



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

MAJANDUSLIKULT TASUVAIMA KÜTTELAHENDUSE KAVANDAMINE ERAMAJALE

**DESIGNING THE MOST COST-EFFECTIVE HEATING SOLUTION FOR A
RESIDENTIAL HOUSE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tero Villik
Üliõpilaskood: 177021NAEM

Juhendaja: Lektor Jane Raamets (PhD)

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: Tero Villik

/ 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/

/ nimi ja allkiri /

**Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja
reprodutseerimiseks**

Mina Tero Villik (sünnikuupäev: 05.05.1994)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Majanduslikult tasuvaima kütelahenduse kavandamine eramajale”,

mille juhendaja on Jane Raamets,

1.1 reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

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

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

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Allkirjastatud digitaalselt

24.05.2021

TalTech Tartu kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tero Villik, 177021NAEM

Õppekava, peeriala: NAEM06/18 – Tööstusökoloogia

Juhendaja: Lektor Jane Raamets (PhD), +372 55 61 33 44

Lõputöö teema: Majanduslikult tasuvaima kütelahenduse kavandamine eramajale

Designing the most environmentally friendly and cost-effective heating solution for a residential house

Lõputöö põhieesmärk:

1. Keskkonnasäästliku ja majanduslikult tasuvaima kütelahenduse kavandamine eramajale.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö sisu ja eesmärgi paikapanek	15.02.21
2.	Alginfo analüüs ja päringud ettevõtetele	10.03.21
3.	Kirjanduse ja informatsiooni lõppviimistlus	28.04.21

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "24" mai 2021.a

Üliõpilane: Tero Villik

Allkirjastatud digitaalselt "24" mai 2021.a

Juhendaja: Jane Raamets

Allkirjastatud digitaalselt "24" mai 2021.a

Programmijuht: Annely Kuu

Allkirjastatud digitaalselt "24" mai 2021.a

SISUKORD

EESSÕNA	7
LÜHENDID JA MÕISTED	8
SISSEJUHATUS	9
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	11
1.1 Energiatõhusus	11
1.2 Taastuvad energiaallikad	13
1.2.1 Bioenergia	14
1.2.2 Geotermaalenergia	16
1.3 Taastumatud energiaallikad	17
1.3.1 Maagaas	18
1.4 Seadmed	20
1.4.1 Õhk-vesi soojuspump	20
1.4.2 Maaküttepump	21
1.4.3 Gaasikatel	22
1.4.4 Akumulatsiooni paak	23
1.4.5 Halupuukatel	24
1.4.6 Seadmete eluiga ja hooldus	24
2. MATERJAL JA METOODIKA	26
2.1 Uuritava hoone asukoht ja kirjeldus	26
2.2 Energiavarustus	27
2.3 Energiatarbimine	28
2.3.1 Päringud	29
2.3.2 Tasuvusanalüüsi ja energiatõhususe arvutamise meetoodika	30
3. TULEMUSED JA ARUTELU	33
3.1 Energiatarbimine objektil	33
3.2 Hinnapakkumised	35
3.3 Saadud hinnapakkumiste analüüs	36
3.4 Arvutuskäigud ja analüüs	38
KOKKUVÕTE	47

SUMMARY	48
KASUTATUD KIRJANDUS	49
LISAD	59
Lisa 1 Eramu õhk-soojuspump AlpicAir	59
Lisa 2 Päring hinnapakumisele.....	60
Lisa 3 Hinnapakumised	61

EESSÕNA

Antud töö idee sündis autori ja juhendaja arutelu läbi, eelkõige toetudes töö autori soovile tutvuda lähemalt erinevate kütelahendustega lokaalkütte maastikul ning huvist kütteallika väljavahetamise vastu kodus. Töö raames koostati päringud kütelahendustega tegelevatele ettevõtetele ning teostati hoone energiatõhususe arvutused, leiti arvutuslik energiatarve vastavalt hoone andmetele ning arvutati energiatarve tulenevalt varasemast tarbimisest. Analüüsi perspektiivset kulu erinevate seadmete hüpoteetilisel kasutamisel ning võrreldi saadud hinnapakumisi. Seadmete tasuvust hinnati sõltuvalt nende maksumusest ning perspektiivset kulu ja vastupidavust arvestades.

Töö on koostatud TalTech Tartu kolledžis, töös kasutatavad algandmed pärinevad töö autorilt. Töö autor osutab suurt tänu kõigile osapooltele, kes andsid enda panuse magistritöö valmimisel.

Märksõnad: magistritöö, maasoojusenergia, õhusoojus, gaasikatel, õhk-vesi soojuspump, soojuspumbad, soojushulk

LÜHENDID JA MÕISTED

COP – jõudlustegur (coefficient of performance)

n.ö – nii öelda

SCOP – aastaringne jõudlustegur (seasonal coefficient of performance)

sh - sealhulgas

s.t – see tähendab

ÕÕ – õhk-õhk

ÕV – õhk-vesi

Korrelatsioon - vastastikune seotus (Korrelatsioon, s.a.)

Piirdetarind – ehitise põhiosa või piire (nagu sein, põrand, vahelagi, uks, aken, katus), mis eraldab ruumi teisest ruumist, välisõhust või pinnasest (Tallinna Tehnikaülikool, 2017)

Pollutant – saasteaine (Mis on püsivad orgaanilised saasteained, s.a.)

Soojuseri juhtivus (λ) – materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m² pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade vahel on 1 K, W/(m·K) (EVS 908-1:2016)

Soojuslikult homogeenne kiht- konstantse paksusega kiht, mille soojuslikud omadused on ühetaolised või mida võib käsitleda ühetaolistena (EVS 908-1:2016)

Soojustakistus (R) – kindla paksusega toote või elemendi omadus takistada soojuse voogu läbi toote või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes, m²·K/W (EVS 908-1:2016)

SISSEJUHATUS

Energiatarbimise kasv urbaniseeritud aladel põhjustab senisest kiiremat maavarade ja ressurside vähenemist. Suure osa energiatarbest ja selle kahjulikkusest moodustab igasugune tootmine ja tootmise käigus atmosfääri vallanduvad pollutandid.

Energiatarbe kasv on korrelatsioonis rahvastiku arvu kasvuga ning 2050. aastaks, mil planeedi rahvaarvuks prognoositakse 9 miljardit, võib energiavajadus võrreldes tänasega kolmekordistuda (Skipka & Theodore, 2014).

Suurim võimekus kliimaprobleemide ja energiatarbega tegelemisel on rahvusvahelistel organisatsioonidel. Euroopa Liit on 28/2009/CE direktiiviga juhtinud liikmesriikide tähelepanu mitmete eesmärkidele, mis puudutavad energiasäästu ja taaskasutatavat energiat. 2009-2021 perioodi eesmärk käsitleb ühtlasi endas kasvuhooonegaaside vähendamist 20% määral ning seejuures taastuvenergia suurendamist 20% ulatuses. (Dongellini *et al.*, 2015)

Hoonete energiatarvet puudutavale lähenetakse välisfassaadi soojusnäitajate ning kütte-, jahutus- ja ventilatsioonisüsteemide parendamise kaudu. Ühtlasi on soojuspumbad paslikuks näiteks eesmärkide saavutamisel, kuna 2009. aastast käsitleb taastuvenergia direktiiv õhu-, maa- ja veesoojusest tulenevat soojust taastuva energiana (Dongellini *et al.*, 2015). Üle 90% maailma rahvastikust elab piirkondades, mis on sobilikud soojuspumpade kasutamiseks soojendamise või jahutamise eesmärgil (Nishimura, 2002).

Energiaprobleemide terviklik lahendamine või lähenemine nõuab energiakomplekside mõistmist. Kõik süsteemi elemendid on omavahel seotud ja teineteisest sõltuvad (Skipka & Theodore, 2014). Praegused trendid energia varudes ja kasutuses on selgelt nii majanduslikult kui ka sotsiaalselt jätkusuutmatud (*Ibid*). On oluline muuta energiakasutuse senist teekonda viisil, kus peamist rolli mängivad madala süsinikuheitmega energiatehnoloogiad (International Energy Agency, 2011).

Käesoleva magistriöö eesmärk on selgitada välja ja kavandada majanduslikult tasuv küttelahendus eramajale. Töö käigus analüüsitakse nelja potentsiaalset küttelahendust, mille jaoks on kinnistul vajalikud eeldused loodud. Kütteseadmete osas võetakse arvesse nii tarbimis- kui ka soetusmaksumust, seadmete eluiga ja hooldust. Tööks vajalikud algandmed pärinevad senisest tarbimisest halupuukatla näol.

Taastuvaid energiaallikaid käsitledes on töös välja jäetud tuule – ja päikeseenergia. Esimese miinuseks on kallis soetusmaksumus. Päikeseenergia paneelide näol välistatakse, sest hoone paikneb ilmakaarte suhtes ida-lääne suunal ning puudub ka vajalik maa-ala maapaigaldise rajamiseks. Välistatud on ka päikesepaneelidega katus, sest hoone katus on tänapäevane ning vajadus selle investeeringu järele hetkel puudub.

Töö autor on püstitanud lähtuvalt töö eesmärgist kaks hüpoteesi:

- Majanduslikult tasuvaim lahendus, arvestades gaasitrassi vedamise maksumust ning asjaolu, et see investeering on juba teostatud, on maagaas.
- Majanduslikust aspektist vaadelduna on kõige paremaks lahenduseks jätkata kütmist halupuukatlaga.

Töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis antakse kirjandusele tuginedes ülevaade energiatõhususest, taastuvatest ja taastumatutest energiaallikatest, keskendades tähelepanu ainult neile ressurssidele, mida töö käigus käsitletakse võimalike kütteallikatena. Teises peatükis kirjeldatakse töö materjali ja metoodikat ning algandmeid. Kolmas peatükk sisaldab endas töö tulemusi ja arutelu saadud tulemuste üle.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Ülemaailmselt domineerivad energiatarbimise profiilis peamiselt fossiilkütused, mille osakaal moodustas 2019. aastal kogu Maa energiatarbimisest 84% (Mufutau Opeyemi, 2021). Taastumatute energiaallikate hankimine ja kasutamine eraldab palju süsinikdioksiidi ja ressursside ammendumine põhjustab erinevaid keskkonnaprobleeme ning nende kasutamine ei ole jätkusuutlik (Sharma *et al.*, 2021). Kestlikkuse tagamiseks on oluline vähendada riikide energiatarbimises taastumatu energia osakaalu ja suurendada taastuvenergia rolli nii energiatarbimises kui ka taastuvate ressursside kasutamist ehituses (Sharma *et al.*, 2019; Mufutau Opeyemi, 2021).

1.1 Energiatõhusus

Energiatarbimise vähendamiseks on kõigis Euroopa Liidu liikmesriikides kasutusel erinevad vahendid. 2012. aastal jõustus Euroopa Liidu liikmesriikides Euroopa Komisjoni direktiiv 2012/27/EL energiatoõhususe kohta (EL 2012/12/EL). 2010. aastal võeti vastu direktiiv, mis käsitleb hoonete energiatoõhusust (EL 2010/31/EL). Viimast on aastate jooksul pidevalt täiustatud ning seal on toodud välja nõuded uutele ja renoveeritavatele hoonetele Euroopa Liitu kuuluvates riikides (EL/2018/844). Liikmesriikide kohuseks on direktiivi järgi tagada, et 2019. aastast alates vastaksid uued avalikuks kasutamiseks mõeldud hooned liginullenergiahoonete kriteeriumitele ning alates 2021. aastast peavad direktiivi järgi olema kõik ehitatavad uued hooned liginullenergiahooned (Nöps, 2020). Direktiiv sätestab miinimumnõuded, kuid liikmesriikide lõikes võivad nõuded olla ka karmimad (Isover, 2021). Samuti on tähelepanu pööratud ka parimate ehitustehnoloogiate kasutamisele, et võimalikult kuluefektiivselt toimuks olemasolevate hoonete renoveerimine (Nöps, 2020).

Ehitistel, mis tarbivad enam kui 40% Euroopa Liidus toodetud energiast ning on vastutavad pea samas koguses süsinikdioksiidi heitmete eest on kasutamata märkimisväärne energiasäästupotentsiaal (Economidou *et al.*, 2020). Erinevatel hinnangutel kasvab OECD riikide ehitussektori energiatarbimine keskmiselt 1,3% aastas, OECD välistes riikides ületab see tase 2% (Economidou *et al.*, 2020). Suur osa hoonetes praegu kasutatavast energiast läheb raisku vananenud ehitustavade, ebaefektiivsete

süsteemide või seadmete kasutamise ning tõhusate tehniliste juhtimissüsteemide puudumise tõttu (Martinopoulus *et al.*, 2018). Siiski on mitmeid hästi tõestatud lahendusi, mis võivad hoonetes energia raiskamist piirata (Economidou *et al.*, 2020). Näiteks võib hoonete kütte- ja jahutusvajadust drastiliselt vähendada soojusisolatsiooni, tõhusate klaasilahenduste, termosildade ja -lekete kõrvaldamise ning tõhusate kütte- või jahutusenergia tootmise- ja jaotamise süsteemide paigaldamise kaudu (Aslani *et al.*, 2019). Lisameetmed energiasäästu tagamiseks võivad hõlmata ka muid tehnilisi hoonesüsteeme, nagu kliimaseadmed, ventilatsioon, sooja vee tootmise ja valgustussüsteemid (Economidou *et al.*, 2020). Lisaks aktiivsetele lahendustele on energiakulu vähendamisel oluline roll passiivsetel kujundusvõimalustel nagu optimeeritud ruumiplaneerimine, hoone orientatsioon, loodusliku ventilatsiooni strateegiad ja termilise massi tõhus kasutamine, passiivsed päikesesüsteemid kütmiseks ja jahutamiseks (Martines-Molina *et al.*, 2016) ja termilise mugavuse parendamine (Economidou *et al.*, 2020).

Eestis kulub hoonetele 33% kasutatavast energiast ning sellest lähtudes on väga oluline tagada hoonete energiasäästlikkus. Eesti riik on andnud omalt poolt olulise panusest, sest läbi erinevate struktuurfondide rahastuse on renoveeritud riigis 2020. aasta lõpu seisuga enam kui 1600 korterelamut. Ühelt poolt parandab kompleksne renoveerimine hoone välisilmet, kuid toimub ka ehituskonstruksioonide säilitamine ning paraneb ka hoone sisekliima. (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2019)

Energiatõhususe miinimumnõuetega määratakse kindlaks hoone jaoks summaarse energiatarbimise piirmäärad ning hoone vastavust antud nõuetele tõendab energiamärgis (Väikeelamute uued energiätõhususe nõuded, 2019). Nõuded on kehtestatud hoonele kui tervikule ning lisaks tehnosüsteemidele ja piiretele arvestatakse energiätõhususarvu leidmisel ka lokaalseid energiatootmise süsteeme (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2019). 2019. aastal võeti vastu ka hoonete energiätõhusust ja ventilatsiooni käsitlev standard EVS-EN 16798 (EVS-EN 16798, 2019). Eestis kehtivad väikeelamutele uued energiätõhususe nõuded, kus olemasolevate hoonete olulisel rekonstrueerimisel on energiätõhusa hoone miinimumtasemeks C-energiaklassi ja uute hoonete püstitamisel B-energiaklass. Miinimumnõuded väljendatakse energiätõhususarvuna, mis kajastab kogu hoone energiakasutust ning see arvutatakse tüüpilisel kasutusel hoone köetava pinna ruutmeetri kohta. (Väikeelamute uued energiätõhususe nõuded, 2019)

Väikeelamute puhul eristatakse kaheksat energiaklassi, mis näitavad kogu hoone sooja tarbevee, gaasi, elektri ja küttesoojuse kulusid ruutmeetri kohta aastas. Kõige kõrgema klassi (A) puhul peab olema väikeelamu energiatõhususarv või kaalutud energiakasutus ≤ 50 kWh/(m²a), kõige madalama klassi (H) puhul on see väärtus >401 kWh/(m²a). (Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele, 2015).

