



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

HALLVEE ENERGIATÕHUSUS KORTERMAJADES

GREYWATER ENERGY EFFICIENCY IN APARTMENT BUILDINGS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Lauri Špitsmeister

Üliõpilaskood 192201EAXM

Juhendaja: Alo Mikola, nooremteadur

(Tiitellehe pöördel)

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.

“20.” detsember 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“20.” detsember 2021

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Lauri Špitsmeister (sünnikuupäev: 28.01.1985)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Hallvee energiatõhusus kortermajades, mille juhendaja on Alo Mikola,

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.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Lauri Špitsmeister, 192201EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised
Juhendaja: Nooremteadur, Alo Mikola, +37256647035
Konsultant: Ragnar Paat, Juhatus liige/tootmisjuht Skawen AB,
+46 702 263 293, info@skawen.com

Lõputöö teema:

Hallvee energiatõhusus kortermajades
Greywater energy efficiency in apartment buildings

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hallvee soojustagastussüsteemi uurimine, häirete kaardistamine ja lahendamine Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmajas
2. Hallvee soojustagastussüsteemi efektiivsuse mõõtmine
3. Tõrgeteta töötava hallvee soojustagastussüsteemi mõju uurimine kortermajade energiatõhususele

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Halvee soojustagastuse alase kirjanduse ülevaade ja Paagi tn 10 sotsiaalmaja halvee soojustagastussüsteemi projektdokumentatsiooni ülevaade	01.09.21
2.	Süsteemi jälgimine ja ja süsteemi toimivust mõjutavate probleemide tuvastamine (Paagi 10, Tallinn sotsiaalmaja)	01.10.21
3.	Paagi tn 10 sotsiaalmaja mõõtmisandmete analüüs	01.11.21
4.	Halvee soojustagastuse mõju kortermajade energiatõhususele	20.11.21
5.	Lõputöö meetodite ja tulemuste osa lõplik kokkupanek, lõputöö vormistamine ja keelekorrekatuur	20.12.21

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "20" detsember 2021

Üliõpilane: Lauri Špitsmeister ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Alo Mikola ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: Ragnar Paat ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 HALLVEE SOOJUSTAGASTUS JA SELLE KASUTAMINE ELUHOONETES.....	10
1.1 Soe tarbevesi eluhoonetes	12
1.2 Hallvee soojustagastus hoonetes	12
1.2.1 Tsentraalsed soojusvahetid.....	13
1.2.2 Lokaalsed soojusvahetid.....	13
1.2.3 Soojuspumpadega soojustagastuslahendused	14
1.3 Eestisse paigaldatud süsteemid	14
2 MEETODID	16
2.1 Objekti kirjeldus	17
2.1.1 Hallvee soojustagastusseadme kirjeldus.....	20
2.1.2 Paagi tn 10, Tallinn hallvee soojustagastussüsteem	22
2.2 Katse ja mõõtmised	24
2.3 Arvutustes kasutatud valemid	26
2.4 Hallvee paagi hooldus.....	30
3 TULEMUSED	31
3.1 Hallvee soojustagastussüsteemi temperatuuride ja soojusenergia mõõtmised	32
3.1.1 Sooja vee kulu ja tsirkulatsiooni arvutus	33
3.2 Voolutugevuse mõõtetulemused	35
3.2.1 Süsteemi elektrivõimsuse määramine	35
3.3 Energiatõhususarvu määramine.....	37
3.4 Hallvee soojustagasti tööparameetrite logid	38
4 ANALÜÜS.....	39
4.1 Hallvee soojustagastussüsteemi soojustegur	39
4.2 Sooja tarbevee tsirkulatsioon	43
4.3 Süsteemi hinnanguline maksumus ja tasuvusaeg.....	47
4.3.1 Meetmed, kuidas süsteemi tasuvusaega lühendada	49
4.3.2 Ettepanekud soojusteguri suurendamiseks	50
4.4 Süsteemi mõju kortermajade energiatõhususele ja energiamärgisele	51
KOKKUVÕTE	57
SUMMARY.....	59
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	60
LISAD	62

EESSÕNA

Käesolev töö baseerub põhiliselt Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmajas teostatud mõõtmistel. Initsiatiivi töö teostamiseks andis Skawen AB tootmisjuht Ragnar Paat, mida toetas autori isiklik 13. aasta pikkune tehnosüsteemide projekteerimise kogemus.

