

ERAMU TAASTUVENERGIALE ÜLEMINEK JA SELLE TASUVUSANALÜÜS

RENEWABLE ENERGY SOLUTION FOR RESIDENTIAL HOUSE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Lona Torim

Üliõpilaskood 192486NAEM

Juhendaja: Jane Raamets, lektor

Tartu 2021

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.

“24” mai 2021

Autor: Lona Torim

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“24” mai 2021

Juhendaja: Jane Raamets

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“24” mai 2021

Kaitsmiskomisjoni esimees Annely Kuu, allkirjastatud digitaalselt

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Lona Torim (07.05.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Eramu taastuenergiale üleminek ja selle tasuvusanalüüs

mille juhendaja on

Jane Raamets

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

Allkirjastatud digitaalselt

"24"mai 2021 a

TalTech Tartu kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Lona Torim 192486NAEM
Õppekava, peeriala: NAEM06/18 Tööstusökoloogia
Juhendaja(d): lektor Jane Raamets (PhD), +372 55 61 33 44

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Eramu taastuenergiade üleminek ja selle tasuvusanalüüs

(inglise keeles) Renewable energy solution for residential house

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada välja majanduslikult kõige tasuvam taastuenergialahendus

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade ja olemasoleva olukorra alginformatsiooni kogumine	01.01.2021
2.	Hinnapakkumiste tegemine, materjalidega tutvumine	01.04.2021
3.	Saadud informatsiooni ja kirjanduse analüüs, tulemuste vormistamine	20.05.2021

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "24"mai 2021 a

Üliõpilane: Lona Torim allkirjastatud digitaalselt

Juhendaja: Jane Raamets allkirjastatud digitaalselt "24"mai 2021 a

SISUKORD

EESSÕNA	7
Jooniste loetelu	8
Tabelite loetelu	9
SISSEJUHATUS	10
1 TAASTUVENERGIA	11
1.1 Päikeseenergia	12
1.1.1 Päikesepaneelid	13
1.1.2 Päikeseelektrijaam	15
1.1.3 Võrguühenduseeta süsteemid	16
1.1.4 Elektrivõrguga ühendatud süsteemid	17
2 TUULEENERGIA	19
2.1 Tuulikud	21
3 MAASOOJUSENERGIA	23
3.1 Maasoojuse liigid	24
3.2 Küttejaoituse süsteemid	29
4 NÕUDED JA TOETUSED	31
5 MATERJAL JA METOODIKA	32
5.1 Uuringuobjekti kirjeldus	32
5.1.1 Saadjärve mõisa kärnerimaja ja selle energiavarustus	32
5.2 Hinnapakkumised	34
5.3 Tasuvusanalüüsi meetoodika	34
5.3.1 Päikeseenergialahenduse tasuvusaeg	34
5.3.2 Maasoojuspumba tasuvusaeg	35
5.3.3 Muud andmed	35
6 TULEMUSED JA ARUTELU	36
6.1 Energiatarbimine	36
6.2 Energiakulud	38
6.3 Eramu soojustus	40
6.4 Maasoojuslahendused	40
6.4.1 Hinnapakkumised	41
6.4.2 Maakontuuri asukoht ja kollektori, küttejaoitussüsteemi valik	42
6.4.3 Maasoojuspumpade tasuvusarvutus	43
6.5 Päikeseenergialahendused	44
6.5.1 Hinnapakkumised	45
6.5.2 Autori poolt välja pakutud asukoht ja päikesepargi talitus	47
6.5.3 Reaalne asukoht päikesepargi rajamiseks ja selle võimekus	48

6.5.4 Päikesepargi tasuvusarvutus.....	50
6.6 Tuuleenergialahendus	50
KOKKUVÕTE	53
Summary	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56
LISAD	63
LISA 1 Erasmus paiknevad kütteseadmed	64

EESSÕNA

Magistritöö teema sõnastati töö autori ja juhendaja algatusel. Käesolev töö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžis, tööstusökoloogia erialal. Antud teema valiti magistritööks isiklikust huvist lähtuvalt, sest uuritav eramu kuulub autori vanematele ja lähitulevikus on soov üle minna taastusenergialahendusele. Lõputöö valmimisele aitas kaasa juhendajana lektor Jane Raamets.

Töö eesmärgiks oli leida majanduslikult sobiv taastuenergialahendus, millele Saadjärve mõisa kärnerimajal oleks tasuv üle minna. Töö läbiviimiseks teostati tasuvusanalüüs ja saadeti hinnapakumiste päringuid ettevõtetele. Uuriti päikesepaneelide, tuuleturbiini ja maasoojuspumpade tasuvust. Elektrivajaduse katteks leiti, et majanduslikult sobiv lahendus on üleminek päikeseenergiale. Päikesepargi tasuvusajaks saadi keskmiselt 8 aastat, koos piirdeaiaga ligikaudu 10 aastat. Tuuleenergiale üleminek elektrivajaduse katteks välistati, kuna eramu asub voorel madalamas osas ja kinnistul on kõrged puud, mille tõttu võib tuulik jääda turbulentsialasse, millega nõrgeneks tuuliku võimekus ja tootlikkus. Töös leiti, et küttevajaduse katmine maasoojusenergiaga ei ole majanduslikult tasuv, kuna tasuvusajaks saadi ligikaudu 15 aastat. Nii kõrge on tasuvusaeg seepärast, et eramu küttekulud aastas on väikesed, mis on tingitud sellest, et eramu on peamiselt puuküttega ning saab vajaliku puidu kütmiseks kinnistult kohapealt.

Võtmesõnad: taastuenergia, päikeseenergia, tuuleenergia, maasoojusenergia, tasuvusanalüüs.

Jooniste loetelu

Joonis 1 Võrguühenduseeta süsteem (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012)	16
Joonis 2 Võrguühendusega süsteem (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012).....	17
Joonis 3 Tuuliku turbulentsi ala (Tuuleenergia, 2019).....	20
Joonis 4 Rõhtteljega (horisontaal) ja püstteljega (vertikaal) tuulegeneraator (Windpower, 2017).....	22
Joonis 5 Horisontaalne süsteem maaküttel (Kliimaseade, 2020)	25
Joonis 6 Vertikaalne maasoojuspumba süsteem (Maaküte-info, 2021).....	26
Joonis 7 Spiraalkollektor (Heatcom, 2020).....	27
Joonis 8 Põhjavesi: vertikaalne puurkaevusüsteem (Maaküte-info, 2021)	28
Joonis 9 kollektor veekogus (Maaküte-info, 2021)	29
Joonis 10 Eramu asukohaskeem (Maa-ameti geoportaal, 2020).....	33
Joonis 11 Saadjärve mõisa kärnerimaja (Torim, 2021)	33
Joonis 12 Viimase kolme aasta eramu keskmine elektritarbimine (Elektrilevi, 2021) .	36
Joonis 13 Viimase kolme aasta eramu kalendrikuu põhine keskmine elektritarbimine (Elektrilevi, 2021).....	37
Joonis 14 Viimase kolme aasta eramu kalendrikuu põhine keskmine elektrikulu (Alexela, 2021)	38
Joonis 15 Elektrikulu viimasel kolmel aastal (Alexela, 2021).....	39
Joonis 16 Kinnistul võimalik maakontuuri asukoht (Soojuskeskus OÜ, Maa-amet, 2021).....	42
Joonis 17 Autori enda poolt välja pakutud päikesepargi asukoht (Maa-amet, 2021) ..	47
Joonis 18 Asukoht pakujate poolt, kuhu oleks hea päikepark planeerida (Maa-amet, 2021).....	48
Joonis 19 Eramu teisel korrusel paiknevad kütteseadmed (Torim, 2021)	64
Joonis 20 Eramu esimesel korrusel paiknevad kütteseadmed (Torim, 2021).....	64
Joonis 21 Eramu esimesel korrusel paiknevad lisa (elekter) kütteseadmed (Torim, 2021).....	65

Tabelite loetelu

Tabel 1 Maasoojuspumpade pakkujad ja andmed	41
Tabel 2 Eramu ligikaudne rahaline kulu kütmisele ühe aasta jooksul	43
Tabel 3 Päikesepargi pakkujad ja andmed	45
Tabel 4 Tasuvusaja arvutuse põhilised andmed päikesepargi rajamisel	50
Tabel 5 Väiketuuliku Tuule E200 andmed (Energiaekspert OÜ, 2021)	51

SISSEJUHATUS

Maa energiavajadus kaetakse ligikaudu 80% ulatuses taastumatute loodusressursside põletamise teel (Soysal, A & Soysal, S, 2020). 20. sajandi viimaste aastakümnete jooksul on säästva ja puhtama taastuvenergia võimaluste otsimine kiirenenud, kuna fossiilkütuste varude ammendumine on muutunud üha selgemaks ning üldsuse teadlikkus keskkonnareostusest ja kliimamuutustest on suurenenud (*Ibid*).

Hoonetel on märkimisväärne osa energiatarbimisest ülemaailmselt ja piirkondlikult (Yüksek, Karadag, 2021). On selge, et taastuvate energiaallikate kasutamine hoonetes toob kasu nii keskkonnale kui ka majandusele (*Ibid*). Selle energiakoguse võimalikult suur vähendamine ja taastuvatest allikatest saamine on üks tõhusamaid meetodeid, mis annavad hoonetele energiatõhususe ja ökoloogilised omadused (*Ibid*). Praegu on mitmeid võimalusi, et investeerida taastuvenergia lahendustesse, näiteks saab suurendada päikese-, tuule- ja geotermaal ressursside kasutamise määra hoonetes (*Ibid*).

Selle magistritöö eesmärk on välja selgitada kui tasuv oleks majanduslikult taastuvenergia tehnoloogia kavandamine ja paigaldamine kütte- ja elektrivajaduse katteks ühele konkreetsele eramule – Saadjärve mõisa kärnerimajale. Uurimuse eesmärk on parandada energiatõhusust, edendada taastuvate energiaallikate kasutamist, vähendada energiakulusid ja toetada keskkonnasõbralikke praktikaid energeetika valdkonnas. Töös uuritakse tasuvusanalüüsi meetodi abil kui mõttekas majanduslikust aspektist vaadelduna oleks antud eramul üle minna päikeseenergiale, tuuleenergiale ja maasoojusenergiale. Elektrivajaduse katteks uuritakse päikesepaneelide ja väiketuuliku rajamist. Küttevajaduse katteks uuritakse kui tasuv oleks maaküttelahendus Saadjärve mõisa kärnerimajal.

Töös püstitati eesmärgist kaks hüpoteesi:

- Majanduslikult kõige tasuvam taastuvenergialahendus on üleminek päikeseenergiale
- Tuuleenergiale üleminek on majanduslikus mõttes kõige kallim

Töö esimesed kolm peatükki sisaldavad kirjanduse ülevaadet, kus kirjeldatakse taastuvenergialahendusi, täpsemalt päikeseenergia, tuuleenergia ja maasoojusenergia. Töö neljas peatükk räägib nõuetest ja toetustest. Viiendas peatükis käsitletakse töö materjali ja meetodikat ning kuuendas peatükis on toodud töö tulemused ja arutelu saadud tulemuste üle. Lisas on välja toodud eramus kasutusel olevad kütteseadmed.

1 TAASTUVENERGIA

Euroopa Liidu eesmärgiks on olla aastaks 2050 kliimaneutraalne, kaitstes sellega planeeti ja inimesi (EU, 2021). Oma osa mängivad kõik ühiskonna osad ja majandussektorid - alates energiasektorist kuni tööstuse, transpordi, hoonete, põllumajanduse ja metsandusega (*Ibid*). Kliimaneutraalsesse ühiskonda üleminek on suur väljakutse kui ka võimalus kõigi jaoks, et üles ehitada parem tulevik (*Ibid*). Tee kliimaneutraalse majanduse poole nõuab ühistegevust mitmes strateegilises valdkonnas ja üheks neist on taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt (*Ibid*).

Taastuvate energiaallikate kasutamise tähtsus elektrienergia tootmiseks kasvab üha enam nii Eestis kui ka mujal maailmas (Mayer, Hazboun, Howe, 2021). Taastuvad energiaallikad on süsinikneutraalsed ja järjest konkurentsivõimelisemad võrreldes traditsiooniliste taastumatute energiaallikatega (*Ibid*). Need erinevad fossiilkütustest peamiselt mitmekesisuse, arvukuse ja kasutamismõimaluste poolest kõikjal planeedil, kuid ennekõike sellepoolest, et nad ei tekita kasvuhuonegaase ega teisi saastavaid heitkoguseid, mis põhjustavad kliimamuutusi (Tao, Qiu, Lai jt, 2021).

Taastuvenergiaks nimetatakse looduslikest ressursidest genereeritud energiat, mida saab kasutada järjepidevalt või mis taastub ökosüsteemide ainete ringluse käigus, ilma, et selle kogus inimtegevuse mõjul väheneks määral, mis ohustaks kohalikke ökosüsteeme (Ellabban, Abu-Rub, Blaabjerg, 2014; TEK, 2017). Taastumine eeldab, et ressursse kasutatakse jätkusuutlikult ehk neid ei tarbita rohkemal määral kui juurde tekib (Tanning, 2010).

Taastuvenergialiike on mitmeid, näiteks: tuule-, bio-, päikese-, geotermiline ja hüdroenergia (Ellabban, Abu-Rub, Blaabjerg, 2014). Neid kõiki saab rakendada vähemal või suuremal määral Eestis Euroopa Liidu poolt seatud eesmärkide saavutamiseks (Keskkonnaministeerium, 2019). EL on seadnud eesmärgiks, et 2030. aastaks peaks moodustama taastuvenergia ELis tarbitavast energiast vähemalt 27% (Resch, Welisch, Liebmann jt, 2016;). Energiatarbimine on piirkonniti erinev ning selle näitajad sõltuvad näiteks elatustasemest, majanduskasvu määradest, energiahindadest, tehnoloogia arengust, ilmastikuoludest, elanikkonna suuruselt (Gordon, 2001).

Praegune eesmärk vähendada hoonete energiatarbimist on oluline, kuna elamute sektor tarbib energiaahelas olulise osa energiast ehk taastuvatel energiaallikatel ja tehnilistel lahendustel peaks selles püüdluses olema peamine roll (Panwar, Kaushik, Kothari, 2021). Elektrienergia saadakse tavaliselt fossiilkütusel töötavate elektrijaamade

tarnitavast võrgust (Kosonen, Keskisaari, 2020; Chwieduk, 2021). Kivisöel töötavate elektrijaamade toodetud elektrit iseloomustab eriti suur primaarenergia tarbimine, kuna kütuse elektrienergiaks muundamise efektiivsus on suhteliselt madal (*Ibid*). Seetõttu peaks primaarenergia tarbimise vähendamiseks elektrit tootma taastuenergia süsteem (*Ibid*). Ühepereelamute puhul on võimalik rakendada päikese või tuuleenergia süsteeme (*Ibid*).

Viimastel aastatel on taastuenergia tehnoloogia hind langenud nii märkimisväärselt, et üleminek taastuenergiapõhisele elektrisüsteemile annab tõenäoliselt käegakatsutavat kulude kokkuhoidu (Spiegel-Feld, Rudyk, Philippidis, 2016). Saavutamaks jätkusuutlikum energiatarbimine, saab iga inimene investeerida enda isiklikku elektritootmiseseadmesse (Loite, 2019).

1.1 Päikeseenergia

Päikeseenergia on kõige rikkalikum energiaallikas Maal ning taastuva energiaallikana on sellel kanda oluline roll tulevikus (Loite, 2019; Acciona. 2020). Päikeseenergia kasutamise populaarsus on kasvanud ka Eestis (*Ibid*). Kui mõned aastad tagasi ei olnud päikesepaneelide kasutamine levinud Eesti elamuehituses, siis nüüd on järjest rohkem näha majade katustel, seintel, rõdupiiretel või kruntidele paigaldatud fotoelektrilisi paneele (*Ibid*)

Fossiilkütuste varude ülemaailmse languse ja nende kasutamisel eralduvate heitkoguste tõttu kliimamuutustesse, liiguvad paljud riigid madala süsinikujalajäljega taastuenergiaallikate poole (Mbungu, Naidoo, Bansal jt, 2020). Päikeseenergia hiljutised arengud nagu täiustatud tehnoloogia, päikeseenergia rakenduseadmete kulude vähenemine ja võimalik kasutamine energiasalvestussüsteemidega, muudab selle energialiigi üha kättesaadavamaks (Adaramola, 2014). Seega võib eeldada, et ülemaailmses energiaallikate kombinatsioonis on päikeseenergial märkimisväärne roll, nii arenenud kui ka arengumaades (*Ibid*).

2019. aasta andmetel sõltus globaalne energiatootmine 84% ulatuses taastumatutest ressurssidest (Mufutau Opeyemi, 2021). Seevastu taastuvad energiaallikad enda elutsükli jooksul kasvuhoonegaase ei tekita või tekitavad vähem (Panwar, Kaushik, Kothari, 2021). Kui suurendada taastuenergialahenduste osakaalu energiasalvatuses, siis see tagab õhku paisatavate kasvuhoonegaaside koguse vähenemise ja saamegi

kollektiivselt süsinikujälge vähendada (*Ibid*). Seega saab iga inimene aidata õhusaaste vähendamisele kaasa ise, sest on teada, et õhusaaste mõjutab otseselt meie igapäevast tervist (*Ibid*).

Päikeseenergia pakub palju eeliseid, mis muudavad selle üheks kõige paljulubavamaks energiavormiks (Loite, 2019; Acciona, 2020). See on taastuv, keskkonnasõbralik ja kogu maailmas kättesaadav ning aitab kaasa säästva arengu eesmärkide saavutamisele (*Ibid*). Päikeseenergia kasutamist rakenduse järgi saab jagada kaheks: elektrienergia tootmiseks päikesepaneelide abil ja soojusenergia tootmiseks päikesekollektorite abil (*Ibid*).

Elektrilevi statistikast on näha, et väikeste päikesejaamade arv kasvab Eestis järjepidevalt (TMKE: A, 2019). Näiteks 2018 aastal lisandus elektrilevi võrku üle 500 päikeseenergia tootja ja iga aastaga see hulk aina tõuseb (*Ibid*). Vajaliku elektri tootmine päikeseenergia abil koduseks tarbimiseks on suhtelist uus nähtus Eestis (*Ibid*). Alles aastal 2012 hakkas Elektrilevi võimaldama mikrotootjana liitumist (*Ibid*). Sellest ajast on selliseid kodusid aina rohkem, kes lisavad maja katusele paneele, millega aitavad päikesepaistelisel päeval oluliselt elektrienergiat säästa (*Ibid*).

On teada, et süsteemid, mis toituvad valgusest on päikselisema kliimaga kohtades mõistagi palju tootlikumad (TMKE A, 2018). Päikeseküttesüsteemide aina parem tõhusus näitab, et Eestiski need võimaldavad katta märkimisväärse osa ruumide küttest, sooja vee vajadusest ja seda sageli kombineerituna küttesüsteemidega, mis on juba olemas (*Ibid*). Päikeseenergia tootmise tehnoloogiate järgi on üha suurenev huvi ja seetõttu arendatakse seda tehnoloogiat aina rohkem ja suureneva pakkumuse tõttu muutub ka hind kliendile taskukohasemaks (Allik & Annuk, 2018).

1.1.1 Päikesepaneelid

Vanade hoonete elektri- ja küttesüsteemid ei ole tihti enam taastatavad või on nende efektiivsus erakordselt madal, seepärast on üheks lahenduseks hoonetele mõeldud päikesepaneelid (TMKE: B, 2019). Tänu päikesepaneelide optimaalsele kaldenurgale ja suunale on võimalik päikeseenergiast võtta maksimumkasu (*Ibid*). Päikesepaneelid on enamjaolt saadaval erinevates suurustes ja värvigammades ja seda seepärast, et neid oleks võimalik sobitada mis tahes ajastust ja stiilist pärit hoonete detailidega ja arhitektuuriga - näiteks on saadaval katusekivide värv või sammaldunud katus (*Ibid*).