1.1.1 Energiakandjate kaalumistegur

Energiakandja kaalumistegur on näitaja, mille puhul võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vaja läinud primaarenergia kasutus ning samuti energia tootmisel ja toorme hankimisel tekkinud keskkonnamõju. Sõltuvalt energiakandjast on välja toodud erinevad kaalumistegurid – taastuvtoormel põhineva kütuse (puidupõhised kütused ja puit, samuti muud biokütused) puhul on teguri väärtuseks 0,65, maagaasil, turbabriketil, turbal ja tahkel fossiilkütusel 1,0 ning elektri puhul 2,0. Kaugkütte puhul on teguri väärtus 0,9. (Latššov, 2016; RT, 2018)

1.2 Taastuvad energiaallikad

Energiasüsteemide muundamine süsinikdioksiidi heite vähendamiseks on viimastel aastatel poliitilisel tasandil üha enam tähelepanu kogunud (Zimmerer, 2011). Tehakse nii ülemaailmseid jõupingutusi kui ka antakse Euroopa Liidu siseseid juhiseid liikmesriikide toetamiseks nende kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamisel ja suuniseid vähendamaks sõltuvust fossiilkütustest (EEA, 2013). Ehkki energiapoliitika on endiselt liikmesriikide kontrolli all, on kliimapoliitika muutnud ELi tasandi energiapoliitika konkreetsemaks ja energialiidu moodustamine on üks olulisemaid ideid Euroopa energiajuhtimise reformimiseks (Szulecki *et al.*, 2016).

Taastuvenergia puhul on tegemist ressursiga, mida toodetakse keskkonnasõbralikult ning mis on suuteline taastuma aineringete käigus nii, et selle kogus inimtegevuse mõjul ei vähene (Twidell & Weir, 2015). Vastavalt 2003. aastal vastu võetud Elektriturseadusele, defineeritakse taastuvate energiaallikatena vett, tuult, päikest, laineenergiat, tõusumõõna, maasoojust, prügilagaasi, heitvee puhastamisel eralduvat gaasi, biogaasi ja biomassi (Elektriturseadus, 2003).

Eesti on üks Euroopa Liidu energiamahukamaid majandusi, kuna see sõltub tugevalt kodumaisest taastumatust ressursist – põlevkivist (Holmgren *et al.*, 2019). Põlevkivi on kivistunud settekivim, mida on võimalik põletada elektri ja soojuste tootmiseks ning kasutada ka põlevkiviõli eraldamiseks, millest saab toota rafineerimise läbi mootorikütuseid (Brandt, 2008). Eesti puhul on tegemist ka ühega vähestest EL liikmesriikidest, kes on energeetiliselt sõltumatu teistest ja on juba praeguseks saavutanud 2050. aastaks seatud eesmärgi, et kogu energiatarbimisest 25% moodustaks taastuvatest ressurssidest toodetud energia (Holmgren *et al.*, 2019).

1.2.1 Bioenergia

Bioenergial on nii maailmas, Euroopas kui ka Eestis suur potentsiaal (Mai-Moulin *et al.*, 2021). Euroopa Liidu taastuvenergeetikaregulatsioonis tuuakse välja, et bioenergia nähakse energiavarustuse ning -sõltumatuse kandjaks (Annus *et al.*, 2019). Alates 2001. aastast on taastuvenergiapoliitika stimuleerinud bioenergia kiiret arengut Euroopa Liidus (Bioenergy Europe, 2018). Bioenergia kogutarbimine Euroopa Liidus kasvas 2320 PJ-lt 2000. aastal 5880 PJ-le 2017. aastal ning 2020. aasta lõpu seisuga moodustas bioenergia siseturu kogutarbimisest 64% (Mai-Moulin *et al.*, 2021).

Biomassi puhul on tegu põllumajanduslikust tootmisest, sealjuures taimsetest ja loomsetest ainetest, metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest pärit toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt laguneva fraktsiooni ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt laguneva fraktsiooniga (Field *et al.*, 2008; Tartu Regiooni Energiaagentuur, 2013). Bioenergia allikateks on peamiselt biokütused, puit ja puidust saadud biomass ning olmejäätmed (Field *et al.*, 2008).

IPCC erinevad kliimamuutustele keskenduvad stsenaariumid näevad tulevikus peamise energiaallikana samuti bioenergia suuremat kasutamist (Anger-Kraavi *et al.*, 2020). Sellega seoses on tarvis suurendada ka metsa pindala ning hoogustada taasmetsastamist, sest on suurenenud surve biomassi ja bioenergia tootmiseks (*Ibid*). Globaalsel tasandil nähakse ette lisaks metsale ka laiemalt energiapuidu kasvatamist (*Ibid*). Paraku ohutavad sellised stsenaariumid põllumajandussaaduste tootmist ja liigilist mitmekesisust (Hejazi *et al.*, 2015). Samuti võib väheneda mulla viljakus ning veelgi süveneda veepuudus - kokkuvõttes suureneb ka kliimamuutuse mõju (*Ibid*). Teadlased

kogu maailmas on pööranud palju tähelepanu bioenergia tootmise ja keskkonnakaitse tasakaalule, kaaludes paljusid lähenemisviise, sealhulgas keskkonnasõbralike tootmistehnoloogiate ja parimate juhtimistavade rakendamist, et vähendada mõju keskkonnale (McCalmont *et al.*, 2015; Guo *et al.*, 2018).

Biomassist energia tootmiseks kasutatakse järgnevaid süsteeme:

- Kaugküttel põhinev süsteem. Rest- või keevkihtkateldes põletatakse puidujäätmeid, hakkpuitu, turvast, saepuru, põhku või biogaasi. Põletamisel vabanev soojusenergia juhitakse kaugküttetorustiku kaudu tarbijateni.
- Lokaalküttesüsteem. Soojusenergia ülekandmine tarbijani toimub praktiliselt vahetult. Tooraineks on lokaalküttel valdavalt halupuud, puidugraanulid või biogaas.
- Koostootmine. Soojuse ja elektri koostootmine, süsteem, kus seadmete süsteem toodab nii soojus- kui ka elektrienergiat. Kasutatakse nii kaug- kui ka lokaalküttesüsteemides. Tooraineks puitbiomass või biogaas.
- Anaeroobne lagundamine biogaasiks. Süsteem või protsess, kus biogaas saavutatakse ilma hapnikuta keskkonnas. Biogaasi metaanisisisaldus jääb sealjuures 50-60% juurde. Eestis toodetakse biogaasist nii soojus- kui ka elektrienergiat. (Tartu Regiooni Energiaagentuur, 2013)

Eestis on tähtsamaks bioenergiatoormeks mets (Anger-Kraavi *et al.*, 2020). Metsamaa pindala oli 2019. aasta andmetel Eestis hinnanguliselt 2 332 600 ha, millest metsamaad 190 600 ha jagu (Valgepea *et al.*, 2019). Eesti okaspuude kütteväärtus (kuuse kütteväärtus 4,10 kWh/kg, männi kütteväärtus 4,15 kWh/kg), ei erine teineteisest oluliselt, siis erinevate lehtpuude puhul võib kütteväärtus erineda suuremal määral (kütteväärtus haaval 4,00 kWh/kg, kasel 4,15 kWh/kg) (Kask *et al.*, 2010). Okaspuude energiasisaldus jääb 20%-lise niiskuse juures 1340 MWh/rmm kaskede energiasisaldus sama niiskusprotsendi juures on pea 400 MWh/rm suurem (*Ibid*).

1.2.2 Geotermaalenergia

Geotermaalenergia ehk maasoojusenergia puhul on tegu maapinda salvestunud soojusega, mis pärineb ühelt poolt päikeseenergiast ning teisalt Maa tuumast eralduvast soojusest (Horne & Li, 2015; Maasoojusenergia, 2013). Geotermaalenergia on algne, baaskoormusega ilmamuutustest sõltumatu puhas energiaallikas, mida kasutatakse sooja vee ja auru baasil elektri tootmiseks geotermaalelektrijaamades, madalaid maapumbasüsteeme on võimalik kasutada lokaalselt (Soltani *et al.*, 2021). Olgugi, et geotermaalenergia keskkonnamõjud on võrreldes tavapärase fossiilsete allikatega madalad, kujutab vedelike käitlemine endast võimalikku keskkonnariski (Kristmannsdóttir & Ármannsson, 2003).

Eestis on maasoojuspumpade abil võimalik kasutada juba umbes 1 meetri sügavusel maapinnas olevat madalatemperatuurilist geotermaalenergiat, mis leiab kasutust eelkõige üksikelanute soojavarustuses. Mujal maailmas rakendatavat kõrgetemperatuurilise geotermaalenergia potentsiaali Eestis veel siiani uuritud ei ole. (Maasoojusenergia, 2013).

Kuigi Eestis on maasoojuspumpade kasutamine teada juba kolme kümnendi jagu, siis piirduakse maasoojuse eksploatatsioonil temperatuurivahemikega +2 kuni +10 kraadi. Eelnevalt kaheks jagatud geotermaalenergia allikate vahele võib paigutada veel kolmanda või vahepealse variandina põhjaveesoojuse või siis mere- ja järvepõhjasoojuse. Kõrgetemperatuurilise geotermaalenergia (50°C-100°C) eksploatateerimiseks peaks puurima rohkem kui kilomeetri sügavusele. (Soesoo, 2011)

Geotermaalenergiast toodetav elektrienergia baas on lai ning ratsionaalselt jaotunud. Viimase 100 aasta vältel on geotermaalenergiast toodetav elektrienergia keskmine iga-aastane tõusumäär 8% (Belyakov, 2019).

Rahvusvaheline Energiaagentuur on koostanud strateegilise kava aastani 2050 geotermaalenergia ressursi maksimaalseks kasutamiseks. Eeldatakse, et 2050. aastaks on võimalik geotermaalenergiast toota 1400 TWh elektrienergiat aastas, praeguse 67 TWh kõrval. Globaalse elektrienergia tootmise juures moodustaks prognoositav 1400 TWh 3.5% toodetavast elektrienergiast. Ühtlasi õnnestuks säärase tootmise juures ennetada 800 megatonni CO₂ heitmete paiskumist atmosfääri (International Energy Agency, 2011).

Eestis on võimalik kasutada geotermaalenergiat maaküttesüsteemi näol, mille rajamiseks on neli erinevat võimalust. Kasutusel on horisontaalne ja kinnine süsteem, vertikaalne ja

kinnine süsteem, avatud puuraugusüsteem ja avatud pinnavee süsteem. Horisontaalse süsteemi puhul paigaldatakse kollektor horisontaalsel paigutusel, teinekord ka spiraalselt maapinna 1-2 meetri sügavusele. (Vekony, 2021).

Vertikaalse süsteemi puhul räägitakse soojuspuuraugust või energiakaevust ning kasutatakse ära soojus, mis on salvestunud pinnasesse alates 15 meetrist kuni mõnesaja meetri sügavuseni. Sedasorti süsteemid on horisontaalse paigutusega pumpadega võrreldes märksa kallimad, kuid võimelised ammutama suurema koguse soojusenergiat. (Blum *et al.*, 2011; Vekony, 2021).

Puurkaevusüsteemi korral rajatakse kinnistule enamasti kaks puurkaevu, millest üks ammutab põhjavee kihtidest aastaringelt küllaltki konstantse temperatuuriga soojusenergiat, mis suunatakse elamus paiknevasse soojusvahetisse ning tagastatakse maapinda läbi teise puurkaevu. Oluline on see, et sellised kaevud ei paikneks ühes ja samas põhjaveekihi. (Vekony, 2021).

Pinnavee süsteemi puhul paigaldatakse maasoojuspumba kollektor kinnistul asuvasse veekogusse. Eelis sellise süsteemi puhul on aastaringne temperatuuri kõikumatus ning ühtlasi ei ekspluatateerita kinnistu maapinda. Oluline on see, et veekogu oleks piisavalt sügav (suurim sügavus üle 2 meetri), et vältida selle läbikülmumist talveperioodil. (Lake/pond ground source heat pumps, s.a.).

Kinniste ja horisontaalsete maasoojussüsteemide kasutamine ei ole seadusega reguleeritud. Küll aga on seda vertikaalsed või soojuspuuraugu- ning avatud maasoojussüsteemid. Seetõttu, et avatud süsteemi korral on oht keskkonnale ning põhja- ja pinnaveele. Selle regulatsiooniga tegelevad Veeseaduse paragrahvide alusel kehtestatud määrused, mis võtavad kokku ohutute materjalide kasutamise, põhjavee ja ökosüsteemide halvenemise vältimise ning kontuuris kasutatava soojuskandvedeliku ohutu käitlemise. (Tamm & Metsur, 2012)

1.3 Taastumatud energiaallikad

Viimaste aastakümnete majanduskasv on kogu maailmas kaasa toonud märkimisväärse energiatarbimise kasvu. Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) andmed näitavad, et ajavahemiku 1990-2008 suurenes energiavajadus kogu maailmas 39% (IEA, 2015).

Suure energiatarbimisega kaasneb süsinikdioksiidi heitkoguste kiire kasv, mille tulemuseks on märkimisväärne keskkonna halvenemine ning olenevalt riigist ja õhusaaste tasemest ka oht inimeste tervisele (Mrabet *et al.*, 2019). Globaalsel tasandil toodetakse energiat peamiselt taastumatutest ressurssidest (IEA, 2015). Tuginedes 2015. aasta andmetele moodustas kogu energiatootmise toosainest kõige suurema osa nafta (36%), järgnesid kivisüsi (28%), maagaas (24%), hüdroenergia (6%), tuumaenergia (6%) ja taastuvenergiaressursid (umbes 1%) (*Ibid*). Taastumatuteks energiallikateks liigitatakse ressurss, mille kogus kasutamisel väheneb või, mida ei teki piisavas koguses piisava aja vältel juurde, et seda saaks taastuvaks energiaallikaks pidada (Remmelg, 2011).

Taastumatute energiallikate kütteväärtuseid määratletakse ühikutena vastavalt kilogrammi või kuupmeetri kohta. Taastumatutest energiallikatest madalaima kütteväärtusega on turvas, keskmiselt 10-11 MJ/kg kohta, sõltuvalt turba niiskusest ja happelisusest. Põlevkivi kütteväärtus on varieeruv vahemikus 15-18,8 MJ/kg sõltuvalt leiukohast. Nii kivisöe (kütteväärtus 20-28 MJ/kg) kui ka pruunsöe (10-20 MJ/kg) kütteväärtus on kõrgem kui põlevkivil. Nafta ja maagaasi kütteväärtused on võrreldaval tasemel. (Piirsalu, 2019; Vainola, 2015).

