	39
3.3.7. Paneelide pööramine ida ja lääne suunas -----	41
3.3.8. Paneelide kinnituste valik-----	42
3.3.9. Taastuenergialahenduse sobivus talu tarbimisega -----	42
3.4. Lõpliku lahenduse valik -----	46

4. Taastuenergialahenduse eelprojekt-----	48
4.1. Paneelide kinnituse mehaaniline osa -----	48
4.2. Energialahenduse elektriline osa -----	50
5. Kokkuvõte-----	56
Kasutatud kirjandus -----	58
Lisad-----	60
Lisa 1. 2016. aasta keskmine päevane tarbimine kuude lõikes-----	61
Lisa 2. 2016. aasta oktoobrikuu keskmine tööpäevane tarbimine -----	62
Lisa 3. 2016. aasta oktoobrikuu keskmine puhkepäeva tarbimine-----	63
Lisa 4. TUGE Energia OÜ pakkumine -----	64
Lisa 5. Growatt 1000S ja 1500S inverterite andmeleht -----	65
Lisa 6. Growatt 2500MTL-S – 3600MTL-S inverterite andmelehed -----	66
Lisa 7. Fronius Symo inverterite andmeleht -----	68
Lisa 8. Victron MultiPlus inverterite tehnilised andmed-----	69
Lisa 9. Victron SmartSolar 250 V laadimiskontrollerite tehnilised andmed -----	70
Lisa 10. Fronius Symo Hybrid inverterite ja 63 A mõõdiku andmeleht-----	71
Lisa 11. Päikest järgiva ajami mõõtmed -----	72
Lisa 12. Päikest järgiva ajami tehnilised andmed-----	73
Lisa 13. Päikesepaneelide kinnituse joonis -----	74

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

KOOSKÕLASTATUD

Prof. Ivo Palu

..... 2017

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Vahur Maask, üliõpilaskood 153775AAAM

Magistritöö teema: Taastuenergialahenduse valik, analüüs ja projekteerimine talukompleksile Võrumaal

Ülesanne: Urida Võrumaal asuvale talukompleksile sobivaid taastuenergialahendusi ning koostada projekt sobivaima väljaehitamiseks.

Lähteandmed:

1. Objekti tarbimisajalugu Elektrilevi andmelaost.
2. Ilmateenistuse mõõteandmed.
3. Elektribörsi hinnaajalugu.
4. Infopäringud ja hinnapakkumised ettevõtetelt.
5. Objekti omaniku eesmärgid ja soovid.
6. Teemaga seotud teadusartiklid.

Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

1. Analüüsida talukompleksi elektrienergia tarbimist.
2. Võimalike taastuenergialahenduste valik.
3. Taastuenergialahenduste sobivus tarbimismustriga ja tasuvusanalüüs.
4. Valitud taastuenergialahenduse eelprojekti koostamine.

Magistritöö esitada eesti keeles kahes eksemplaris koos eesti- ja võõrkeelse referaadiga hiljemalt 25.05.2017.

Juhendajad:

Insener T. Möller

Vanemteadur A. Rosin

Ülesande vastu võtnud:

Üliõpilane V. Maask

1. SISSEJUHATUS

Käesolev lõputöö on koostatud Tallinna Tehnikaülikoolis elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis ning hõlmab taastuvenergialahenduse valikut, analüüsi ja projekteerimist Võrumaal Lasva vallas Paidra külas asuvale talukompleksile. Uurimus keskendub sobivaima taastuvenergiaallika leidmisele, mis kataks osaliselt või täielikult talu tarbimisvajaduse ning oleks rahaliselt tasuv. Teema valiku aitas teha lõputöö kaasjuhendaja vanemteadur Argo Rosin ning töö valmis õppeaine elektrivarustuse tulevikuvisionid kursusetöö edasiarendusena.

Valitud magistritöö on aktuaalne, sest praegu Eestis elektri tootmiseks kasutatav põlevkivi on taastumatu maavara, mis tingib elektri hinna pideva kasvu, seetõttu soovitatakse riiklikul tasandil taastuvenergiaallikate kasutuselevõttu, pakkudes taastuvenergiatoetust. Eesti eesmärk 2020. aastaks on viia taastuvenergia osa elektrienergia kogutarbimisest 17,6 protsendini, 2016. aastal oli see 15,1% ehk 1412 GWh [1]. Eesmärgi saavutamiseks tuleb seega rakendada rohkem taastuvenergiaallikatel põhinevaid elektritootmisseadmeid. Lisaks riiklikule nõudlusele on ka talu omanikul omad soovid, millest peamine on raha säästmine. Taastuvenergialahendusele annaks lisandväärtust teatav sõltumatus elektrivõrgust, nii et elektrikatkestuse korral oleks loodav lahendus võimeline talu elektritarbimist osaliselt või täielikult katma.

Magistritöö ülesandeks on uurida Võrumaal asuvale talukompleksile sobivaid taastuvenergialahendusi ning koostada projekt sobivaima väljaehitamiseks. Sobivaim lahendus leitakse tasuvusanalüüsi teostamisega. Selleks on vaja teada talu tarbimisajalugu, mis saadakse võrguteenusepakkuja Elektrilevi OÜ kodulehelt. Taastuvenergiaallikal põhineva energiatootmissüsteemi valik teostati kahe erineva meetodiga. Esiteks vaadati üle turul saadaval olevad valmislahendused ning teisel puhul koostati taastuvenergialahendus ise. Mõlemal juhul oli eesmärk leida võimalikult palju erinevaid süsteemide ülesehitusi või võimsusi, et oleks võimalik neid omavahel võrrelda ning leida neist sobivaim. Tasuvusanalüüsil kasutati tarkvaraprogrammi Excel 2016, milles teostati tabelarvutusi. Arvestades talu tarbimise katmist taastuvenergialahenduse toodangust ning võrguga seotud lahenduse puhul ka elektri müüki võrku, saadi süsteemi tasuvus koos vastavate parameetritega.

Uurimisobjekti põhikomponentideks olid asukoht ja tarbimine. Asukohast sõltusid taastuenergiaallikate kasutusvõimalused, ressursside suurused ja süsteemi maksumus. Tarbimisest sõltus taastuenergialahenduse suurus ning tasuvus.

Töö sisu on jaotatud kolmeks peatükiks. Neist esimeses, peatükis 2, on kirjeldatud talu tarbimist, kus on välja toodud suuremad tarvitid, nende võimsused ning mõnede puhul ka tarbitava energia hulk kindla aja jooksul. Peatükk sisaldab ka tarbimisajalugu 2013. – 2016. aasta kohta kuude lõikes, lisaks ka 2016. aasta keskmist ööpäevast tarbimist. Täpsemad graafikud asuvad lisades.

Peatükis 3 käsitletakse taastuenergialahenduste valikut ning tuuakse välja tarbitud elektri hinnaajalugu. Antud töös käsitletakse kolme taastuenergiaallikat: tuul, vesi ja päike. Kõikide taastuenergiaallikate puhul tuuakse välja elektritootmiseseadme asukoht. Seejärel leitakse iga süsteemi tasuvus ning võrreldakse nende sobivust talu energiatarbimisega. Tuuleenergiaal põhinevate lahenduste tasuvusanalüüsil kasutatakse Võru meteoroloogiajaama 2010. – 2015. aastate mõõteandmeid. Hüdroenergia puhul kasutatakse Maa-ameti kaardirakendust, leides järve pindala, millest on võimalik välja arvutada kasutatava vee maht. Päikeseenergia puhul kasutatakse PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) rakendust, kust saadakse paneelide kaldele ning asimuudile vastav kiirgushulk, millest arvutatakse toodetava elektri hulk. Antud peatükis tuuakse välja ka lõplik süsteem, mis osutus talule kõige sobilikumaks.

Viimases peatükis käsitletakse taastuenergialahenduse projekteerimist; seletatakse lahti mehaaniline lahendus ning tuuakse välja valmislahenduse joonised. Peatüki teine pool sisaldab plokk skeemi, tabeleid ja elektriskeeme, mis on ka lahti seletatud. Kaitselülitite valikul kasutati vabavaralist tarkvara Lühisvoolud 3, et veenduda kaitsmete rakendumises lühise korral.

Lisades on toodud energiatarbimise täpsemad graafikud, valitud seadmete andmelehed, tehnilised joonised ja TUGE 10 elektrituuliku pakkumine.

2. OBJEKTI TARBIMISE ANALÜÜS

2.1. Talus kasutatavad tarvitid

Talukompleks koosneb kolmest energiamahukamast osast, milleks on loomakasvatus, teravilja ja puidu töötlemine. Peamised tarvitid nendes osades on kolmefaasilised asünkroonmootorid, mille võimsused jäävad vahemikku 0,5 kW – 10 kW (vt Tabel 2.1). Nende tarvitite töötamise aeg on enamjaolt nihutatav, seetõttu kasutatakse neid enamasti nädalavahetuseti, sest siis on elekter odavam. Sõnnikukraap on potentsiaalselt nihutatav tarviti, aga praegu on antud seade mittenihutatav, kuid vajalike ümberkorraldustega oleks võimalik selle tööd päeva sees ka nihutada.

Tabel 2.1. Talu suuremad tarvitid

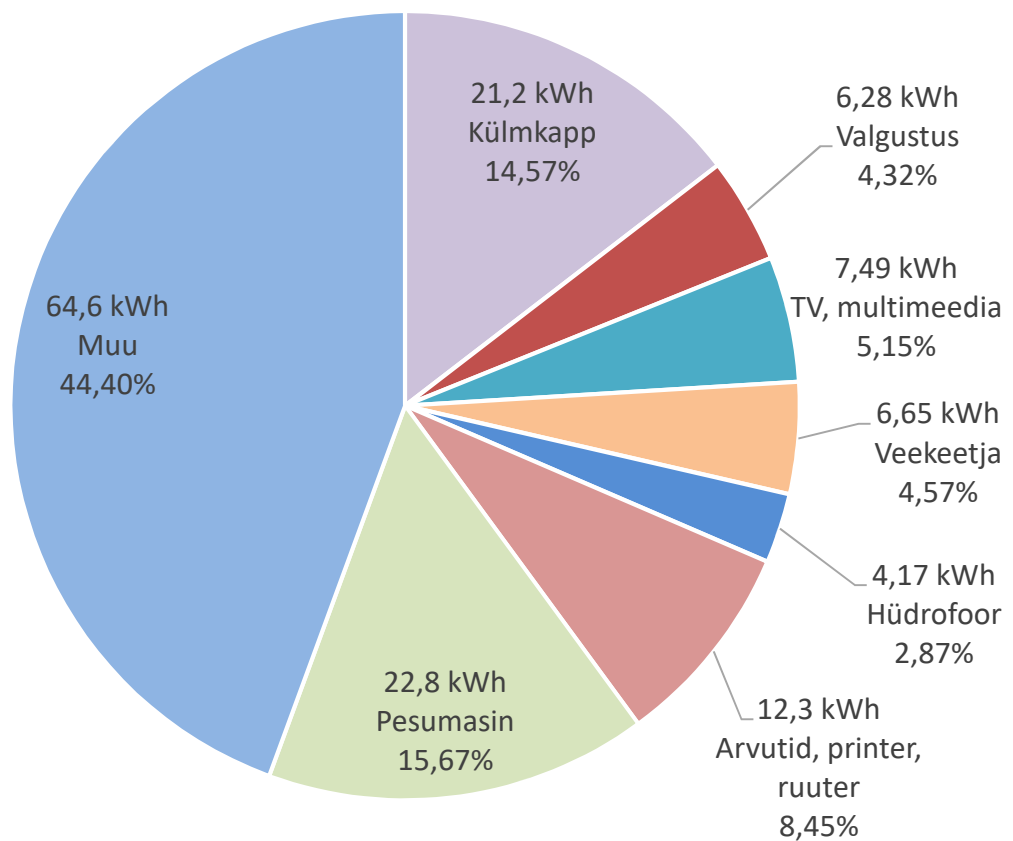
Tarviti	Võimsus	1 või 3 faasi	Nihutatav tarviti
Lüpsimasin	0,55 kW	3	EI
Sõnnikukraap	2,2 kW	3	Potentsiaalselt nihutatav
Jahuveski	4,5 kW	3	JAH
Viljakuivati	2,2 kW	3	EI
Tigukonveier	1,1 kW	3	JAH
Viljapuhasti	1,1 kW	3	JAH
Saekaatri peamootor	9,5 kW	3	JAH
Saekaatri ettenihe	0,83 kW	3	JAH
Saepuru ärastus	1,1 kW	3	JAH
Puulõhkuj	4 kW	3	JAH
Kreissaag	6 kW	3	JAH
Elektrisaag	2 kW	1	JAH
Külmkapp	70 W	1	EI
Pesumasin	2,3 kW	1	JAH

Loomakasvatuses on peamiseks tarbimiskohaks laut, kus asub kaks suuremat tarviti: lüpsimasin ja sõnnikukraap. Lüpsimasin koosneb 550 W asünkroonmootorist ning seda kasutatakse hommikul ajavahemikus 6:00 – 8:00 ja õhtul 17:00 – 19:00. Kasutusaja pikkus on ligikaudu pool tundi ehk päevane energiakulu on ligikaudu 0,55 kWh. Sõnnikukraabil on 2,2 kW elektrimootor, mis on töös hommikuti ajavahemikus 6:00 – 8:00.

Teravilja töötlemisel on peamiseks tarvitiks jahuveski, millel on 4,5 kW elektrimootor ning kasutatakse nädala jooksul ligikaudu tund aega. Kasutamise aeg pole fikseeritud ja on nihutatav. Teravilja koristusajal, milleks on juuli ja august, kasutatakse viljakuivatit, mis koosneb 2,2 kW asünkroonmootorist, mis veab ventilaatorit. Ventilaator on koristusajal töös terve päeva, ööseks lülitatakse seade välja. Vilja transpordiks kasutatakse tigukonveierit, mis koosneb 1,1 kW elektrimootorist ning on koristusajal töös ligikaudu tund aega ööpäevas. Müügi- ja seemnevili läbib ka vilja puhastus- ja sorteerimismasina, mida veab 1,1 kW asünkroonmootor. Antud masina tööaja pikkus sõltub vilja kogusest, sest enamik koristatavast viljast on söödavili, mida ei puhastata. Puhastus- ja sorteerimismasina tööaeg on nihutatav.

Puidutöötlemisseadmed on töös tavaliselt talvel ja kevadel, sest siis on raiehooaeg. Kõige suuremaks tarbimiskohaks on saekaater. Saetera veab 9,5 kW asünkroonmootor, raudteel paiknevat ettenihkeraami liigutab 0,83 kW elektrimootor ning saepuru ärastussüsteem koosneb ventilaatorit vedavast 1,1 kW elektrimootorist. Küttepuude tegemisel on kasutusel kreissaag ja hüdrauliline puulõhkuj. Ketassael on 6 kW elektrimootor ja puulõhkujal 4 kW. Antud seadmete töö on nädala lõikes nihutatav. Puude lõikamisel kas palkideks või pakkudeks kasutatakse ka ketiga elektrisaagi, mille mootori võimsus on 2 kW.

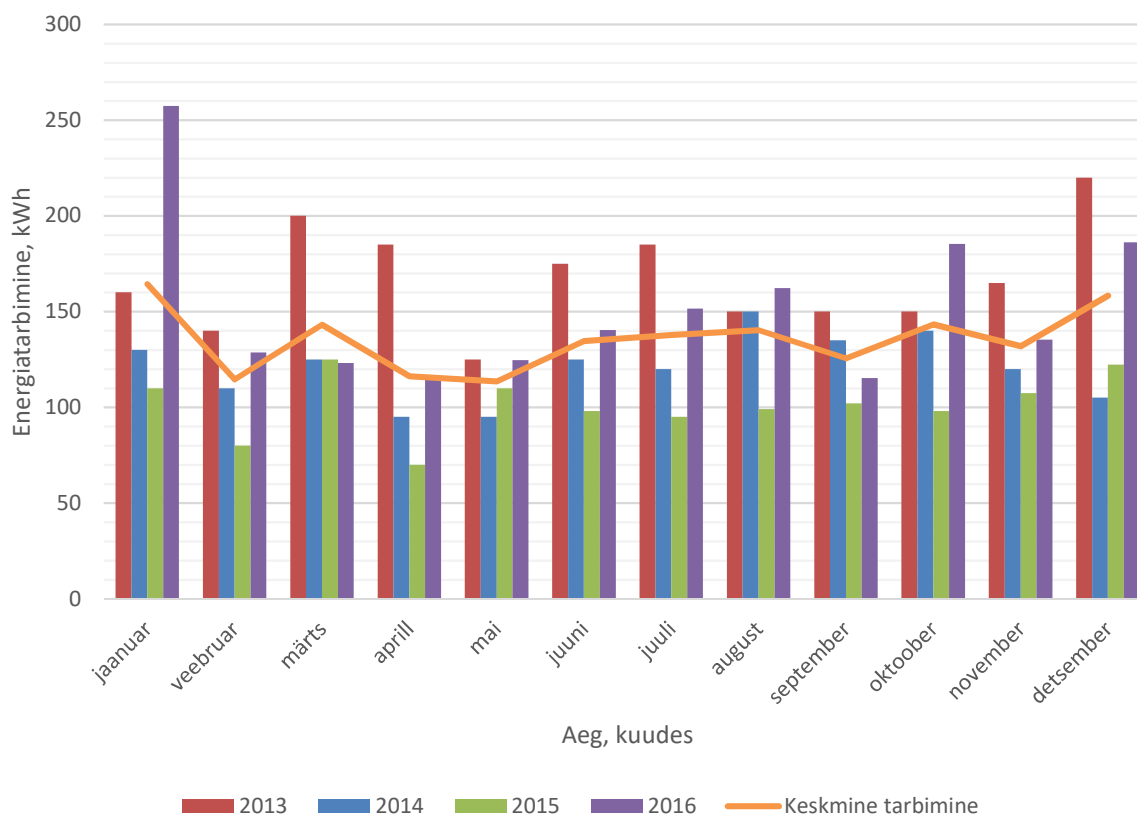
Joonisel 2.1 on toodud elumaja suuremate tarvitite osakaalud oktoobrikuu üldises tarbimises. Antud tarvitite mõõtmisel kasutati Voltcraft Energy Logger 4000 mõõteseadet, mis võimaldab mõõta elektrienergia tarbimist ja salvestada tarbimisandmeid. Mõõteseadet surutakse pistikupessa ning seejärel ühendatakse tarviti, seega mõõteseadet jääb vooluvõrgu ja tarviti vahele. Mõõdetud tarvititest on ainsana nihutatav pesumasin, mis moodustab tarbimisest 15,7%. Ülejäänud tarviteid ei saa nihutada, sest need on otseselt seotud elanike elutegevusega. Muu tarbimine hõlmab endas talu kolmefaasilisi tarviteid, nagu elektrimootorid, keevitusaparaadid, abihoonete valgustus, hoonesisesed väga väikese tarbimisega tarvitid, ning teised hoonevälised tarvitid, mis mõõtmisele ei kuulunud. Tabelis 2.1 on toodud mõõdetud tarvititest kaks: külmkapp ja pesumasin, sest nende osakaal igakuises tarbimises on teistest seadmetest märkimisväärselt suurem.



Joonis 2.1. Tarvitite protsentuaalne osakaal kuu energiatarbimises

2.2. Energiatarbimise ajalugu

Energiatarbimise andmed on võetud Elektrilevi kodulehelt ja need on saadud 2013. aasta algusest kuni 2016 aasta lõpuni. Võttes arvesse kõik need aastad ja kuud, siis keskmine tarbimiskogus kuus on talukompleksil ligikaudu 135 kWh. Iga-aastane kogutarbimine on ligikaudu 1550 kWh, see on umbes 180 eurot. Joonisel 2.2 on toodud talu energiatarbimine kuude lõikes. Jooniselt on näha, et keskmine elektritarbimine on kuude lõikes üsna ühtlane. Erandina on möödunud aasta jaanuar, mil tarbimine on olnud erakordselt suur, see võis olla tingitud ajutisest elektriküttest.

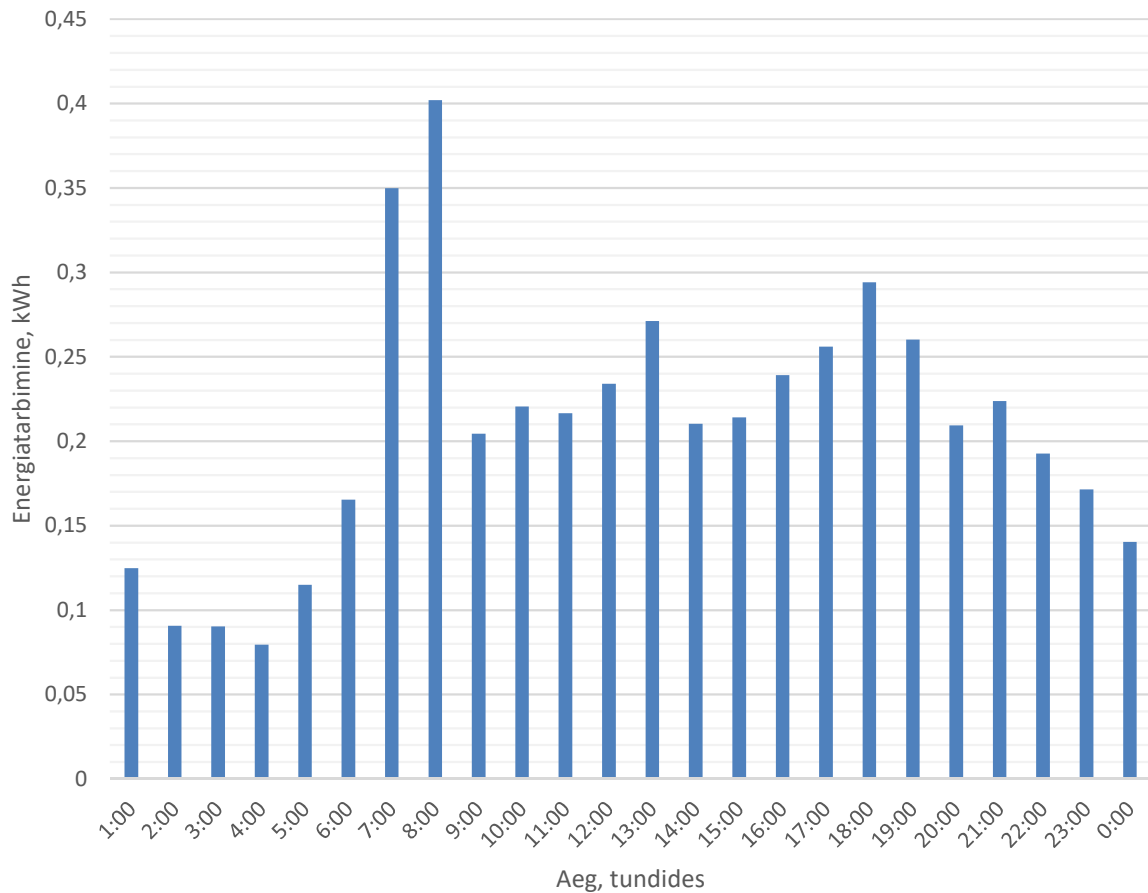


Joonis 2.2. Talu energiatarbimine kuude lõikes

Joonisel 2.3 on toodud 2016. aasta keskmine ööpäevane tarbimine. Päeval on keskmine tarbimine suhteliselt ühtlane. Erandiks on hommikune tipp, mis on põhjustatud loomakasvatuse iseärasusest, sest hommikul lüpstakse lehma ja veetakse laudast sõnnik välja. Öösiti, kui elanikud magavad, on märgatavalt madalam elektritarbimine. Lisas 1 on täpsem graafik, kus iga kuu tunnipõhine tarbimine on eraldi välja toodud. Antud graafiku alusel tehakse ka taastuenergiaallikate tasuvushinnang, arvestades tunnipõhist tarbimist kuude lõikes.

Lisas 2 on toodud 2016. aasta oktoobrikuu tööpäeva ja lisas 3 sama ajavahemiku puhkepäeva keskmised tarbimised. kust on näha, et tarbimise kasvab siis, kui inimesed on ärkvel. Tööpäeviti on lõuna ajal tarbimine väiksem kui hommikul ja õhtul, sest sel ajal on elanikud tööl või koolis. Puhkepäevadel on näha suuremat tarbimist, kui oli tööpäevadel. Sarnaselt tööpäevaga suureneb tarbimine elanike ärkveloleku ajal. Kuna laupäeval ja pühapäeval kehtib terve päev öine soodsam tariif, siis tehakse sel ajal ka kõige energiamahukamad tööd, nagu jahu jahvatamine, saematerjali tootmine saekaatris, pesu pesemine jne. Kella 14 ja 15 vahel on näha tarbimise üsnagi suurt lohku, sest sel ajal peetakse tavaliselt lõunat. Mõõdetud seadmete elektritarbimine

päeval on väike, sest inimesed on majast väljas. Kuid õhtul, kui elanikud tупpa tulevad, suureneb ka seadmete tarbimine, eriti televiisori ja multimeedia kasutus.



Joonis 2.3. 2016. aasta keskmine ööpäevane tarbimine

Elamus esineb ka parasiittarbimist. Nendeks seadmeteks, mis parasiitenergiat tarbivad, on arvuti, ruuter ja printer. Arvuti ja printer on nende mittekasutamise ajal välja lülitatud, kuid vooluvõrku ühendatud, tarbides nii ikkagi elektrit. Lisaks on ruuter pidevalt sisselülitatud olekus isegi siis, kui keegi interneti ei kasuta, mis tähendab stabiilset 8 W tarbimist, see teeb ööpäevas kokku 0,192 kWh ja kuus 30 päevaga 5,76 kWh. Antud parasiittarbimise saaks kõrvaldada seadmete vooluvõrgust eemaldamisega nende mittekasutamise ajal. Täpset parasiitenergia hulka pole võimalik määrata, sest ruuteri/interneti kasutamine pole selgelt määratletav.