Olenemata hoone vanusest on füüsika ja energeetika ajatult üks (TMKE: B, 2019). Päikeselt Maale langeb teada olevalt igas tunnis nii palju energiat, et katta kogu planeedi energiavajadus terveks aastaks (*Ibid*). Eesti laiuskraadil langeb optimaalse kalde ja asimuudiga pinnale aastas 1100-1200 kWh/m². Tõsi, et 80% sellest energiast langeb Eesti piirkonnas vahemikul aprillist oktoobrini, see tähendab, et seda energiat on mõistlik akumulierida (*Ibid*). Näiteks 1 kW võimsusega, mis on ligi 6 m², optimaalselt paigaldatud PV jaam (PV *photovoltaic*) suudab aastas toota ligikaudu 900-100 kWh energiat (*Ibid*).

Tuntumad paneelitüübid olemasolevatest tehnoloogiatest on PV, PV termo ja termo (Oja, 2017). Neid annab integreerida kahel erineval süsteemil: *On grid* ehk võrguühendusega ning *off grid* ehk võrguühenduseta lahendused (*Ibid*). PV tüüpi paneelid sobivad mitmetesse kohtadesse, lamekatusele, viilkatusele, fassaadile ning ka maapinnale paigaldamiseks (*Ibid*). Samuti on võimalik integreeritud paigutus, kus võivad päikesepaneelid paikneda hoone erinevais osades – näiteks rõdupiirdes (*Ibid*). PV seadmetega lokaalne energiatootmine on muutumas hoonete tavapäraseks osaks (*Ibid*). Tegemist on keskkonnasäästlikku lahendusega (*Ibid*). Eesti olude põhjal arvestatakse optimaalseks kaldenurgaks paneelidel lõuna suunda (+- 15 kraadi ja kallet vahemikus 30-40 kraadi (*Ibid*). Madalama kalde puhul, mis jääb alla 30 kraadi, oleks energiatootmine ebaefektiivne (*Ibid*).

Päikesepaneelide tööpõhimõte on muundada päikeseenergia elektrienergiaks kasutades pooljuhtide fotoelektrilisi omadusi (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012). PV - paneelid on üks töökindamaid taastuvenergia allikaid, sest neil puuduvad liikuvad osad (*Ibid*). Lisaks on nende hooldekulud väiksed (*Ibid*). Paneelides on üksteisega ühendatud PV elemendid (*cells*), mis on pandud enamjaolt alumiiniumist metallraami sisse, mille katteks on peegeldust vähendava pinnatöötlemisega klaas (*Ibid*). Viimase tõttu tuleb paneelide puhastamisel ettevaatlik olla just talvel (*Ibid*). Klaasi purunemisel satub niiskus elementide vahele ja rikub elektrilised ühendused (*Ibid*). Olemas on ka ilma raamita seeriad, mida saab kasutada vastavalt paneeli kasutusotstarbele katuse - või fassaadilahendustes (*Ibid*).

Monokristallilisest ränist valmistatakse kõige paremaid päikesepaneele ja nende elemendid koosnevad homogeenselt ränikristallist (Perälä, 2018). Samuti valmistatakse paneele ja elemente polükristallilisest ränist, mis on poorsem, kuid nende kasutegur on võrreldes monokristalliliste paneelidega veidi halvem (*Ibid*). Paneeli, mis on polükristalliline, tunneb ära elementide ümardamata nurkadest ja kristallide piirjoonest, mis on paneeli pinnal näha (*Ibid*). Päikeseelement, mis on monokristalliline võib saavutada teoreetiliselt koguni 31% kasuteguri (*Ibid*). Praktikas jääb kasutegur

siiski 17-21% vahele (*Ibid*). Võrreldes monokristalliliste päikeseelementidega koosnevad polükristallilised elemendid paljudest väikestest kristallidest (*Ibid*). Paneeli ehitus teistes osades on aga sama, mis monokristallilistel (*Ibid*). Kasutegur on aga veidi madalam võrreldes monokristallilise elemendiga ehk 16-19%, kuna polükristallilises elemendis leiduvaid kristallvead ja nende pärast võib tekkida enam kooskombineerimise ning voolu läheb kaduma (*Ibid*).

Energiatõhususe parandamisel ja taastuenergia kasutuselevõtul vanadel hoonetel võib tegu olla väga erinevate juhtumitega (Elvisto, 2017). Olulised on hoone ajalooline väärtus, arhitektuur ja kasutusotstarve (*Ibid*). Säästva renoveerimise infokeskuse huvialasse kuuluvad peamiselt ajaloolise väärtusega vanad hooned – olgu need kas miljööväärtuslikud, muinsuskaitse all, või lihtsalt arhitektuuriliselt heal tasemel ja naturaalselt keskkonda sobituvad (*Ibid*). Ilma kooskõlastuste ja asjatundliku järelevalveta toimetamata, ei tohi kaitsealuseid hooned uuendada (*Ibid*). Kodumajapidamisest vabaneb süsinikdioksiid ja selle piiramise vajadus on EL dekreetidest tulevate nõuetega seadusandlikult reguleeritud (Oja 2017). Selle käigus on tõusnud inimeste teadlikkus, et peame oma planeeti päästma ja seda just oma kodumajapidamist energiatõhusamaks renoveerides (*Ibid*).

Saksamaa on suurim päikeseenergia tootja Euroopas, kuid kui võrrelda Eesti ja Saksamaa päikesepaneelide tootlikkust aasta lõikes on see samaväärne (Vilk, 2018). Päikeseenergiat Eestis leidub küll vähem, kuid seda kompenseerib keskmisest madalam õhutemperatuur, mis suurendab paneelide tootmisefektiivsust (*Ibid*). Eesti eripäraks on, et talvekuudel langeb päikesepaneelide tootlikkus oluliselt, see tähendab, et perioodil märts kuni oktoober toodavad päikesepaneelid 90% aastasest energia kogusest (*Ibid*).

Päikesepaneelidel on lisaks katusepaigaldisele võimalik ka maapaigaldis (Vilk, 2018). Samuti on olemas võimalus paigaldada kogu katus päikesepaneelidega varustatud katusekividest ja on võimalik kasutada paneele rõdupiiretel (Solarstone, 2021). Maapinnale paigaldatud päikesepaneelidel on tagatud ka hea jahutus, see tõstab tootlikkust aastas 5% (Vilk, 2018).

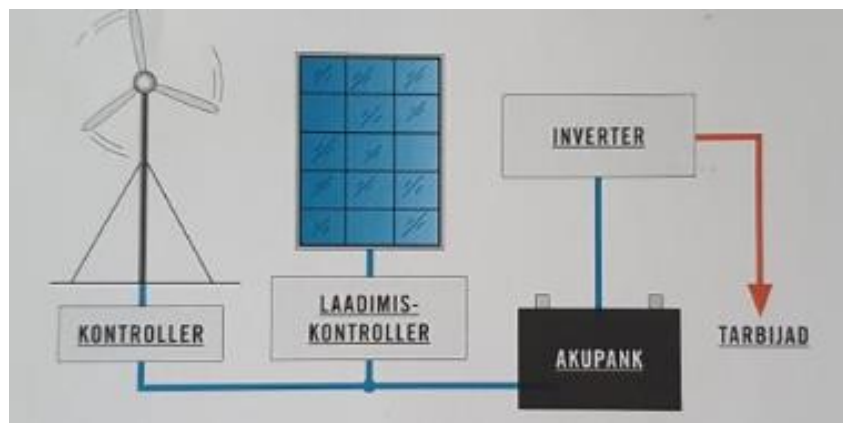
1.1.2 Päikeseelektriijaam

Päikeseelektriijaama lahendusi leidub erinevaid. Lihtsamad süsteemid koosnevad kõigest energiaallikast ja küttekehast või võrguinverterist (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012). Seevastu keerulisemad süsteemid võivad koosneda mitmetest komponentidest

ja nende seadistatavate parameetrite arv võib ulatuda mitmesajani (*Ibid*). Peamiselt võib koduseid elektrijaamu jaotada kaheks – *off grid* ehk võrguühenduseta süsteem ja *on grid* ehk võrguühendusega süsteem (*Ibid*).

1.1.3 Võrguühenduseta süsteemid

Võrguühenduseta (joonis 1) ehk off-grid süsteemid on täielikult sõltumatud, neil puudub ühendus üldise elektrivõrguga (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M., 2012). Elektri tootmine taastuvenergiaallikatest on väga kõikuv, sest see sõltub päikesest ja tuulest ning energia tarbimine ja tootmine on tavaliselt ajalises nihkes (*Ibid*). See tähendab, et päeval päiksepatareidega toodetud energiat kasutatakse öösel ja pimedatel õhtutundidel valgustamiseks, seega vajavad sellised süsteemid kindlasti energiasalvestit, milleks on tavaliselt akupank (*Ibid*).

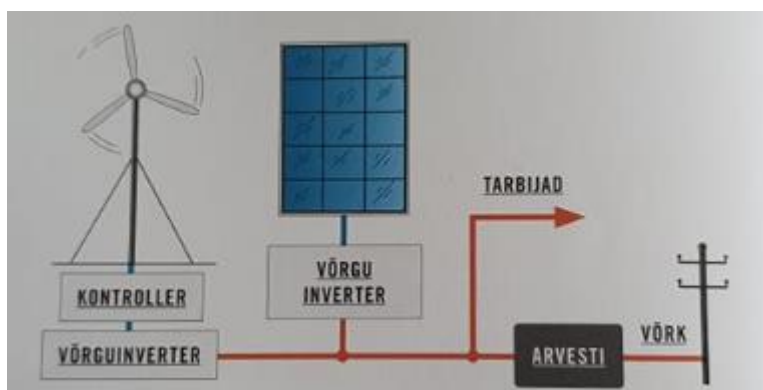


Joonis 1 Võrguühenduseta süsteem (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M., 2012)

Võrguühenduseta süsteemi kasutamine tundub hea variandina, sest võimaldab oma energiakasutust saajaprotsendiliselt ise majandada (Ortega-Arriaga, Babacan, Nelson jt, 2021). Küll aga on võrguühenduseta süsteemil omad puudused – nende kasutamiseks on vaja osta varupatarei, mis on tihtipeale kallid, kohmakalt suur ning keskkonnale kahjulik, mis omakorda nullib ära päikeseenergiale ülemineku eesmärgi (*Ibid*). Eesti laiuskraadil ja kliimas, kus võrguühendus tiheasustusel on olemas, ei ole mõistlik tehnoloogia hinna ja arengu juures mõelda *off grid* elektrisüsteemi üleminekule, kuigi see tehniliselt on teostatav (Perälä, 2018).

1.1.4 Elektrivõrguga ühendatud süsteemid

Elektrivõrguga ühendatud ehk *on-grid* süsteemid (joonis 2) jagunevad salvestita ja salvestiga süsteemideks (Perälä, 2018). Süsteemid, millel pole salvestit koosnevad võrguinverterist ja energiaallikast, näiteks tuulik või PV paneelid (*Ibid*). Sellises süsteemis on nii-öelda salvestiks elektrivõrk, kuhu suunatakse eramus kasutamata jäänud elekter ehk müüakse see elektrikaubandusega tegelevale ärile (*Ibid*). Küll aga, kui suunata elektrit elektrivõrku, siis peab energiatootmise süsteem kodustes tingimustes olema elektritootjaks registreeritud (*Ibid*). Kui aga elektrit eramu enda elektritootmisest puudu jääb, siis ostetakse võrgust elektrit juurde (*Ibid*). Päikseelektrisüsteem, mis on ühendatud elektrivõrku vajab võrguinverterit, kuna päikese toodetavat alalisvoolu on vaja muundada vahelduvvooluks (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012). Energiaallikate võimsuse järgi saab jagada *on grid* elektrijaamu kolmeks: väiksed 1- 3,6 kW, keskmised 3,6-11 kW ja suured üle 11 kW (*Ibid*).



Joonis 2 Võrguühendusega süsteem (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012)

Kui elektrivõrguga ei saa teatud põhjusel elektrimüügi lepingut sõlmida, siis kasutatakse kogu omatoodetud elekter kohapeal ära, kui aga tavatarbimine ei ole suuteline kõike toodetavat ära kulutama, siis salvestatakse omatoodetud elektri ülejääk näiteks akupanka (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012). Võrguga sidumine on kasulik, sest liigse energia salvestamiseks ei pea ostma kallist aku varusüsteemi (Ortega-Arriaga, Babacan, Nelson jt, 2021).

Kuna elekter tarbitakse tavaliselt tarbijate poolt kohe ära, siis energia salvestamine ei ole tuntud (Aedla, 2020). Küll aga salvestamisele tuleks mõelda siis, kui elektrit hakkab üle jääma või tootmise ja tarbimise ajad on erinevad (*Ibid*). Elektrit võib hakata üle jääma, kui tootmisjaam toodab elektrit rohkem kui kodudes ära tarbitakse (*Ibid*). Elektri kasutamise aeg saab erineda tootmise ajast enamjaolt tööl käivatel inimestel, kuna päikeseelektri peamine tootmine toimub just päeval, kui ollakse tööl (*Ibid*). Kui

salvestamist ei toimu, siis tuleks müüa toodetud ja tarbimata elekter võrguoperaatorile ning õhtul tagasi osta, mis oleks siis isegi mõistlik kui hinnad oleksid võrdsed või tarbijale kasuks (*Ibid*). Võrgutasu, mis elektrit võrku müües ja tagasi ostes lisandub, on nullifitseeritud Eestis võrku müüdava elektri toetusega (*Ibid*). See tähendab, et Eestis pole rahaliselt otseselt vaja salvestada, vaid võib ka läbi võrgu edasi-tagasi müüa-osta. Küll aga mõnes muus riigis on võrku müüdaval elektril näiteks 70% maksimumvõimsuse müümise piirang või ei saagi raha võrku müümise eest (*Ibid*). Seetõttu oleks mõistlik sellistes olukordades elektrit võrku müümise asemel salvestada (*Ibid*).

2 TUULEENERGIA

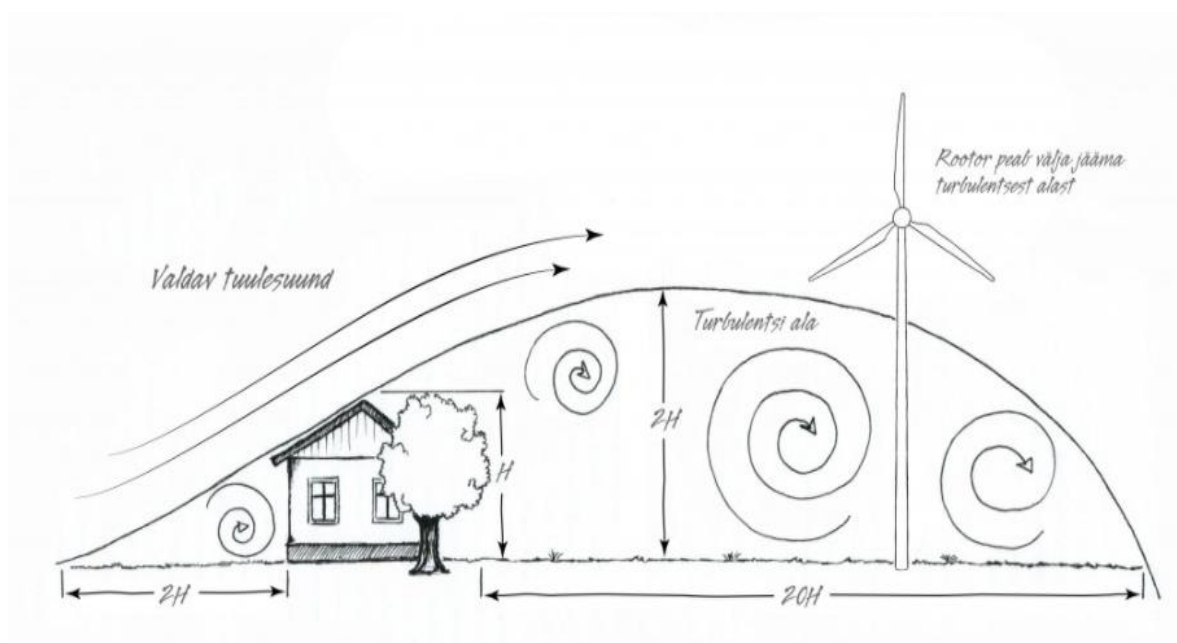
Tuuleenergial on oluline roll tulevikus ülemaailmses energiavarustuses (Sheen, Tsai, Wu, 2013; Almasabi, Sulaeman, Nguyen jt, 2017). Pole kahtlust, et tuuleturbiinide eelised on hakanud elektriturule meelitama paljusid kommunaalettevõtteid (*Ibid*). Tuuleenergia on meie ümber kõikjal, muutes selle laialdaselt kättesaadavaks (*Ibid*). Tuuleenergia kui alternatiivne energiaallikas on märkimisväärselt hoogu juurde saanud (*Ibid*). Tuuleenergiast on saanud ressurss, mis asendab osa tavapärasest elektritootmisest või mis rahuldab pidevalt kasvavat elektrinõudlust (*Ibid*).

Tuuleturbiinid võimaldavad kasutada tuule jõudu ja muuta see energiaks (IRENA, 2019). Tuuleturbiine on erinevaid – erineva suurusega, võimusega, kuid töö põhimõte on sama (*Ibid*). Tuul paneb liikuma tuuleturbiinid ja see omakorda tuulegeneraatori, mis toodab elektrit (*Ibid*). Tuuleenergia on üks kiiremini kasvavaid energiaallikaid maailmas (*Ibid*). Nimelt globaalse tuuleenergia tootmisvõimsus maismaal ja avamerel on viimase kahe aastakümne jooksul kasvanud ligi 75 korda, tõustes 7,5 gigavattilt (GW) 1997. aastal umbes 564 GW-ni 2018. aastaks (*Ibid*).

Tuuleturbiinid vajavad tõhususe saavutamiseks märkimisväärset tuulekiirust ja seetõttu on turbiini paigutamine oluline (WindEurope, 2021). Enamikus piirkondades on siiski tuulikute ja tuuleparkide jaoks sobivaid kohti (*Ibid*). Eestis on paigaldatud 139 tuulikut koguvõimsusega 309,96 MW (Tuuleenergia, 2019). Turbulents lähenevas tuules võib märkimisväärselt mõjutada tuuleturbiinide väljundvõimsust (Fleck & Huot, 2009; Lubitz, 2014). See on eriti oluline väiksemate tuuleturbiinide puhul, mis asuvad praktikas sageli hoonete, puude ja muude takistuste lähedal (*Ibid*). Mõnes väikeses tuulikupaigaldises võib sissevoolu turbulentsi intensiivsus olla mitu korda suurem kui avamaal (*Ibid*). Väikesemahuline tuuleenergia on muutumas populaarseks alternatiiviks kodumajapidamises toodetud elektrienergia tootmiseks (*Ibid*).

Väiketuulikutel on maksumus kõrge – kvaliteetne ja jätkusuutlik tuuleelektrijaam maksab pea neli korda rohkem kui päikeseelektrijaam (Vilk, 2018; Tuuleenergia, 2019). Väiketuulikutel on palju komponente, mis tõstavad töömahukuse tõttu maksumust (*Ibid*). Väiketuulikud sobivad rohkem piirkondadesse, kus puudub igasugune võrguühendus ja kus on seetõttu iga kilovatt arvel. Sellisteks piirkondadeks on enamjaolt saared, kus on tuult rohkem (*Ibid*). Veelgi enam tuleb väiketuulikutel alati valida kõrge mast, sest tuulekvaliteet ja kiirus on paremad kõrgemal kui madalamal alal (*Ibid*). Tähtis on tuulik panna kõrgemale lähedal paiknevatest takistustest (*Ibid*). Kui aga tuulik tahetakse paigaldada metsasele alale, siis võib minimaalselt vajalik mast kujuneda liiga kõrgeks, sest on vajalik, et tuulik ulatuks kõrgemale kui puuladvad (*Ibid*).

