EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Mihkel Mölter

PEEDI TALUELAMU LIGINULLENERGIAHOONEKS MUUTMISE VÕIMALUSED

OPTIONS FOR PEEDI FARM LIVING HOUSE NEARLY ZERO-ENERGY SOLUTIONS

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava.

Juhendaja: dotsent Veli Palge, *DrSc*

Tartu 2016

TÄHISED JA LÜHENDID

E_p- keskmine energia hulk päevas (kWh)

E_k- keskmine energia hulk kuus (kWh)

H_p- keskmine energia hulk päevas ruutmeetri kohta (kWh/m^2)

H_k- keskmine energia hulk päevas ruutmeetri kohta (kWh/m^2)

EMHI- Eesti Meteroloogia ja Hüdroloogia Instituut

PVGIS- Photovoltaic Geographical Information System

q- küttevääртus(J/kg)

η- kasutegur(%)

P- võimsus(W)

S-pindala (m^2)

V- ruumala(m^3)

www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaurusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Mihkel Mölter		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Peedi taluelamu liginullenergiahooneks muutmise võimalused			
Lehekülgi:43	Jooniseid:16	Tabeleid:7	Lisasid:1
Osakond: Energeetika Uurimisvaldkond: 4.17 Energeetikaalased uuringud Juhendaja: Veli Palge Kaitsmiskoht ja – aasta: 2016 Tartu			

Käesolev töö on ajendatud praktilisest soovist saada teadma 114 aasta vanuse talumaja energiatõhusus ja selle parendamise võimalustest niivõrd, et see vastaks tänapäevastele liginullenergia normidele, tootes ise lokaalsetest taastuvatest energiaallikatest elektrit. Eesmärk on saada tundma hajaenergeetika võimalusi Eesti tingimustes, mida rakendades anda omapoolne panus taastuvenergeetiliste trendide jätkuvale kasvule, vähendamaks fossiilsete kütuste põletamist ja sellest tulenevate kahjulike heitmete hulka. Uuritud on päikese-, tuule- ja puugaasienergia kasutusvõimalusi, tehnoloogiate tootlikust ja kasutustingimusi valimaks optimaalseim lahendus Viljandimaal paikneva Peedi talu eluhoone tarbeks elektrienergia tootmiseks. Töö koostamisel on kasutatud kogemuspõhist kirjandust ja vabavaralisi andmebaase, mis andsid võimaluse õppida teiste vigadest ja andsid aimu ligilähedasest investeeringu suurusest. Tulemina on järeldatud, et kui on valmidus edasisteks investeeringuiks, on Peedi talu energiatarve võimalik viia liginullenergia normidele vastavaks. Peedi talule sobivaimaks ja otstarbekamaks on säilitada võrguühendus, jättes tarbijale alles mugavuse garantii, kuid olles ise mikrotootja eeldatava aastase omatarbe tootlikusega. Töös järeldub väiketuulikute sisemaa tingimustes kasutamise madal perspektiivitus, puugaasi potentsiaal Peedi talus ja päikesepaneelide kasutus, saamaks tootlikuse ja investeeringu optimaalseimat suhet uuritaval objektil.

Märksõnad: taastuvenergia, päikeseenergia, tuuleenergia, mikrotootja, energiatõhusus

www.emu.ee

Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor`s Thesis	
Author: Mihkel Mölter		Speciality: Engineering	
Title: Options for Peedi Farm Living House Nearly Zero- Energy Solutions			
Pages:43	Figures:16	Tables:7	Appendixes:1
Department: Energy Engineering Field of research: 4.17 Energetic Research Supervisor: Veli Palge Place and date: 2016 Tartu			

Present research was actuated from practical motivation to find out options for reaching nearly zero-energy efficiency goals in 114 years old completely renovated farm living house and gaining its energy needs out of local renewable sources. Likewise to find out dispersed energy production solutions in Estonian climate conditions and desired to contribute to progression of using renewable energy solutions, with the intention to decrease pollution of carbon dioxide conditioned from energy produce by burning fossil fuels. Research gives overview of three renewable sources available in location of Peedi farm, solar energy, wind energy and wood energy. The aim of this research is to find energetical weakspots of the house, with the intention to improve them, and to get overview of local renewable energy production solutions, their profit and performance conditions by choosing the most optimal solution for mikro-producing for providing energy supply for living house of Peedi farm. Researching for this work, author has used experience-based literature and freeware databases, which gave the opportunity to learn from mistakes of others and helped to find out approximate investment cost for possible solutions. After analysis, author concludes that if there is a will to invest more into technical solutions, it is very much possible to reach efficiency which accords to nearly zero-energy terms. Author concludes that conditions of Estonian inland offers low perspective for using small wind turbines and the most convenient way to produce renewable energy locally is using solar panels. Wood is good backup source, which will morelikely be good for autonomus systems.

Keywords: renewable energy, solar energy, profit, wind energy, efficiency

SISUKORD

SISSEJUHATUS 6
1.UURITAVA OBJEKTI KIRJELDUS 8
1.1. Hoone 8
1.2. Asukoht 8
1.4.Energiatarve 9
1.2. Küttesüsteem 10
1.5.Hoone energiatõhusus 11
2.ENERGIAKASUTUSE PARANDAMISE VÕIMALUSED 15
2.1.Liginullenergia energiatõhususe saavutamine Peedi talus 15
2.2.Energiakasutuse tõhustamine 15
3. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED 18
3.1. Päikeseenergia 18
3.2. Päikesejaama asukoha valik 19
3.3. Katusele integreeritud päikesejaam 20
3.4. Statsionaarne maapinnal asetuv päikesejaam 21
2.5. Päikest jälgiv päikesejaam 25
4.TUULEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED 29
4.1. Väiketuuliku kasuks valiku tegemine ja selle nüansid. 29
3.2. Väiketuuliku Kasutamine Peedi talus 31
5. PUITKÜTUSTE KASUTAMISVÕIMSLUSED 34
5.1.Puitkütuste kasutamine 34
5.2. Maja ahjud 34
5.3. Puugaas 35
5.4. Puugaasi genereerimine 36
KOKKUVÕTE 38
KASUTATUD KIRJANDUS 42
LISAD 44
Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (avaldamise tähtajatu piirang) ning juhendaja kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta 45

SISSEJUHATUS

Olles kõik ühe päikese all, hingates ühte õhku ja juues sama vett, on aru saadud, et ühiste hüvede eest tuleb ka ühiselt hea seista. On mõistetud, et nende hüvedeta pole ka raha midagi väärt. Inimkond kardab, ja on asunud suures hirmus astuma samme, samme et homset jaguks kauem. Kliimamuutused ja neist tingitud looduskatastroofide sagenemise põhjused on teadlaste poolt üsnagi usutavalt puust ja punaseks tehtud. Lihtsustatult on hädad tingitud inimkonna energiajanu rahuldamisest fossiilsete kütuste põletamise meetodil, paisates atmosfääri süsinikdioksiidi heidtmeid, jättes inimese oma enese saasta sisse kuumalõksu.

Saades probleemi olemusele kõigi tähelepanu on täna jõutud probleemi käsitlusel punkti mil on sõlmitud 195 maailma riigi vaheline Pariisi kliimalepe [13], mis seab ambitsioonikad eesmärgid pidurdadamaks kliimasoojenemist. Pariisi kliimaleppe eesmärkide saavutamiseks on igal riigil kohustus vähendada kasvuhoonegaaside heitmeid vastavalt arengukavas ettenähtud normidele. Nii on koostatud Euroopa Liidus „Energia 2020: Säästva kokurentsivõimelise ja kindla energia strateegia“ [5] ja „Energia tegevuskava aastani 2050“ [6], mis omakorda seavad liikmesriikidele heitmenormid. Eesti energiamajanduse püüdlused tulevikuks on sätestatud dokumendis „Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2020“ [17]. Valminud on ka eelnõu „Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030“ [16] mis on saanud valitsuse heakskiidu. Rahvusvaheliselt ning rahvustasandil on jõutud üksmeelele vajaduses tõhustada tarbimist ja suurendada taastuvenergia osakaalu tootmises. Praktikas pelgalt lepped ja kavad kasvuhoonegaaside hulka ei vähenda, vaid kohustavad ja innustavad meid tõhustama energia tootmist ja kasutamist. Näiteks ehitama energiatõhusaid maju, kasutama ökonoomsemat transporti ja panustama aina enam taastuvatesse energiaallikatesse nagu tuul, päike, vesi ja biokütused.

Keskkonnateadlikkus ja selle väärtustamine on tõusev trend, nii on ka aina enam eraisikuid haaranud initsiatiivi vähendamaks nii oma ökoloogilist jalajälge kui ka energiakulusid, hakates ise elektrit tootma oma energiavajaduste katteks kasutades keskkonna iseloomust tulenevaid võimalikke taastuvaid energiaallikaid. Nii on ka antud töö teemavalik tingitud

huvist enregiatõhusate tehnoloogiate, taastuvate energiaallikate ja nende kasutusvõimalsutest Peedi talu energiatõhususe parandamisel ja varustamisel.

Käesolevat tööd koostades on autor õppinud tundma eramu energiatõhususe nüansse ja tänaseid tehnoloogilisi lahendusi lokaalsel taastuvenergiatootmisel Viljandimaal asuva eramu energiatõhususe parandamiseks ja elektriga varustamiseks, saavutamaks liginullenergia tõhusus. Töö eesmärk ja uuritava objekti valik on ajendatud autori huvist laiendada teadmisi antud vadkonnas ja omaniku praktilisest soovist vähendada energiasõltuvust tsentraalvõrgust, olles taastuvenergia arengu ja keskkonnasõbraliku mõtteviisi edasikandja, andes oma lokaalne panus vähendamaks fossiilsetest kütustest energia tootmist sadu kilomeetreid eemal.

Uurimistöö küsimused on: Kas ja mil meetmeil on võimalik saavutada Peedi talu energiatõhususe vastavus liginullenergia tingimustele? Millist lokaalset taastuvenergiaallikat on Peedi talu tingimustes otstarbekas kasutada? Kas investeeringud energiatõhususse ja elektritootmisesse ka end õigutavad ja ära tasuvad? Hüpoteesiks on usk tänapäevastesse ehitusmaterjalidesse, oskluslikku töösse ja tehnoloogilistesse lahendustesse, saavutamaks liginullenergia tõhusus renoveeritud 114 aastat vanas palkehitises. Püstitatud küsimustele vastuste leidmiseks on kasutatud kahe aasta elektriarveid, veebipõhiseid andmebaase, kogemuspõhist kirjandust ja vaatlusandmeid.

1.UURITAVA OBJEKTI KIRJELDUS

1.1. Hoone

1902 aastal ehitatud eluhoone on maakivist soklikorrusega palkehitis, mille köetavate eluruumide pindala on 276,4 m^2, millest mõlemal korrusel 138,2 m^2. Hoone on kapitaalselt renoveeritud aastal 2008, mille käigus on maja piirded saanud uue soojusisolatsiooni uute kattematerjalidega ja energiatõhusad puitpakettaknad.

1.2. Asukoht

Viljandimaal paiknev taluhoone asetub pikuti loode ja edela suunal, domineerival kõrgusel ümbritseva maastiku ja metsakultuuri suhtes, mistõttu on hoone päikesele avatud suure osa päevast, luues tingimused võimalikuks elektri tootmiseks katusele paigaldatud päikesepaneelide abil. Krundi kõrgeim punkt on avatud idatuulele Võrtsjärvelt ning lääne-, edela- ja lõunatuuled puhuvad heinamaadelt ja madala kasvukultuuriga aladelt, mis loovad eeldused ka tuuleenergia kasutamiseks. Krundi kirde- ja idaserv on kaetud metsastunud ja võsastunud alaga, mida osaliselt saab kasutada kütusena, samuti on olemas võimalused võsakasvatuseks puitkütusena.