3. TAASTUVENERGIAALLIKATE TASUVUSE HINNANG OBJEKTILE

Antud peatükis antakse hinnang taastuvenergiaallikate kasutusvõimalusele ning tasuvusele valitud objektile. Objektiks on Oja talu, mis asub Võrumaal Lasva vallas Paidra külas. Talu asukoht on märgitud joonisel 3.1 punase ringiga. Antud töös käsitletakse kolme taastuvenergiaallikat: tuult, päikest ja vett.

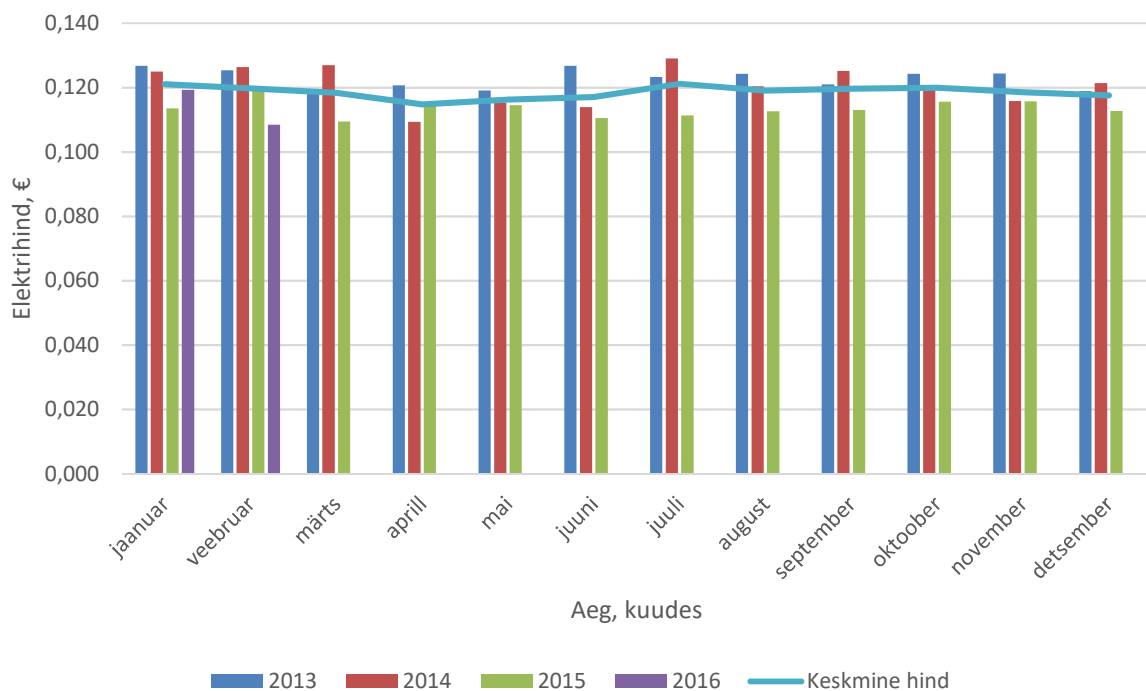


Joonis 3.1. Talu asukoht [2]

Joonisel 3.2 on tarbitud elektri hind kuude lõikes. Eesmärgiks on katta talu elektrienergia vajadused taastuvenergia allikatest. Pidades silmas elektrienergia kWh hinda, leida seadmete tasuvus. Töös käsitletakse *off-grid*- (võrguühenduseta) kui ka *on-grid*- (võrguühendusega) lahendusi, leides nii sobivaima lahenduse. Elektrit võrku müües kasutatakse Nord Pool Spoti elektrihinna ajalugu, täpsemalt 2016. aasta iga kuu keskmise ööpäeva hindu, millest arvestatakse maha 220 Energia OÜ marginaal 0,15 senti kWh kohta.

On-grid-lahendusele arvestatakse juurde ka Elektrilevi liitumistasu, mis maksab koos käibemaksuga ligikaudu 400 eurot. Võrgutasude määramine toimub iga faasi puhul eraldi, kuid elektri müük ja ost ei sõltu faasidest, mistõttu tuleb elektri tarbimisel ja tootmisel sellega ka

arvestada. Seega, elektri tootmine ühte faasi ja tarbimine teisest ei ole mõttekas, mistõttu tuleb toota sinna faasi, kus elektrit kõige rohkem tarbitakse, või nihutada tootmist/tarbimist faaside vahel. Kuid kuna see pole alati võimalik, tuleb elektri tootmisel ja samaaegsel tarbimisel arvestada ka lisanduvaid võrgutasusid. Elektri edastustasu VÕRK 1 puhul on 5,184 senti/kWh, elektriaktsiis 0,447 senti/kWh ning taastuvenergia tasu 1,04 senti/kWh, seega, võrgutasud kokku koos käibemaksuga on 8,0052 senti/kWh. Toodetud elektrile tuleb juurde arvestada taastuvenergia toetus, mille suuruseks on 5,37 senti/kWh, mida on võimalik taotleda taastuvenergia allikast elektri tootmisel ning mida Elering väljastab tootjale 12 aastat.



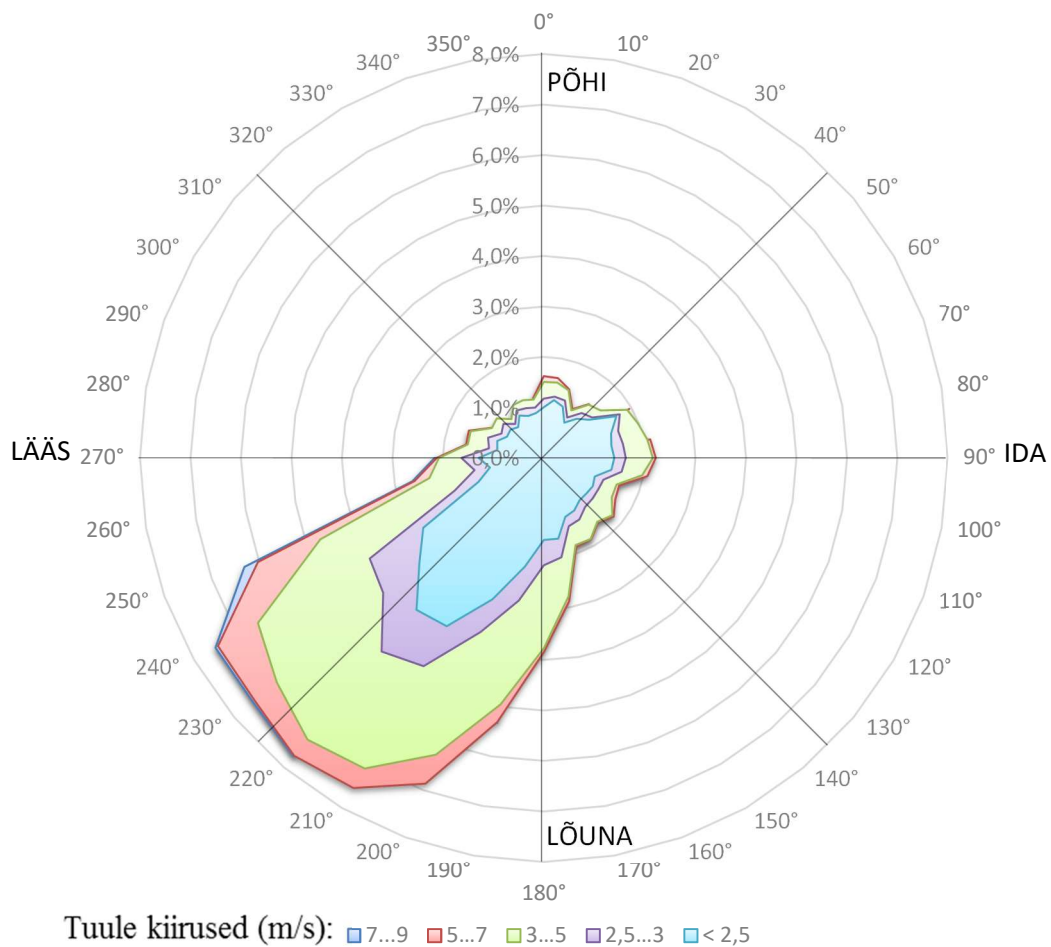
Joonis 3.2. Tarbitud elektri hind kuude lõikes

3.1. Tuuleenergia

3.1.1. Asukoha valik

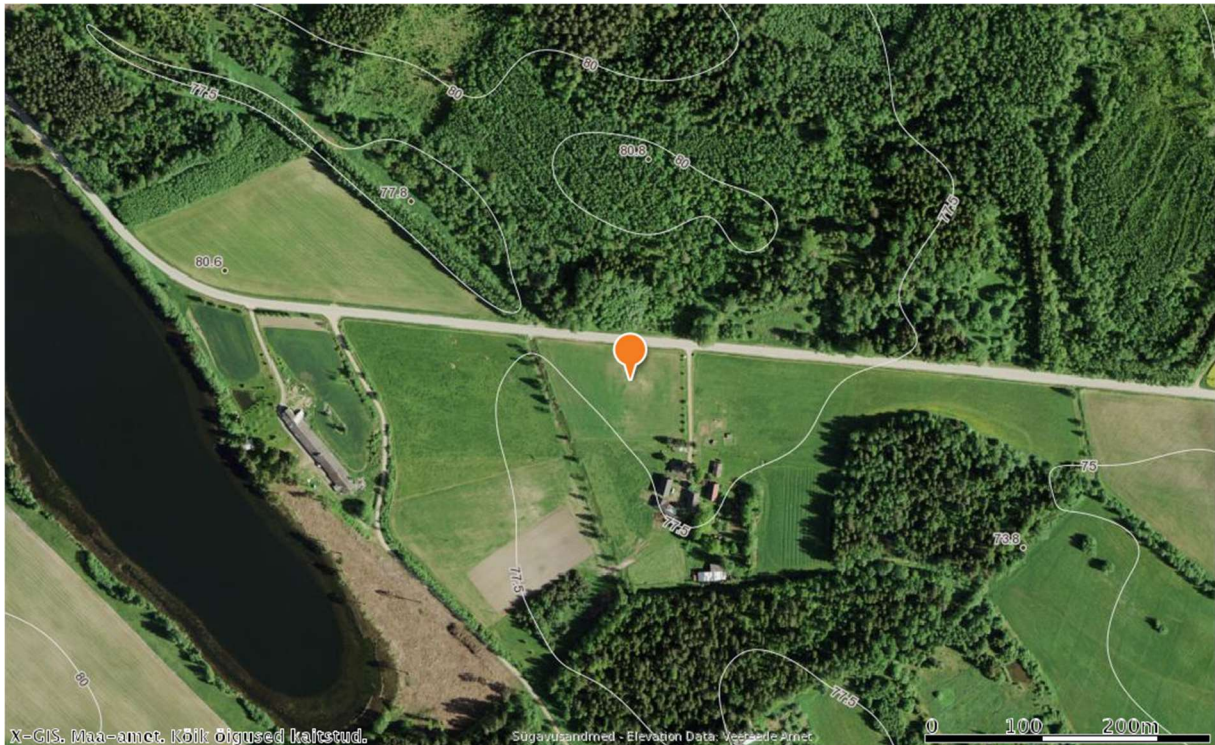
Elektrituuliku asukoha valikul tuleb lähtuda tuulest ehk leida selline koht, kus tuul puhub aasta ringi kõige rohkem. Samas tuleb leida võimalikult avar koht, sest puud ja ehitised tekitavad turbulentsid puhanguid, mis pärsivad elektri tootmist. Joonisel 3.3 on 2015. aasta Võru meteoroloogiajaama mõõteandmetest koostatud tuuleroos, mis näitab edelatuulte ülekaalu. See

tähendab, et tuulegeneraator tuleb paigaldada sellisesse kohta, kus selle ilmakaare suunal poleks takistusi, näiteks hooneid või puid.



Joonis 3.3. 2015. aasta tuuleroos

Elektrituulikule valiti asukoht geograafiliste koordinaatidega 57,918798 (laius) ja 27,142891 (pikkus) (vt Joonis 3.4). Asukoha valikul said otsustavaks 2 kriteeriumit: avatus valdavatele tuultele ning kõrgus merepinnast. Kuna tuuleroosidest selgus, et valdavalt puhub tuul edelast, siis antud asukohas on edela suunas tuult takistavaid ehitisi ja puid minimaalselt. Lisaks on väike avatus ka idatuultele, kuna tuuleroosidest nähtub, et ka sealt puhub arvestatav kogus tuult. Antud punkti kõrgus merepinnast on Maa-ameti kaardirakenduse andmetel ligikaudu 78,5 m, mis on kõrgem ümbruskonnast. Eesmärgiks on saada tuulik võimalikult kõrgele, sest kõrgemal puhub tuul ühtlasemalt ning maapinna karedusest tingitud tuule pidurdus on väiksem.



Joonis 3.4. Elektrituuliku asukoht [2]

3.1.2. Elektrituuliku valik ja maksumus

Eestis müüdavatest elektrituulikute valiti 4: Tornado 600s, Windspot 1,5, Windspot 3,5 ja TUGE 10. Tornado 600s, Windspot 1,5, Windspot 3,5 valikul lähtuti seadmete odavusest, võrreldes teiste samasugustega. TUGE 10 kasuks rääkisid kodumaisus ja täieliku valmislahenduse hinnapakkumise saamise lihtsus. Antud generaatorite andmed ja maksumus on tabelis 3.1. Kuna tuulegeneraatori paigalduskoht on liitumiskilbist kaugel, siis tuleb iga tuulegeneraatori maksumusse arvestada ka 110 m kaablit, mis valitakse selliselt, et nimivõimsusel kaod ei ületaks 1% ning takistus jääks alla 1 Ω . Tabelis 3.2 on toodud iga tuulegeneraatori kohta, mis on valitud osadest koostatud, süsteemi maksumus.

Kuna Tornado 600s-il puudub mast, tuleb see ise ehitada. Masti ehitamine maksab 50 eurot, mis kulub kinnitusvahendite soetamiseks. Mast tehakse puidust, mis saadakse talule kuuluvast metsast. Tegemist on *off-grid*-lahendusega, mistõttu sisaldab ühte 12 V 75 Ah akut ZAP 857 50 Marine (leitud Abeteaks Baltic OÜ lehel [3]). Aku valikul lähtuti eelnevast uuringust, millest selgus, et tuuliku maksimaalne tootmisvõimsus on 260 W, mis ei saavuta nimivõimsust. 2015. aasta keskmine võimsus oleks olnud 15 W, mistõttu võeti valitud akupakkujalt kõige väiksem ja soodsam püsitoite aku. Aku puhul arvestatakse, et selle eluiga on 5 aastat, mistõttu tuleb see iga 5 aasta järel välja vahetada, mida arvestatakse tasuvuse hindamisel. Inverteriks valiti

GWL/Power STI500, mis on mõeldud *off-grid*-lahendustele, nimivõimsusega 500 W, mille juures on kasutegur vähemalt 81% [4]. Elektrituuliku ja talu vaheline ühendus tuleb jõukaabliga MCMK 2 x 6 + 6 mm² (leitud Aleksander Siilbaum Elektri kaup kodulehelt [5]), mille kaovõimsus nimikoormusel tuleks 0,999% ning takistus on 0,653 Ω.

Tabel 3.1. Valitud tuulegeneraatorite andmed

Parameeter	Tornado 600s	Windspot 1,5	Windspot 3,5	TUGE 10
Nimivõimsus	400 W (12 V)	1,5 kW	3,5 kW	10 kW
Nimipöörlemiskiirus	-	250 p/min		140 p/min
Generaatori tüüp	PM harjadega DC, 12/24 V	PM Sync; 3 faasi; 24-48-110-220 V; 50/60 Hz		PM 290-22
Tiiviku tüüp	3 laba, süsinikkiud	3 laba, polüestervaik tugevdatud klaaskiuga		3 laba, 10kW35K
Masti kõrgus	puudub	16 m, hüdrauliliselt langetatav		22 m
Tiiviku pikkus	0,5955 m	1,65 m	2,02 m	3,5 m
Tiiviku pindala	1,114 m ²	8,553 m ²	12,819 m ²	40 m ²
Nominaalne tuule kiirus	12,5 m/s	11 m/s	11 m/s	11 m/s
Minimaalne käivitav tuule kiirus	3 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Maksimaalne tuule kiirus töö ajal	Vähemalt 22 m/s	Vähemalt 20 m/s		16 m/s
Kaitse	Elektrooniline tormipidur	Muutuv labade nurk, kontrollid, lisakaitse		Info puudub
Kaal	6,3 kg	135 kg	165 kg	Info puudub
Inverter	puudub	SMA Windy Boy 3600TL		DVE-GFI-10K-2
Maksumus	734,83 €	16968,56 €	19506,56 €	51 757,2 €
Müüja	Uha OÜ [6]	Bakeri OÜ [7]		TUGE Energia OÜ [8]

Windspot 1,5 ja Windspot 3,5 on kõik olemas, välja arvatud ühenduskaabel. Mõlema puhul on tegemist ühefaasilise *on-grid*-lahendusega, kus kasutatakse kahte NYY-O 1x25 jõukaablit (leitud SLO Eesti AS lehelt [9]) ehk juhistikusüsteemiks tuleb TN-C ning kaabli takistus tuleks 0,157 Ω. Windspot 1,5 korral on kaabli kaovõimsus nimikoormusel 0,444%. Windspot 3,5 korral on kaabli kaovõimsus nimikoormusel 1,036%, mis ületab ettenähtut, kuid mitte olulisel määral. TUGE 10 tuulegeneraatori maksumus on võetud TUGE Energia OÜ poolt teostatud pakkumisest (vt Lisa 4). TUGE puhul on tegemist kolmefaasilise *on-grid*-lahendusega.

Tabel 3.2. Süsteemide maksumused

Komponent	Tornado 600s	Windspot 1,5	Windspot 3,5	TUGE 10
Generaator ja rootor	734,83 €	16 968,56 €	19 506,56 €	18 120 €
Mast	50 €			15 960 €
Inverter	171,72 €			17 400 €
Aku	80 €	-	-	-
Kaabel	132 €	447,92 €	447,92 €	277,2 €
Liitumistasu	-	400 €	400 €	400 €
Kokku	1 168,55	17 816,48 €	20 354,48 €	52 157,2 €

3.1.3. Rakenduse hinnang

Tuulegeneraatori väljundvõimsus, vastavalt tuule kiirusele, avaldub valemiga (3.1).

$$P(v) = \begin{cases} 0 & 0 \leq v < v_{min}, v \geq v_{max} \\ (a + bv + cv^2)P_n & v_{min} \leq v < v_n \\ P_n & v_n \leq v < v_{max} \end{cases}, \quad (3.1)$$

kus v – tuule kiirus (m/s);

P_n – tuulegeneraatori nimivõimsus (kW);

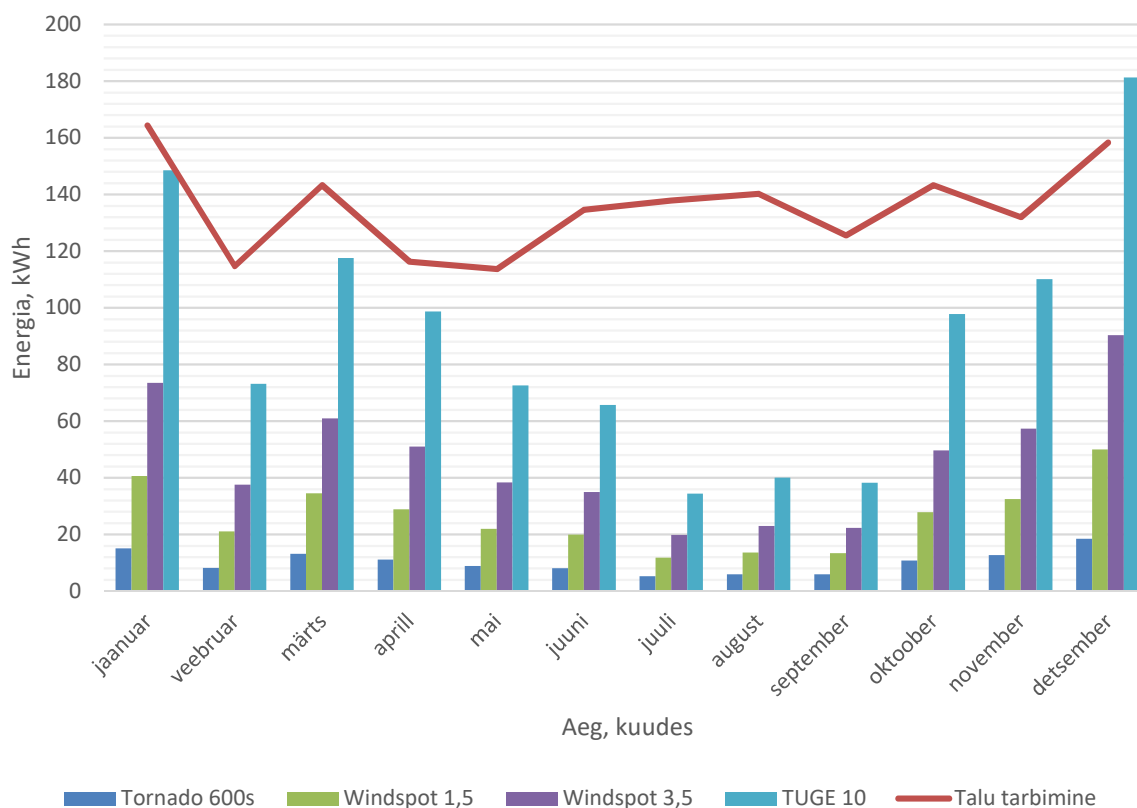
v_n – nominaalne tuule kiirus (m/s);

v_{min} – minimaalne tuule kiirus (m/s);

v_{max} – maksimaalne tuule kiirus (m/s);

a, b, c – tuule kiiruse ja võimsuse sõltuvusest tulenevad konstandid. [10]

Valemiga (3.1) arvutati tuulegeneraatorite iga tunni keskmine energiatoodang, kasutades Võru meteoroloogiajaama andmeid aastatest 2010 – 2015. Tulemustest selgus, et ükski valitud tuulikute ei suuda täita talu aastast energiavajadust, kõige perspektiivikam on TUGE 10 (vt Joonis 3.5). Detsembrikuus ületab küll tema toodang nõudluse, aga suvekuudel on tootmine kesine, sest sel ajal on vajaliku kiirusega tuult vähe, seega ei tasu seegi tuulik ennast ära.

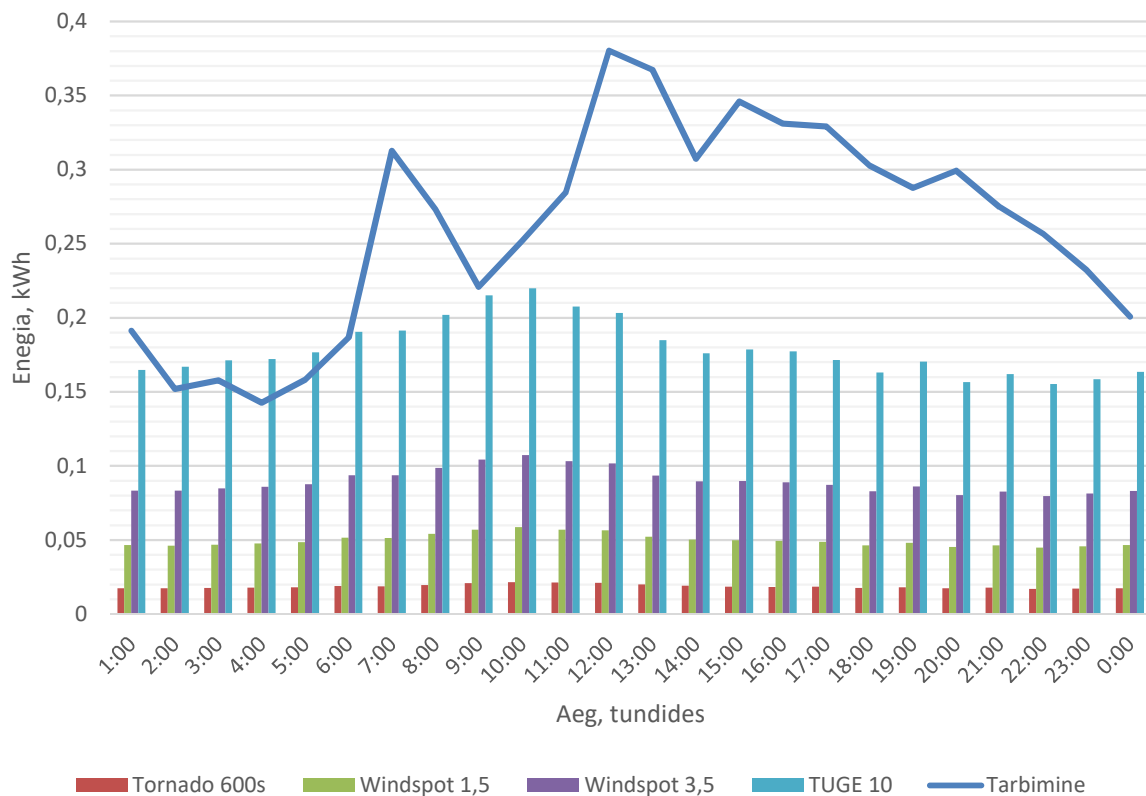


Joonis 3.5. Tuulegeneraatorite keskmine toodang ning talu keskmine energiavajadus

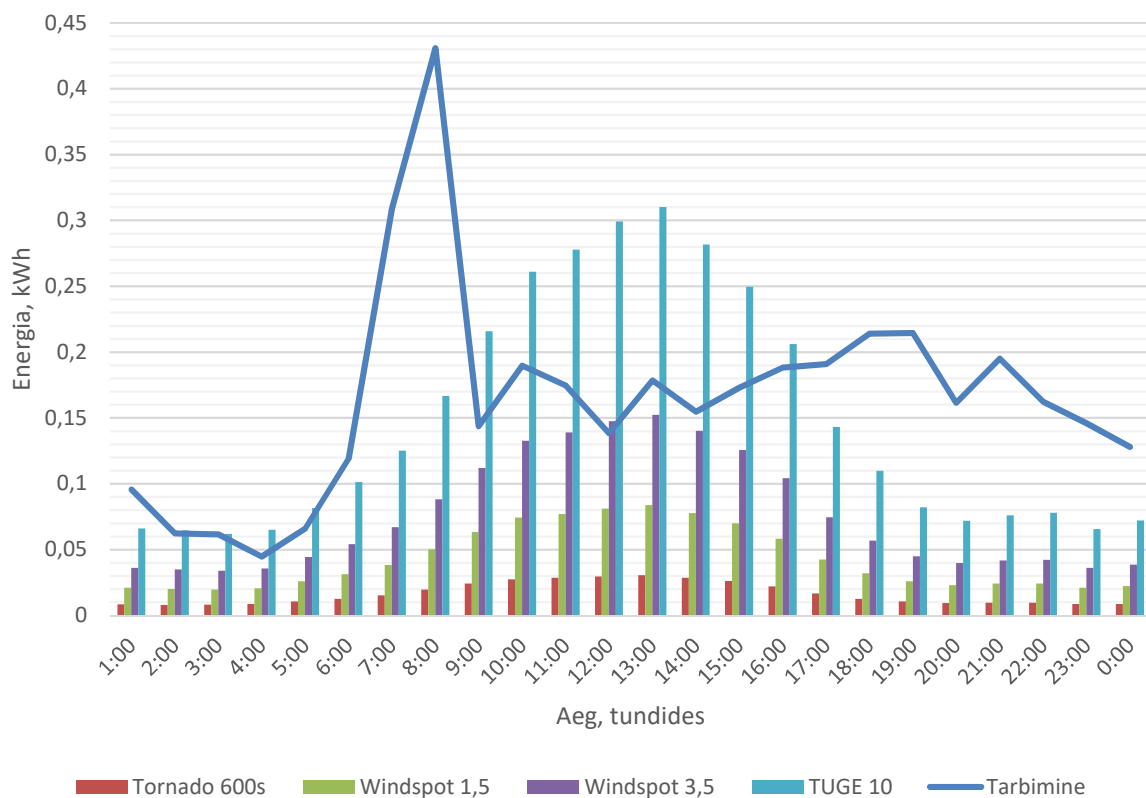
Joonistel 3.6 – 3.9 on vastavalt aastaegadele toodud tuulikute tunnipõhised keskmised toodangud ning talu 2016. aasta keskmine tunnipõhine tarbimine. Aastaajad ei järgi kalendri pööripäevi, vaid on lihtsuse mõttes igaüks kolm kuud pikk: talv on detsember, jaanuar, veebruar; kevad on märts, aprill, mai jne.