Autonoomses süsteemis (*off grid*) väikeste tuulegeneraatoritega (alla 10 kW) elektri tootmiseks tasub vältida peamist paigaldamisel tehtavat viga – madala masti tõttu jääb tuulegeneraator turbulentsi alasse (Vilk, 2018). Näiteks sisemaal paiknev tuulegeneraator, mis asub keset avarat põldu võib toota rohkem energiat kui elektrituulik, mis paikneb ranniku ääres, aga on ümbritsetud kõrgete puudega (*Ibid*). *Off grid* süsteemis on väiketuuliku kasutamine mõistlik, kui keskmine tuule kiirus aastas on paigalduskohas vähemalt 3,5 m/s. Kui tuule kiirus on väiksem, siis on tasuvam süsteemis kasutada vaid päikesepaneele (*Ibid*). Üldvõrguga ehk *on-grid* seotud lahenduse puhul on väikese tuulegeneraatori kasutamine majanduslikus mõttes pigem küsitav, sest tuule keskmine kiirus aastas peaks olema 4,5 m/s või suurem (*Ibid*). Sellise tuule kiirusega kohti leidub Eestis eramajapidamiste lähedal vähe ning üldjuhul on need vaid rannikuäärsed tuultele avatud alad (*Ibid*).



Joonis 3 Tuuliku turbulentsi ala (Tuuleenergia, 2019)

Tuuliku peab paigutama läheduses olevatest takistustest eemale (Tuuleenergia, 2019). Kõik tehis ja looduslikud objektid piiravad tuule sujuvat voolamist, millega väheneb tuule kiirus ja tekivad õhukeerised ehk turbulents (*Ibid*). Sellises olukorras tuuliku toodang oluliselt väheneb ja turbulentsi tõttu väheneb tuuliku komponentide eluiga (*Ibid*). Seepärast tuleb tuulik rajada eemale majadest, puudest ja muudest tuult takistavatest objektidest (*Ibid*). Joonisel 3 on näidatud, kuidas peaks tuuliku rajama, et see ei satuks turbulentsi piirkonda.

2.1 Tuulikud

Väiketuulikute suurem kasutuselevõtt algas alles viimase 25 aasta jooksul (Tuuleenergia, 2019). Eesti võttis väiketuulikud suuremal hulgal kasutusele aastal 2013, mil Elektrilevi võrku ühendati 15 väiketuulikut, mille koguvõimsuseks oli 150 kW ja peamiselt olid need tuulikud 10 kilovatiseid (*Ibid*). Väiketuulikuid saab nimetada üheks vähestest tarbijale kättesaadavatest viisidest elektritootmiseks kodustes tingimustes (*Ibid*). Tootes elektrit taastuvast allikast, siis sellega vähendatakse fossiilsete kütuste põletamisest tekkivat lokaalset ja globaalset saastet (*Ibid*).

Väiketuugeniks (väiketuulik) nimetatakse niisugust tuulegeneraatorit, mille tiiviku pindala jääb alla 200 ruutmeetri (Lavento, 2018). Nimetatud suurusega tuugenid on võimsuselt alla 50 kW. Neid kasutatakse näiteks ettevõtetes, põllumajanduses, suvekodudes, eramutes ja purjekatel (*Ibid*). Väiketuugeni abil saab laadida akusid 12; 24; 48 või 230 voldises elektrisüsteemis, kuid neid saab ka sooja toomiseks kasutada akumulatsiooniboileritele (*Ibid*). Väiketuugen võimaldab toota elektrit otse ka eramu elektrivõrku (*Ibid*). Nimetatud juhul muundatakse tuugeni toodetud elekter inverteri abil tavaliselt võrguelektriks ning ühendatakse tuuleenergiatootja üldise elektrisüsteemiga (*Ibid*).

Väiketuulikud, mis on paigaldatavad suvekodudesse on võimsuselt üldiselt paarisajavaitsed ja tiivikute läbimõõt on neil umbes kaks meetrit (Lavento, 2018). Üldvõrguga ühendatud tuugenite või sooja tootmiseks kasutatavate tuugentite võimsus on üle 2 kW (*Ibid*). Sooja tootmiseks või üldvõrguga ühendatud kasutatavate tuugenite võimsus on tavaliselt üle 2 kW ning masti kõrgus väiketuugenitel on 5-10 meetrit (*Ibid*). Soome tuuleenergiaühingu kohaselt on võimalik toota väiketuulikuga silmapaistev osa majapidamises kasutatavast elektrist (*Ibid*). Heal tuulisel kohal paiknev 2 kW agregaat võib eratuugenina toota poole majapidamise valgustuseks ja seadmete jaoks tarvitavast elektrist (*Ibid*). Suuremad tuugenid võivad toota koguni kogu valgustuse jaoks tarvitava elektri ja tähelepanuväärse osa kütmiseks kuluvast energiast (*Ibid*).

Tuulikud on head partnerid päikesepaneelidele (Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M, 2012). Kuna päike ei paista ööpäev läbi, siis sobivas tuulisel asukohas töötab tuulik kellaajast sõltumata (*Ibid*). Kui majapidamist kasutatakse ka sügisel ja talvel, siis sobib tuulik hästi sõltumatusse süsteemi (*Ibid*). Tasuvaim piirkond tuuliku jaoks on koht, kus aasta keskmine tuulekiirus on üle 4,5 m/s (*Ibid*). Eramusse valitava tuuliku võimsus sõltub oluliselt sellest, kui suur energiavajadus majapidamises on ning palju tuult on tuuliku ümbruses (*Ibid*). Leidub inimesi, kellele teeb muret tuuliku müra, kuid kvaliteetset

väiketuulikut ei ole kuulda, sest puude kohin ja tuule mühin summutavad tuuliku müra ära (*Ibid*).



Joonis 4 Rõhtteljega (horisontaal) ja püstteljega (vertikaal) tuulegeneraator (Windpower, 2017)

Kõige levinumad väiketuugeni mudelid (joonis 4) on traditsiooniline tiivik tüüpi rõhttelgedega tuulegeneraator ja püstteljega tuulegeneraator (Lavento, 2018). Rõhtteljega tuugen sobib paremini töötama kindla tuule tugevuse (kiiruse) puhul (*Ibid*). Püstteljega seadeldis aga töötab paremini muutuva suunaga tuule puhul (*Ibid*).

3 MAASOOJUSENERGIA

Kogu soojusenergia on Maa tahkes tuumas tohtu, kuid ainult väike osa sellest energiast on looduslik soojus, mida saab maakoorest tehniliselt ammutada (Soysal, A & Soysal, S, 2020). Euroopa linnade energeetika arendamine on suunatud taastuvate energiaallikate säästvale kasutamisele, et saavutada fossiilkütuste asendamine ja atmosfääri ohtlike gaaside heitkoguste vähendamine (Milenic, Vasiljevic, Vranjes, 2010). Geotermaalenergia ehk maasoojusenergia on puhas energia, mis tekib päikeseenergia salvestumisel maapinda või Maa sügavusest leviva soojusena (Horne, 2015). Maasoojusenergia on soodne ning taastuv energialiik, mis on arenenud riikides kõrgelt hinnatud ressurss (nt. Rootsi, Island, Saksamaa) (EGA, 2020).

Geotermilised süsteemid muutuvad maailmas aina populaarsemaks. Need süsteemid ei saasta keskkonda, sest nad töötavad Maa loodusliku energiaga ega muuda keemilisi ühendeid (Molavi, McDaniel, 2016). Eestis on näiteks võimalik madalatemperatuurilist geotermaalenergiat rakendada umbes 1 meetri sügavusel maapinnas maasoojuspumpade abil (Moya, Aldas, Kaparaju, 2018; EGA, 2020). Eestis pole kõrgetemperatuurilise geotermaalenergia potentsiaali uuritud, kuigi paljud suurriigid rakendavad seda edukalt soojusenergia ja elektri tootmiseks (*Ibid*). Praegu kasutatavast geotermaalenergiast 55,3 % kasutatakse soojuspumpades (*Ibid*).

Maasoojuspumpasid peetakse võimalikuks lahenduseks primaarenergia tarbimise vähendamiseks ning neid on sageli pakutud tavaliste süsteemide nagu gaasikatelde ja õliküttekatelde asendajateks (Seara, Dopazo, 2012). Maasoojuspump, mis muundab madalal temperatuuril maasse salvestatud soojusenergiat kõrgetel temperatuuridel soojusenergiaks, sobib näiteks üheks alternatiivseks kütelahenduseks (*Ibid*).

Eestis on maasoojuspumpad olnud kasutusel juba peaaegu kolme kümnendi jooksul (Soesoo, 2011). Maa soojust saab liigitada kaheks – üks osa, mis talletunud maapinna ülemisse kihti Päikeselt tuleva soojusena ning teine osa, mis levib Maa sügavusest ülespoole (*Ibid*). Õige tehnikaga on võimalik seda kõike kasutada, kuid siiski piiratud koguses, kuna kasutatav temperatuur jääb vahemikku 2 kuni 10 kraadi (*Ibid*). Et meile oleks kättesaadav maasoojus, mille temperatuur on 50 või koguni 100 kraadi, siis selleks tuleks puurida mõne kilomeetri sügavusele (*Ibid*).

Geotermiline energia on maailma erinevates piirkondades üks kättesaadavamaid (Ahmadi, Mohammad, Seyyedsadaghiani jt, 2017). Maapinna soojusenergiat saab kasutada küttekulude ja kasvuhoonegaaside (KHG) vähendamiseks soojuspumpades (*Ibid*). Statistika kohaselt säästab soojuspump 30–40% kütteks kasutatavast elektrist,

nii et soojuspumba kasutamist kodude kütmiseks saab nimetada üheks energiasäästlikuks meetodiks (*Ibid*). Eriti leebes ja ühtlases kliimas, kus talvisel ajal temperatuur alla 0 kraadi ei lange peetakse soojuspumpasid kõige tõhusamaks elektrikütte tüübiks (*Ibid*).

Ehitisi peetakse vaieldamatult üheks suurimaks energiat tarbivaks sektoriks. Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) andmetel moodustab hoonete keskmine energiatarve 32% kogu maailma energiatarbimisest (Anisimova, 2011). Euroopa Liidu (EL) energiatarbimise mustrid näitavad, et hooned on suurim energiatarbija, kasutades umbes 40% kogu energiavajadusest, järgneb tööstus ja transport, mis tarbivad kumbki umbes 30% (*Ibid*).

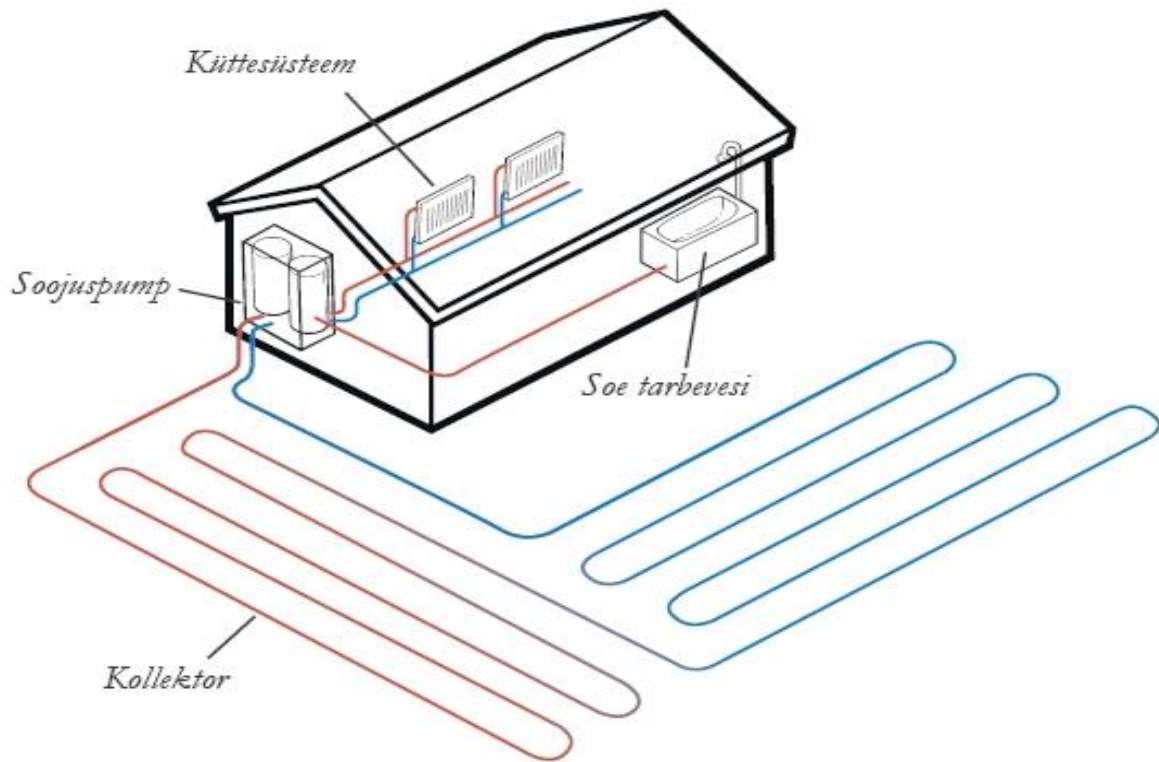
Maasoojuspumbasid on Euroopas aina enam kasutusele võetud, et kütmine oleks mugavam (Sardu, Sebarchievici, 2016). Need süsteemid võivad saavutada kõrgema energiatõhususe kui õhksoojuspumbad, kuna pinnas võib pakkuda kütmiseks kõrgemat temperatuuri ja jahutamiseks madalamat temperatuuri kui õhk (*Ibid*). Elamu ja ärihoonetes kogu maailmas on maasoojuspumbasüsteeme kasutatud nende märgatava efektiivsuse ja keskkonnasõbralikkuse tõttu (*Ibid*).

Kütmine on Põhjamaades olulisem kui jahutamine, sest aasta keskmine temperatuur on suhteliselt madal (Kosonen, Keskisaari, 2020). Soojuspumbad on hea viis saada oma koju efektiivne küttelehendus (*Ibid*). Soojuspump võib soojusallikana kasutada maapinda, vett või õhku (*Ibid*). Maasoojuspumba peamine eelis võrreldes õhksoojuspumbaga on see, et esimese puhul säilitab soojusallikas stabiilse temperatuuri, olenemata ilmastikuoludest (*Ibid*). See on oluline, sest soojuspumba efektiivsus sõltub otseselt temperatuurierinevusest (*Ibid*). Samuti, mida külmem on ilm, seda enam kütteenergiat on tarvis (*Ibid*). Seega ei saa põhjamaistes tingimustes olla õhksoojuspump ainus kasutusel olev soojusallikas (*Ibid*).

3.1 Maasoojuse liigid

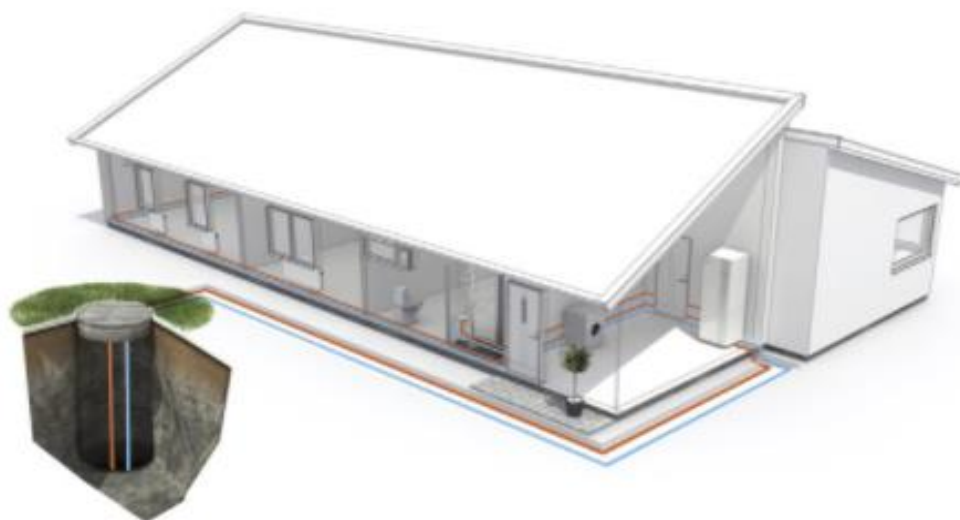
Maasoojuse saamiseks pinnasest on peamiselt valida kahe kollektoritüübi vahel – horisontaalne või vertikaalne (Lees, 2017). Horisontaalne maaküte ammutab maapinna lähedalt energiat, kuid vertikaalne puuraugusügavusest (*Ibid*). Maasoojust on tavaliselt kõige parem ammutada niiskest pinnasest, sest see juhib soojust paremini (*Ibid*). Maasoojuspump kasutab küll elektrienergiat, kuid iga kulutatud 1 kWh kohta toodab see

keskmiselt 3,5 kWh soojusenergiast tagasi (*Ibid*). Maakütet saab koguda maapinnast, veekogust, energiakaevust kui ka soojuspuuraugust (*Ibid*). Levinuim lahendus Eestis on horisontaalselt maapinda paigaldatud maakollektor (joonis 5), mille kaudu maapinda salvestunud soojusenergia kogutakse pinnasesse paigaldatud plasttorustiku ehk maakollektori abil, kus ringleb külmakindel vedelik (*Ibid*).



Joonis 5 Horisontaalne süsteem maaküttele (Kliimaseade, 2020)

Horisontaalkollektor on odavam ja traditsioonilisem lahendus maaküttele (Lees, 2017; Kayaci, 2020). Vertikaalne süsteem (joonis 6 järgmisel leheküljel) on valikus siis, kui ruumi on vähe (*Ibid*). Näiteks kui esineb pinnas, mis on paekivine ega võimalda sügavalt kaevata, siis üheks lahenduseks oleks puurkaevud, kuid nende hind on paar korda kallim võrreldes horisontaalkollektoriga (*Ibid*). Tavaliselt paigaldatakse horisontaalne kollektor ühe meetri sügavusele maasse, jättes 1-1,2 meetrise vahe torustiku vahele (*Ibid*). Peamine eksimuse, mida horisontaalse kollektori paigaldamisel tehakse, on see, et torusid paigaldatakse liiga tihedalt väikesele alale, mis tekitab küttesüsteemile kõrgemat küttekulu ning torud külmutavad maapinna läbi, seetõttu taimestik enam seal ei kasva (*Ibid*).

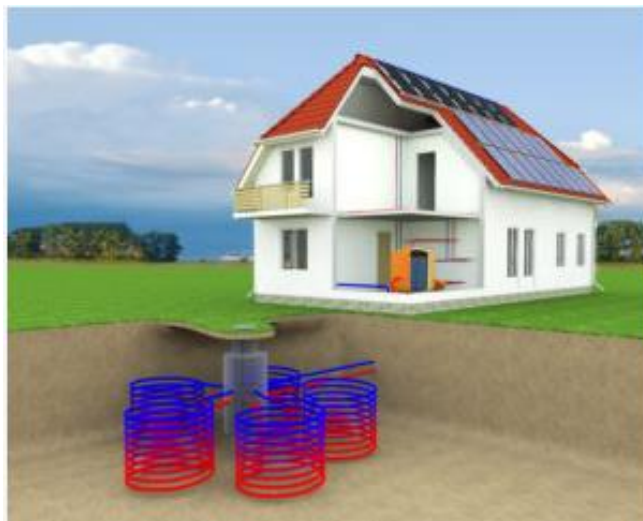


Joonis 6 Vertikaalne maasoojuspumba süsteem (Maaküte-info, 2021)

Vertikaalsüsteemi puhul (joonis 6) on eeliseks võrreldes horisontaalsüsteemiga suurem kasutegur, kuna ei sõltu ilmastikust (Chwieduk, 2021). Haljastus jääb terveks, sest puud, põõsad jäävad enamjaolt kaevamise alalt välja (*Ibid*). Soojuspump on seda tõhusam, mida suurem on soojuspumba kasutegur (Kliimaseade, 2021). Soojuspumba soojustegur (COP – *Coefficient of Performance*) väljendab soojuspumba efektiivsust (*Ibid*). COP näitab kui palju annab seade soojusenergiat rohkem võrreldes kulutatud elektrienergiaga (*Ibid*). Näiteks soojustegur 4 (COP=4) näitab, et soojuspump annab soojusenergiat kolm korda rohkem võrreldes kulutatava elektrienergiaga. SCOP (*Seasonal Coefficient of Performance*) on sesoonne soojustegur ehk terve kütteperioodi arvestav soojustegur (*Ibid*). Sesoonne soojustegur näitab täpsemat ülevaadet soojuspumba efektiivsusest tervel kütteperioodil (*Ibid*). Külmemates riikides on soovitatav paigaldada just vertikaalsüsteem, kuna talvel võib maa pinnakiht külmuda (Chwieduk, 2021). Seepärast on soojuspump soojusallikana vähem efektiivne ja soojuspumba hooajaline kasutegur (SCOP) väiksem (*Ibid*).

