



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu Kolledž

ELAMU KÜTTELAHENDUSE ÜLEVIIMINE TAASTUVENERGIALE

RENEWABLE ENERGY OPTIONS FOR RESIDENTIAL HEATING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Getter Grossthal

Üliõpilaskood 183051NAEM

Juhendaja: Lektor Jane Raamets

Tartu 2020

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.

“22” mai 2020.

Autor: Getter Grossthal

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“22” mai 2020.

Juhendaja: Jane Raamets

/ allkirjastatud digitaalselt/

Kaitsmisele lubatud

“22” mai 2020 .

Kaitsmiskomisjoni esimees Annely Kuu

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Getter Grossthal (sünnikuupäev: 08.11.1992.)

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

Elamu küttelehendamise üleviimine taastuenergiale,

mille juhendaja on Jane Raamets,

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

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

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

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

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

allkirjastatud digitaalselt

22. mai 2020

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Getter Grossthal, 183051NAEM
Õppekava, peeriala: NAEM06/18 - Tööstusökoloogia
Juhendaja: lektor Jane Raamets, +372 55 61 33 44

Lõputöö teema:

Elamu kütelahenduse üleviimine taastuenergiale

Renewable Energy options for Residential Heating

Lõputöö põhieesmärk:

1. Leida Elva tn 36, Tartu eramule majanduslikult sobivaim taastuenergia kütelahendus

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö sisu paikapanek, esimese kirjandusega tutvumine	31.01.20
2.	Alginfo kogumine, hinnapakkumiste küsimine	20.02.20
3.	Põhikirjandusega tutvumine	14.03.20
4.	Kirjanduse ja informatsiooni analüüs ning lõpptulemuste vormistamine	30.04.20

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "22" mai 2020.a

Üliõpilane: Getter Grossthal allkirjastatud digitaalselt "22" mai 2020 a

Juhendaja: Jane Raamets allkirjastatud digitaalselt "22" mai 2020 a

Programmijuht: Annely Kuu allkirjastatud digitaalselt "22" mai 2020 a

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
Mõisted.....	7
SISSEJUHATUS	8
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	11
1.1 Energiaallikad	11
1.2 Maagaas.....	11
1.3 Pellet	13
1.4 Geotermaalenergia	15
2 METOODIKA JA MATERJAL	23
2.1 Metoodika.....	23
2.2 Materjal.....	24
2.2.1 Elva tn 36 (Tartu linn) eramu ja selle energiavarustus.....	24
2.2.2 Energiatarbimine	24
2.2.3 Hinnapakkumised.....	26
3 TULEMUSED JA ARUTELU	28
3.1 Energiatarbimine ja energiakulud	28
3.2 Maasoojuspumba, pelletiahju ja gaasikatla tootlikkus, eluiga.	32
3.3 Keskkonnaaspekt	37
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY	42
KASUTATUD KIRJANDUS	45
LISAD.....	51

EESSÕNA

Antud lõputöö idee käis välja töö autor, kuna autoril oli pikka aega olnud soov vahetada oma kodus olev gaasikatel välja. Töö eesmärk on võrrelda erinevaid soojuslahendusi, mis sobiksid autori eramule ning mille paigaldamine majja oleks hiljem ka majanduslikult ja keskkonnaaspektist vaadelduna kõige kasulikum. Töö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledžis ning antud töös kasutatavad algandmed pärinevad autorilt.

Majandusliku tasuvuse jaoks on küsitud erinevatelt ettevõtetelt hinnapakkumisi ning maasoojuspumba ehitustingimuste jaoks saadi vajaminev info riigihankest nr 131658.

Töö autor on väga tänulik kõikidele osapooltele, kes aitasid kaasa antud lõputöö valmimisele. Samuti on autorit tänulik kõikidele firmadele, kes leidsid aega ja tegid omapoolsed hinnapakkumised, kuigi töö on algselt ainult hüpoteetiline.

Märksõnad: geotermaalenergia, maagaas, pellet, taastuvenergia, soojus lahendused, taastuvad energiaallikad

Mõisted

betaiin – suhkrupeedis ja mitmes teises taimes sisalduv kristalne ja värvusetu olev orgaaniline aine. (Võõrsõnade leksikon, n.d.)

biomass – tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev fraktsioon, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev eraldatav osa, metsatööstusest jms sellega seonduvast tootmisest tulenev fraktsioon, kalandusest ja vesiviljelusest pärinev bioloogiline osa ning põllumajandusest taimsed ja loomsed ained. (Energiatalgud, 2015)

kaaliumformiaat – biolagunevad ja loodusele mitte kahjulikud sipelghappe soolad, mida kasutatakse jää ja libeduse tõrjumiseks kui ka jäätumisvastase ainaena (Värav, 2010)

propüleenglükool – dioolide hulka kuuluv keemiline aine, mida kasutatakse tehnika kaitsmisel jäätumise eest ning toiduainetööstustes niiskusesäilitajana (Võõrsõnade leksikon, n.d.)

põhjaveekiht - maa-alune või alused kivimikihid või teised geoloogilised kihid, mis on vett läbilaskvad ning tänu sellele saab põhjavesi sealt läbi voolata ning sealt on võimalik ka põhjavett võtta (Tamm, Metsur, 2012)

reostus – ehk saastus on inimese poolt põhjustatud kaudne või otsene müra, ainete, vibratsiooni vms väljutamine pinnasesse, õhku, põhjavette või vette, nii et see ohustab keskkonda või inimese tervist. Reostus võib häirida floorat ja faunat, kui ka tekitada rahalist kahju. Olemas on nii keemilisi, bioloogilisi kui ka füüsikalisi reostajaid. (Võõrsõnade leksikon, n.d.)

veereostus – veekogusse või põhjavette suurel kogusel saastunud vee jõudmine. Tavaliselt on see juhtunud inimtegevuse tagajärjel. Vesi on reostunud, kui seda pole võimalik mõneks muuks otstarbeks kasutada. (Tamm, Metsur, 2012)

SISSEJUHATUS

Esimeseks tehnilikuks energiamuundamiseks saab pidada tulehõõrumist, kus mehaaniline energia muundati soojuseks. Suur osa meie energiast on pärit fossiilsetest kütustest. Need on varud, mis on aegade jooksul maapõue salvestatud, kuid lähemas või kaugemas tulevikus saavad need lõpuks otsa. (Jaup, 2019) Tanning on kirjutanud, et järgmistele põlvkondadele peab andma looduse, keskkonna ja Maa edasi selliselt, nagu see oli esivanematelt saades – rikkumata ja puhtalt. Aina kasvav inimeste arv Maal ning suur tarbimise üleküllus ei aita aga sellele kaasa. (Tanning, 2010)

Võrreldes 18. sajandi lõppu ja 21. sajandit, on selle ajaga jõudnud Maa temperatuur tõusta praktiliselt 1 °C. (Oidermaa, 2019) Selle põhjuseks on eelkõige inimeste arvu kiire kasv – 2020. aasta jaanuarikuu seisuga 7,76 miljardit ning see arv kasvab iga päevaga. (Current World Population, 2020) Lihtsast arutluskäigust selgub, et mida rohkem on inimesi, seda rohkem on vaja energiat, sest rahvastikul on tarvis toitu, elukohta ja erinevaid tooteid ja teenuseid, mille kogu tarbimist mõjutab inimese finantsiline võimekus. Mida rohkem on inimestel raha, seda rohkem vahendeid ja teenuseid on neil ka võimalik tarbida. Kuna tarbimine Maal aina kasvab, tõuseb ka energiatarve ning sellel on drastiline mõju meie elukeskkonnale, kliimale ja loodusele. (Oidermaa, 2019) Tarbimist mõjutab suurel määral meedia, mis suunab nii inimeste käitumist kui ka tarbimisharjumusi. Vaadates 2020. aastal koroonaviiruse epideemiat, on hästi näha, kuidas meedia suudab inimesi panna käituma teisiti ja tarbima tooteid, mida tegelikkuses sellises koguses tarvis pole. (Pütter, 2017)

11. detsembril 1997. aastal võeti Jaapanis Kyotos vastu Kyoto protokoll, millega määrati kliimaeesmärgid, nende seas kasvuhooonegaaside vähendamine võrreldes 1990. aastaga, keskkonnasäästlikumate projektide rajamine ja nende innustamine ja ühtne süsteem heitmete jälgimiseks ja vähendamiseks. Euroopa Liit on samuti omalt poolt panustanud, seades eesmärgiks vähendada 2020. aastaks kasvuhooonegaase 20% võrra ning pannud piirangud paika 2050. aastani. (Kyoto protokoll, 2017) Võrreldes 1990. aastaga on suudetud kasvuhooonegaaside heitekoguseid vähendada. 2018. aastal oli kasvuhooonegaaside hulk vähenenud 23% ning seatud on uus eesmärk aastaks 2050, muuta Euroopa Liit CO₂ neutraalseks. (Euroopa Parlament, 2020)

140 aasta vältel, millal on korrapäraselt tehtud temperatuuri mõõtmisi, on 2019. aasta olnud üks soojematest. Keskmine temperatuuri tõus oli 0.95 °C. Samuti on olnud temperatuuri langemisi: 2019. aastal langes Maa keskmine temperatuur 0.07 °C, mis

tõi paljudes kohtades kaasa uued külmarekordid. Nimelt mõõdeti 27. jaanuaril, 2019 Kanadas Ontario regioonis temperatuuri $-47.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mis ületas 1957. aastal mõõdetud rekordid ($-38.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) $-8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ võrra. (Global Climate Report for 2019, 2020)

Väga oluline on selliste suurte muutuste juures vaadata alternatiivide poole ja kasutada rohkem jätkusuutlikumaid energialahendusi ja -allikaid, mis taas-tekivad ja uuenevad inimese elu jooksul. Nende hulka kuuluvad päikese-, tuule, hüdro-, geotermaalenergia ning biomassi energia. Taastuvate energiaallikate kasutamise juures tuleb jälgida, et allikate varud ei ületaks kasutamisisiivsust, sest muidu pole võimalik tagada piisavat juurdekasvu. (Taastuenergia aastaraamat, 2018)

Antud magistritöö eesmärk on võrrelda kolme erinevat küttelehendust Tartu linnas Elva tn 36 asuva eramu kütmiseks ja valida neist välja keskkonnasäästlikum ning majanduslikult sobivaim lahendus. Valiku tegemisel võetakse arvesse eramu asukohta, hoone kütmisspinda, krundi suurust, kütтелиigi kättesaadavust, kütteseadmete eluiga ja soetusmaksumust, küttele- ja halduskulusid ning maksumust eluea kohta ehk materiaalsed kulu pikas perspektiivis. Samuti tuleb arvestada keskkonnaaspektiga - hinnata kütтелиigi üldist keskkonnasõbralikkust. Magistritöös saadud tulemusi võetakse tegelikkuses arvesse: kui tööga selgub, et praegu eramus kasutatav maagaas ei ole siiski kõige mõistlikum küttelehendus, plaanitakse eramule hiljem töö tulemuste alusel selgunud sobivaim lahendus rakendada.

Suured muutused maailma paremaks muutmisel algavad väikestest muutustest, mida igaüks saab ise teha. Võimalusel võiks eelistada fossiilsetele kütustele alternatiive ning kasutada majapidamistes rohkem rohelist energiat. Magistritöös ei käsitleta päikese-, hüdro- ja merelaineenergiat võimalike energiaallikatena, kuna Tartu asub merest kaugel, hüdroelektrijaama ehitamine pole linna asukohta ja kättesaadavaid ressursse arvestades realistlik ning päikesepaneelide kasutamine ei võimaldaks ära katta kogu eramu energiatarbimist. Paneelide tõhusa kasutamise vastu räägivad naabruses kõrguv telemast, mis varjab valgust, ning lähedal kasvavad tamme- ja pärnapuud, mistõttu tuleks paneele pidevalt puhastada.

Töö autor on püstitanud töö eesmärgist lähtuvalt ka neli hüpoteesi:

1. Sobivaim soojusenergia lahendus, arvestades maja soojusvajadust ja krundi suurust, on geotermaalenergia.
2. Sobivaim maaküttele asukoht on muruplats.

3. Soodsaim küttelahendus on maagaas.
4. Kõige keskkonnasõbralikum soojusenergia lahendus on geotermaalenergia.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Energiaallikad

Energiaallikaid saab liigitada taastumatuteks ja taastuvateks ning need on primaarsed energiaallikad ehk teisisõnu neid saame me otse loodusest. Ülejäänud energiaallikad, nagu akud ning patareid, on saadud esmaste allikate muundamise teel. (Taastuenergia aastaraamat, 2018)

Taastuvad energiaallikad, nagu hüdro-, laine-, tõusu-mõõna, päikese-, tuule- ja maasoojusenergia, on energiakandjad, mida on võimalik saada loodusest või looduslike protsesside kaudu ja nende kasutamisel need ei ammendu. Taastuvaks energiaallikaks loetakse ka biokütuseid, nagu biomass (puit, puusüsi, õled, hein), biogaas, biodiisell, bioetanool, kuid seda eeldusel, et ressursse kasutatakse vähem, kui juurde jõuab tekkida. Põletamise käigus vabaneb biomassi kasvamiseks tarvis olnud süsihappegaas, mida on vaja fotosünteesiks taimede kasvamisel. Biokütuste puhul toimub taastumine ainerings käigus. (Tanning, 2010) Samuti on olemas taastumatud fossiilsed energiaallikad (põlevkivi, kivisüsi, maagaas, nafta, tuumkütused); mille kogus kasutamisel väheneb ning juurde neid enam ei teki. Fossiilsete kütuste põletamisel paisatakse atmosfääri ka erinevaid süsiniku-, lämmastiku-, väävl- ühendeid sisaldavaid heitmeid, mis aitavad kaasa kliimamuutusele. (Ritchie, Roser, 2017)

Fossiilsete kütuste varud ammenduvad ja inimesed peaksid rohkem mõtlema taastuvate energiaallikate kasutamisele. Nende kasutamine on mõistlik, kuna taastumatud energiaallikad ammenduvad ning ühtlasi aitab taastuvate energiaallikate kasutamine vähendada keskkonnasaastet ning tagada energeetika säästeva arengu. (Taastuenergia aastaraamat, 2018)

1.2 Maagaas

Maagaas ehk looduslik gaas on fossiilne kütus, mida leidub maakoore tühimikes ja poorsetes kihtides (Viswanathan, 2017). Naturaalgaasi koostisest moodustab enamiku metaan (Zhang jt., 2020), kuid koostises leidub vastavalt päritolule ka lämmastikku, süsinikdioksiidi, vesiniksulfiidi, vesinikku jm (Dabrowski jt., 2019). Maagaas esineb sageli naftal, gaasikondensaadil, söel ja teistel tahketel kütustel absorbeerununa.