Joonistelt on näha, et suvekuudel on tootmine kesine ning kõige rohkem elektrit toodetakse talvel, sest siis on tuult rohkem. Talvel on elektri tootmine ööpäevas ühtlasemalt jaotunud kui teistel aegadel. Tendents suuremaks toodanguks on päevasel ajal, mida on väga selgelt näha suvisel ja kevadisel graafikul.

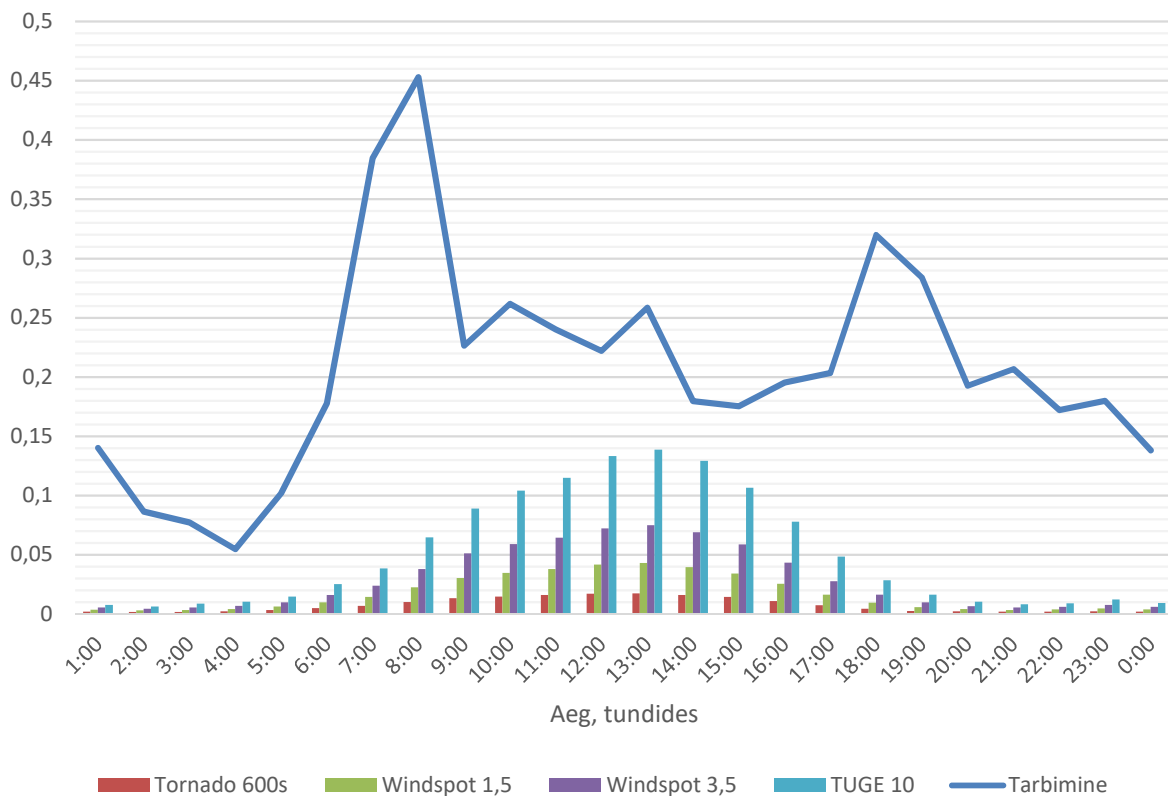
Kevadel on näha ka märgatavat ületootmist TUGE 10 poolt, mis müüakse elektrivõrku. Üldiselt ei suuda valitud tuulegeneraatorid talu tarbimist katta, ilma et peaks süsteemi veelgi võimsamaks muutma, sest TUGE 10 kW generaator oli kõige perspektiivikam ning võib arvata, et sellest veelgi võimsam tuulik suudaks talu energiavajaduse ka katta. Kuid võimsam tuulik tähendab ka suuremat rahakulu.



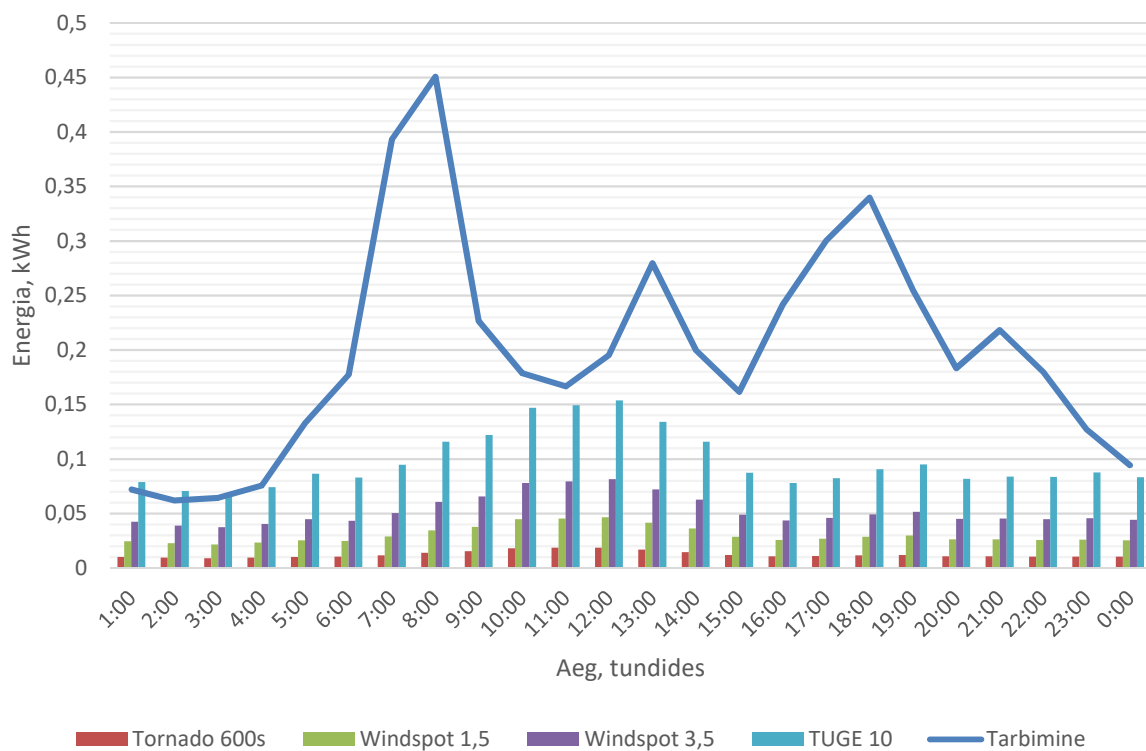
Joonis 3.6. Talve keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud elektrituulikute toodang



Joonis 3.7. Kevade keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud elektrituulikute toodang



Joonis 3.8. Suve keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud elektrituulikute toodang



Joonis 3.9. Sügise keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud elektrituulikute toodang

Selgus, et ükski valitud tuulegeneraatoritest ei tasu end ära. Arvestades, et tuulegeneraatorite eluiga on 20 aastat, siis tasuvusajad ületavad seda mitu korda (vt Tabel 3.3). Kõige lähedasem tasuvusele on Tornado 600s, et see täielikult ära tasuks, peaks elektri hind olema vähemalt 59 euro senti/kWh.

Kasutustegur, mis on protsentuaalselt leitud tuulegeneraatori aastase tootangu ja aastase võimaliku tootangu jagatisena, on kõigi tuulikute korral liiga madal. Üldiselt jäädakse iga tuuliku ülesseadmisega kahjumisse, seda väljendab „-“ märk lõpliku kasumi/kahjumi väärtuse ees. Antud tulemused pole veel lõplikud ning kahjum võib olla veel suurem, sest hinnangu tegemisel ei arvestatud hooldusega ja võimalike kadudega kaablis ning muunduris. Lisaks pole veel arvestatud jääkväärtusega tuuliku eluea lõpul, sest arvestati, et jääkväärtus kulub selle lammutamisele.

Tabel 3.3. Tuulegeneraatorite tasuvused

Parameeter	Tornado 600s	Windspot 1,5	Windspot 3,5	TUGE 10
Tasuvusaeg aastates	99	534	395	483
Sääst	283,32 €	667,39 €	1 040,5 €	2 268,93 €
Toodetud energia, kWh	2393,28	6133,33	10834,78	20846,11
Elektri hind, €/kWh	0,59	2,90	1,88	2,50
Kasutustegur	3,41%	2,33%	1,77%	1,19%
Lõplik kasum/kahjum	-1 125,23 €	-17 149,09 €	-19 313,98 €	-49 888,27 €

3.2. Hüdroenergia

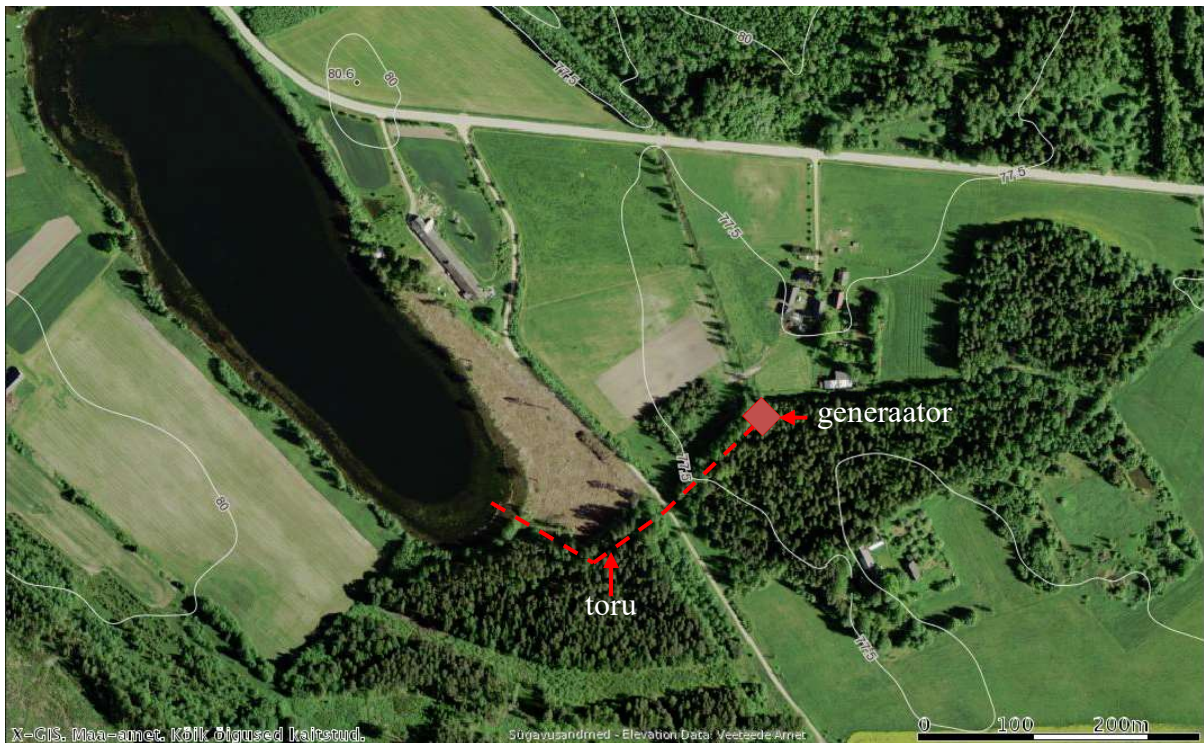
Antud töös ei käsitleta hüdroenergiat tavapärasel viisil, kuna jõe või muu voolava veekogu asemel on talu lähedal umbjärv. Kevadel ja sügisel tõuseb järve veetase, mis pani töö autori mõtlema, et seda vett võiks kasutada elektri tootmisel. Ühtlasi tähendab see seda, et tegemist oleks hooajalise energiatootmisega.

3.2.1. Asukoht ning süsteemi taristu

Kuna järve kõrgus merepinnast on Maa-ameti Maainfo kaardirakenduse põhjal 77,5 m ning generaatori asukohas on kõrguseks 75,5 m, kui kaevata 1,2 m sügavune kraav, siis kõrguste vaheks saab umbes 3 m. Kuna generaator ning järv asuvad üksteisest kaugel, tuleb vesi

transportida toruühendusega, mis paikneks kraavi põhjas või selle lähedal. Toru pikkuseks tuleks 300 m ning lisaks selle tuleb arvestada 120 m pikkuse kaabliga, mis ühendaks generaatorit ja talu elektripaigaldist.

Joonisel 3.10 on kujutatud toru paiknemine ning generaatori asukoht. Lisaks annab antud joonis ettekujutuse järve suurusest ning ümbruskonna maastikust.



Joonis 3.10. Hüdroelektrijaama asukoht ja taristu [2]

3.2.2. Süsteemi valik ning maksumus

Hüdroturbiiniks valiti PowerSpout TRG (vt Joonis 3.11), mis sobib väikese kõrguste vahe ning võimsusega süsteemi. Kuna sarnast hüdrogeneraatorit, mis töötaks käesoleva taastuenergialahenduse kõrguste vahe ja vee hulga juures, polnud leida, siis piirduti ainult ühe seadmetootjaga. Antud süsteemi tehnilised parameetrid on toodud tabelis 3.4. Süsteem peab töötama iseseisvalt (*off-grid*), mistõttu tuleb leida sobiv inverter. Kuid kuna minimaalne vooluhulk on 8 l/s, mille juures generaatori võimsus on 105 W, mistõttu vee raisku laskmise asemel tuleb kasutada ühte 12 V 75 Ah ZAP 857 50 Marine akut. Kuna süsteemi pole suurt akut vaja, sest järve kasutatakse salvestina, valiti Abeteks Balite OÜ lehelt kõige väiksema mahutavusega püsivvoolu aku. Lisaks tuleb süsteemi arvestada kaabel ja ühendustoru. Aku puhul

arvestatakse, et selle eluiga on 5 aastat, mistõttu tuleb see iga 5 aasta järel välja vahetada, seda arvestatakse tasuvuse hindamisel.

Aku laadimiskontrolleriks valiti GWL/Poweri TR-1215BN, mis on päikesepaneelidele mõeldud kontroller, kuid hüdrogeneraatori tootja lubab kasutada MPPT (*maximum power point tracking*) juhtimisega invertereid ja kontrollereid. Antud laadimiskontrolleri maksimaalne sisendvõimsus on 240 W, nimipinge 12,24 V, maksimaalne sisendpinge 150 V. Inverteriks valiti GWL/Power STI500, mis on mõeldud *off-grid*-lahendustele, nimivõimsusega 500 W, mille juures on kasutegur vähemalt 81%. [4]



Joonis 3.11. PowerSpout Turgo [11]

SLO kodulehelt [9] valiti NYY-J 3x2,5 jõukaabel. Toru ning selle vajalikud tarvikud ostetakse AS FEB-ist [12]. Töökuludesse arvestatakse vajalike lisaseadmete, ehitusvahendite ost ja kulu kaevetöödele. Tabelis 3.5 on toodud kogu süsteemi maksumus ning komponendid.

Tabel 3.4. PowerSpout Turgo tehnilised näitajad [11]

Turbiin	Turgo ratas (Impulssturbiin)
Veejoad	1 – 4, igaüks läbimõõduga 2 – 22 mm
Turgo ratas	koppade arv rootoril 12 kopa laius 45 mm kopa pikkus 65 mm maksimaalne veejoa läbimõõt 25 mm võlli paksus 50 mm rummu kinnitusauk 5 mm väline diameeter 180 mm jooksev diameeter 90 mm
Turgo rootori materjal	GF30 nailon 90 mm PCD
Korpus	LDPE plastik, ülemine kest on 3 mm paks ning alumine 8 mm
Laagrid	Ees ja taga 6005-2Z VD 47 mm SD 25 mm
Staatiline rõhukõrgus	40 m
Maksimaalne dünaamiline rõhukõrgus	2 – 30 m
Maksimaalne vee vooluhulk	16 l/s
Minimaalne vee vooluhulk	8 l/s
Vooluhulga reguleerimisseadis	1 komplekt lõigatud arvutatud suuruseni ning 1 lõikamata varukomplekt
Alaldamine	100 A õhkjahutusega alaldi
Mõõtmed	430 x 410 x 350 mm
Kaal	Netokaal 15 kg, koos torukinnitusatega 28 kg. Paki kaal kuni 30 kg
Garantii	2 aastat, mis on pikendatav 7 aastani Turgo rattal on 3 aastane vastupidavuse garantii

Tabel 3.5. Hüdroelektrijaama komponendid ja nende maksumused

Komponent	Nimetus	Maksumus
Hüdrogeneraator	PowerSpout Turgo	1 042 €
Kaabel	NYJ-J 3x2,5	134,4 €
Toru	Muhvtoru Dupplex 200 6m SN8 + tarvikud	3 900 €
Aku	ZAP 857 50 Marine	80 €
Laadimiskontroller	GWL/Power TR-1215BN	55,35 €
Inverter	GWL/Power STI500	171,72
Töökulu		200 €
Kokku		5 583,37 €

3.2.3. Rakenduse hinnang

Joonisel 3.12 on toodud PowerSpout kodulehel oleva kalkulaatoriga arvatud tulemused ning nende tulemuste saamiseks sisestatud andmed. Antud kalkulaatoriga saadud võimsus tuleb läbi korrutada inverteri, laadimiskontrolleri, pliiaaku kasuteguriga, milleks valiti 0,8 [13]. Saades nii kogu süsteemi väljundvõimsuseks ligikaudu 100 W.

Saadaolev vee vooluhulk	10.0 lps	Generaatori väljundpinge	45 V
Kasutatav vee vooluhulk	10.0 lps	Kaabli sihtefektiivsus	99 %
Rõhkõrgus	3.0 m	Kaabli pikkus	2 m
Toru pikkus	300 m	Koormuse ettenähtud pinge	45 V
Toru sihtefektiivsus	90 %	Koormuse tegelik pinge	45 V
Toru läbimõõt	200 mm	Kaabli materjal	Copper
Lukusta toru läbimõõt	<input checked="" type="checkbox"/>	Kaabli ristlõike pindala	2.5 mm ²
Turbiinide arv	1	Lukusta kaabli suurus	<input checked="" type="checkbox"/>
Veejugaade arv (1 kuni 4)	4	Järgmine kaabli suurus	13 AWG
Veejoa diameeter	22.7 mm	Vool kaablis	3.4 A
Toru tegelik efektiivsus	94 %	Kaabli tegelik efektiivsus	100 %
Rootori kiirus	601 rpm	Inverteri sisendvõimsus	152 W
Generaatori väljundvõimsus	152 W		

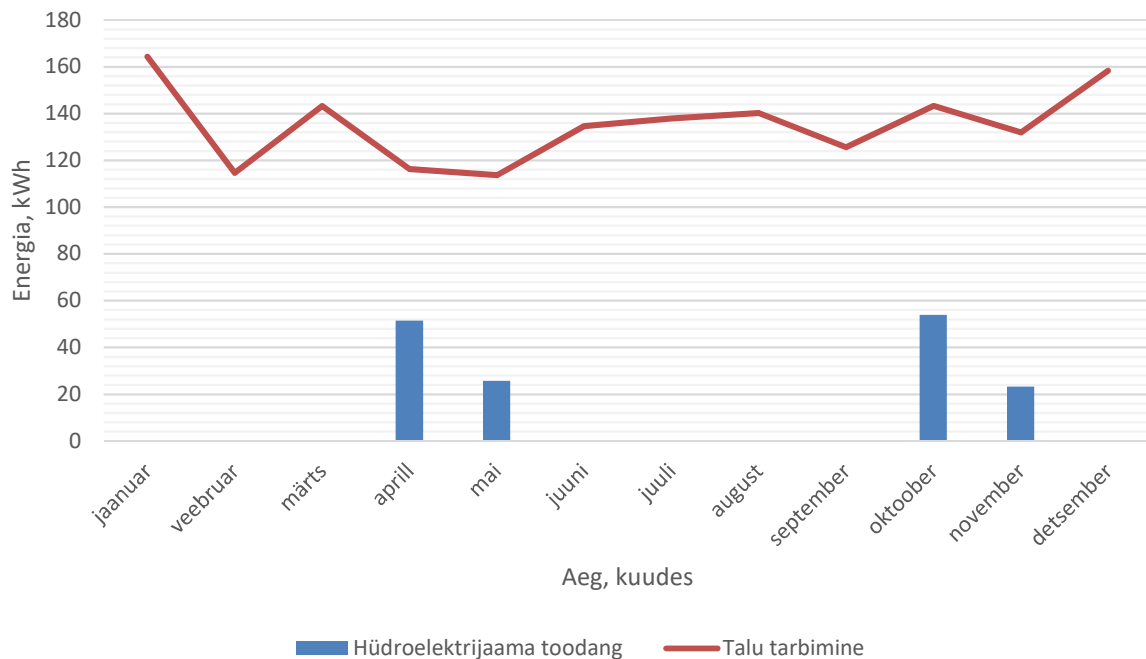
Joonis 3.12. Hüdroelektrijaama arvatud parameetrid [11]

Maa-ameti Maainfo kaardirakenduse abil leiti, et järve pindala on 90 677,3 m². Arvestati, et järve veetasel on võimalik alla lasta 30 cm jagu ning selle tõttu kaugeneb veepiir kaldast 0,5 m. Võttes arvesse eelmisi andmeid, saadi järve kasutatavaks veemahuks 27 Ml. 10 l/s voolukiiruse puhul jätkuvalt antud kogusest 31,25 päevaks.

Kuna valitud süsteem ei suuda talu kõiki tarviteid ära toita, siis valiti elamus sellised tarvitid, mille tarbimine oli juba eelneva mõõdistamisega selgeks tehtud. Valituks osutusid külmkapp (70 W), valgustus (kokku 267,1 W), teler (94 W), multimeedia (55 W), arvutid (kokku 220 W), printer (75 W) ja ruuter (8 W). Sulgudes on toodud seadmete võimsused, mis kokku annavad võimsuseks 789,1 W, kuid kuna kõiki seadmeid ei kasutata samal ajal ning mõne kasutus on

harv, siis eeldatakse, et valitud inverter suudab nendele seadmetele ka toite tagada. Seadmete tarbimise hindamisel kasutati 2016. aasta oktoobrikuu andmeid (vt Lisa 2 ja 3).