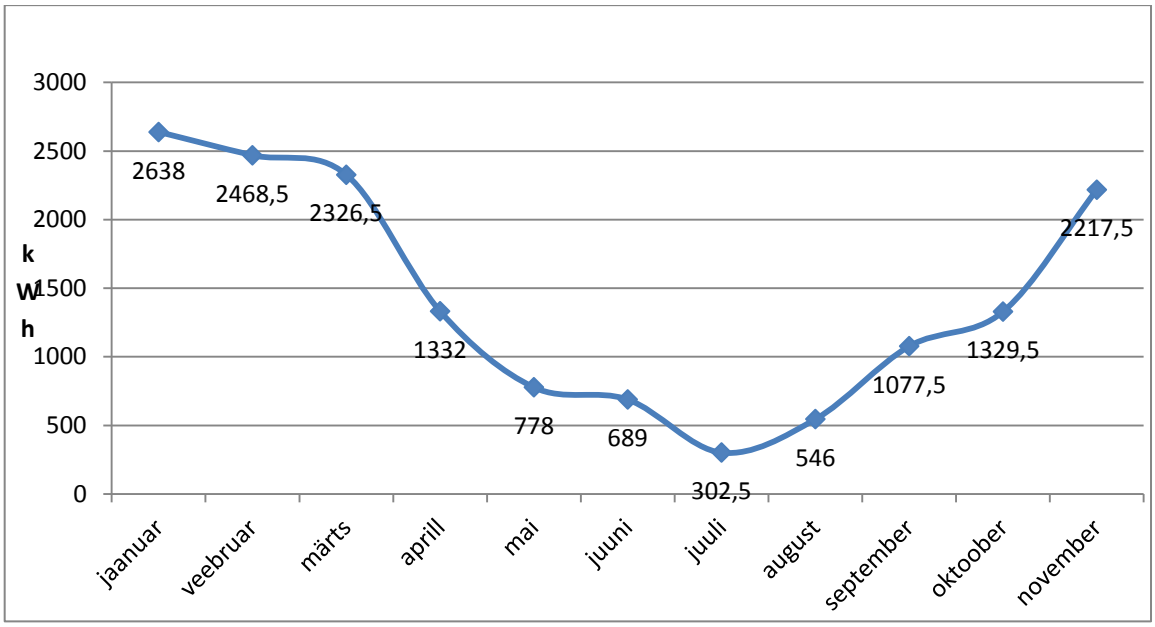
1.4.Energiatarve

Saamaks ettekujutust antud hoone aastasest energitarbimisest, oli autoril kasutada Eesti Energia kahe aasta jooksul saadetud arved. Lünklikest näitude teatamisest tingitult ei olnud andmed alati kuude lõikes päris tõesed, vaid osalt tuletatud varasemastest tarbemahtudest. See tingis näitudes hüppelisi kasve või langusi, olenevalt kui statistiliselt täpseid arveid Eesti Energia oli esitanud. Aastate lõikes kokku kalkuleeritud võimsused olid pea samaväärsed ja võeti edasiste analüüside aluseks. Aastane elektitarve kuude lõikes on näidatud Joonis 1.1. Võttes keskmiselt aastas tarbitava elektrihulga leidmisel aluseks aastate 2014 ja 2015 Eesti Energia koostatud elektriarved, on aastane elektritarve 18 MWh, mis teeb pindalaühiku kohta 65 kWh/m^2 .

Saamaks ülevaate, millised on tarbimisosakaalud, on kasutatud Eesti Energia kodulehel kasutada olevat kalkulaatorit [1]. Kasutatud veebikalkulaator kogub üsnagi üksikasjalikult infot hoone ja selle tarbijate spetsiifika kohta, samuti proovitakse läbi paljude küsimuste saada ettekujutus tarbimisharjumistest. Peamised elektrilised tarbijad on toodud tabelis 1.1. Täidetud küsimustiku tulemusena leidis kalkulaator jagunevat hoone energiatarbe vastavalt 59,8% tarbeelektriks ja 40,2% küttekuludeks.

Tabel 1.1. Peedi taluelamu tarbijad ja nende võimsused

Maasoojuspump Thermia Dipolmat tarbimisvõimsusega 1,7 kW [14]
Süvavee pump 1,1 kW
Pesumasin 150 kWh aastas
Nõudepesumasin 258 kWh aastas
Külmik energiatarbega 256 kWh aastas
Veekeetia 2,4 kW
Praeahi 3,5 kW koguvõimsus
Elektripliit 6,6 kW koguvõimsus
Televiisor 146 kWh aastas
Halgogeenvalgustite koguvõimsus 2,5 kW
Pesuruumi elektriline põrandaküte. 350W
Kodukino ressiiver + aktiivkõlar nominaalsete sisendvõimsuste summa 120W



Joonis 1.1. Eramu energiakulu kuude lõikes 2014 ja 2015 aasta aritmeetiliste keskmistena.

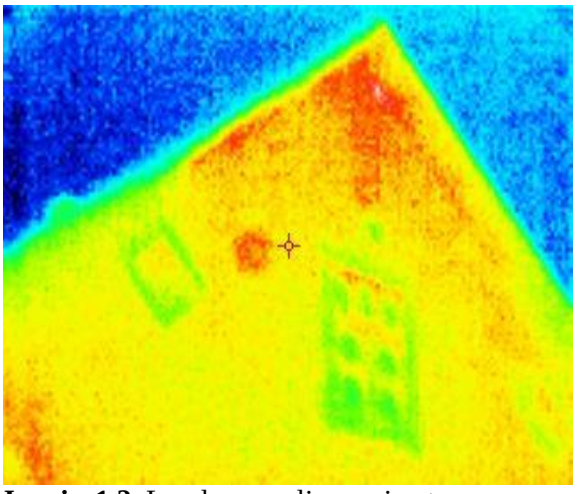
1.2. Küttesüsteem

Küttesüsteemina on paigaldatud maasoojuspump, mis ammutab pinnasesse paigaldatud kollektori abil sinna salvestunud päikeseenergia. Kollektorilt saadud soojus surutakse kokku, kokkusurutud gaas kuumeneb ja vabanev soojusenergia kantakse soojusvahetiga maja küttevõrku ja radiaatorite pinnalt eluruumidesse. Kui muidu eelistatakse maaküttesüsteemi puhul kasutada põrandakütet, saamaks kõrgemat efektiivsust, siis antud juhul puitpõranda alla paigutades oleks olnud installatsioon kulukam ja puidu kasinamast soojustjuhtivusest tingitult ka madalama efektiivsususega.

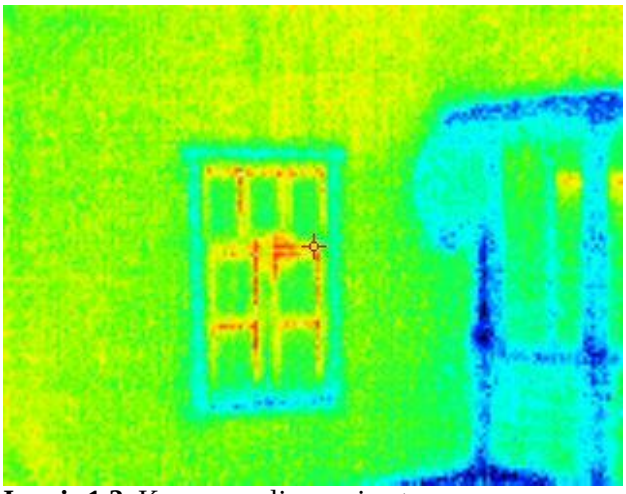
Alternatiivkütte võimalusena on esimesel korrusel algupärastesse kohtadesse taasehitatud kaks ahju ja soojamüüriga malmpliit. Ahjude kütmine külmematel perioodidel on hea võimalus siluda kõrgperioodil tarbitavate elektrihulkade tippe, aidates soojuspumbale kuluvat energiat hoida aastalõikes stabiilsemana, seda enam kui kütust on saada krundil kasvavalt metsakultuurilt.

1.5.Hoone energiatõhusus

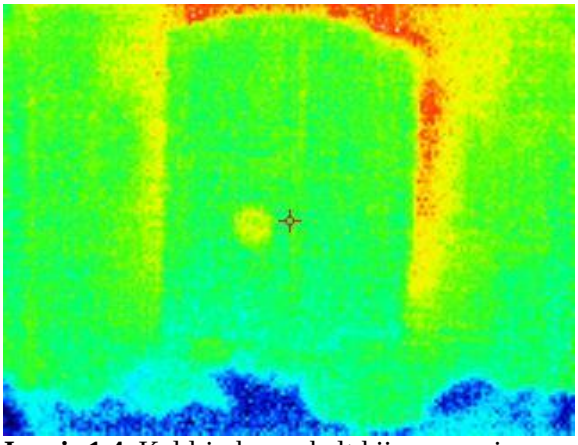
Kasutades Eesti Energia kodulehel olevat kalkulaatorit hoone energiatõhususe selgitamiseks, saadi tulemuseks, et antud hoone vastab energiatõhususklassile B, mis on eeskujulik tulemus [1]. Hoone on lähiminevikus põhjalikult renoveeritud ja selle käigus saanud uue soojusisolatsiooni, tuuletõkke ja voodristiku. Sellegi poolest otsis autor kitsaskohti leidmaks võimalike välditavaid soojuskadusi. Võimalike kadude leidmiseks on tehtud maja fassaadist ja avatäidetest pildid termokaameraga FLUKE Ti30. Võetud fotod ilmestavad isolatsioonikihi ühtlust ja külmasildade puudumist. Fassaadilt kõige suurema soojuseralduse võis välja lugeda maja loodesuunalise katusekorruse pinnalt (joonis 1.2.), mis on seletatav füüsikalise seaduspärasusega, et soe õhk kerkib ülesse. Vaadates pilte avatäidetest on näha, et peamised kaod ei ole läbi aknaklaaside kanduvad vaid läbi raamistiku, mis näitab tänapäevaste klaaspakettide head energiatõhusust (joonis 1.3.). Avatäidetest suurimat soojuskadu näitas maja peasissepääsuks olev puidust uks, mis enimkasutatava uksena näitas ka tihendite väsimuse märke, mistõttu paistis see ka ülejäänud hoonest kontrastselt silma. Inimliku vea tõttu ei ole säilinud termopilti välisuksest. Parendamist vajavatena võib välja tuua soklikorruse uste ja akende tihenduse (joonis 1.4.), ehkki tegemist ei ole taotuslikult köetud ruumidega, tagavad ruumidele vajaliku vähese kütte neis asetsevatest tehnosüsteemidest eralduv soojus. Pildilt on näha ka märgatav soojuskadu läbi korstende (joonis1.5.), mööda mida toimub ka ventilatsioon, samuti tuvastas autor kasutust mitteomavate ahjude siibrid teadmata ajast lahti olevat, mis lisaventilatsioonina võisid tekitada ülemäärast soojuskadu. Ringkäigul majas tuvastas autor ka katuseakende õhutusavad lahti olevat, mis raskesti märgatavast asukohast tingitult olid ka omanikule teadmata ja teadmata ajast lahti.



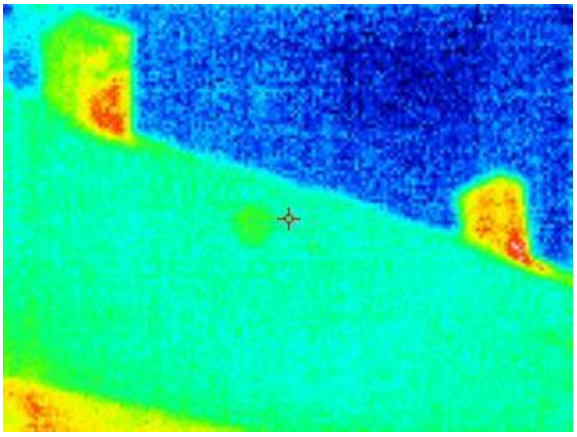
Joonis 1.2. Loode suunaline maja ots



Joonis 1.3. Kagusuunaline maja ots



Joonis 1.4. Keldri ukse vahelt kiirguv soojus



Joonis 1.5. Korstendest kiirguv soojus

2.ENERGIAKASUTUSE PARANDAMISE VÕIMALUSED

2.1.Liginullenergia energiatõhususe saavutamine Peedi talus

Eesti Vabariigi ehituseaduses toodud mõiste kirjeldus: „Liginullenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhusarv on suurem kui 0 kWh/(m^2 a), kuid väikeelamutes mitte üle 50 kWh/(m^2 a)“ [2]. Liginullenergiahoone mõiste on loodud ennekõike uusehitsite normiks, mis seab kohustuse ehitada tulevikus nii energiatõhusaid maju nagu seadus sätestab.

Käesoleva töö käigus uurib autor, kui mitme kWh kaugusel on hoolsalt renoveeritud ja kaasaegseid taastuvenergieetilisi tehnoloogiaid kasutav 114. aasta vanune talumaja liginullenergia normidest ja millised võimalikud sammud võiksid viia kirjeldatud eesmärgile. Eeldades, et Peedi talu kvalifitseerub väikeelamuna, on vaja selle energiatarvet tõhustada 17% lähtudes lähteandmeteset järeldatud energiatõhususarvuga 65 kWh/(m^2 a). Aastas tähendaks see 3 MWh väiksemat energiakulu. Näitlikult on see energiakulu võrreldav 12 külmkapi aastase tarbitava elektrienergiaga.