Osaliselt lahustub maagaas ka põhjavees, naftas ja pinnases. Naturaalgaasi tekib samuti prügimägedel, märgaladel ja teistes hapnikuvaestes tingimustes, kui orgaaniline aine ei saa täielikult laguneda (Hoo jt., 2018). Naftamaardlates põletatakse eralduv maagaas, olgugi, et seda oleks võimalik kasutada mul eesmärgil. Maagaasi peetakse ka lahenduseks, mis võimaldab üle minna taastumatute ressursside kasutamisel taastuvale energiale, sest lisaks Maa seest hangitavale maagaasile on seda võimalik toota ka sünteetiliselt (Gillesen jt., 2019)(Speight, 2018; Ritchie, Roser, 2017) Maagaasi kasutatakse soojus- ja elektrienergia tootmiseks, mis moodustab ligi 25% kogu gaasitarbimisest. Ülejäänud jaguneb keemiatööstuse, kütusena mootorsõidukeis, lokaalsete kütteseadmete ja erinevate toodete valmistamise vahel. (U.S. Energy Information Administration, 2019). 80% maailma gaasivarudest paiknevad kümnes riigis. Esikohal on Venemaa, kellele kuulub ¼ maailma gaasireservuaaridest. Venemaale järgnevad Iraan, Katar ja Türkmenistan. (Esen, Oral, 2016; Hydrocarbons technology 2020)

Gaasi tarbimine on aastatega aina kasvanud, tänu millele on kasvanud ka gaasitööstus ning sellega seoses on suurimad gaasimüüjad suures kasumis. Venemaal olev naturaalgaasi tootja Gazprom annab vajamineva gaasi 68%-le maailmast. (Energy central, 2019; Roussey, 2019) Ettevõtte omab maailma suurimat gaasi ülekannet: torude võrgustikku, mille kogupikkus on 172 600 kilomeetrit. Gazprom müüb poole oma toodangust Venemaa klientidele ning ülejäänud läheb ekspordiks. Gazprom on Euroopa ja Türgi suurim gaasiga varustaja. Üle 30 riigi saab gaasi Venemaalt ning selle tarnijaks on Gazprom. (Gazprom, 2020),

Maagaasil on kõrge kütteväärtus ja madal süsinikusisaldus. See on põhjus, miks maagaas on tähtis alternatiivkütus kivisöele ja naftale (Gillesen jt., 2019). Maagaas koosneb põhiliselt metaanist (Zhang jt., 2020) ning on tänu sellele keskkonnasõbralik energiaallikas, sest aitab vähendada ülemaailmset süsinikdioksiidi emissiooni kui ka vähendada õhureostust. Põletades maagaasi, ei teki eraldi peenosakesi, nagu tahm ja suits, mis tekivad õli ja puidu põletamisel. Maagaasi põletamisel ei teki vääveloksiidi (SO_x), mis kokkupuutel veega tekitab happelihmasid. Väheneb ka lämmastikoksiidi (NO_x) tekkimine keskkonda, mis põhjustab sudu tekkimist ning soodustab erinevaid haigusseisundite arenemist (astma, südame- ja kopsuhaigused) (Cox, 2018). Maagaasi transporditakse harilikult läbi terastorude, mis omakorda vähendab veokoormust raud- ja autoteedele. Samuti vähendab see ka müra ja heitegaaside hulka. (Eesti Gaas, 2020.; Speight, 2018)

1.3 Pellet

Biomass on Euroopa Liidus peamine lähteaine bioenergia tootmiseks (EÜ, 2019). Kõige enam tarvitatakse bioenergiat elamute kütteks (EPC, 2018a). Viimastel aastakümnetel on traditsioonilised biomassi lahendused elamute kütmiseks asendatud tõhusamate puidugraanuleid kütusena kasutavate ahjude ja kateldega (EPC, 2018b), mis toob kaasa kasvava nõudluse puidugraanulite järgi (EPC, 2019). 2016. aastal oli Euroopa Liit maailmas kõige suurem puidugraanulite tootja tootes 48% kogu puidugraanulite toodangust (EPC, 2017).

Pelletid ehk saepurugraanulid on 6 ja 8 mm läbimõõduga silindrikujulised pulgad. Nende tootmiseks kasutatakse puidutööstuses tekkivat ja ülejäävat saepuru, hõovellaastu kui ka puitu palgi näol. Puidutööstusest alles jääv materjal jahvatatakse ning pressitakse suure jõu rakendamisel pelletiks. (Trubetskaya jt., 2017) Puidupellet on keskkonnasõbralik kütus ja seda loetakse ka ainsaks kodumaiseks taastuvenergia hulka kuuluvaks katlakütuseks. Graanuli põletamist loetakse CO₂ neutraalseks, sest graanuli põletamisel tekib võrdväärne kogus CO₂, kui metsa oma kasvamise eluajal suutis siduda. Samuti jääks CO₂ kogus samaks, kui metsa ei võetaks maha, vaid jäetaks lihtsalt lagunema. (Kask jt., 2014; Graanul Invest, 2020) Leidub ka uuringuid, kus tuuakse välja, et alati ei ole CO₂ koguse sidumine võrdne, sest erinevas vanuseastmes puud on suutnud CO₂ siduda erinevas koguses. (Schlesinger, 2018)

Graanuleid hakati tootma, sest leiti mõistlik viis, kuidas ära kasutada puidutööstuses tekkivaid jääke (Trømborg jt., 2013). Saepuru polnud majanduslikult mõttekas ära põletada, sest saepuru on mahult suur ja kaalult kerge, mistõttu on selle transport kallis (Dahlquist, 2013). Samuti on ka pelletite massi ning mahu suhe efektiivne - 7 m³ saepurust saab pressida 1 m³ pelleteid, mille kaal on umbes 650 kg. Sellest kogusest saab keskmise suurusega elumaja (120 m²) sooja umbes ½ kuud. (Keskkonnatehnika, 2019)

Pelleteid liigitatakse klassidesse. Eristatakse Premium klassi pelleteid ja tööstuspelleteid. Premium klassi kuuluvaid pelleteid valmistatakse kvaliteetsest ja puhtast toormest, mis omakorda loob tingimused selleks, et graanuli purusus on väike, kuid kütteväärtus on samas suur (≥ 4,8 kWh/kg; nt kasel on kütteväärtus 1700 kWh/rm kohta) mistõttu tekib põletis vähe tuhka. See on ka põhjus, miks kodumajapidamistes kasutavad kaminad ja katlad on suutelised põletama ainult Premium pelletit, sest see ei

koorma põletit ning väldib ka ummistuste teket, mis põhjustab rikkeid ja lühendab katla eluiga. Premium pelletit kasutatakse peamiselt ainult kodumajapidamistes ja väiksematel objektidel, kus on vajalik, et kasutataks kvaliteetset kütust. Samuti on selle graanuli hind võrreldes tööstuspelletiga kõrgem. (Kapp, 2018; Pelletküte AS, 2019)

Tööstuspelletit valmistatakse vähem kvaliteetsest saepurust, laastust, puukoorest, koorimata segapuust ning see sisaldab erinevaid peenikesi purustamata osakesi. Värvuselt on seda tüüpi pellet tavaliselt, hallikas või pruunikas ning kui Premium pelletil on naturaalne okaspuu/saepuru lõhn, siis tööstuspelleti juures on tunda ka muid lõhnu peale puidulõhna. Tänu oma koostisele on selle pelleti kütteväärtus madalam ($\geq 4,6$ kWh/kg), ning sobib kasutamiseks ainult suurtele soojusootjatele, kellel on suured katlamajad ja elektriijaamad nagu näiteks asulates ja tööstustes olevad katlamajad. (Kapp, 2018)

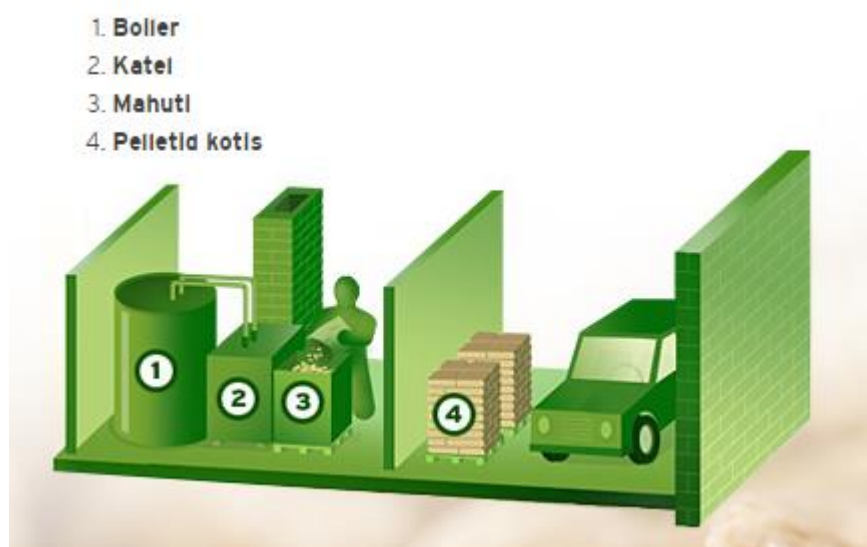
Puitu loetakse pelleti pealmiseks toormaterjaliks ja see on ka põhjuseks, miks loetakse pelletit keskkonnasõbralikuks materjaliks. Puit on taastuv ressurss, mis seob atmosfääris olevat CO₂. Samuti puudub risk keskkonnale graanuli varundamisel ja ladustamisel, kuna graanulit pressitakse puidust, siis püsib see koos puidus oleva ligniini näol ning sinna pole lisaaineid juurde vaja panna. Kui graanul peaks jääma loodusesse, siis aja möödudes laguneb see tavaliseks saepuruks ja edasise lagunemisprotsessi tulemusena muutub mullaks. (Kapp, 2018; Graanul Invest, 2020)

Maailmas toodetakse aastas kuskil 35–40 miljonit tonni puidupelletteid. Suurimateks kasutajateks on eramajapidamised, omavalitsuste katlamajad, elektriijaamad. Pelletit on võimalik kasutada kõikjal, kus on vaja toota soojust. Eesti on suurim pelletitootja maailmas, ühe elaniku kohta aastas toodetakse 400 000 tonni pelletit. Arvestuslikult tarbib keskmine eramaja aastas 5-6 tonni pelletteid. Kui võtta arvesse kogu toodang, mida Eestis toodetakse, siis oleks aastase kogutoodanguga võimalik rahuldada 80 000 majapidamise aastane küttevajadus. (Keskkonnatehnika, 2019) Eesti suurimateks pelleti tootjateks on AS Graanul Invest, AS Palmako ja AS Tartu Graanul.

Eramu pelletikatel on sarnane õlikatlagaga. Erinevus seisneb põletis ja mahutis, kus tigukonveier viib graanulid põletisse. Kõige tarbijasõbralikum katlamaja on selline, kus pelletimahuteid on vaja täita ainult paar korda aastas. Sellisel juhul toob pelletid kohale puhurauto, mis puhub graanulid otse mahutisse. Võimalik on graanulit osta ka 15 kg kottidega ning siis pole nii suur mahuti vajalik. Sellisel juhul kaob aga ära mugavus ning

kotte peab tühjendama ise. Kõige tavalisem mahuti majapidamises on 300 l, kuhu mahub paari nädala jagu kütust. (Keskkonnatehnika, 2019)

Joonisel 1.3.1. on näha eramu pelletkütte põhimõtteline skeem. Pelletid tuleb transportida eramusse, seejärel on vaja täita mahuti, kust katel tõmbab automaatselt pelletid sisse ning kütab boileri, mis annab majapidamisse nii küttesoojust kui ka sooja vett.

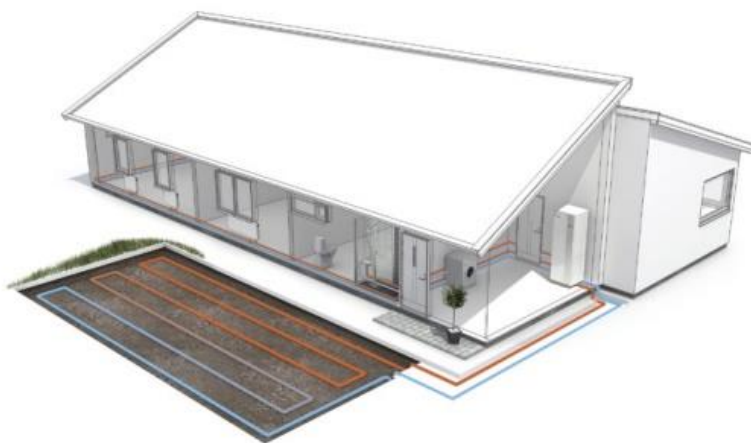


Joonis 1.3.1 Pelletikütte põhimõtteline skeem (Graanul Invest, 2020)

1.4 Geotermaalenergia

Maasoojusenergia ehk geotermiline energia on elektri ja soojuse tootmine maakera tuumast eralduva soojuse abil (Tanning, 2010, Blazquez jt., 2019). Maasoojusenergiat loetakse taastuvaks energiaallikaks, kuna ta suudab taastada oma energia ressursid. Geotermaalenergia on soojusenergia, mis on tekkinud maapõues olevate looduslike radioaktiivsete ainete lagunemisel (Renedo jt., 2007). Radioaktiivsed materjalid purunevad ja selle tagajärjel tekib maakoore suur hulk soojust. Kolme meetri sügavusel on temperatuur aastaringselt ühtlane, jäädes 10 °C ja 16 °C vahele. Minnes sügavamale maapõue, tõuseb ka temperatuur - et iga 100 m kohta on temperatuuritõus umbes 3 °C. (Rosen, Koohi-Fayegh, 2018; Tanning, 2010)

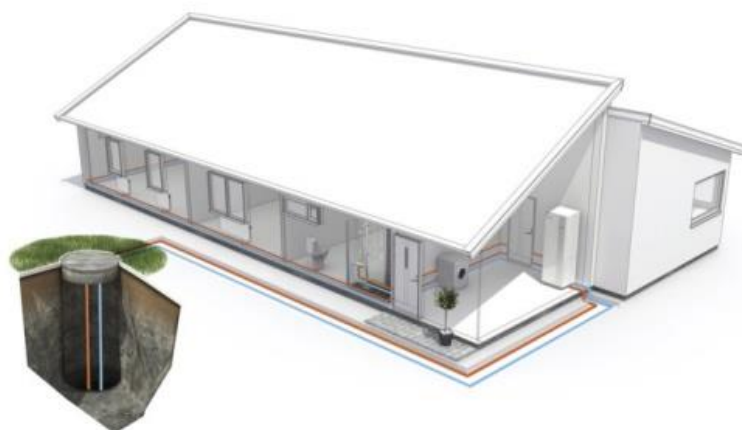
Maasoojusenergia kasutamise puhul on võimalik rakendada erinevaid looduslikke energiaallikaid. Sobivaim valitakse energiavajadusest ja asukohast (Kubba, 2017). Maasoojussüsteeme on ehituslikult kahte tüüpi: kinnised ja avatud süsteemid. Süsteemid on erinevad, pakkudes ainult kütmissüsteemi, kuid on ka sellised, millel on nii kütmis- kui ka jahutusfunktsioon. (Tamm, Metsur, 2012) Geotermaalenergiat on võimalik ammutada neljal erineval viisil: maapinnast (horisontaalne maakollektor (joonis 1.4.1)), soojuspuuraugust ehk energiakaevust (vertikaalne kinnine süsteem, kus kaevatakse puuraugud (joonis 1.4.2 leheküljel 18)), põhjaveest (vertikaalne avatud süsteem puuraukude baasil (joonis 1.4.3 leheküljel 19)) ja veekogudest (pinnavesi või veekollektor (joonis 1.4.4 leheküljel 20)). Üheks populaarseimaks maasoojuse ammutamise viisiks Eestis on horisontaalne maakollektor. (Metsamärt, 2016)



Joonis 1.4.1. Kinnine süsteem, horisontaalne kontuur, horisontaalne maakollektor (Maaküte.info, n.d.)

Suvel maapind soojeneb ning maapinna ülemised kihid salvestavad endasse päikeseenergiat. Samuti salvestab maapind õhu soojusenergiat. Horisontaalse maakollektori pikkus sõltub kätavast pindalast ja soojuspumba võimsusest, et kogu kätav pind soojaks kütta. Tavaliselt on kollektori pikkus 250–1000 m. Reeglina võetakse arvesse, et 1 m² kätava pinna jaoks on tarvis 3 m horisontaalselt paiknevat maakollektorit. 3 m horisontaalse maakollektori jaoks on tarvis 3,6 m² vaba maapinda, kuhu seda paigaldada. Horisontaalset maakollektorit on parem paigaldada niiskemas pinnasesse, kuna seal on soojusjuhtivus parem. Maakollektori puhul paigaldatakse torustik 1–1,2 meetri sügavusele, et vältida torustiku külmumist talveperioodil.