1.3.1 Maagaas

Maagaas, mis liigitatakse taastumatute energiallikate sekka (Skipka & Theodore, 2014) ja see on tekkinud orgaanilise aine lagunemisel, peamiselt surnud veeloomade ja taimede jäänuste settimisel ookeanipõhja (Belyakov, 2019). Maagaas on süsivesinike kogumist koosnev fossiilkütus, mille peamiseks koostisosaks on metaan. Teda leidub naftamaardlates koos naftaga või eraldi gaasimaardlates (*Ibid*). Vähemal määral leidub maagaasi ka söemaardlates kaevandusgaasina ning tekib juurde ka märgaladel ja muudes hapnikuvaestes oludes, nagu näiteks prügilates orgaanilise aine mittetäielikul lagunemisel (*Ibid*). Maagaasivarude maht on hinnatud 186 triljoni kuupmeetrini, millest peaks senist tarbimist arvestades piisama veel järgnevas 50 aastaks (*Ibid*).

Kildagaasi reservi varu, mille täpne maailmareserv on puudulike andmete tõttu muutuv ainuüksi Ühendkuningriigis 2014. aasta seisuga hinnatud 470 aastale, arvestades

Ühendkuningriigi tarbimist. Ent seni on olnud trendiks avastada iga aasta uus kildagaasi reservpaik. (Stamford & Azapagic, 2014)

Maagaas on jaotunud Maal ebaühtlaselt, kuid seda toodetakse kõikidel kontinentidel peale Antarktika (Skipka & Theodore, 2014). Suurimad maagaasi varud on Venemaal, kelle suurimaks gaasimaardlaks on Urengõi gaasimaardla. Peamiste maagaasi tootjate hulka kuuluvad Kanada, Ameerika Ühendriigid, Suurbritannia, Alžeeria, Holland, Iraan, Indoneesia ja Usbekistan (Remmelg, 2011).

Siberi ja Lääne-Euroopa gaasitorustik, mille ehitus lõppes 1983. aastal, rajati Venemaa aladel laiuvate maailma suurimate gaasimaardlate eksploateerimiseks ning Euroopasse transportimiseks. Küll aga saab maagaasi transportida ka survestatud paakides. Veeldatud maagaas säilitatakse kõrge rõhu all madalatemperatuurilistes mahutites ning sealjuures vajab veeldatud maagaas ka oluliselt vähem ruumi. Näiteks Jaapan, kes impordib kõik tarbitava maagaasi, toob enamiku maagaasist riiki veeldatud kujul. (Skipka & Theodore, 2014)

Veeldatud kujul maagaasi saavutamiseks tuleb seda jahutada -162 kraadini Celsiuse järgi (Tartu Regiooni Energiaagentuur, 2013). Sellisel kujul väheneb maagaasi ruumivajamise faktor 600 korda, mistõttu on seda ka oluliselt otstarbekam mahutites transportida (Bai & Jin, 2016; Lim *et al.*, 2020).

Kõikide primaarsete fossiilkütuste võrdluses on maagaas kõige keskkonnasõbralikum. Maagaasi põletamisel tekib vähem väevli-, süsiniku- ja lämmastikoksiide kui teiste taastumatute kütuste põletamisel. Lisaks ei teki maagaasi põletamisel üleliigseid tahkeid osakesi nagu süsi, sest selle põlemisprotsess on täielik. (Lim *et al.*, 2020)

Maagaasi puhul on neli peamist keskkonnariski: gaasitorustiku leke, veeldatud maagaasi transpordiga kaasnevad riskid, põletamisel vabanevad emissioonid (CO₂, SO_x, NO_x) ning tervise ja ohutuse tagamine (Skipka & Theodore, 2014).

Baltimaades ega ka Soomes ei toimu maagaasi tootmist (Gaasituru käsiraamat, s.a). Olgugi, et nii Eesti rannikul kui ka mandriosas on täheldatud gaasipurskeid ja gaasi väljavoolusid puuraukudest ei saa neid vaadelda kui võimalikke gaasimaardlaid (Kork, 2014). Kogu regiooni jaoks vajaminev gaas imporditakse kas Venemaalt või LNG

maailmaturult. Venemaaga ühendab Eestit ja teisi eelmainitud riike kõrgsurvetorustik. Veeldatud kujul maagaas (LNG) jõuab regiooni laevadega. (Gaasituru käsiraamat, s.a)

1.4 Seadmed

Selles alapeatükis vaadeldakse alternatiividena nii taastuvatest kui ka taastumatutest energiallikatest sõltuvaid kütteseadmeid, mida sobib kasutada koos töö materjali ja meetoodika peatükis toodud lahendustega. Täpsemalt tutvustatakse õhk-vesi- kui ka maasoojuspumpa, halupuukatelt, gaasikatelt ning toetava seadmena akumulatsioonipaaki.

1.4.1 Õhk-vesi soojuspump

Soojuspump suudab kontsentreerida välisõhu soojusenergiat nii, et seda saab kasutada sooja tarbeveena näiteks duši all käies kui ka suunata edasi radiaatoritesse või põrandakütte kontuuri soojuskandjana. Välisõhk imetakse soojuspumpa, mille süsteemis on külmutusagens, mis muutub väga madalate temperatuuride juures gaasiks. Kõrgsurvekompresori abil hakatakse gaasi temperatuuri tõstma. Kondensaator varustab pumba poolt kaetavat ala soojusega samal ajal kui külmutusagens muutub temperatuuri mõjul tagasi vedelaks aineks – selleks, et muutuda uuesti gaasiks ning koguda rohkem soojusenergiat. (Air/water heat pumps - extract heat from nothing, s.a.)

Euroopa Liit käsitleb soojuspumpasid olulise tööriistana keskkonnaeesmärkide saavutamisel. Ühtlasi kinnitab seda 2009/28/EC EL direktiiv, mis tunnustab aero- , geo- ning hüdrotermilist energiat taastuenergia allikatena (Dongellini *et al.*, 2015; European Parliament, 2009).

Õhksoojuspumpade kasutegur sõltub mitmetest teguritest – mida soojem on ilm, seda suurem on ka pumba kasutegur ning seda väiksem elektritarbimine. Külmemal ilma puhul on soojuspumba kompressor sunnitud tegema rohkem tööd ning tarbima ka rohkem elektrienergiat. Seetõttu saabub õhksoojuspumba kasutamisel ebaotstarbekus väga madalate kraadide (-30°C) juures. Soojuspumba töö efektiivsust hinnatakse küteteteguriga SCOP, mis jääb sõltuvalt seadmest 3-5 vahemikku. See tähendab, et soojuspump toodab

1 kWh elektrienergia kulutamisega 3-5 kWh soojusenergiat. Maksimaalse soojusenergia hulga jaoks peavad olema tagatud ka vastavad tingimused. Efektiivsus sõltub nii seadme karakteristikast, aastaajast, tarbimisharjumustest kui ka oone omadustest ning teistest igapäevastest teguritest. -30°C juures läheneb õhksoojuspumpade SCOP ühele, mistõttu ei tooda pump tarbitava elektrienergiaga võrreldes rohkem kui samaväärse hulga soojusenergiat. (Õhksoojuspumba elektrikulu, s.a.)

Õhk-vesi tüüpi soojuspumba mahutavus võrreldes õhk-õhk tüüpi pumbaga on suurem. Õhk-vesi tüüpi soojuspumba mahutavuse kujundab selle jahutuse tippvõimekus, olgugi, et seadmed töötavad osalisel koormusel. Konstantse sagedusega üksikkompressor reguleerib oma võimsust sisse- ja väljalülitamise abil, ent sellise vahelduva toimingu energiatarve on suurem kui pideva juhtimise korral. (Jones, 2001)

Õhk-vesi (ÕV) tüüpi soojuspumbad võivad olla küll heaks alternatiiviks taastumatust energiaallikast sõltuva kütteelemendi, näiteks gaasikatla väljavahetamisel, kuid nende süsteemide hooajalise toimivuse hinnang võib olla kaheldav (Dongellini *et al.*, 2015). ÕV soojuspumpade suutlikkus on paljuski tingitud hooajalisest või aastaajalisest temperatuurist, mis pidevalt ajas muutub. ÕV soojuspumpade esitus ning energiatarve on terve kütte- või jahutusperioodi vältel tugevasti mõjutatud välistest teguritest, nagu näiteks hoone soojuskoormusest, väliskliimast või pumba juhtimissüsteemist. Viimane aspekt on oluline, sest soojuspumbad töötavad nominaaltingimustes ainult piiratud osa hooajast ja seetõttu tuleb nende seadmete hooajalise efektiivsuse tagamiseks kaaluda töötamist osalistel koormustel (Bettanini *et al.*, 2003). Osalist koormust on jälgitud ning jõutud järeldusele, et nende seadmete hooajalist jõudlust mõjutab tugevalt soojuspumpade võime säilitada kõrgeid jõudlusteguri (COP) väärtusi osalistel koormustel (Henderson *et al.*, 2000).

1.4.2 Maaküttepump

Maaküttepumbad kasutavad ära maapinna stabiilse soojusvahemiku. Horisontaalse maaküttekontuuri puhul saavutatakse vajalik küttejõudlus mõne meetri sügavusel. Vertikaalsete soojuspumpade kasutamisel laskutakse aga sügavustesse alates 15 meetrist. Maaküttepumpasid kasutatakse eelkõige hoonete kütmiseks, jahutamiseks ning lokaalse soojavee tootmiseks. Maasoojuspumbad võimaldavad välist energiat kasutades

toota madalatemperatuurilisest soojusest kõrgematemperatuurilist soojust. Välise energia sisendkogus, olgu see siis soojus- või elektrienergia, peab olema aga võimalikult madal, et protsess end nii keskkonna kui ka majanduslikul tasandil õigustaks. Erinevalt näiteks õhk-õhk tüüpi soojuspumpadest saavad maasoojuspumbad sügisel ja talvel kasutada ära suvisel ajal maapinda talletunud soojusenergia. (International Energy Agency, 2011)

Suurem osa soojusest salvestub maapinna pealmistesse kihtidesse suve jooksul päikeselt tuleva soojusenergiانا. Maaküttekollektori abil kogutakse talletunud soojusenergia kokku ning muundatakse seejärel eluruumi kütteks ning soojaks tarbeveeks. Maaküttepump kogub soojuse väliskeskkonnast kokku ning pärast selle temperatuuri tõstmist juhib hoone küttesüseemi. Soojuse kogumine toimub pinnasesse paigaldatud maaküttekollektori kaudu, milles tsirkuleeruv vedelik ammutab pinnase soojusenergiat. Võrreldes fossiilsete kütustega on energiasääst kuni 80%. Maasoojusenergia hulk sõltub samuti omakorda mitmetest teguritest, sedapuhku näiteks niiskusest. Mida niiskem on pinnas, seda suurem on tänu vee mahutavusele ka soojusenergia hulk. (Maaküte - maasoojuspumpadest, s.a.)

1.4.3 Gaasikatel

Korterite, eramajade, ärihoonete ja muude ehitiste kütmine gaasikateldegaga on tänapäeval elementaarne ja tavapärane nähtus. Gaasikatla kasutamisel on võimalik kasutada nii looduslikku maagaasi, mis jõuab tarbijateni läbi selleks rajatud tsentraliseeritud toruvõrgustiku kui ka veeldatud gaasi, mis jõuab tarbijateni spetsiaalses mahutis. Olgugi, et maagaasi näol on tegemist taastumatu ressursiga, on antud kütus tänu mineraalainete puudumisele keskkonnasõbralik ja kõrge kütteväärtusega. (Gaasiküte, s.a.)

Gaasikatla töö tekitab paratamatult müra, mistõttu tuleks katel paigaldada nii, et mürahäiring oleks võimalikult väike (eraldi ruumi, keldrisse). Katla põletisüsteemi helispektrit mõjutavad mitmed tegurid, sealhulgas retsirkulatsiooni osakaal, õhu suhe. kütuse sissepritse ning põlemiskambri ja väljalasketoru geomeetria, mis määravad süsteemi loomuliku sageduse. Kuid tänapäevaste, keeruliste omadustega kütteseadmete akustika omaduste prognoosimine sõltub mõistagi ka tehnoruumi enda ning korstna asukohast ning omadustest. (Edenhofer *et al.*, 2003)

Võrreldes 1990. aastatel levinud ning 2000. aastate alguses toodetud gaasikateldega on tänapäevaste gaasikatelde müratase oluliselt langenud, erinevatel andmetel suisa 30-40dB. Kuid nagu eelnevalt öeldud, sõltub mõõdetava seadme müratase mitmetest teguritest. Tänapäevaste gaasikatelde müratase jääb sõltuvalt tootjast, näiteks Boschi seadmete puhul 40-50dB vahele. (Edenhofer *et al.*, 2003; Gaasi-kondensatsioonikatlad, s.a.)

Tänapäevased gaasikatelad on ökonoomsed, sest saavutavad ligi 90%-line tööefektiivsuse. Gaasikatlad jagunevad kaheks: on traditsioonilised ehk konventsionaalsed katlad ning kondensatsioonikatlad. Viimased erinevad esimestest seetõttu, et kütmisel kasutatakse ära veeaur, mis väljutatakse korstna kaudu koos suitsugaasiga. Kondensatsiooni katelde efektiivsus on veeauru eksploatatsiooni tõttu kõrgem. Tekkiv veeaur kondenseerub ning kondenseerunud veeauru soojus kasutatakse kütmisel ära. Kondensatsioonikatlad on tõhusad pörandakütte või suurte radiaatoritega küttesüsteemides, hoonetes, kus on võrdlemisi madalad temperatuurid. Lisaks on kondensatsioonikatelde puhul positiivseks asjaoluks see, et seal ei teki vingugaasi. Gaasikütte katelde puhul on samuti rakendatav süsteemi automatiseerimine, mille hädavajalikkus tuleneb eelkõige välistemperatuuri muutustest või asjaolust, millal on kõige tarbetum elamist kütta, näiteks ajal, kui kedagi kodus ei viibi. (Gaasiküte, s.a.)

1.4.4 Akumulatsiooni paak

Soojasalvestusseade või akumulatsioonipaagi eesmärk on automatiseeritud süsteemi puhul sagedase sisse- ja väljalülitamise vältimiseks toimida või töötada osalise koormuse korral. Õhk-vesi soojuspumpade puhul on tegu küll pigem soojaveeboileriga, ent tööpõhimõtte ning kasutamise eesmärk on küllaltki sama, mis traditsioonilise akupaagi puhul – salvestada soojusenergiat ajaks, mil kütteelement puhkab. Eelnev kirjeldab akupaagi tööpõhimõtet automatiseeritud küttelehenduse puhul, milleks saab olla nii õhk-vesi, maaküttepump kui ka gaasikatel. Halupuukatla puhul tekitab uue osalise koormuse tarbija ise, füüsiliselt. Akumulatsioonipaak koosneb komponentselt veepaagist, kahekontuursest soojusvahetist, küttekehast, peale- ja tagasivoolutorustikust ning klappidest ja väiksematest lisadest. (Wang *et al.*, 2014)

1.4.5 Halupuukatel

Halupuukatelde puhul on tegemist tahke kütuse põletamiseks mõeldud kateldegaga. Tegu on kõrgetemperatuurilise iseloomuga seadme või katlagaga, mis ühel või teisel moel modelleerituna on ettenähtud lisaks puidule ja pelletile põletama ka pruun- või kivisütt. (Lasek *et al.*, 2018)

Kuigi tahkekütuse katelde töö efektiivsus on kivisöe puhul puiduga võrreldes kõrgem, siis kasutatakse eramajades pigem kütmiseks puitu. Tõenäoliselt on see tingitud asjaolust, et puit on tihti kergemini kättesaadavam kui süsi, olgugi, et lendosakeste osakaal kahe kütuse vahel on suurem just puidul. (Elektrituruseadus, 2003; Pelka *et al.*, 2020)

Lendosakeste puhul on tegu anorgaaniliste peenosakeste, kaaliumsulfaadi ja kaaliumkloriidi näol. Lendosakeste emiteerumisel kujutavad need ohtu inimeste tervisele ning neid seostatakse eelkõige südame- ja veresoonkonna ning kopsufunktsiooni häiretega. (Englert, 2004; Virkus, 2014)

Lendosakeste osakaal automatiseeritud kateldes võib olla kuni 10 korda väiksem võrreldes manuaalselt laetavate katelde ning ahjudega. Põhjuseks saab tuua mittetäieliku põlemise, ebapiisava põlemistemperatuuri, puidu niiskuse ning ka asjaolu, et võrdluses automaatse süsteemiga kasutatakse tihti puidugraanuleid, millel on halupuuga võrreldes erinev kontsentratsioon. (Johansson *et al.*, 2004; Poláčik *et al.*, 2021)

1.4.6 Seadmete eluiga ja hooldus

Seadmete eluiga sõltub paljuski konkreetsest seadmest, selle hooldussagedusest, säilitamistingimustest, koormusest ning hooldusmaksumusest. Allolev loetelu võtab kokku käsitletavate seadmete keskmise eluea ja aastase hooldusmaksumuse 2021. aasta andmetel.