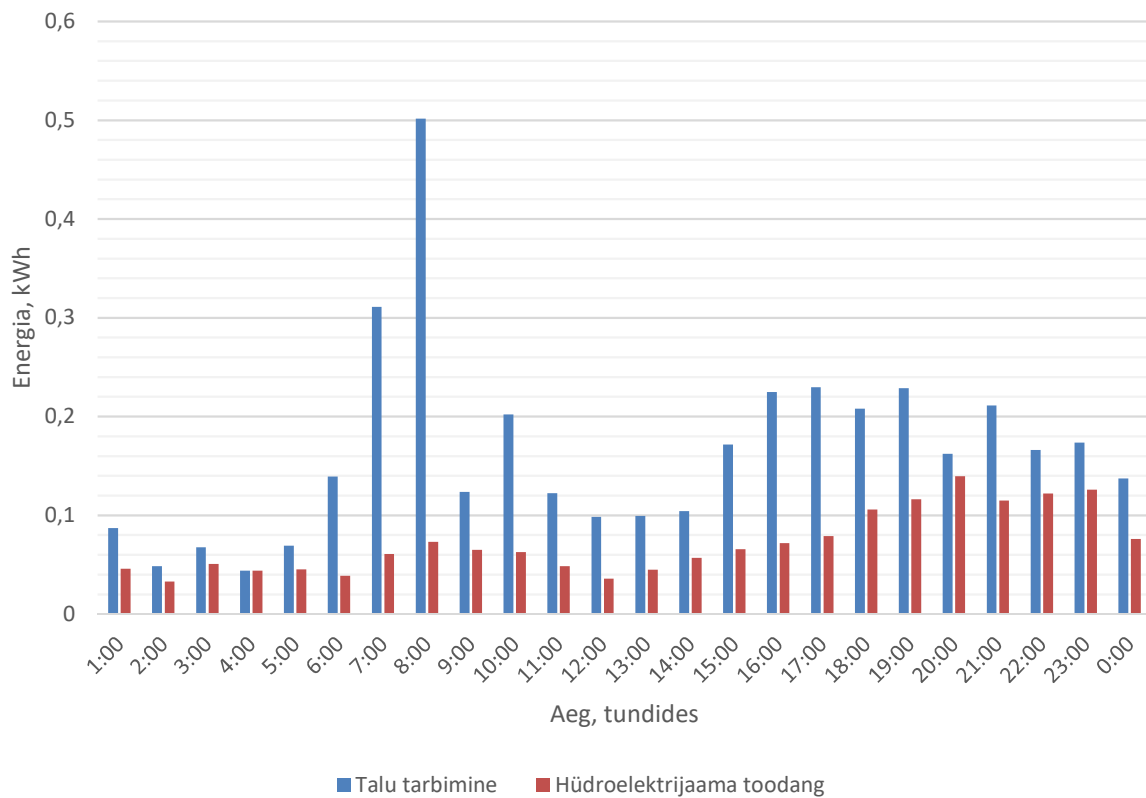
Joonisel 3.13 on toodud tootmise ning tarbimise graafikud. Antud joonisel on näha, et tootmine toimub ainult kevadel ning sügisel, mil veetase on kõrgem. Talu elektritarbimist antud süsteem täita ei suuda.



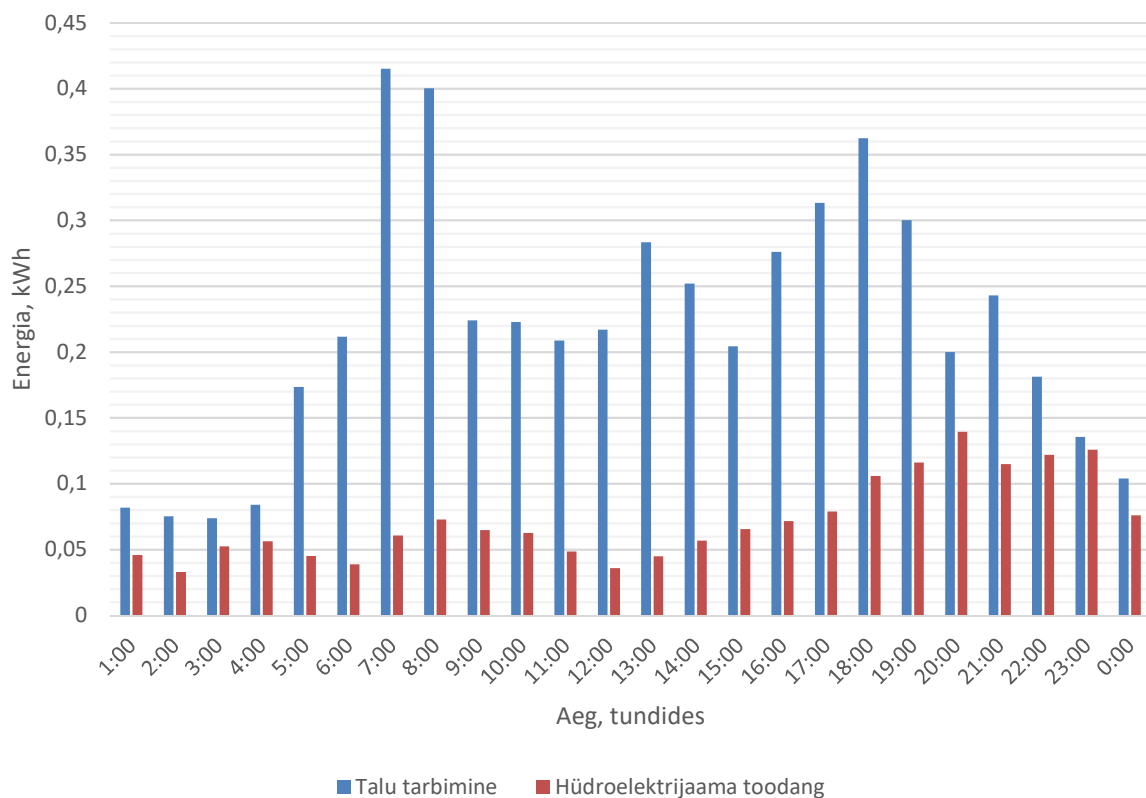
Joonis 3.13. Hüdroelektrijaama iga kuu toodang ning talu keskmine energiavajadus

Joonisel 3.14 on toodud kevadine tarbimine ja tootmine, kuhu arvestati ainult aprilli ja mai energiatarbimine ja -toodang. Selgus, et valitud süsteem suudab täita valitud seadmete energiavajaduse, kuid seda ainult 44 päevaks, sest siis ammenduvad järve veevarud.

Joonisel 3.15 on toodud sügisene tarbimine ja tootmine, kuhu arvestati ainult oktoobri ja novembri energiatarbimine ja -toodang. Selgus, et valitud süsteem suudab täita valitud seadmete energiavajaduse. Sarnaselt kevadega ammenduvad veevarud valitud seadmete tarbimise juures 44 päevaga.



Joonis 3.14. Keskmise ööpäevane tarbimine ja hüdroelektriijaama toodang kevadel



Joonis 3.15. Keskmise ööpäevane tarbimine ja hüdroelektriijaama toodang sügisel

Selgus, et valitud elektrienergia tootmise süsteem ei tasu end ära. Tabelis 3.6 on toodud süsteemi tasuvused. Tasuvusaeg ületab süsteemi eluea mitu korda, kui arvestada, et süsteemi eluiga on 20 aastat. Kasutustegur, mis on protsentuaalselt leitud süsteemi aastase toodangu ja aastase võimaliku toodangu jagatisena, on liiga madal, arvestades hüdrogeneraatori maksimaalvõimsust 2 kW. Üldiselt jäädakse süsteemi ülesseadmisega kahjumisse, seda väljendab „-“ märk lõpliku kasumi/kahjumi summa ees. Antud tulemused pole veel lõplikud ning kahjum võib olla veel suurem, sest hinnangu tegemisel ei arvestatud hooldusega. Lisaks pole veel arvestatud jääkväärtusega süsteemi eluea lõpul, sest arvestati, et jääkväärtus kulub selle lammutamisele.

Tabel 3.6. Süsteemi tasuvus

Tasuvusaeg aastates	322
Sääst	361,79 €
Toodetud energia, kWh	3080,97
Elektrihind, €/kWh	1,89
Kasutustegur	0,88%
Lõplik kasum/kahjum	-5 461,68 €

3.3. Päikeseenergia

Päikeseelektrijaama igatunnine toodetud elektrienergia avaldub valemiga (3.2), mida kasutatakse päikeseenergialahenduse rakenduse hinnangul. Päikesepaneelide toodangu arvutamisel kasutatakse Euroopa Komisjoni Energeetika ja transpordi instituudi PVGIS kiirgusandmeid.

$$E = P_k \cdot r_p \cdot H_h, \quad (3.2)$$

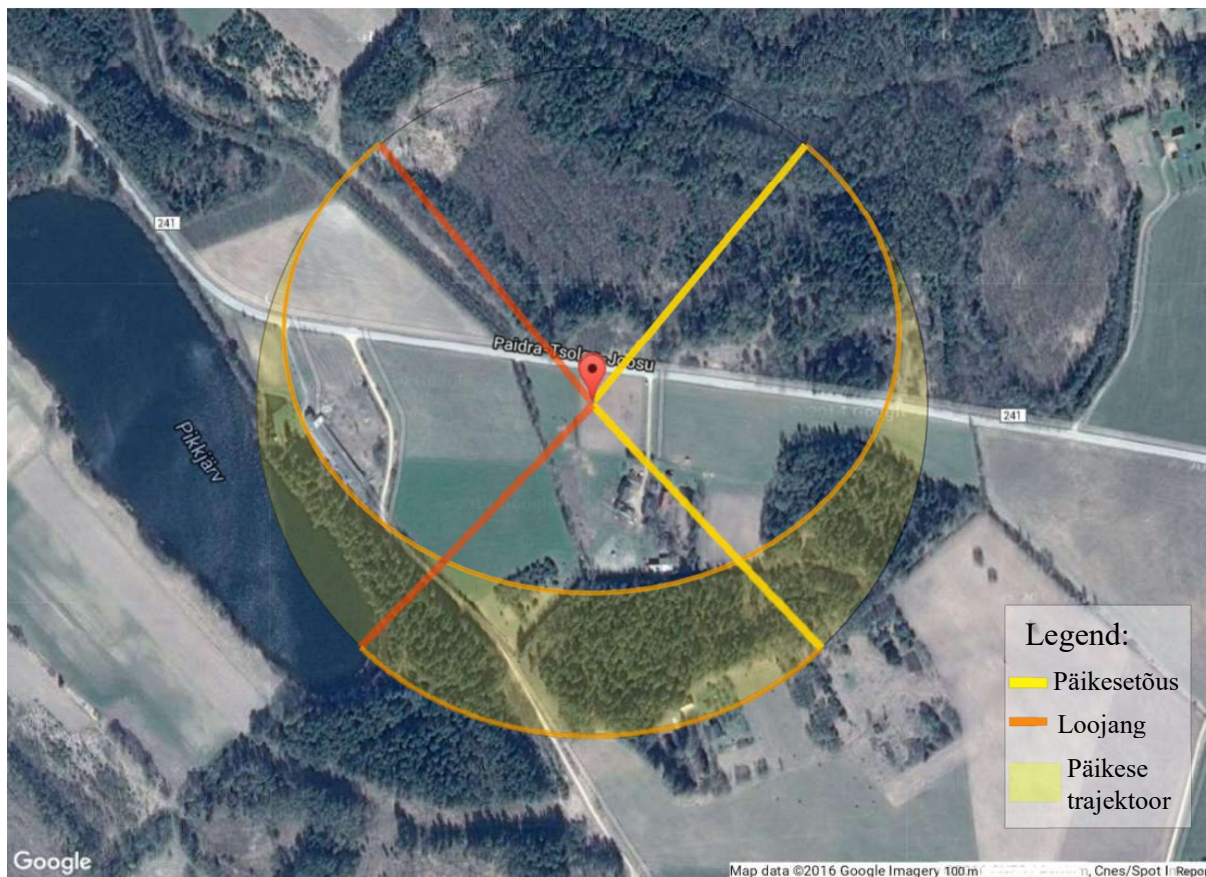
kus P_k – PV (*photovoltaic*) süsteemi tipuvõimsus (kW);

r_p – süsteemi kasutegur, mis arvestab kadusid muunduris, ühendusjuhtides, paneelide mustumist jne, mille standardväärtus on 0,75;

H_h – tunni kiirgusenergia valitud süsteemi paneelide pinnale (kWh/m²). [14]

3.3.1. Asukoha valik

Asukoha valikul tuleb arvestada päikese trajektooriga, vältides varjude sattumist paneelidele. Päikesepaneelide asukohaks valiti sama koht mis tuulegeneraatori puhul: geograafiliste koordinaatidega 57,918798 (laius) ja 27,142891 (pikkus) (vt Joonis 3.1). Antud joonisele on märgitud ka suvise pööripäeva (ülemised jooned) ning talvise pööripäeva (alumised jooned) päikese tõus ja loojang. Helekollane ala on päikese trajektoor, mida see läbib nende kahe pööripäeva vahel.



Joonis 3.16. Päikesepaneelide asukoht ning päikese trajektoor [15]

3.3.2. Inverterite valik

Antud töös käsitletakse viie erineva inverteri sobilikkust ning tasuvust talukompleksi taastuenergia lahendusse. Käsitletakse üht hübriidlahendust ja nelja *on-grid*-lahendust. *On-grid*-lahendustes kasutatakse nelja stringiinverterit, kus kaks on ühefaasilised ja kaks kolmefaasilised, millest üks on hübriidlahenduse võimekusega. Valitud inverterite tehnilised andmed on tabelis 3.7.

Tabel 3.7. Valitud inverterite andmed [16] [17] [18]

Tootja	Fronius		Growatt		Victron
Mudel	Symo 3.0-3-S	Symo Hybrid 3.0-3-S	1500S	2500MTL-S	MultiPlus C 800
Nimivõimsus (W)	3000		1600	2500	700
Maksimaalne soovituslik paneelide võimsus (Wp)	6000	5000	1900	2900	-
Maksimaalne DC pinge (V)	1000	1000	450	500	24
MPPT DC pinge vahemik (V)	200 – 800	190 – 800	70 - 450	80 – 500	-
Maksimaalne DC vool (A)	16		10	20	-
AC nimivool (A)	4,3	8,3 (max)	7,5 (max)	12 (max)	16
AC nimipinge (V)	400 / 230 või 380 / 220		220 / 230 / 240		230
AC nimisagedus (Hz)	50 / 60		50 / 60		50
Võimsustegur	0,7 – 1	0,85 – 1	1	0,8 – 1	-
Maksimaalne kasutegur	98%	97,7%	97%	97,6%	94%
Kaalutud kasutegur	96,2%	95,2%	96,5%	97%	-
Tühijooksu omatarve (W)	<1	-	<0,5		10
Kaitseaste	IP65				IP21
Keskonnatemperatuur (°C)	-25 ... +60				-40 ... 65
Lubatud õhuniiskus	0 ... 100%				0 ... 95%
Andmeside	WLAN/Ethernet LAN, RS485, USB, RS422		RS232, RF, Wi-Fi, Ethernet		VE.Bus
Mõõdud (mm)	645x431x204		271x267x127	362x419x138	375x214x110
Kaal (kg)	16	19,9	5	14	10
Garantii	5 kuni 7 aastat		5 kuni 10 aastat		5,5 aastat

Ühefaasiliste stringiinverterite puhul kasutatakse Uha OÜ pakutavaid Growatt invertereid 2500MTL-S ja 1500S, mille nimivõimsused on vastavalt 2,5 kW ja 1,6 kW [6]. Growatt inverterid valiti, sest need on turul olevatest ühefaasilistest inverteritest ühed soodsaimaid. Kolmefaasiliste puhul kasutatakse Helioest OÜ pakutavaid invertereid Fronius Symo 3.0-3-S ja Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S, mõlema inverteri nimivõimsus on 3 kW [19]. Fronius Symo

3.0-3-S inverter on turulolevatest üks madalaima nimivõimsusega kolmefaasilisi invertereid, ühtlasi ka üks soodsamaid. Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S on samuti üks madalaima nimivõimsusega kolmefaasilisi invertereid ning ka üks soodsamaid, kuid antud töös seda hübriidlahenduses ei kasutata, sest inverter on ette nähtud töötamiseks ainult Froniuse spetsiaalsete akude pealt, mis on liiga kallid, et talu suudaks neid soetada. Froniuse Symo Hybrid inverterile tuleb paigaldada võrgu poolele mõõdik, mille järgi saab inverter faase vastavalt tarbimisele toita. Lisades 5, 6, 7 ja 10 asuvad valitud inverterite andmelehed.

Hübriidlahenduse puhul kasutatakse Helioest OÜ poolt pakutavat inverterit Victron MultiPlus C 800, mille andmeleht asub lisas 8. Victron inverteri kasuks otsustati seadme soodsa hinna ning kallite spetsiaalakude mittevajalikkuse põhjal. Tegemist on ühefaasilise 800 VA võimsusega inverteriga, millel on vahelduvvoolu sisend, mis ühendatakse võrguga, ja väljund, mis ühendatakse tarbijatega. Lisaks alalisvoolu sisend/väljund, mis ühendatakse akudega. Kuna seadmel on sisseehitatud akulaadija, on seda võimalik kasutada ka UPS-ina (*uninterruptible power supply*), kuid antud kontekstis seda ei kasutata ning akusid laetakse ainult päikesepaneelidega. Kuna talu elektrisüsteem on kolmefaasiline, siis tuleb antud invertereid paigaldada kolm, millest igaüks toidab eraldi faasi, suheldes omavahel vastava andmesideühendusega. Ühe inverteri maksumus on 558,6 eurot [19].

Kuna Victroni inverter ei sisalda endas laadimiskontrollerit, siis tuleb sellele valida väline laadimiskontroller, milleks valiti Victroni SmartSolar MPPT 250/100. Tegemist on Victroni 250 V maksimaalse sisendpingega kontrolleriga, mille maksimaalne võimsus 24 V väljundpinge puhul on 2900 W, seega sobib kasutamiseks valitud hübriidlahendusesse (vt Lisa 9). Maksimaalne efektiivsus on 98% ja VE.Bus võimaldab seda ühendada ka hübriidlahenduses kasutatavate inverteritega. Toote hind 958,4 eurot, mis on koos saatmiskuludega, saadi Photovoltaik4all® veebipoest [20].

3.3.3. Paneelide ja kaabli valik

Päikesepaneelide valikul lähtuti kõige soodsamast €/Wp suhtest, millele vastasid Uha OÜ pakutavad 260 Wp polükristallist paneelid (vt Tabel 3.8). Antud ettevõtte asub Põlvemaal Kanepi vallas, seega Võrumaal asuvale talukompleksile suhteliselt lähedal, mistõttu pole vajalik saatmist organiseerida. Tegemist on paneelidega, mille MPPT pinge on 30,41 V ja vool 8,54 A. Avatud elektriahela pinge on 37,3 V ning lühisvool 9,22 A. Paneelid on võimelised

töötama temperatuurivahemikus -40 °C kuni +85 °C. Paneeli kaal on 20,5 kg ning mõõdud 1640 x 992 x 35 mm. Ühe paneeli maksumus koos käibemaksuga on 155 eurot. [6]

Tabel 3.8. Päikesepaneeli andmed [6]

Paneeli tootja	SolarEst OÜ
Mudel	SE260-3BB-W
Tipuvõimsus	260 W
MPPT pinge	30,41 V
MPPT vool	8,54 A
Avatud ahela pinge	37,3 V
Lühisvool	9,22 A
Kasutegur	15,93%
Mõõtmed	1640x992x35 mm
Kaal	20,5 kg
Keskkonnatemperatuur	-40 °C kuni +85 °C
Maksumus	155 €

Paneelide valikul lähtuti valemist (3.3), mille abil leitakse paneelide vajalik tipuvõimsus P_{PV} (Wp) valitud võimsussuhte juures. Valitud süsteemide puhul arvestatakse võimsusteguriks 0,8, sest sellega on paneelide tipuvõimsus suurim, mis toob kaasa suurema energiatoodangu. Antud tipuvõimsust pole otstarbekas ületada, vastasel juhul ei suuda inverter enam suurema päikesekiirguse korral kogu energiat ära muundada.

$$P_{PV} = \frac{P_{AC}}{\eta \cdot k_P}, \quad (3.3)$$

kus P_{AC} – inverteri väljundvõimsus (W);

η – inverteri kasutegur;

k_P – võimsussuhe, mis jääb vahemikku 0.8 ... 1.2. [21]

Fronius Symo 3.0-3-S ja Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S inverteritele valiti 15 paneeli koguvõimsusega 3900 Wp. Growatt 1500S puhul valiti 7 paneeli koguvõimsusega 1820 W, 2500MTL-S puhul aga 11 paneeli koguvõimsusega 2860 W, kus arvestati inverteri tootja soovitusliku suurima paneelide võimsusega. Hübriidlahendusele valitakse paneelid vastavalt laadimiskontrolleri maksimaalsele võimsusele, milleks on 2,9 kW. Kuid valides 11 paneeli ja

ühendades need jadamisi, ületatakse kontrolleri lubatud suurim sisendpinge, mistõttu peab valima paarisarv paneele ja ühendama pooled neist rööbiti, seega kokku valitakse 10 paneeli.

Päikeseelektrijaamas kasutatavate kaablite valikul lähtutakse sellest, et kaod ei tohi ületada 2%. Kaabli ristlõike pindala S (mm²) arvutamisel kasutatakse valemit (3.4).

$$S = L \cdot \rho \cdot \frac{P}{2\% \cdot U^2}, \quad (3.4)$$

kus L – kaabli pikkus (m);

ρ – eritakistus, mis on vase puhul $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$;

P – kaablis ülekantav võimsus (W);

U – süsteemi pinge (V). [22]

Hübriidlahendusel paigutatakse inverterid, laadimiskontroller ja akud peajaotuskilbi lähedale, seega tuleb kaabli arvutamisel arvestada 152,05 V alalispingega, vähemalt kahe soonega ja 110-meetrise vahemaaga. Arvutatud kaabli ristlõikeks vase puhul saadi 21 mm², kuna nii suure ristlõike puhul on soodsam kasutada alumiiniumi, siis leiti vajalikuks alumiiniumjuhi ristlõike pindalaks 32,8 mm², võttes alumiiniumi eritakistuseks $2,65 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ [23]. AS Harju Elektri kodulehelt [24] valiti Draka AXPk 4G 25 mm² PEX-isolatsiooniga kaabel, mille arvutuslikud kaod laadimiskontrollerini on maksimaalvõimsusel ligikaudu 1,3%, kusjuures arvestati, et ühele tööjuhile kuulub kaks soont ehk koguristlõige on 50 mm².

Samamoodi hübriidlahendusega asetsevad stringiinverterid peajaotuskilbi lähedal, kuid antud inverterid on suutelised töötama kõrgema alalispingega, mistõttu saab väiksema ristlõikega kaabli valida. Growatt 1500S puhul valiti Harju Elektri kodulehelt kaabliks alumiiniumjuhiga AXPk 4G 16 mm², sest 10 mm² vaskkaabli kasutamine on kallim, arvutuslikud kaod kaablis moodustavad 0,8% nimivõimsusest. Growatt 2500MTL-S, Fronius Symo 3.0-3-S ja Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S puhul kasutatakse Aleksander Siilbaum Elekrikaup kodulehelt [5] leitud kaablit MCMK 2 x 6 + 6 mm², mille kaod nimivõimsusel on Growatti puhul 0,9%, Froniuste puhul aga 1,5%.

3.3.4. Akude valik hübriidlahenduses

Hübriidlahenduse puhul, kus võrgust tarbitakse energiat ainult siis, kui päikesepaneelid ei suuda nõudlust katta, tuleb süsteemi lisada ka salvesti. Salvesti suurus arvutati valemiga (3.5), kus

leitakse augusti keskmise päeva tootmise ja tarbimise vahe neil tundidel, mil tootmine on väiksem kui tarbimine.

$$E_{g,i} < E_{c,i} \Rightarrow E_{res} = \sum_{i=1}^n E_{c,i} - E_{g,i} \quad (3.5)$$

kus E_{res} – päevane keskmine vajalik salvesti mahtuvus (Wh);

$E_{g,i}$ – tunnis i toodetud elekter (Wh);

$E_{c,i}$ – elektri tarbimine tunnis i (Wh);

$n = 24$ – ööpäev. [13]

August valiti seetõttu, et eelneva arvutuse käigus selgus, et see on kõige suurema öise energiavajadusega kuu, siis kui tootmine on väiksem kui tarbimine ning kus päikeseelektrijaam suudab veel talu energiavajadust katta. Eelnevast valemist saadi vajaliku salvesti mahuks 1,98 kWh. Arvestades, et inverter vajab akude pealt töötamiseks 24 V pinget, siis tuleb salvesti koostada vähemalt kahest 12 V akust, mis on omavahel jadaühenduses. Akude tegeliku suuruse valikul lähtutakse valemist (3.6), kus võetakse arvesse tühjenemise sügavust, mis on otseselt seotud akude elueaga.

$$E_{lmax} = \frac{E_l}{DoD}; \quad (3.6)$$

kus E_{lmax} – nõutud maksimaalne energiamahtuvus;

E_l – esialgne nõutud energiamahtuvus;

DoD – tühjenemise sügavus (*depth of discharge*). [25]

Arvestades, et aastas toimub 150 laadimis- ja tühjenemistsüklit, siis päikeseelektrijaama arvestusliku eluea lõpul, milleks on 25 aastat, toimub 3750 tsüklit [26]. Akude valikul ümardati tsüklite arv 4000 peale. 70% DoD puhul on liitiumakude tsüklite arv 4000, seega tuleb kogu salvesti suuruseks valida vähemalt 2,83 kWh. Seega valiti Helioest OÜ kodulehelt neli 60 Ah 12 V akut kogumaksumusega 2374,08 eurot. Pliiakude kasutamisel peab 4000 tsükli korral DoD jääma alla 15%, mis tähendab, et salvesti kogumahtuvus peab olema vähemalt 13,2 kWh. Selle nõude täidavad AlignSoft OÜ kodulehelt leitud süvatühjendatavad 80 Ah 12V pliiakut. Vajalik kogus on 14 tükki kogumaksumusega 1121,4 eurot. Valitud akupankade ülesehituse puhul on kasulikum liitiumakudele eelistada pliiakusid, sest nende kogumaksumus on üle kahe korra madalam (vt Tabel 3.9). [25]

Tabel 3.9. Akude andmed [19] [27]

Tüüp	liitiumaku	pliiaku
Tootja	Victron Energy B.V.	Zap Sznajder Batterien S.A.
Aku nimipinge	12,8 V	12 V
Ühe aku mahtuvus	60 Ah	80 Ah
Akude kogus	4	14
Akupanga mahtuvus	3,072 kWh	13,44 kWh
DoD	70%	15%
Akupanga maksumus	2374,08 €	1121,4 €

3.3.5. Valitud süsteemide maksumused ja tasuvus

Tabelis 3.10 on toodud lisaks eelnevate seadmete maksumustele ka paneelide kinnituse maksumus, Elektrilevi OÜ liitumistasu, töökulu ja muud võimalikud kulud. Päikesepaneelide kinnitus tehakse ise puidust, kus peamiseks kuluks on kinnitusvahendid. Antud projekti on arvestatud ka töökulu, mis hõlmab endas saematerjali valmistamist, konstruktsioonide ehitust ja paigaldust ning lisaks ka kaabli maasse kaevamist. Muude kulude alla kuuluvad võimalikud ettenägematud kulutused ja ka elektrimaterjal, näiteks kaitselülitid, ühendusklemmid, pistikud, ühendusjuhtmed jne.