Torustiku peab täitma külmakandjaga (külmumiskindel vedelik), sealt kandub maasoojusenergia edasi soojuspumpa, mis kütab hooned ja toodab sooja tarbevett. Soojus, mis talvel maapinnast võetakse on taastuv, sest järgneval suvel soojus tänu päikesele taastub. Maakollektor ei mõjuta taimi ega nende kasvu, samuti ei mõjuta see ökoloogilisi tingimusi. (Metsamärt, 2016; Maaküte.info, n.d; Cui jt., 2019)



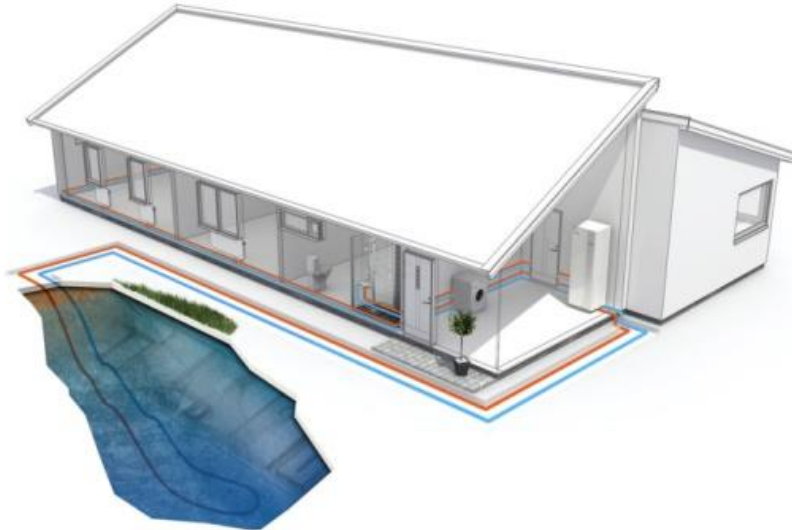
Joonis 1.4.2 Vertikaalne kinnine süsteem, puurauk (Maaküte.info, n.d.)

Lisaks horisontaalsele maaküttekontuurile on võimalik rajada soojuspuurauk, mille kaudu energiat ammutada. Energiakaev või soojuspuurauk on vertikaalselt rajatud puurauk, kuhu paigaldatud torustik ammutab soojust pinnasekihtidest. Kaevust saadav soojus on alla poole liikudes meetri kohta keskmiselt kaks korda suurem, kui soojus, mida on võimalik saada horisontaalse paigaldusega. (Maaküte.info, n.d., Han, Yu, 2016). Energiakaevud on keskmiselt 50–200 m sügavad. Tavaliselt puuritakse eramu energiavajadusest olenevalt üks või kaks puurauku. Soojuspuuraugu puhul kehtib reegel, et ca 1 m puurauku varustab 1 m² eramust. Puuraugu rajamisel peab järgima, et puurauk paikneks majast vähemalt 3 m kaugusel ja puuraugu läbimõõt peab jääma 50–160 mm vahele. Energiakaevu torustikus ringleb külmakindel vesilahus, milleks harilikult on etanool, mis lekkimise korral tekitab osoonireostust. (Metsamärt, 2016; Han, Yu, 2016)



Joonis 1.4.3 Vertikaalne avatud puurkaevusüsteem, põhjavesi (Maaküte.info, n.d.)

Lisaks kahele eeltoodud võimalusele on võimalik maasoojust ammutada ka vertikaalse avatud puurkaevusüsteemi kaudu. Maasoojuspumbaga on ühenduses tavaliselt kaks puurkaevu, mille asukoht üksteisest on 15–20 m kaugusel. Selle süsteemi puhul on tegemist tavaliste puurkaevudega, kus ühest võetakse vett ning teisest suunatakse vesi tagasi. Puurkaevusüsteemis peavad puurkaevud paiknema ühel sügavusel ja samas veekihis. Põhjavee temperatuur aastas ei muutu ja Eestis püsib see 6,5–7 °C juures (25–75 m sügavusel). Eestis kasutatakse põhjavee üles toomiseks tavaliselt 10–30 m sügavusi puurauke. Puuraukude tootlikus peab olema võrdeline vajaliku soojustarbimisega. (Metsamärt, 2016; Molavi, McDaniel, 2016) Põhjavesi pumbatakse puuraugust elamu soojusvahetisse, kus põhjavesi jahutatakse temperatuurini 3–4 °C ja suunatakse tagasi tarbimisse või tagastatakse maa alla. Teise puuraugu kaudu, suunatakse vesi maa alla ning see puurauk peab asuma pinnases oleva vee liikumisest allavoolu, et vältida sama vee korduvat kasutamist. Antud süsteemi negatiivseks küljeks on ebakindlus maapinnas oleva vee hulga ja ringluse suhtes. Puurkaevu kasutamine ei riku põhjavett ega muuda põhjavee taset. Süsteemis kasutatakse ainult plastikust ja roostevabast terasest osi. (Maaküte.info, n.d., Molavi, McDaniel, 2016)



Joonis 1.4.4 Veekogu pinnavesi ja veekollektor (Maaküte.info, n.d.)

Veekogude lähedal on võimalik soojuspumbaga veekogu põhjast ammutada kütmiseks vajalikku soojusenergiat, kuid see ei ole Eestis väga levinud variant. Veekogu põhja pannakse plastiktorud, mis saavad sealt soojusenergiat. Pinnavee puhul mõeldakse veekogusid nagu järved, meri ja jõed. Jõed ja järved on head soojusallikad, kuid neil mõlemal on ka negatiivsed küljed. Üheks oluliseks puuduseks on veekogu temperatuur. Suvel on pinnakihi temperatuur kõrgem ja põhjakihi madalam, kuid talvel on see vastupidi. Merevett kasutatakse suuremate soojuspumpade puhul. Merevee temperatuur on püsivalt 5–8 °C, sest soojuspump paigaldatakse 25–50 m sügavusele. Sellise süsteemi puhul tuleb kindlasti jälgida süsteemi korrosioonikindlust, sest süsteemi võib sattuda prahti. Soojust saab pinnaveest kätte kahte pidi: vett saab pumbata aurutisse, kust see jahtunult pumbatakse tagasi veekogusse, või veekogu põhja laotatakse kollektorid. Esimese kasutusviisi puhul kasutatakse vastavalt aastaajale veekogude pinnakihti ja põhjakihti. Teise variandi puhul saab soojuse kogumiseks kasutada kollektoris ringlevat vahesoojuskandjat. (Metsamärt, 2016; Maaküte.info, n.d., Molavi, McDaniel, 2016)

Eestis levinud kinnises soojussüsteemis on tavaliselt kolm ringlevat süsteemi: maakontuur/puurauk, soojuspump ja küttesüsteem. (Jõeleht jt., 2012) Kinnistes soojussüsteemides kasutatakse soojuskandevahendina vesilahuseid, millele lisatakse külmumisvastast ainet. Eestis on selleks tavaliselt denatureeritud etanool (joogikõlbmatuks tehtud), etüleenglükool või propüleenglükool. Lahuse kontsentratsioon on tavaliselt 30%, see viib vesilahuse külmumistemperatuuri -15 °C

juurde. Võimalus on kasutada ka lihtsalt vett, kuid taoline süsteem vajab juba keerukama ehitusega soojuspumpa, mis vähendab ka süsteemi efektiivsust. Kinnises süsteemis on külmaaine soojuspumbas ja on välistatud risk, et külmaaine satuks veekeskkonda. Avatud süsteemi puhul on külmaaine samuti soojuspumbas ja oht veekeskkonda sattumiseks on väike. Nendes süsteemides kasutatavad külmaaineid lenduvad ja rikete korral ohtu ei põhjusta. (Tamm, Metsur, 2012) Eestis on soojussüsteemides kasutusel samad segud, mida kasutatakse jahutusseadmetes. Fluorosüsivesinikud pole ei plahvatusohtlikud ega mürgised. Seetõttu võib neid kasutada ka ruumides, kus on inimesed, ilma et keegi viga võiks saada. (Jõelett jt 2012) Kinnine maasoojussüsteem horisontaalse kontuuriga pole Eestis seadusega reguleeritud ja selle rajamiseks pole piiranguid. Piirangud ja regulatsioonid kehtivad soojuspuuraukudele ja avatud süsteemiga soojussüsteemidele. Puurkaev ja puurauk ei tohi mõjutada põhjavee seisundi muutumist. Samuti ei tohi süsteem negatiivset mõju avaldada veeökosüsteemile ja lähedal olevatele puurkaevudele. Pärast soojuskontuuri paigaldust tuleb kinniste soojussüsteemide puuraugud täita keskkonnale ohutu materjaliga. Puuraugu sulgemisel tuleb soojuskontuurist eemaldada ka soojuskandevedelik. (Tamm, Metsur, 2012) Maapõues oleva soojuse kasutamine ei ole reguleeritud. (Jõelett jt 2012) Põhjavee kvaliteeti võib mõjutada soojuspuuraugu väliskontuuris olnud rike, mistõttu soojuskandevedelik satub otse põhjavette. Seepärast peabki sellise süsteemi puhul väliskontuuri ümbritsema veetihe suletud kiht. Kasutades horisontaalselt kontuuri, on segunemine põhjaveekihtidesse välistatud. (Tamm, Metsur, 2012). Horisontaalse kontuuriga süsteemi rajamine võib kevadel pikendada lume sulamist ja suurveeaega, kuid sellist muutust otseselt mõõta ei saa, kuna lume kogust ja lumesulavee hulka pole võimalik ette ennustada. Samuti avaldab keskkonnale mõju elektrienergia kasutamine, sest seadmed vajavad oma tööks elektrit. (Jaup, 2019)

Tartu linnas sobivad kasutamiseks kinnised horisontaalsed ning vertikaalsed maasoojussüsteemid ja avatud maasoojussüsteemid – nende korral peab jälgima, et kõik tingimused ja nõuded oleksid täidetud. Selleks peab olema puurkaevude rajamise luba ja vee erikasutusluba. Maasoojussüsteemide puhul võib Tartus kasutada ainult keskkonnale ohutuid aineid nendeks võivad olla: etanool, betaiin, propüleenglükool, kaaliumformiaat. Soojuskandevedeliku kohta peab olema ohutuskaart. Tartusse võib rajada maasoojussüsteeme Narva lademe veepidemest kõrgemal olevatesse pinnasekihtidesse. (Tamm, Metsur, 2012)

Põhjused, miks inimesed peaksid mõtlema maasoojuspumba paigaldusele:

1. 100% taastuv. Maasoojusenergiat peetakse mõnes mõttes piiramatuks energiaks, kuna geotermiline energia põhineb soojusenergiail, mida hoiustatakse maapinna all.

See intensiivne kuumus on maakoore all lõksus. Geotermiline protsess kasutab oma tööks Maa tuumast pärit geoloogilist soojust, mis on ammendamatu looduslik protsess ning tänu sellele on geotermiline energia märkimisväärne taastumatu ressurss. (Khaligh, Onar, 2018)

2. Puhas põlemine ja madalad heited. Geotermilist energiat peetakse puhtaks, kuna seda saab ammutada ja muundada fossiilseid kütuseid põletamata. Geotermilise tehase peamised heited on healoomulised veeaurud. Näitena saab tuua Islandi pealinna Reykjaviki, kus 95% linna elamutest saab sooja ja sooja vett geotermaalenergiast. Reykjavik on üks maailma puhtama õhuga linnadest. (Khaligh, Onar, 2018)
3. Suur energiapotentsiaal. Geotermiliste ressursside energiapotentsiaal on hinnanguliselt 2 teravatti kogu maailma kohta. Seda on umbes 15 000 korda rohkem, kui kogu maailmas arvatakse olevat naftavarusid. (DiPippo, Renner, 2014)
4. Eskaleeruv tootmine. Teatud tasemega geotermiline energia on enamikes kohtades saadaval. Geotermaalenergiat on võimalik kasutada nii kaubanduslikult kui ka väikemajapidamises. Väiksemad toimingud on odavamad, kuna neid ei pea kaevama nii sügavale, kuid samas suudavad suured geotermaaljaamad muundada soojusenergiat tõhusalt elektrienergiaks. Samuti suudavad nii suured kui ka väiksed süsteemid pakkuda soojuste kõrval ka jahutust. (Nordbeck, jt., 2017)
5. Baaskoormuse stabiilsus. Erinevalt päikese- ja tuuleenergiast säilitab geotermiline energia ideaalse stabiilsuse nii päeval kui ka öösel, olenemata palju on väljas valgust ja tuult. See võimaldab seadmel alati baaskoormusega võrku varustada. Elektrienergia põhikoormuse nõudluse rahuldamiseks on vaja usaldusväärset ja stabiilset toiteallikat. Geotermaalenergia on oma toimelt stabiilne, mis kajastub ka suurte geotermaaljaamade elektrienergia hinnas, mis püsib stabiilsem ja madalam. (Fridleifsson, 2001)
6. Madal süsiniku sisaldus. Geotermiline süsteem on suurepärase viisi hoone süsinikujalajälje vähendamiseks. Õigesti paigaldatud maasoojuspump vähendab võrreldes teiste küttesüsteemidega hoone kommunaalkulusid kuni 60%. Ehkki geotermiline energia pole täielikult süsinikuvaba, eraldab see atmosfääri vaid murdosa süsihappegaasi võrreldes fossiilsete kütustega. Maasoojusenergiat toodetakse tehase ja eramu lähedal, seega võrreldes teiste kütustega puuduvad maasoojusenergiat töötlemis- ja transpordikulud. (Paulillo, Striolo, Lettieri, 2019)
7. Mitmeotstarbeline. Maasoojuspump võib asendada hoonetes nii kütte- kui ka jahutussüsteeme ja teha mõlemat tööd efektiivsemalt, kui tavalised õhkjahutus süsteemid, sest maa-alused temperatuurid on aastaringselt püsivad. Geotermilisi süsteeme on samuti kerge hooldada, kuna puudub põlemisprotseduur ja süsiniku saastus. (Khaligh, Onar, 2018)

8. Tark maakasutus. Võrreldes teiste suuremate energiaallikatega on geotermilisel energial neist kõigist väikseim maapinna jalajälg. Selleks pole vaja täiendavat kinnisvara, et paigaldada maasoojuspumpa . See on võimalik paigaldada praktiliselt igale poole, ka tihedatesse linnapiirkondadesse. Samuti ei puutu maa-alused geotermilised süsteemid kokku teiste elementidega, mis on oluline äärmuslike ilmastikutingimuste puhul, kus maapealsed üksused on loodusõnnetuste korral ohustatud. (Eesti Geotermaalenergia Assotsiatsioon, 2013)
9. Roheline majandus. Piiramata energiapotentsiaal tähendab, et mitte kunagi ei saa olla olukorda, kus geotermilise energia tootmine jõuab oma haripunkti. Sellepärast on sellel tõsine ja suur mõju töökohtade loomisele ja roheline majanduse tugevdamisele. Geotermiliste elektrijaamade ehitamine ja töös hoidmine vajab palju inimressurssi. Iga arenguetapp loob töökohti elektrikutele, torumeestele, inseneridele, geoloogidele jne. (Nordbeck, jt., 2017)
10. Paljulubavad tehnoloogiad. Kuigi geotermilise energia tootmisel on oma riskid, näitavad uuringud, et need on teiste taastuvenergia valdkondadega võrreldes väiksemad. Tehnoloogia on aastatega nii palju edasi arenenud, et inseneridel on võimalik puurida sügavamale ja laiendada sellega juurdepääsu geotermaalenergiale paljudes kohtades. Tänu uutele võimalustele on sellise puhta energiaallika pikaajaline väljavaade üpriski helge. (Khaligh, Onar, 2018; Eesti Geotermaalenergia Assotsiatsioon, 2013)

2 METOODIKA JA MATERJAL

2.1 Metoodika

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

Magistritöös kasutatavad algandmed pärinevad elumajast, mis asub Tartu linnas Elva tänav 36 (katastrinumber: 79504:019:0001), ja ettevõttest AS Eesti Gaas. Alusandmed võrdluste tegemiseks saadi AS Eesti Gaas poolt väljastatud arvetelt, kus on igakuiselt välja toodud gaasikulud.