2.2.Energiakasutuse tõhustamine

Nagu „Hoone energtiatõhususe“ peatükis mainitud hakkasid hoone soojapidavust ja elektritarbimist uurides, silma mõned ilmsed tegurid, millede tõhustamisest väheneksid energiakaod. Selgus, et hoone ventileerib end kohati selleks mitte ettenähtud kohtadest. Nii oli märgatav soojuse eraldumine soklikorruse uste ja akende vahelt. Parandades uste ja akende tihendust, saavutataks kindlasti mõningane energiavõit. Peasissepääsu ukse amortiseerunud tihendid võimendasid maja ventilatsiooni, suurendades soojakadusi. Ülemäärase ventilatsiooni vähendamiseks tuleks kasutust mitte omavate ahjude siibrid hoida suletud asendis, senimaani olid tähelepanuta ahjude siibrid seisnud avatud olekus, samuti oli hetkel vähe kasutust leidval katusekorrusel olevate katuseakende tuulutusavad

avatud asendis, kütteperioodil vaid vastavalt vajadusele neid avades on kindlasti saavutatav arvestatavalt väiksem energiakulu.

Maja loomulikul ventileerimisel kannab väljuv õhk kaasa soojusenergiat. Ventilatsioonikadude minimeerimiseks on tänapäeval kasutusel soojustagastusega sundventilatsioonisüsteemid, mis soojusvaheti toimel kannab väljuvalt õhult toasooja ümber sisenevale õhule, andes olulist kokkuhoidu küttekuludelt. Täisautomaatne juhtimine tagab ruumi ventileeritavuse vastavalt süsihappegaasi sisaldusele õhus, hoides tubades ühtlaselt ventileeritud värsket õhku. Suurima energiakokkuhoiu annab 60-80% kasuteguriga rootorsoojustagasti. Peedi talus annaks sundventilatsiooni kasutus säästu ennekõike kütteperiooditi, eelistatades loomulikku ventilatsiooni kevad-ja suvekuudel läbi avatud akende ning elekti kokkuhoiu mõttes võib kasutada ka sundventilatsiooni perioodi.[26]

Kodutehnika energiakasutust uurides ja asjatuid kulukohti otsides pälvis tähelepanu püsivas sisselülitatud olukorras olev kodukinosüsteem, lisaks ressiiverile ja üht aktiivkõlarit. Ehkki sisendsignaali saavad need seadmed vaid televiisori või raadio kasutamisel on kõrvaga eristatav mõningane müra, mis on indikaatoriks elektri sihtpäratule tarbimisele. Antud juhul võib tarbetult töötava kodukinosüsteemi liigitada madala kasuteguriga elekterkütteelemendiks, eraldades pideval vahelduvvoolu konverteerimisel soojust ümbritsevasse keskkonda, omamata selleks vajadust.

Maja sisetemperatuur on seatud 23°C, mis on soovituslikult kõrgeim toatemperatuur tekitamata liigset õhukuivust ega mõjumaks inimesele loiutavalt. Veebruarikuus teostatud vaatlusel olid küttesüsteemi siseneva vee ja tagastatava vee temperatuuride vahe 0,4° C, ehk sisse 23,4°C ja tagasi 23°C. Toatemperatuuri eelistused on individuaalsed, mõnele meeldib soojem, teisele jahedam. Kirjanduses toodult loetakse mugavaks eluruumide temperatuuriks 20-21°C [20], olenevalt ruumide kasutusotstarbest erinevad ka nende temperatuurid. Hinnaguliselt mõjutab 1°C temperatuuri muut kulusid 5% võrra. Toetudes sellele infole võib eeldada, et alandades Peedi talu küttevee temperatuuri 2° C võrra, on kulu 10% võrra väiksem, andes 1 MWh aastas kokkuhoidu küttekult, parandades hoone energiatõhususnäitajat 5% võrra. Ülejaanüd 12% täitmine jaguneb eeldatavalt soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi kasutuselevõtuks ja tarbimisharjumuste optimeerimiseks.[20]

Püüeldes tõhusama energiakasutuse poole, pole tänapäevaste valikuvõimaluste puhul otstarbekas kasutada halogeenvalgusteid, kuna hoones on kasutusel efektiivne küttesüsteem, siis on elektrisäästu silmaspidades oluline vältida ebaefektiivseid sekundaarkütteallikaid, nagu hõõgniidi põhimõttel töötavad valgustid. Maja hetkeline halogeenvalgustitel põhinev koguvõimsus on 2,5 kW, millest hinnanguliselt on korraga töös 40%. Investeerimaks valgustite väljavahetamisesse Led lampide vastu, võib elektri kokkuhoid paraneda kuni 90% Samuti on Led lampide kasuks kestvusea pikkus. Investeeringu tasuvuseks eeldatakse ≈2,5 aastat [1]. Tootes ise lokaalselt elektrit ja seda ka osalises mahus salvestades võib anda kogu valgussüsteemi viimine 12 V toitepingele võitu energia konverteerimise arvelt. Samuti oleks hoone valgustus valmis töötama autonoomselt.

Kogu selle kulude optimeerimise juures ei tohi kannatada kasutajamugavus, mistõttu on nii mugavuse kui efektiivsuse huvides mõistlik rakendada tänapäevaseid targa maja lahendusi. Nii näeb autor ette automaatjuhitavaid radiaatorite termostaate, ja iga ruumi kohta temperatuuriandurit, andmaks paindlikuse hoidmaks ruumi otstarbele sobivaimat temperatuuri. Nutisüsteemid tagavad iseseisva töö, ent annavad ka põhjaliku ülevaate maja tehnosüsteemidele ja paindliku kontrolli nende talitusele. Nii on kontrollitav ja monitooritav kogu tehnovõrk, küte, ventilatsioon, turvasüsteemid, elektri- tarbimine ja tootmine, mis ühtses süsteemis saavad arvuti parima juhtimise järgi harmoniseeritult töötada, võttes arvesse tarbija käitumist või tema etteantud suuniseid.

3. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED

3.1. Päikeseenergia

Päikeseenergia kasutamine taastuvenergiaallikana on levinuim viis majapidamiste lokaalsel energiavarustamisel, kuna kasutatavad tehnoloogiad on näidanud end töökindlate ja vähest hoolt vajavatena, tehes neist ka minimaalsete ülalpidamiskuludega süsteemid. Soojusenergiat ammutatakse päikesekiirgusest päikesekollektoritega ja elektrienergiaks muundamisel fotoelement päikesepaneele, ammugi ei ole päikesepaneelid uus leiutis, vaid ulatub paarisaja aasta taha kui 1767. aastal leiutas Šveitsi teadlane Horaice-Benedict de Saussure esimese päikesekollektori. Esimesena avastas fotgalvaanilise elemendi 1839. aastal Edmond Becquerel, kes oli prantslasest füüsik. Paraku ei suudetud pikka aega teha kommertslikuks kasutamiseks sobiliku hinnaga paneele. Nüüdisajal, kui on leitud tõhusamad meetodid ja odavamad materjalid paneelide koostamiseks, on hind kujunenud kättesaadavaks kommertskasutajale. Nõudluse ja tootjate paljususe tõttu on hind aastate lõikes alanenud, mis kindlasti soodustab päikesepaneelide ostmist.[24; 21 lk 150]

Käesolevas töös on fookus elektrienergia tootmisel omatarbe katmiseks, mistõttu on tähelepanu all ennekõike päikesekiirgusest elektrienergia muundamine. Tänu teema aktuaalsusele on päikesepaneelide kasutamist eramute energiavarustamisel kirjanduses palju käsitletud ja valmis ehitatud objekte, mida eeskujuna uurida palju. Seega on töö koostamisel abiks oma kogemusi ja oskusteavet jagavad mikro- ja väike elektritootjad, kes on jaganud oma teadmisi artiklites ja teadustöödes.

Olles kuulamas 17. Taastuvate Energiallikate Uurimise ja Kasutamise konverentsi, pälvis autori huvi ja tähelepanu esitlus Võrumaal asuva Otso talu päikeseelektrijaama loomisest ja tootlikkusest. Soodsa teabena antud töö koostamisesks on ajaline kokkulangevus siin uuritava objekti lähteandmete pärinevusajaga ja Otso talu mikroelektrijaama tootlikkuse andmete kogumisperioodi vahel. Kajastatud tootluse andmed pärinesid aastatest 2014 ja 2015, nagu ka autori poolt uuritava eluhoone aastased energiakuluandmed. Mandri-Eesti ühtlast päikesekiirgusjaotust arvestades saab Otsa talu mikroeletrijaama näitel tõmmata üldistavaid paralleele. Kui Otso talu 4,4kW mikrojaama mõõdetud perioodi keskmine

tootlikus aasta kohta oli 5260 kWh, siis analoogseid tehnilisi lahendusi kasutades peaks Peedi liginull eluhoone energiavajaduste rahuldamiseks vajamineva päikesejaama võimsus olema 2,85*4,4=12,54 kW. Kas see ka nii on, selgub järgnevas töös, mil autor proovib leida effetiivseima koha ja paigaldusviisi päikeseenergia ammutamiseks.[9]

3.2. Päikesejaama asukoha valik

Sobivaim asukoht ja paigaldusviis on määrava tähtsusega paigaldise efektiivsusel. Olenevalt päikesepaneelide ühendusviisist on kogu süsteemi töökindlus ka mõjutatavam välistegurite poolt. Kasutatava inverteri valikust olenevalt valitakse kas rööpühenduses või jadaühenduses paneelid. Jadaahel on lihtsa ülesehitusega ning seetõttu ka kergemini haavatav süsteem. Ühes ahela osas esineva tõrke või tootlikkuse languse korral võib lakata terve süsteemi töö. See eeldab, et jadaühendusel olevad päikesejaamad paikneksid nii, et sellele ei langeks ka osaliselt varje, mis mõjutaksid terve päikesejaama tööd. Töökindlamana ja keerulisemates tingimustes kasutatakse rööpühendusel paneele ja targemaid invertereid, jättes varjudest või muudest tõrgetest tingitud tootmiskatkestused lokaalseks ega mõjuta teiste paneelide tööd. [19; 9]

Pahatihti tuleb ka luua kompromisse efektiivsuse arvelt paigalduskoha tingimustest või esteetilistest aspektidest lähtuvalt. Nii on ka uuritava objekti puhul arvestatud omanikupoolsete soovide ja tingimustega. Üheks selliseks on soov, et maja edela-suunalisel katusel ei asetseks katusel võõrkehadena silma riivavaid ja üldpilti reostavaid alumiiniumraamidega kohmakaid paneele. Teisalt ei tohiks majast eraldiseisev paigaldis asuda enimkasutataval hoovialal ega liiga lähedal sellele, varjutades ümberkaudseid looduskauneid vaateid. Paigaldise asukoha valikul tuleb arvestada ka kompleksi üldpildi terviklikkust ja selle säilimist maksimaalsel määral. Võttes arvesse neid aspekte ja avatust päiksele võttis autor uurida kahte sobivaimat asupaika ja erinevaid paigaldusviise leidmaks neist sobivaim.

Päikesepaneelide kohavaliku ja paigaldusviisist tuleneva tootlikkuse leidmiseks on kasutatud PVGIS andmebaasi andmeid. Andmebaasi veebikeskkond on kasutajasõbralik, andes kasutada hõlpsalt mõistetavat kalkulaatorit plaanitava paigaldise tootlikkuse arvutamiseks. Lähteandmetena on vajalik märkida objekti asukoht, regiooni

päikesekiirgust kajastav andmebaas, kasutatav tehnoloogia, päikesejaama võimsus, suuna asimuut, paigalduskoht ja nurk. Seatud tingimustest lähtuvalt kalkuleeritud tulemusi võib pidada usaldusväärseks tingimusel, et päikesepaneelidele ei lange ümbritsevate objektide varje.[7]

3.3. Katusele integreeritud päikesejaam

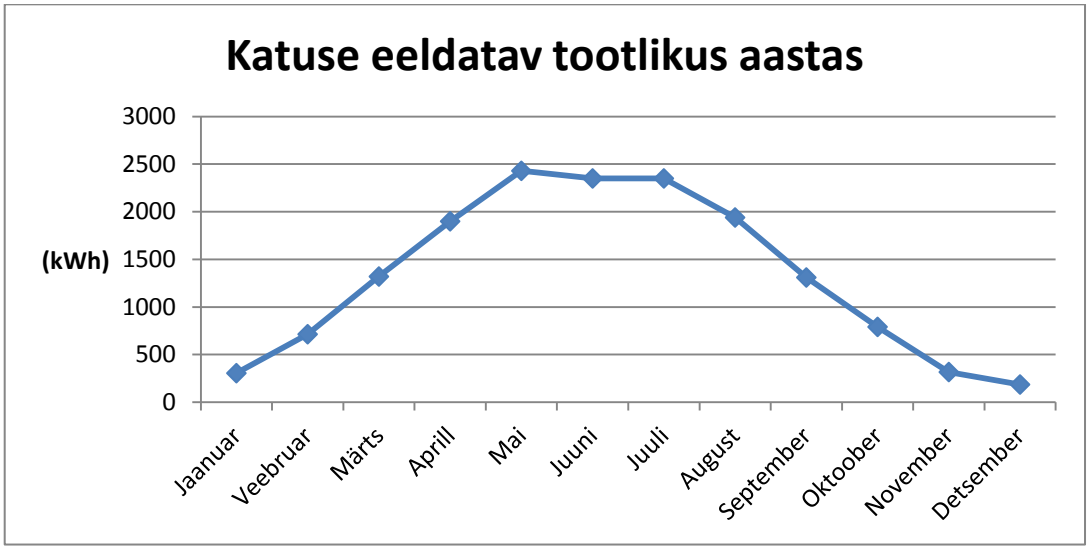
Esimese variandina on uuritud võimalust kasutamaks ära katusepinda, paigaldades paneelid katusekattematerjalina. Kui uusehitiste arhitektuur ja paneelid sulanduvad ühtseks tervikuks, siis vanade muinsusvääärtust omavate objektide puhul võivad paneelid mõjuda pinnuna silmas. Sellisel puhul on võimalik kasutada katusekattematerjalina integreeritud päikesepaneele, mis jätab katusele tervikliku üldpildi, samas kasutades ära muidu kasutuna seisvat päikesele avatud pinda. Hea omadusena võib välja tuua tootmise ja tarbimise lähestikusest paiknemisest tingitult väiksemad ülekandekaod ja kokkuhoidu juhistikult, võrreldes majast eemalpaikneva paigaldisega.