Tabel 3.10. Valitud süsteemide maksumused

Komponent	Fronius Symo 3.0-3-S	Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S	Growatt 1500S	Growatt 2500MTL-S	Victron MultiPlus C 800
Paneelid	2 325 €		1 085 €	1 705 €	1 550 €
Inverter(-id)	1 014,88 €	1 912,68 €	599 €	699 €	1 675,8 €
Kaabel	130 €		173,8 €	130 €	280,5 €
Möödik	-	200,16 €	-		
Laadimis-kontroller	-				958,4 €
Akud	-				1 121,4 €
Liitumistasu	400 €				-
Töökulu	100 €				
Kinnitus	50 €				
Muud kulud	50 €				
Kokku	4 069,88 €	5 167,84 €	2 457,8 €	3 134 €	5 786,1 €

Talu tunnipõhist tarbimist arvestades saadi valitud lahenduste tasuvused ja muud parameetrid, mis on toodud tabelis 3.11. Paneelid asetati fikseeritud optimaalse kalde alla, milleks on antud

objektil 37°, ja optimaalne asimuut on -2°. Ühefaasilise inverteri puhul arvestati, et elamu tarvitid ühendatakse kõik ühe faasi peale, mida see inverter ka toidab. Tasuvuse hindamisel võeti arvesse elamus kasutatavate seadmete oktoobrikuu tarbimist. Lisaks arvestati, et ülejäänud tarbimine on talus sümmeetriline, sest peamise osa elamuvälisest tarbimisest moodustavad kolmefaasilised asünkroonmootorid. Seega, ülejäänud tarbimise puhul, mis olid teiste faaside peal, arvestati juurde ka võrgutasu vastavalt päikesepaneelide toodangule.

Tabel 3.11. PV süsteemide tasuvused

Parameeter	Fronius Symo 3.0-3-S	Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S	Growatt 1500S	Growatt 2500MTL-S	Victron MultiPlus C 800
Tasuvusaeg aastates	13,1	18,5	19,9	16,1	40,3
Sääst	6 380,53 €	6 435,51 €	2 952,36 €	4 306,83 €	3 591,4 €
Toodetud energia, kWh	82864,74	82864,74	38670,21	60767,47	30297,29
Elektrihind, €/kWh	0,0491	0,0624	0,0636	0,0516	0,191
Kasutustegur	12,6%	12,6%	11,03%	11,09%	6,58%
Lõplik kasum/kahjum	2 310,65 €	1 267,67 €	494,56 €	1 172,83 €	-2 194,7 €

Kolmefaasilise Fronius Symo 3.0-3-S puhul arvestati, et talus ei ole kõik faasid ühtlaselt koormatud. Tarvitite asetusega faasidel ning oktoobrikuu tarbimise põhjal hinnati keskmiseks ebasümmeetriaks 25% talu kogutarbimisest. Tarvitite ümberpaigutamisega on võimalik vähendada ebasümmeetria 15% peale. Kuid tasuvuse hindamisel jäädigi 25% juurde, mis tähendab, et kui tootmine ja tarbimine on võrdsed, siis tuleb ikkagi 25% energia hulgast maksta võrgutasusid. Kolmefaasilise Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S seda probleemi pole, sest antud inverter suudab toime tulla ka ebasümmeetrilise tarbimisega, kuid selleks on vajalik kilpi lisada ka vastav mõõdik, mis mõõdaks energia hulka ja suunda erinevate faaside peal.

Tasuvusanalüüsi tehes arvestati päikeseelektrijaama elueaks 25 aastat. Parima tasuvusega on Fronius Symo 3.0-3-S, mida edasises töös ka kasutatakse. Arvestatava tasuvusega on ka Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S ja Growatt 2500MTL-S, kuid vaadates lõplikku kasumit 25 aasta möödudes, siis tasuks eelistada kolmefaasilist inverterit ühefaasilisele. Growatt 1500S tasub

end ära, kuid tasuvusaeg on liiga pikk ja lõplik kasum liiga väike, et selle kasutamist reaalsel objektidel kaaluda. Tasuvusanalüüsis selgus, et valitud hübriidlahendus ei tasu end ära. Töö autor oleks hübriidlahenduses eelistanud pigem Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S inverterit, kuid kuna see on ette nähtud töötamiseks Froniuse akudel, siis ei saanud seda antud töös kasutada. Eelisteks Victron inverteri ees on Froniusel soodsam kogumaksumus, sest inverter ja MPPT akulaadija on ühes korpuses, akude pinge on kõrgem ja seda on lubatud ühendada ka võrguga selliselt, et üleliigne energia toodetak võrku, mis Victroni puhul läheb lihtsalt raisku.

Kasutustegur on protsentuaalselt leitud PV süsteemi aastase arvutatud toodangu ja nimivõimsusel töötava inverteri energia hulga jagatisena. Vastav näitaja on kõige kõrgem Fronius Symo inverteritel, sest antud süsteemid on kõige võimsamad ja suurema võimsussuhtega ehk paneelide ja inverteri võimsuste vaheline suhe on suurem. Kõige kehvem aga Victron Multiplus C 800-1, sest inverteri kasutus sõltub tarbimisest ja üleliigne energia, mida paneelid toodavad, läheb raisku. Elektri hind peab olema vähemalt 19,1 senti/kWh, et hübriidlahendus end ära tasuks, või vastavate komponentide kogumaksumus peab olema madalam, vähemalt alla 3591 euro piiri. Antud tulemused pole veel lõplikud ning tasuvus võib olla veel kehvem, sest hinnangu tegemisel ei arvestatud hooldusega ning võimalike muutustega elektri hinnas. Lisaks pole veel arvestatud jääkväärtusega PV süsteemi eluea lõpul, sest arvestati, et jääkväärtus kulub selle lammutamisele.

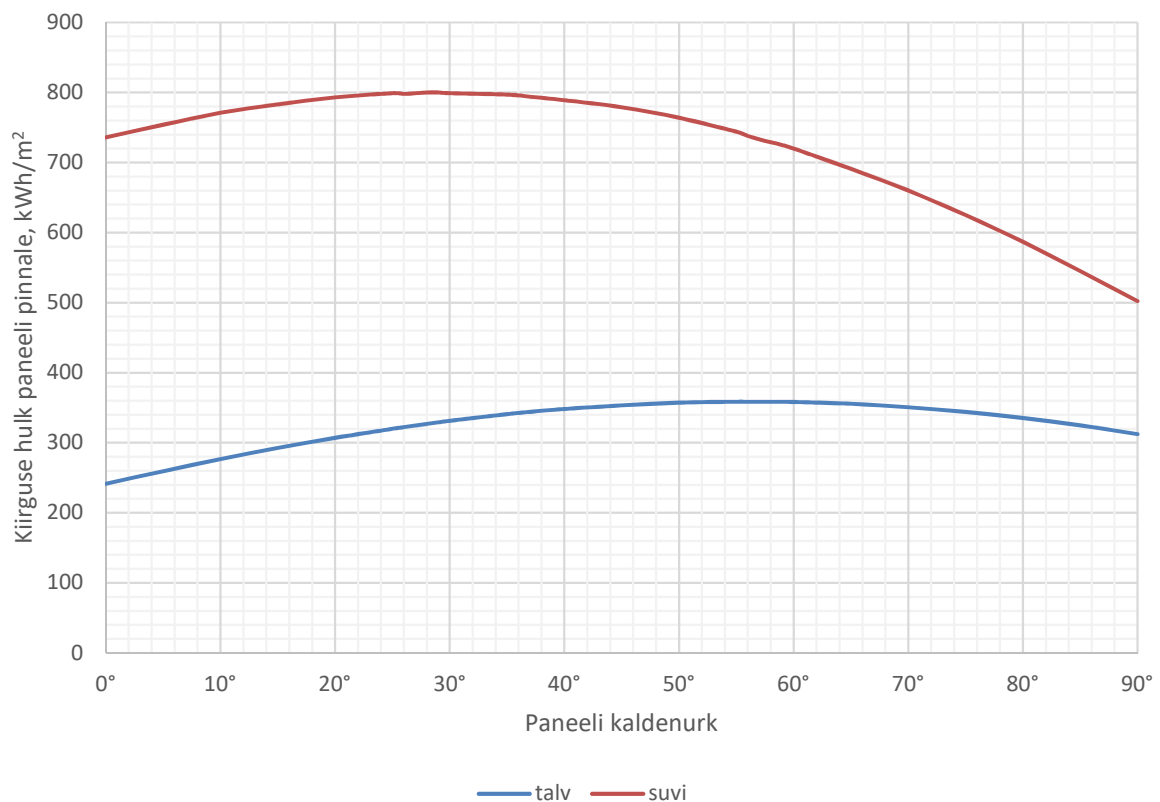
3.3.6. Paneelide kalde muutmine erinevatel aastaegadel

Kuna päike paikneb suvel kõrgemal ja talvel madalamal, siis energiatoodangu suurendamiseks oleks vajalik vastavalt hooajale paneelide kallet muuta. Kõige optimaalsem on energiatootmisel kasutada päikest järgivat ajamit, mis hoiab paneele pidevalt päikese suunas. Ainult paneelide kalde muutmisega on võimalik suurendada energia tootmist ligi 4%, võrreldes fikseeritud asendiga (vt Tabel 3.12). Kalde muutmine 4 korda aastas ei too võrreldes 2 korruga kaasa tootmise erilist kasvu, kuid võib olla tähtis toodangu optimeerimisel kevadel ja sügisel. Antud töös piirduakse kahega ehk suvise ja talvise kaldega. Parim aeg talviselt kaldelt suvise peale üleminekuks on märtsi lõpus ja tagasi talvise peale septembril keskel. [28]

Tabel 3.12. Kalde muutmise mõju energiatootmisele [28]

	Fikseeritud	2 korda aastas reguleeritav	4 korda aastas reguleeritav	2-teljeline päikest järgiv aeg
% optimaalsest	71,1%	75,2%	75,7%	100%

Optimaalsete kaldenurkade leidmisel talveks ja suveks kasutati PVGIS veebilehekülge, kus saadi igale kuule ja kaldenurgale vastavad kiirguskogused paneeli pinnale (vt Joonis 3.17), võttes asimuudiks optimaalse -2° . Talvise kaldega kuudeks arvestati jaanuar, veebruar, märts, september, oktoober, november, detsember. Suvise kaldega kuudeks arvestati aprill, mai, juuni, juuli ja august. Kuna PVGIS väljastab kuu keskmisi kiirguskogusid, siis ei saanud septembri keskpaika talvisele kaldele ülemineku ajaks arvestada ja see nihutati septembri algusesse. Joonisel 3.17 on toodud hooegadele vastavate kuude keskmiste kiirguste summaarne kogus ja sellele vastav paneeli kaldenurk.

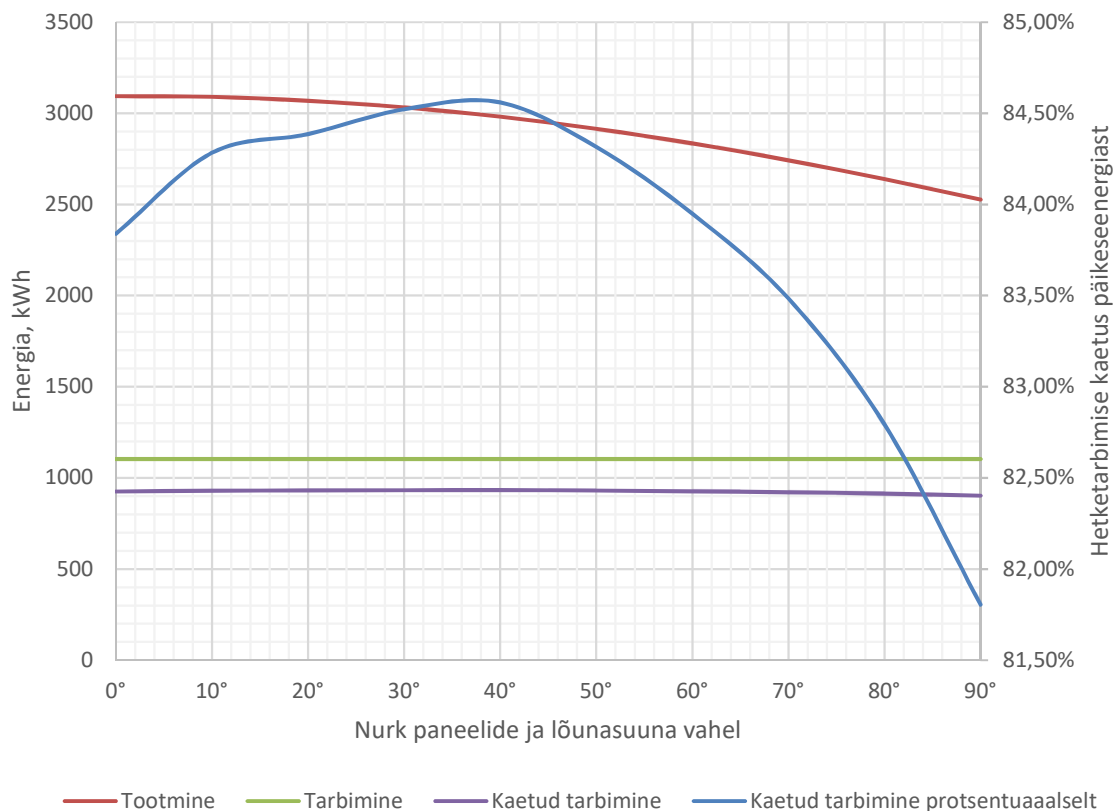


Joonis 3.17. Paneelide kalde muutmise mõju kiirgushulgale paneeli pinnale talvel ja suvel

Arvutuste tulemusel selgus, et suvel on optimaalsed kaldenurgad 28° ja 29° . Edasises töös arvestati suviseks kaldeks 29° , sest sellega nihutatakse kesksuvist tootmise tippu rohkem kevade ja sügise poole. Talvine optimaalne kaldenurk jääb vahemikku $55^\circ - 57^\circ$. Talviseks kaldenurgaks valiti 57° , sest sellega suurendatakse kesktalvist tootmist ning tagatakse parem lume mahalibisemine paneelide pinnalt.

3.3.7. Paneelide pööramine ida ja lääne suunas

Fikseeritud paneelide puhul saadakse suurim energiatootmine, kui paneelid on suunatud tegeliku lõuna suunas, mis antud objektil erineb -2° magnetilise lõuna suunast. Paneelide pööramisega ida ja lääne suunas nihutatakse energiatootmist hommikuste ja õhtuste tundide peale ning vähendatakse keskpäevast tootmise tippu. Sellega kaasneb paneelide energiatootmise langus, sest paneelid pööratakse optimaalsest nurgast välja. Eesmärgiks on katta rohkem talu hetketarbimist, sest enda tarbitava elektri hind koos võrgutasudega on kallim kui võrku müües. PVGIS-i iga kuu tunniandmetest selgus, et optimaalne nurk paneelide ja lõunasuuna vahel on 40° , sellega suurendatakse aastast hetketarbimise kaetust hetketootmisega ligikaudu 0,72%, kuid sellega väheneb paneelide aastane energiatoodang ligi 3,6% (vt Joonis 3.18). Seega tuleks pooled paneelid suunata -42° ida suunas ja ülejäänud 38° lääne suunas. Võttes arvesse talu 2016. aasta tunnitarbimist ning 3640 W tipuvõimsusega päikeseelektrijaama tunnitoodangut. Paneelide kaldenurgaks valiti optimaalne 37° .



Joonis 3.18. Paneelide pööramise mõju energiatootmisele

3.3.8. Paneelide kinnituste valik

Tasuvusaja lühendamise ning kasumi suurendamise eesmärgil paneelide eluea lõpul valiti viis erinevat paneelide kinnitust, mille omavahelisel võrdlemisel leitakse parim kinnitusviis. Paneelideks on samad Uha OÜ pakutavad. Eelneva 15 paneeli asemel valitakse 14, sest kinnituste peale mahutatakse paneele kahes reas, mistõttu arvestatakse paarisarv paneele, mida võrreldavuse eesmärgil erinevate kinnituste puhul ei muudeta. Päiksest järgiva ajamiga kinnitus saadi Bestor Grupp AS pakkumisest, kus selle mõõtmed ning tehnilised andmed on toodud lisades 11 ja 12. Talve ja suve kaldega kinnitus on kallim kui fikseeritud, sest sellele lisanduvad kalde muutmiseks vajalikud osad, nagu hinged, lisakinnitused, latid erinevate kallete fikseerimiseks jne.

Paneelide pööramisel itta ja läände on vajalik leida 2 MPPT kontrolleriiga inverter eelnevalt valitud 1 MPPT asemel. Valituks osutus Helioest OÜ pakutav Fronius Symo 3.0-3-M, mille andmeleht asub lisas 7 ning on sarnane Fronius Symo 3.0-3-S-ga. Lisaks on vajalik leida nelja soonega kaabel, milleks valiti Harju Elektri kodulehelt AXPK 4G 16 mm² PEX-isolatsiooniga kaabel. Kõikide lahenduste kogumaksumused asuvad tabelis 3.13.

Tabel 3.13. Valitud lahenduste maksumused

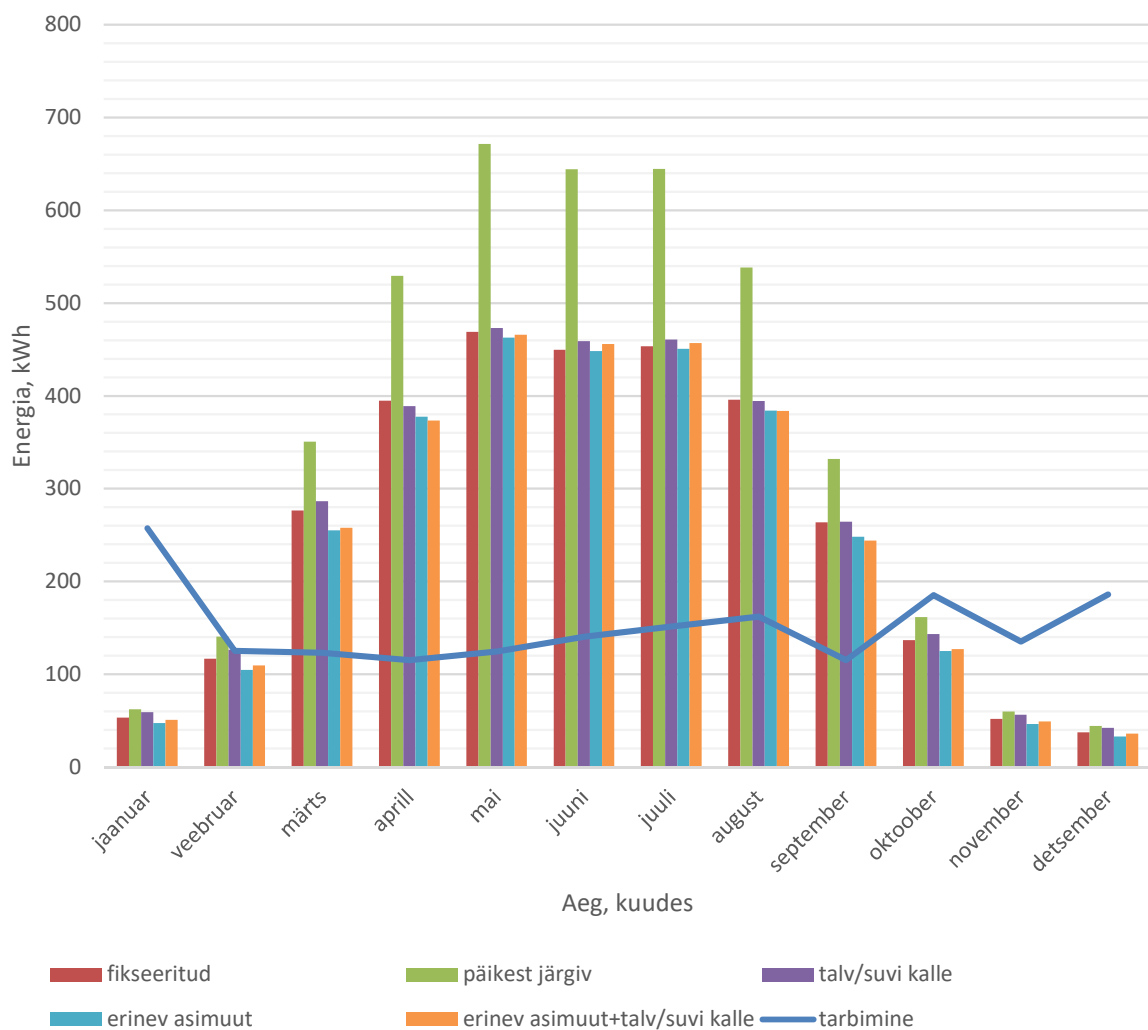
Parameeter	Fikseeritud	Päikest järgiv	Talv/suvi kalle	Erinev asimuut	Erinev asimuut + talv/suvi kalle
Inverter		1 014,88 €		1 124,39 €	
Kaabel		130 €		173,8 €	
Kinnitus	50 €	6 480 €	80 €	50 €	80 €
Paneelid		2 170 €			
Liitumistasu		400 €			
Töökulu		100 €			
Muud kulud		50 €			
Kokku	3 914,88 €	10 344,88 €	3 944,88 €	4 068,19 €	4 098,19 €

3.3.9. Taastuenergialahenduse sobivus talu tarbimisega

Päikeseenergialahendusele omaselt on suvel elektritootmine mitu korda suurem kui talvel (vt Joonis 3.19). Valitud lahendused on tootlikumad kui tarbimine, sest aastane talu elektritarbimine on ligikaudu 1800 kWh ning süsteemide aastased toodangud jäävad vahemikku 3000 kWh – 4200 kWh. Kõige tootlikum on päikest järgiva ajamiga süsteem, mis,

võrreldes fikseeritud paneelide kinnitusega, on ligi 35% tootlikum. Talvekuude tarbimist valitud lahendused katta ei suuda, sest sel ajal on päikest liiga vähe.

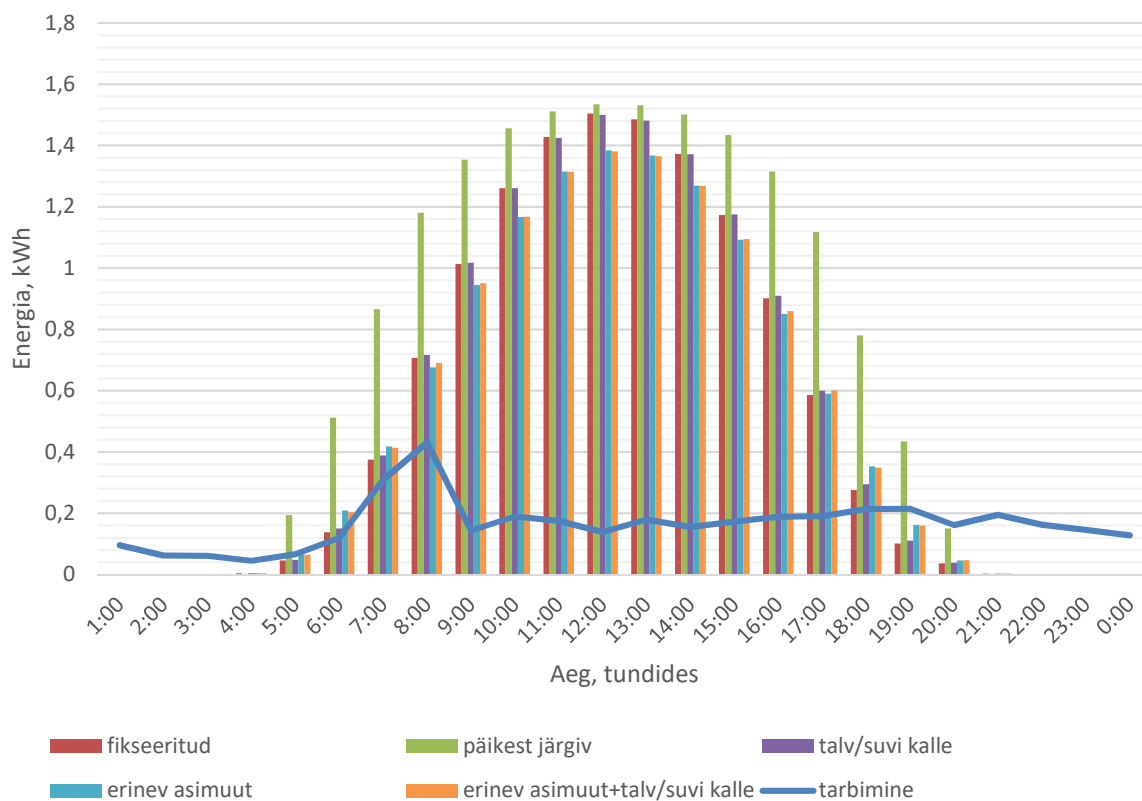
Joonistelt 3.20 – 3.23 on näha, et öösel energiatootmist ei toimu ning päeval on tootmise tipp keskpäeval, siis kui päikese kiirgus on suurim. Suvel on energiatootmine suurim ning katab suurema osa päevasest tarbimisest. Talvel on tootmine kesine ning päevasest tarbimisest suudetakse katta ainult väike osa. Kevad, võrreldes sügisega, on energiatootmise seisukohal parem, sest siis toodetakse rohkem elektrit ning suudetakse katta suurem osa talu energiavajadusest.