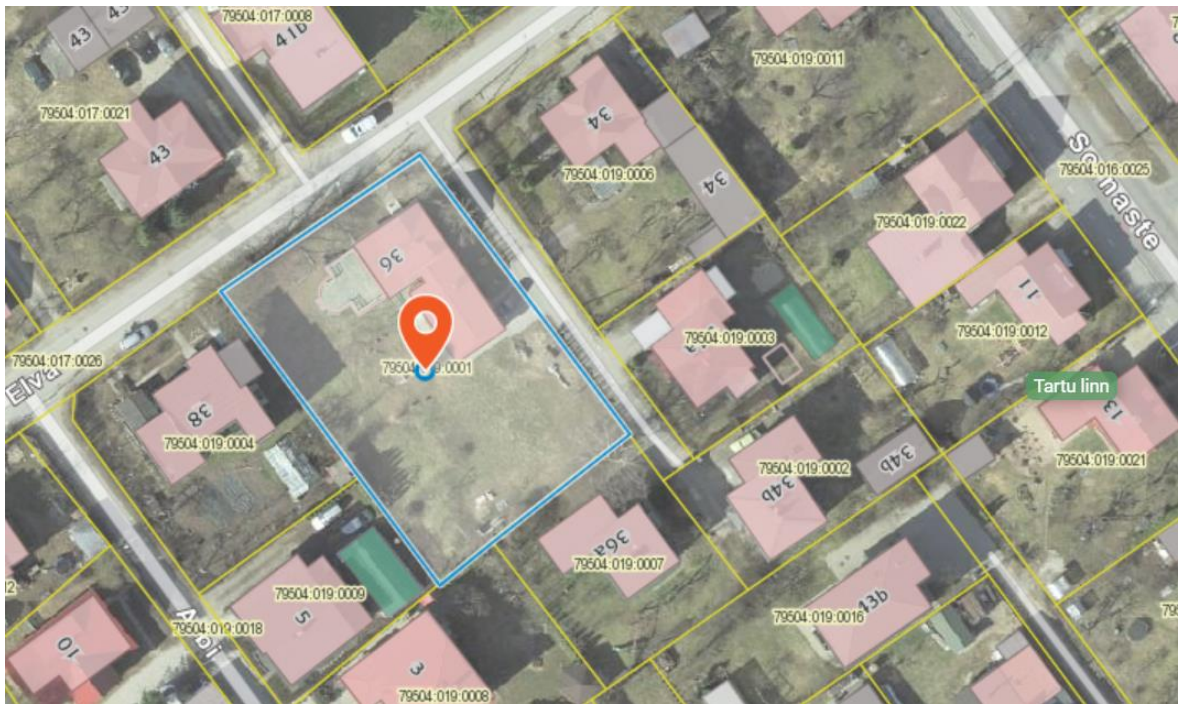
Täiendavalt küsiti hinnapakkumisi maasoojuspumpade, pelletikatelde ja gaasikatelde paigaldajatelt läbi elektronposti ja päringukeskkondade. Gaasikatelde paigaldajatelt küsiti pakkumisi, et võrdluses oleks võimalik välja tuua, millise küttesüsteemi paigaldamine oleks arukas, kui eramus ei oleks hetkel toimivat küttelehendust. Maasoojuspumpade hinnapakkumised saadi kolmelt ettevõtelt: Soojuskeskus OÜ, Maaküte OÜ ja Kliimaseade OÜ. Pelletikatla hinnapakkumised saadi ettevõtetest Cerbos OÜ ja Hemeltron OÜ ning gaasisüsteemi pakkumised saatsid ettevõtted Vennad-Dahl AS ja Gaspre OÜ. Maakütte jaoks on saadud täiendavat infot hinnapakkumiste kõrval ka koduleheküljelt Maaküte.info, mis on sõltumatu infoportaal inimestele, kellel on küsimusi maakütte paigalduse kohta. Leheküljel olev info on avalikult leitav ja selle sisu on kontrollitud. (Maaküte.info, n.d.)

Kõige viimaseks etapiks oli andmete ning piltide analüüsimine ja töötlemine. Andmeid töödeldi kontoritarkvaraga Microsoft Excel. Piltide töötlemiseks kasutati arvutis olevat joonistusprogrammi Paint 3D.

2.2 Materjal

2.2.1 Elva tn 36 (Tartu linn) eramu ja selle energiavarustus

Uuritav hoone asub aadressil Elva tn 36, Tartu linn (edaspidi eramu, joonis 2.2.1.1.). Eramu on ehitatud 1936. aastal. Tegemist on kahekorruselise puithoonega, kus asub lisaks eluruumidele kelder, garaaž ja tehnoruum. Suletud netopind on 129 m², millest köetav osa on 115 m² ning krundi suurus on 1527 m².



Joonis 2.2.1.1. Elva tn 36 eramu (Maa-ameti Geoportaal, 2020)

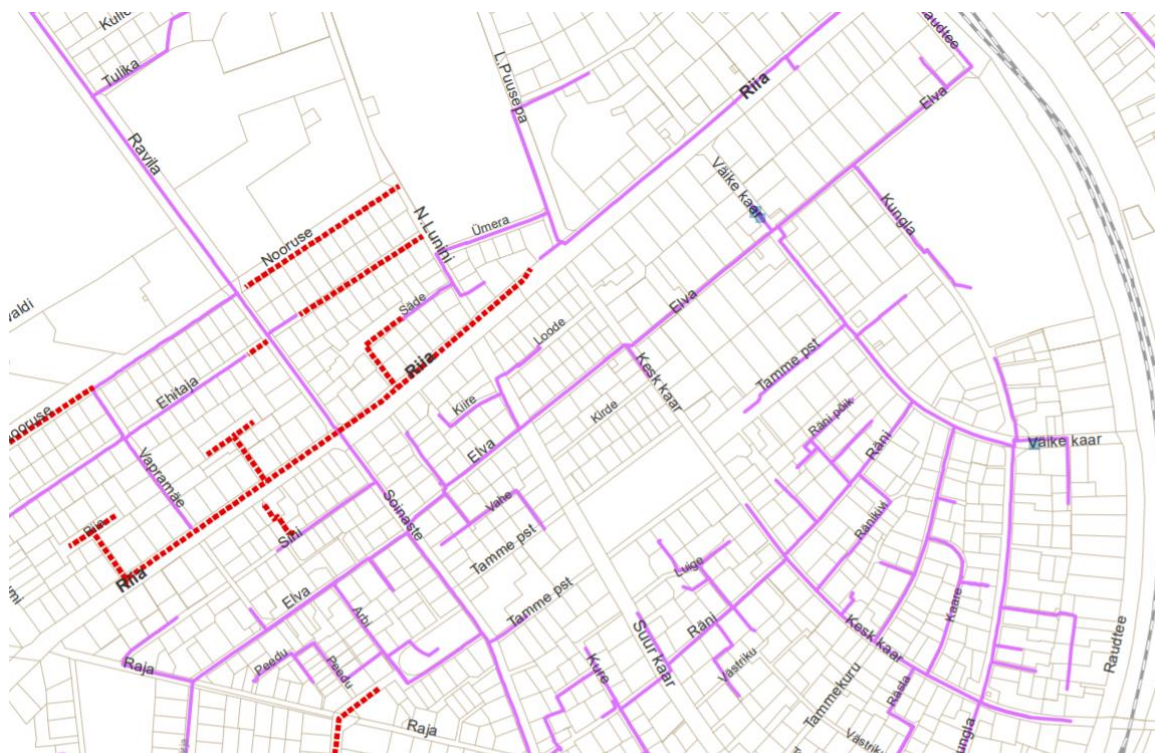
Eramut köeti 1990. aastani ahiküttega, kus sisendiks oli puit ning ahjud paiknesid tubades. Kokku oli 3 ahju, millest kaks paiknesid hoone esimesel korrusel ning üks teisel korrusel. 1990. aastal mindi üle keskküttele, kus ahi pandi tehnoruumi ja seda köeti kivisöe, briketi ning nende puudumisel harva ka puudega. Gaasiküttele mindi üle 1994. aastal. Lisades 1, 2 ja 3 on välja toodud eramus kasutusel olnud ja olev kütteseaded.

2.2.2 Energiatarbimine

Eramu saab hetkel soojusenergiat maagaasist. Majja on paigaldatud traditsiooniline ehk konventsionaalne gaasikatel. Gaasikütteseadmel on erinevad automatiseerimisvõimalused ja selle automaatsus on seotud välistemperatuuriga.

Külmemate ilmadega häälestab masin ennast ise vajalikule küttemperatuurile ja hoiab majas määratud temperatuuri. Katla kütmissprotsess on seadistatud vastavalt inimeste kodus viibimisele. Nimelt lülitab katel ennast välja, kui kedagi kodus ei viibi, ja hakkab tööle umbes tund enne inimeste koju saabumist. Põlemisprotsessis ei mängi inimesed mingisugust rolli, kuna seda kontrollib ainult ja täielikult katla oma automaatika. (Gaasiküte, 2017)

Joonisel 2.2.2.1. on välja toodud gaasitrassi paiknemine Tammelinnas. Joonisele on lillaga märgitud gaasitorustik ning sealt on näha, kuidas terve Elva tänava ulatuses on olemas toimiv ja töötav gaasiühendus. Joonisel on lillas välja toodud gaasitorustiku paiknemine ning punases piirkond, kus trass on välja ehitamata.

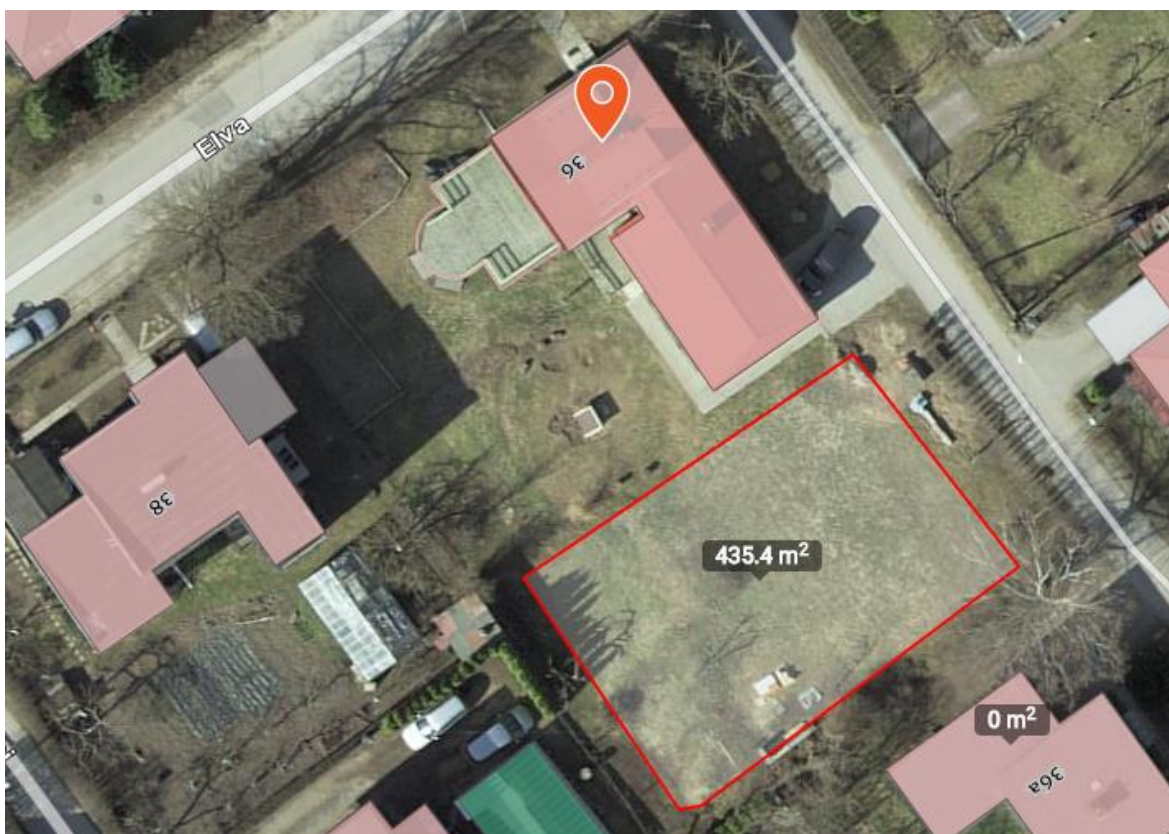


Joonis 2.2.2.1. Gaasitorustiku paiknemine Elva tn (märgitud lillas) (Tartu linna üldplaneering, 2020)

Joonisel 2.2.2.2. on välja toodud viimase nelja aasta soojustarbimine kWh kohta. Eramut köetakse tavaliselt septembrist aprillini. 2019. aasta on nendest aastatest kõige väiksema soojustarbimisega, kuna elamises ei elanud kedagi septembrikuu alguses ja küte lülitati sisse alles septembri lõpus. 2017. aastal on kasutatud kõige rohkem soojusenergiat, kuna sellel aastal vahetati ära maja soojustus ja vooderlaud ning eramut köeti ka juunis.

2.2.3 Hinnapakumised

Töö autor küsis hinnapakumisi erinevatest ettevõtetest, keda teavitati, et algselt küsitakse informatsiooni ja pakkumisi lõputöö raames. Samuti informeeriti ettevõtteid asjaolust, et kui töö käigus peaks selguma tõsiasi, et mõttekam ja arukam on olemasolev gaasikatel vahetada mõne muu soojusenergia vastu, siis läheb parim pakkumine ka käiku. Maasoojusenergia pakkumisi saates oli lisatud eramu katastri number, vaba maa suurus ja kui suur on maja köetav pindala. Kirjeldatud oli ka radiaatorite ja põrandakütte olemasolu ning kui suurt ala mingi kütmissvahend soojustab. Katastri number lisati, kuna eramule on võimalik paigaldada ainult horisontaalset pinnasekontuuri ja selleks on vaja vaba maad. Võttes arvesse rusika reeglit, kus 1 m² soojendamiseks on vaja 3 m kontuuri ning 3,6 m² vaba maad, siis antud eramu jaoks on tarvis umbes 400 m² vaba maad, mis antud hoone ümber on olemas (joonis 2.2.4.1.). Töö autor saatis pakkumisi kokku kolmeteistkümnele ettevõttele: Soojuskeskus OÜ, Maaküte OÜ, Kliimaseade OÜ, ABC Kliima OÜ, Prokliima OÜ, Cerbos OÜ, Hemeltron OÜ, Vennad-Dahl AS, Gaspri OÜ, Toru-Jüri OÜ, Heat Powr OÜ, Hilaris AS, Ventimo OÜ. Hinnapakumised laekusid ainult seitsmest ettevõttest.