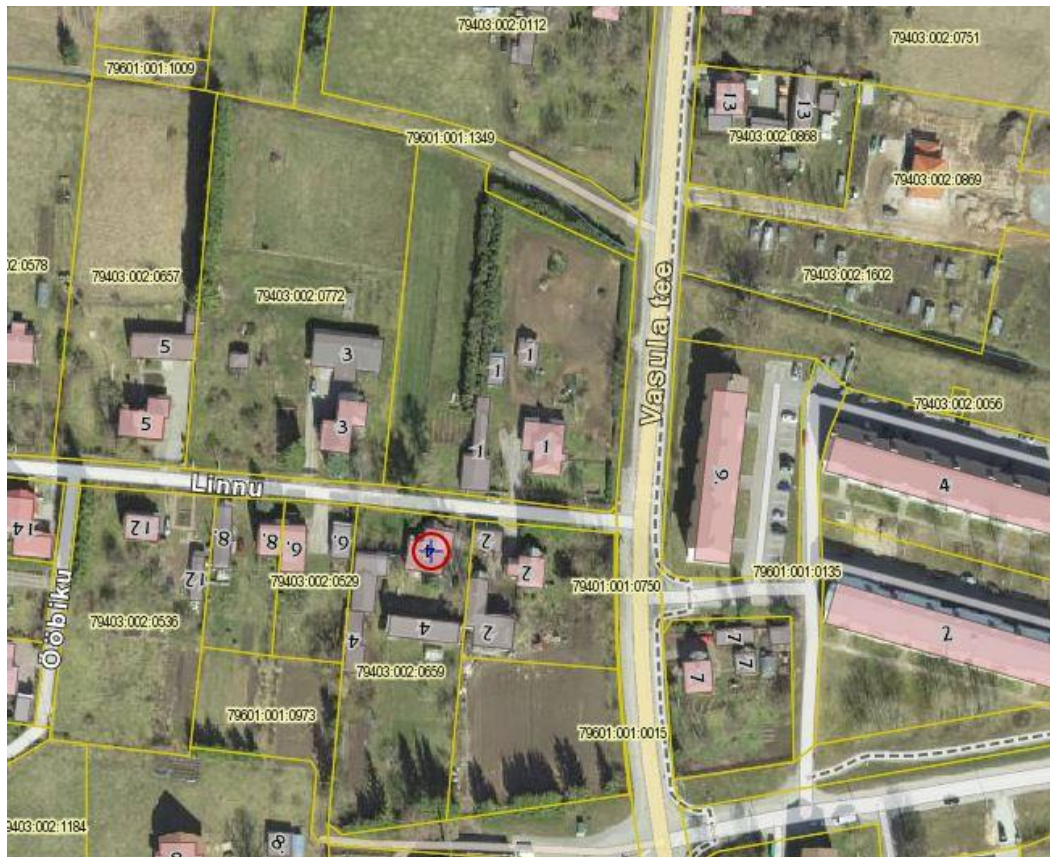
1. Õhk-vesi soojuspump – eluiga hinnanguliselt 20 aastat, seade vajab hooldamist keskmiselt 1-2 korda aastas. Spetsialisti korratasu 65-80 eurot (Õhk-vesi soojuspumba hooldus, s.a.; Õhk-vesi soojuspump, s.a.).

2. Maasoojuspump – eluiga hinnanguliselt 20-30 aastat, kollektortorudel pinnases kuni 100 aastat. Spetsialisti aastane hoolduse hind umbes 110 eurot (Soojuspumpade hooldus, paigaldus ja remont, s.a.; 7 fakti: maaküte, s.a.).
3. Gaasikatel – eluiga hinnanguliselt 10-12 aastat. Hooldus kord aastas nii katlale kui ka veesoojendile. Hinnanguline maksumus umbes 100 eurot aastas (Gaasikatla eluiga, s.a.; Katlad korda kiirelt ja professionaalselt, s.a.).
4. Halupuukatel – eluiga hinnanguliselt 30 aastat. Hooldus 20 eurot aastas (Katel, s.a.).
5. Akumulatsioonipaak – eluiga hinnanguliselt 50 aastat. Ei vaja regulaarset kontrolli (Accumulator tanks & expansion tanks in pressurised water systems, s.a.; Õhk-vesi soojuspump, s.a.).

2. MATERJAL JA METOODIKA

Käesolevas töös on kasutatud erinevaid teadusartikleid, andmebaase, õppematerjale ning olemasolevate algandmete töötlemisel on juhitud teenusepakkujate, erialaste asjatundjate seisukohtadest ning teaduslikes väljaannetes kajastatud valemitest.

2.1 Uuritava hoone asukoht ja kirjeldus



Joonis 2.1.1 Ortofoto piirkonnast, kõnealune objekt markeeritud punase ringiga

Aadressil Linnu 4 Kõrveküla, Tartu vald asuva kinnistu puhul on tegu üksikelamute piirkonda kuuluva hoonetekompleksiga ning antud magistritöös on vaatluse all 2-korruseline üksikelamu. Kirjeldatakse elamu tänast olukorda ning analüüsitakse nii praegust küttelahendust kui ka alternatiive praegusele olukorrale võttes arvesse majanduslikku sobivust, investeeringu kaalukust, perspektiivset kulu ning mugavust.

Elamu puhul on tegu 1969.aastal ehitatud puitkarkassil põhineva ning silikaattellisega vooderdatud oma ajale standardse vintskappidega, viilkatusega elamahoonega, millel on 140m² köetavat pinda. Hoone välispiirdeid ei ole renoveeritud, soojustusmaterjalina on kasutusel saepuru. Hoone siseseinast leiab 50mm mineraalvilla, mis on paigutatud kipskarkassi vahele.

2.2 Energiavarustus

Algselt planeeritud ahiküttel põhinev küttesüsteem on osaliselt säilinud. Alles on maja kahte korrust läbiv korsten põhikorruse kahe ahju ning teise korruse ahjuga suitsu väljajuhtimiseks. Aastate jooksul on ahiküte asendunud tahkeküttel põhineva keskküttesüsteemiga. Algne küttesüsteem on varasemalt mainitult osaline seetõttu, et põhikorruse üks kahest ahjust on välja lõhutud. Lisaks on algse küttesüsteemi osalisel säilitamisel mitu põhjust:

- alternatiivne küttesüsteem on selline, mis ei sõltu võrgust ega teistest tarbijatest või mõjutajatest, st on võimalik kasutada kriisi ajal, elektrienergiast sõltumatult;
- maja kahte korrust läbivat korsten on võimalik tulevikus maja või majafassaadi renoveerides kasutada ventilatsiooni juhtimiseks;
- senine likvideerimine on pigem tarbetu kuna korstna väljalõhkumine mõjutaks oluliselt maja konstruktsioonilisi omadusi ning oleks liialt kulukas.

Tänase küttesüsteemi puhul on tegu tahkekütte katlal põhineva keskküttesüsteemiga. Halupuu katla vanus on 15 aastat. Maja köetava pinna peale on rajatud malmradiaatori võrgustik, milles sisalduv vesi soojendatakse halupuuküttel põhinevas katlas. Akumulatsioonipaak sooja vee salvestamiseks puudub. Katel asub uue süsteemi elluviimiseks rajatud katlaruumis, maja 0 korrusel, kuhu on ligipääs väljaspoolt maja. Ühtlasi rajati uue küttesüsteemi tarbeks uus korsten. 2018/19 talvel vahetati avarii tõttu välja radiatoorvõrgustikus veerõhku kontrollinud paisupaak. Varasem, avatud süsteemina toiminud paisupaagisüsteem vahetati välja membraanpaisupaagi põhimõttel toimiva süsteemi vastu. Paisupaagi põhiliseks ülesandeks on kompenseerida temperatuuri tõusust tingitud paisumist (Tarbevee paisupaagid, s.a.).

Tarbevesi soojendatakse 80 liitrisel elektriboileris, ent on võimalik soojendada ka 200 liitrisel kahekontuursel ehk siis nii elektriliselt kui ka tahkeküttega põhineval soojusest köetavas tarbevee boileris. Hetkel on 200 liitrine tarbeveeboiler kasutusest väljas, sest leibkonnas on ainult kaks täiskasvanut.

Töö autor kaalub praeguse küttesüsteemi asendamist õhk-vee soojuspumba või maaküttepumba vastu või minna üle gaasiküttele. Nullalternatiivina käsitletakse ka praegusel küttelehendusel jätkamist. Praeguse küttelehenduse alamalternatiivina ei käsitleta võimalust minna biomassilt üle biomassile võttes kasutusse pelletil põhineva süsteemi. Olemasoleva küttelehenduse juures ei ole kasutusel eksisteerivat akumulatsiooni paaki, millel oleks selge mõju elamu paremale soojasalvestusele. Kaalumisel on täiendada praegust küttelehendust vaid akumulatsioonipaagi soetamisega.

2.3 Energiatarbimine

Linnu 4 üksikelamu energiatarbe saab tinglikult jagada kaheks: elektrienergia tarbeks ning soojusenergia tarbeks. Soojusenergia tarvet on hinnatud tuginedes varasemale tarbimisele halupuude näol. Kütteperiood, mis Linnu 4 üksikelamu puhul piirdub perioodiga september-mai, käsitleb soojusenergia tarbimist. Kõnealuse perioodi jooksul kulub 18 ruumimeetrit küttepuid. Käsitletakse puidule kuluvat mahtu viimase 2 aasta näitel. 2019/2020 kütteperioodil oli domineerivaks küttepuiduks okaspuu, eelkõige harilik kuusk. Seevastu domineeris 2018/19 käekäigul saarepuu. Kütteväärtustelt erinevad saar ja harilikud okaspuud nagu kuusk või mänd pea viiendiku võrra. Saare energiasisaldus jääb 20%-lise niiskusesisalduse juures 1650kWh/rm juurde, seevastu sama niiskusesisaldusega okaspuu, milleks enamasti on kuusk ja mänd sootuks 1300 kWh/rm (Küta ainult halupuu puudega, s.a.).

Vastavalt projekti andmetele ja visuaalsele uuringule on määratud konstruktsioonide kihid, nende paksused ja teostatud olemasolevate piirete summaarse soojuserikao arvutus. Tarbimise järgi saadud ja hoone piirdekonstruktsioonide järgi saadud vajalikke energiatarbeid on omavahel võrreldud.

2.3.1 Päringud

Erinevatele kütteseadmete paigaldajatele ja maaletoojatele saadeti hinnapäringud üksikelamu põhiparameetritega. Päringus esitati kinnistu pindala, sealjuures vaba kontuuripindala maasoojuspumba tarbeks, maja pindala, senist küttesüsteemi iseloomu, soojuskandjat malmradiaatorite näol, korruselisust, ehitusaastat, konstruktiivset väljanägemist ning olemasolevaid lahendusi elektriboileri, tahkeküttekatla, korstna ja muu seonduva näol. Lisaks täpsustati olemasoleva gaasitrassi olemasolu 2005. aastast. Päringute koostamisel ei täpsustatud neid hoone energiatõhusust puudutava informatsiooniga. Samuti ei pidanud pakkumuste koostajad oluliseks teada hoone energiatarvet. Pakkumised saadeti 9 ettevõttele ning tagasiside ja pakkumised laekusid kolmelt ettevõttelt. Joonis 2.3.1.1 kirjeldab kahe punase piiritletud alana töö autori vaatevinklist potentsiaalset maasoojuspumba kontuuri asukohta. Pildil ei kajastu täpsed kitsendusandmed gaasitrassi asukohast, kuid pildi mõistes jääb ülaloleva katastripiiriga paralleelselt Linnu tänav, millelt on rajatud elamu tehnoruumini gaasikatla kasutamiseks maagaasi trass. Trass on rajatud 2005. aastal piirkonda haldava maagaasi teenust võimaldava ettevõtte poolt.



Joonis 2.3.1.1 Võimaliku maasoojuspumba kontuuriala piiritletus (punasega)

2.3.2 Tasuvusanalüüsi ja energiatõhususe arvutamise meetodika

Tasuvusaeg annab mõista sellest, kui palju aega kulub algse investeeringu tasa teenimiseks (Reniers *et al.*, 2016).

Autor on kasutanud töös lihttasuvusanalüüsi meetodikat (Piotrowska-Woroniak, 2017).

Metoodikat kirjeldab valem 1.

Aastane kokkuhoid on saavutatud läbi arvutuse, kus algse olukorra aastasest tarbimismaksumusest on lahutatud vaadeldava kütteseadme ekvivalentne kulu (Eltamaly & Mohamed, 2018).

$$SPBT = \frac{N}{\Delta O_r}, \text{ kus:} \quad (\text{Valem 1}) (\text{Piotrowska-Woroniak, 2017})$$

SPBT on tasuvusaeg eurodes

N on kütteseadme maksumus eurodes

ΔO_r on teoreetiline aastane kokkuhoid või sääst eurodes seadme kasutamisest võrreldes algse olukorraga

Energiatõhususe arvutamisel on kasutatud järgnevaid valemeid:

1. Piirdetarindi soojusläbivus vastavalt EVS 908:2016

$$U = \frac{1}{R_T}, W/(m^2 \cdot K), \text{ kus:} \quad (\text{Valem 2}) (\text{EVS 908-1:2016})$$

U – piirdetasindi soojusläbivus

RT – piirde kogusoojustakistus

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

2. Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W, \text{ kus: (Valem 3) (EVS 908-1:2016)}$$

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus,

R₁, R₂,... R_n – iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus

R_{se} – piirde välispinna soojustakistus

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

3. Soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, (m^2 \cdot K)/W, \text{ kus: (Valem 4) (EVS 908-1:2016)}$$

d –materjalikihi paksus, m

λ - materjali soojuserijuhtivus,

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

4. Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \frac{m^2 \cdot K}{W}, \text{ kus : (Valem 5) (EVS 908-1:2016)}$$

kus:

R'_T –mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone)

R''_T –mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

5. Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus

R_T

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \frac{m^2 \cdot K}{W}, \text{ kus:} \quad (\text{Valem 6}) (\text{EVS 908-1:2016})$$

A_a, ..., A_n –piirde üksikute sektsioonide osapindalad

R_{Ta}, ..., R_{Tn} –piirde üksikute sektsioonide soojustakistused

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

6. Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus **R''_T**

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \frac{m^2 \cdot K}{W}, \text{ kus:} \quad (\text{Valem 7}) (\text{EVS 908-1:2016})$$

kus:

R_{si} –piirde sisepinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral 0,13
(m²·K)/W;

R₁, ... R_n –iga kihi soojustakistus

R_{se} –piirde välispinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral 0,13
(m²·K)/W.