Maapinna normaali suhtes 45° nurga all edelakaarde avatud 126 m^2 katusepinna katmiseks kulub 73 1,7m^2 pinnaga 250W nimivõimsusega polükristall räni päikesepaneeli, koguvõimsusega 18,25kW. Võimsusel üle 11 kW on kirjeldatud paigaldis käsitletud väiketootmisjaamana, mis muudab lepingutinimused keerulisemaks. Sellise võimsusega paigaldise aastaseks kogutoodanguks PVGIS andmebaasi andmeil kujuneb keskmiselt 15900 kWh, võrdluseks kirdesse avaneva katusepinna aastaseks kogutoodanguks kujuneks samal võimsusel keskmiselt vaid 9500 kWh. Piirates katuse võimsust 11 kW, on tootlikus 10100 kWh aastas.[7]

Uuritava objekti puhul on edelapoolne katusepind soodne efektiivseks päikeseenergia tootmiseks, kuid ei tohiks rikkuda eramu üldpilti. Integreeritud päikesepaneelide kasutamine katuse kattematerjalina nõuaks juba renoveeritud katuse roovistiku muutmist, muutes suhteliselt hiljuti renoveeritud katuse varasema investeeringu kahjumlikuks. Arvestades, et sellise lahenduse tootlikkus kataks aastase energiatarbe, võib seda lähtuvalt ruumi praktilisele kasutusele pidada mõistlikuks. PVGIS andmed on toodud ka tabelis 2.1 ja illustreerivalt joonisel 2.1.

Tabel 3.1. PVGIS andmebaasi andmed edela- suunalise katusepinna potentsiaalsest tootlikusest[7]

Edelasuunaline 45° katus (P_N=18,25) PVGIS andmed kuude lõikes				
Kuu	**E_p (kWh)**	**E_k (kWh)**	**H_p (kWh/m^2)**	**H_k (kWh/m^2)**
Jaanuar	9,84	305	0,59	18,3
Veebruar	25,5	714	1,53	42,9
Märts	42,6	1320	2,68	83,2
Aprill	63,4	1900	4,23	127
Mai	78,3	2430	5,46	169
Juuni	78,2	2350	5,55	166
Juuli	75,8	2350	5,48	170
August	62,5	1940	4,42	127
September	43,7	1310	2,99	89,7
Oktoober	25,5	791	1,66	51,5
November	10,6	317	0,66	19,8
Detsember	6	186	0,36	11,2
Aasta keskmine	43,6	1330	2,98	90,5
Aastas kokku	15900		1090	



Joonis 3.1. Edelasuunalise 45° 18,25 kW võimsusega katusele integreeritud päikesepaneelide aastane tootlikus kuude lõikes.[7]

3.4. Statsionaarne maapinnal asetuv päikesejaam

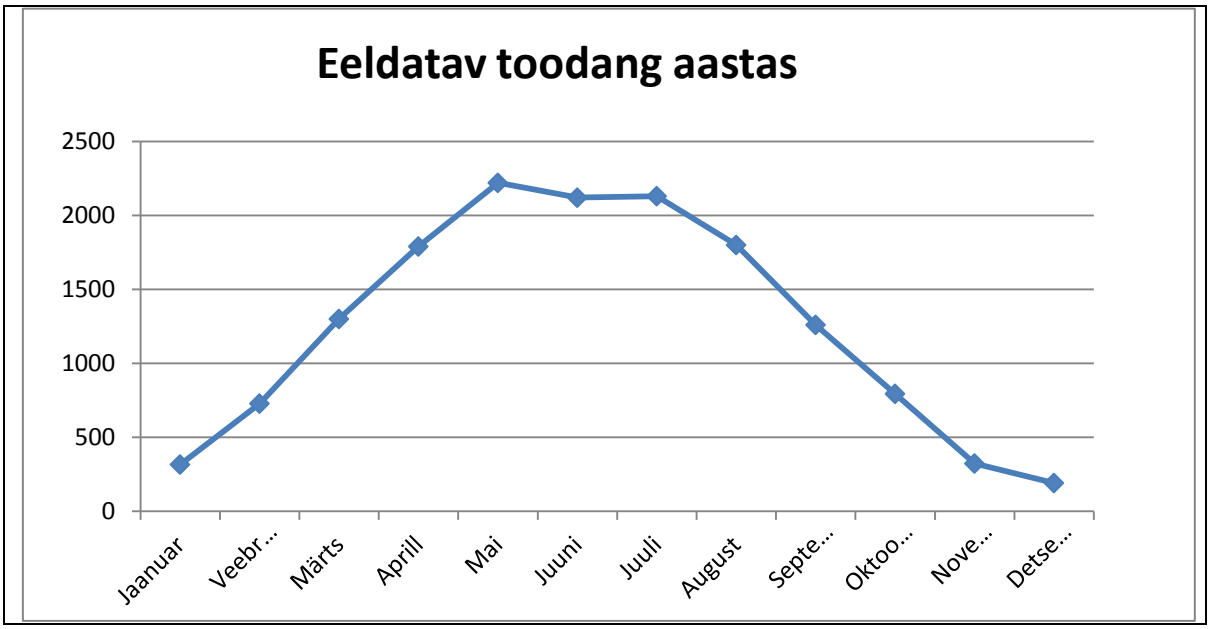
Teise variandina, majast eraldiseisva paigaldise asupaigana, hindab autor parimaks krundi lõunapoolseimat nurka, mis on ka krundi kõrgeim punkt. Krundi sissesõiduteest paremale ja vasakule jäävad piiriäärsed alad on päikesele avatud maksimaalse osa päevast ja eramust

eraldatud heki ja kunagise abihoone maakivimüüritisega, jättes paigaldise eraldatuks ülejäänud kompleksist ning olles ka parima võimaliku päkesekülllusega koht. Kõrvalhoone müüritise taha jäädes on distants hoone ja paneelide vahel ligikaudu 50m. Eraldipaikneva paigaldise eelis hoonele integreeritud süsteemi ees on võimalus vabamalt valida suunda ja nurka päikese suhtes, kas kohtkindlalt või automatiseeritud jälgimissüsteemiga. Kuna päikesepaneelide tootlikkus langeb nende temperatuuri tõustes, siis hoonest eraldiseisvate paigaldiste efektiivsust loetakse kõrgemaks tingitult paremast jahutusest paneelide tagakülgedel. Selle koha eeliseks on ka asjaolu, et tegemist on parima võimaliku asupaigana väiketuuliku püstitamiseks sel krundil (joonis 4.3.), olles avatud tuultele kõikidest ilmakaartest, ent ennekõike tugevaimatele idatuultele võrtsjärvelt, luues soodsa tingimuse kombineerimaks päikese ja tuuleenergia koostootmist.

Statsionaarse päikesejaama paigaldamisel peetakse optimaalseimaks suunata paneelid lõunasuunda 40˚ nurga all. Kalkulatsioonidel on võetud aluseks paigaldise võimsus, mille aastane toodang ei oleks väiksem, kui majapidamise aastane tarve. Sellise paigaldusviisi puhul peab 15 MWh tootmiseks aastas olema päikesepaneele vähemalt koguvõimsusega 15,3 kW. Sellise süsteemi tootlikkuse andmed on näidatud tabel 2.2. ja tootluskõver joonisel 2.1. Seega 250 W võimsusega paneele läheb vaja 61 tükki kogupindalaga 104m^2. Paneelide kandmiseks on tarvis rajada postvundamendil raamistik.

Tabel 3.2. Statsionaarse 20,4 kW päikesejaama tootlikus PVGIS admeil[7]

Kohtkindel paigaldis 40° nurga all lõunasuunal PVGIS andmeil (P_N=15,3kW)				
Kuu	**E_p (kWh)**	**E_k (kWh)**	**H_p (kWh/m^2)**	**H_k (kWh/m^2)**
Jaanuar	10,2	316	0,69	21,4
Veebruar	26	728	1,77	49,5
Märts	41,8	1300	2,97	92,2
Aprill	59,8	1790	4,5	135
Mai	71,5	2220	5,63	174
Juuni	70,8	2120	5,68	170
Juuli	68,8	2130	5,62	174
August	58	1800	4,63	144
September	42,10	1260	3,25	97,4
Oktoober	35,6	794	1,88	58,1
November	10,8	323	0,76	22,7
Detsember	6,17	191	0,42	13
Aasta keskmine	41	1250	3,16	96
Aastas kokku	15000		1150	



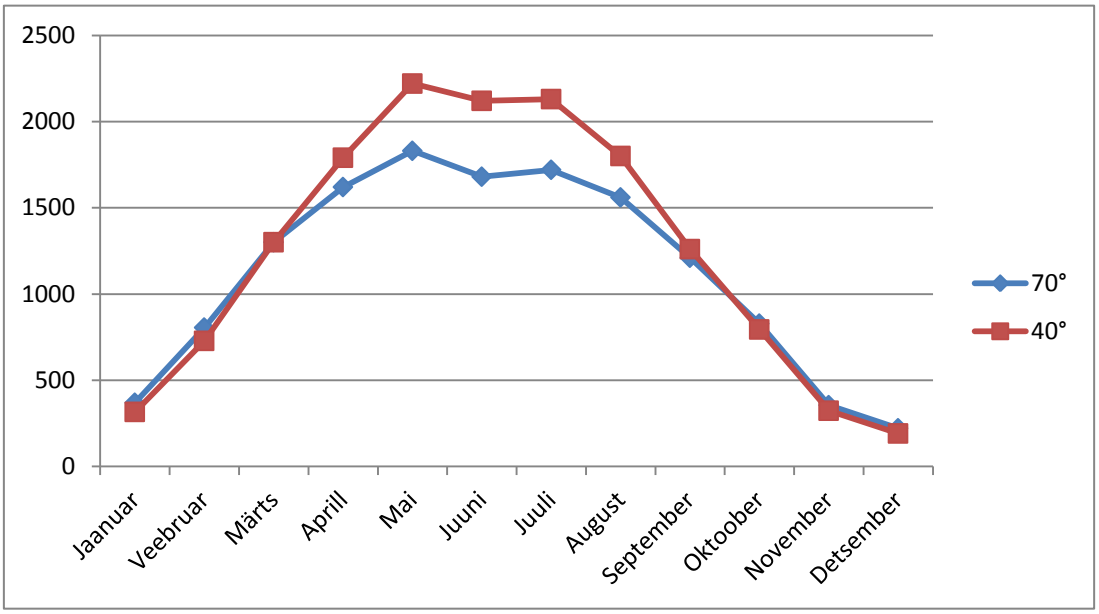
Joonis 3.2. Statsionaarse 20,4 kW päikesejaama tootlikus PVGIS andmeil[7]

Kuna aastaajati on paneelidele langeva kiirguse nurk ja aeg väga erinev, siis uuris autor, kui otstarbekas oleks seadistada paneelid manuaalselt olenevalt aastaajale. Selgus, et mõningane vahe on jagades aasta kaheks, suviseks ja talviseks perioodiks. Andmete võrdlusest järeldub et kui ajavahemikul septemberist veebruarini asetada paneelid 70° nurgaga ja märtsist augustini 40° nurgaga, siis on eeldatav aastane kogutoodang 250 kWh