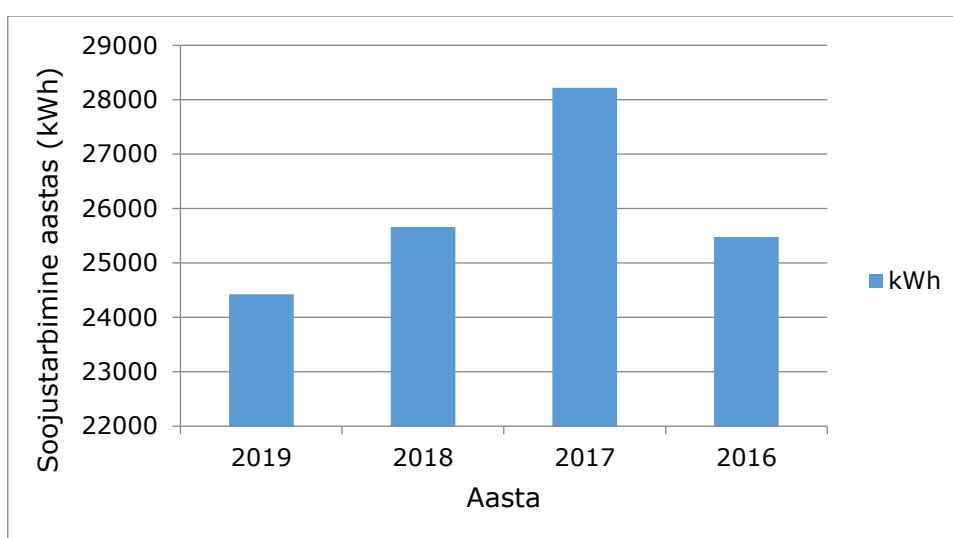
Joonis 2.2.4.1. Horisontaalse pinnakontuuri paigaldamise asukoht (Maa-ameti Geoportaal, 2020)

Gaasikatla ja pelletikatla paigaldamise jaoks pole linnavalitsusest eraldi luba vaja küsida ning mõlemad katlad saab paigaldada eramus olevasse tehnoruumi, mille suurus on 15 m². Gaasikatla paigaldamise ainukeseks tingimuseks on, et krundi piiril oleks gaasitrass, mida on võimalik suunata eramusse. 15 m² suurusega tehnoruumi on võimalik paigaldada nii pelletikatel kui ka pelletimahuti.

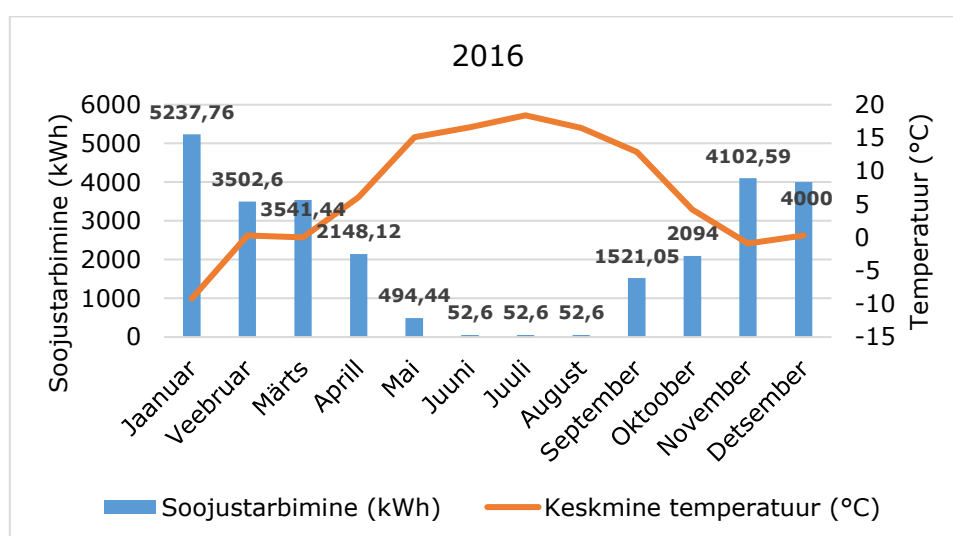
3 TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Energiatarbimine ja energiakulud

Antud töö läbiviimiseks võeti aluseks Elva tn 36 asuva eramu 2016 – 2019 aastate energiatarbimine. Joonis 3.1.1 iseloomustab eramu energiatarbimist. Jooniselt selgub, et suurim oli soojusenergia tarbimine aastal 2017, mil tarbiti 28222,17 kWh. Väikseim oli soojusenergia tarbimine aastal 2019, siis oli kogumahuks 24425,87 kWh. Aastal 2018 tarbiti soojusenergiat 25659,33 kWh ulatuses ja aastal 2016 oli soojusenergia hulgaks 25480 kWh.

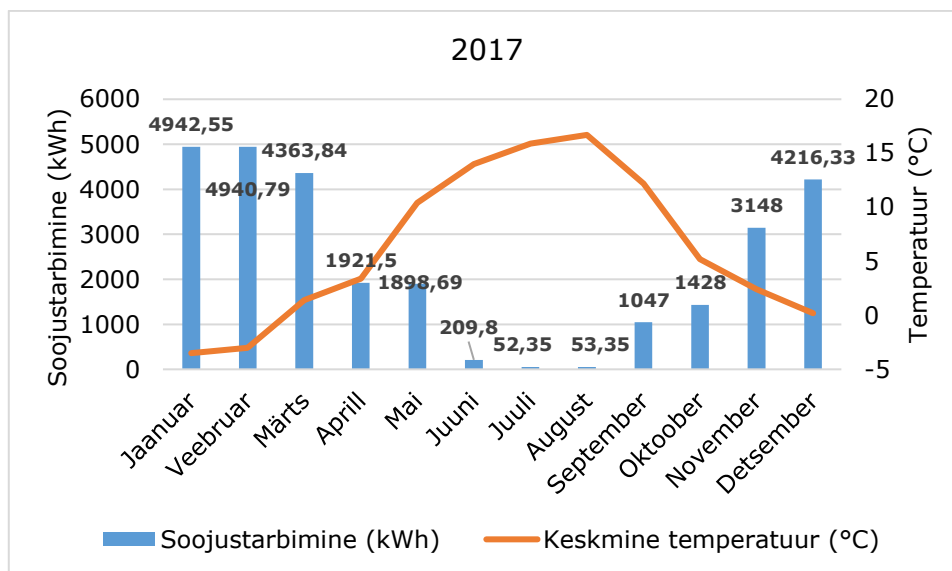


Joonis 3.1.1 Elva tn 36 soojustarbimine aastatel 2016-2019



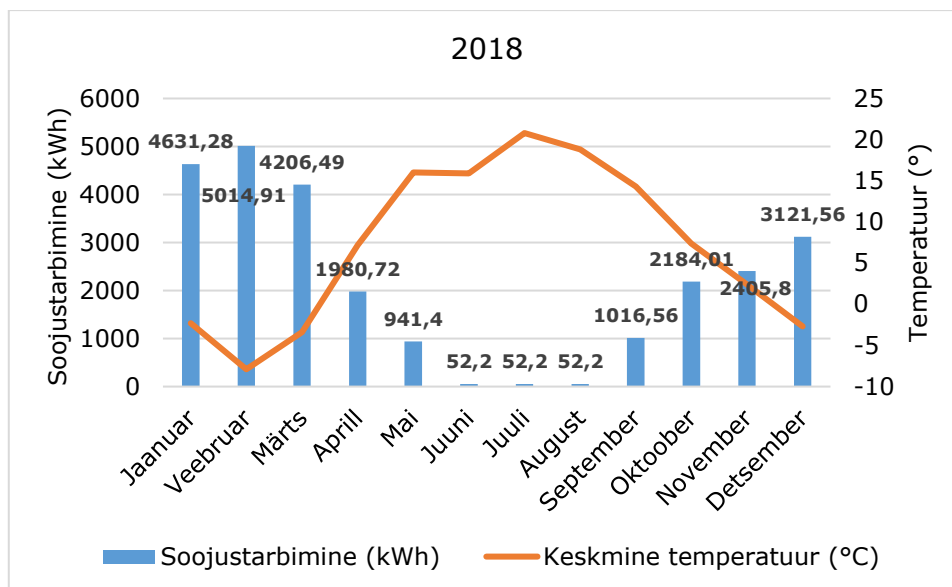
Joonis 3.1.2. 2016. aasta soojustarbimine ja keskmine välistemperatuur kuude lõikes (Eesti Gaas AS, 2016; Tartu Ülikooli Füüsika Instituut E-ilmajaam, 2020)

Jooniselt 3.1.2 on näha, et 2016. aastal tarbiti soojusenergiat enim jaanuarikuus, kuna kuu keskmine temperatuur oli siis kõige madalam $-9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Veebruari ja märtsi keskmised temperatuurid oli vastavalt kuudele $0,3^{\circ}\text{C}$ ja 0°C , mistõttu muutus ka soojustarbimine võrreldes jaanuariga hüppeliselt madalamaks. Kõige madalam soojustarbimine oli juunist augustini, kui gaasi kasutati ainult gaasipliidi töös hoidmiseks.



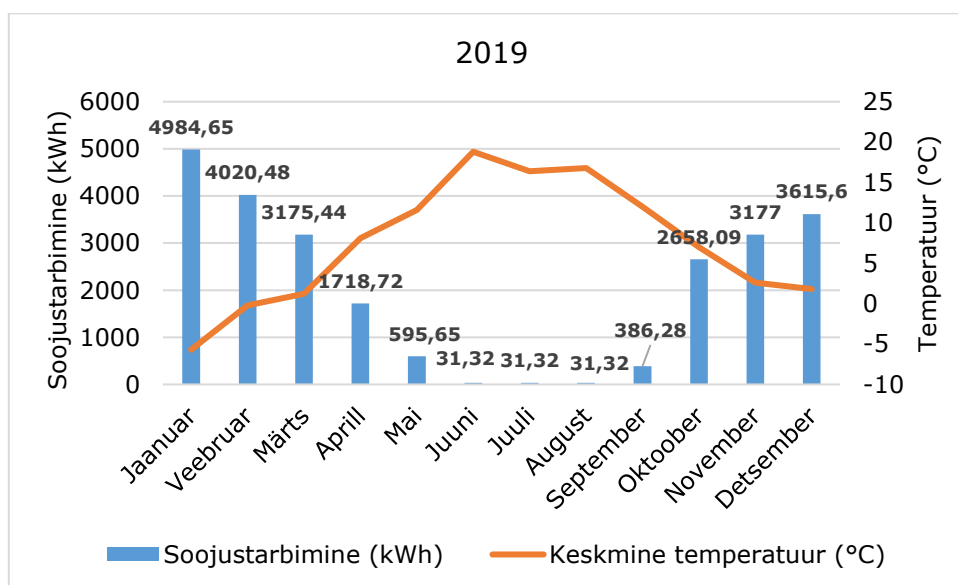
Joonis 3.1.3. 2017. aasta soojustarbimine ja keskmine välistemperatuur kuude lõikes (Eesti Gaas AS, 2017; Tartu Ülikooli Füüsika Instituut E-ilmajaam, 2020)

2017. aastal on soojustarbimine nelja aasta lõikes kõige kõrgem (28222,2 kWh). Jooniselt 3.1.3 on näha, et 2017 juunikuus oli soojustarbimine 209,8 kWh, mis on võrreldes teiste aastatega kõrgem. Soojustarbimise tõusu põhjustas kütmine, kuna juunis ja juulis tehti maja juures fassaaditöid ning vahetati välja eramu soojustus ja voodrilaud. Tööde lõppedes lülitati katel välja ning nagu jooniselt 9 nähtub, on juulis tarbimine olnud 52,35 kWh ja augustis 53,35 kWh, ehk gaasi on kasutatud ainult gaasipliidi töös hoidmiseks. 2017. aasta suure soojustarbimise põhjuseks ei saa lugeda ainult juunikuud, mil katel töötas, vaid kindlasti mõjutas seda aasta keskmine temperatuur, mis oli nelja võrreldava aasta madalaim ehk $6,28\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Joonis 3.1.4. 2018. aasta soojustarbimine ja keskmine välistemperatuur kuude lõikes (Eesti Gaas AS, 2018; Tartu Ülikooli Füüsika Instituut E-ilmajaam, 2020)

Joonisel 3.1.4 on kõige külmemaks kuuks veebruar, kui keskmine temperatuur oli -7,9 °C. Soojustarbimine oli sellel kuul samuti kõige suurem (5014,91kWh). Suvekuudel (juuni–august) katla kütmist ja soojustarbimist ei toimunud ning gaasi kasutati ainult pliidi jaoks. Jooniselt on näha, et temperatuuri tõustes langeb soojustarbimine.



Joonis 3.1.5. 2019. aasta soojustarbimine ja keskmine välistemperatuur kuude lõikes (Eesti Gaas AS, 2019; Tartu Ülikooli Füüsika Instituut E-ilmajaam, 2020)

Jooniselt 3.1.5 on näha, et suvekuudel (juuni–august) on köetud vähem ja gaasi on kulunud ainult gaasipliidi tarbeks. Samuti tuleb graafikult välja, et septembris on

küttekulud väiksemad. Madalamad küttekulud olid seotud gaasikatla hilisema sisse lülitamisega alles septembri lõpus, kuna kuu alguses polnud majas kedagi elamas. Talvekuudel (detsember–märtsi algus) tarbiti soojusenergiat kõige rohkem, sest siis oli ka keskmine temperatuur kõige madalam (-5,7–1,2 °C vahel). Neljast võrreldavast aastast on 2019. aasta kõige väikesema soojustarbimisega (24425,87 kWh), kuid vaatlusaluste aastate lõikes on 2019. aasta kõige soojema keskmise temperatuuriga, kus keskmine temperatuur oli 7,5 °C.

Soojustarbimine on seotud välitemperatuuriga: kui väljas olev temperatuur on madalam, kulub majapidamises rohkem soojusenergiat ning kui soojusenergiat kulub vähem, on välised temperatuurid kõrgemad.

Tabelis 3.1.1 on väljatoodud eramu viimase nelja aasta (2016–2019) energiakulud. Soojusenergia hinnad on toodud kWh kohta ning antud hinnad on koostanud AS Eesti Gaas. Hinnad ja tarbimisandmed pärinevad AS Eesti Gaas arvetelt. Hinnad sisaldavad aktsiisitasu ja võrgutasu ning on toodud koos käibemaksuga. Nagu tabelist 2.2.3.1 on näha, siis eramu soojustarimine on olnud aastate lõikes erinev, kuid aastast 2017 on soojusenergia tasu olnud aastate lõikes küllaltki samaväärne. Aastal 2017 tarbiti kõige enam soojusenergiat, kuid maksti ainult 1,01€ rohkem, kui 2018. aastal, kuigi 2018. aastal tarbiti soojusenergiat 2562,84 kWh vähem. 2019. aastal tarbiti soojusenergiat kõige vähem, kuid maksti selle eest kõige rohkem. Iga võrdluses oleva nelja aastaga on gaasi hind tõusnud.