W – soojushulk

K – materjali keskmine temperatuur

m²- pindala

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Töös kasutati potentsiaalsete küttelahenduste võrdlemiseks seniseid algandmeid halupuukatla tarbimise näol. Selgitati välja aastane tarbimishulk ning võrreldi energiakasutust teiste kütteelementide teoreetilisel kasutamisel. Lisaks teostati hoone energiatõhususe arvutused ja leiti arvutuslik energiatarve vastavalt hoone andmetele. Analüüsiiti perspektiivset kulu erinevate seadmete hüpoteetilisel kasutamisel.

3.1 Energiatarbimine objektil

Tabelid 3.1.1 ja 3.1.2 kirjeldavad Linnu 4 elektrienergia tarbimist vastavalt 2019. ja 2020. aastal. Tabelitest selgub, et 2020. aasta kogutarbimine erineb varasema aastaga võrreldes ligemale poole võrra, vastavalt 2020. aastal 4978 kWh ja 2019. aastal 2546 kWh. Marginaalne erinevus on eelkõige tingitud õhk-soojuspumba kasutuselevõtust 2020. aasta novembris. Erinevus kuude lõikes kahe aasta vahel kuni 2020. aasta oktoobrini on pigem minimaalne. Suurem tõus saabub oktoober-november perioodil. Varasema aastaga võrreldes saab töö autor energiatarbimise kasvu põhjendades välja tuua veel renoveerimisel suure energiatarbega elektriseadmete kasutamise 2020. sügis-talv perioodil.

Tabel 3.1.1 Elektrienergia tarbimine 2019. aastal

	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku (kWh)
Jaanuar	109,921	129,68	239,601
Veebruar	83,417	74,596	158,013
Märts	115,682	152,342	268,024
Aprill	110,076	108,829	218,905
Mai	121,211	110,843	232,054
Juuni	106,231	110,376	216,607
Juuli	114,621	91,669	206,29
August	99,187	103,721	202,908
September	86,581	76,393	162,974
Oktoober	92,96	68,897	161,857
November	80,457	89,591	170,048
Detsember	161,651	147,636	309,287
Aasta kokku	1281,995	1264,573	2546,568

Tabel 3.1.2 Elektrienergia tarbimine 2020. aastal

	Päev (kWh)	Öö (kWh)	Kokku (kWh)
Jaanuar	101,915	104,136	206,051
Veebruar	91,074	92,478	183,552
Märts	138,669	111,021	249,69
Aprill	193,204	154,236	347,44
Mai	172,891	126,944	299,835
Juuni	173,5	107,55	281,05
Juuli	168,116	112,232	280,348
August	173,8	123,583	297,383
September	190,211	127,893	318,104
Oktoober	228,707	190,4	419,107
November	411,994	416,093	828,087
Detsember	700,352	567,621	1267,973
Aasta kokku	2744,433	2234,187	4978,62

Riigi Ilmateenistuse andmetel oli 2018. aasta Eesti keskmisena normist soojem ja päikesepaistelisem, sademeid oli eriliselt vähe, keskmine sajusumma oli 508 mm. Päikesepaistelisi tunde oli 2069, mis on pärast 1961. aastat päikese rohkuse poolest 3. kohal. Keskmine temperatuur aasta lõikes ammendus 7,1 kraadiga. 2019. aastal oli päikesepaistelisi tunde seevastu 1971 tundi, s.t 4 ööpäeva jagu vähem. Sademeid oli rohkem, 675mm aasta kohta ning keskmine õhutemperatuur poole kraadi võrra kõrgem, 7,6 kraadi. 2020. aasta üllatas eesti kliimaajaloo kõige soojema aastana, kus keskmine temperatuur tõusis 8,4 kraadini. Sademete keskmine oli normi (672 mm) lähedal, 667 mm. Päikesepaistelisi tunde oli kokku 1995. Kolmel eelneval aastal olid külmemad kuud veebruar, jaanuar ja detsember. Soojemad seevastu juuni, juuli ja august. Ning sademeid tuli aastate võrdluses kõige rohkem 2018. aastal septembri, 2019. aastal oktoobri ja 2020. aastal juuli kuus. (2018. aasta ilma ülevaade, 2019; 2019. aasta ilma ülevaade, 2020; 2020. aasta ilma ülevaade, 2021)

Energiatarbimise puhul on arvutustes kasutatud kraadpäevasid. Kuna tarbitav soojusenergia sõltub suuresti väliskliimast ning kuna kõik aastad ei ole omavahel temperatuuriliselt võrreldavad, siis kasutatakse aastaste temperatuurierinevuste kõrvaldamiseks kraadpäevasid. Üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. 2020. aasta kraadpäevade summa oli tasakaalutemperatuuril 17°C 4726. 17°C tuleneb vana tüüpi

ning loomuliku ventilatsiooniga renoveerimata kortermaja määratlusest (Kraadpäevad, 2021).

3.2 Hinnapakumised

Esimene pakkuja tegi pakkumise küll kõigile kolmele käsitletavale lahendusele, kuid pakkumus ei sisalda konkreetseid seadmeid, mistõttu ei ole võimalik pakkumust detailsemalt analüüsida ega hinnata konkreetse küttelahenduse hüpoteetilist kasutust.

Halupuukatla maksumust töö autor saadetud päringutesse ei kaasanud, kuna tahkeküttekatel on elamus olemas ning uue katla soetamisel saab piirduda kataloogi hindadega, kuna katla paigaldamiseks on teised eeldused loodud. Järgneb esimese pakkuja tagasiside lihtvormis:

- Gaasikatla paigaldus koos erinevate vajalike töödega, ilma gaasitrassi liitumistöedeta 4000€;
- Õhk-vesi soojuspumba paigaldus koos vajalike töödega 9000€;
- Maasoojuspumba paigaldus koos erinevate töödega 12000€.

Teise pakkuja tagasiside päringule on põhjalik ning see käsitleb maasoojuspumba rajamist koos kõigi vajalike töödega. Pakkumisega on võimalik tutvuda lisas 3 (joonis 1). Maasoojuspumba paigalduse hinnaks koos erinevate töödega hindas pakkuja 11436 eurot. Pakkumine sisaldas Nibe maasoojuspumpa võimsusega 1,5-6(8kW) ning kaasnevaid tarvikuid ja vajamineva töö maksumust.

Teine pakkuja koostas pakkumise õhk-vesi soojuspumbale. Täpne pakkumus on toodud lisas 3 joonisel 2. Paigalduse hinnaks koos erinevate töödega hindas pakkuja 9720 eurot. Pakkumine sisaldas Mitsubishi õhk-soojuspumpa võimsusega 10kW kaasnevaid tarvikuid ja vajamineva töö maksumust.

Kolmas pakkuja tegi pakkumise gaasikatla süsteemi paigaldusele kogusummas 3711 eurot, millele lisandub hinnanguline 120 eurot korstna augu puurimise töö eest ning projekt ja kooskõlastamine. Detailne pakkumus on kirjeldatud lisas 3 joonisel 3. Pakkumus sisaldas gaasikatelt Buderus võimsusega 24kW, vajalikke lisatarvikuid ning tööde maksumust, millele lisandub eelnevalt kirjeldatu.

Kuna tasuvusanalüüsi käigus põhinevad algandmed senisest tarbimisest halupuukatla põhjal, siis ei pidanud autor vajalikuks teostada päringuid halupuukatelde tootjatele ning paigaldajatele. Investeering on juba teostatud ning ühtlasi piisaks kataloogi pakkumushinnast, kuna kõik teised vajalikud eeldused katla paigaldamiseks on olemas. Samaväärne halupuukatel praegusega on võimalik soetada 1700 euro eest. Tegu oleks 33,8-53kW malmkatlaga, mis on mõeldud kuni 180m² väikemaja kütmiseks. Katla töötemperatuur jääb 65-90 kraadi juurde, mis teeb temast kõrgetemperatuurilise seadme. Töö autor peab ühtlasi oluliseks siinkohal välja tuua asjaolu, et tasuvusanalüüsi tulemustes tuleb arvestada erinevust, mis tekib madalatemperatuurilise seadme võrdlemisel situatsioonis, kus algandmed pärinevad kõrgetemperatuurilisest süsteemist. Lisaks käsitletud kasutegur oleks tõenäoliselt kõrgem kui elamu fassaad, põrand, vahelaed ning pööning oleks tänapäevaselt soojustatud (Cast-iron solid fuel boiler, 2010).

3.3 Saadud hinnapakumiste analüüs

Hinnapakumised laekusid kolmelt erinevalt ettevõttelt, igale seadmele kaks pakumist. Esimeselt ettevõttelt laekus lihtvormis pakumine kõigile kolmele taotletud kütteseadmele, sealhulgas õhk-vesi soojuspumbale, gaasikatla lahendusele ning maasoojussüsteemile. Teine ettevõtte koostas pakumised maasoojussüsteemile ning õhk-vesi soojuspumbale. Kolmas ettevõtte pakkus ainult gaasikatla lahendust. Kõikide ettevõtete pakumised sisaldasid seadmete maksumust, tööd ning paigaldusel kaasnevaid lisasid. Kolmanda pakkuja poolne pakumus gaasikatla paigaldusele ei sisaldanud küll korstna augu puurimist ning vajalikku projekti ja kooskõlastust, ent täpsustati, et see on lisanduva tasu eest. Õhk-vesi süsteemi puhul osutus soodsaimaks esimese pakkuja lahendus summas 9000 eurot. Maaküttesüsteemi puhul osutus soodsaimaks teise ettevõtte pakumus summas 11436 eurot. Gaasikatla pakumistes esineb vastukõla selles, kas esimese ettevõtte poolne pakumine sisaldab ka vajalikke elektritöid, korstna augu puurimist ning gaasiprojekti. Kolmanda ettevõtte pakumises kajastus informatsioon, et korstna augu puurimise eest lisandub 120 eurot. Võttes arvesse kaasnevaid kulusid, on kolmanda ettevõtte pakumise kogusumma 4181 eurot. Eeldusel, et projekti maksumust ei arvestanud pakumusse ka esimene ettevõtte, siis summeerub

nende pakkumus samaväärse projektihinna juures 4250 euroga. Lisanduda võivad eelduslikult veel korstna augu puurimine ning elektritööd, mille kohta puudus informatsioon. Kõik pakkumised ettevõtelt jäid omavahel sarnasesse hinnavahemikku.

Joonisel 3.3.1 on kajastatud tänapäevane gaasitrassiga liitumise hinnanguline maksumus, mis sõltub veel lisaks tegelike hangete tulemustest. Praegusel juhul on rajatud 2005. aastal AS Termox poolt Linnu 4 kinnistule gaasitrass, mis on toodud vajaliku ettenähtud sisendkraaniga ka sobivasse tehnoruumi. Kuna senised pakkumised gaasikatelde paigaldusettevõtelt ei kajasta enda hinnapakumistes trassi ehitust, siis pidas töö autor oluliseks selgitada välja senine hinnavõit torustiku ehituse näol. Joonisel 3.3.1 on kajastatud hinnanguline gaasitrassi ehituse pakkumus, mille saab ajakohasuse ning sarnase krundi omaduse tõttu võtta arvesse Linnu 4 puhul. Allolevale kalkulatsioonile lisandub käibemaks. Liitumistasu puhul on töö autor hinnanguliselt säästnud seega $2300 + 20\% = 2760$ eurot (Käibemaksumäärad, 2020).

Tarbijapaigaldise tarbimisvõimsus (kW): **25**

Liitumispunkt: **asub liitva kinnistu piiril**

Kulukoht	Liitumistasu maksumus *
Projekt	500 €
Geodeesia	Liituja hange
Ehitustööd	* 1100 €
Ehitusega seotud võrguettevõtja kulud, sh projektijuhtimine ja ehitusjärelvalve	550 €
Paigaldatav arvesti G-4 kaugloetav (1tk)	150 €
Kokku	2 300 €

** maksumus on hinnanguline ja sõltub tegelike hangete tulemustest*

Hindadele lisandub käibemaks.

Joonis 3.3.1 Gaasitrassi liitumise eelduslik maksumus

3.4 Arvutuskäigud ja analüüs

Kütteperioodi aastane kogumaht 2019/2020 näitel: hinnanguliselt 18 ruumimeetrit
Kütteperioodi aastane kogumaht 2018/2019 näitel: hinnanguliselt 18 ruumimeetrit
Küttepuu: 2019/20 okaspuu, valdavalt kuusk, osaliselt mänd
Küttepuu: 2018/19 okaspuu 50%, lehtpuu (saar) 50%. Küttepuude hind 2018-2020
38€/rm. Iga-aastane kulu $18 \times 38 = 684$ eurot. Lisandub korstnapühkija akt halupuukatla
korstna iga-aastasel kontrollil ja puhastamisel 20 eurot. Kokku 704€.
Energiasisaldus 20%-lise niiskuse juures:

1. kuusk ja mänd – 1300kWh/rm
2. lehtpuu, saar – 1650kWh/rm (Kask *et al.*, 2010).

Aastane keskmine energiasisaldus ruumimeetri kohta:
19/20 keskmine 1300 kWh/rm. 18/19 keskmine. $1300 + 1650 / 2 = 1475$ kWh/rm

Kahe viimase aasta keskmine energiasisaldus ruumimeetri kohta:
 $1300 + 1475 / 2 = 1387,5$ kWh/rm

Keskmine energiakulu aastas, kahe viimase aasta põhjal:

$$1387,5 \text{ kWh/rm} * 18 = 24975 \text{ kWh/a}$$

Võttes arvesse, et maasoojuspump toodab iga tarbitud kilovattenergia kohta vähemalt 3 kilovatti soojusenergiat, siis tähendaks see asjaolu arvutuslikult, et maasoojuspumba vajadus sama energiahulga tootmiseks võrdub $24975 \text{ kWh/a} / 3 = 8325 \text{ kWh/a}$. Eelnevat mõttekäiku malmradiaatoritega süsteemis toetab ka Riigi Teatajast leitav soojuspumpade kütteperioodi ja tarbevee soojendamise keskmiste soojustegurite tabel, kus maasoojuspumba aasta keskmiseks soojusteguriks malmradiaatoritega väikemajas on toodud 3,0 (Energiaõhususe miinimumnõuded, 2007).

Kuna töös ei ole uuritud sama piirkonna geoloogilisi omadusi ega maasoojuspumba ajalist töövälpa, siis kasutab töö autor aastase energiakulu maksumuse väljaarvutamiseks

meetodit, kus pool hüpoteetilisest elektrienergiast kasutatakse maasoojuspumba kompressori poolt ära päevasel ning pool öisel ajal. Töö autori elektripakett on fikseeritud päevase elektritarbe hinnaga 8,29 senti/kWh ning öise hinnaga 6,83 senti/kWh. Aastane tarbimishind võrdub:

$$8325 / 2 = 4162,5.$$

$$4162,5 \times 0,0829 = 345,1 \text{ eurot päevane tarbimine}$$

$$4162,5 \times 0,0683 = 284,3 \text{ eurot öine tarbimine}$$

kokku ca 630 eurot.

Halupuukatlaga ekvivalentse samaväärse energiahulga tootmine maasoojuspumbaga aastas moodustab hinnanguliselt 630 eurot. Sellele saab lisada aastase hoolduskulu 110 eurot. Aastane kulu kokku ca 740 eurot.