Olemas on ka spiraalmaaküte (TMKE B, 2018). Spiraalkollektoreid (joonis 7 järgmisel lehel) kasutatakse juhul, kui pinnasekollektori paigalduseks vajalik vabalt kaevatav maa-ala on ebapiisav (*Ibid*). Spiraalkollektoritega on vajaminev maa-ala kaks korda väiksem, seepärast on need eriti levinud Saksamaal, kus esinevad väiksemad krundid ja kus on pinnas niiske (Dehgan B, 2018). Spiraalkollektorid vajavad väiksemat maa-

ala kui horisontaalkollektorid ning mitte nii sügavaid puurauke kui vertikaalkollektorid (*Ibid*).

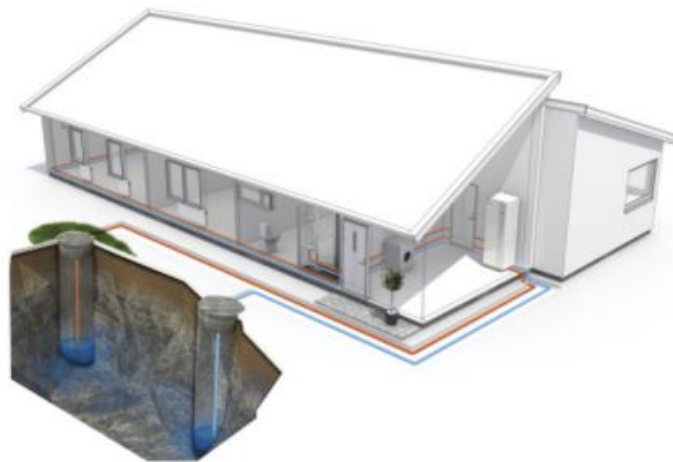


Joonis 7 Spiraalkollektor (Heatcom, 2020)

Spiraallahendused on ökonoomsed, see tähendab, et spiraale saab lisaks majapidamise kütmisele ja tarveveesoojendamisele kasutada ka talvisel ajal ventilatsiooni eelsoojenduseks ning suvel passiivjahutuseks (TMKE: B, 2018). Spiraalkollektor, mis on õigesti ja kvaliteetselt paigaldatud on pinnasekollektorist siiski efektiivsem, sest soojussiidvedeliku temperatuur on suurem, kuna paigaldussügavus on 3-5 m (*Ibid*). Need kollektorid sobivad lahendustesse, mis paiknevad aladel, kus ei leidu pae või liivakivi ega teisi takistusi sügavate kaevete sooritamisel kuni 3-5 m (*Ibid*). Eriti sobilikud on kõrge veetasemega alad (*Ibid*). Väiksema pinnaseniiskusega tuleb paigaldada spiraale rohkem (*Ibid*). Näiteks 11 kW saamiseks liigniiskes pinnases on vaja umbes 30 ja kuivas pinnases 44 spiraali (*Ibid*).

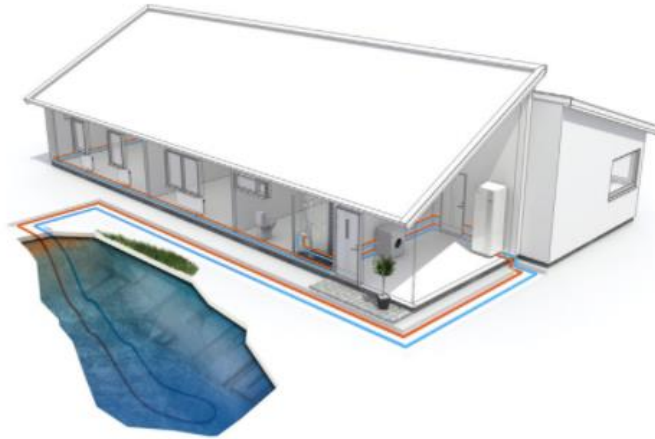
Spiraalkollektori üheks eeliseks on kahtlemata vähese pindala vajadus, kuid leidub ka miinuseid (TMKE: B, 2018). Spiraalkollektorid on suhteliselt vähe kasutust leidnud. Viimase 20 aasta vältel on Eestis paigaldatud ligikaudu 18 000 maasoojuspumbal põhinevat kütelahendust, kus suuremas osas on kasutusel end pikaajalises praktikas tõestanud horisontaalkollektor, millel võrreldes spiraalkollektoriga on madalam soetusmaksumus (*Ibid*). Lisaks ka kiirem taastumine jääst, mis talvel ümber kontuuri tekib (Dehgan B, 2018). Talvisel kütteperioodil tekib maakontuuri ümbritsevas pinnases üsna suur jääkiht, mis päikesest maapinda antava soojuse mõjul suveperioodil sulama peab (*Ibid*). Kui jää tekib maakontuuri torustiku ümber, siis see takistab soojusenergia kättesaadavust maapinnast ja pumba antav soojusenergia kogus langeb oluliselt (*Ibid*).

Tulemuseks võib talvisel perioodil olla kõrge elektrienergia kulu ja külm kodu (*Ibid*). Horisontaalkollektor paikneb aga pinnases 1-1,2 meetri sügavusel ja taastub suve perioodil hästi, et olla uueks kütteperioodiks valmis (*Ibid*).



Joonis 8 Põhjavesi: vertikaalne puurkaevusüsteem (Maaküte-info, 2021)

Põhjavesi rajatava maaküttesüsteemi (joonis 8) jaoks rajatakse kaks puurkaevu. Põhjavesi hakkab liikuma, kui ühest kaevust võetud veest soojust eemaldamise järel suunatakse vesi tagasi põhjavesi teise kaevu kaudu (Hecht-Mendez, Paly, Beck jt, 2013). Aasta läbi on temperatuur põhjavees püsiv ja samal sügavusel on pinnasetemperatuur põhjaveele ligilähedane (Johnsson & Adl-Zarrabi, 2019; Puurkaev, 2020). Eestis 25-75 m sügavusel on põhjavee temperatuur 6,5-7 °C (*Ibid*). Puurkaevusid rajatakse 10-30 m sügavusele, kuid leidub ka üle 70 m sügavaid puurkaeve (*Ibid*). Põhjavesi pumbatakse ühest puurkaevust üles ja maasoojuspumba abil eemaldatakse soojus ning seejärel suunatakse vesi kas teise puurkaevu või eramu tarbimisse (*Ibid*). Teine puurkaev, kuhu vesi suunatakse peab asuma pinnase suhtes allavoolu, mis tagab et ei hakkaks sama vee korduvkasutust toimuma (*Ibid*). Puurkaevud peavad asetsema samas veehorisondis ning samal sügavusel (*Ibid*). See tagab selle, et põhjavee tase ei muutu, sest ühest puurkaevust võetav vesi suunatakse tagasi teise puurkaevu (*Ibid*).



Joonis 9 kollektor veekogus (Maaküte-info, 2021)

Küttetorustikku on võimalik paigaldada ka veekogu põhja (joonis 9), tingimusel, et veekogu mingil hetkel läbi ei külmu (Lees, 2017; Maaküte-Info, 2021). Üks näitaja, et veekogu on sobilik küttetorustiku paigaldamiseks on kalad, kuna see näitab, et talvel ei saa veekogu läbi külmuda (*Ibid*). Veekogu peab olema vähemalt 1,5 meetrit sügav (*Ibid*). Veekogu lähedal paiknevat eramut on võimalik kütta veest saadava soojusenergiaga (*Ibid*). Küttetorustikku ei ole soovitatav paigaldada jõkke, kuna voolav vesi ja seal liikuv praht võivad kahjustada torustikku (*Ibid*). Lahendus jääks samaks, mis maa sees, kuid kuna soojusjuhtivus on veekogus parem, on võimalik paigaldada 20% vähem torustikku (*Ibid*). Kasutusel on peamiselt kaks moodust soojusvõtuks pinnaveelt (*Ibid*). Nimelt vesi pumbatakse aurustisse ja sealt jahtunud veekogusse tagasi ning teisena paigaldatakse veekogu põhja kollektorid (*Ibid*). Esimese viisi puhul kasutatakse veekogu pinnakihti suvel ja põhjakihti talvel (*Ibid*).

3.2 Küttejaoituse süsteemid

Igal küttesüsteemil on omad miinused ja plussid (Kayaci, 2020). Viimaks sõltub küttesüsteemi valik konkreetsest eramust, selle asukohast ja kindlasti elanike mugavusastmest (*Ibid*). Küttelahendust valima hakates tekib kohe küsimus kas radiaator- või pörandaküte (Chuduk, 2010; TMKE, 2021). Kui eramus pörand on juba värskelt renoveeritud või ehitatud, siis loogiline valik on radiaatorküte, kuna ei taheta uut asja enam lõhkuma hakata (*Ibid*). Pörandakütet soovitakse paigaldada märgadesse

ruumidesse ja kivipindadele, mis on plaaditud (*Ibid*). Kui põrand on kas puit või parkett, siis võiks eelistada pigem radiaatorkütet (*Ibid*).

Radiaatorkütet saab tunduvalt kiiremini reguleerida ja selle inerts on väiksem võrreldes põrandaküttega (TMKE, 2021, Maaküte, 2021). Näiteks termostaati lahti keerates, tuleb soojus praktiliselt kohe (*Ibid*). Põrandaküttele kulub aga tahetud tulemuse saavutamiseks aega rohkem (*Ibid*). Põrandakütte inertsuse pärast võib tahetud toatemperatuuri hoidmine keerulisemaks osutuda ja seda eriti kiire ilmamuutuse puhul (*Ibid*). Kui õues on -20 kraadi ja järgmine päev +5, siis põrandakütte inertsus põhjustab olukorra, kus kütmine pole enam vajalik, kuna põrand on juba üles köetud ja jahutamine võtab aega (*Ibid*).

Maksumus põranda kui ka radiaatorkütte paigalduseks on võrreldavas suurusjärgus (Sardu, Sebarchievici, 2016). Radiaatorkütte korral on võimalusi kaks, kas ehitada eramus torustik seina sisse või peale (TMKE, 2021). Renoveeritud eramu korral on loogiline valik ehitada torustik seina peale (*Ibid*).

Elektriküte on kulukas. Selle eeliseks on peamiselt mugavus ja see ei eelda suurt investeringut (Sardu, Sebarchievici, 2016). Kasutusmugavuse koha pealt ei pea elektriküttele küttematerjali transportima ja katelt hooldama ning ei pea muretsema selle üle, et torud ära külmuvad (*Ibid*).

Soojuspumpadega võib küttekulude kokkuhoid elektriküttelekehadega võrreldes ulatuda 80%-ni, kuna soojuspumpad võtavad võrgust energiat pumpade ja kompressori tööks, andes eramusse 3-5 korda enam soojusenergiat (TMKE, 2021). Küttelehendustest on maaküte üks populaarsem küttelehendus viimasel kümnendil (*Ibid*). Sellegi poolest, et maakütte muutuvkulud on näiteks gaasiküttest pisut odavamad, tuleb arvestada, et sellel on ka kõige suuremad investeerimiskulud küttelehendustest (*Ibid*). Oluline on teada, et maaküte ei ole pärast rajamist tasuta (*Ibid*). Talvedel, kus on külma oma -10 kraadi, tuleb arvestada, et maakütet on vaja toetada näiteks elektriküttega või mõne muu kütte viisiga (*Ibid*).

Kui kasumlik on maasoojuspump sõltub eramu mõjutatavatest tingimustest ja faktoritest (Sardu, Sebarchievici, 2016). Suurema küttevajadusega majal on tagatud suurem kasumlikkus (*Ibid*). See tähendab, et tasuvusaeg maasoojuspumpadel on lühem suuremate majade puhul (*Ibid*).

4 NÕUDED JA TOETUSED

Ilma kooskõlastuste ja asjatundliku järelevalveta, ei tohi kaitsealuseid hooneid uuendada (Elvisto 2017). Päikesepargi rajamiseks peab olema saadud kooskõlastused vallavalitsuse, Keskkonnaameti, Muinsuskaitseameti ning Päästeametiga (Solar4you, 2021). Ehitusprojekt tuleb kooskõlastada Elektrilevi OÜ-ga, töö kavandatakse nende hallatavate tehnovõrkude kaitsevööndites (*Ibid*). Arvestada tuleb ka sideteenuste pakkujatega, kelle kaabellahendused võivad krunti läbida (*Ibid*).

Üheks toetuseks, mis on võimalik taotleda päikesepargi rajamise hõlbustamiseks on Kredexi väikeelamute rekonstrueerimistoetus (Kredex, 2021). Toetuse eesmärgiks on saavutada parem energiatõhusus ja sisekliima väikeelamutel, vähendada energiakulusid ja soodustada taastuvenergia kasutuselevõttu (*Ibid*). Toetuse saamisel on oluline, et aastane tootlikkus jääks alla ~44 800 kWh aastas (*Ibid*).

Ajalooliste ehitismälestiste puhul on raskendatud juurdeehituste ja hoone välisilme muutmine (Muinsuskaitseeadus, 2019). Näiteks mälestise välisilme muutmine ja üldine juurdeehitus ilma loa olemasoluta on mälestise puhul käsitletav rikkumisena (*Ibid*). Reguleeritakse ainult väliseid näitajaid nagu ümberehitamine, kus ehitatakse midagi ehitise alla, peale või juurde (*Ibid*). Laiendamine hoonesiseselt on lubatud tingimusel kui see hoone välisilmet ei mõjuta (*Ibid*).

5 MATERJAL JA METOODIKA

Magistritöö eesmärgiks on välja selgitada, millisele taastuenergiaallikale üleminek on majanduslikult kõige mõttekam Saadjärve mõisa kärnerimaja puhul tuginedes tasuvusanalüüsi metoodikale. Võimalike lahendustena kaaluti järgmisi energiaallikaid: päikesepaneelid, tuuleturbiin ja maasoojuspump.

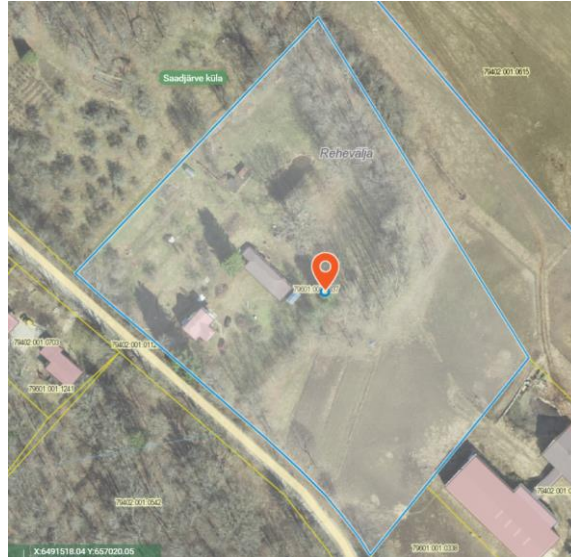
Töö teema valiti isiklikust huvist, sest uuritav eramu kuulub autori vanematele ja tulevikus on soov taastuenergiaallikale üle minna. Uuritava maja soojuspidavus on kesine. Antud objektil on maakiviseina U-arv $0,96 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$, energiatõhusa seinu puhul oleks see näitaja $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Eramut ei ole ka võimalik väliselt soojustada, kuna eramu on maakivist maja, mis on muinsuskaitsealune ehitis. Seepärast peab leidma viisi kuidas eramut varustada parema taastuenergialahendusega. Majaelanike eesmärk on ahiküttest loobuda ja leida lahendus, mis pakuks ka suuremat kasutusmugavust.

Magistritöös on kasutatud teadusartikleid, andmebaase, erinevaid registreid ja hinnapakkumisi. Reaalsete tarbimisandmete kättesaamiseks on kasutatud AS Elektrilevi ja Alexela koduleheküljel olevat keskkonda, kuhu saab iga tarbija sisse logida ning vaadata oma viimaste aastate küttekulusid ja arveid. Erinevate hindade ja hinnapakkumiste saamiseks on ühendust võetud teenusepakkujatega läbi elektronposti ja päringu keskkondade. Saadud andmeid on töödeldud vastavalt vajadusele nii, et neist oleks võimalik teha võrdlusi ja järeldusi.

5.1 Uuringuobjekti kirjeldus

5.1.1 Saadjärve mõisa kärnerimaja ja selle energiavarustus

Uuritav hoone (joonis 10 järgmisel leheküljel) asub Tartu vallas, Saadjärve külas, 20 km kaugusel Tartust (Torim, 2016). Katastrinumber 79601:001:0337 (*Ibid*). Antud eramu on ehitismälestis, kus on säilinud tähtis osa originaalsest ehituskehandist, mis kuulub mõisaansamblisse (*Ibid*). Maja kandekonstruktsiooniks on krohvimata lõhutud maakivid (*Ibid*).



Joonis 10 Eramu asukohaskeem (Maa-ameti geoportaal, 2020)

Majal on täieulatuslikult välja ehitatud mansardkorrus (Torim, 2016). Eramul on kaks korrust ja lisaks kelder ning mittekasutatav pööning (*Ibid*). Saadjärve mõisa kärnerimaja (aednikumaja) ehitusperioodiks võib arvata 19. sajandi lõppu (*Ibid*). Seisuga 16.09.1997 kuulub eramu kultuurimälestiste riiklikku registrisse (*Ibid*). Muinsuskaitsest tingitud piirangute tõttu ei tohi maja välisilmet muuta (*Ibid*). Suletud netopind on 193,7 m², millest köetav osa on 160 m² ning krundi suurus on 2,1 ha, kuid arvestatav on 1,2 ha (*Ibid*).

Eramut (joonis 11) köetakse ahiküttega, kus sisendiks on puit ning ahjud paiknevad erinevates tubades. Kokku on hoones kolm ahju ja üks puuküttega pliit. Kaks ahju paiknevad hoone teisel korrusel ning üks ahi ja pliit esimesel korrusel. Lisaks on eramus üks õhksoojuspump ja üks elektriradiaator ning vannitoas kasutusel ka põrandaküte. LISAS 1 on välja toodud eramus kasutusel olevad kütteseadmed.



Joonis 11 Saadjärve mõisa kärnerimaja (Torim, 2021)

5.2 Hinnapakumised

Töö käigus saadeti hinnapakumiste päringuid päikese- tuule ja maakütte pakkujatele. Kirjeldati teadaolevat olukorda, toodi vajalikud andmed esile, saateis ka eelmiste aastate elektritarbimise näidud. Samuti pakuti välja võimalikke sobivaid asukohti ja küsiti üleüldist nõu. Oodati orienteeruvat maksumust koos paigaldusega ja päikesepargi puhul sooviti saada süsteemivõimsust ning orienteeruvat tootlikkust aastas. Töös sooviti hinnapakumist päikeseenergialahenduse ettevõtetele Smartecon OÜ, AU Energiateenus OÜ, Solar4you OÜ, Energogen OÜ, Bestor Grupp AS, Taastuveneriga OÜ, Energiapartner OÜ, ABC Kliima. Tuule puhul leiti kolm teenusepakkujat, kust hinnapakumist küsida AEA OÜ, OÜ RP Kuubis, Energiaekspert OÜ, kuid vastus laekus ainult ühest kohast. Maakütte puhul saadeti hinnapakumiste päringud ettevõtetele Soojuskeskus OÜ, Kliimaseade OÜ, Maaküte OÜ, ABC Kliima, OÜ Hilaris, OÜ Aitwave, Bestair OÜ ning vastused laekused neljalt teenusepakkujalt.