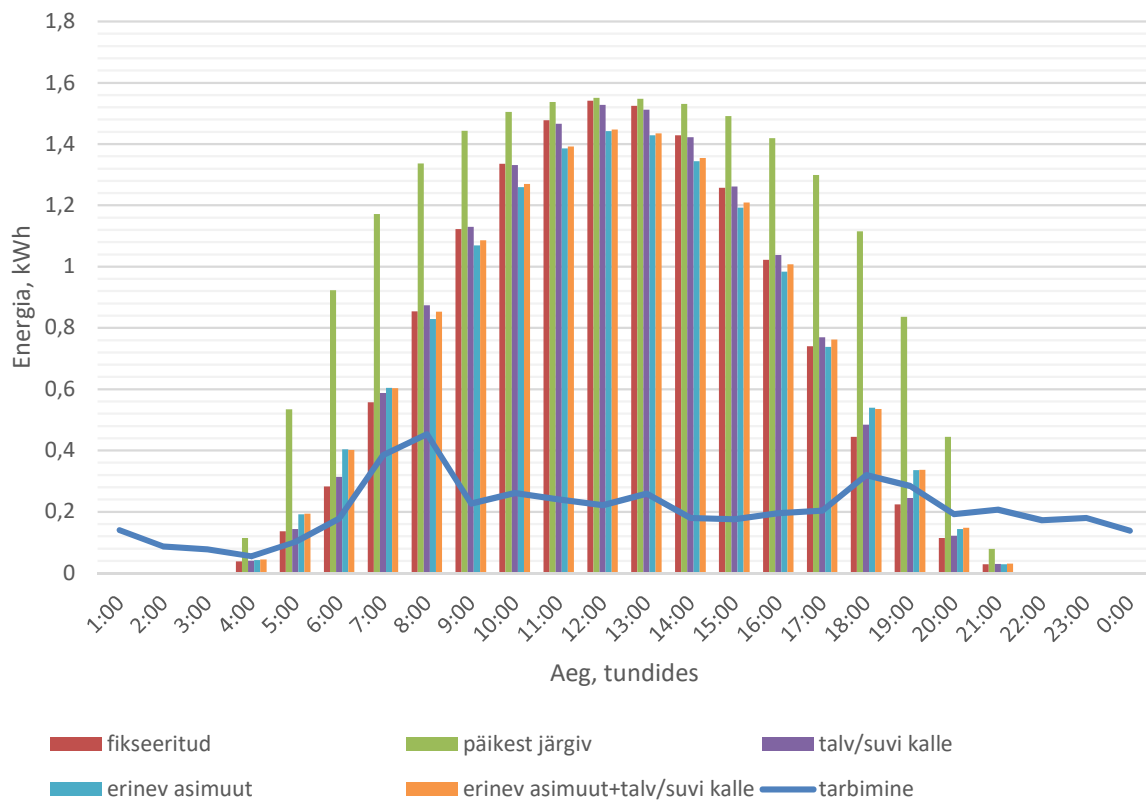
Joonis 3.19. Talu igakuine tarbimine ja valitud PV lahenduste toodang



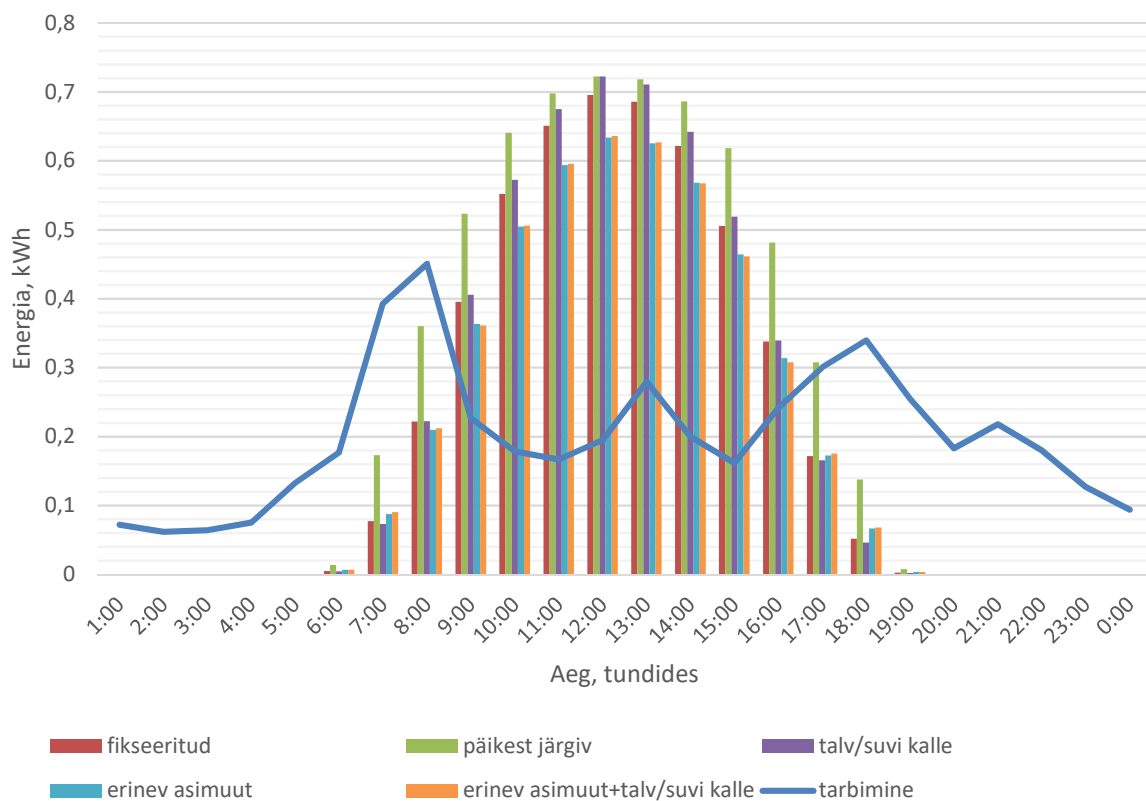
Joonis 3.20. Talve keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud süsteemi toodang



Joonis 3.21. Kevade keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud süsteemi toodang



Joonis 3.22. Suve keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud süsteemi toodang



Joonis 3.23. Sügise keskmine ööpäevane tarbimine ja valitud süsteemi toodang

3.4. Lõpliku lahenduse valik

Tuginedes eelnenud analüüsidele, leidis töö autor, et tuuleenergia või hüdroenergia kasutamine energia tootmiseks valitud objektil ei tasu end ära, sest tasuvusajad ületavad mitu korda seadmete eluea. Põhjuseks on liiga väike tuule ja vee ressurss. Võru meteoroloogiajaama andmetel on maksimaalne mõõdetud tuule kiirus 10 m/s, mis on alla valitud tuulikute nimikiirust ning keskmine kiirus ligikaudu 2,3 m/s, mis on tuulegeneraatorite minimaalsest 3 m/s tuulekiirusest väiksem. Hüdrogeneraator saab töötada ainult siis, kui on olemas vajalik veeresurss, niisiis kevadel ja sügisel, mistõttu suurema osa ajast generaator seisab.

Enamik päikeseenergialahendusi tasusid end ära ning valitud kinnitustest kõige tasuvam on talvise ja suvise kaldega raam, mis, võrreldes fikseerituga, on 1,8% tootlikum (vt Tabel 3.14). Kehvima tasuvusega on päikest järgiva ajamiga kinnitus, kus tasuvusaeg ületab paneelide arvestusliku eluea, milleks on 25 aastat. See on tingitud kinnituse kallidusest, mida 35% energiatoodangu kasv ei suuda katta. Lisaks peab päikest järgiva ajami puhul arvestama liikuvate osade kulumisega, mistõttu on selle kulud hooldusele suuremad kui fikseeritud kinnituse puhul ning tasuvusaeg veelgi pikem. Paneelide pööramine ida ja lääne suunas ei andnud oodatud tulemust: kuigi talu hetketarbimist suudeti rohkem katta, ei kompenseerinud see langenud päikesepaneelide tootlikkust. Pööratud paneelidel talvise ja suvise kalde rakendamine ei tõsta olulisel määral tootlikkust.

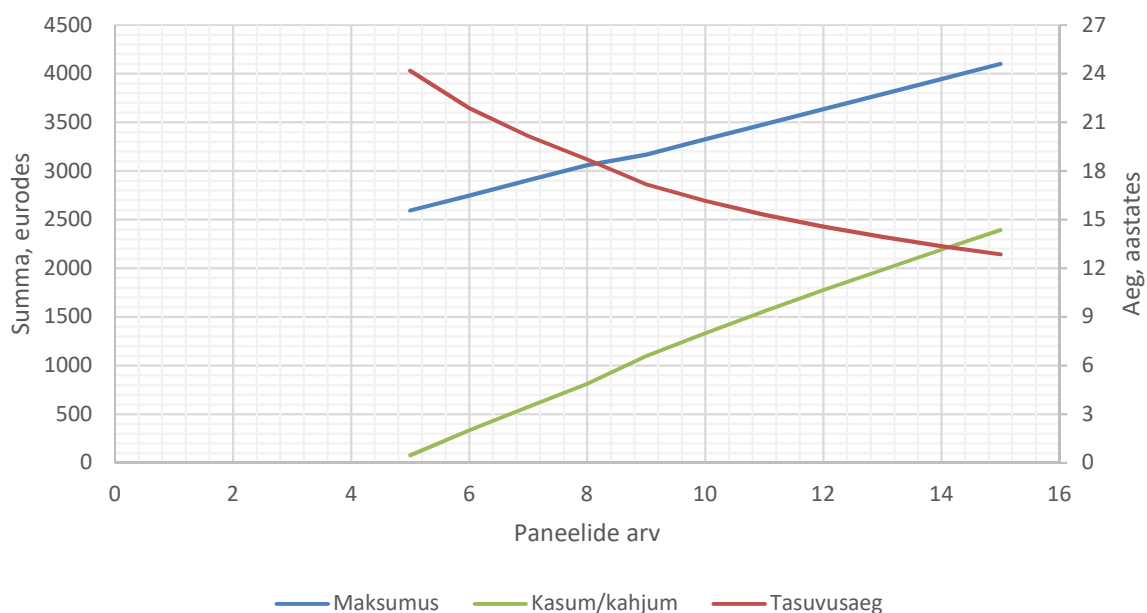
Tabel 3.14. Päikeseenergia lahenduste tasuvused

Parameeter	Fikseeritud	Päikest järgiv	Talv/suvi kalle	Erinev asimuut	Erinev asimuut + talv/suvi kalle
Tasuvusaeg aastates	13,6	36,8	13,4	15,1	15,1
Sääst	6 037,64 €	7 687,9 €	6 136,01 €	5 868,1 €	5 915,77 €
Toodetud energia, kWh	77431,2	104431	78820,3	74528,9	75215,8
Elektrihind, €/kWh	0,0506	0,099	0,05	0,0546	0,0545
Kasutustegur	11,78%	15,88%	11,99%	11,34%	11,44%
Lõplik kasum/kahjum	2 122,76 €	-2 656,98€	2 191,13 €	1 799,91 €	1 817,58 €

Saadud tulemused pole veel lõplikud ning tasuvus võib olla kehvem, sest hinnangu tegemisel ei arvestatud hooldusega, mis on päikest järgiva süsteemi puhul eriti oluline, ning võimalike elektrihinna ja taastuenergiatoetuse väljastamise muutustega tulevikus. Lisaks pole arvestatud jääkväärtusega PV süsteemi eluea lõpul, sest arvestati, et jääkväärtus kulub selle lammutamisele.

Talule projekteeritav taastuenergialahendus koosneb kolmeefaasilisest Fronius Symo 3.0-3-S inverterist ja talvise ning suvise kaldega paneelide kinnitusest. Kuigi suvise ja talvise kalde kasutamine erilist toodangu kasvu ei taga, omab see ühte lisaomadust, mis suurendab selle kasulikkust, nimelt on talvine kalle järsem kui optimaalne kalle fikseeritud kinnituse puhul, mistõttu libiseb talvel lumi kergemini paneelidelt maha, tagades suurema tootlikkuse ning vähendades vajadust paneele käsitsi lumest puhastada.

Selgus, et parima tasuvusaja tagab maksimaalse arvu, milleks on 15, paneelide kasutamine (vt Joonis 3.24). Vahemikus 5 kuni 15 paneelide arvu valikul on päikeseenergialahenduse kasutamine tasuv, kuid eelistada tuleks võimalikult suurt paneelide arvu, sest siis on energiatootmine ja lõplik kasum suurim ning tasuvusaeg lühim. Projekteeritavas taastuenergialahenduses kasutatakse 14 paneeli, sest siis on energia ületootmise risk väiksem, sest 15 paneeliga ollakse valemis (3.3) toodud võimsussuhte piiri peal, ning kuna paneelid paigutatakse kinnitusele kahes reas, siis on paarisarvu paneelide kasutamine otstarbekam.



Joonis 3.24. Paneelide arvu ja vastavate parameetrite omavaheline sõltuvus

4. TAASTUVENERGIALAHENDUSE EELPROJEKT

4.1. Paneelide kinnituse mehaaniline osa

Kavandatud paneelide kinnitus paikneb postvundamendil, mille külge on vitstega kinnitatud tugipostid. Vundamendi raudbetoonist postid rammitakse 1 meetri sügavusele maasse. Kinnitus koosneb kahes raamist: alumisest ja pealmisest. Alumine raam toimib tugiraamina ning valmistatakse 100x100 mm prussidest. Pealmise raami külge kinnitatakse paneelid ning see valmistatakse 100x50 mm plankudest. Alumine ja pealne raam on omavahel ühendatud eespoolt hingedega ning tagant teraslattidega. Teraslattidesse on vastavalt kaldenurgale puuritud augud, see võimaldab teraspulkadega fikseerida paneelid kindla nurga all. Joonistel 4.1 ja 4.2 on kujutatud paneelide asend suvise ja talvise kalde puhul.



Joonis 4.1. Päikesepaneelide kinnituse kujutav joonis 29° kalde puhul



Joonis 4.2. Päikesepaneelide kinnituse kujutav joonis 57° kalde puhul

Joonis 4.3 annab ettekujutuse paneelide kinnitamisest raamile, mis teostatakse poldühendustega. Üks 1640x992 mm paneel kinnitatakse raamile nelja poldiga. Raami jäikuse saavutamiseks on tõmmatud neljast nurgast diagonaalis trossid, kuid jooniselt puuduvad trossi pingutid, mis on vajalikud kinnituse eluea jooksul trosside pingsuse korrigeerimiseks.

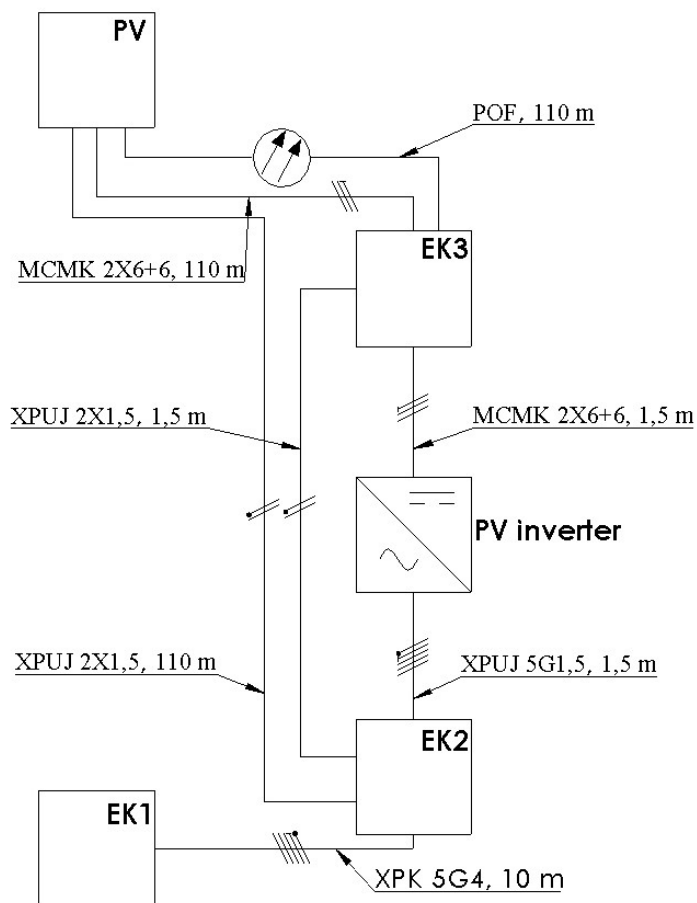
Lisas 13 on toodud paneelide kinnituse joonised eest- ja küljeltvaates, kust on võimalik näha, et kinnitus võtab enda alla ligikaudu 7x2,6 m suuruse ala. Kinnitus mahutab neliteist paneeli ning seda kahes reas, et hoida kinnitus võimalikult lühike, kuid mitte liiga kõrge. Puidust detailid lõigatakse talule kuuluva metsa toormest, metallist osad tuleb osta ning raudbetoonist vundamendi postid tehakse utiliseeritud elektrimastidest, mis on talul ka olemas.



Joonis 4.3. Päikesepaneelide kinnitus tagantvaates

4.2. Energialahenduse elektriline osa

Toide liitumiskilbist EK1 peajaotuskilpi EK2 on toodud 5G 4 mm² kaabliga (vt Joonis 4.4). Valemiga (3.4) saadi PV inverteri ja peajaotuskilbi vahelise kaabli ristlõikeks 0,145 mm², arvestades kaabli pikkuseks 1,5 m. Kuna nii väikse ristlõikega ilmastikukindlat kaablit pole, siis valitakse Harju Elektri kodulehelt Draka XPUJ 5G 1,5 mm² R100 kaabel (vt Tabel 4.1). Kaitseseadmete toiteliini kaabel valitakse Harju Elektri kodulehelt kõige väiksem ja soodsam, sest vool kaablis ei ületa 10 mA, milleks on XPUJ 2X 1,5 mm² R100 kaabel. Inverteri M1 ja päikesepaneelide vaheline ühendus tuleb eelnevalt valitud MCMK 2 x 6 + 6 mm² kaabliga. Maksimaalvõimsusel moodustab pingelang liini lõpus 1,3% sisendpingest.

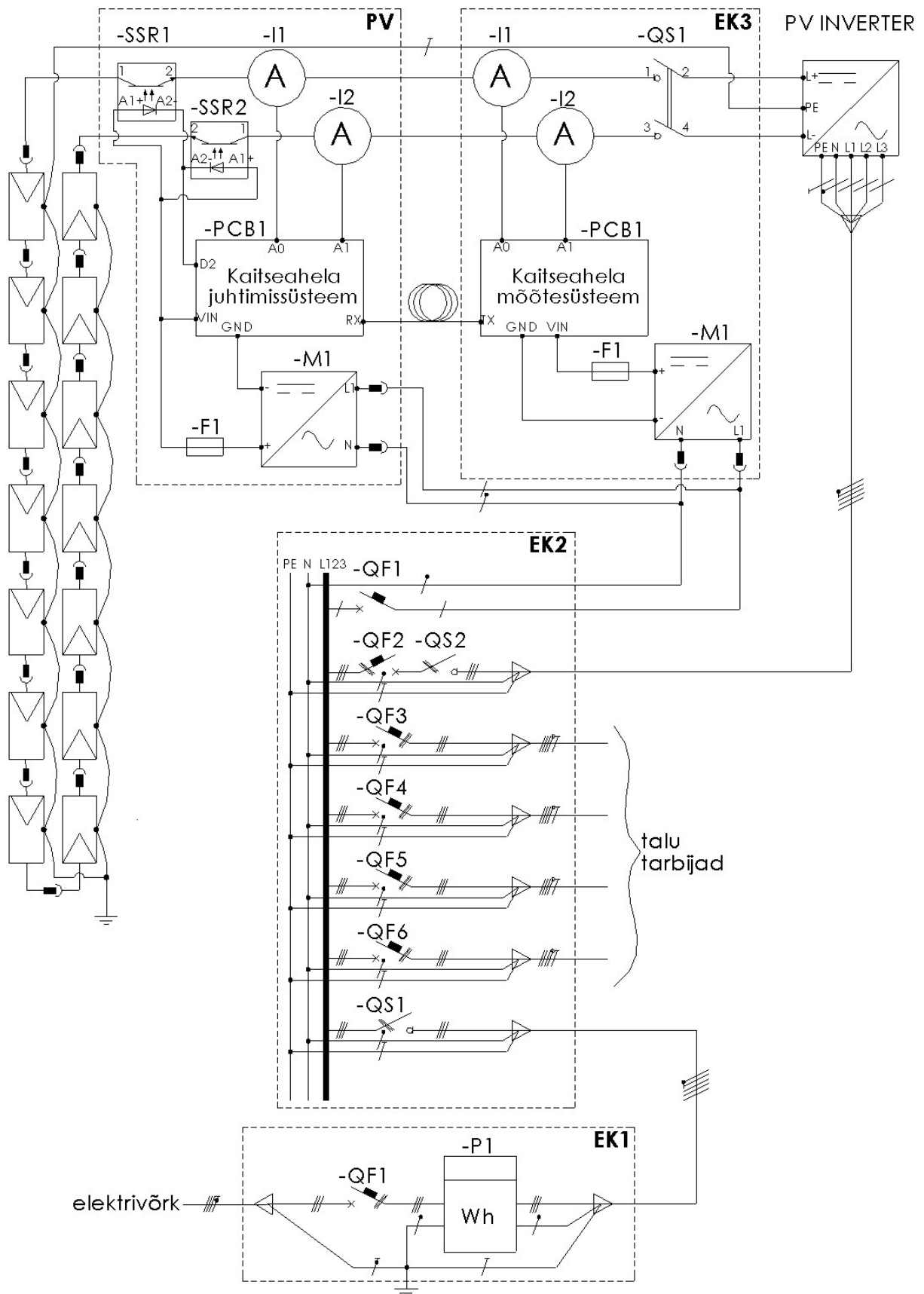


Joonis 4.4. Taastuenergialahenduse plokk skeem

Tabel 4.1. Elektripaigaldises kasutatavad kaablid

Alguspunkt	Lõpp-punkt	Tüüp	Pikkus
EK1	EK2	XPK 5G4	10 m
EK2	PV inverter	XPUJ 5G1,5	1,5 m
EK2	EK3	XPUJ 2X1,5	1,5 m
EK2	PV	XPUJ 2X1,5	110 m
PV inverter	EK3	MCMK 2X6+6	1,5 m
EK3	PV	MCMK 2X6+6	110 m
EK3	PV	POF (valguskaabel)	110 m

Joonisel 4.5 on toodud kavandatava taastuenergialahenduse elektriskeem, mis on jaotatud neljaks osaks: liitumiskilp EK1, peajaotuskilp EK2, paneelide ja inverteri pool. Liitumiskilp sisaldab Elektrilevi koostatud lahendust, mis sisaldab peakaitset EK1-QF1 ja elektriarvestit EK1-P1. Peakaitse on 16 A C-rakendumistunnusjoonega kolmeefaasiline kaitselüliti. Liitumiskilbis toimub ka TN-C juhistikusüsteemist üleminek TN-S süsteemile ning seal paikneb ka ühendus varrasmaandusega.



Joonis 4.5. Taastuvenergialahenduse elektriskeemi väljavõte

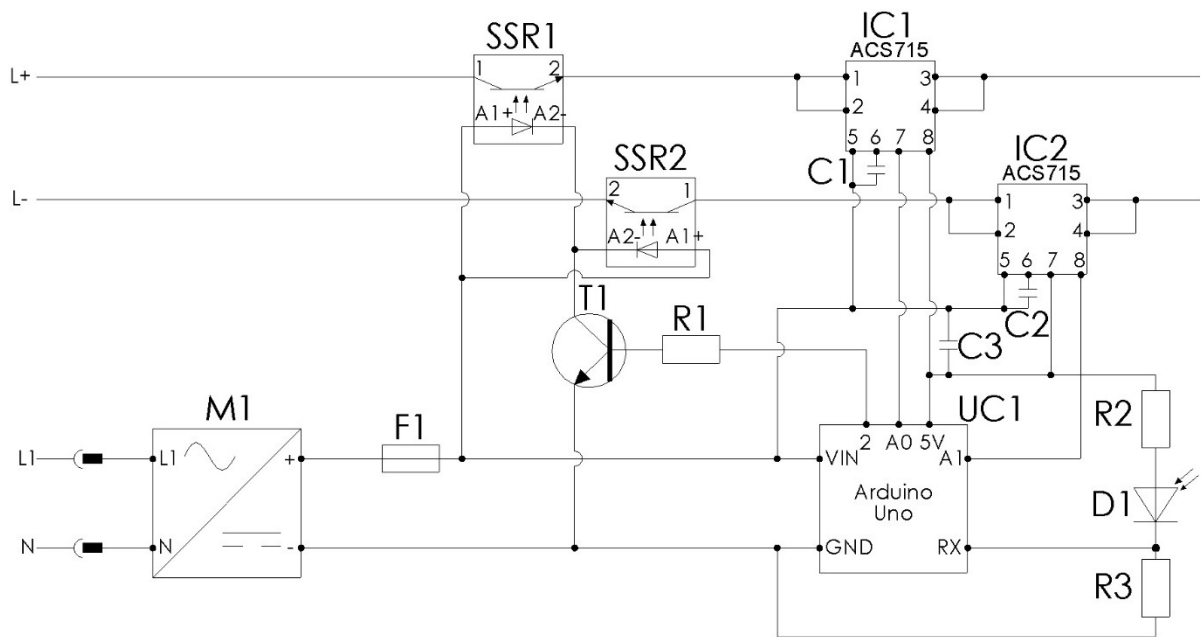
SolarEst SE260 14 päikesepaneeli ühendatakse omavahel jadamisi, kasutades paneelidega kaasas olevaid juhtmeid ning MC4 pistikuid. Paneelide raamid on ühendatud kaitsemaandusega, mis on ühendatud paneelide juures oleva kordusmaandusega ning inverteri kaitsemaanduse klemmiga.