Töö autor ei pea oluliseks arvutada välja halupuudega ekvivalentset õhk-vesi soojuspumba energiakulu. Eelkõige kasutuses oleva õhk-õhk tüüpi soojuspumba praktika ja tarbimisajaloo olemasolu tõttu.

Arvestades, et gaasikatla kasutegur on halupuu katla omast hinnanguliselt 10% kõrgem, siis tähendab see, et samaväärne energiahulk saavutatakse 10% väiksema energiakuluga (Tark, s.a.).

$$24975 \times 90 / 100 = 22477,5 \text{ kWh/a}$$

Aastane ekvivalentne gaasikatla energiatarve halupuu katlaga võrreldes oleks hinnanguliselt 22477,5 kWh/a.

Gaasi hind 4,64 senti kWh kohta on võetud Kõrveküla piirkonnas tegutseva gaasi- ja võrguteenuse müügiga tegeleva ettevõtte pakkumise arvest, kajastatud tabelis nr 3.4.1. Pakkumused varieeruvad sõltuvalt paketest, seega arvutuskäigu tulemus on hinnanguline. 4,64 senti kWh kohta sisaldab gaasitarbimise hinda, võrguteenust, maagaasi aktsiisi ning käibemaksu.

Tabel 3.4.1 Gaasipakkumise arve

Kauba nimetus	Ühik	Kogus	Hind	Summa
Gaasitarbimine	m ³	250	0,25	62,50
Maagaasi	m ³	250	0,123	30,75

võrguteenus (0,12295)				
Maagaasi aktsiis (0,04)	m ³	250	0,04	10,00

Tabelis 3.4.1 kajastatud hinnad põhinevad gaasi kuupmeetritel. Senised arvutuskäigud on arvatud kilovatt-tundides, mistõttu tuleb m³ teisendada kWh-ks ning teha vastavad arvutused.

1. 1m³ maagaasi = 10,55 kWh (Puhas energia, s.a.)
2. Maagaasi hind. 0,25 / 10,55 = 2,37 senti/kWh
3. Võrguteenususe hind. 0,123 / 10,55 = 1,117 senti/kWh
4. Maagaasi aktsiis. 0,04 / 10,55 = 0,38 senti/kWh
5. Käibemaks 20%
6. Kokku 4,64 senti/kWh

$$22477,5 \times 0,0464 = 1042,1 \text{ eurot aastas (Aktsiisimäärad, 2021)}$$

Lisandub kord aastas hoolduskulu ca 100 eurot. Kokku ca 1142 eurot aastas.

Ülalolevaid arvutuskäike ei käsitle autor paikapanevatena seetõttu, et halupuukatla puhul ei ole tegu automatiseeritud kütteelemendiga. Võrreldavate kütteelementide puhul on aga tegu automatiseeritud seadmetega, mille saab programmeerida vastavale töörežiimile ja temperatuurile. Sellest tulenevalt ei saa hinnata täpset soojuskulu võrdse ekvivalendina, kuna automatiseeritud seade hoiab ettenähtud režiimi ning seatud temperatuuri ja sellest tulenevalt oleks energiatarve suurem või väiksem. Senine ajalugu või algandmed pärinevad kütteperioodist, kus toorainet tarbitakse vaid autori kodusviibimisel.

Halupuukatla aastane kulu on 704 eurot, maasoojuspumba aastane kulu on 740 eurot ja gaasikatla aastane kulu on 1142 eurot.

Võttes arvesse senist, alates november 2020 kasutusel olnud AlpicAir õhk-soojuspumba kasutamist ning sellele kuluvat energiatarbimise hulka, siis on see suuremal määral võrdsustatav sama võimsusega õhk-vesi tüüpi soojuspumbaga. Kuigi õhk-vesi soojuspumba kasutamisel säilib keskkonnasõbralik õhusoojuse eksploatatsioon, siis võtab autor arvesse gaasikatla süsteemi ja maakütte süsteemi võrdluse. Samuti tõdeb töö autor fakti, et soojuspumpade kasutegur langeb oluliselt pakaste ilmadega, ning

seetõttu tulenevalt temperatuurisõltuvusest ei kajasta õhk-vesi soojuspumpa tasuvuse kalkulatsioonides. Riigi Teatajas leitavas soojuspumpade kütteperioodi ja tarbevee soojendamise keskmisi soojustegureid kajastavas tabelis ei ole välja toodud perioodilist õhk-vesi soojuspumba kasutegurit, kuna tegu on seadmega, mis sõltub oluliselt välistest teguritest, sealjuures välistemperatuurist ning vastavast soojuspumba võimsusest. Gaasikatla kasutuselevõtul mängib olulist rolli ka senise liitumistrassi olemasolu ning väljaehitus kuni majani hinnangulise tänapäevase maksumusega summas 2760€ (Energiaühenduse miinimumnõuded, 2007).

Tabel 3.4.2 (järgmisel leheküljel) kajastab töö autori energiakulude kalkulatsiooni, mis põhinevad halupuukatla ja küttepuude tarbimise andmetel. Võttes arvesse küttepuude energiasisaldust, tegi töö autor ekvivalentsed kalkulatsioonid, milline oleks hinnanguline tarbimine ning hind teise kütteelemendi rakendamisel. 18 ruumi küttepuude ekvivalentne tarbimine maasoojuspumba kasutamisel on rahalises mõttes senist elektrihinda arvestades praktiliselt võrdväärne, vastavalt 684 ja 630 €/a, ent maagaasi puhul võrduks aastane tarbimine kolmandiku võrra suurema väljaminekuga, sealjuures 1042 €/a. Aastane hoolduskulu norm jääb gaasikatla ja maasoojuspumba juures võrdseks, hinnanguliselt 100 euro kanti. Halupuukatla aastane hooldusmaksumus piirdub korstnapühkija teenuse kasutamisega, ca 20 eurot. Halupuukatla tuhande ja nõrgist puhastamisega tegeleb töö autor ning seetõttu lisanduvaid hoolduskulusid ei arvestata. Uue seadme soetamisel ei saa seniseid tulemusi arvesse võttes tasuvusanalüüsi teostada, kuna halupuukatlaga võrreldes kujuneb aastane perspektiivne kulu kõrgemaks. Maasoojuspumba tarbimismaksumust on võimalik ekspluatateerida ökonoomilisemalt viisil, kui seade teeks lõviosa tööst ära öisel ajal, kus elektritariif on madalam.

Tabel 3.4.2 Seadmete kulutabel

Seade	Aastane kulu energiale eurodes	Aastane hooldusmaksumus eurodes	Aastane kulu kokku eurodes	Keskmine seadme eluiga aastates
Gaasikatel	1042	100	1142	10-12
Halupuukatel	684	20	704	30
Maasoojuspump	630	110	740	20-30

Võrdluseks on teostatud hoone arvutuslik energiatarve tuginedes elamu konstruktsioonilistele omadustele. Sein konstruktsioon väljast sissepoole on järgnev: silikaattellis, õhuvahe 20mm, puitlaudis 25mm, saepuru vahetäitega puitsõrestik 150mm,

puitlaastplaat 10mm, siseseina karkass 50x50mm mineraalvilla täitega, kipsplaat 13mm. II korruse seinakonstruktsioon on sarnane, välja arvatud väljaulatuv vintskapi osa, millelt puudub silikaattellise osa. Energiatõhususe arvutustes ei oma see erinevus tähtsust, kuna silikaattellist ning järgmist tarindit ühendab õhuvähe. Arvutustes kasutatud materjalid ning nende soojuseri juhtivused on kirjeldatud tabelis 3.4.3.

Tabel 3.4.3. Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused (EVS- EN ISO 10456:2008).

Materjal	Soojuseri juhtivus λ , W/(m·K)
Puit/laudis	0,13
Puitlaastplaat	0,18
Saepuru	0,06
Kipsplaat	0,21
Kilpparkett	0,17
Mineraalvill	0,04

Hoone piiretele on teostatud soojusjuhtivuse arvutused tuginedes soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtetele ja EVS 908:2016 ning EVS-EN ISO 6946:2017 (EVS 908-1:2016; EVS- EN ISO 6946:2017)

Vastavalt projekti andmetele on välisseina pindalaks 165m². Antud, järgmine ning ka teised arvutuskäigud teostati programmis MS Excel. Käesolevaid R_{puut} ja R_{saepuru} arvutusi kirjeldavad lisaks väljatoodud arvutuskäigule ka tabelid 3.4.4 ja 3.4.5.

Järgneb välisseina kogusoojustakistuse arvutuskäik:

$$R_{\text{puut}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,013}{0,13} + 0,13$$

$$= 2,11 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$$

Tabel 3.4.4. Karkassi sektsiooni soojustakistuse leidmine MS Exceli programmis

Tarindi osa	kihi paksus d, m	Soojuseri- juhtivus λ	R
Välispind			0,13
Puit	0,025	0,13	0,19
Puitsõrestik	0,15	0,13	1,15
Puitlaastplaat	0,01	0,18	0,06
Puitkarkass	0,05	0,13	0,38
Kipsplaat	0,013	0,21	0,06
Sisepind			0,13
		R m ² K/W	2,11
		U W/(m ² K)	0,47

$$R_{\text{saepuru}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,013}{0,13} + 0,13 = 3,45 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Tabel 3.4.5 Soojustuse sektsiooni soojustakistuse leidmine MS Exceli programmis

Tarindi osa	kihi paksus d, m	Soojuseri- juhtivus λ	R
Välispind			0,13
Puit	0,025	0,13	0,19
Saepuru	0,15	0,06	2,50
Puitlaastplaat	0,01	0,18	0,06
Mineraalvill	0,05	0,04	0,38
Kipsplaat	0,013	0,21	0,06
Sisepind			0,13
		R m ² K/W	3,45
		U W/(m ² K)	0,29

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus,

$$R'_T = \frac{550 + 50}{\frac{550}{3,45} + \frac{50}{2,11}} = 3,33 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus:

$$R_{550} = \frac{550 + 50}{\frac{(0,150)}{(0,04)} + \frac{(0,150)}{(0,13)}} = 3,15 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$R_{50} = \frac{550 + 50}{\frac{(0,05)}{(0,04)} + \frac{(0,05)}{(0,13)}} = 1,06 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + 1,06 + \frac{0,01}{0,12} + 3,15 + \frac{0,02}{0,13} + 0,13 = 4,92 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus:

$$R_T = \frac{4,92 + 3,33}{2} = 4,13 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirde soojusläbivus:

$$U = \frac{1}{4,13} = 0,24 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Välisseina kogusoojusjuhtivuseks saadi arvutuste tulemusel $0,24 \frac{W}{m^2 \times K}$.

Pööningu ja II korruse vahelagi. Arvutuste käigus saavutati U arv 0,57, sektsiooni osapindala 50,1m².

Põrand pinnasel. Arvutuste tulemus, sektsiooni osapindala 78,8 m². U arv 0,25.

Akende U arv leiti:

$R = 0,04 + 0,003/1 + 0,16 + 0,003/1 + 0,13 = 0,336 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Tallinna Tehnikaülikool, 2017).

$$1/0,336 = 2,97 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Uste U arv leiti samuti arvutuse teel, kus võeti arvesse asjaolu, et tegu on standardse puituksega ning rakendati vastavat puidu soojustakistust.

$$0,13 + 0,05/0,13 + 0,04 = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$$
 (EVS- EN ISO 10456:2008).

$$1/0,055 = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kokkuvõtlik MS Excel arvutusprogrammi väljavõtte joonis eelnevatele arvutustele on kajastatud numbriga 3.4.1.

Piirdetarin d	Soojuskaudu läbi piirdetarindi				Soojuskaudu läbi joon- ja punktsoojusläbivuste				Õhulekkest tingitud		
	g	$U_{i,i}$	$A_{i,i}$	H_{juhtivus}	Joon- või punktsoojusläbivus	$\Psi_{j,i}$	$l_{j,i}$	H_{joonst}	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein 1		0,24	165,0	39,6	Välissein-välissein 1	0,30	50,0	15,0	Õhulekkearv c	6,0	
Välissein 2		0,00	0,0	0,0	Välissein-välissein 2	0,00	0,0	0,0	m ³ /(h·m ²)		
Katuslagi		0,00	0,0	0,0	Katuslagi-välissein	0,00	0,0	0,0	A_{sp}	322,5	
Pööningu vahelagi		0,57	50,0	28,5	Pööningu vahelagi-välissein	0,20	75,0	15,0	(välispiirded), m ²		
Põrand pinnasel		0,25	79,0	19,8	Põrand pinnasel-välissein	0,30	42,0	12,6	Korruste arv (n)	2,0	
Põrand välisõhu kohal		0,00	0,0	0,0	Põrand välisõhu kohal-välissein	0,00	0,0	0,0	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0,0224	
Välisuks		1,80	3,5	6,3	Akna seinakinnitus	0,30	64,0	19,2			
Aken 1	0,00	2,97	14,0	41,6	Ukse seinakinnitus	0,30	10,0	3,0			
Aken 2	0,00	2,97	11,0	32,7	Sisesein-välissein	0,10	65,0	6,5			
Aken (nt itta)	0,00	0,00	0,0	0,0	Rõdu seinakinnitus	0,00	0,0	1,0			
Aken (nt põhja)		0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
...		0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
...		0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
Kokku:				H_{juhtivus} , W/K				H_{joonst} , W/K	$H_{\text{õhulekes}}$, W/K	27,0	
Välispiirde summaarne soojuserikadu				168,4	$\Sigma H_{\text{juhtivus}}$, W/K				267,7		
Välispiirde keskmine soojusläbivus					$\Sigma H_{\text{juhtivus}} / A_{\text{koetava}}$				0,8		
Hoone koetav pind					A_{koetava} , m ²				135,0		
Hoone madala temperatuuriseadega pind					A_{madal} , m ²				0,0		
Välispiirde summaarne soojuserikadu koetava pinna kohta					$\Sigma (H_{\text{juhtivus}} / A_{\text{koetava}})$				1,98		

Joonis 3.4.1 MS Exceli väljavõtte energiatõhususe arvutusest. (Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, 2012).