5.3 Tasuvusanalüüsi meetodika

Praktikas laialdaselt kasutatav üks kergemaid investeeringute hindamise viise on tasuvusaja leidmine (Rahandus, 2021). Tasuvusaeg viitab ajale, mis kulub investeeringu maksumuse taastamiseks (*Ibid*). Lihtsamalt öeldes on tasuvusaeg ajavahemik, mille jooksul investeering jõuab tasuvuspunktini (*Ibid*). Investeeringu soovitatavus on otseselt seotud selle tasuvusajaga (*Ibid*). Investeeringuprojekt on parem kui tasuvusaeg on lühem (*Ibid*).

5.3.1 Päikeseenergialahenduse tasuvusaeg

Päikesepaneelide kasutamise tasuvusaeg leitakse kasutades valemeid 1 ja 2.

D = (A*B) – C, kus: (Valem 1)

A – Ligikaudne aastane toodang, kWh;

B – Elektrienergia hind, €/kW

C – hoolduskulu, €

D – Iga-aastane kokkuhoid, €

T= M/D, kus:

(Valem 2)

T – Tasuvusaeg, aastates

M – Soetusmaksumus, €

D - Iga-aastane kokkuhoid, €

Arvesse võetakse, et kogu elektrienergia tarbitakse ära kohapeal ja päikeseelektrijaam ostetakse välja kohe (Tera, 2021).

5.3.2 Maasoojuspumba tasuvusaeg

Maasoojuspumba tasuvusaeg leiti kasutades valemit 3. Valemist puudub soetusmaksumuse juurest küttejaotussüsteemi rahaline väärtus, sest olenevalt pakkujast varieerub see suures ulatuses. Arvestada tuleb siiski, et maasoojuspumba kasutamisel on küttejaotussüsteem vajalik ning ilma selleta ei saa, kuid arvutuse lihtsuse huvides otsustati töös selle erinevate pakkumiste võrdlemiseks välja jätta.

T=M/(A+B+C+D), kus:

(Valem 3)

T – Tasuvusaeg, aastates

M – Soetusmaksumus, €

A – Puidu maksumus, €

B – Transport. €

C – Töö, mugavus, €

D – Elektrikulu kütteks , €

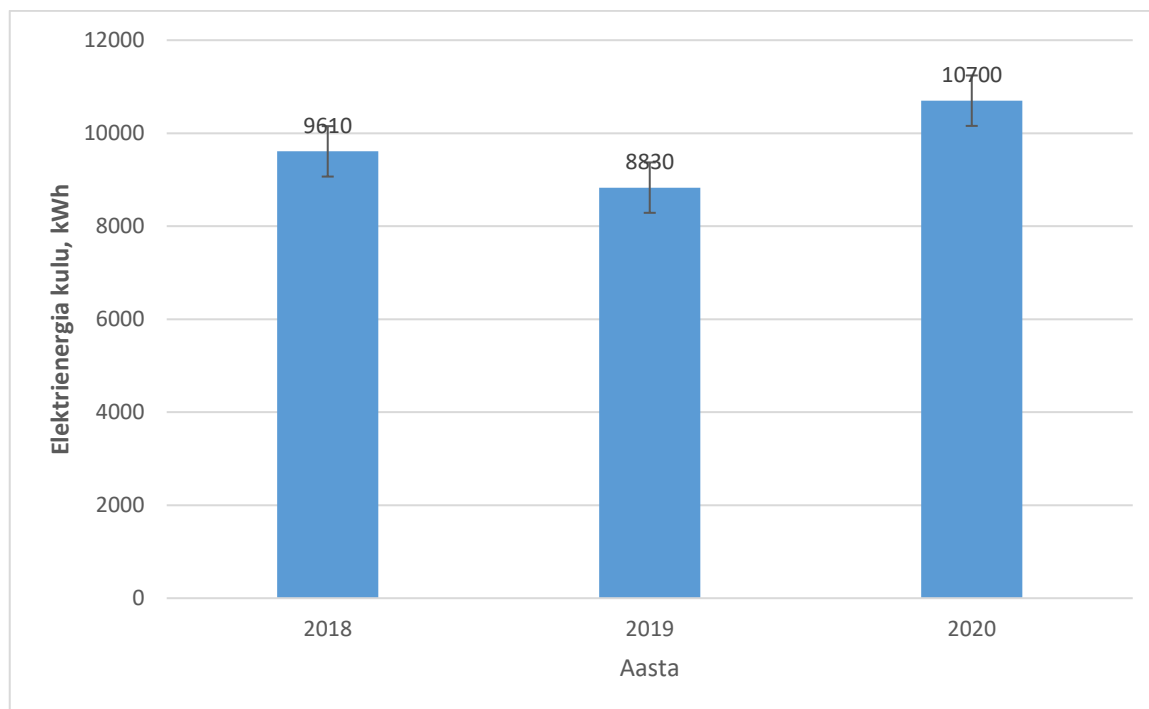
5.3.3 Muud andmed

Elektrikulu andmed päriti AS Elektrilevist ning Alexela Energia OÜ. Ilmaandmed Eesti Ilmateenistuse koduleheküljelt.

6 TULEMUSED JA ARUTELU

Alljärgnevalt on tulemustest näha Saadjärve mõisa kärnerimaja viimase kolme aasta keskmine elektritarbimine ja elektrikulu nii aasta kui ka kalendrikuu põhiselt ja ilmateenistuse andmed.

6.1 Energiatarbimine



Joonis 12 Viimase kolme aasta eramu keskmine elektritarbimine (Elektrilevi, 2021)

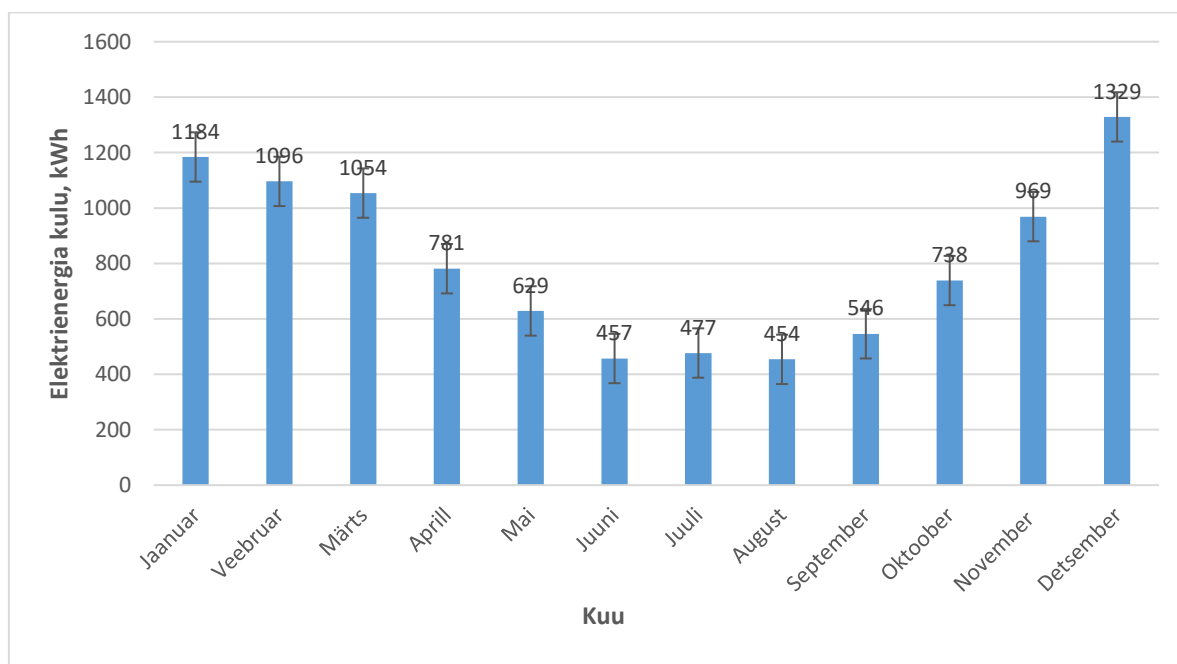
Joonisel 12 on näha viimase kolme aasta eramu elektritarbimine. 2018 aastal oli elektritarbimine 9610 kWh ja 2019 oli elektritarbimine 8830 kWh. Kõige suurem elektritarbimine oli aastal 2020 (10 700 kWh). Kolme viimase aasta jooksul tarbiti aastas antud objektile keskmiselt 9713 kWh elektrienergiat. Viimase aasta hüppelist muutust võis põhjustada eramus teostatud ümberehitus, mille tagajärjel lisandus 20 m² köetavat pinda. Vana õhksoojuspump vahetati uuema vastu, küttevõimsus tõusis 3,6 kW pealt 3,8 kW-ni.

Eestis oli päikesepaistelisi tunde aastal 2018 keskmiselt 2069,8 h (norm on 1765,8 h) (Ilmateenistus, 2021). Eesti keskmine õhutemperatuur antud aastal oli 7,1 °C (norm 6,0 °C) (*Ibid*). Kõige külmem kuu oli veebruar, mille keskmine õhutemperatuur oli

-6,9 °C (norm -4,5 °C) (*Ibid*). Kõige soojem kuu oli juuli, kus kuu keskmine temperatuur oli 19,9 °C (norm 14,4 °C) (*Ibid*).

Eestis keskmiselt oli päikesepaistelisi tunde aastal 2019 1971,8 h (norm on 1765,8 h) (Ilmateenistus, 2021). Eesti keskmine õhutemperatuur aastal 2018 oli 7,6 °C (norm 6,0 °C) (*Ibid*). Kõige külmem kuu oli jaanuar, mil keskmine õhutemperatuur oli -4,1 °C (norm -4,5 °C) (*Ibid*). Kõige soojem kuu oli juuni, kus keskmine õhutemperatuur oli 17,5 °C (norm 14,4 °C) (*Ibid*)

Aastal 2020 oli Eestis keskmiselt päikesepaistelisi tunde 1995,3 h (norm on 1765,8 h) (Ilmateenistus, 2021). Eesti keskmine õhutemperatuur aastal 2018 oli 8,4 °C (norm 6,0 °C) (*Ibid*). Kõige külmem kuu oli veebruar, mille keskmiseks osutus 1,7 °C (norm -4,5 °C) (*Ibid*). Kõige soojem kuu oli juuni, kus keskmine temperatuur oli 17,4 °C (norm 14,4 °C) (*Ibid*). Norm tähendab sõnaraamatu järgi ettekirjutist (*Ibid*). Klimatoloogias tähendab norm üsna pika perioodi kliimaandmete keskmist ja klimatoloogias on kõige lühem aeg, mil saab rääkida teatud paiga kliimast vähemalt 30 aastat (*Ibid*).

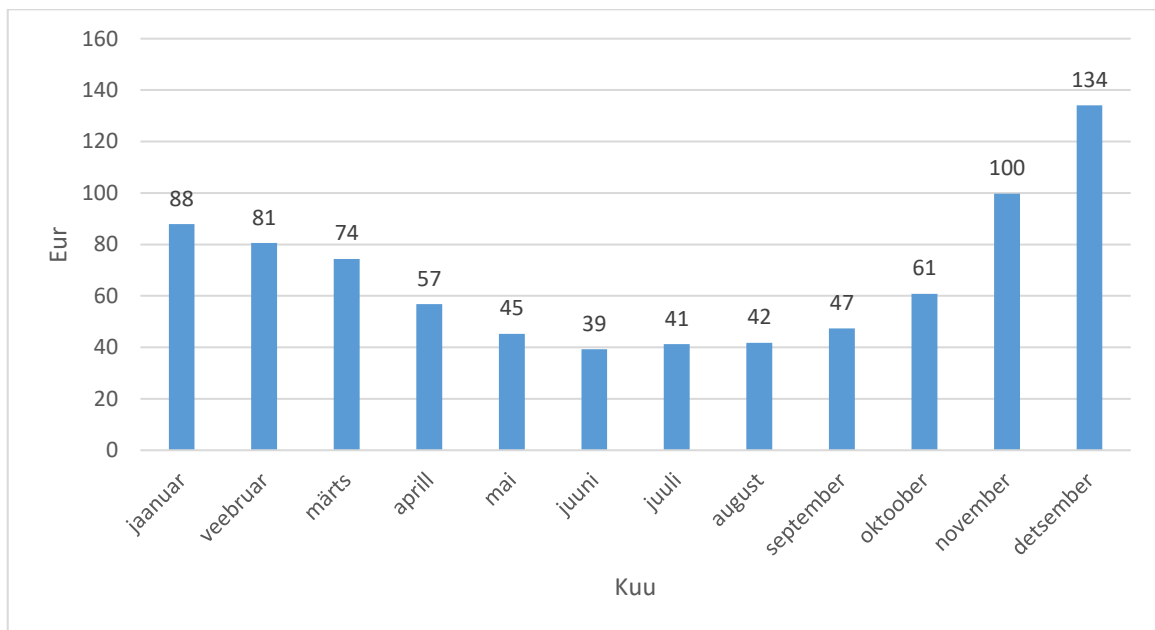


Joonis 13 Viimase kolme aasta eramu kalendrikuu põhine keskmine elektritarbimine (Elektrilevi, 2021)

Joonisel 13 on näha viimase kolme aasta keskmine eramu kalendrikuude põhine elektritarbimine. Eramu keskmine elektritarbimine aastal 2018-2020 oli 9713 kWh. Jooniselt selgub, et kevad- ja suvekuudel on elektritarbimine oluliselt madalam kui

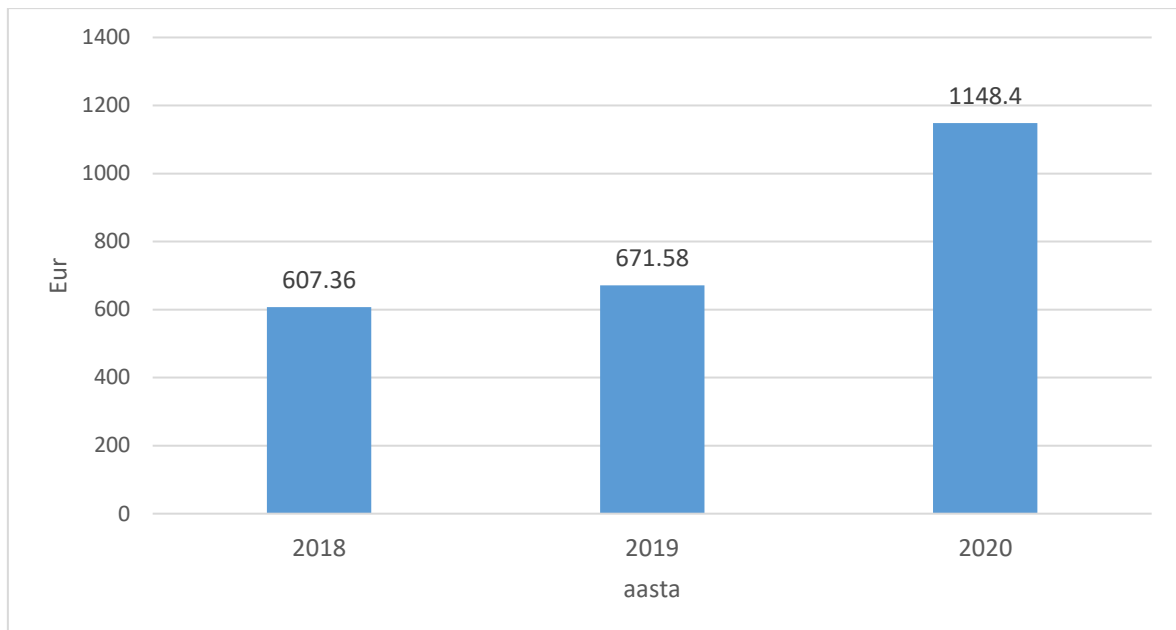
talvisel perioodil. Kõige vähem kulus elektrienergiat augustis, kus kolme aasta keskmine tarbimine oli 454 kWh. Kõige rohkem kulus elektrienergiat detsembris, kus keskmine tarbimine on 1329 kWh.

6.2 Energiakulud



Joonis 14 Viimase kolme aasta eramu kalendrikuu põhine keskmine elektrikulu (Alexela, 2021)

Joonisel 14 on näha eramu kolme aasta kalendrikuu põhise keskmise elektrikulu. Kõige suurem kulu on talvekuudel - detsember, jaanuar ja veebruar, sügise lõpp november ja varakevadel märtsis. See on tingitud sellest, et antud kuudel külma tõttu köetakse maja rohkem. Antud joonisel elektrikulu sisaldab ka võrguteenust, taastuenergia tasu ja elektriaktsiisi.



Joonis 15 Elektrikulu viimasel kolmel aastal (Alexela, 2021)

Joonisel 15 on näha eramu kolme aasta elektrikulu maksumus eurodes. Aastatel 2018 ja 2019 on elektrikulu üsna lähedased, kus 2018 oli elektrikulu 607,36 € ja 2019 oli 671,58 €. Eelmisel aastal 2020 on tulnud märgatav tõus, kus elektrikulu oli koguni 1148,4 €. See võib olla tingitud sellest, et eramus toimus ümberehitus ja kasutati ka lisaküttena elektriradiaatorit rohkem kui varsematel aastatel. Samuti mängib kindlasti rolli koroonaviiruse levik, sest 2020 aastal töötati ja viibiti oluliselt rohkem kodus. Antud joonisel elektrikulu sisaldab ka võrguteenust, taastuvenergia tasu ja elektriaktsiisi.

Eramus kulub ligikaudu 40 ruummeetrit puitu aastas (Torim, 2021). Eramus kasutatakse kütteks peamiselt saart ja musta leppa (Torim, 2021). Saare kütteväärtus on 1950 kWh/rm ja mustal lepal 1560 kWh/rm (Mytting, 2014). Kui aastane elektrikulu oli 2018 aastal 607 €, siis sellest ligikaudu 200 € moodustas küttekulu. 2019 aastane elektrikulu oli 671 €, siis sellest ligikaudu 290 € oli küttekulu. Aastal 2020 oli aastane elektrikulu 1148 €, siis sellest ligikaudu 440 € oli küttekulu. Kolme aasta keskmiseks küttekululeks teeb see 430 €. Sellele lisandub juurde veel puidukulu. Aastas kulub umbes 40 ruumimeetrit (1x1x1 meetrit) küttepuitu. Võttes arvesse sanglepa ja saare turuhinna, mida küttepuiduna antud objektile kasutatakse, maksab 1 ruumimeeter antud küttepuitu sõltuvalt pakkujast 75-90 € (Tuleurg, 2021). Kogu aasta eramu küttepuidu hind jääks sellisel juhul vahemikku 3000-3600 eurot. Keskmiselt puidukulu ja elektriküttekulu jääks eramus aastas 3730 € juurde. Hetkel ja ka lähitulevikus antud eramul läheb puidukulule 0 €, kuna puit saadakse enda kinnistult.

6.3 Eramu soojustus

Varsemalt Karin Torimi poolt aastal 2016 on sama eramu kohta koostatud magistritöö hoone energiatõhususest. Töö käigus selgitati välja Saadjärve mõisa kärnerimaja energiatõhusus ning anti eksperthinnang maakivist seinale ja pakuti välja lahendusi soojusliku mugavustunde suurendamiseks muinsuskaitse alla kuuluvas maakivimajas. Töö käigus uuriti piirdekonstruktsioone termokaameraga ning arvutati standardite põhjal välja piirdekonstruktsioonide soojusjuhtivus ning leiti välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta ja kontrolliti kondenseerumise ohtu välispiiretes (Torim, 2016).