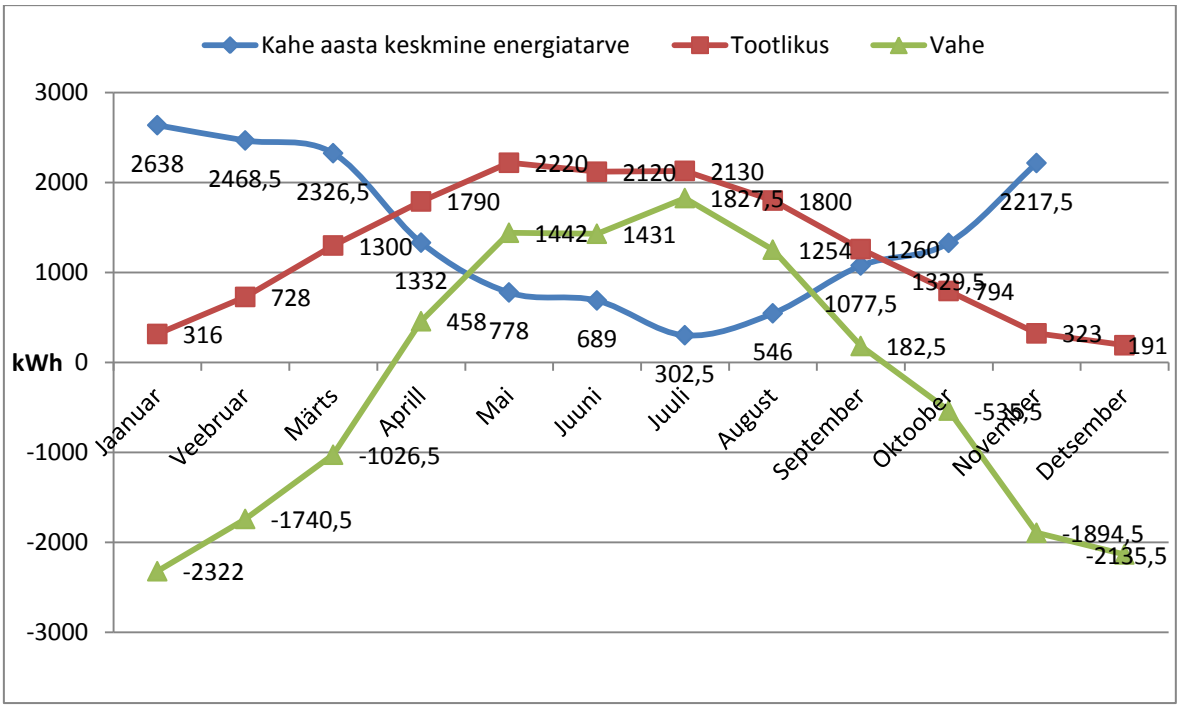
võrra suurem. Näitlikult kulub umbes selline kogus elektrit külmkapi või nõudepesumasina tarbeks aastas.

Tabel 3.3. Suvise ja talvise nurga seadega päikesepaneelide tootlikused[7]

Kohtkindel paigaldis 40°suvel ja 70 talvel nurga all lõunasuunal PVGIS andmeil (P_N=15,3kW)				
Kuu	**E_p (kWh)**	**E_k (kWh)**	**H_p (kWh/m^2)**	**H_k (kWh/m^2)**
Jaanuar	11,7	369	0,79	24,6
Veebruar	28,7	805	1,96	54,9
Märts	41,8	1300	2,97	92,2
Aprill	59,8	1790	4,5	135
Mai	71,5	2220	5,63	174
Juuni	70,8	2120	5,68	170
Juuli	68,8	2130	5,62	174
August	58	1800	4,63	144
September	42,1	1260	3,25	97,4
Oktoober	26,7	828	1,97	61
November	11,8	355	0,83	25,1
Detsember	7,12	221	0,48	15
Aasta keskmine	41,56833333	1266,5	3,1925	97,2666667
Aastas kokku		15198		1150



Joonis 3.3 Statsionaarse päikesejaama eeldatav tootlikus aastas, olenevalt kaldernurgast[7]



Joonis 3.4. Aastase energiatarbe ja 15,3 kW jaama tootlikuse vahe iseloomustav joonis[7]

2.5. Päikest jälgiv päikesejaam

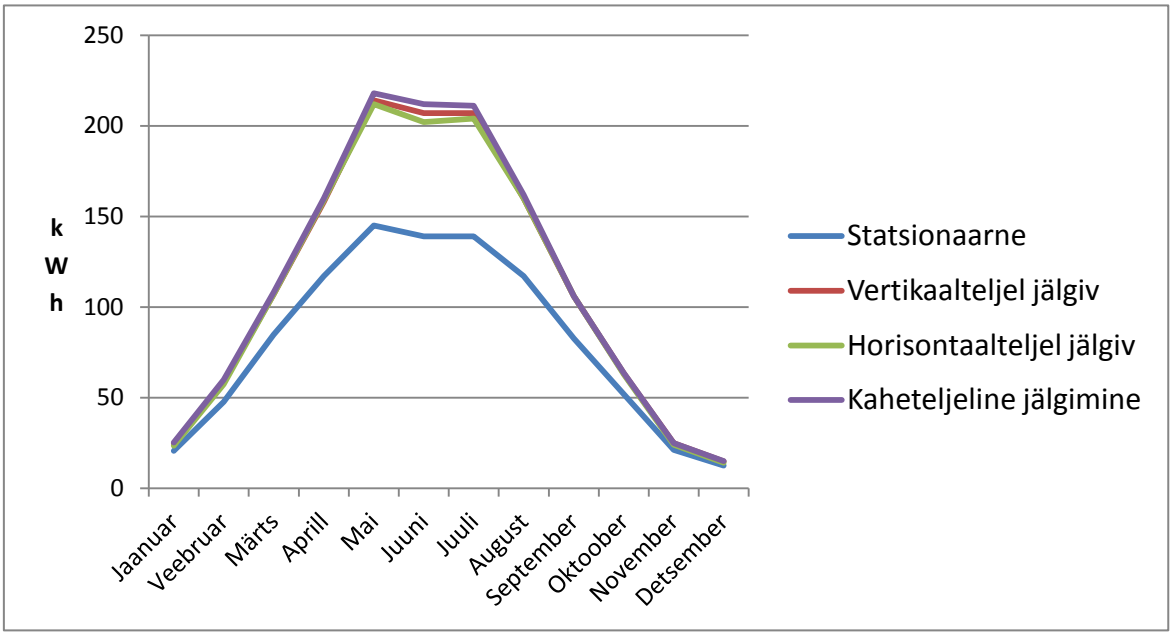
Tänapäeval enimkasutatavate ränist mono või polükristallelementide puhul on nende efektiivsus suuresti sõltuv kiirguse langemisnurgast, ehk ideaalis peaks päikesekiirgus langema risti paneeli elementidega, et neelduks maksmiaalselt energiat. Nurga all langevad kiired ei neeldu täielikult ja osa energiast peegeldub paneelidelt tagasi. Saamaks kätte maksmimaalset energiat, kasutatakse päikest jälgivaid süsteeme. Päikese teekonna jälgimiseks päeva jooksul keeratakse paneele ümber neid kandva karkassi kas vertikaal-, horisontaaltelje või kasutatakse kaheteljelist jälgimist, mil jälgitakse päikest teekonnal vastavalt tema asimuudile ja kõrgusele, hoides kogu aja vältel optimaalseimat nurka. Otso talu mikroelektrijaama näitel toodud võrdlus vertikaalteljel jälgiva ja statsionaarse paigaldise vahel selgel juulikuu päeval andis tulemuseks ligikaudu 1,5 kordse tootlikuse erinevuse. Nii annab ka PVGIS kalkulaator ligilähedaselt sama tulemuse, võrreldes keskmist toodangut juulikuu päeva kohta statsionaarse ja jälgiva süsteemi vahel.

Uurides jälgiva süsteemi kasutamise tingimusi Peedi mikrotootmisjaamas, selgus et liginullenergia normidele vastava Peedi talu aastase toodangu saavutamiseks läheb PVGIS andmebaasi andmeil vaja ≈11 kW võimsususega päikesejaama. Mis on võrdlusmomendina lähedane tulemus varasemalt toodud eeldustele Otso talu mikroelektrijaama tootlusandmete näitel, milledele toetudes sai eelduslikuks vajaminevaks võimsuseks 12,5kW. Küll märgib see piisavat tootlust andvat kaheteljelisel jälgimisel.

Uurides erinevaid jälgimisvõimalusi, järeldus PVGIS andmetel põhinedes, et kui statsioonaarse ja mistahes tehnoloogial põhineva jälgiva süsteemi vahel on märkimisväärne vahe, siis jälgitavate süsteemide omavahelisel võrdlustel näivad olevat väga tagasihoidlikud efektiivsuse vahed. Võrreldes vertikaalset ja horistontaalset jälgimissüsteemi on nende keskmise aastase tootlikkuse vahe PVGIS andmebaasi andmeil vaid 1%, näidates vertikaalset jälgimissüsteemi olevat pisut efektiivsem. Võrreldes kaheteljeliselt jälgiva süsteemi aastast keskmist toodangut, vertikaalse ja horisontaalse süsteemi aastase keskmise tootlikusega, ilmneb toodangu vahe olevat vaid vatavalt 1,5% ja 2,5%. Saadud vahed on üllatavalt tagasihoidlikud, mis tekitab küsitavusi kaheteljelise jälgimissüsteemi mõttekuses, arvestades tehnoloogilisi keerukusi, mis selliste süsteemidega kaasnevad. Tootluse märgatav vahe on just päikesepaistelistel kuudel, milles võib järeldada, et pilvistel perioodidel, kui päikesekiirgus on läbi pilvede hajuv, on tootlikus olenemata valitud jälgimistehnikast samas suurusjärgus. Ilmsestamaks statsionaarse jaama ja erinevate jälgitavate süsteemide tootlikkust aastas, on toodud tabelis 2.4. joonisel 2.5. näitlikult 1 kW võimsusega jaama toodangud.

Tabel 3.4. 1 kW võimsusega päikesejaama tootlikkus kuu lõikes olenevalt paigaldusviisist PVGIS andmeil[7]

P= 1 kW	Statsionaarne	Vertikaalne	Horisontaalne	Kaheteljeline
Jaanuar	20,7	24,7	23,5	25,2
Veebruar	47,6	58,8	57,3	59,8
Märts	84,7	107	107	108
Aprill	117	158	159	160
Mai	145	214	212	218
Juuni	139	207	202	212
Juuli	139	207	204	211
August	117	160	160	162
September	82,6	106	106	106
Oktoober	51,9	63,3	62,8	63,5
November	21,1	24,8	24	24,9
Detsember	12,5	14,8	14	15
Aasta keskmine	81	220	1660	1670
Aastas kokku	978,1	1345,4	1331,6	1365,4



Joonis 3.5. Võrdlus 1kW päikesejaama tootlikusest olenevalt paigaldusviisist [7]

Jälgiva süsteemi rajamiseks valmistootena seadmeid hankides pikeneb tasuvusaeg oluliselt, jättes selle variandi tarbija sektorile, kellede eesmärkide täitmist ei varjuta

finantsküsimused. Jälgiva süsteemi kulukus võib osutuda õigustatuks näiteks sundolukordadel autonoomsetel süsteemidel.

Soovi, tahte ja oskuste olemasolul võib iga hakkaja ja teotahteline inimene oma käte ja minimaalsete kuludega ehitada automatiseeritud jälgimissüsteemi. Eeskujuks võttes näiteks Otso talu mikrotootmisjaama, mil peremees on omal käel rajanud ka kandva automatiseeritult päikest jälgiva konstruktsiooni. Otso talu näitel jaam ja selle kandvad osad ise ehitades, on kulud tagasihoidlikud ja tootlikus ≈1,5 kordselt kõrgem kui kohtkindla paigaldusega jaamal. [9]

Kaubanduses saada olevate jälgimisseadmete kõrge maksumuse (≈6000€) tõttu eelistatakse tihti statsionaarsele jaamale lisada paneele vajamineva toodangu saavutamiseks, mis on tänu aina odavnevate päikesepaneelide hinnale kulusäästlikum.

Inimeste erinevatest motiividest ja vajadustest lähtuvalt ei saa tuua üldistusi, milliseid lahendusi päikeseenergia kasutamisel eelistada, igal objektil on oma iseärasused ja neile iseärasustele saab leida lahendusi vaid omades paindlikke valikuvõimalusi.