Hoone soojusvajaduse määramisel kasutatakse vana tüüpi renoveerimata ning loomuliku ventilatsiooniga kortermaja tasakaalutemperatuuri 17. Tasakaalutemperatuuril 17 oli 2020. aastal Tartu piirkonna kraadpäevade summa 4726 (Kraadpäevad, 2021). Hoone energiatõhususe hõlpsamaks arvutuseks kasutati MS Excelit, ning jooniselt 3.4.1 selgub,

et välispiirde summaarne soojuserikadu on 267,7. Selgitamaks välja arvutuslik hoone netoenergiatarve, kasutatakse järgnevat valemit 3.4.7.

$$Q = \Sigma H * kraadpäevad * 24h, Wh \quad (\text{Valem 3.4.7})$$

Kus ΣH = välispiirete summaarne soojuserikadu

$$Q = 267,7 * 4726 * 24 = 30\,363\,604 \text{ Wh} = 30\,363 \text{ kWh}$$

Jagades arvutuslik energiatarve köetava pinnaga saame tulemuseks

$30\,363 / 140 = 216,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Rakendades planeeritava kütelahenduse kaalumistegurit, milleks oleks maa- ja õhusoojuse ning ka praeguse biomassil põhineva kütelahenduse korral 0,65, saaksime tulemuseks $216,9 * 0,65 = 141 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Maagaasi puhul on kaalumisteguriks 1,0, st, et ETA komponent jääks samaks. Sellest saab järeldada, et tasuva lahenduse korral ei ole tingimata garanteeritud energiatõhus lahendus (RT, 2018). Võrreldes arvutuslikku hoone aastast energiatarvet algandmete põhjal arvatud energiahulgaga, milleks oli tarbitud küttepuude põhjal teostatud energiahulga arvutusel 24975kWh, siis on erinevus enam kui 5000kWh. Energiatarve on määratud 2019. ja 2020. aasta põhistel tarbimisandmetel. Kuigi töö autoril ei ole plaanis hoonepiirdeid vahetada ning tõsiselt kaalutakse vaid küttesüsteemi väljavahetamist, siis ei kvalifitseeruks küttesüsteemi muudatus suuremahulise rekonstrueerimise alla. Ent võttes arvesse tõsiselt renoveeritava elamahoone energiatõhususarvu piiri, mis tähendab seda, et see peaks jääma alla $210 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, siis arvatud energiatõhususarv $267,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ normi alla ei kvalifitseeruks. Suuremahulist renoveerimist algatamata on autoril energiatõhususe arvu võimalik parandada näiteks II korruse ja pööningu vahelae soojustamisega ning akende vahetamisega. Arvutuslik ning tarbimisel põhinev energiatarve oleksid tõenäoliselt sarnasemad juhul kui sisetemperatuur poleks kõikuv ning ruume köetaks ka autori kodusviibimisel. Samuti kompenseerib arvutuslikku energiatarvet päikeselt tulenev soojusenergia.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli selgitada välja ja kavandada majaduslikult tasuv kütelahendus eramajale. Eesmärk sai püstitatud ning töö algul seatud hüpoteesid leidsid osaliselt kinnitust. Majaduslikult tasuvaim kütelahendus ei ole üleminek gaasikatlale, kuigi liitumise investeering on juba tehtud. Majaduslikust aspektist vaadelduna on parimaks lahenduseks jätkata halupuukatlal kütmist. Võrreldi hoone arvutuslikku konstruktsioonilistel omadustel põhinevat energiatõhusust ning energiatõhususe arvutustel põhinevat energiatarvet a/gandmetel põhineva energiatarbega. Tulemused küll erinesid teineteisest, eelkõige sõltuvalt sisetemperatuuri kõikumisest mitteköetavatel hetkedel kütelahenduse automatiseerituse puudumise tõttu.

Arvestades tuntavat hinnatõusu ning majaduse sagedast muutlikkust peab inimene tarbimise seisukohalt tegema tihti vastavaid korrekture. Säästlik maaküttepump on innovaatiline ja jätkusuutlik, kuid pole investeeringu mõttes kindlasti soodsaimate seas. Teisalt on fossiilsete kütuste turg samuti turbulentne ning maagaasi- ja naftavarude ressurss piiratud. Õhksoojuspumbad, milles nähakse tulevikupotentsiaali ei paku ka vajalikku kindlust, sest sõltuvad elektrihindadest.

Innovaatiliste soojuspumpade laialdane kasutus lisab kindlust asjaolule, et selles valdkonnas on konstantselt arenguid oodata ning tulevik toob turule aina efektiivsemaid ja energiasäästlikemaid seadmeid, mis on oma hinna pooltest loodetavasti ka majaduslikult vähemkindlustatutele kättesaadavad.

Traditsioonilisel tahkeküttekatlal jätkamine tundub taastumatu energiaallika eksploatatsioonina, kuid biomassil põhinev kütus seda siiski ei ole. Teisalt, energiakriisi riske minimeerides säiliks halupuukatlal jätkamisega sõltumatus elektrienergiast ning mure elektrikatkestuste ees ei morjendaks kui puudub seade, mis vajab karges talves toimetulekuks elektritoidet. Ent siiski, mõne teise energiaallika teed minnes on alati võimalik soojuskulusid normeerida halupuukatla toetava kasutamise näol, sest töö autor plaanib selle alles hoida. Samuti arenevad soojuspumbad, gaasikatlad ning hinnanguliselt 50 aasta vältel, mis on gaasivarudeks prognoositud vajaks ka perspektiivis soetatav gaasikatel eluea tõttu väljavahetamist. Ei ole välistatud, et antud objektile minnakse lähitulevikus üle täielikult taastuvale energiaallikale.

SUMMARY

The aim of this study was to find out an economically suitable and cost efficient heating solution for a residential house. The residential house is located in a similar district of other residential houses, it has a potential gas pipeline attachment since 2005 yet still the main heating solution is solved with a solid fuel boiler. The house has cast iron radiators as heat carriers.

In order to find out an appropriate heating solution there were considered four main heating solutions: air to water heat pump, geothermal heat pump, solid fuel boiler and gas boiler. Renewable energy solutions like solar, wind, hydro and wave energy were left out of the consideration either mostly because of the absence of preconditions.

From the methodic aspect there were used scientific articles, data from certain installation companies, different registers and providers. The initial data originated from the previous consumption of solid fuel. Data processing program and profitability equations were used to analyze the theoretical consumption based from the initial data. Several inquiries were sent to companies dealing with the import and installation of different heating devices. The offers received from the dealers were analysed.

There were set two hypotheses of which the first one was not confirmed:

Economically the most efficient solution is the gas boiler considering the existence of the pipeline and the fact that the investment is already done.

The best solution would be maintaining the solid fuel boiler considering the economical and environmental issues.

As the thesis was based on the initial data of the consumption of solid fuel from the previous period there was calculated the annual amount of energy used depending from the use of solid wood. The amount of energy was taken into account as the optimal annual demand for the certain residential house. From that aspect there were made theoretical calculations in order to find out what would be the annual cost if there was another heating solution used. There was also carried out an energy efficiency calculation based on the constructional data of the building. The calculations were compared to the data and calculations based to the real consumption.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Accumulator tanks & expansion tanks in pressurised water systems (s.a.). *Xylem*.
<https://www.jabscoshop.com/files/Accumulator%20and%20Expansion%20Tank%20Instructions%20ZPWL4%20doc595.pdf>
- Air/water heat pumps - extract heat from nothing. (s.a.). *NIBE*. <https://www.nibe.eu/en-eu/knowledge-bank/how-it-works/air-water>
- Aktsiisimäärad. (2021). *Maksu- ja tolliamet*. <https://www.emta.ee/et/ari klient/aktsiisid-vara-hasartmang/uldist/aktsiisimaarad>
- Anger-Kraavi, A., Pärt, E., Raudsaar, M., Nikopensius, M., Kraadi, K.E., Duggan, J., Sanz, M.J. (2020). *Mets ja kliimamuutused*.
https://www.envir.ee/sites/default/files/Mets/metsad_ja_kliima_muutused_v3.0_esti_keelne.pdf
- Annus, M., Lokk, A., & Heinaste, T. (2019). Taastuenergia Aastaraamat. *Eesti Taastuenergia Koda*.
- Aslani, A., Bakhtiar, A., & Akbarzadeh, M. H. (2019). Energy-efficiency technologies in the building envelope: Life cycle and adaptation assessment. *Journal of Building Engineering*, 21, 55–63. doi.org/10.1016/j.job.2018.09.014
- Bai, Y., & Jin, W. L. (2016). Chapter 4 - LNG Carrier. *Marine Structural Design*, 49-71. doi.org/10.1016/B978-0-08-099997-5.00004-6
- Belyakov, N. (2019). Chapter Twenty – Geothermal Energy. *Sustainable Power Generation*, 475-500. doi.org/10.1016/B978-0-12-817012-0.00034-7
- Belyakov, N. (2019). Chapter Twenty-Two - Can we build a sustainable power generation system. *Sustainable Power Generation*, 521-538. doi.org/10.1016/B978-0-12-817012-0.00037-2
- Bettanini, E., Gastaldello, A., & Schibuola, L. (2003). Simplified models to simulate part load performances of air conditioning equipments. *Building Simulation*, 107-114.

- Bioenergy Europe. (2018). *Statistical report 2018*.
<https://bioenergyeurope.org/statistical-report-2018/>
- Blum, P., Campillo, G., & Kölbl, T. (2011). Techno-economic and spatial analysis of vertical ground source heat pump systems in Germany. *Energy*, 36(5), 3002–3011. doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.044
- Brandt, A. R. (2008). Converting Oil Shale to Liquid Fuels: Energy Inputs and Greenhouse Gas Emissions of the Shell in Situ Conversion Process. *Environmental Science & Technology*, 42(19), 7489–7495. doi.org/10.1021/es800531f
- Cast-iron solid fuel boiler (2010). *Cerbos*. <https://cerbos.ee/img/cms/katlad/UNI-malmkatlad-paigaldus-kasutusjuhend.pdf>
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. *Official Journal of the European Union*; 2012.
- Economidou, M., Todeschi, V., Bertoldi, P., D'Agostino, D., Zangheri, P., & Castellazzi, L. (2020). Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225, 110322. doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110322
- Edenhofer, R., Lucka, K., Bramlage, G., & Köhne, H. (2003). *Acoustics of Domestic Boilers*. ResearchGate.
- EEA. (2013). Towards a Green Economy in Europe - EU Environmental Policy Targets and Objectives 2010–2050. Loetud aadressilt: <https://www.eea.europa.eu/publications/towards-a-green-economy-in-europe>
- Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. (2008). *Ehitusmaterjalid ja –tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid (EVS- EN ISO 10456:2008)*. EVS. <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-10456-2008>

- Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. (2016). *Hoone piirdetarindi soojusläbivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire* (EVS 908-1:2016). EVS. <https://www.evs.ee/et/evs-908-1-2016>
- Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. (2017). Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid (EVS- EN ISO 6946:2017). EVS. <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-6946-2017>
- Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. (2019). *Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast* (EVS-EN 16798-1). <https://www.evs.ee/et/evs-en-16798-1-2019>
- Elektrituruseadus. (2003). RT I 2003, 25, 153. <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062018071>
- Eltamaly, A. M., & Mohamed, A. M. (2018). Optimal Sizing and Designing of Hybrid Renewable Energy Systems in Smart Grid Applications. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, 231-313. doi.org/10.1016/B978-0-12-813185-5.00011-5
- Energiatõhususe miinimumnõuded, lisa 12905682. (2007). RT I 2007, 72, 445. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12903585/html/lisa/12905682>
- Englert, N. (2004). Fine particles and human health—a review of epidemiological studies. *Toxicology Letters*, 149 (1-3), 235-242. doi.org/10.1016/j.toxlet.2003.12.035
- Euroopa Liidu Teataja, "Euroopa parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2010/31/EL hoonete energiatõhususe kohta.," 2010
- Euroopa Liidu Teataja, "Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv (EL) 2018/844," pp. 75–91, 2018.
- European Parliament. (2009). DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from

renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*.

Field, C., Campbell, J., & Lobell, D. (2008). Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 65–72.

doi.org/10.1016/j.tree.2007.12.001

Gaasikatla eluiga (s.a.). *G-m-i.net*. <https://et.g-m-i.net/5323-gas-boiler-life.html>

Gaasi-kondensatsioonikatlad (s.a.). *Bosch*. [https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o474303v272_Kondensacijas_tipa_gazes_iekartas_EE_\(TT_1903_EE\).pdf](https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o474303v272_Kondensacijas_tipa_gazes_iekartas_EE_(TT_1903_EE).pdf)

Gaasiküte (s.a.). *Ohutugaas*. <http://www.ohutugaas.ee/>

Gaasituru käsiraamat (s.a.). *Elering*. <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat>

Guo, T., Cibir, R., Chaubey, I., Gitau, M., Arnold, J. G., Srinivasan, R., Kiniry, J. R., & Engel, B. A. (2018). Evaluation of bioenergy crop growth and the impacts of bioenergy crops on streamflow, tile drain flow and nutrient losses in an extensively tile-drained watershed using SWAT. *Science of The Total Environment*, 613-614, 724–735. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.148

Dongellini, M., Naldi, C., & Morini, G. L. (2015). Seasonal performance evaluation of electric air-to-water heat pump systems. *Applied Thermal Engineering*, 90, 1072-1081. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.03.026

Hejazi, M.I., Voisin, N., Liu, L., Bramer, L.M., Fortin, D.C., Hathaway, J.E., Huang, M., Kyle, P., Leung, L.R., Li, H.Y., Liu, Y., Patel, P.L., Pulsipher, T.C., Rice, J.S., Tesfa, T.K., Vernon, C.R., & Zhou, Y. (2015). *21st century United States emissions mitigation could increase water stress more than the climate change it is mitigating*. PNAS 112(34), 10635–10640.

Henderson, H., Parker, D., & Huang, Y.J. (2000). Improving DOE-2's RESYS Routine: User Defined Functions to Provide More Accurate Part Load Energy Use and Humidity Predictions. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 113-124.

- Holmgren, S., Pever, M., & Fischer, K. (2019). Constructing low-carbon futures? Competing storylines in the Estonian energy sector's translation of EU energy goals. *Energy Policy*, 135, 111063. doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111063
- Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. (2012). *RT I* 2012, 63, 168. <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001>
- Horne, R., & Li, K. (2015). A Special Issue on Geothermal Energy. *Mathematical Geosciences*, 47, 1-2. doi.org/10.1007/s11004-014-9576-4
- IEA. (2015). World energy outlook 2015. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015.pdf>
- International Energy Agency (2011). Geothermal Heat and Power. *Technology Roadmap*. doi: 10.1787/9789264118485-en
- Isover. (2021). *Mis on nullenergiahoone?* Loetud aadressilt: <https://www.isover.ee/nouanded/mis-nullenergiahoone>
- Johansson, L. S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C., & Potter, A. (2004). Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. *Atmospheric Environment*, 38 (25), 4183-4195. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.04.020
- Jones, W.P. (2001). *Air Conditioning Engineering*. MPG Books.
- Kask, Ü., Muiste, P., & Vares, V (Koost.). (2010). *Puitkütus*. Ecoprint AS. https://www.eramets.ee/static/files/762.Brosyyr_Puitkutus_2010.pdf
- Katel (s.a.). *Cerbos*. <https://cerbos.ee/et/katlad-keskkuttesusteemidele/472-katel-uni-8-53-kw.html>
- Katlad korda kiirelt ja professionaalselt (s.a.). *Eesti gaas*. <https://www.gaas.ee/kodukliendile/gaas-koju/gaasikatla-hooldus/>
- Kork, K. (2014). Maagaasi osatähtsus Eesti majanduses ja meie sõltuvus Venemaa maavarade ekspordist. Bakalaureusetöö. Mehhaanika teaduskond: Tallinna Tehnikaülikool.
- Korrelatsioon (s.a.). *Võõrsõnade leksikon*. <https://www.eki.ee/dict/vsl/index.cgi?Q=korrelatsioon&F=M&C06=en>
- Kraadpäevad. (s.a.). *Kredex*. <https://kredex.ee/et/energiatohusus/tooriistad-energiatohususe-mootmiseks>