Võrreldes uurimistöö teostamise ajal kehtivate energiatõhususe miinimumnõuetega on välispiirete soojusjuhtivuste väärtused enamasti konstruktsioonide osas normist suuremad (Torim, 2016). Maakiviseina U-arv on $0,96 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$, energiatõhusa seina puhul oleks see $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ (*Ibid*). Energiatõhususnõuetele vastaksid mansardkatuse alla jäävad seinad (*Ibid*). Summaarseks soojuserikaoks köetava pinna ruutmeetri kohta saadi $3,84 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ ning soojuskadu läbi piirete on $377,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (*Ibid*). Näha on, et tegemist pole energiatõhusa hoonega, kui energiatõhususnõuete kohaselt peab suuremahuliselt rekonstrueeritava väikeelamu energiatõhususarv jääma alla $210 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (*Ibid*).

Olukorra parendamiseks pakuti välja järgmisi lahendusi: akende vahetamine, puistevilla lisamine pööningule, põrandate renoveerimine ja seinte soojustamine tselluvilla või termovahuga (liiga töömahukas) või lihtsamad lahendused lisakütte näol nt põrandaliistküte (Torim, 2016). Jõuti järeldusele, et pakutud soojustuslahendused ideaalset tulemust nageni ei annaks, seega tuleks pigem tähelepanu pöörata alternatiivsetele lahendustele nagu küttesüsteemi täiustamine (*Ibid*).

6.4 Maasoojuslahendused

Hinnapakumisi küsiti ettevõtelt Soojuskeskus OÜ, Kliimaseade OÜ, Maaküte OÜ, ABCKliima OÜ, Hilaris OÜ, Daikini Thermia OÜ, Bestair OÜ, Prokliima OÜ. Pakkumisi laekus neljalt. Toodi välja eramu pindala. Suletud netopind on $193,7 \text{ m}^2$, millest köetav osa on 160 m^2 ning krundi suurus on $2,1 \text{ ha}$, kuid arvestatav on $1,2 \text{ ha}$. Pakkumisse lisati katastriüksuse number.

Tabel 1 Maasoojuspumpade pakkujad ja andmed

Pakkuja	Seadmed	Võimsus	Hind (koos paigaldusega)	Tasuvusaeg
Soojuskeskus OÜ	Maasoojuspump Bosch Compress 7001 LWM	8 kW	~12 760 €	~13,2 a.
Maaküte OÜ	Thermia Calibra 12 invertermaasoojuspump	12 kW	~12 103 €	~12,5 a.
ABC KLIIMA	Nibe: soojuspump: FIGHTER S1255-12 R EM	12 kW	~12 530 €	~12,9 a.
PROKLIIMA	Nibe S1255-12 veeboileriga 180L	12 kW	~13 150 €	~13,6 a.
Eluiga 20-25 a.				

*Kõik hinnad sisaldavad käibemaksu (20%)

6.4.1 Hinnapakumised

Soojuskeskus OÜ andis pakkumise maasoojuspumbale *Bosch Compress 7001 LWM 2-8 kW*, koos paigalduse ja materjalidega, mille maksumus on 12 760 €. Maasoojuspumba soojusvõimsus on 2-8 kW. Pumba COP on 4,6. SCOP radiaatorküttena (+55°C) on 4,16 ja pörandaküttena (+35°C) on 5,7. Telefoni teel rääkides tegi Soojuskeskus OÜ pakkumise ka küttejaotussüsteemile, milleks on 7 terasradiaatori (*Termolux*) paigaldus, koos materjalidega ja kütteprojekteerimisega. Nimelt ei taheta eramul pörandat lahti võtta, seepärast soovitakse radiaatorküttejaotust pörandküttejaotuse asemel. Koos radiaatorküttejaotusega oleks maksumus 16 707 €.

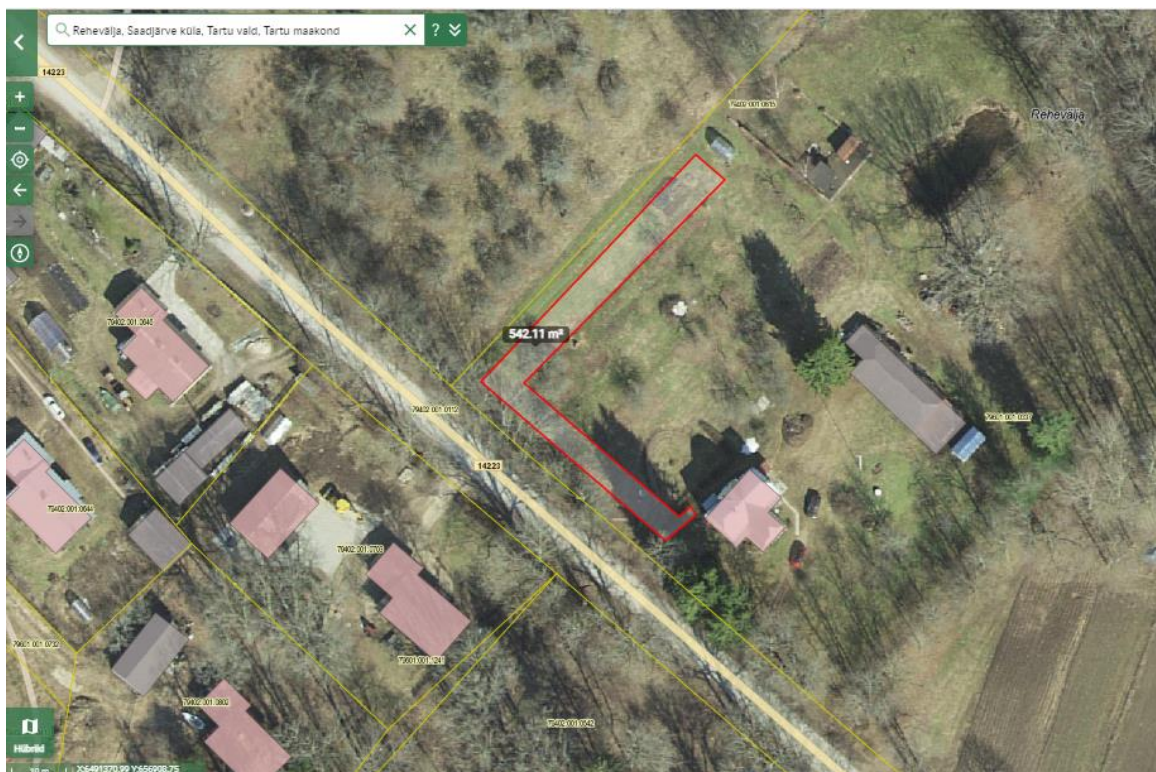
Maaküte OÜ andis pakkumise maasoojuspumbale *Thermia Calibra 12*, koos paigalduse ja materjalidega, mille maksumus on 12 103 €. Pakutud maasoojuspumba soojusvõimsus on 3-12 kW. Pumba COP on 4,75. SCOP radiaatorküttena (+55°C) on 4,29 ja pörandaküttena (+35°C) 5,8.

ABC KLIIMA andis pakkumise maasoojuspumbale Nibe: soojuspump: *FIGHTER S1255-12 R EM*, koos paigalduse ja materjalidega, mille maksumus on 12 530 €. Pakutud maasoojuspumba soojusvõimsus on 3-12 kW. Pumba COP on 4,87. SCOP radiaatorküttena (+55°C) on 4,3 ja pörandaküttena (+35°C) 5,4.

PROKLIIMA OÜ andis pakkumise maasoojuspumbale Nibe: soojuspump: *FIGHTER S1255-12 R EM*, koos paigalduse ja materjalidega, mille maksumus on 13 150 €. Pakutud maasoojuspumba soojusvõimsus on 3-12 kW. Pumba COP on 4,87. SCOP

radiaatorküttena (+55°C) on 4,3 ja põrandaküttena (+35°C) 5,4. Lisaks tegi pakkumise radiaatorküttesüsteemi väljaehituseks, milleks lisanduks 6624 € ehk kokku 19 774 €. Radiaatorküttesüsteemi väljaehitus sisaldab 12 teraspaneelradiaatorit koos paigaldusega.

6.4.2 Maakontuuri asukoht ja kollektori, küttejaoatusüsteemi valik



Joonis 16 Kinnistul võimalik maakontuuri asukoht (Soojuskeskus OÜ, Maa-amet, 2021)

Joonisel 16 on pakkuja poolt näidatud võimalik maakontuuri asukoht kinnistul. Tegemist on horisontaalkollektoriga, sest antud üksusel ruumi leidub. Rusikareegli kohaselt vajab 1 m² maja köetavat pinda vähemalt kolm meetrit maakollektorit ehk 3,6 m² maapinda. Näiteks kollektori jaoks, mis on 600 meetrit pikk oleks vaja ligikaudu 720 m² vaba maapinda. Lisaks on paigaldus odavam kui näiteks vertikaalkollektori paigaldus. Näiteks 200 m² eramu puhul, mille soojuskoormus on ~10 kW oleks vaja puurida ligikaudu 150- 200 meetri sügavusele (Maaküte-info: A, 2019). Keskmiselt jääb puurimishind vahemikku 40-50 eur/meeter, olenevalt regionist (*Ibid*). Horisontaalkollektorit tuleks paigaldada antud eramu kohaselt ligikaudu 600 m. Seega saab näitena tuua, kui 150 m sügavuse puuraugu rajamine võiks maksma minna ligi 6000 eurot (40x150), siis maakollektori paigaldamine läheks maksma ligikaudu 2000 eurot, kuna paigaldamise hind on umbes 3,60 eur/meeter (*Ibid*).

Hinnapakkumistelt saadud maasoojuspumbad toodavad tagasi keskmiselt 4,6-4,87 kWh soojusenergiat iga 1 kWh elektrienergia kohta. Eramu köetav osa on pindalaga 160 m² ja sellest lähtuvalt pakutud maasoojuspumpade soojusvõimsus on 8-12 kW ja maksumus koos paigaldusega (välja arvatud küttejaotussüsteemi ehitus) jääb 12 600 € kanti. Küttejaotussüsteemiks valitaks radiaatorküttesüsteem, kuna eramus on põrand ehitatud, siis loogiline valik on radiaatorküte, kuna põrandaid ei taheta lõhkuda. Lisades pumba ja selle paigalduse maksumuse, kujuneks küttejaotussüsteemi maksumuseks ligikaudu 15 900 €. Soojuskeskus OÜ pakkumine 7 terasradiaatorile koos paigaldusega oli 3290 €. Prokliima OÜ tegi pakkumise 12 terasradiaatorile koos paigaldusega, mille maksumus oli ligi 5520 €. Soojuskeskus OÜ töötajaga rääkides piisaks 7 terasradiaatorist.

Maa-ameti kaardirakenduse kohaselt ei jää Saadjärve mõisa kärnerimaja veehaarde kaitsevööndisse. Antud kinnistule sobiks horisontaalmaakollektori paigaldus, kuna maa-ala jagub ja hind võrreldes teiste kollektoritega on madalam. Hinnapakkumistest selgus, et vaja läheks 500-700 m kollektori paigaldust, olenevalt pinnase iseärasusest. Vaba maapinda oleks vaja vähemalt 700 m². Soojuspuuraukudest loobutakse, kuna hind on kallim nende suure paigaldussügavuse tõttu.

6.4.3 Maasoojuspumpade tasuvusarvutus

Tabel 2 Eramu ligikaudne rahaline kulu kütmisele ühe aasta jooksul

Tasuvusarvutus	
Puidu maksumus (€)	~ 0 €
Transport (€)	~ 0 €
Töö, mugavus(€)	~ 540 €
Elektrikulu (küte) (€)	~ 430 €
KOKKU (€)	~ 970 €

Maasoojuspumba tasuvusarvutuses (tabel 2) võetakse aluseks hetkeline puidu ja elektrikütte kulu ning töö ja transpordi maksumust. Soojuspumba maksumus jagatakse aastase küttekuluga, et leida tasuvusaeg (Võik, 2015). Aastas kulub ligikaudu 40 ruummeetrit puitu. Puidu maksumus on 0 € ja transpordi juures on arvestatud puidu toomise kulu, mis on samuti 0 €, kuna eramus saab enda kinnistult vajaliku koguse puitu. Töö ja mugavuse seisukohalt on raske öelda kui suur võiks selle rahaline väärtus olla. Arvestatakse ligi kuue kuu kütmisega, iga kuu umbes 30 päeva ja ühe päeva tasu võiks

olla umbes 3 €. See tuleks 540 €/aastas. Töö hõlmab lisaks igapäevasele kütmisele ka puude lõhkumist.

Tasuvusaeg maasoojuspumpadel jääb keskmiselt 13 aastale (tabel 1 leheküljel 41). Tasuvusarvutuses võeti arvesse nii pumba kui ka paigalduse maksumus. Välja jäi küttejaotussüsteem, kuna kõikidelt pakkujatelt küttejaotussüsteemile pakkumist ei tulnud. Näiteks üheks radiaatorkütte jaotussüsteemi pakkumiseks oli paigaldus 7 radiaatorile, mis läheks ligikaudu 3000 eurot lisaks maksma ja kui see tasuvusaja arvutusse juurde arvestada, siis tasuvusaeg pikeneks veelgi. Võttes aluseks kõige odavama pakkumise, mis oli Maaküte OÜ poolt 12 103 € ja lisades sellele ligikaudse radiaatorküttesüsteemi maksumuse, siis tuleks tasuvusajaks umbes 15,6 aastat.

Süsteemi eluiga võib jääda vahemikku 20-25 aastat, kuid olemasolevad soojuspumbad suure tõenäosusega võivad jääda 15-20 aasta pärast jalgu oma kasuteguritega uuematele ja täiustatud maasoojuspumpadele. Mõeldes kõige halvemale stsenaariumile, kus süsteem tuleks välja vahetada juba 15 aasta pärast, siis antud eramul ei ole majanduslikult tasuv üle minna maaküttelahendusele. Peamine põhjus miks eramul oleks hea maaküttesüsteemile üle minna oleks seepärast, et mugavuskoefitsient suureneks ehk maasoojuspumba süsteem töötab automaatselt ja tulevikus tahetakse puuküttest kindlasti osaliselt loobuda, kuna maja omanikud vananevad ja kütmisega seotud tööd lähevad raskemaks. Veelgi enam maasoojuspumbaga säästab keskkonda, sest tegevus on süsinikneutraalne ning üldiselt kataks maasoojuspump eramu täieliku küttevajaduse, kus ruumid ja tarbevesi oleksid soojad.

Töö käigus leiti, et maasoojus kütte lahendusele üleminek eramule ei ole majanduslikult tasuv. Tuleb edasi uurida, mis on sobilikum lahendus majanduslikult kui ka mugavuse poole pealt eramu küttevajaduse katteks.

6.5 Päikeseenergialahendused

Ühe lahendusena kaaluti taastuvenergialahendusel põhineva elektritootmisvõimalusena Saadjärve mõisa kärnerimaja puhul päikesepaneelide kasutamist, seepärast otsiti vajalik informatsioon ja arvutati majanduslik tasuvus. Hinnapakumisi küsiti ettevõtetest Smartecon OÜ, AU Energiateenus OÜ, Solar4you OÜ, Energogen OÜ, Bestor

OÜ, Taastuveneriga OÜ, Solarstone OÜ, Energiapartner OÜ, ABC Kliima OÜ. Pakkumisi laekus viielt. Toodi välja eramu katastriüksuse number ja saadeti eelmiste aastate energiatarbimised (kWh). 2018 oli energiatarbimine 9610 kWh, 2019 oli 8830 kWh, 2020 oli 10 700 kWh. Samuti saadeti võimalik päikesepargi asukoht ning kõiki pakkumisi sooviti maapaigalduseks, kuna antud hoone välisilmet ei tohi muuta muinsuskaitsest tingitud piirangute tõttu. Oodati orienteeruvat maksumust koos paigaldusega ja sooviti samuti saada süsteemivõimsust ning orienteeruvat tootlikkust aastas.

Tabel 3 Päikesepargi pakkujad ja andmed

Pakkuja	Seadmed	Võimsus	Hind (koos paigaldusega)	Tasuvusaeg
Energogen OÜ	Huawei SUN2000-12KTL-M0	12 kW	~12 486 €	~8 a.
Bestor Grupp	Fronius Symo 10 kW	10 kW	~11 892 €	~8 a.
Sloar4you	Huawei SUN 2000-10KTL-M0	10 kW	~12 915 €	~8,2 a.
Taastuvenergia OÜ	Fronius SYMO 10.0-3M	10 kW	~11 049 €	~6,9 a.
ABC kliima	Huawei SUN2000-10KTL-M0	10 kW	~12 999 €	~7,9 a.
Eluiga 25-30 a.				

*Kõik hinnad sisaldavad käibemaksu (20%)

6.5.1 Hinnapakumised

Energogen OÜ

Energogen OÜ edastas pakkumise, kus lähtuti toodud suurimast elektrikulust ja valiti jaama võimsus, mis oleks natuke ka üle pakutava jaama asukohapõhise prognoositava aastase tootluse, milleks on ~ 11 746 kWh. Inverteri (muunduri) *Huawei SUN 2000-10KTL-M0* nimiväljundvõimsus on 12 kW, max näiline jõud on 13 200 VA, Euroopa kaalutud efektiivsus on 98%, töötemperatuuri vahemik -25 ~ + 60 °C. Paneelide võimsus on 440 W, mida on 30 tk. Paigalduse asukohaks on maapind, paneelid on monokristall paneelid, mille suund on lõunasse ja kaldenurk 35 kraadi. Maksumus on ligikaudu 12 486 € (koos käibemaksuga), mis sisaldab seadmeid, paigaldust ja liitumist.

Bestor GRUPP AS

Bestor Grupp AS edastas pakkumise, kus prognoositav aastane tootlikkus on ligikaudu 11 300 kWh. Inverteri *Fronius Symo* nimivõimsus on 10 kW ja näiline jõud 10 000 VA,

Euroopa kaalutud efektiivsus on 97,4 %, töötemperatuuri vahemik -40 ~ + 60 °C. Paneelide võimsus on 340 W, mida on 34 tk. Summaarne teoreetiline prognoositud toodang aastas 11 300 kWh. Paigalduse asukohaks on maapind, paneelid on monokristall paneelid, mille suund on lõunasse ja kaldenurk 35 kraadi. Maksumus on ligikaudu 11 892 € (koos käibemaksuga), mis sisaldab seadmeid, paigaldust ja liitumist.

Solar4you

Solar4you OÜ edastas pakkumise, kus päikesepaneelide arv ühe pargi kohta on 32 tk. Ühe päikesepaneeli võimsus 410 W. Summaarne võimsus pargi kohta on 13,12 kWp (inverter *Huawei SUN 2000-10KTL-M0*). Inverteri nimivõimsus on 10 kW ja näiline jõud 11 000 VA, Euroopa kaalutud efektiivsus on 98,1 %, töötemperatuuri vahemik -25 ~ + 60 °C. Paneelide kaldenurk on 35° , kõrvalekalle lõuna suunast 0°, summaarne teoreetiline prognoositud toodang aastas 12 000 kWh. Paigalduse asukohaks on maapind, paneelid on monokristall paneelid. Maksumus on ligikaudu 12 915 € (koos käibemaksuga), mis sisaldab seadmeid, paigaldust ja liitumist.