Tabel 3.1.1. Elva tn 36 eramu soojusenergia hind ja tasu

Aasta	Soojustarbimine (kWh)	Soojusenergia hind KM-ga (€/kWh)	Soojusenergiatasu (€)
2016	26799,81	0,032	869,32
2017	28222,17	0,036	1009,54
2018	25659,33	0,039	1008,53
2019	24425,87	0,043	1059,25

3.2 Maasoojuspumba, pelletiahju ja gaasikatla tootlikkus, eluiga.

Eluiga sõltub õigest hooldusest. Järjepidav hooldus tagab katelde ohutu ja turvalise kasutamise ning masinate pika eluea. Maasoojuspumba elueast rääkides peetakse silmas maasoojuspumba kompressori eluiga. Kollektortorude eluiga maa sees on kuni 100 aastat. (Vendik, 2016)

Tabel 3.2.1. Kütteseadmete hinnavõrdlus

Kütteseadme/ Teenusepakkuja	Tootja/mudel	Kütteseadme hind (€)	Kütteseadme paigalduse hind (€)	Kütteseadme soetusmaksumus (€)	Kütteseadme eluiga (aa)
Gaasikatel/ Vennad-Dahl AS	Bosch Condens 7000iW	1388	1227	2615	15
Gaasikatel/ Gaspri OÜ	Victrix TT 24-2 ErP	1380	1200	2580	15
Pelletikatel/ Cerbos OÜ	Pelle Pelltech PV20A	3120	2650	5770	20
Pelletikatel/ Hemeltron OÜ	Pelle 14	4377	1400	5777	20
Maasoojuspump/ Soojuskeskus OÜ	Bosch Compress 6000 LW/M 6kW	5256	3913	9169	25
Maasoojuspump/ Maaküte OÜ	Alpha Innotec Alterra WZS- V 92H3M	6780	5012	11792	25
Maasoojuspump/ Kliimaseade OÜ	Nibe F1245- 8	6070	3914	9984	25

Allikad: Dahl, n.d.; Gaspri, 2015; Cerbos OÜ, 2020; Hemeltron, 2020; Soojuskeskus OÜ, 2020; Maaküte OÜ, n.d.; Kliimaseade OÜ, 2020

Tabelis 3.2.1 on esitatud kõikide kütteseadmete hinnad koos käibemaksuga, kuid pelletikatla paigalduse hinna juures pole välja toodud korstna maksumust, kuna selle hind võib kõikuda 500–1500 € vahel, sest sõltub olulisel määral eramu arhitektuurilisest omapärasest ning sellest, kuhu katelt soovitakse paigaldada.

Tabeli 3.2.1 põhjal on konkurentsituult kõige soodsam osta eramusse gaasikatel. Seda tingimusel, et krundipiires jookseb läbi gaasitrass ja seda pole tarvis hakata eraldi rajama. Tabelis esitatud kahe gaasikatla hinnapakumise vahe on ainult 35 €, mis kokkuvõttes pole nii märkimisväärne summa, et peaks otsustama soodsama kasuks. Gaasikatla hinnapakumised sisaldavad toruehitusi kinnistu piiril: hoonesisest ja -välist gaasi- ja küttestorude tööd, suitsukorstna rajamist, gaasilekete ja vingugaasi alarmsüsteeme ning välistemperatuuri andurit. Juurde tuleb maksta liitumistasu AS

Eesti Gaasile ning hiljem on võimalik gaasi osta AS Eesti Gaasist või AS Alexelast. (Vennad-Dahl AS, 2019; Gaspre OÜ, 2015)

Kõige suurem investeering tuleb teha maasoojuspumba rajamisel. Olemasolevate hinnapakumiste puhul varieerub kalleima ja odavaima seadme hind 2623 €. Maasoojuspumba hinnapakumises on välja toodud maksumus ainult horisontaalse maakollektori puhul, sest kinnistule on võimalik paigaldada ainult seda tüüpi maasoojuspumpa.

Tabel 3.2.2. Erinevate kütteseadmete paigaldustingimused

Kütteseade	Paigaldustingimused
Maasoojuspump	<p>Horisontaalse maakollektori paigaldamiseks on vaja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Piisavas suuruses vaba maad, mida aktiivselt ei kasutata ning kuhu pole planeeritud midagi ehitada. Maa suuruse arvestus käib vastavalt reeglile, kus 1 m³ köetava pinna jaoks on vaja 3,6 m² vaba maad. • Kõne all oleva eramu puhul on vaja umbes 400 m² vaba maad. • Vajalik on joonis, kus on välja toodud maakollektori paigaldus. • Vähemalt 3 m² suurune tehnoruum. • Majas peavad olema radiaatorid või pörandaküte, võivad olla ka mõlemad. (Vendik, 2016)
Gaasikatel	<ul style="list-style-type: none"> • Radiaatorite, pörandakütte või mõlema olemasolu. • Tänaval peab olema gaasitrass ja vajalik on ka gaasivõrguga liitumine. • Liitumispunktist gaasitoru paigaldus eramuni. • Nõuetekohane suitsugaasi korsten. • Projekteerimise lähteandmed Eesti Gaas AS-ist. • Katlaruum/tehnoruum peab vastama nõuetele. (Eesti Gaas, 2020)
Pelletikatel	<ul style="list-style-type: none"> • Katla-/tehnoruum peab vastama tuleohutusnõuetele. • 25 kW ja suurema pelletiahju puhul peab olema tuletõkkeuks. • Katla peab saama paigutada pörandale ning ohutuse tagamiseks peab katla ees olema vähemalt 1 m jagu vaba ruumi. • Katla-/tehnoruum peab olema õhuvõtuavaga • Minimaalseks ruumi suuruseks on 6 m² • Eramus peavad olema radiaatorid, pörandaküte või mõlemad. (Kapp, 2018)

Tabelis 3.2.2 on välja toodud erinevate küttesüsteemide paigaldustingimused. Kõigi kolme küttesüsteemi korral on samaks nõudeks, et peab olema kas pörandakütte või radiaatorite võimalus. Antud küttesüsteeme on võimalik kasutada ka mõlema puhul. Maasoojuspumba kasutusele võtuks on arvestatud horisontaalse maakollektoriga, kuna antud krundile on võimalik paigaldada ainult sellist lahendust. Igal süsteemil on oma kindlad nõuded, mida tuleb jälgida ja millest kinni pidada, et antud kütteleahenduse paigaldamine ja hiljem kasutamine oleksid kasutajasõbralik ja ohtu nii inimestele kui ka keskkonnale.

Tabel 3.2.3. Kütteseadme hooldustihedus ja hoolduse maksumus

Küttesead	Hooldus	Hoolduskulu aastas (€)	Hoolduskulu seadme eluea kohta (€)
Maasoojuspump	1x aastas, tehniku poolt	90	2250
Gaasikatel	1x aastas tehniku poolt	60	900
Pelletikatel	Tuha välja võtmine klassikalist tüüpi ahjudel 2–4x kuus. Uuemad katlad on isepuhastuvad, kuid vajavad puhastamist 4x aastas. Tuha puhastamisega saab ise hakkama. Korra aastas katla ja korstna puhastus spetsialisti poolt	40	800

Allikad: Tartu Tuli, 2018; Maaküte.info, n.d.; Cerbos, 2020.

Tabelis 3.2.3 on kirjeldatud erinevate kütteseadmete hooldust ja selle tihedust ning välja toodud hooldustasu aastas ja hooldustasu seadme elu jooksul. Tabelis esitatud hinnad on koos käibemaksuga ja sisaldavad ainult hooldustööde hinda, st hind ei sisalda erinevate osade, filtrite jms juppide vahetust ja parandust. Tabelis toodu põhjal on kõige soodsam hooldada pelletkatelt, kuid sel puhul tuleb teha endal lihtsamaid hooldustöid, nagu tuha välja vedamine ja kergem katla puhastamine.

Maasoojuspumbad kasutavad õhu soojendamiseks soojusvahetit, mille siseosades on filtrid, mis kaitsevad seadet. Aja jooksul on tarvis filtreid vahetada, et vältida tolmuosakeste jm sadenemist soojusvahetile, mis aeglustaks seadme tööd ja tõstaks elektrikulusid. Maasoojuspumba tavahooldusele lisaks on vajalik ligikaudu 5 aasta tagant teha suurem seadme puhastus. Selle käigus puhastatakse soojusvahetid, filtrid, kontrollitakse üle, et ei esineks külmaaine lekkeid. Põhjalikum seadme hooldus ja puhastus tagavad seadmele pikema eluea. Samuti aitab see vältida rikkeid, mis võivad kahjustada keskkonda. Võttes seadme puhastuse samast firmast, mis maasoojuspumba paigaldas, on hoolduse hinnaks 90–100 €, mis teeb seadme eluea jooksul kokku 450–500 €. (Vendik, 2016; Metsamärt, 2016)

Gaasikatelt tuleks hooldada kaks korda aastas: kütteperioodi alguses ja lõpus. Neid töid peab kindlasti teostama spetsialist, kes oskab sooritada nii puhastus- kui ka hooldustööd. Hooldades seadmeid regulaarselt tagatakse neile pikem eluiga. (Vendik, 2016) Tabelis 4 on toodud gaasikatla hooldusvälp üks kord aastas. Tuginedes ekspertide soovitudele, tuleks tegelikkuses katelt hooldada kaks korda aastas. Sellisel juhul oleks gaasikatlal eluea jooksul vajamineva hoolduse hinnaks praeguste hindade alusel 1800€.

Küttesüsteeme ja -katlaid, millel on ühenduslõõr ja korsten, tuleb puhastada kord aastas ning neid töid peab sooritama kutsetunnistusega korstnapühkija. Puhastamine

on oluline, sest see aitab välistada tahmapõlenguid ning tagab seadmetele pikema tööea. (Tartu Tuli, 2018). Pelletikatla puhul on klassikalistel ahjudel vaja teha puhastustöid (tuha eemaldamine ja katlasisemuse puhastus) 2–4 korda kuus. Uuematel ja moodsamatel seadmetel on isepuhastussüsteem, kus tuha eemaldamine füüsilisel kujul toimub 4 korda aastas. Nende töödega saab hakkama iga pelletikatla omanik ning selleks ei ole vaja eraldi spetsialisti kutsuda. (Kapp, 2018)

Aastase kütte hinna arvutamisel on võetud nelja aasta keskmine soojustarbimine (25628,34 kWh). Kõetavat pinda on 120 m². Kõne all oleva eramu küttekulu norm aastas 1 m² kohta on $25628,34/120 = 213,56$ kWh/m². (Hemeltron, n.d.)

Eramusse paigaldati 2018. aasta detsembris automaatne gaasimõõtur, mis tähendab, et 2019. aasta gaasiandmed on kõige täpsemad. 2019. aastal kulutati eramus 24425,87kWh ning selle eest tasuti 1059,25€, hinnas on sees käibemaks, maagaasi jaotusteenus ja maagaasiaktsiis. 1 kWh kohta on see 0,043 €. Nelja võrdluses oleva keskmise aasta kulu kohaselt oleks see 1102,01 €.

Pelletikatla kasutegur on 90%, selle põhjal on ühe ruutmeetri aastane pelletikulu $213,56/(5 \times 0,9) = 47,45$ kg/a. 120 m² aastane pelletikulu oleks siis $0,04745 \times 213 = 10,10$ tonni. Võttes pelleti keskmiseks hinnaks 200€/tonn koos käibemaksuga, teeks see aastas 2020€. (Hemeltron, n.d.)

„Maakütte säästlikust on võimalik kirjeldada elektrikulu näite põhjal: 1 kWh elektrienergia kasutamisega toodab maaküttepump umbes 3-5 korda enam soojusenergiat, ehk 3-5 kWh.“ (Maaküte.info, n.d.) 120m² eramu küttearveks on kuus ligikaudu 25€, mis teeb aastaseks küttekuluks keskel läbi 300€. (Hemeltron, n.d.)

Tabel 3.2.4. Kütteseadme eluea maksumus, koos hoolduse ja kütte hinnaga

Kütteliik	Kütteseadme eluiga (a)	Masina maksumus koos paigaldusega (€)	Eluea hoolduse hind (€)	Kütte hind eluea jooksul (€)	Maksumus kokku eluea jooksul (€)	Maksumus kokku 15 aasta jooksul (€)
Maasoojus	25	10315	2250	7500	20065	16165
Maagaas	15	2597,5	900	16530	20027,5	20027,5
Pellet	20	5773,5	800	40000	46573,5	36373,5

Allikad: Dahl, n.d.; Gaspre, 2015; Cerbos OÜ, 2020; Hemeltron, 2020; Soojuskeskus OÜ, 2020; Maaküte OÜ, n.d.; Kliimaseade OÜ, 2020; Tartu Tuli, 2018; Eesti Gaas, 2020.; Eesti Energia AS, 2019

Tabeli 3.2.4 on masina maksumus koos paigaldusega hinnapakkumiste keskmine ning hinnad sisaldavad käibemaks. Tabeli 3.5 põhjal võib pigem valikust välja jätta pelletikütte, kuna see on kolmest variandist kõige kallim ning ei ole majanduslikult nii tasuv kui alternatiivid. Samuti on see toodud valikutest ainuke, kus tuleb ka endal vaeva näha: pelletikatel vajab puhastamist ja puhurauto puudumisel tuleb korraldada graanulivedu.

Seega jääb valikusse kaks kütteseadet: maasoojuspump ja maagaas. Kahe seadme 15 aasta maksumuse vahe on 3862,5 €. 15 aasta pärast tuleks välja vahetada maagaasi katel, kuid maasoojuspump töötaks veel 10 aastat.

Tabeli 3.2.4 põhjal oleks rahalist aspekti arvestades kõige mõistlikum paigaldada maasoojuspump. Algne investeering on küll kõigest valikus olevatest kõige suurem, kuid iga-aastased väljaminekud oleksid kõige väiksemad.

Mitte kunagi ei tohiks otsust teha esimeste väljaminekute pealt ning alati tasuks vaadata ka pikemat perspektiivi, kuna tihti on nii, et alguses vähem makstes tuleb muid kulutusi juurde, mis võivad lõpliku hinda muuta.

Lisas 4 on välja arvatud, kui mitme aasta pärast tasub ennast ära maasoojuspump. Võrreldud on maasoojuspumpa gaasikatelaga, kuna hetkel on eramus gaasikatel ning tasuvus on ära toodud sellest aspektist, kui vahetus tehtaks antud ajahetkel. Tabelis on võrdluses ainult küttekulud ning sinna juurde pole arvestatud hooldustasusid ning seda, et nii maagaasi kui ka elektri hind iga-aastaselt tõuseb. Maagaasi aastane hind on saadud töös kasutatava nelja aasta keskmisest küttekulust ja selle hinnast. 13 aasta järel on selle põhjal saadud 111€ kasumit. Küttes maasoojuspumbaga, oleks iga aasta

$1102-300=802\text{€}$ plussi. Seega, et maasoojuspump ennast ära tasuks, kuluks $10315/802=12,8$ aastat.

Maakütte kollektor paigaldamiseks antud eramu puhul 1 m sügavusele. Sellel sügavusel püsib aasta keskmine pinnasetemperatuur 6,55–6,6 °C juures. (Tanning, 2010) Seega kuni välistemperatuur pole madalam kui -25 °C, pole maasoojuspumba töös hoidmiseks elektriga vaja juurde kütta. Arvestades, et jaanuaris ja veebruaris võib olla temperatuur madalam kui -25°C, siis vahemikus -26°C – -30°C juures oleks tarvis natukene elektriabi lisaküttena, kuid seda kokku ainult 21€ eest. Antud arvutus on saadud Soojuskeskus OÜ hinnapakkumisest.

Maasoojuspumba paigaldamisel on kindlasti võimalik kulutusi hoida veel madalamal. Saadud hinnapakkumistes on ruumide temperatuuriks arvestatud 21 °C ja seda 24/7, kuid kindlasti ei pea temperatuur olema nii, kui kedagi kodus pole. Hetkel on eramus gaasikatel reguleeritud kütma ja hoidma ruumide temperatuuri 20 °C juures vahemikul 16.00–7.00. Perioodil 7.00–16.00 hoiab katel ruumides temperatuuri 17–18 °C juures. Selles ajavahemikus ei viibita eluruumides, mistõttu ei pea temperatuur nii kõrge olema.