- Kristmannsdóttir, H., Ármannsson, H. (2003). Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics*, 32, 451-46.
- Käibemaksumäärad. (2020). *Maksu- ja tolliamet*. <https://www.emta.ee/et/ariklient/tulu-kulu-kaive-kasum/kaibemaksuseaduse-selgitused/kaibemaksumaarad#8.1>
- Küta ainult halupuu puudega (s.a.). *Halupuu*. <http://www.halupuu.ee/kasulik-teada>
- Lake/pond ground source heat pumps (s.a.). *HexEnergy*. <https://hexenergy.co.uk/Ground-Source.Lake~Pond-Heat-Pumps.html>
- Lasek, J. A., Matuszek, K., Hrycko, P., & Piechaczek, M. (2018). Adaptation of hard coal with high sinterability for solid fuel boilers in residential heating systems. *Fuel*, 215, 239-248. doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.020
- Latššov, E. (2016). *Kaugkütte arengud ja primaarenergia tegurid*. <https://www.ekvy.ee/component/framework/event/download/23>
- Lim, K. C., Hashim, H., & Ho, W. S. (2020). Cold Energy Recovery Performance Study for Liquefied Natural Gas (LNG). *Chemical engineering transactions*, 78, 595-600. DOI: 10.3303/CET2078100
- Maaküte-maasoojuspumpadest (s.a.). *Bestair*. <https://www.bestair.ee/kasulikku/soojuspu-mpadest/maasoojuspumpadest>
- Maasoojusenergia (2013). *Eesti Geotermaalenergia Assotsiatsioon*. <http://geothermal.org.ee/>
- Mai-Moulin, T., Hoefnagels, R., Grundmann, P., & Junginger, M. (2021). Effective sustainability criteria for bioenergy: Towards the implementation of the european renewable directive II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110645. doi.org/10.1016/j.rser.2020.110645
- Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. (2019). *Hoonete energiatõhusus*. <https://mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>
- Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S., Vivancos, J.-L. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70-85. doi.org/10.1016/J.RSER.2016.03.018
- Martinopoulos, G., Papakostas, K. T., & Papadopoulos, A. M. (2018). A comparative review of heating systems in EU countries, based on efficiency and fuel cost.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 687–699.
doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.060
- McCalmont, J. P., Hastings, A., McNamara, N. P., Richter, G. M., Robson, P., Donnison, I. S., & Clifton-Brown, J. (2015). Environmental costs and benefits of growing *Miscanthus* for bioenergy in the UK. *GCB Bioenergy*, 9(3), 489–507.
doi.org/10.1111/gcbb.12294
- Mis on püsivad orgaanilised saasteained? (s.a.). *European Chemicals Agency*.
<https://echa.europa.eu/et/understanding-pops>
- Mrabet, Z., Alsamara, M., Saleh, A. S., & Anwar, S. (2019). Urbanization and non-renewable energy demand: A comparison of developed and emerging countries. *Energy*, 170, 832–839. doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.198
- Mufutau Opeyemi, B. (2021). Path to sustainable energy consumption: The possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy. *Energy*, 228, 120519.
doi.org/10.1016/j.energy.2021.120519
- Nishimura, T. (2002). "Heat pumps – status and trends" in Asia and the Pacific. *International Journal of Refrigeration*, 25(4), 405–413.
doi.org/10.1016/S0140-7007(01)00031-7
- Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Lisa 3. Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhusarvu klassi määramine. (2015). *RT I*, 2015, 36. https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/1060/5201/5002/MKM_m36_lisa3.pdf#
- Nõps, K. (2020). Eluhoone renoveerimine liginulleergia hooneks. Magistritöö. Eesti Maaülikool: Metsandus – ja maaehitusinstituut.
- Pelka, G., Luboń, W., & Pachytel. (2020). Analysis of the efficiency of a solid fuel boiler depending on the choice of combusted fuel. *International Conference – Renewable Energy Sources*, 154. doi.org/10.1051/e3sconf/202015402003
- Piirsalu, R. (2019). *Turba kütteväärtuse sõltuvus geneesist ja tehnilistest näitajatest*. Tallinna Tehnikaülikool.
- Piotrowska-Woroniak, J. (2017). The photovoltaic installation application in the public utility building. *Ecological Chemistry and Engineering Society*, 24(4), 517–538.
DOI: 10.1515/eces-2017-0034

- Poláčik, J., Sitek, T., Pospíšil, J., Šnajdárek, L., & Lisý, M. (2021). Emission of fine particles from residential combustion of wood: Comparison of automatic boiler, manual log feed stove and thermo-gravimetric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 279. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123664
- Puhas energia (s.a.). *Eesti gaas*. <https://www.gaas.ee/arikliendile/maagaas/>
- Rommelg, L. (2011). *Taastumatud energiaallikad*. Bioneer.
- Reniers, G., Talarico, L., & Paltrinieri, N. (2016). Chapter 16 - Cost-Benefit Analysis of Safety Measures. *Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry*, 195-205. doi.org/10.1016/B978-0-12-803765-2.00016-0
- RT. (2018). Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014>
- Sharma, G. D., Tiwari, A. K., Erkut, B., & Mundi, H. S. (2021). Exploring the nexus between non-renewable and renewable energy consumptions and economic development: Evidence from panel estimations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111152. doi.org/10.1016/j.rser.2021.111152
- Sharma, U., Karnitis, G., Zuters, J., & Karnitis, E. (2019). District heating networks: enhancement of the efficiency. *Insights into Regional Development*, 1(3), 200–213. doi.org/10.9770/ird.2019.1.3(2)
- Skipka, K. J., & Theodore, L. (2014). *Energy Resources*. CRC Press.
- Soesoo, A. (2011). *Maasoojus ja Eesti*. Sirp.
- Soltani, M., Moradi Kashkooli, F., Sour, M., Rafiei, B., Jabarifar, M., Gharali, K., & Nathwani, J. S. (2021). Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110750. doi.org/10.1016/j.rser.2021.110750
- Soojuspumpade hooldus, paigaldus ja remont (s.a.). *Maaküte*. <https://www.maakyte.ee/soojuspumbad/soojuspumpade-hooldus/>
- Stamford, L., & Azapagic, A. (2014). Life cycle environmental impacts of UK shale gas. *ScienceDirect*, 134, 506-518.

- Szulecki, K., Fischer, S., Gullberg, A. T., & Sartor, O. (2016). Shaping the 'Energy Union': between national positions and governance innovation in EU energy and climate policy. *Climate Policy*, 16(5), 548–567. doi.org/10.1080/14693062.2015.1135100
- Zimmerer, K. S. (2011). New Geographies of Energy: Introduction to the Special Issue. *Annals of the Association of American Geographers*, 101(4), 705–711. doi.org/10.1080/00045608.2011.575318
- Tallinna Tehnikaülikool. (2017). *Liginullenergia eluhooned. Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslabivuse arvutus*. Tallinn. https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Piirdetarindite_liitekohtade_joonsoojuslabivuse_arvutus.pdf
- Tamm, I., & Metsur, M. (2012). *Geotermilise energia kasutamise võimalused Tartus*. AS Maves.
- Tarbevee paisupaagid - õige paak, muretum elu (2019). *Dahl*. <https://dahl.ee/uudised/tarbevee-paisupaagid-oige-paak-muretum-elu/>
- Tark, T. (s.a.). *Madalaenergia- ja liginullenergiaeramu juhendist*. Hevac. <https://www.ekvy.ee/attachments/article/17/X%20mld%20Tark%2029%2002%2012.pdf>
- Tartu Regiooni Energiaagentuur (2013). *Biomassi kasutamine energeetikas Lõuna-Eesti regioonis*. TREA.
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources, 3rd Edition*. Routledge.
- Vainola, A. (2015). *Põlevkivi kaevandamise arenguväljavaated*. Enefit.
- Valgepea, M., Rudsar, M., Sims, A., Timmusk, T., Pärt, E., Suursild, E., & Matson, T. (2019). *Mets*. Keskkonnaagentuur.
- Vekony, A. T. (2021). *Ground Source Heat Pump Borehole*. Greenmatch.
- Vekony, A. T. (2021). *Ground Source Heat Pump Installation*. Greenmatch.
- Virkus, K. (2014). *Kivisöe ja põlevkivi koospõletamise tuha analüüs*. Tallinna Tehnikaülikool.

- Väikeelamute uued energiatõhususe nõuded. (2019). Keskkonnatehnika. <https://keskkonnatehnika.ee/vaikeelamute-energiatohususe-nouded/>
- Õhksoojuspumba elektrikulu. (s.a.). *Kliimaseade*. <https://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/soojuspumbad/ohksoojuspumba-elektrikulu/>
- Õhk-vesi soojuspumba hooldus (s.a.). *Green Spirit*. <https://www.greenspirit.ee/ohkvesi-soojuspumba-hooldus>
- Õhk-vesi soojuspumba hooldus (s.a.). *Kodukliima*. https://www.kodukliima.ee/ohkvesi-soojuspumba_hooldus/
- Õhk-vesi soojuspump (s.a.). *Maasoojuspump*. <http://www.maasoojuspump.com/ohk-vesi-soojuspump/>
- Wang, Z., Yang, H., & Huang, H. (2014). Performance and defrosting effect study on the air-to-water heat pump with heat storage device. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(2), 144-149. doi.org/10.1093/ijlct/ctu020
2018. aasta ilma ülevaade (2019). *Riigi ilmteenistus*. <https://www.ilmateenistus.ee/2019/01/2018-aasta-ilma-ulevaade/>
2019. aasta ilma ülevaade (2020). *Riigi ilmteenistus*. <https://www.ilmateenistus.ee/2020/01/2019-aasta-ilma-ulevaade/>
2020. aasta ilma ülevaade (2021). *Riigi ilmteenistus*. <https://www.ilmateenistus.ee/2021/01/2020-aasta-ilmaulevaade/>
- 7 fakti: maaküte (s.a.). *Maaküte.info*. <https://www.maaküte.info/artiklid/7fakti/>

LISAD

Lisa 1 Eramu õhk-soojuspump AlpicAir



Lisa 2 Päring hinnapakumisele

“Soovin hinnapakumist:

- 1) maakütte pumbale - maasoojuspumbasüsteemi täislahendus (soojuspump, soojussõlm, maakollektor, paigaldustööd, kaevetööd).
- 2) õhk-vesi täislahendusele
- 3) gaasikatla täislahendusele (katel, moodulkorsten praegusesse korstnasse, boiler) - liitumine tehtud, trass majani toodud.

Objekt: Kõrveküla, Tartu vald.
Üksikelamu, puitkarkassil silikaatvoodriga, välisvooder algupärane aastast 1969, ca 140m² köetavat pinda, 2 korruseline, praegune lahendus keskküte puidul, malmradiaatorid. Radiaatorid jäävad alles. Soe vesi elektriboilerist. Kruunt 3400m². Võimalik kontuuriala märgitud manuses oleval pildil.

Pakkumine võib olla hinnanguline ning arvestatava lisanduvaga.”

Lisa 3 Hinnapakumised

Nimetus	Kogus	Ühik	Hind	Summa	KM%
Maasoojuspump Nibe F1255-6(8) Inverter 1,5- 6(8)kW veeboileriga 180L	1	Tk	6 320,00	6 320,00	20
Akumulatsioonipaak BU100 küttesüsteemile 100L koos paigaldusega	1	Tk	340,00	340,00	20
Maakontuuri PE40*2,4mm koos paigalduse ja kaevetöödega	550	m	2,75	1 512,50	20
Avade puurimine	160	cm	1,43	228,80	20
Maakontuuri täitmine külmumiskindla vedelikuga	550	m	0,71	390,50	20
Soojuspumba ühendamine kahe maaringiga (samas ruumis, torustiku pikkus max 2m)	1	Kmpl.	429,00	429,00	20
Soojuspumba ühendamine olemasoleva küttesüsteemiga (kütteotsad peavad asuma soojuspumbaga samas ruumis, ei sisalda olemasolevate seadmete demonteerimist)	1	Kmpl.	565,00	565,00	20
Paisupaak tarbeveele 12L koos paigaldusega	1	Kmpl.	50,00	50,00	20
Veeboileri ühendamine ilma tsirkulatsioonipumbata tarbeveesüsteemiga (ühe magistraalharu otsad peavad olema lõpetatud kuulkraanidega ja asuma soojuspumbaga samas ruumis)	1	Kmpl.	230,00	230,00	20
Soojuspumba ühendamine toite- ja andurikaablitega (ei sisalda kaabeldust)	1	Kmpl.	71,00	71,00	20
Soojuspumba häälestamine, koolitus, dokumentatsioon	1	Kmpl.	95,00	95,00	20
Allahindlus	-1	TK	701,63	-701,63	20

Pakkumise koostas:	KM%	Neto	KM	Kokku
E-mail:	20%	9 530,17	1 906,03	11 436,20
		9 530,17	1 906,03	11 436,20
		Tasuda (EUR):		11 436,20

Joonis 1. Hinnapakumine maasoojuspumbale

Nimetus	Kogus	Ühik	Hind	Summa	KM%
Õhk-vesisoojuspump Mitsubishi Electric ZUBADN välisosa PUD-SHWM 100 YAA	1	Tk	3 200,00	3 200,00	20
Õhk-vesisoojuspump Mitsubishi Electric ECODAN siseosa EHST20D-YM9D koos 200L tarbeveebolleriga	1	Tk	3 420,00	3 420,00	20
Akumulatsioonipaak BU100 küttesüsteemile 100L koos paigaldusega	1	Tk	340,00	340,00	20
Soojuspumba paigaldus alusraamile (ei sisalda betoonplaati)	1	Kmpl.	159,00	159,00	20
Soojuspumba ühendamine välisseadmega (torustiku pikkus max 5m) koos avade puurimisega. Välisseina paksus max 400mm	1	Kmpl.	478,00	478,00	20
Soojuspumba ühendamine radiaatorküttesüsteemiga (otsad peavad olema lõpetatud kuulkraanidega ja asuma soojuspumbaga samas ruumis max 2m raadiuses)	1	Kmpl.	357,00	357,00	20
Paisupaak tarbeveele 12L koos paigaldusega	1	Kmpl.	50,00	50,00	20
Veeboileri ühendamine ilma tsirkulatsioonipumbata tarbeveesüsteemiga (ühe magistraalharu otsad peavad olema lõpetatud kuulkraanidega ja asuma soojuspumbaga samas ruumis)	1	Kmpl.	230,00	230,00	20
Soojuspumba ühendamine toite- ja andurikaablitega (ei sisalda kaabeldust)	1	Kmpl.	71,00	71,00	20
Soojuspumba häälestamine, koolitus, dokumentatsioon	1	Kmpl.	95,00	95,00	20
Allahindlus	-1	TK	300,00	-300,00	20

Pakkumise koostas:	KM%	Neto	KM	Kokku
E-mail:	20%	8 100,00	1 620,00	9 720,00
		8 100,00	1 620,00	9 720,00
			Tasuda (EUR):	9 720,00

Joonis 2. Hinnapakkumine õhk-vesi soojuspumbale

Pakkumine sisaldab: Gaasikatel ja selle paigalduseks vajalikud tarvikud, transport ja tööraha

Pakkumine ei sisalda: Üldehitus- ja viimistlustöid, korsta augu puurimist, projekti koos koostööstusega

Teenus/ toode	Kogus	Ühiku hind (€)	Ühik	Allahindlus (%)	Summa (EUR)
Katel Buderus 24kw, korstna komplekt, väliandur, abitarvikud	1	1500	kmpl	10	1350,00
Gaasi- ja keevitustööd	1	196,38	tk/töö		196,38
Küttetorustik ja selle juurde kuuluv armatuur	1	442	kmpl		442,00
Tarbeveetorustik ja selle juurde kuuluv armatuur	1	137	kmpl		137,00
Boiler Buderus 120L	1	640	kmpl	10	576,00
Transport	20	0,5	km		10,00
Tööraha	1	1000	tk/töö		1000,00

Elektritööde vajadus selgitatakse välja tööde käigus, kui siiski on tarvidus siis hind ca. 100 €. Pakkumisele lisandub ka korsta augu puurimine **teise ettevõtte** poolt. Hind ca. 120 €.

Joonis 3. Hinnapakumine gaasipaigaldisele