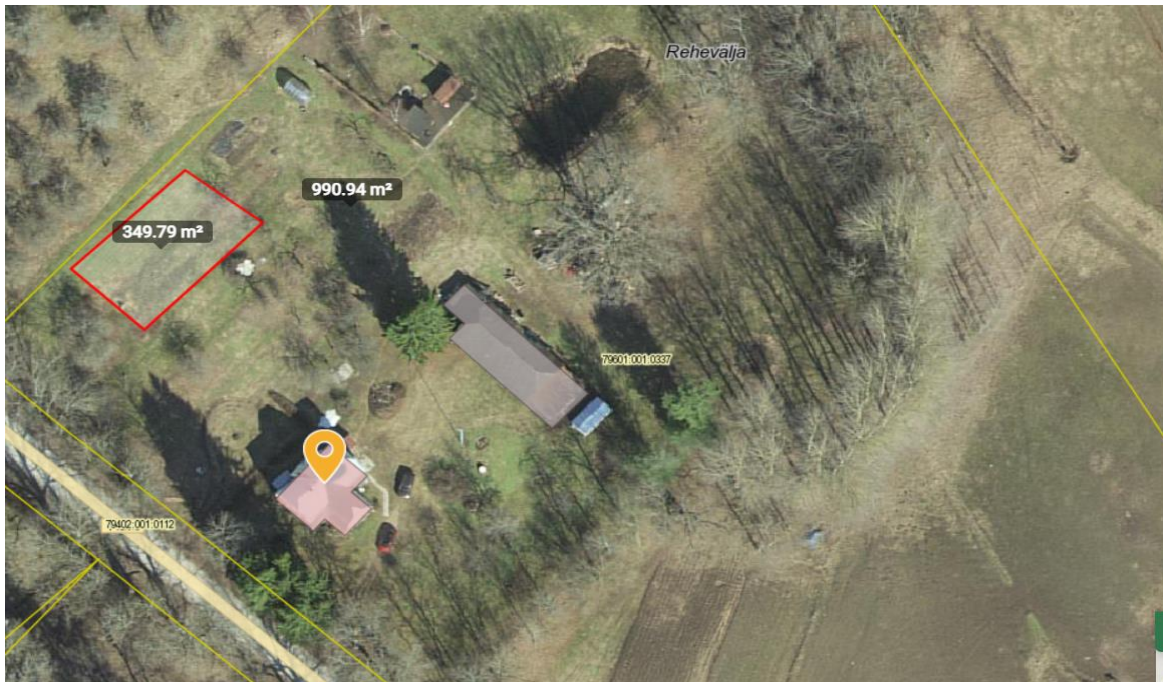
Taastuenergia OÜ

Taastuenergia OÜ edastas pakkumise, kus prognoositav aastane tootlikkus on ligikaudu 12 128 kWh. Inverteri *Fronius Symo* nimivõimsus on 10 kW ja näiline jõud 10 000 VA, Euroopa kaalutud efektiivsus on 97,4 %, töötemperatuuri vahemik -40 ~ + 60 °C. Paneelide võimsus on 385 W, mida on 30 tk. Summaarne teoreetiline prognoositud toodang aastas on 12 128 kWh. Paigalduse asukohaks on maapind, paneelid on monokristall paneelid, mille suund on lõunasse ja kaldenurk 35 kraadi. Maksumus on ligikaudu 11 049 € (koos käibemaksuga), mis sisaldab seadmeid, paigaldust ja liitumist. Taastuenergia OÜ pakub ka *TreeSystem* maaraami, mis ei nõua raami paigalduse juures kaevetöid. See tähendab, et antud paneelide kinnitusraamid on sobinud paigaldamiseks ka muinsuskaitse maa-aladel.

ABC KLIIMA

ABC Kliima edastas pakkumise, kus prognoositav aastane tootlikkus on ligikaudu 12 500 kWh (Inverteri *Huawei Sun2000-10KTL-M0*). Inverteri nimivõimsus on 10 kW ja näiline jõud 11 000 VA, Euroopa kaalutud efektiivsus on 98,1 %, töötemperatuuri vahemik -25 ~ + 60 °C. paneelide võimsus on 375 W, mida on 36 tk. Paigalduse asukohaks on maapind, paneelid on monokristall paneelid, mille suund on lõunasse ja kaldenurk 35 kraadi. Maksumus on ligikaudu 12 999 € (koos käibemaksuga), mis sisaldab seadmeid, paigaldust ja liitumist.

6.5.2 Autori poolt välja pakutud asukoht ja päikesepargi talitus



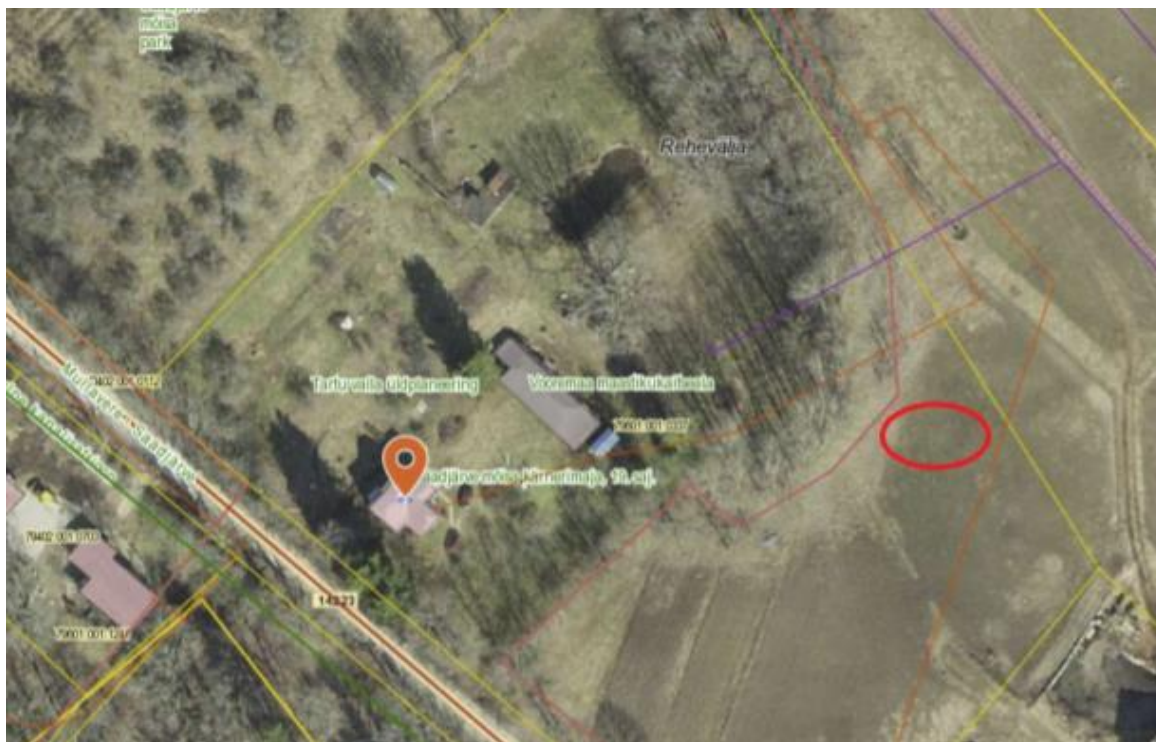
Joonis 17 Autori enda poolt välja pakutud päikesepargi asukoht (Maa-amet, 2021)

Pargi talitust ehk toodangu mahtu kevad-suvi-sügisel perioodil mõjutavad mitmed tegurid, näiteks päikeseaktiivsus (Solar4you, 2021). See tähendab, mida aktiivsem on päike, seda suurem on võimsus (*Ibid*). Samuti pärsib tootlikkust sademete, pilvkatte olemasolu (*Ibid*). Päikese horisontaalne kõrgus ja asimuut päikesepaistelise päeva lõikes ehk, mida rohkem langeb kiirgus risti paneelidega (nii vertikaalis kui ka horisontaalis), vastavalt seda suurem on tootlikkus (*Ibid*). Täieliku hajusvalguse ehk difuusse kiirguse puhul ei oma eelnevalt mainitud parameetrid nii olulist tähtsust, pargi võimsus sellistes ilmastikuoludes langeb normaalsest kuni 7 korda (*Ibid*). Talvisel perioodil moodustab talvekuude toodangu summa aastasest kogutoodangust keskmiselt kõigest 7% tänu võimalikule paneele katvale lumekattele ja püsivalt kehvadele meteoroloogilistele ilmastikutingimustele (*Ibid*). Miinustemperatuuride korral võib tootlikkus samas kasvada kuni 5% tänu just maapinda katvale lumele (valgust peegeldav tegur) ning lisaks on siis ka PV-paneelide kasutegur kõrgem. (*Ibid*).

Päikesepargi asukohaks pakuti joonisel 17 toodud asukohta. Leiti, et antud asukoht on sobiv, sest asub majale lähemal. Olgugi, et pakutud asukohas on puud, on tegemist madalate õunapuudega ning need ei tohiks osutada määravaks päikesepaneelide paigutusel. Pakutud asukoht jääks ka pindalalt soovitud piiridesse ning koduhoovis

paiknemine pakuks kaitset ka soovimatute uudistajate eest. Vajalik pindala päikesepargi rajamiseks oleks ligikaudu 250 m².

6.5.3 Reaalne asukoht päikesepargi rajamiseks ja selle võimekus



Joonis 18 Asukoht pakkujate poolt, kuhu oleks hea päikepark planeerida (Maa-amet, 2021)

Eesmärgiks on rajada 10 kW päikeseelektrijaam aadressile Rehevälja, Saadjärve, Tartu vald territooriumile maapaigalisena. Päikeseelektrijaama tüüp on „ON GRID” – ehk tootmine toimub ainult aktiivse võrguühenduse korral. Genereeritud elektrit ei salvestata, vaid see suunatakse otse elektrivõrku. Antud tüüpi päikeseelektrijaamade planeeritud elueaks on vähemalt 25 aastat. Tootmisvõimsusega 10 kW. Kuna päikesepaneelid toodavad alalisvoolu, siis toodang muundatakse inverteri abil nõutud parameetritega vahelduvvooluks ja suunatakse kinnistu (majapidamise) elektrivõrku olme tarbeks. Toodetud elektrienergia ülejääk liigub avalikku elektrivõrku, mille eest on pargi omanikul õigus saada tasu tunnipõhise börsitariifi alusel. Inverterite hetkeline väljundvõimsus sõltub otseselt päikesepaneelide toodangust ja võib olla vahemikus 0- 10 kW.

Päikesepaneelid on aina enam osutunud heaks abimeheks elektri tootmisel. Päikesepaneelide süsteemid on töökindlad ning ei vaja eraldi hooldust. Selliseid kohti, kuhu päikesepaneele ei tasu paigaldada on vähe. Kuna antud eramu on ehitismälestis,

siis kehtivad mitmed nõuded ehitamisele. Näiteks ei tohiks maja välisilmet muuta ja seepärast otsustati uurida võimalusi päikesepaneelide maapinnale rajamiseks. PV-paneelid on projekteeritud paigaldamiseks maapinnale, spetsiaalsetele, tehases valmistatud kandekonstruktsioonidele, mille alustalad süvistatakse maasse. Päikesepaneelide maapinnale rajamisel tänu paremale jahutusele, suureneb päikeseelektrijaama tootlikkus ligi 5% (Vilk, 2018). Samuti on paneelidelt kergem lund ära pühkida ja talvekuudel võib paneel toota rohkem energiat.

Joonisel 18, mis asub eelmisel leheküljel on näidatud pakkujate poolt välja pakutud võimalik asukoht päikesepargi rajamiseks. Antud ala on piisavalt suur ja avar rajamaks päikeseparki, mis hõlmaks kogu tarbimismahtu. Enda pakutud asukohast joonisel 17 (leheküljel 47) on pakkujate asukoht parem seepärast, et elektrikilp paikneb lähemal ning plats on lagedam. Osa pakkujaid täpsustasid ka paneelide suunda ja kallet. Nimelt suunaks võiks olla lõuna ja paneelide kalle 35 kraadi. Pakutud alal peetakse hobused, seega soovib omanik päikesepargi ümber piirdeaeda, mille maksumus oleks Solar4you poolt pakutult 3256 € (3D tsinkpaneel h=1730mm, värav 4m).

Kõige parema tasuvusaja saavutamiseks tuleb valida päikeseelektripargi võimsuseks suurus, kus toodetud elekter kasutatakse ise ära. Saadjärve mõisa kärnerimaja viimase kolme aasta keskmine elektritarbimine on 9713 kWh, mille kohaselt võiks võimsus pargil olla 10 kW. Töös tuleb arvestada, et maksumused on pärit erinevatelt pakkujatelt ja detailset hinnapakumist ei soovitud. Oodati orienteeruvat maksumust koos paigaldusega ja päikesepargi puhul sooviti saada süsteemivõimsust ning orienteeruvat tootlikkust aastas. Samuti on tasuvusaja leidmiseks kasutatud lihttasuvusaja meetodit, kus ei ole kõikide eripärasustega arvestatud.

Kõik päikesepargi pakkumised (tabel 3 leheküljel 45) sisaldasid seadmeid, paigaldust ja liitumistasu. Maksumus sõltuvalt pakkujast jääb vahemikku 11 049 – 12 999 € (hinnad sisaldavad käibemaksu). Sellele lisanduks veel piirdeaed, mis näiteks Solar4you pakkumisest oleks 3256 €. Summaarne teoreetiline prognoositud toodang aastas sõltuvalt pakkujast jääb vahemikku 11 300 – 12 500 kWh. Süsteemivõimsus on neljal pakkujalt 10 kW ja ühtelt 12 kW. Kõik pakkujad pakkusid monokristallpaneele, kuid paneelide võimsus ja kogus varieerus. Nimelt paneelide võimsus jäi vahemikku 340 W – 440 W ja vastavalt sellele kogus varieerus 30-36 tk.

6.5.4 Päikesepargi tasuvusarvutus

Järgnevalt (tabel 4) – päikeseenergiajaama ligikaudne toodang aastas korrutatakse elektrienergia hinnaga, sellest lahutatakse päikesejaama ligikaudsed hoolduskulud aastas, milleks on ~100 € (Tera, 2021). Seejärel jagatakse saadud summa paigaldamise maksumusega (*Ibid*).

Tabel 4 Tasuvusaja arvutuse põhilised andmed päikesepargi rajamisel

Elektrienergia hind	0,14€/kWh
Ligikaudne aastane toodang	11 000 kWh
Maksumus	14 400 (€)
Hoolduskulu	~ 100 (€)

Näitena võib tuua : $(11\,000\text{ kWh} \times 0,14\text{€/kWh}) - 100\text{ €} (\sim\text{hoolduskulu aastas}) = 1440\text{ €}$
 $. 14\,000\text{ €} (\text{maksumus}) / 1482\text{ €} (\text{iga-aastane kokkuvõide}) = \sim 10\text{ aastat}$

Tasuvusaeg päikeseparkidel jääb alla 10 aasta. Olenevalt pakkujast jääb tasuvusaeg vahemikku 6,9-8,2 aastat. Tasuvusaja arvutuses ei ole lisatud päikesepargi maksumuses piirdeaeda, vaid ainult seadmeid ja paigaldust. Kui arvestada sisse ka piirdeaed, mille maksumus Solar4you poolt pakutult on 3256 € ja kõige suurema tasuvusajaga park oligi Solar4you poolt, siis sellele lisades tuleks tasuvusajaks 10,2 aastat. Piirdeaeda sooviks omanik seepärast, et planeeritav päikesepark asub maa-alal, kus paiknevad hobused ja piirdeaed pakub päikesepaneelidele kaitset. Piirdeaed toimib ka rikkujate ja sissetungijate jaoks hoiatusena ning hoiab soovimatud loomad omandist eemal. Saadud tasuvusaeg päikesepargile on optimaalne ja leitakse, et kinnistule päikesepargi rajamine enda elektritarbeks on soodne.

Kredexi väikeelamute rekonstrueerimistoetust pole antul eramul võimalik taotleda, kuna põhitingimustes on kirjas, et hoonel välisseina soojusläbivus peab olema $U \leq 0,20\text{ (W/m}^2\text{K)}$, kuid 2016 aastal varasemalt uuritud töös selgus, et välisseina soojusläbivus U-arv on $0,96\text{ W/(m}^2\text{K)}$.

6.6 Tuuleenergialahendus

Hinnapakkumisi küsiti ettevõtelt Energiaekspert OÜ, AEA ja RP Kuubis OÜ. Toodi välja eramu katastriüksuse number ja saadeti eelmiste aastate energiatarbimised (kWh). 2018 oli energiatarbimine 9610 kWh, 2019 oli 8830, 2020 oli 10 700 kWh. Energiaekspert OÜ-lt tuli kiri, et tuuleturbiinidega nad hetkel ei tegele. AEA-lt vastust ei

tulnud ning RP Kuubis OÜ-st öeldi, et tuulikute teema on keeruline. Tootlikkus sõltub väga tuuleoludest ja silma/tunde järgi on seda väga raske hinnata. Asukoha järgi võiks ju tuult olla, aga kuidas ja mis kõrgustel. Eramu energiatarbimisele tuginedes peaks sellise tuuliku võimsus jääma vähemalt 5-10 kW vahele ja sõltuvalt tuulikust ja masti tüübist, näiteks vantidega või vabalt seisev, jäävad hinnad 20-60 tuhande euro vahele.

Tabel 5 Väiketuuliku Tuule E200 andmed (Energiaekspert OÜ, 2021)

Väiketuulik Tuule E200 – otseseks elektritootmiseks	
pöörlemise algmoment tuule kiirusel	2,0 m/s
nimivõimsus saavutatakse	10 m/s juures
tiiva läbimõõt	5 m
võimsuslik pöörlemiskiirus	40 - 280 RPM
tuuliku nimivõimsus	4 kW
inverteri nimivõimsus	3,6 kW
Hind: 18 m mast – 18 800 € 20 m mast – 20 700 €	

Energiaeksperti lehel on väiketuulikute mudelid, kust saab aimu, kui kallid erinevad mudelid olla võivad. Nimelt väiketuuliku mudel Tuule E200 (tabel 5), mis on mõeldud otseseks elektritootmiseks ja mille nimivõimsus on 4 kW maksab 18 800 €, mille mast on 18 meetrit ja 20 700 €, mille mast on 27 meetri kõrgune. (Energiaekspert OÜ, 2021). Hinnad sisaldavad käibemaksu ja ei sisalda paigaldamise maksumust. Siit saab järeldada, et tuuliku maksumus antud eramu otseseks elektritootmiseks jääks tõesti üle 20 000 €, tuginedes öeldud eramu energiatarbimisele, milleks on ligikaudu 10 000 kWh aastas.

Väiketuulikud ei ole kogunud nii suurt populaarsust kui päikesepaneelid (Lavento, 2018). Vähemasti praegu on tunduvalt turvalisem ja lihtsam investeerida päikesepaneelide abil toodetud elektritootmisesse kui tuulikutesse (*Ibid*). Väiksematel kinnistutel nagu eramajad ei ole tuuleenergia kasutamine levinud sama kiirelt kui päikesepaneelide kasutuselevõtt ning seega ei ole masstootmine langetanud energiatootmise lahenduste hindu (*Ibid*). Kindlasti ei ole igal pool piisavalt tuult, et tuuleenergiat kasutada ja juba ligi 18 meetri kõrgused tuuleenergeetikehitised märkamatuks ei jää ja paistavad piisavalt kaugelt (*Ibid*).

Tuuliku rajamine Saadjärve mõisa kärnerimaja kinnistu ei ole kõige parem variant juba seetõttu, et kinnistul on kõrged puud. Sellega kaasneb suur tõenäosus, et tuulik jääb turbulentsialasse ja tuuliku võimekus ja tootlikkus nõrgeneks. Väiketuulikute kasutamise kitsaskoht on see, et tuule kiirus ei suuda täita väiketuulikute minimaalset kiirusenõuet. Eramu paikneb voore madalamas osas, kus tuulekiirus ei ole nii hea. Parema kohtu tuuliku paigaldamiseks oleks voorele, kus on lage ja ala oluliselt kõrgemal kui eramu ise, kuid see jääb kinnistu piiridest välja ja jääks ka elektrilbi jaoks kaugelt. Lisaks on tuuliku ost ja paigaldus korduvalt kallimad võrreldes näiteks päikesepaneelide rajamisega ehk tasuvusaeg tuulegeneraatoritel osutuks kõvasti pikemaks. Leiti, et tuuleenergia kasutamine realsuses on keerulisem ja rohkemate tõrgetega kui päikesepaneelide puhul. Jäädi arvamusele, et elektrienergia tootmiseks jäävad paremaks valikuks päikesepaneelid.