Peajaotuskilbi sisendis paikneb kaitselahutuslüüti EK2-QS1. Kaitselülite EK2-QF3, EK2-QF4, EK2-QF5 ja EK2-QF6 taga paiknevad liinid on mõeldud talu elektritarbimiseks, mis tagavad toite elamule, laudale, saekaatrile ja teistele abihoonetele. Kaitselüliti EK2-QF2 valitakse inverteri nimivoolust, milleks on 4,3 A, vähemalt 1,25 korda suurem, millele vastab C6 kaitselüliti [21] (vt Tabel 4.2). EK2-QS2 on kaitselahutuslüüti, mis on vajalik inverteri hooldamiseks või elektrikilbi pingetuks tegemiseks, vastav lüliti peab olema vähemalt 6 A. EK2-QF1 on kaitseseadmete toiteliini kaitselüliti, mille valikul kasutati vabavaralist tarkvara „Lühisvoolud 3“, saades sobivaks kaitselülitiks C4.

Tabel 4.2. Taastuenergiaalade seadmete loetelu

Tähis	Nimetus	Märkus
PV-SSR1	elektrooniline lüliti	RGS1D
PV-SSR2		
PV-I1	vooluandur	ACS715
PV-I2		
EK3-I1		
EK3-I2		
PV-F1	sulavkaitse	0,5 A
EK3-F1	sulavkaitse	0,1 A
PV-M1	toitemuundur	väljund: 9 V, 1 A
EK3-M1		
PV-PCB1	juhtimissüsteem	põhineb Arduino Uno mikrokontrolleril
EK3-PCB1	mõõtesüsteem	
EK3-QS1	kaitselahutuslüüti	DC 1000V, 10 A, 2-pooluseline
EK2-QS1	kaitselahutuslüüti	25 A, 3-pooluseline
EK2-QS2	kaitselahutuslüüti	25 A, 3-pooluseline
EK2-QF1	kaitselüliti	C4, 1-pooluseline
EK2-QF2		C6, 3-pooluseline
EK1-QF1	peakaitselüliti	C16, 3-pooluseline
EK1-P1	arvesti	3-faasiline
PV INVERTER	inverter	Fronius Symo 3.0-3-S

Kuna sulavkaitsmega või kaitselülitiga pole võimalik inverteri ja paneelide vahelist liini kaitsta, sest sel juhul ületaks vajaliku kaitsme nimivool paneelide lühisvoolu, mistõttu rikke korral kaitse ei rakenduks, siis koostatakse kaitseseade, mis mõõdaks voolu erinevates juhtides liini alguses ja lõpus. Voolude liiga suure erinevuse korral lülitatakse paneelid liinist lahku. Liinide voolu mõõdetakse ACS715 mikroskeemidega, mis kasutab voolu mõõtmiseks Halli andurit. Mõõtmiste tegemiseks, mõõteandmete töötlemiseks ning vajalike lülituste tegemisel kasutatakse Arduino Uno arendusplaate (vt Joonised 4.6 ja 4.7).



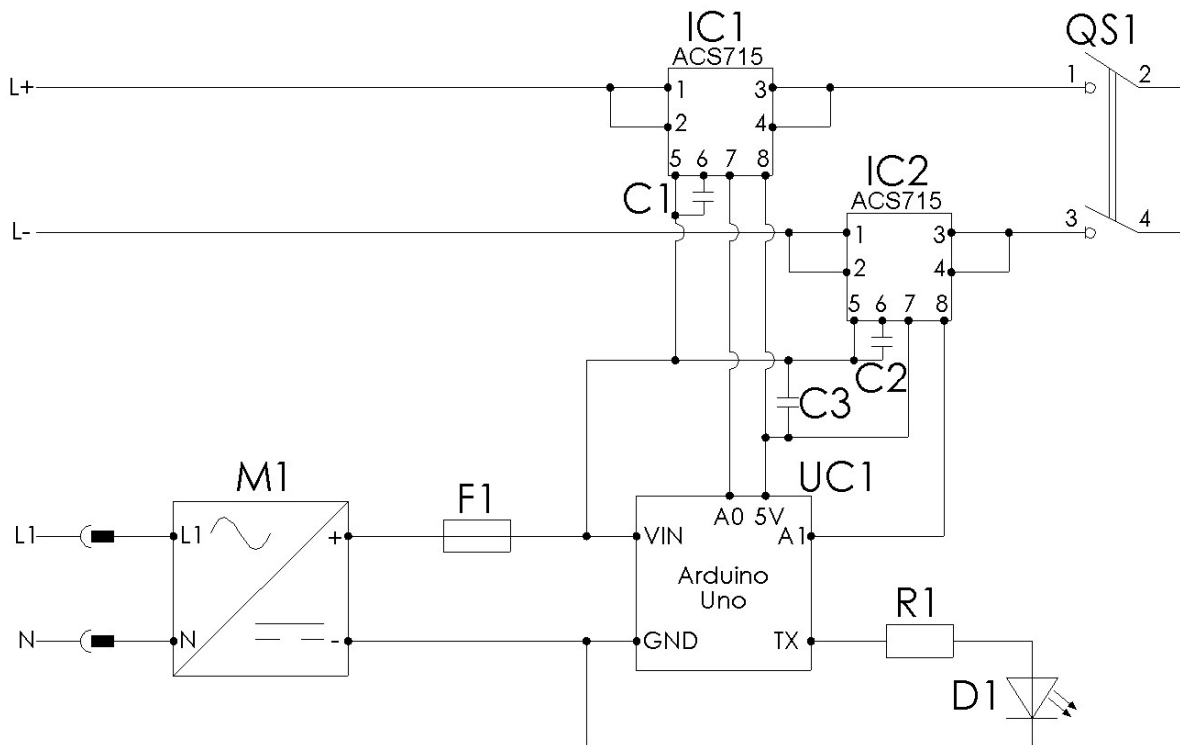
Joonis 4.6. PV kilbis asuva juhtimissüsteemi elektriskeemi väljavõte

Inverteripoolsed mõõteandmed saadetakse paneelidepoolsele mikrokontrollerile valguskaabi kaudu, kasutades UART TTL andmeside. Valguskaabel tagab parema häirekindluse ning toimib suurematel vahemaadel paremini kui elektrijuht.

SSR-id (*solid state relay*) PV-SSR1 ja PV-SSR2 valitakse Carlo Gavazzi RGS1D seadmed, mis on ette nähtud kasutamiseks päikeseenergialahendustes. Lülitusseade põhineb IGBT transistoril, mida juhitakse optilise eraldusega. Seade on suuteline lülitama 1000 V 25 A alalisvoolu, seega sobib kasutamiseks valitud lahendusse. Antud releesid lülitatakse transistori T1 abil, mis on NPN juhtivusega 2N2222 (vt Joonis 4.6), sisselülituseks vajalik pingevahemik on 4,5 – 32 V, milleks antud juhul on 9 V. SSR-il on oma sisemine radiaator ning maksimaalne pingelang juhtivas olekus on 1,6 V. Kaovõimsus paneelide nimivoolu korral on ligikaudu 13 W.

[29]

Kaitsmed PV-F1 ja EK3-F1 on sulavkaitsmed, mis ette nähtud kaitsma juhtimisahelat. PV-F1 suuruseks valitakse 0,5 A, sest ei teata täpselt SSR-i töös hoidmise voolu, EK3-F1 kaitse valitakse 0,1 A, kus arvestati vooluga 80 mA. PV-M1 ja EK3-M1 on 9 V väljundpingega muundurid, mis tagavad vajaliku toite juhtimisahelatele. EK3-QS1 on 1000 V pingega ja vähemalt 10 A nimivooluga kaitselahutuslülitid, mis on vajalikud inverteri lahutamiseks päikesepaneelidest.



Joonis 4.7. EK3 kilbis asuva mõõtesüsteemi elektriskeemi väljavõte

5. KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli uurida Võrumaal asuvale talukompleksile sobivaid taastuenergialahendusi ning koostada projekt sobivaima väljaehitamiseks. Taastuenergialahenduse valiku eelduseks oli välja selgitada talu tarbimismuster, selleks teostati päring Elektrilevi OÜ kodulehel. Elamu suurematele tarvititele teostati mõõteaparaadiga Voltcraft Energy Logger 4000 mõõtmised, et saada teada elamu ühefaasiliste seadmete kasutusaeg, energiahulk ning selle osakaal talu kogutarbimises. Talu suurematele kolmeefaasilistele tarvititele, milleks peamiselt olid asünkroonmootorid, teostati vaatlus, märkides üles nende nimivõimsus, millele lisaks küsitleti talu elanikke nende seadmete kasutuse kohta. Igapäevaste seadmete, nagu sõnnikukraap ja lüpsimasin, puhul selgitati välja nende kasutusaeg, millest lähtudes oli võimalik välja arvutada seadme päevane tarbitava energia hulk. Küsitluse käigus selgus, et enamik suuremaid tarvititeid on nihutatavad, mis annab võimaluse kasutada neid sel ajal, kui taastuenergiavõimsus toodab elektrit.

Teades talu tarbimist, saadi alustada taastuenergialahenduse valikuga. Seadmete valikul lähtuti nende võimsusest ning maksumusest. Talu installeeritud võimsuseks on 11 kW, mida seadmete valikul ei ületatud, pigem valiti seadmete võimsus võimalikult väike, et oleks vähem ületootmist ning et hoida investeeringute maksumus madal. Sama võimsusega seadmete valikul lähtuti seadmete hinnast ning valik tehti soodsama seadme kasuks, et saavutada võimalikult lühike tasuvusaeg.

Leidnud sobivaima taastuenergialahenduse, alustati lahenduse projekteerimisega, mis koosnes mehaanilistest ja elektrilistest joonistest. Mehaaniliste jooniste koostamisel valiti sellised materjalid, mis talul on hetkel olemas või on võimalik neid ise toota, nagu näiteks saematerjal. Elektriliste jooniste teostamisel lähtus töö autor oma teadmistest ja kogemustest ning koostas projekti sellistest seadmetest, millega ta on varem töötanud.

Taastuenergiavõimsusest oli ainukesena tasuv kasutada päikest, sest tuule ja vee puhul ületas tasuvusaeg seadmete eeldatava eluea mitu korda. Tuuleenergia puhul otsiti turul saadaolevaid lahendusi, seadmete valikul oli oluline maksumus ning hinnapakkumise kättesaadavuse lihtsus. Kuid madala tuulekiiruse tõttu seisaks tuulik enamiku ajast paigal, seega on ka kasutustegur madal ja tasuvusaeg pikk. Hüdroenergia puhul valiti üks seade, sest otsingute tulemusel polnud

võimalik leida teist seadet, mis sobiks rentaablistse lahendusse. Kuid valitud seadmest piisas, et saada teada taolise lahenduse tasuvus. Järve veeresursid pole piisavad, et need suudaks katta seadmete maksumust, mistõttu tasuvusaeg ületab mitu korda seadmete eeldatava eluea.

Päikeseenergia on antud objektile kõige perspektiivsem, sest seadmete tasuvusaeg jäi allapoole nende eluiga, välja arvatud hübriidlahenduses ja päikest järgiva ajamiga kinnituse puhul, kus lahenduse kogumaksumus oli liiga kõrge. Selgus, et eelistada tuleks kolmefaasilist võrguinverterit, sest ühefaasilise inverteri puhul toodetakse ainult ühte faasi, kuid tarbitakse kolmest, mistõttu makstakse võrguettevõtjale ülejäänud kahe faasi tarbimise eest võrgutasusid, seega on elektri müügist või tarbimisest saadav tulu väiksem. Kuna tarbimine ei jaotu kolme faasi peale võrdselt, siis hinnati ka hübriidinverteri tasuvust, mis suudaks faaside sisendvõimsusi eraldi reguleerida, kuid antud seadmest saadav tulu ei kaalu üles seadme kallimat hinda.

Töös käsitleti ka päikeseenergia tootmise tõstmist paneelide kinnituse valikuga. Päikest järgiv ajam tõstis tootmist ligi 35%, võrreldes fikseerituga, kuid kinnituse kallidusest tingituna ei parandanud see lahenduse tasuvusaega. Paneelide pööramine ida ja lääne suunas ei andnud oodatud tulemust, sest suurem hetketarbimise kaetus ei kompenseerinud vähenenud kogutoodangut. Suvise ja talvise kalde kasutamine ei tõstnud kogutootmist olulisel määral, kuid talvine suurem kalle võimaldab lumel paneelide pinnalt paremini maha libiseda, mistõttu pole vajadust neid käsitsi puhastada, ning pilvisuse kadumise järel alustab seade kiiremini elektri tootmist.

Autor hindab töö tulemust heaks, sest uuriti erinevaid taastuenergialahendusi ja viidi läbi hulgaliselt tasuvusanalüüsi, mille tulemusel leiti talule sobivaim taastuenergialahendus. Töö sissejuhatuses püstitatud ülesanded said täidetud.

Antud lõputööd on võimalik veel edasi arendada, sest peale taastuenergialahenduse ehitamist oleks vajalik teostada tarbimise juhtimist, suurendades nii lahenduse tasuvust. Selleks oleks vajalik luua teavitussüsteem, mis annaks elanikele teada, millal võib energiamahukamaid töid alustada. Lisaks oleks võimalus mõnede seadmete tööaegu ka automatiseerida, nii et mikrokontroller otsustab ise, millal mingi tarviti tööle läheb.

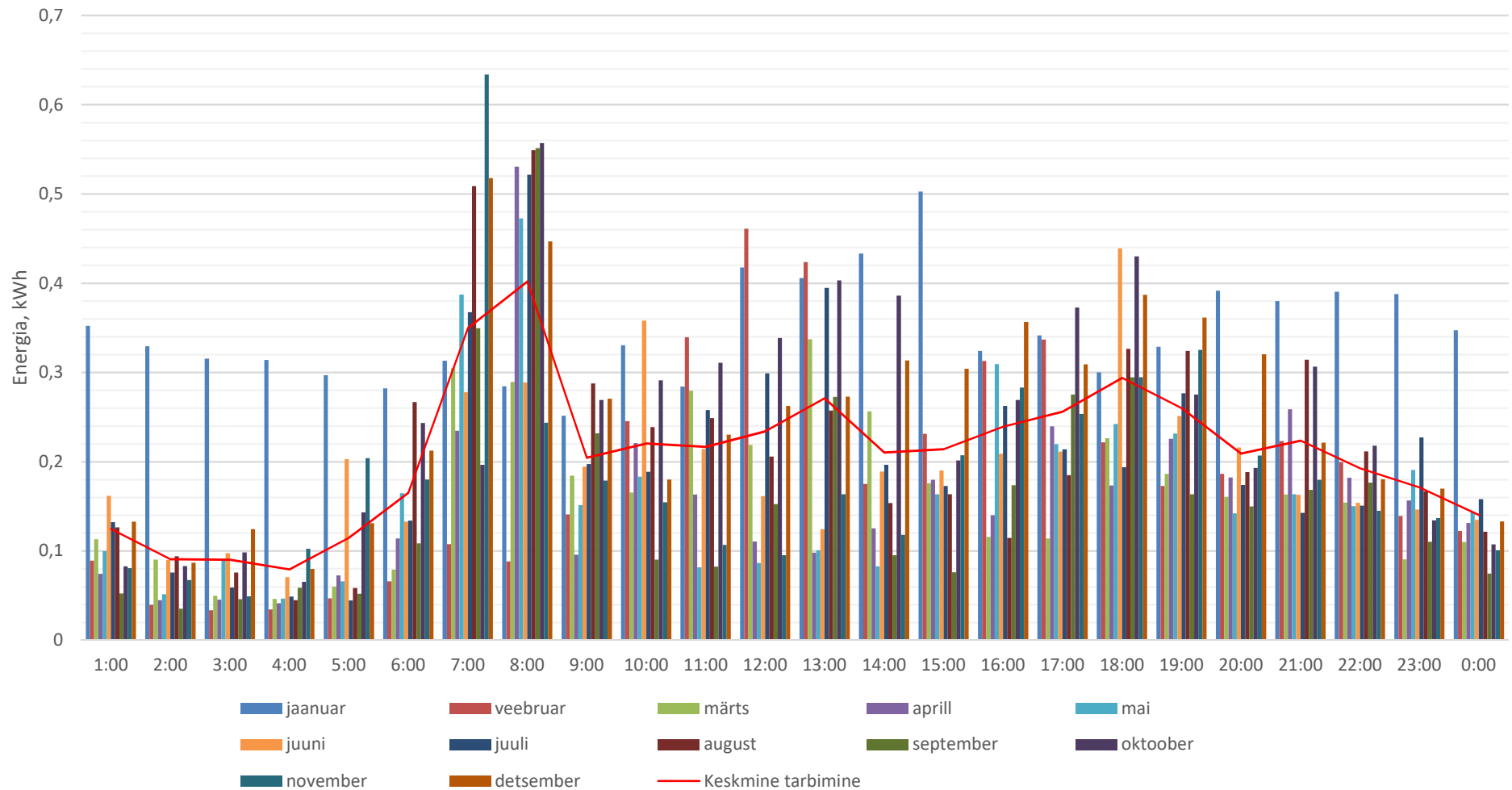
KASUTATUD KIRJANDUS

1. Elering AS kodulehekülg <http://elering.ee>. Vaadatud 15.05.2017.a.
2. Maa-ameti geoportaal <http://geoportaal.maaamet.ee>. Vaadatud 20.03.2016.a.
3. Abeteks Baltic OÜ kodulehekülg <http://www.akud.ee>. Vaadatud 20.03.2017.a.
4. GWL Power LTD kodulehekülg <http://www.ev-power.eu>. Vaadatud 21.03.2017.a.
5. Aleksander Siilbaum Elekrikaup FIE kodulehekülg <http://www.elektrikaup.ee>. Vaadatud 10.04.2017.a.
6. Uha OÜ kodulehekülg <https://www.päikesepaneelid.ee>. Vaadatud 09.04.2017.a.
7. Bakeri OÜ kodulehekülg <http://bakeri.ee>. Vaadatud 03.04.2016.a.
8. TUGE Energia OÜ kodulehekülg <http://www.tuge.ee>. Vaadatud 29.03.2016.a.
9. SLO Eesti AS kodulehekülg <http://www.slo.ee>. Vaadatud 16.04.2016.a.
10. Xie K.; Yang H.; Hu B.; Li C. Optimal Layout of a Wind Farm Considering Multiple Wind Directions. *Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*. – Chongqing: Chongqing University, 2014, Lk. 1...6.
11. PowerSpout kodulehekülg <http://www.powerspout.com>. Vaadatud 12.05.2016.a.
12. FEB AS kodulehekülg <http://feb.ee>. Vaadatud 12.05.2016.a.
13. Rosin, A.; Link, S.; Hõimoja H.; Drovtar, I. Energiasalvestid ja -salvestustehnoloogiad. – Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektrotehnika instituut, 2015. – 178 lk.
14. Institute for Energy and Transport (ITE) Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) veebikalkulaator <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>. Kasutatud 20.04.2017.a.
15. SunCalc kodulehekülg <http://suncalc.net>. Vaadatud 17.04.2016.a.
16. Fronius International GmbH kodulehekülg <http://www.fronius.com>. Vaadatud 09.04.2017.a.
17. Growatt (Shenzhen) Co.Ltd kodulehekülg <http://www.growatt.com>. Vaadatud 09.04.2017.a.
18. Victron Energy B.V. kodulehekülg <https://www.victronenergy.com>. Vaadatud 08.04.2017.a.
19. Helioest OÜ kodulehekülg <https://paikeseenergia.ee>. Vaadatud 09.04.2017.a.
20. Photovoltaik4all® kodulehekülg <http://www.photovoltaik4all.de>. Vaadatud 10.04.2017.a.

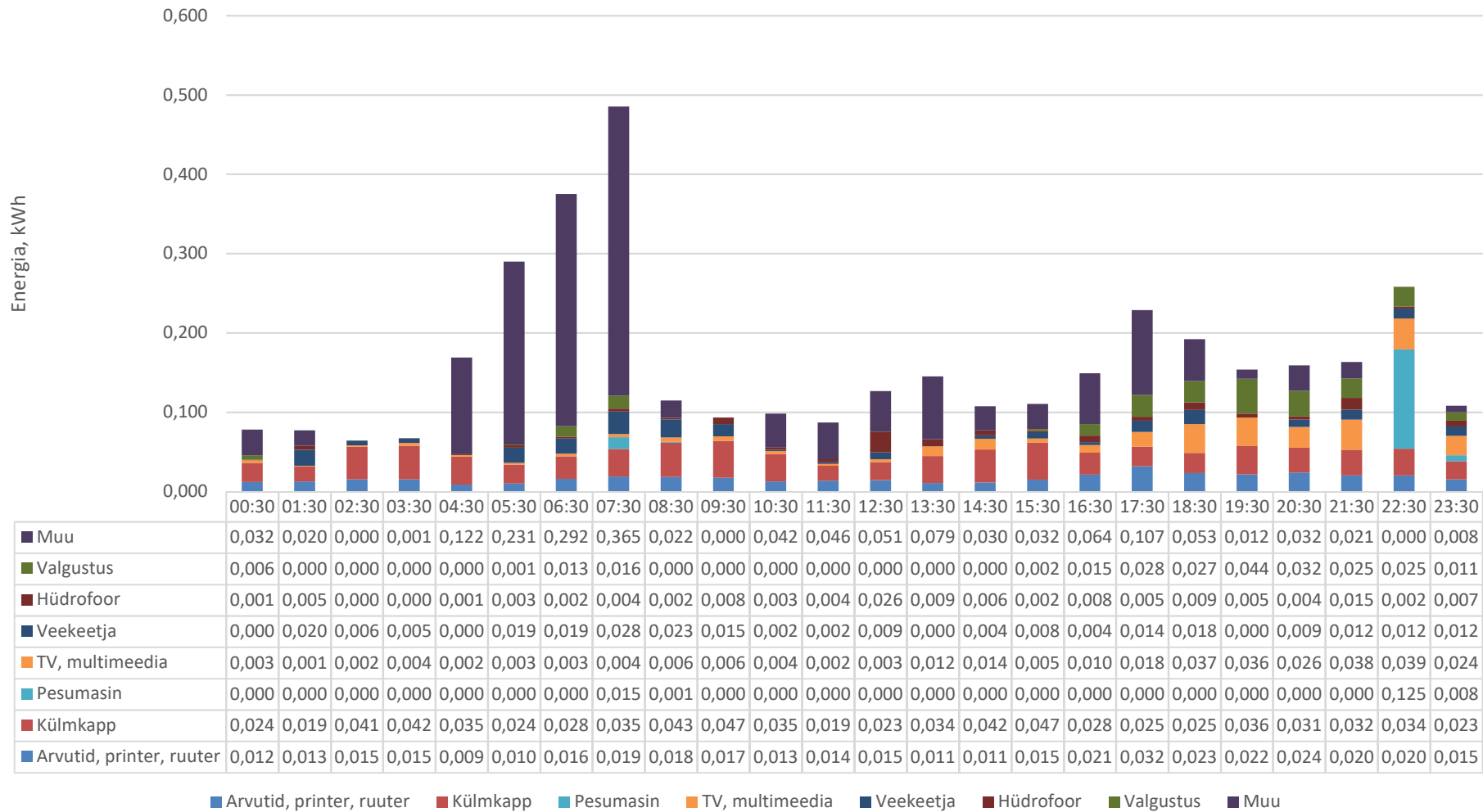
21. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. – Washington: International Finance Corporation, 2015. – 206 lk.
22. Grouz F.; Sbita, L. A safe and easy methodology for design and sizing of a stand-alone hybrid PV-wind system. *Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*. – Gabes: University of Gabes, 2014, Lk. 1...8.
23. Lide R. D. Handbook of Chemistry and Physics: A ready-reference book of chemical and physical data – Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. – 2668 lk.
24. Harju Elekter AS kodulehekülg <http://www.harjuelekter.ee>. Vaadatud 09.04.2017.a.
25. Lebedev D. Research and Development of Storage Based Energy Management System for Households. Doctoral thesis. – Tallinn: Tallinn University of Technology, 2017. – 133 lk.
26. Westerhoff U.; Kurbach K.; Unger D.; Loges H.; Hauck D.; Lienesch F.; Kurrat M.; Engel B. Evaluation of the entire battery life cycle with respect to lithium ion batteries. *Die Energiewende - Blueprints for the new energy age*, Braunschweig: Technical University of Braunschweig, 2015, Lk. 435 – 441.
27. AlignSoft OÜ kodulehekülg <http://www.autoakud.com>. Vaadatud 10.04.2017.a.
28. Landau R. C. kodulehekülg <http://www.solarpaneltilt.com>. Vaadatud 13.04.2017.a.
29. Carlo Gavazzi Holding AG kodulehekülg <http://www.carlogavazzi.com>. Vaadatud 21.05.2017.a.
30. Keskkonnaagentuur. Võru tuuled 2005 – 2016. – Võru, 2016.
31. Nord Pool AS kodulehekülg <http://www.nordpoolspot.com>. Vaadatud 25.03.2017.a.