Geotermaalenergia paigaldus on kolmest võrreldavast variandist majanduslikult kõige kulukam, kuid ainuke, millele ehituseks on võimalik küsida laenu. Sellise süsteemi ehituseks oleks võimalik võtta AS SEB Pank pangast kodulaenu või remondilaenu. Arvestades protsessi kogukulutusi oleks mõistlikum võtta kodulaenu, mille intressimäärad on kliendisõbralikumad ning mille tagasimakse perioodi saab panna täpselt 13 aastaks, et antud süsteem ennast ise nulli toodaks. (Kala, 2020)

Lisas 5 on välja toodud maasoojuspumba ja maagaasi võrdlustabel. Tabelis on võrreldud kahe erineva soojusallika tõhusust, keskkonnasõbralikust, kulu transpordile, erinevaid kahjustusi, mis võivad töö käigus tekkida ja masina hooldust. Võrdluses on välja toodud ka rahaline väljaminek ja ehitus. Ära on märgitud mõlema soojusallika positiivsed ja negatiivsed küljed. Samuti saab tabelist hea ülevaate, miks oleks mõistlik eelistada ühte soojusallikat teisele.

3.3 Keskkonnaaspekt

Pelletit loetakse Eesti oma taastuvaks energiaallikaks, sest seda toodetakse siin juba kohapeal olevast materjalist. Seega tunduks pelleti kasutamine igati õige ja keskkonnasõbralik lahendus olevat, kuid pelleti tootmise juures on ka tegurid, mis tõmbavad keskkonnaaspekti suurust vähemaks. Nimelt on pelleti toomiseks vaja

toormaterjali, milleks Eestis väiksemates tehastes on küll puidujääk ja puit, mida mujal ei anna väärindada, kuid suuremates tehastes ning Saksamaal, mis on Euroopa suurim pelletitootja toodetakse pelletit värskest puidust, mida oleks võimalik kasutada ka mujale. (Ouzts, 2019) Toormaterjali on vaja vedada ning selle vedu on ressursimahukas, sest seda tarnivad raskeveokid ning nende CO₂ heitekoguste maht on suur. Nimelt 2019 aastal tootsid raskeveokid kogu maateetranspordile kuuluvast heitekoguste mahust 26,2% (Sõiduautode CO₂-heide: faktid ja arvud (infograafika), 2019).

Suurel kogusel tekib CO₂ heitmeid pelleti ekspordil. Suurimad eksportijad maailmas on Ameerika Ühendriigid ja Kanada, Eesti on selles tabelis kuuendal kohal (Graanul Invest ostis USA pelletitootja pankrotivarad, 2019). Eestist eksporditakse aastas ligikaudu 74% siin toodetud pelletist. (Aloel, 2020) Graanuli eksport toimub mere- ja maanteetranspordiga ning mõlemad transpordiliigid on suure CO₂ jalajäljega. (Alakoski jt., 2016)

Maagaas on taastumatu fossiilkütus, see tähendab, et ühel hetkel saab see otsa. Fossiilsete kütuste põletamisega kaasnevad erinevad jäätmed ja keskkonnaprobleemid. Maagaas on fossiilsetest kütustest kõige keskkonnasõbralikum. (Faramawy, Zaki jt., 2016) *BP Statistical Review of World Energy full report 2019* raport hindab 2019. aasta gaasivarusid 196,9 triljonile m³ (196,9 x 10¹² m³), millest 38,9 x 10¹² m³ paikneb Venemaa territooriumil ja 31,9 x 10¹² m³ paikneb Iraani territooriumil. (British Petroleum Company, 2016)

Tabel 3.3.1. *Reserves-to-production ratio (R/P)* ehk taastumatute ressursside järelejäänud aeg

Riik	Varu suurus 2019 aasta seisuga	R/P (aastates)
Venemaa	38,9 x 10 ¹² m ³	58,2
Iraan	31,9 x 10 ¹² m ³	133,3
Katar	24,7 x 10 ¹² m ³	140,7
Türkmenistan	19,5 x 10 ¹² m ³	316,6

Allikas: BP Statistical Review of World Energy, 2019

Tabelist 3.3.1 selgub, et Venemaal jätkub gaasi ainult 58,2 aastaks. Kuigi uusi maardlaid leitakse igal aastal aina juurde, siis kasvab ka tarbimine iga aastaga ning umbkaudset aega gaasivarudele saab ikkagi arvestada. On väga ebatõenäoline, et Eestisse hakataks maagassi transportima mõnest muust riigist, kui seda on Venemaa. Arvestades, et Eestis kasutati aastal 2018 5,2 teravatt-tundi maagaasi (5,2 x 10⁹ kWh), siis on ebatõenäoline, et keegi peale Venemaa suudaks meid varustada nii suure hulga koguse maagaasiga (Elering, 2019).

Oluline on kasutada taastuvaid ressursse, et tulevikus ei tekiks energiapuudust. Ekspertide sõnul on geotermaalenergia kasutamine puhtam, tõhusam ja kuluefektiivsem, kui fossiilsete kütuste põletamine. Samuti aitab see vähendada sõltuvust muudest kütustest, mida saadakse võõrastelt, nagu nt maagaas, nafta. Geotermaalenergia on puhas, kuna seda toodetakse fossiilseid kütuseid põletamata. Geotermaal elektrijaamad eraldavad ainult murdosa fossiilkütusejaamadest toodetavast süsinikdioksiidist ja need tekitavad väga vähe diämmastikoksiidi ja väävli gaase. Seetõttu jääb õhk puhtaks. Maasoojusjaamas toodetakse energiat tehase lähedal ning võrreldes teiste kütustega kaovad maasoojusenergiale ära töötlemis- ja transpordikulud. Maasoojusjaamu peetakse ka päikese-, tuule- ja tuumajaamadest usaldusväärsemateks, sest need saavad töötada ja energiat toota 24 tundi päevas ning 365 päeva aastas. (Keçebaş jt, 2014)

Geotermaalenergiat loetakse taastuvaks energiaallikaks, kuna soojus, mis maast võetakse, pannakse sinna alati ka tagasi. Hetkel on geotermilised pumbad kõige mõistlikum variant, kuna neid on võimalik kasutada kõikjal maailmas, sest temperatuur maapinna lähedal püsib alati ühtlane. (Khaligh, Onar, 2018)

KOKKUVÕTE

Magistritöös analüüsiti Tartu linnas Elva tn 36 asuva eramu energiatarvet, et leida sellele keskkonnasõbralikum kütelahendus. Arvesse võeti, et eramus on köetava pinnas suurus 120 m², vaba pinna suurus krundil on 1140 m², krundilt jookseb gaasitrass, eramus on olemas eraldi tehnoruum, kuhu saab paigaldada nii gaasi- kui ka pelletikatla, mis on mõlema katla puhul näidustatud, kuna kateldel on sees leek.

Arvestades eramu asukohta ja tingimusi, said tööst välja jäetud päikeseenergia, tuuleenergia, laineenergia ja hüdroenergia. Laine- ja hüdroenergia said välistatud, kuna eramu asub veekogudest liiga kaugel ja ehitamine ei tundu asukohta arvesse võttes realistlik. Päikeseenergia on välja jäetud, kuna päikesepaneelide kasutamine ei annaks samuti asukoha tõttu täit tulemust. Tuuleenergia on samuti välistatud asukohast tulevalt: tiheasutusel võib tekkida turbulentsioht ja samuti ei soovi teised elanikud oma linnapilti varjama suuri tuulikud. Tuulegeneraatorite poolt tekkiv müra on samuti segav.

Püstitatud hüpoteesid said tõestatud:

Sobivaim soojusenergia, arvestades maja soojusvajadust ja krundi suurust, on geotermaalenergia. Võttes arvesse eramu asukohta, köetava pinna suurust, krundi suurust ning kütteseadme eluiga, siis sobivamaiks lahenduseks on antud eramul geotermaalenergia. Võrreldes teiste soojusallikatega on maasoojuspump neist kõige pikema elueaga ja sellele tehtavad aastased kulutused on kõige madalamad.

Sobivaim maakütte asukoht on muruplats. Sobivaim asukoht horisontaalse kollektori rajamiseks on maja juures asuv vaba krunt. 120 m² maja soojustamiseks on tarvis umbes 400 m² vaba maad. Antud ruum on eramu juures olemas ning sinna pole peale kerge haljastuse puude ja põõsaste näol plaanis muud rajada.

Soodsaim kütelahendus on maagaas. Maagaas on antud tingimustel kõige odavam, kuna eramus on praegu olemas toimiv gaasikatel. Kui võrdlus tuua tasandile, kus eramus poleks ühtegi soojuslahendust, siis rahaliselt oleks samuti soodsaim soetada gaasikatel, aga seda juhul, kui krundi piires jookseks läbi gaasitrass. Samuti tuleks meeles pidada, et gaasiga kütmisel on iga-aastased kulutused kordades kõrgemad kui maasoojuspumba puhul. Samuti on gaasikatlal võrreldes teiste lahendustega lühike eluiga.

Keskkonnasõbralikum soojusenergia lahendus on geotermaalenergia. Võrreldes kõiki kolme kütelahendust, siis pelletikatel ja maasoojuspump on kindlasti keskkonnasõbralikumad kui maagaas, sest maagaas sisaldab ühendeid, mis aitavad kaasa kasvuhoonegaaside tekkele ja keskkonna soojenemisele. Pelletit saab lugeda küll Eesti oma taastuvenergiaks, kuid arvestades, et pelletit ei toodeta ainult jäägist, mis tekib puidutööstustes vaid ka palgist, mida annaks väärindada majanduslikult mõttekamalt. Samuti on pelletitootmisel suur CO₂ tänu transpordile, sest materjali on vaja kuidagi liigutada punktist A, punkti B, ning seda saab teha ainult suurte veoautodega, mille jalajälg on keskkonnaaspektis suur ja kindlasti mitte säästlik. Samuti on pelleti kulu aastas ligikaudu 2000€, mis ei ole kindlasti majanduslikult kõige soodsam taastuvenergialahendus.

Võttes arvesse töös võrreldud kolme küttesüsteemi: maagaas, pellet ja maasoojuspump, on võrdluste põhjal töös olevale eramule kõige mõistlikum paigaldada maasoojuspump. Maasoojuspump on kolmest valikust kõige pikema elueaga, see töötab taastuva ressursi pealt ja selle igakuised kulutused on kõige väiksemad. Praegustes tingimustes tasuks maasoojuspumba paigaldus ennast ära 12,8 aasta pärast. Kuid arvestades gaasihinna pidevat tõusu viimase nelja aasta jooksul, võib maasoojuspumba tasuvusaeg ka kahaneda.

SUMMARY

The aim of the thesis is to analyze the energy consumption of the private house on Elva street 36, Tartu City (cadastre 79504:019:0001) to find out the most economical environmentally friendly heating solution. It was taken into account that the heated living area of the private house is 120 m², the vacant ground area of the site is 1140 m², the site has a gas pipeline running through and the private house has a separate technical room, which is necessary when you want to install a gas boiler or a wood-pellet boiler, because they both have an open flame in the boiler. n

Considering the location and other criteria of the private residence, solar energy, wind energy, wave energy and hydro energy were excluded from the study. Wave and hydro energy were excluded, because the private house is too far from bodies of water, therefore it isn't realistic to install. Solar energy was excluded due to the location as you wouldn't get the full benefit. Wind energy was excluded also due to the location: There might be a danger of turbulence due to the densely populated area and also surrounding neighbours wouldn't appreciate huge wind turbines to ruin the cityscape or hear the noise coming from the wind generators.

Scientific articles, databases, different registers, interviews and different quotations from heating service providers were used for data in this thesis. The real consumption data/basic information is from the bills of AS Eesti Gaas, where the monthly gas costs are listed and divided as: monthly natural gas consumption, distribution service cost of natural gas and excise duty on natural gas. To get information about various prices of the natural gas service providers, different service providers were contacted through email and website enquires. The collected data has been processed in accordance to make comparisons and conclusions.

Additionally, quotations were asked from installers and manufacturers of the heat pumps, wood-pellet and gas boilers through email and website enquires. Gas boiler installers were asked enquiries to compare which heating system would be best, when the private house wouldn't currently have a heating solution. The quotations for the heat pumps were gotten from three firms: Soojuskeskus OÜ, Maaküte OÜ and Kliimaseade OÜ. The quotations for the wood-pellet boiler came from Cerbos OÜ and Hemeltron OÜ and the gas system quotations from Vennad-Dahl AS and Gaspre OÜ.

The last phase was analysing and processing the data and pictures. The data was processed with Microsoft Excel software. Drawing software Paint 3D was used to process the pictures. The set hypothesis were correct:

The most suitable heating energy, considering the heat demand of the house and the site size, is geothermal energy. The most suitable solution is geothermal energy, considering the location of the residential house, the size of the heated area and lifespan of the heating system. When comparing to different heating sources, heat pump has the longest lifespan and the lowest annual costs.

The most suitable location for ground-source heat pumps is the lawn. The best place to place the horizontal collector is the vacant site near the house. To heat a 120m² sized house, you need about 400 m² vacant space. The area needed for that is near the private house and nothing is planned there except some vegetation in the future.

The cheapest heating solution is natural gas. Natural gas is the cheapest option given the current circumstances, as there is a working gas boiler in the house and pipeline running thru this area. If you compare it when there wouldn't be any heating system, financially a gas boiler would be the cheapest to buy, although the annual costs are much higher when comparing it to a heat pump. Also the gas boiler has a shorter lifespan than other heating options.

The most environmentally friendly heating solution is geothermal energy. When comparing the three heating solutions, wood-pellet boiler and heating pump are more environmentally friendly than natural gas, because natural gas contains chemical compounds that contributes to the development of greenhouse gases and global warming. Wood-pellet can be considered as Estonia's own renewable energy but considering that pellet isn't made only from wood residue but also from logs, which could be used economically more reasonably. Also the wood-pellet contributes to CO₂ transmissions through transport, because you need to get the product from point A to point B. That can be done only by large trucks whose CO₂ admissions are really high.