Uuritava objekti puhul, kasutades ära olemasolevat maa-ala ja avarust sobib enim kuldse keskteena kohtkindla paigaldusega päikesejaam kui väikseima alginvesteeringu vajadusega lahendus. Päikesejaamade ligilähedased hinnad on tüüpvõimsustele vastavalt samas suurusjärgus, näiteks mikropäiksejaam 11 kW hind koos seadmete, installatsiooni ja vajaliku dokumentatsiooniga maksab 13 500€ [3]. Arvestades et kõik ehitustööd oleks kavas teostada omade jõudude ja vahenditega võib süsteemi kW hind jääda umbes 1000€ piirimaile. Teiste sarnaste päiksejaamade keskmine hind on aastatel 2013 ja 2014 olnud 1,38 €/W [19].

4.TUULEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED

4.1. Väiketuuliku kasuks valiku tegemine ja selle nüansid.

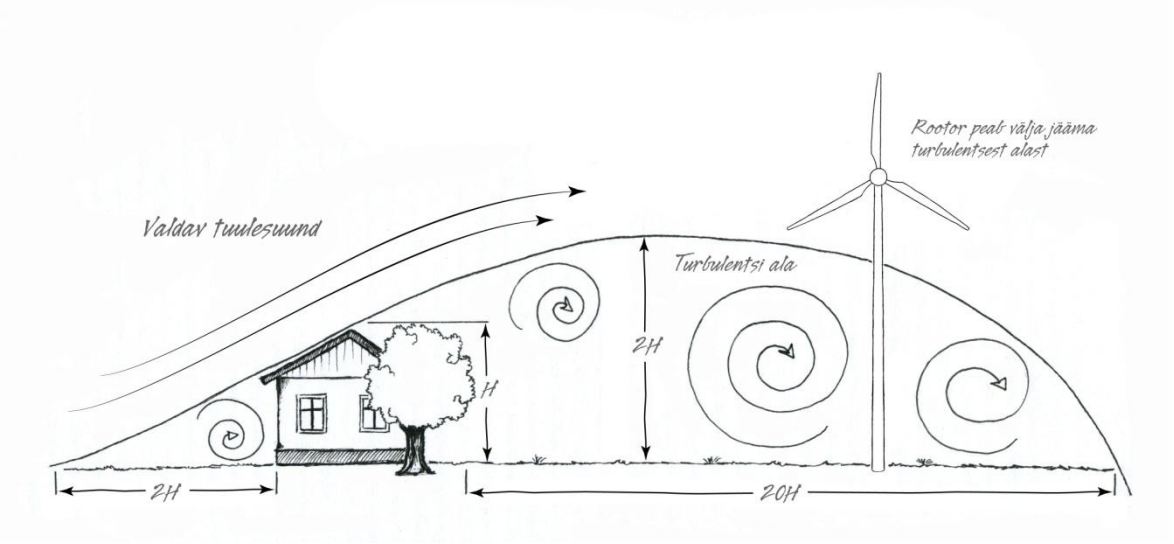
Kas kirest või sundolukorrast tingituna elades autonoomses majapidamises jääb paratamatult valgusvaestel aegadel päikeseviljakus puudulikuks või sootuks olematuks, jättes tarbjad elektrita. Hinnates mugavust, on päikesepaneelidele alternatiivse toena kasutada ära tuuleenergiat. Mõistagi ei käi see mitte vaid autonoomsete majapidamiste juurde, vaid iga tarbimisüksuse kohta, mille asukoht soosib tuuleenergia tootmist tarbitava elektri katteks.

Kui päikesejaama planeerimine ja selle ligilähedase tootlikkuse leidmine on suhteliselt lihtsalt teostatav, siis tuuleenergia oma kapriissete nüanssidega peab olema märksa põhjalikumalt läbi analüüsitum vältimaks investeeringu võimalikku kahjumlikkust. Soovides püstitada väiketuulikut, tuleb hoiduda eufooriapõhistest otsustest ja võtta aega põhjalikuks ettevalmistustööks. Väga hea üldpildi rajatud tuulikute tootlikkusest ja tehtud vigadest annab Tuuliki Kasoneni artikkel „Eesti hiljutised õppetunnid väiketuulikutega“[12]. Tuuleenergia tootmiseks on vaja tuult, selle olemasolu kajastavad *EMHI* andmebaasid Eesti piirkondlike tuuleandmetega, millede põhjal on koostatud ka tuuletingimusi ilmestavad tuulekaardid, mis näitavad piirkonna keskmised tuulekiirused ja suunad.

Väiketuuliku püstitamisel ei tasu täie tõena lähtuda vaid piirkondlike keskmisi kajastavaist tuuleandmeist, vaid tuleks kriitiliselt hinnata ja analüüsida iga koha sobivust tuuliku rajamiseks üksikasjalikult eraldi. Soovituslik on teostada aastase perioodiga tuulemõõtmised saamaks aimu antud keskkonna perspektiivist tuuleenergia tootmisel. Mandri-Eesti tuuletingimusi tuulekaardilt lugedes, saab kergelt aimu, et enamast ei küündi aastased keskmised tuulekiirused Eesti Tuuleenergia Assotsoiatsiooni poolt nimetatud minimaalse vajaliku tuulekiiruseni, milleks on keskmiselt 4,5m/s. Vähemtähtis tuulekiirusest pole ka paigalduskoha keskkonnatingimustega arvestamine. Tuulik töötab efektiivselt ühtlase tugeva tuule puhumisel, isegi tugevate tuulte olemasolul võib mistahes tuulesektoris asuv objekt või maastiku eripära (joonis 3.1) muuta tuule turbulentseks, omades kahjulikku mõju generaatori mähistele, mis võivad tugevatest puhangulistest iilidest tulenevate suurte voolude tõttu kuumeneda ja võimaliku isolatsiooni riknemisel

lühistuda. Antud puhkudeks on tuulikud varustatud ka kaitseseadmetega mis nimetatud tingimustes tuulikud lihtsalt välja lülitavad. Sellistel puhkudel tekibki olukord mil näiliselt hea ja tugeva tuulega ilmadel lülitub tuulegeneraator välja ega täida oma eesmärki. [25]

Tuulekiirus ja selle kvaliteet paraneb tuuliku paigalduskõrguse kasvades, olles vähem mõjutatav tuulesektoris paiknevate madalamate takistuste tekitatud häiringutest. Investeering masti kõrgusesse võib just sisemaa tingimustes olla määrava tähtsusega kui on seatud eeldused rajatise omatasuvuseks. Eesti tuulekaardil esitatud tuulekiirused on mõõdetud 10m kõrgusel maapinnast. Leidmaks tuule kiiruse tõusu suhet altituudi tõustes, on abiks veebipõhine kalkulaator, mis lähteandmetena arvestab kõrgust mil on teostatud algsed mõõtmised ja keskkonna iseärasusi iseloomustavat konstanti [22]. Tulemusena on toodud eeldatav tuulekiirus iga 10m altituudi tõusu kohta.



Joonis 4.1. Tuule teel paiknevatest objektidest tekkivad turbulentsed õhuvoolud ja nende suhteline mõjukaugus olenevalt takistuse kõrgusest. [25]

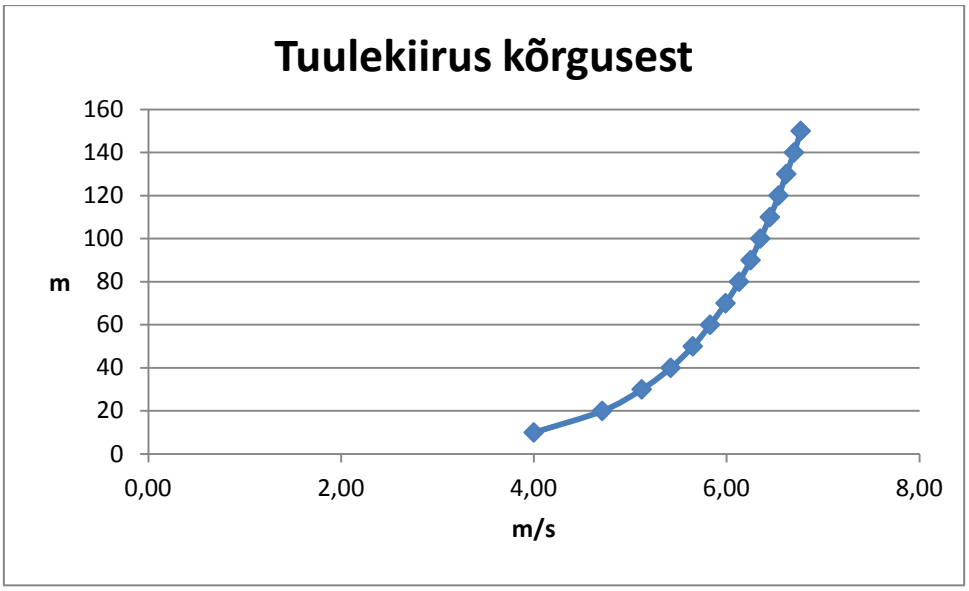
Ebasobivast asukohavalikust tingitud alla ootuste, kehvad tootlikkuse tulemused 10 väiketuuliku põhjal tehtud uurimustöös on õpetlikuks aineseks igale tuuliku püstitamist planeerivale inimesele[12]. Lisaks veendumaks vajaliku tuule olemasolus, on eeltööna ennatlik läbida bürokraatilised sammud, hankides kooskõlastused kohalikust omavalitsuset, naabritelt ja võrguühenduse korral ka võrguettevõttelt. Väiketuulikute mõju keskkonnale ei ole põhjalikult uuritud, mistõttu ei nõuta Keskkonnaameti kooskõlastust.

3.2. Väiketuuliku kasutusvõimalused Peedi talus

Peedi talu paiknemine hajaasustusega piirkonnas annab usku üksmeelse kogukonna heakskiidule, olemaks küla teerajajaks taastuvenergia kaardile. Viljandimaa keskmist tuulekiirust iseloomustatakse arvväärtusega 2,7 m/s. Kiirus, mis ei vääri mainimist tuuleenergia tootmisel. Siiski, Peedi talu asukohal on antud kontekstis ülejäänud Viljandimaa keskmiste näitajate ees pisike eelis. Asudes linnulennult 10km kaugusel Võrtsjärve rannajoonest, järvelt kanduvad hoogu kogunud tuuled läänesuunas jõudes ka Peedi talu hoovile enne Viljandimaa normaalile raugemist. Nii võib Eesti tuulekaardilt lugeda aastaseks tuulekiiruseks 3,5-4 m/s[15]. Ka see ei ole julgustav arv tuuliku püstitamiseks, ent julgustav arv kaalumaks võimalusi püüda tuuli kõrgemates sfäärides. Kasutades *wind data* kalkulaatorit, hinnates keskkonnateguriks 0,2 on eeldatavad tuulekiirused olenevalt kõrgusest näidatud Tabelis 3.1. ja graafikuna Joonisel 3.2.[22]

Tabel 4.1. Tuulekiirused olenevalt kõrgusest Peedi talu hoovil [22]

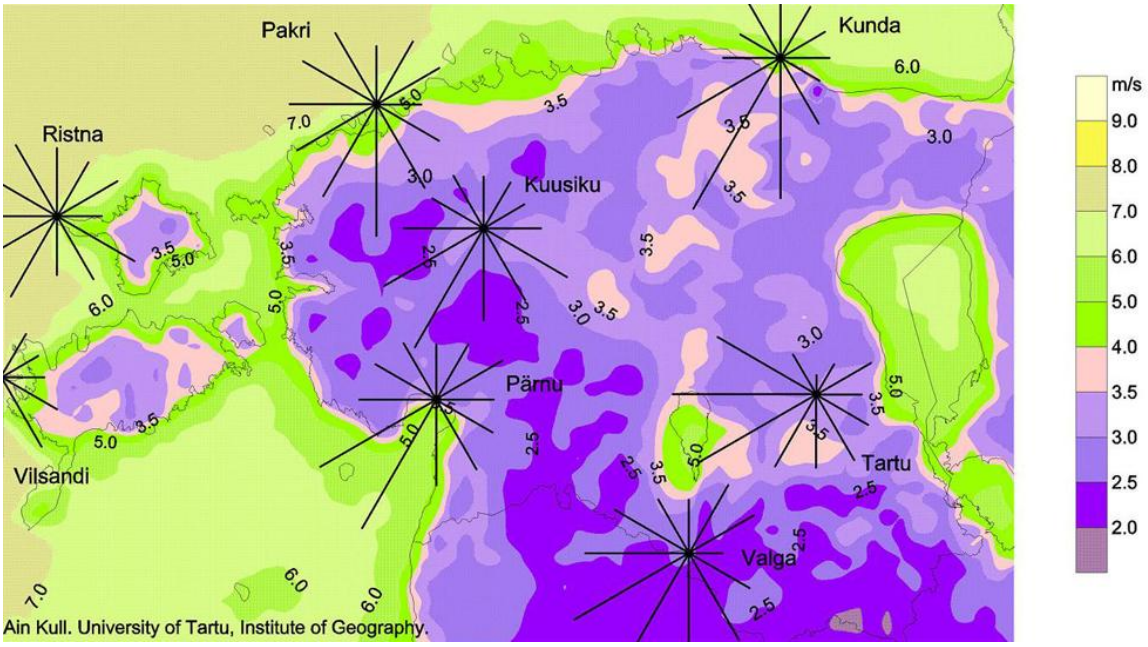
Kõrgus (m)	**Kiirus (m/s)**
60	5,83
50	5,65
40	5,42
30	5,12
20	4,71
10	4,00