L I S A D

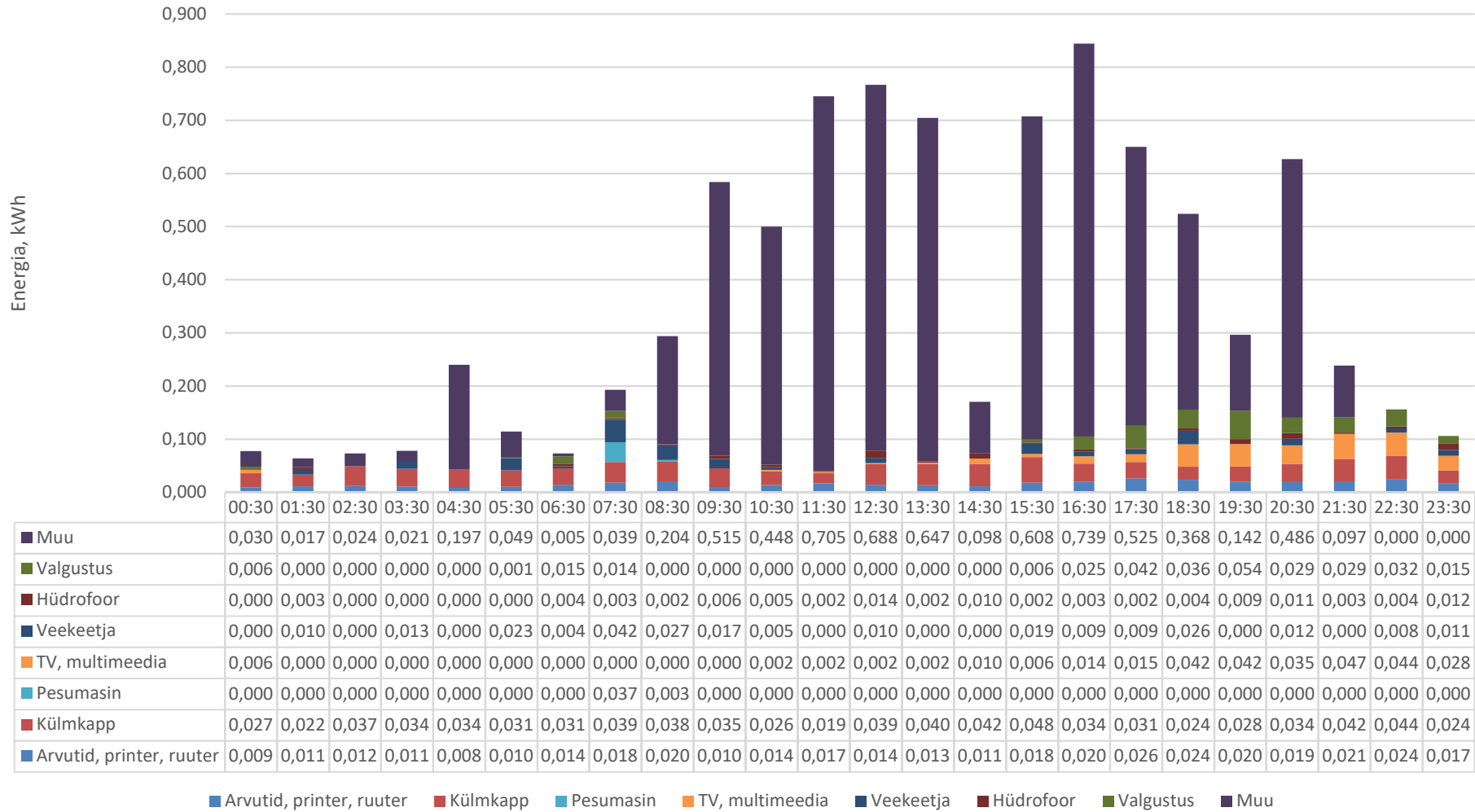
2016. aasta keskmine päevane tarbimine kuude lõikes



2016. aasta oktoobrikuu keskmine tööpäevane tarbimine



2016. aasta oktoobrikuu keskmine puhkepäeva tarbimine



TUGE Energia OÜ pakkumine**Müügiisik**

Indrek Gregor
indrek.gregor@tuge.ee
+372 53 077 822

PAKKUMINE

Pakkumise nr.: **013778**
Kuupäev: 02.04.2016

Klient

Vahur Maask
vahurmaask@hotmail.ee
56344137
Eesti

**PAKUME JÄRGNEVALT:**

TUGE® 10 HV 10 kVA horisontaalrootoriga tuulik **1 KOMPL** **51 757,20**

Komplekt sisaldab:

Kood	Kirjeldus	Kogus Ühik	Hind	Summa
TOW22ZPH	Steel tubular tower, 22 m, galvanized and painted, hydraulic hinge, foundation anchor bascet	1 tk	9 300,00	9 300,00
GEN10140290	10 kVA püsomagnet-sünkroongeneraator	1 tk	0,00	0,00
NACELLE10	Nacelle with 10 kW PM-generator, rotor area 42m2	1 kompl	13 000,00	13 000,00
BLADES35	7,2 m diam, 3-labaga klaasplastist gelcoat tiivik	1 kompl	0,00	0,00
CABSET22	Generaatori toite- ja juhtimiskaablid	1 kompl	1 000,00	1 000,00
CONTR10	Turbine controller with GPRS modem for 10 kW turbine	1 kompl	0,00	0,00
RES2040	40 kW, pidurdustakisti, 3-faasiline	1 tk	1 100,00	1 100,00
INVSET10	Grid feed inverter DVE GFI-10K-2, DVE dump load 5 kW, IP65, set for 10 kW turbine	1 kompl	14 500,00	14 500,00
AXMK4G16	AXMK 4G16 alumiinium kaabel	110 m	2,10	231,00
LIFTING	Electro-hydraulic pump and hydraulic cylinders	1 kompl	4 000,00	4 000,00

Kokku EUR (km-ta) 43 131,00

20% käibemaks 8 626,20

Kokku EUR (km-ga) 51 757,20

Hinnas ei sisaldu vundamendi, kaablitrassi ja paigalduse maksumus, vundamendi projekt hinnas!

Tehasegarantii toodetele 2 aastat.

Tarneaeg: kuni 16 nädalat tellimusest ja ettemaksu laekumisest

Pakkumine kehtib 3 kuud

Growatt 1000S ja 1500S inverterite andmeleht [17]

	Growatt 1000S	Growatt 1500S
Input Data		
Max. DC power	1300W	1900W
Max. DC voltage	450V	450V
Start voltage	80V	80V
PV voltage range	70V - 450V	70V - 450V
MPPT work voltage range/ nominal voltage	70V-450V/180V	70V-450V/250V
Full load dc voltage range	110V - 400V	175V - 400V
Number of MPP trackers /strings per MPP tracker	1 / 1	1 / 1
Max. input current /per string	10A/10A	10A/10A
Output (AC)		
Rated AC output power	1000W	1600W
Max. AC power	1000W	1650W
Max. output current	4.6A	7.5A
AC nominal voltage; range	220V,230V,240V; 180Vac-280Vac	220V,230V,240V; 180Vac-280Vac
AC grid frequency ;range	50Hz, 60Hz; ± 5Hz	50Hz, 60Hz; ± 5Hz
Power factor	1	1
THDI	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase
Efficiency		
Max. efficiency	97%	97%
Euro-eta	95.5%	96.5%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%
Protection Devices		
DC reverse polarity protection	yes	yes
DC switch rating for each MPPT	yes	yes
Output over current protection	yes	yes
Output overvoltage protection-varistor	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes
Integrated all-pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes
General Data		
Dimensions (W / H / D) in mm	271*267*127mm	271*267*127mm
Weight	5Kg	5Kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)
Self-Consumption night	< 0.5 W	< 0.5 W
Topology	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP 65	IP 65
Altitude	2000m(6560ft) without derating	2000m(6560ft) without derating
Relative Humidity	0-100%	0-100%
Features		
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Connector	Connector
Display	LCD	LCD
Interfaces: RS232/Wi-Fi/ Ethernet /RF	yes / opt / opt / opt	yes / opt / opt / opt
Warranty: 5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt
Certificates and Approvals		
CE, VDE 0126-1-1, IEC-62109, G83		

Growatt 2500MTL-S – 3600MTL-S inverterite andmelehed [17]

Model	Growatt 2500MTL-S	Growatt 3000MTL-S	Growatt 3600MTL-S
Specifications			
Input data			
Max. recommended PV power(for module STC)	2900W	3500W	4100W
Max. DC voltage	500V	500V	500V
Start voltage	100V	100V	100V
PV voltage range	70V-500V	70V-500V	70V-500V
MPP voltage range/ nominal voltage	80V-500V /360V	80V-500V /360V	80V-500V /360V
Full load dc voltage range	160V-400V	160V-400V	190V-400V
Max. input current of trackerA/trackerB	10A/10A	10A/10A	10A/10A
Max. input current per string of tracker A/tracker B	10A/10A	10A/10A	10A/10A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2/1	2/1	2/1
Output (AC)			
Nominal AC output power	2500W	3000W	3600W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA
Max. output current	12A	14.3A	17.2A
AC nominal voltage; range	220V/230V/240V; 180Vac-280Vac		
AC grid frequency; range	50,60Hz;±5 Hz	50,60Hz;±5 Hz	50,60Hz;±5 Hz
Phase factor at rate power	1	1	1
Displacement power factor, configurable*	0.8leading... 0.95lagging	0.8leading... 0.95lagging	0.8leading... 0.95lagging
THDI	<3%	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase	Single phase
Efficiency			
Max. efficiency	97.6%	97.6%	97.9%
Euro - eta	97%	97%	97.4%
MPPT efficieny	99.5%	99.5%	99.5%

	Growatt 2500MTL-S	Growatt 3000MTL-S	Growatt 3600MTL-S
Protection devices			
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes
DC switch ratiing for each MPPT	yes	yes	yes
Output Over current protection	yes	yes	yes
Output Overvoltage Protection-varistor	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes
Integrated all - pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes

General Data

Dimensions (W / H / D)	362/419/138mm	362/419/138mm	362/419/138mm
Weight	14KG	14KG	14KG
Operating temperature range	-25...+60°C (-13...+ 140°F) with derating above 45°C (113°F)		
Noise emission (typical)	≤ 25 dB(A)	≤ 25 dB(A)	≤ 25 dB(A)
Altitude	Up to 2000m (6560ft) without power derating		
Relative humidity	100%	100%	100%
Self-Consumption night	< 0.5 W	< 0.5 W	< 0.5 W
Topology	transformerless	transformerless	transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP 65	IP 65	IP 65

Features

DC connection:	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Connector	Connector	Connector
Display	LCD	LCD	LCD
Interfaces: Rs232 / RF/Wi-Fi/Ethernet	yes/opt/ opt/opt	yes/opt/ opt/opt	yes/opt/ opt/opt
Warranty: 5 years / 10 years	yes /opt	yes /opt	yes /opt
Certificates and approvals	CE,IEC62109,G83,VDE0126-1-1,G59,AS4777,AS/NZS 3100		

Fronius Symo inverterite andmeleht [16]

INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Number MPP trackers	1			2		
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}^{1)}$	16.0 A			16.0 A / 16.0 A		
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂ ¹⁾)	24.0 A			24.0 A / 24.0 A		
DC input voltage range ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)	150 - 1,000 V					
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	200 V					
Usable MPP voltage range	150 - 800 V					
Number of DC connections	3			2+2		
Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)	6.0 kW _{peak}	7.4 kW _{peak}	9.0 kW _{peak}	6.0 kW _{peak}	7.4 kW _{peak}	9.0 kW _{peak}
OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	4.3 A	5.3 A	6.5 A	4.3 A	5.3 A	6.5 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3 %					
Power factor ($\cos\ \varphi_{ac,r}$)	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm					
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection	IP 65					
Protection class	1					
Overvoltage category (DC / AC) ²⁾	2 / 3					
Night time consumption	< 1 W					
Inverter design	Transformerless					
Cooling	Regulated air cooling					
Installation	Indoor and outdoor installation					
Ambient temperature range	-25 - +60 °C					
Permitted humidity	0 - 100 %					
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)					
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm ² ³⁾		
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm ² ³⁾		
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ONORM E 8001-4712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 ³⁾ , CEI 0-21 ³⁾ , NRS 097					

¹⁾ This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M.
²⁾ According to IEC 62109-1.
³⁾ 16 mm² without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

EFFICIENCY	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. efficiency	98.0 %					
European efficiency (η_{EU})	96.2 %	96.7 %	97.0 %	96.5 %	96.9 %	97.2 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %					
PROTECTIVE DEVICES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
DC insulation measurement	Yes					
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation					
DC disconnect	Yes					
Reverse polarity protection	Yes					
INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver					
USB (A socket) ³⁾	Datalogging, inverter update via USB flash drive					
2x RS422 (RJ45 socket) ³⁾	Fronius Solar Net					
Signalling output ³⁾	Energy management (potential-free relay output)					
Datalogger and Webserver	Included					
External input ³⁾	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection					
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection					

³⁾ Also available in the light version.

Victron MultiPlus inverterite tehnilised andmed [18]

MultiPlus	12 Volt 24 Volt 48 Volt	C 12/800/35 C 24/ 800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PowerAssist		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Transfer switch (A)		16	16	16	30	16 or 50	100
INVERTER							
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17 V 19 – 33 V 38 – 66 V						
Output	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)						
Cont. output power at 25°C (VA) (3)	800	1200	1600	2000	3000	5000	
Cont. output power at 25°C (W)	700	1000	1300	1600	2400	4000	
Cont. output power at 40°C (W)	650	900	1200	1400	2200	3700	
Cont. output power at 65°C (W)	400	600	800	1000	1700	3000	
Peak power (W)	1600	2400	3000	4000	6000	10.000	
Maximum efficiency (%)	92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95	
Zero load power (W)	8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35	
Zero load power in AES mode (W)	5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30	
Zero load power in Search mode (W)	2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15	
CHARGER							
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1						
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8 / 57,6						
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6 / 55,2						
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4 / 52,8						
Charge current house battery (A) (4)	35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70	
Charge current starter battery (A)	4 (12 V and 24 V models only)						
Battery temperature sensor	yes						
GENERAL							
Auxiliary output (5)	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes (16A)	Yes (25A)	
Programmable relay (6)	Yes						
Protection (2)	a - g						
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration						
General purpose com. port	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes	Yes	
Remote on-off	Yes						
Common Characteristics	Operating temp. range: -40 to +65°C (fan assisted cooling) Humidity (non-condensing): max 95%						
ENCLOSURE							
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21						
Battery-connection	battery cables of 1.5 meter			M8 bolts	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)		
230 V AC-connection	G-ST18i connector			Spring-clamp	Screw terminals 13 mm² (6 AWG)		
Weight (kg)	10	10	10	12	18	30	
Dimensions (hxxwxd in mm)	375x214x110			520x255x125	362x258x218	444x328x240	
STANDARDS							
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, IEC 62109-1						
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3						
Road vehicles	12V and 24V models: ECE R10-4						
Anti-Islanding	See our website						
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request	3) Non-linear load, crest factor 3:1						
2) Protection key:	4) At 25°C ambient						
a) output short circuit	5) Switches off when no external AC source available						
b) overload	6) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm,						
c) battery voltage too high	DC under voltage or genset start/stop function						
d) battery voltage too low	AC rating: 230 V/4A						
e) temperature too high	DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC						
f) 230 VAC on inverter output							
g) input voltage ripple too high							

Victron SmartSolar 250 V laadimiskontrollerite tehnilised andmed [18]

SmartSolar Charge Controller	MPPT 250/85	MPPT 250/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)	
Rated charge current	85A	100A
Maximum PV power, 12V 1a,b)	1200W	1450W
Maximum PV power, 24V 1a,b)	2400W	2900W
Maximum PV power, 48V 1a,b)	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	70A (max 30A per MC4 conn.)	70A (max 30A per MC4 conn.)
Maximum PV open circuit voltage	250V absolute maximum coldest conditions 245V start-up and operating maximum	
Maximum efficiency	99%	
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)	
Charge algorithm	multi-stage adaptive	
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C	
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature	
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)	
Humidity	95%, non-condensing	
Data communication port	VE.Direct or Bluetooth	
Remote on/off	Yes (2 pole connector)	
Programmable relay	DPST AC rating: 240VAC / 4A DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC	
Parallel operation	Yes (not synchronized)	
ENCLOSURE		
Colour	Blue (RAL 5012)	
PV terminals 3)	35 mm ² / AWG2 (Tr models)	Three sets of MC4 connectors (MC4 models)
Battery terminals	35 mm ² / AWG2	
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)	
Weight	4,5kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
STANDARDS		
Safety	EN/IEC 62109	
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power to the stated maximum.		
1b) PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is Vbat + 1V.		
2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.		
3) MC4 models: several splitter pairs may be needed to parallel the strings of solar panels. Maximum current per MC4 connector: 30A (the MC4 connectors are parallel connected to one MPPT tracker)		

Fronius Symo Hybrid inverterite ja 63 A mõõdiku andmeleht [16]

INPUT DATA	SYMO HYBRID 3.0-3-S	SYMO HYBRID 4.0-3-S	SYMO HYBRID 5.0-3-S
Max. PV input power	5.0 kW	4.5 kW	8.0 kW
Max. input current ($I_{dc\ max}$)		1 x 16 A	
Max. short circuit current, module array		24 A	
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)		150 V	
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)		200 V	
Nominal input voltage ($U_{dc\ n}$)		595 V	
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)		1,000 V	
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	190 - 800 V	150 - 800 V	315 - 800 V
Number of MPP trackers		1	
Number of DC connections (PV)		2	

BATTERY INPUT	SYMO HYBRID 3.0-3-S	SYMO HYBRID 4.0-3-S	SYMO HYBRID 5.0-3-S
Maximum output power to battery		Depends on connected Fronius Solar Battery	
Maximum input power from battery		Depends on connected Fronius Solar Battery	

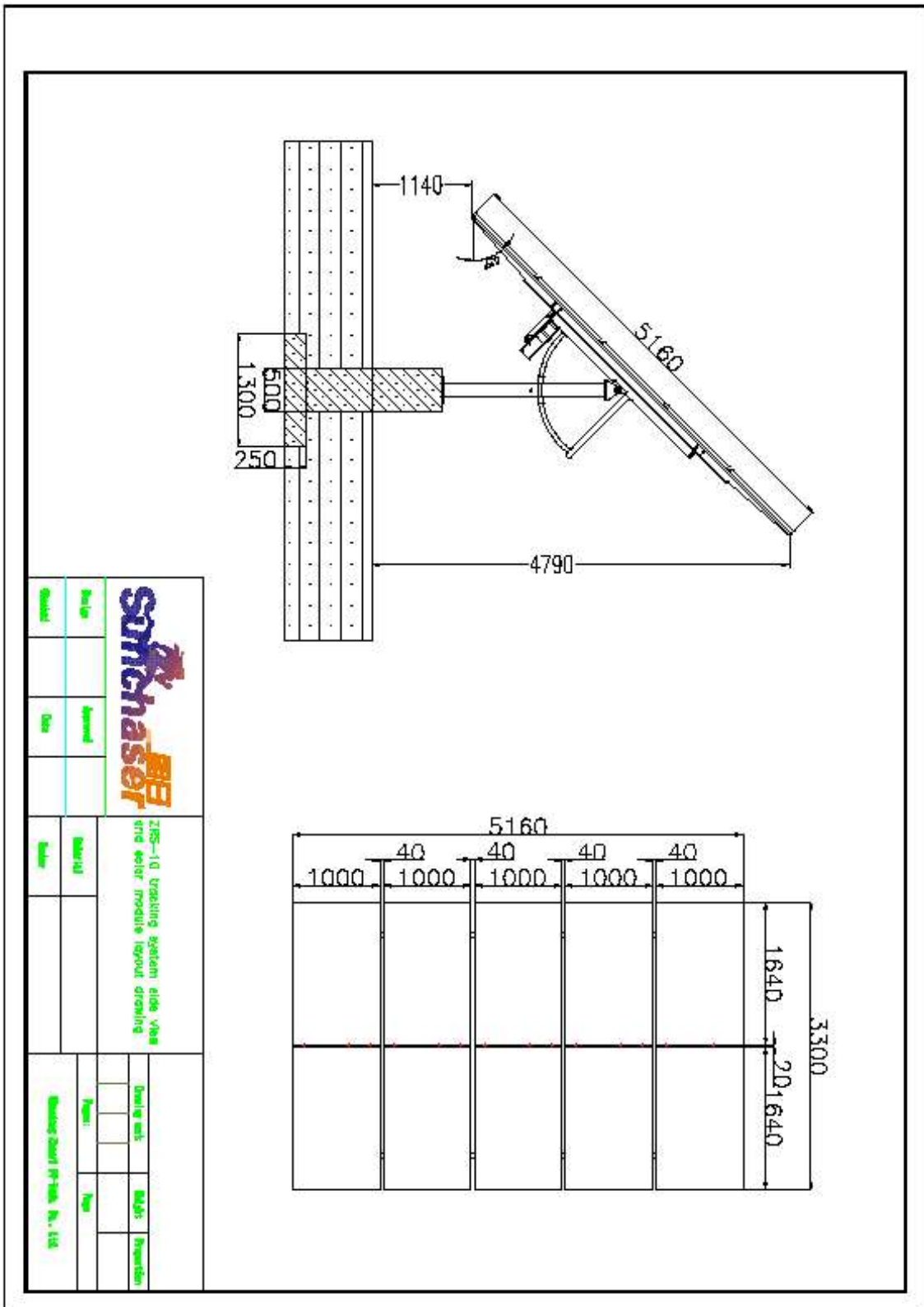
OUTPUT DATA	SYMO HYBRID 3.0-3-S	SYMO HYBRID 4.0-3-S	SYMO HYBRID 5.0-3-S
AC nominal output ($P_{ac,n}$)	3,000 W	4,000 W	5,000 W
Max. output power	3,000 VA	4,000 VA	5,000 VA
Max. power from grid to battery	3,000 VA	4,000 VA	5,000 VA
Max. AC output current ($I_{ac\ max}$)		8.3 A	
Grid connection (voltage range)		3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)	
Frequency (frequency range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Total harmonic distortion		< 3 %	
Power factor (cos ϕ_{ac})		0.85 - 1 inid. / cap.	

GENERAL DATA	SYMO HYBRID 3.0-3-S	SYMO HYBRID 4.0-3-S	SYMO HYBRID 5.0-3-S
Dimensions (height x width x depth)		645 x 431 x 204 mm	
Weight		19.9 kg	
Degree of protection		IP 65	
Protection class		1	
Overvoltage category (DC / AC) ¹⁾		2 / 3	
Inverter design		Transformerless	
Cooling		Regulated air cooling	
Installation		Indoor and outdoor installation	
Ambient temperature range		-25 - +60°C	
Permitted humidity		0 - 100 %	
Max. altitude		2,000 m (unrestricted voltage range)	
DC PV connection technology		2x DC+ and 2x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²	
DC battery connection technology		1x DC+ and 1x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²	
AC connection technology		5-pin AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²	
Certificates and compliance with standards		VDE AR N 4105, ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0124-1-1	
Emergency power function		Yes	

EFFICIENCY	SYMO HYBRID 3.0-3-S	SYMO HYBRID 4.0-3-S	SYMO HYBRID 5.0-3-S
Max. efficiency (PV - grid)	97.7 %		97.9 %
Max. efficiency (PV - battery - grid)	> 90.0 %	> 90.0 %	> 90.0 %
Europ. efficiency (PV - grid)	95.2 %	95.7 %	96.0 %
η at 5 % $P_{ac,r}$ ²⁾	79.5 % / 77.9 % / 66.9 %	80.1 % / 79.5 % / 70.1 %	81.6 % / 81.6 % / 73.4 %
η at 10 % $P_{ac,r}$ ²⁾	83.1 % / 83.8 % / 76.6 %	84.2 % / 83.1 % / 83.2 %	89.2 % / 92.5 % / 89.7 %
η at 20 % $P_{ac,r}$ ²⁾	90.0 % / 93.0 % / 90.6 %	91.6 % / 94.2 % / 92.4 %	93.2 % / 95.3 % / 94.2 %
η at 25 % $P_{ac,r}$ ²⁾	91.2 % / 93.9 % / 91.9 %	93.2 % / 95.3 % / 94.2 %	94.0 % / 96.5 % / 95.3 %
η at 30 % $P_{ac,r}$ ²⁾	92.4 % / 94.7 % / 93.3 %	93.9 % / 96.2 % / 95.1 %	94.5 % / 96.7 % / 96.0 %
η at 50 % $P_{ac,r}$ ²⁾	94.5 % / 96.7 % / 96.0 %	94.9 % / 97.1 % / 96.4 %	95.3 % / 97.5 % / 96.8 %
η at 75 % $P_{ac,r}$ ²⁾	95.1 % / 97.3 % / 96.6 %	95.4 % / 97.7 % / 97.0 %	95.6 % / 97.8 % / 97.3 %
η at 100 % $P_{ac,r}$ ²⁾	95.4 % / 97.7 % / 97.0 %	95.6 % / 97.9 % / 97.3 %	95.8 % / 97.9 % / 97.5 %
MPP adaptation efficiency		> 99.9 %	

TECHNICAL DATA	FRONIUS SMART METER 63A-3	FRONIUS SMART METER 50kA-3 ¹⁾
Nominal voltage		400 - 415 V
Maximum current	5 x 63 A	5 x 50,000 A
Input Terminal capacity	1 - 16 mm ²	0.05 - 4 mm ²
Communication and Neutral line Terminal capacity		0.05 - 4 mm ²
Power consumption	1.5 W	2.5 W
Starting current		40 mA
Accuracy class		1
Active Energy Accuracy		Class B (EN50470)
Reactive Energy Accuracy		Class 2 (EN/IEC 62053-23)
Short-time overcurrent		30 x I_{max} / 0.5 s
Mounting		Indoors (DIN rail)
Housing		4 modules DIN 43880
Degree of protection		IP 51 (front frame), IP 20 (terminals)
Specified operating range		-25 - +55°C
Dimensions (Height x Width x Depth)		89.0 x 71.2 x 65.6 mm
Interface to inverter		Modbus RTU (RS485)
Display		8-digit LCD

Päikest järgiva ajami mõõtmed



Päikest järgiva ajami tehnilised andmed



Major technical data

Item	Parameter
Control mode	Time + GPS
Average tracking accuracy	<5.0°
Gear motor power	24V/1.5A × 1
Output torque	>1700N·M
Tracking power consumption (per set)	<0.01kwh/day
Azimuth angle tracking range	±60°
Elevation angle adjustment range	>47°
Maximum wind resistance at horizontal status	>55m/S
Maximum wind resistance in operation	>33.7m/S
Material	Hot-dipped galvanized >65μm
Gear motor lifespan	>3 years
System guarantee (protocol)	3 (25) years
Working temperature	-40℃ — +80℃
Technical standard & certificate	CE , TUV
Weight	220KG
Tracking system power	1650/1950mm x 992mm x 10mm (2.5-3.4KW)

Päikesepaneelide kinnituse joonis