When considering and comparing all three heating systems: natural gas, wood-pellet and heat pump, the most economically efficient solution is using a heat pump. From the three-options heat pump has the most longevity, it works on renewable resource and the annual costs are the lowest. In current circumstances the installation of the heat

pump would pay off in 12,8 years. When taken into account the prices of gas steadily going up in the last four years, the heat pumps pay off time might decrease.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Alakoski, E., Jämsén, M., Agar, D., Tampio, E., & Wihersaari, M. (2016). From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 376-383. Doi:10.1016/j.rser.2015.10.021
- Aloel, J. (2020). (T. autor, Intervjueerija)
- Bestair. (15 mai 2020). Maakütte paigaldus, hind ja elektrikulu. Kättesaadav: <https://www.bestair.ee/kasulikku/soojuspumpadest/maakutte-paigaldus-hind-ja-elektrikulu/>
- Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Martín, A. F., & González-Aguilera, D. (2019). Technical optimization of the energy supply in geothermal heat pumps. *Geothermics*, 81, 133-142. doi:10.1016/j.geothermics.2019.04.008
- British Petroleum Company. (2019). BP statistical review of world energy. London: British Petroleum Co.
- Cerbos. (15 mai 2020). Cerbos kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.cerbos.ee/>
- Cox, L. A. (2018). Socioeconomic and particulate air pollution correlates of heart disease risk. *Environmental Research*, 167, 386-392. doi:10.1016/j.envres.2018.07.023
- Cui, Y., Zhu, J., Twaha, S., Chu, J., Bai, H., Huang, K., ... Soleimani, Z. (2019). Techno-economic assessment of the horizontal geothermal heat pump systems: A comprehensive review. *Energy Conversion and Management*, 191, 208–236. doi: 10.1016/j.enconman.2019.04.018
- Current World Population. (15 mai 2020). Maaailma rahvaarv. Kättesaadav: <https://www.worldometers.info/world-population/>
- Dąbrowski, K., Kuczyński, S., Barbacki, J., Włodek, T., Smulski, R., & Nagy, S. (2019). Downhole measurements and determination of natural gas composition using Raman spectroscopy. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 65, 25-31. doi:10.1016/j.jngse.2019.02.003
- Dahl. (n.d.). Kodulehekülg. Kättesaadav: <https://dahl.ee/>
- Dahlquist E. Technologies for converting biomass to useful energy – combustion, gasification, pyrolysis, torrefaction and fermentation; 2013. p. 345–355.
- Dipippo, R., Renner, J. L. (2014). Geothermal Energy. *Future Energy*, 471-492. doi:10.1016/b978-0-08-099424-6.00022-3
- Eesti Gaas – (15 mai 2020.). Puhas energia. Kättesaadav: <https://www.gaas.ee/arikliendile/maagaas/>
- Eesti Geotermaalenergia Assotsiatsioon. (31.12.2013.). EGA kodulehekülg. Kättesaadav: <http://geothermal.org.ee/>

- Elering. (30.01.2019). Maagaasi tarbimine püsis mullu 2017. aasta tasemel. Kättesaadav: <https://elering.ee/maagaasi-tarbimine-pusis-mullu-2017-aasta-tasemel>
- Energiatalgud. (15 jaanuar 2015).Mõiste: Biomass. Kättesaadav: <https://energiatalgud.ee/index.php/M%C3%B5iste%3ABiomass>
- Esen, V.,Oral, B. (2016). Natural gas reserve/production ratio in Russia, Iran, Qatar and Turkmenistan: A political and economic perspective. *Energy Policy*, 93, 101-109. doi:10.1016/j.enpol.2016.02.037
- EPC. (2019). Bioenergy Europe. Statistical Report. Pellet. European Pellet Council. Brussels: Belgium.
- EPC. (2018a). Key Findings. European Bioenergy. Statistical Report. European Pellet Council, Brussels: Belgium.
- EPC. (2018b). Bioenergy Europe. Statistical Report. European Pellet Council, AEBIOM. Brussels: Belgium.
- EPC. (2017). Statistical Report. European Bioenergy Outlook. Pellet Market Overview. European Pellet Council. Brussels: Belgium.
- Euroopa Parlament. (2020). Euroopa Parlamendi teabeleht. Kättesaadav: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/et/sheet/72/kliimaatverandering-enhet-milieu>
- EÜ. (2019). The European Comisson ´s Knowledge Centre for Bioeconomy. Brief on Biomass for Energy in the European Union. European Commission European Commission, Joint Research Centre (2019), 10.2760/546943
- Faramawy, S., Zaki, T., Sakr, A. (2016). Natural gas origin, composition, and processing: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, 34-54. doi:10.1016/j.jngse.2016.06.030
- Fridleifsson, I. B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5(3), 299-312. doi:10.1016/s1364-0321(01)00002-8
- Gaasiküte. (31.12.2017). Gaasiküte. Kättesaadav: <http://www.ohutugaas.ee/>
- Gaspre. (31.12.2015). Gaspre kodulehekülg. Kättesaadav:, <http://www.gaspre.ee/>
- Gazprom. (15.05.2020).Gazprom kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.gazprom.com/about/>
- Gillessen, B., Heinrichs, H., Hake, J., & Allelein, H. (2019). Natural gas as a bridge to sustainability: Infrastructure expansion regarding energy security and system transition. *Applied Energy*, 251, 113377. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113377
- Graanul Invest. (20 aprill 2020). Pelletite info. Kättesaadav: <http://www.pellet.ee/pelletid/pelletite-info/>
- Graanul Invest ostis USA pelletitootja pankrotivarad. (15.05.2019) Kättesaadav: <https://www.err.ee/940657/graanul-invest-ostis-usa-pelletitootja-pankrotivarad>

- Han, C., & Yu, X. (B. (2016). Sensitivity analysis of a vertical geothermal heat pump system. *Applied Energy*, 170, 148–160. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.085
- Hemeltron. (15 mai 2020). Helmetron kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.hemeltron.ee/>
- Hoo, P. Y., Hashim, H., & Ho, W. S. (2018). Opportunities and challenges: Landfill gas to biomethane injection into natural gas distribution grid through pipeline. *Journal of Cleaner Production*, 175, 409–419. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.193
- Hydrocarbons technology. (23 jaanuar 2020). Kättesaadav: <https://www.hydrocarbontechnology.com/features/feature-the-worlds-biggest-natural-gas-reserves/>
- Jaup, H. (2019). *Sobivaim taastuenergia lahendus Puiestee 80a õppehoone jaoks*. [Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool Inseneritaduskond Tartu kolledž]. Kättesaadav: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/5719bc04-b10b-403f-9b69-03a797eec5c7>
- Jõelet, A., Gaškov, M., Polikarpus, M. (2012). *Soojussüsteemi puurkaevu ja -augu mõju põhjavee ja pinnase füüsikalistele omadustele ning põhjavee keemilisele koostisele Eesti tingimustes*. Kättesaadav: <https://www.envir.ee/sites/default/files/soojuspuuraukudearuanne2012.pdf>
- Kala, J. (2020). (T. autor, Intervjueerija)
- Kapp, E. (2018). *Investeeringu tasuvusanalüüs kavandatava puidupelletite tootmise näitel* ([Magistritöö, Eesti Maaülikool]). Kättesaadav: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4149/Elmar_Kapp_2018B_A_MN_t%3%a4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Kask, Ü., Muiste, P., Vares, V. (27 märts 2014). *Puitkütus*. Kättesaadav: https://energiatalgud.ee/index.php?title=Pilt:Kask,_%C3%9C.;_Muiste,_P.;_Vares,_V._Puitk%C3%BCtus.pdf
- Keçebaş, A., Coskun, C., Oktay, Z., Hepbasli, A. (2014). Comparing advanced exergetic assessments of two geothermal district heating systems for residential buildings. *Energy and Buildings*, 81, 141–151. doi:10.1016/j.enbuild.2014.05.041
- Khaligh, A., Onar, O. C. (2018). Energy Sources. *Power Electronics Handbook*, 725–765. doi:10.1016/b978-0-12-811407-0.00025-8
- Kliimaseade. (15 mai 2020). Kliimaseade kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.kliimaseade.ee/>
- Keskkonnaministeerium. (6 oktoober 2017). Kyoto protokoll. (2017). Kättesaadav: <https://www.envir.ee/et/kyoto-protokoll>
- Kubba, S. (2017). *Handbook of green building design and construction: LEED, BREEAM, and Green Globes*. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.
- Maa-ameti Geoportaal. (n.d.). Maa-ameti geoportaal. Kättesaadav: <https://geoportaal.maaamet.ee/>

- Maaküte. (n.d.). Kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.maakyte.ee/>
- Maaküte.info. (n.d.). Sõltumatu maasoojuspumpade infoportaal. Kättesaadav: <https://www.xn--maakte-6ya.info/>
- Metsamärt, I. (2016). *Ühepereelamu maasoojuspumba küttesüsteemi töö analüüs* [Magistritöö, Eesti Maaülikool]. Kättesaadav: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2946/Indrek_Metsam%c3%a4rt_2016BA_EG_T%c3%a4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Molavi, J., & McDaniel, J. (2016). A Review of the Benefits of Geothermal Heat Pump Systems in Retail Buildings. *Procedia Engineering*, 145, 1135–1143. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.147
- NOAA National Centers for Environmental Information. (16.01.2020) State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019. Kättesaadav: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>.
- Oidermaa, J-J. (25 september 2019). Kliimamuutus numbrites: Miks ja mis on juhtunud. Kättesaadav: <https://novaator.err.ee/984066/kliimamuutus-numbrites-miks-ja-mis-on-juhtunud>
- Paulillo, A., Striolo, A., Lettieri, P. (2019). The environmental impacts and the carbon intensity of geothermal energy: A case study on the Hellisheiði plant. *Environment International*, 133, 105226. doi:10.1016/j.envint.2019.105226
- Pelletküte. (2010). Pelletküte on keskkonnasõbralik. *Keskkonnatehnika*, 2, 28-29.
- Pinto, J. F., Graça, G. C. (2018). Comparison between geothermal district heating and deep energy refurbishment of residential building districts. *Sustainable Cities and Society*, 38, 309-324. doi:10.1016/j.scs.2018.01.008
- Pütter, M. (2017). The Impact of Social Media on Consumer Buying Intention. *Journal Of International Business Research And Marketing*, 3(1), 7–13. doi: 10.18775/jibrm.1849-8558.2015.31.3001
- Ranieri, E. D. (2016). Residential heating: What it takes to go green. *Nature Energy*, 1(1), 95-105. Doi:10.1038/nenergy.2015.25
- Renedo, C., Ortiz, A., Mañana, M., & Delgado, F. (2007). A more efficient design for reversible air–air heat pumps. *Energy and Buildings*, 39(12), 1244-1249. doi:10.1016/j.enbuild.2007.01.008
- Ritchie, H., Roser, M. (02.10.2017). Fossil Fuels. Kättesaadav: https://ourworldindata.org/fossil-fuels?utm_content=link5
- Rosen, M., Koohi-Fayegh, S. (2017). *Geothermal energy: Sustainable heating and cooling using the ground*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Roussey, B. (2019). Topp 5 Natural Gas Producers in The World. Kättesaadav: <https://www.energycentral.com/c/gn/top-5-natural-gas-producers-world>
- Schlesinger, W. H. (2018). Are wood pellets a green fuel? *Science*, 359(6382), 1328-1329. Doi:10.1126/science.aat2305

- Soojuskeskus. (2020). Kodulehekülg. Kättesaadav: <https://www.soojuskeskus.ee/>
- Speight, J. G. (2019). *Natural gas: A 49asic handbook*. Cambridge, MA, United States: Gulf Professional Publishing
- Taastuenergia aastaraamat* [PDF]. (2018). Kasutamise kuupäev: 2020. a., allikas Eesti Taastuenergia Koda: <http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2019/06/ETEK-Taastuenergia-aastaraamat-2018.pdf>
- Tamm, I., Metsur, M. (2012). *Geotermilise energia kasutamise võimalused Tartus*. Kättesaadav: https://www.tartu.ee/sites/default/files/5256_Aruanne_Geotermilise_energia_kasutamise_voimalused_Tartus.pdf
- Tanning, L. (2010). *Maailma energia ülevaade I. Nafta, gaas*. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- Tanning, L. (2010). *Maailma energia ülevaade III. Alternatiivsed, süsi, hüdro, tulevik*. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- Tartu Linna üldplaneering. (2020). Tartu Linna üldplaneeringuga kaardirakendus. Kättesaadav: <https://tartu.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=45ef64b4b16a4ffb8a469de7d681fe32>
- Tartu Tuli. (2018). Korstnapühkimine. Kättesaadav: <https://tuleohutus24.ee/korstnapuhkimine/>
- Tartu Ülikooli Füüsika Instituut. (15 mai 2020). E-ilmajaam Tartus Füüsikahoone katusel. Kättesaadav: <http://ilmajaam.physic.ut.ee/>
- Trømborg, E., Ranta, T., Schweinle, J., Solberg, B., Skjevraak, G., & Tiffany, D. G. (2013). Economic sustainability for wood pellets production – A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. *Biomass and Bioenergy*, 57, 68-77. doi:10.1016/j.biombioe.2013.01.030
- Trubetskaya, A., Poyras, Y., Weber, R., Wadenbäck, J. (2017), Secondary continuation of wood pellets in power plant and laboratory-scale mills. *Fuel Processing Technology*, 160, 216-227.
- U.S. Energy Information Administration – EIA – Independent Statistics and Analysis. (2019). Kättesaadav: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>
- Velling, S., Vaasma, T. (31.12.2013). Maagaasi eelised ja puudused. Kättesaadav: https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31289/maagaasi_eelised_ja_puudused.html
- Vendik, J. (2016). *Energitõhusa elamu sisekliimat tagavate seadmete elueakulude võrdlev analüüs*. [Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool]. Kättesaadav: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/d1214d29-442c-45a6-a6ff-44e6cdf70d8c>
- Viswanathan, B. (2017). *Energy sources: Fundamentals of chemical conversion processes and applications*. Amsterdam: Elsevier.

Värav, R. (24 märts 2010). Looduskaitseliit soovib soola asemel libedale teele sipelghapet. Kättesaadav: <https://m.forte.delfi.ee/article.php?id=29990637>

Võõrsõnade leksikon. (n.d.). Võõrsõnade leksikon. Kättesaadav: <https://www.eki.ee/dict/vsl/>

Zhang, J., Tan, Y., Zhang, T., Yu, K., Wang, X., & Zhao, Q. (2020). Natural gas market and underground gas storage development in China. *Journal of Energy Storage*, 29, 101338. doi:10.1016/j.est.2020.101338

LISAD

Lisa 1. Elva tn 36 eramu küttesüsteem aastatel 1935-1990



**Lisa 2. Elva tn 36 eramu küttesüsteem aastatel 1990-1994, keskkatel
tehnoruumis**



Lisa 3. Elva tn 36 eramu küttesüsteem aastast 1994, gaasikatel, tehnoruumis



Lisa 4. Tasuvustabel

Aasta	Maasoojuspump	Maagaas
1	10315+300	-1102
2	300	-1102
3	300	-1102
4	300	-1102
5	300	-1102
6	300	-1102
7	300	-1102
8	300	-1102
9	300	-1102
10	300	-1102
11	300	-1102
12	300	-1102
13	300	-1102
Kokku	14215	-14326
Vahe	111	

Allikad: Maaküte.info, n.d.; Eesti Energia AS, 2020; Eesti Gaas AS, 2020

Lisa 5. Maasoojuspumba ja maagaasi võrdlustabel

	Maasoojuspump	Maagaas
Tõhusus	tõhus ja energiasäästlik	suur kogus energiat põletatud ühiku kohta
	kütab ruume, toodab sooja vett	kütab ruume, toodab sooja vett
Radiaator, pörandaküte	saab kasutada pöranda- ja radiaatorküttega	saab kasutada pöranda- ja radiaatorküttega
Tuleohutus	Tuleohutu, kuna puudub põlemisprotsess	Gaasikatlal on leek, gaas ise on plahvatusohtlik
Keskkonnasõbralikkus	Keskkonnasõbralik	Maagaasi koostises on ühendid, mis põhjustavad kasvuhoonegaase nt. metaan
transport	Transport puudub, kuna maasoojuspump rajatakse krundile, kus on seda tarvis	transportimiseks on vaja teha mahukaid kulutusi, kuna on vaja rajada eraldi trassid gaasi transportimiseks
lekked	Lekked torustikus on harvad, kui lekkimise korral aurustub külmaaine	torustike lekked võivad viia plahvatusteni
tootmine	toodetakse kohapeal	Vaja rajada esmalt kaevandus, kust võimalik maagaasi saada, selleks on vaja teha kulutusi
torustike ehitus	Torustik paigaldatakse 0,8-3,2m sügavusele ning see ei tohi segada ega kahjustada põhjavee taset	Torustike ehitus mõjutab bioloogilist mitmekesisust, pärandit ja veevarusid
Rahaline väljaminek	Esmane väljaminek väga kulukas	Gaasikatel on alternatiividega võrreldes odav, kuid iga-aastane kulutus on suur
	Horisontaalsele kollektorile ei saa peale rajada midagi muud peale haljastuse, kuid õigesti paigaldatud kollektor ei sega taimede kasvu	Paigaldatakse tehnoruumi ning see ei sega muid toimetusi
Hooldamine	Vajab korralist hooldust 1x aastas, spetsialisti poolt	Vajab korralist hooldust 1-2x aastas spetsialisti poolt
Süsteemi töökindlus	Kergesti töötav süsteem, mida on kerge töökorras hoida. Juhtsüsteem juhib kogu küttesüsteemi	Juhtsüsteem juhib kogu küttesüsteemi.
Müratase	Madal	Madal

Allikad: Velling, Vaasma, 2013; Bestair, 2020; Pinto, Graca, 2018; Ranieri, 2016