Joonis 4.2 Tuulekiiruse tõus kõrguse tõusul [22]

Autori hinnangul on ühel kindlal kohal krundil selged eelised ülejäänud maa-ala ees võimaliku tuule püüdmiseks. Sobivaimaks asupaigaks on autor pidanud krundi lõunapoolseimat nurka, kus asub krundile tuleva võrgutoiteliini kandepost, näidatud joonisel 3.3. Kandepost oleks otstarbekas kaotada ja liin viia pinnasesse postivahe võrra varem. Valitud asukohast ≈150m kirdes on kasvamas põlispuud, mis on istutatud paralleelselt maja kirde poolse küljega ≈60m kaugusele. Need puud täidavad lisaks silmailule ka osaliselt maja tuuletõkke rolli. Kui idapoolset sektorit varjutab võsastunud krundipiir, mis tuleks puhastada, siis põlispuud peavad täies mahus säiluma. Arvestades plaanitava tuuliku ja lähimate kõrgete puude altituudi vahet (7-8m), on põhjust uurida võimalikke objektide mõjusi 30m kõrguse mastiga tuulikule. Ida-, edela- ja lõunakaarest avaneb koht põldudele. Loode- ja põhjakaares olevad ehitised võivad osutuda negatiivset mõju avaldavateks, kagusuunalt võib liiga lähedal asuv metsakultuur mõjutada tuule sobivust energiatootmiseks. Tähtis on valida ka keskkonnatingimustele vastavalt sobivaim tuulik. Nõrgemate keskmiste tuulekiirusega tuleks eelistada ka väiksemaid tuulikuid, mitte lähtuda vaid võimsusest. Kui võimsamatele tuulikutele on piisavat tuult harvem siis väiksem, vajades vähem tuult, töötab antud oludes ühtlasemalt ja toodab kokkuvõttes rohkem. Vaatamata mõnele tuult soosivale tingimusele, on tuuleenergia potentsiaal keskeesti tingimustes madal ja investeeringu tasuvus pikaajaline, tuleks teostada aastane mõõteperiood veendumaks kas pikaajaline tasuvus perspektiiv on positiivne või mitte . Kuna süsteemis on kuluosi nõuab tuulegeneraator ka korrapäralist hooldust. [25]

Joonis 4.3. Sobivaim koht uuritaval krundil väiketuuliku püstitamiseks.(Foto: erakogu)



Joonis 4.4 Eesti keskmised tuulekiirused ja suunad aastas mõõdetuna 10 m kõrgusel. [15]

5. PUITKÜTUSTE KASUTAMISVÕIMSLUSED

5.1.Puitkütuste kasutamine

Päikeseenergia hooajalisest efektiivsusest tulenevalt ei taga päikesejaam energiagarantiid valgusvaestel aegadel, mis eriti autonoomsetel süsteemidel sunnib leidma paralleelseid võimalusi energia tootmiseks. Maamajapidamises võib võimalike energiaallikatena välja tuua juba eelnevalt kirjeldatud tuuleenergiat, loomakasvatajatel ja maaviljelejatel biokütuste kasutamist ja ajalooliselt enim aegu kasutusel olnud puitkütuseid.

Peedi talu maal on potentsiaal omast mullast võrsunud võsa ja halupuuga tagatud elamu enregiavajadused. Nagu ka varem mainitult ei soovita olemasolevates tehnosüsteemides teha kapitaalseid muutusi, vaid toota nendne tarbeks kuluva energiaga vähemalt võrdväärne kogus energiat taastuvatest energiaallikatest. Seega ei ole käsitletud võimaliku halukatla paigaldust.

5.2. Maja ahjud

Saamaks maa seest soe tuppa, asub keldris elektriline soojuspump, moodustades orienteeruvalt poole majapidamises tarbitavast elektrienergiast. Mõistagi on elektrikulu aastaajati kordadesse ulatuva vahega. Vajaduse või soovi ilmnemisel talvise elektrikulu tippe siluda, on lihtsaim ja eeldatavasti ka mugavaim viis käia esiisade kombel talviti metsas küttepuid tegemas, kasutades neid hiljem ahjude kütusena.

Majas on kolm salvestavat kütteallikat, mis toimivad nii kiirguse kui konvektsiooni teel. Leidmaks ahjude täpset võimsust ja kasutegurit on vaja teostada põhjalikumad mõõtmised ahju koldes vabanevate suitsugaaside temperatuuri ja korstnasse suunduvate gaaside temperatuuride näol. Võttes arvesse, et ahjud on uueväärsed ja oma-ala spetsialisti poolt ehitatud, on kasutatud kirjanduses toodud pott- ja tellisahjude tüüpparameetreid. Nii eeldan ka kollete kasuteguriks mitte vähem kui EU standardis EN 15544 antud alumine piir 78%. Kütusena on arvestatud 20% niiskusega lepp. Tulemus on teoreetiline ja aitab näha ahjude

võimalikku potentsiaali tagavara- või tugikütteallikatena, jättes omanikule paindliku võimaluse oma soovidest või vajadustest lähtuvalt toetada maaküttesüsteemi, säästes nii tarbitavat elektrienergiat. Mugavus kaalutlustel reaalselt ahjusi ei köeta, seega jätab autor ahjude potentsiaali edaspidi arvestamata. [8;11]

Tabel 5.1. Küttekolded ja nende parameetrid.

	S_{ahi} (m^2)	V_{kolle} (m^3)	P_{max}/m^2(W)	P_{ahi} (kW)	η(%)	q_{lepp} (kWh/m^3)
Pottahi	10	0,28	650	6,5	78	1230
Tellisahi	9	0,0392	340	3	78	1230
Malmpliit tellismüüriga	3,25	0,0352	340	1,1	78	1230
Kokku	22,25			10,6		
Võimsus kadudega				8,268		959,4

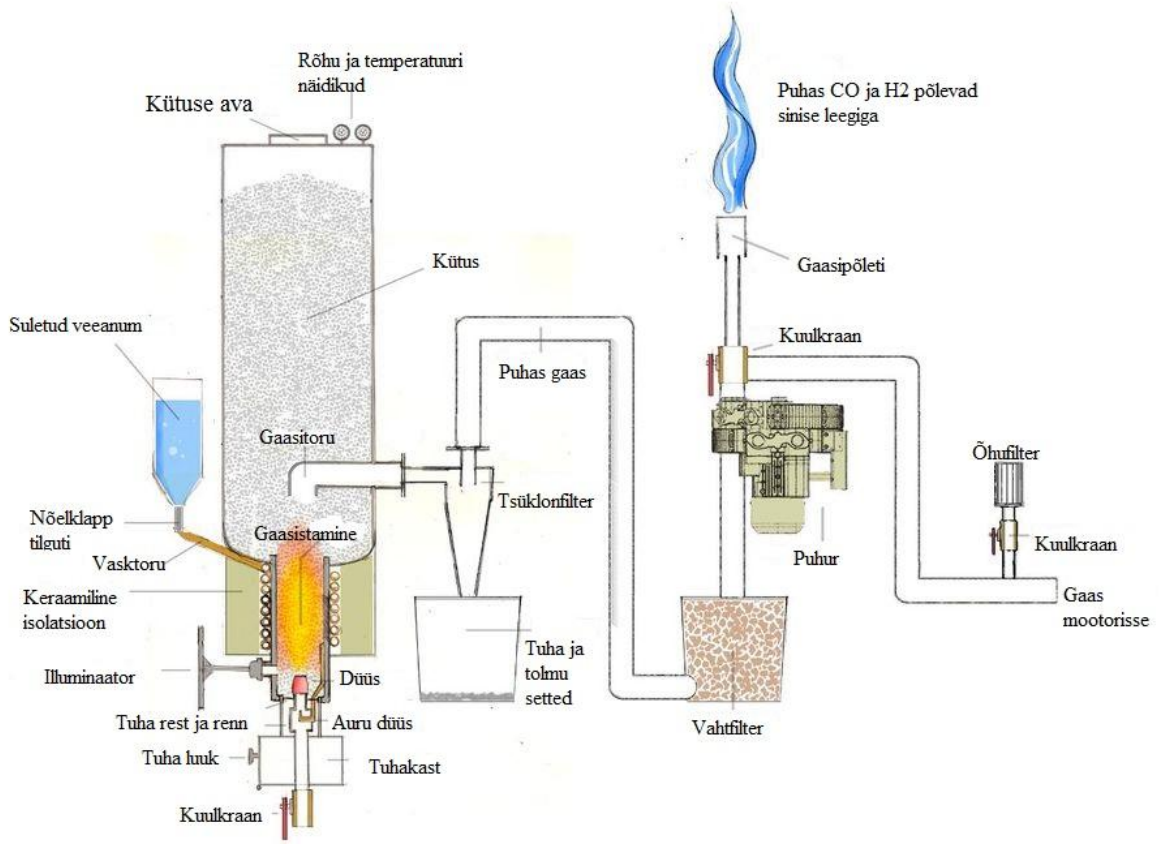
5.3. Puugaas

Puugaasi kasutamine ulatub vahelduvalt intensiivistuvate perioodidena üle 150. aasta taha. Vana ja kindla tehnoloogia kasutamine on perioodi päevakorda tõusnud just ajendatult keerulistest aegadest tingitud fosiilsete kütuste defitsiidist. Nii kasutati Teise maailmasõja ajal puugaasi nii auto mootorites kui ka tööstuste energiavajaduste katteks. Rahuajal on puugaasi kasutamine mootorikütusena olnud pigem tehnikahuviliste fanaatikute hobi.[10]

Täna on teema muude taastuvenergiaallikate tuules aina aktuaalsust kogunud ja vajalikud seadmed tehasetoodanguna turult hangitavad. Tänapäevased seadmed on märkimisväärselt efektiivsemad, töökindlamad ja kasutajasõbralikumad, olles parema ülesehituse ja automatiseeritud juhttoimingutega. Kes tehasetoodangu hinnast või fanatismist tingituna tahab ise väärt seadme valmis ehitada, neil on võimalus hankida üksikasjalikku kirjandust täpsete joonistega valdkonna meistritelt.