KOKKUVÕTE

On selge, et fossiilkütused jäävad tulevikus veel domineerivaks primaarenergia allikaks (Soysal, A & Soysal, S, 2020). Sellegipoolest suureneb igal aastal taastuvate energiaallikate osakaal (*Ibid*). Sellele saab iga inimene kaasa aidata, kui investeerib isiklikku taastuenergialahendusse enda eramu jaoks (*Ibid*).

Magistritöö eesmärgiks oli leida majanduslikult sobiv taastuenergialahendus, millele Saadjärve mõisa kärnerimajal oleks tasuv üle minna. Eramu puhul tugineti tasuvusanalüüsi metoodikale. Elektrivajaduse katteks uuriti päikesepaneelide ja väiketuuliku rajamist eramu kinnistule ja küttevajaduse katteks uuriti kui tasuv oleks üle minna maasoojusenergiale maasoojuspumba näol.

Hüpoteese püstitati kaks: majanduslikult kõige tasuvam taastuenergialahendus antud eramul on üleminek päikeseenergiale ja tuuleenergiale üleminek on majanduslikus mõttes kõige kallim. Hüpoteesid leidsid kinnitust. Tuuliku ost ja paigaldus on kordades kallim võrreldes päikesepaneelide rajamisega ehk tasuvusaeg tuulikul osutuks ka oluliselt pikemaks. Elektrivajaduse katteks leiti, et majanduslikult sobiv lahendus on üleminek päikeseenergiale. Mõistlik oleks rajada 10 kW võimsusega võrguühendusega päikeseelektripark maapaigaldisena. Päikesepargi tasuvusajaks saadi keskmiselt 8 aastat, koos piirdeaiaga ligikaudu 10 aastat. Tuuleenergiale üleminek elektrivajaduse katteks välistati, kuna eramu asub voore madalamas osas ja kinnistul on kõrged puud, mille tõttu võib tuulik jääda turbulentsialasse, millega nõrgeneks tuuliku võimekus ja tootlikkus. Küttevajaduse katteks maasoojusenergia lahendusena leiti, et see ei ole majanduslikult tasuv, kuna tasuvusajaks saadi ligikaudu 15 aastat. Nii kõrge tasuvusaeg on tingitud sellest, et eramu küttekulud aastas on väikesed, kuna eramu saab vajaliku puidu kütmiseks enda kinnistult kohapealt.

Tuuleenergia kasutamine kärnerimaja kinnistul on keerulisem, rohkemate tõrgetega ja majanduslikult kallim kui päikeseenergiale üleminek. See tähendab, et elektrienergia tootmiseks jääb optimaalsemaks valikuks üleminek päikesepaneelidele. Kõrge tasuvusaja tõttu loobuti ka maasoojusenergiale üleminekust, sest tõuseks ainult mugavuskoefitsent. Edasist uurimist vajab majanduslikult sobiv küttelehendus, millega tõuseb ka kasutamismugavus.

Summary

It is clear that fossil fuels will remain a dominant primary energy source in the future (Soysal, A & Soysal, S, 2020). However, the proportion of renewable energy sources used increases with every passing year (*Ibid*). Everyone can contribute to this increase by investing in personal renewable energy solutions in their residential house (*Ibid*).

The aim of this Master's thesis was to find the most economically suitable renewable energy source which would be cost-effective for a Saadjärve manor gardener's house. The cost-benefit analysis method was used for the residential house. The potential installation of solar panels and a small wind turbines were researched in terms of covering the power demand. To cover the heating demand, it was researched how effective would it be to transfer to geothermal energy in the form of a ground source heat pump.

The study posed two hypotheses: firstly, the economically most cost-efficient renewable energy source solution in the given residential house is the transition to solar energy and secondly the transition to wind energy is the most cost-inefficient. These hypotheses were confirmed. The purchase and installation of a wind turbine is times more expensive than the installation of solar panels which means that the payback period of a wind turbine would also turn out to be significantly longer. It was found that the most economically suitable solution to cover the power demand is the transition to solar energy. It would be reasonable to set up a 10 kW capacity network-connected solar powered plant installed on the ground. The payback period of a solar power plant was found to be approximately eight years and close to ten years with fencing.

Transitioning to wind power to cover the power demand was excluded because the residential house is situated in Vooremaa between drumlins and there are high trees on the property which might create a turbulence zone resulting in a decrease of the wind turbine's capacity and efficiency. To cover the power demand with geothermal energy, the study found that it is not economically cost-efficient because the payback time turned out to be approximately fifteen years. Such a high payback time is due to the residential house's low yearly heating costs which is rooted in the fact that the necessary wood used for heating is sourced from the property itself

The aim of this master's thesis was fulfilled. Usage of wind energy on the manor gardener's house property is much more complicated, more prone to disruptions and more economically expensive than transitioning to solar energy. This means that transitioning to solar panels is the most optimal choice for producing electricity. The

shift to geothermal energy was rejected due to the high payback period because there would only be an increase in comfort factor. An economically suitable heating solution, which would also increase the comfort factor, requires further research.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

Acconia. (2020). *Solar energy*. Loetud aadressil <https://www.acconia.com/renewable-energy/solar-energy/>

Adaramola, M. (Ed.). (2014). *Solar Energy: Application, Economics, and Public Perception (1st ed.)*. Apple Academic Press. Doi: 10.1201/b17731

Aedla, M. (2020, sügis). Miks energia salvestamine ei tasu meil ära? *TM Kodu & Ehitus Energia*, lk 48-49.

Ahmadi, M., Seyyedsadaghiani, M., Ghazvini, M., Shahriar, S., Puia, A. (2017). Ground source heat pump carbon emissions and ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings: A review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 37. doi: 10.1002/ep.12802

Alexela. (2021). Iseteenindus. Loetud aadressil <https://www.alexela.ee/et/iseteenindus>

Allik, A., Annuk, A. (2018). An Alternative Approach to the Feasibility of Photovoltaic Power Stations in Light of Falling PV Panel Prices.- *Proceedings of the International Conference on Renewable Energy Research and Applications 2018*, lk 270-274. doi: 10.1109/ICRERA.2018.8566762

Almasabi, S., Sulaeman, S., Nguyen, N., Mitra, J. (2017). Cost benefit analysis for wind power penetration. *North American Power Symposium*, 1-6. doi:10.1109/NAPS.2017.8107316

Anisimova, N. (2011). The capability to reduce primary energy demand in EU housing. *Energy Build.* 2011, 43, 2747–2751. doi:10.1016/j.enbuild.2011.06.029

Chuduk, S. (2010). *Heat pumps and under floor heating as a heating system for Finnish low-rise residential buildings*. (bakalaureusetöö). Mikkelin Ammattikorkeakoulu.

Chwieduk, B., Chwieduk, D. (2021). Analysis of operation and energy performance of a heat pump driven by a PV system for space heating of a single family house in polish conditions. *Renewable Energy*, 165, 117-126. doi: 10.1016/j.renene.2020.11.026

Dehghan B, B. (2018). Effectiveness of using spiral ground heat exchangers in ground source heat pump system of a building for district heating/cooling purposes: Comparison

among different configurations. *Applied Thermal Engineering* Volume 130, 5 February 2018, Pages 1489-1506. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.11.124

Eesti Geotermaalenergia Assotsiatsioon (EGA). (2020). *Geotermaalenergia*. Loetud aadressil <http://geothermal.org.ee/>

Eesti Taastuvenergia Koda (TEK). (2017). *Taastuvenergia aastaraamat 2016*. Tallinn. Loetud aadressil http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK_aastaraamat_2016_A4_5mmBleed_31.05.2017-1.pdf

Elektrilevi. (2021). *Teenused*. Loetud aadressil <https://www.elektrilevi.ee/et/teenused>

Ellaban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy Resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113

Elvisto, T. (2017, veebruar). Päikesepaneelid ei kahjusta kultuuriväärtusi. *TM Kodu & Ehitus*. lk 33-34.

Energiaekspert. *Väiketuulikute mudelid*. Loetud aadressil <http://www.energiaekspert.ee/et/eagle-vaiketuulikud-0>

European commission. 2021. *2050 long-term strategy*. Loetud aadressil https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en#tab-0-0

Fleck, B., Huot, M. (2009). Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. *Renewable energy* 34(12), 2688-2696. doi: 10.1016/j.renene.2009.06.016

Gordon, J. (toim). (2001). *Solar Energy: the state of the art*. London: Routledge, lk 21.

Heatcom. 2021. *Maaküte*. Loetud aadressil <https://heatcom.ee/tooted-teenused/kuttesusteemid/maakute/>

Hecht-Méndez, J., De Paly, M., Beck, M., Bayer, P. (2013). Optimization of energy extraction for vertical closed-loop geothermal systems considering groundwater flow. *Energy Conversion and Management*, 66, 1-10. doi: 10.1016/j.enconman.2012.09.019

Horne, R., Li, K. (2015). A Special Issue on Geothermal Energy. *Mathematical Geosciences*, 47, 1–2. doi: 10.1007/s11004-014-9576-4

International renewable energy agency. (2019). *Wind energy*. Loetud aadressil <https://www.irena.org/wind>

Johnsson, J., Adl-Zarrabi, B. (2019). Modelling and evaluation of groundwater filled boreholes subjected to natural convection. *Applied Energy*, 253, 113555. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113555

Kayaci, N. (2020). Energy and exergy analysis and thermo-economic optimization of the ground source heat pump integrated with radiant wall panel and fan-coil unit with floor heating or radiator. *Renewable Energy*, 160, 333-349. doi: 10.1016/j.renene.2020.06.150

Keskkonnaministeerium. (2019). *Euroopa Liidu Kliimaeesmärgid*. Loetud aadressil <https://www.envir.ee/et/EL-eesmargid>

Kliimaseade. (2020). *Soojuspumna soojustegur (COP) ja sesoonne soojustegur (SCOP)*. Loetud aadressil: <https://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/espl/soojuspumba-soojustegur/>

Kliimaseade. (2020). *Maasoojuspump ehk maaküte*. Loetud aadressilt: <https://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/espl/maasoojuspump-ehk-maakute/>

Kosonen, A., Keskisaari, A. (2020). Zero-energy log house – Future concept for an energy efficient building in the Nordic conditions. *Energy and Buildings Volume 228*. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110449

Kredex. (2021). *Väikeelamute rekonstrueerimistoetus*. Loetud aadressil: <https://kredex.ee/et/majaduueks#kellele-sobib>

Lees, M. (2017, sügis). Horisontaalne või vertikaalne maaküte. *TM Kodu & Ehitus*. lk 10-12.

Lavento, D. (2018, kevad). Väljal tuult püüdmas. *TM säästlik kodu*, lk 22-26.

Loite, K. (2019). *PV paneelide ja akupanga süsteemi tasuvusanalüüs eramule*. (bakalaureusetöö). Eesti Maaülikool.

Lubitz D, W. (2014). Impact of ambient turbulence on performance of a small wind turbine. *Renewable Energy* 61, 69-73. doi:10.1016/j.renene.2012.08.015

Maa-amet. (2021). Maa-ameti kodulehekülg. Loetud aadressil: <https://maaamet.ee>

Maaküte. (2021). *Radiaatorid*. Loetud aadressil: <https://www.maakyte.ee/tooted-ja-teenused/kuttejaotus/radiaatorid/>

Maaküte-Info. (2019). *Maakütte 4 erinevat liiki: maapind, soojuspuurauk, põhjavesi, veekogu*. Loetud aadressil <https://www.xn--maakte-6ya.info/artiklid/maakyte/>

Maaküte-Info: A. (2019). *Soojuspuurauk ehk energiakaev maakütte paigaldamiseks*. Loetud aadressil <https://www.xn--maakte-6ya.info/artiklid/puurkaev-energiakaev/>

Mayer, A., Hazboun, S. O., & Howe, P. D. (2021). For the love of Sun and WIND? Proximity to renewable energy facilities and support for renewable power across time and space in the United States. *Energy Research & Social Science*, 73, 101910. doi:10.1016/j.erss.2021.101910

Mbungu, N. T., Naidoo, R. M., Bansal, R. C., Siti, M. W., & Tungadio, D. H. (2020). An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications. *Journal of Energy Storage*, 29, 101385. doi:10.1016/j.est.2020.101385

Milenic, D., Vasiljevic, P., Vranjes, A. (2010). Criteria for use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/cooling purposes. *Energy and Buildings* 42. 649-657. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.11.002

Molavi, J., McDaniel, J. (2016). A Review of the Benefits of Geothermal Heat Pump Systems in Retail Buildings. *Procedia Engineering* 145, 1135-1143. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.147

Moya, D., Aldas, C., Kaparaju, P. (2018). Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 94, 889-901. doi: 10.1016/j.rser.2018.06.047

Mufutau Opeyemi, B. (2021). Path to sustainable energy consumption: The possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy. *Energy*, 228, 120519. Doi: 10.1016/j.energy.2021.120519

Muinsuskaitseadus (20.02.2019). Riigi Teataja I. Kasutatud 24.04.2021, <https://www.riigiteataja.ee/akt/110122020022?leiaKehtiv>

Mytting, L. (2014). *Küttepuid: kõik puude lõhkumisest, ladumisest ja kuivatamisest ning puukütte olemusest*. Tallinn: Sinisukk.

Oguz, A, Soysal., Hilkat, S Soysal. (2020). *Energy for sustainable society: From Resources to users*. Wiley.

Oja, K. (2017, veebruar). Päikesepaneel ajaloolisele hoonele. *TM Kodu & Ehitus*. lk 30-32.

Ortega-Arriaga, P., Babacan, O., Nelson, J., Gambhir, A. (2021) Grid versus off-grid electricity access options: A review on the economic and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 143, June 2021. doi: 10.1016/j.rser.2021.110864

Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524. doi:10.1016/j.rser.2010.11.037

Peräla, R. (2018). *Päikeseelekter*. EHITAME kirjastus. Tallinn.

Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M. (2012). *Elekter päikesest ja tuulest: lood inimestelt ja kasulikud vihjed ise elektri tootmiseks*. Tallinn.

Puurkaevude infoportaal. 2020. *Maaküte, energiakaev ja soojuspuurauk*. Loetud aadressil: <https://www.puurkaev.eu/maakute-ja-energiakaev/?fbclid=IwAR3g9jw18LcAwxbLwDHglaCVOg9qeDQ4E9YwDQv3oLd-RGEaFoW4XtsItrI>

Rahandus. *Tasuvusaeg*. Loetud aadressil <https://www.rahandus.ee/et/tasuvusaeg>

Resch, G., Welisch, M., Liebmann, L., Breitschopf, B., Held, A. (2016). A prospective assessment of costs and benefits of renewable energy use in the European union. *Energy & Environment*, 27(1), 10–27. doi: stable/90006554.

Riigi ilmateenus. (s.a). *Ilmaülevaated*. Loetud aadressil: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ulevaated/>

Sardu, I., Sebarchievici, C. (2016). Performance Evaluation of Radiator and Radiant Floor Heating Systems for an Office Room Connected to a Ground-Coupled Heat Pump. *Energies* 2016, 9, 228; doi:10.3390/en9040228

Seara, J., Dopazo, J. (2012). Experimental evaluation of a geothermal heat pump for space heating and domestic hot water simultaneous production. *Renewable Energy* 48, 482-488. doi:10.1016/j.renene.2012.05.019

Sheen, J-N., Tsai, M-T., Wu, S-W. (2013). A benefits analysis for wind turbine allocation in a power distribution system. *Energy conversion and management* 68, 305-312. doi: 10.1016/j.enconman.2012.12.022

Soesoo, A. (2011). *Maasoojus ja Eesti*. Loetud aadressil http://geothermal.org.ee/doc/Maasoojus_Eesti.pdf

Solar4you. (2021). *Päikeseenergia*. Loetud aadressil <https://solar4you.ee/paikeseenergia/>

Solarstone. (2021). *Päikesepaneelid*. Loetud aadressil https://solarstone.ee/?gclid=CjwKCAjw6fCCBhBNEiWAem5SO50hassS6rNaOkpowkwlBput17qFPGHdVQvq4AgU97SbuY1VPUCdMhoCQGgQAvD_BwE

Soojuskeskus. Loetud aadressil <https://www.soojuskeskus.ee/kusi-pakkumist/>

Spiegel-Feld, D., Rudyk, B., Philippidis, G. (2016). Allocating the economic benefits of renewable energy between stakeholders on Small Island Developing States (SIDS): Arguments for a balanced approach. *Energy Policy* 98, 744-748. doi: 10.1016/j.enpol.2016.03.008

Tanning, L. (2010). *Maailma energia ülevaade III osa Alternatiivsed, süsi, hüdro, tulevik*. Tallinn. lk 57.

Tao, Y., Qiu, J., Lai, S., & Zhao, J. (2021). Renewable energy certificates and electricity trading models: Bi-level game approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 130, 106940. doi:10.1016/j.ijepes.2021.106940

Tera, 2021. *Päikesepaneelide tasuvusaeg*. Loetud aadressil <https://www.tera.ee/tasuvus/> tasuvusaja arvutus

TMKE. (2021, märts). Tõhusat ja soodsat küttelahendust otsides. *TM Kodu & Ehitus*, lk 16-18.

TMKE: A. (2018, kevad). Oma taastuenergiatootja. *TM säästlik kodu*, lk 18-19

TMKE: A. (2019, sügis). Kuidas ühendada oma päikesejaam elektrivõrku? *TM Kodu & Ehitus: Energia*.lk 10.

TMKE: B. (2018, kevad). Spiraalküte – kas mõistlik valik? *TM säästlik kodu*, lk 10-11.

TMKE: B. (2019, kevad). Kuidas valida päikesepaneelid? *TM Säästlik Kodu*. lk 16-18.

Torim, K. (2016). *Saadjärve mõisa kärnerhoone energiatõhusus* (magistritöö). Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž

Torim, T. (2020). Suulised andmed.

Tuleturg, 2021. *Küttepuud*. Loetud aadressil https://tuleturg.ee/et/k%C3%BCttepuud?q%5Bfuel_id_in%5D%5B%5D=5&q%5Bfuel_id_in%5D%5B%5D=1&q%5Bmax_length_lteq%5D=&q%5Bg%5D%5B0%5D%5Bm%5D=or&q%5Bg%5D%5B0%5D%5Bavailable_true%5D=1®ion_name=

Tuuleenergia Assotsiatsioon. (2020). *Tuuleenergia*. Loetud aadressil <https://tuuleenergia.ee/>

Vilk, U. (2018, sügis). Päikesepaneelid pensionisambaks. *TM Energia*. lk 18-20.

Võik, Juhani. (2015). *Ühispereelamu energiatõhusus ja kavandamine* (magistritöö). Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž.

WindEurope. (2021). *About wind*. Loetud aadressil <https://windeurope.org/about-wind/>
Windpower. 2017. *Vertical axis wind turbine technology continues to improve*. Loetud aadressil <https://www.windpowerengineering.com/vertical-axis-wind-turbine-technology-continues-improve/>

Yüksek, I & Karadağ, I. (2021). Use of Renewable Energy in Buildings. Taner, T., Tiwari, A., Ustun, T.S (toim.). *Renewable Energy - Technologies and Applications*, (lk 93571). London: IntechOpen Limited.

LISAD

LISA 1 Eramus paiknevad kütteseadmed



Joonis 19 Eramu teisel korrusel paiknevad kütteseadmed (Torim, 2021)



Joonis 20 Eramu esimesel korrusel paiknevad kütteseadmed (Torim, 2021)



Joonis 21 Eramu esimesel korrusel paiknevad lisa (elekter) kütteseadmed (Torim, 2021)