5.4. Puugaasi genereerimine

Puugaas on saadus, mis tekib puidu põlemisel hapnikuvaeses keskkonnas temperatuuriga ≈700°C, mille tulemusel vabanevad lämmastik, vingugaas, süsihappegaas, vesinik, metaan. Puugaasi generaatorite tööpõhimõte ja ülesehitus on läbi aegade jäänud samaks. Küll aga on tõhustatud isolatsiooni-, filtreerimise ja automaatikasüsteeme saades kõrgema efektiivsuse ja kasutusmugavuse. Generaatori tööprotsess algab sobilikus formaadis kütuse sisestamisega küttemahutisse, soovitatavalt peaks kütuse niiskussisaldus jääma alla 18% vältimaks liigse tõrva tekkimist ja ladestumist süsteemi sõlmedes. Mahuti alumises osas asub põleti, kus hapnikuvaesel puidupõlemisel eralduvad ülesse kerkivad gaasid ja alla vajuvad tahked jäätmed. Üleskerkivad gaasid väljuvad ahjust ja suunduvad tsüklonfiltrisse, kus gaas juhitakse mööda koonja filtri seinu ringeldes alla, jättes tahked osakesed mööda filtri seinu alla sadestuma, jätkates edasist teekonda filtri keskel olevat kanalit pidi teekonda tarbijani. Teekonnal peab gaas loovutama üleliigse soojusenergia, sobimaks mootorikütuseks. Puugaas generaatori põhimõtteline skeem on näidatud joonis 4.1. Kui generaatori ja tarbijavaheline juhistik on lühike ega piisa kütuse jahutuseks, kasutatakse soosjusvaheteid. Järgnevalt läbib gaas peenfiltri, kaotamaks viimased tahked osakesed. Enne mootorit tuleb gaasile lisada paras hulk õhku, kas käsitsi reguleerimisel või automatiseeritult õige küttesegu saavutamiseks. [10;23]



Joonis 5.1 Puugaasi generaatori põhimõtteskeem [18]

5.5. Puugaasist elektri tootmine Peedi talus

Puhtast puugaasist elektritootmiseks tuleb seda kasutada elektrigeneraatorit käitava moororikütusena. Pideva energia konverteerimisel kaasnevad soojuskaod, mis tuleb efektiivselt koguda ja kasutada kasuliku energiana. Olenevalt, kas kasutatakse sisepõlemismootoreid või turbiinmootoreid erinevad ka kasutegurid ja elektri- ja soojusenergia osakaal. Lokaalse kütusena on võimalik kasutada võsahaket. Puugaasi kütteväärtuseks loetakse 1,25 MJ/1000m^3.[10] Peab siiski tõdema, et tänapäevases igapäevaelamus sellise süsteemi rakendamine on tülikas ja nõuab palju resurssi kütuse ettevalmsitamisel, seetõttu jääb selline viis ka antud juhul ootama kehvemaid aegu. Selline süsteem sobiks ennekõike autonoomseisse süsteemidesse. [10;23]

KOKKUVÕTE

Koostatatud bakalaurusetöö protsessi käigus järeldus, et rakendades tänapäevaseid energitõhusaid tehnoloogiaid ja ehitustandardeid, on võimalik viia ka 114. aasta vanune eluhoone vastama liginullenergia tõhususstandarditele. Võimalusi tõhusamaks energiakasutuseks otsides ja neid leides, sai selgeks, et seatud eesmärgi saavutamiseks oleks vaja rakendada kõiki võimalikke käsitletud energia kokkuhoiu meetmeid. Uurimus näitas, et tarbitava energia kokkuhoid oleneb seadmete efektiivsusest, kuid ka kasutajate teadlikkusest kuhu ja millele elekter kulub. Nii ilmnesid kitsaskohad, mida lihtsaloomuliste võtetega tõhustada, tehes esimesed sammud seatud energiatõhususe eesmärgini jõudmiseks. Pisemate isolatsiooni puudujääkide kõrvaldamine, efektiivsete seadmete kasutamine ja tühitarbimise vältimine annavad kokku märgatava kokkuhoiu. Kui optimeerida küttetemperatuuri 2° madalamale, on eeldada kuni 10% väiksemat küttekulu. Suurimat kasutegurit on loota ventileeritava õhu temperatuuri taaskasutusel kütteperioodidel, mis oleks ka suurim rahaline finantseering. Selleks, et maja targad tehnosüsteemid soovitud tulemusi teeniksid, peab neil olema tark peremees, arvuti kes harmoniseeriks maja erinevate üksuste tööd parimal võimalikul efektiivsusel. Püüeldes liginullenergianormideni oleks tõenäoline tulem Tark Peedi talu, kus inimesele jääb vaid monitoorimise rõõm. Kui on vahendeid ja soov, on kõik võimalik. Energiatõhus maja võiks olla esimene samm energiasõltumatuse suunas, järgmise sammuna sai uuritud vajamineva energia lokaalse tootmise võimalusi. Autor tõdeb, et taastuvatest energiallikatest hajatootmisel on ka Eesti tingimustes küllaldast perspektiivi. Nii ka Peedi talu eluhoone energiavarustamiseks olemasolevatest energiaallikatest. Pidades küll päikeseenergia tootmisviisi eeliseid teiste tootmisviiside ees antud asukohast ja mugavusaspektist lähtuvalt parimaks. Usk tuuleenergia potentsiaali antud asupaigas on madal, ent õige tuuliku ja masti valimisel on mõningane toodang saavutatav. Nii said töö käigus selgeks peamised vead, mis varem tehtud, arvestamine maastiku, objektide ja kasvukultuuridega, et hinnata tuuliku püstitamise mõttekust. Kui päikese ja tuuleenergia on leidnud palju kõlapinda ja saanud trendikateks lahendusteks hajaenergija tootmisel, siis

autorile uudse ja põnevavana tundus vana kuid perioodi populaarsust koguva tehnoloogia uurimine, mille abil saab ise hõlpsa vaevaga puugaasi toota. Puugaasi generaator oleks kahtlemata suureks abiks autonoomses majapidamises käitamaks sisepõlemismootoriga generaatorit laadimaks akusi valgusvaestel aegadel. Lähtudes analüüsist ja algselt püstitatud uurimusküsimusestest võib kokkuvõtvalt väita, et investeerides kaasaegsesse tehnoloogiasse ja kasutades ehituslahendusi on liginullenergial Peedi talu täiesti teostatav. Energiatõhusa eramu ja seda varustava taastuvenergia elektrijaama tasuvus on suhteline. Kui arvestada 11 kW süsteemi ja ventilatsiooniagregaadi maksumust, võib tasuvusaeg saada võrsdseks seadmetele seatud kestvusajaga. Hüpoteesid pidasid paika. Algselt püstitatud küsimused said küll vastuse, ent töö käigus tekkis palju küsimusi juurde, mis ajendab teemaga jätkama ja hakata plaane ellu viima.

OPTIONS FOR PEEDI FARM LIVING HOUSE NEARLY ZERO- ENERGY SOLUTIONS

Summary

When looking for possible options to improve Peedi farm house energy consumption, it got clear that for reaching the goal, all options must be brought to bear. In this case it is very much possible to reach economical standards of nearly zero houses. Searching the weak spots of the house, showed few easily repairable insulation failures and human caused energy losses. There was detected that room temperature was chosen to be the hottest, lowering it for 2°C would hopefully give 10% savings. Still the biggest saving is hoped to get from heat exchange of ventilation at heating periods. Loading house with last technology means that different units need to be harmonized by being controlled by computer. It means that when reaching nearly zero-energy standards, it is logical that final result is going to be Smart-Peedi farm house, where human's role would be just observing. If there is capability of further investment and a good will, everything can be done. Research methods were: observation for possible losses, analyzing literature based on practical case studies and energy company efficiency calculator. When energy efficient house would be the first step to energy independence, then producing own electricity from renewable sources, should be the next. That is why author found out possibilities and terms for using local renewable sources to supply the household. For finding out capabilities of options, author used online databases, experience based literature for learning mistakes of others. Also, author used online calculators for calculating solar radiation potential and for wind terms in observed location. Author definitely judged solar system to be much more convenient to these conditions, still not letting down wind potential, if the spot is right and the windmill chosen wisely. While researching, author had lot experience and knowledge for taking in mind the speciality of different solutions and options. Wood as renewable fuel was considered as backup source for electrical technologies. Options for using wood were divided into two: heating stoves, and gasifing wood for engine fuel. Gasifing wood is old technology with long history, which has always helped out when other fuels are not

available. After analysis it is concluded that nearly zero-energy standards can be reached by using modern technological solutions and local electricity production will mostly be solar energy based. Its also possible to use wind energy but not for high outputs. Hypothesis created before analyzing met my expectations and Peedi farm could possibly reach to nearly zero-energy standards and could be supplied by local renewable energy.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Eesti Energia**. Energia kalkulaator. https://www.energia.ee/et/energiaprofiil (23.05.2016)
2. **Eesti Vabariigi Valitsus** (2012), Energiatõhususe miinimumnõuded 1.ptk https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004 (23.05.2016)
3. **Energogen.** Päikesejaamade tüüphinnad. http://energogen.ee/paikeseenergia/naidislahendused/ (23.05.2016)
4. **Euroopa Komisjon**. (2010). Brüssel. 22lk. (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:ET:PDF (23.05.2016)
5. **Euroopa Komisjon.** (2010). Energia 2020 Säästva, konkurentsivõimelise ja kindla energia strateegia; Teatis; Brüssel. (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:ET:PDF (23.05.2016)
6. **Euroopa Komisjon.** (2011). Energia Energia tegevuskava aastani 2050; Teatis; Brüssel. 20 lk. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:ET:PDF (23.05.2016)
7. **Euroopa komisjon**.(2012). PVGIS- Photovoltaic Geographical Information System: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php (23.05.2016)
8. **Hovi, M**. (2014). Hea ahi soojeneb ühtlaselt- Maaleht. [e-ajaleht] http://maaleht.delfi.ee/news/maamajandus/uudised/hea-ahi-soojeneb-uhtlaselt?id=69577941 (23.05.2016)
9. **Jakobson,M., Tiit,V.** (2015). Päikeseenergia kasutamine talus Lõuna-Eestis - *Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine*./ Elis Volmer. Seitsmeteistkümnenda konverentsi kogumik. Tartu: OÜ Paar, lk 16-24.
10. **Kask, Ü**. (2011) Biomassi termokeemiline töötlemine – pürolüüs. TTÜ. 38 lk. http://www.eby.ee/Biomassi_termokeemiline_tootlemine.pdf (23.05.2016)
11. **Kask, Ü., Muiste, P. Vares, V,**. (2010). Puitkütus. Tallinn: SA Erametsakeskus. 20lk. http://www.eramets.ee/static/files/762.Brosyyr_Puitkytus_2010.pdf (23.05.2016)
12. **Kasonen,T.** (2015). Eesti hiljutised õppetunnid väiketuulikutega - *Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine*./ Elis Volmer. Seitsmeteistkümnenda konverentsi kogumik. Tartu: OÜ Paar, lk 6-15.
13. **Kets, K.** (2015) Pariisi kliimakonverents 2015. Keskkonnaministeerium. http://www.envir.ee/sites/default/files/2015_11_18_pariis_kliimakonverents_esitlus_katre_kets.pdf (23.05.2016)

14. **Kliimakaubamaja OÜ** Thermia Diplomat Optimum G3 13kW maasoojuspump. http://www.kliimakaubamaja.ee/14/2/maasoojuspumbad/thermia-diplomat-optimum-g3-13kw-maasoojuspump-detail.html (23.05.2016)
15. **Kull, A**. Eesti Tuuleatlas. Magistritöö. Juh.: Ü.Mander, J. Jaagus. Tartu Ülikool, 1996. http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/tuuleatlas/ (23.05.2016)
16. **Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.** (2014). Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 (2015); eelnõu; Tallinn. 115 lk. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/5/5b/ENMAK_2030._Eeln%C3%B5u_13.02.2015.pdf (23.05.2016)
17. **Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.** Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020. (2015). 66 lk https://www.mkm.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/energiamajanduse_arengukava_2020.pdf (23.05.2016)
18. **Martz, T.** (2014) http://opensourceecology.org/wiki/Troy_Martz_Gasifier (23.05.2016)
19. **Märss, M., Järvik, J., Annuk, A., Allik, A., Uiga, J.** (2014) Mikrotootmisjaamgaga eramu elektrienergia tarbimise ja tootmise analüüs- Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutmaine./E.Volmer, A. Allik, E. Jõgi, J. Uiga. Seitsmeteistkümmnenda konverentsi kogumik. Tartu: OÜ Paar, lk 42-53.
20. **Norden.** (2014). Mugavad siseruumi tingimused. http://bef.ee/wp-content/uploads/2014/04/09_mugavad-siseruumi-tingimused_final_EE.pdf (23.05.2016)
21. **Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M**. (2012) *Elekter Päikesest ja Tuulest*: Lood inimestelt ja kasulikud vihjed ise elektri tootmiseks. Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast. 155lk.
22. **The Swiss Wind Power Data Website.** Tuulekalkulaator. http://www.wind-data.ch/tools/profile.php?h=10&v=4&z0=0.1&abfrage=Refresh (23.05.2016)
23. **TTÜ Mehaanikateaduskond**, Soojustehnikainstituut. Elektri ja soojuse koostootmine. *TTÜ*. https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/16._Elektri_ja_soojuse_koostootmine.pdf (23.05.2016)
24. **Tull, B**. (2001) Photovoltaic Cells: Science and Materials http://www.molchem.science.ru.nl/rowan/Coll/caput-college/PhotovoltaicCells.pdf (23.05.2016)
25. **Tuuleenergia Assotsiatsoon.** Tuuliku asukoha valik. Tuuleenergia Assotsiatsoon http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/asukoha-valik/ (23.05.2016)
26. **Kliimaseade OÜ**. Soojustagastusega ventilatsioon. http://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/ventilatsioon/soojustagastusega-ventilatsioon/ (23.05.2016)

LISAD

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (avaldamise tähtajatu piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mihkel Mölter,

sünniaeg 07.03.1989,

1) annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Peedi taluelamu liginullenergiahooneks muutmise võimalused mille juhendaja on, dotsent Veli Palge, *DrSc*

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sh digitaalarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2) olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3) kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Mihkel Mölter

(*allkiri*)

Tartu, 25.05.2016

(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ _____

(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)