Üliõpilastöö teema ja fookus sai paika alles töö tegemise ajal. Töö konseptsiooni tutvustati nii Raimo Simsonile kui ka Alo Mikolale. Mõlemad olid töö sisust huvitatud ning esimesena oli nõus juhendama Alo Mikola.

Autor tänab kõiki, kes olid töö valmimisel abiks nii nõuga kui ka jõuga. Juhendajaga oli autor üldiselt samal lainel, mistõttu oli info ja mõtete vahetamine lihtne ja kiire.

Eriline tänu Skawen AB hooldusmeeskonnale. Taavi Jõgi oli lihtsalt peaaegu alati valmis objektile tulema ja jõuga abistama (nt soojusarvestite paigaldus, seadmest andmete väljakirjutamine jne).

Hallvesi, Soojusvaheti, Tsirkulatsioon, Bakter, Energiatõhusus, Magistritöö

SISSEJUHATUS

Tehnosüsteemide energiatõhusus tänapäeva kortermajades on väga olulise tähtsusega, sest see moodustab kogu hoone elukaarest märkimisväärse osa. Kortermajade rajamisel pannakse suurt rõhku kütte ja ventilatsioonisüsteemide efektiivsusele ning võib öelda, et nendes süsteemides on nn lagi juba väga lähedal.

Reoveekanaliseerimine (käesolev töö keskendub ainult kanalisatsiooni hallvee osale) kortermajades omab samuti energiapotentsiaali. Seda kinnitab tõsiasi, et igapäevaselt voolab nendest hoonetest kanalisatsiooni olmereovesi, mille temperatuur võib olla vahemikus 20-30°C. Soojusenergiat, mida sellisest veest ammutada, on piisavalt.

Täna päeval on hallvee soojustagastussüsteemide efektiivsus ja töökindlus vägagi küsitav ning neid on rajatud minimaalselt.

Lõputöö autor on projekteerinud kütte-, ventilatsiooni-, jahutuse-, veevarustuse- ja kanalisatsioonisüsteeme juba 15 aastat, kuid ainult mõned üksikud hallvee soojustagastussüsteemid mahuvad sellesse perioodi.

Käesolev üliõpilastöö keskendub hallvee soojustagastussüsteemi uurimisele kortermajades. Hallvesi on olmereovesi, millest on eraldatud uriin ja fekaal. Teisisõnu, kanalisatsioonis voolav vesi, millesse ei ole ühendatud WC-potte. Erinevates ujulates ja veekeskustes on hallveest soojust ammutatud viimased 15-20 aastat. Need süsteemid on töötanud suurepäraselt ning saanud väga head tagasisidet.

Aastal 2016 koostati Tallinna Linnvaraameti sotsiaalmajale Paagi tn 10, Tallinn rekonstrueerimisprojekt. Projekteerimisfaasi alguses olid olemas andmed hoone veetarbimise kohta, milleks oli ca 30 m³/ööpäevas. Seetõttu oli töö autoril, kui tehnosüsteemide projekteerijal, suur huvi näha sellisele majale ette hallvee soojustagastussüsteem, mis ka mainitud rekonstrueerimisprojekti käigus realiseeriti. Lõputöö alguseks oli töö autorini jõudnud Ragnar Paadilt tagasiside, et keegi tegelikult ei tea, millise efektiivsusega antud süsteem töötab. Süsteemi töös esineb häireid ning korralikult ei olegi projekteeritud süsteemi veel tööle saadud.

Töös uuritakse Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmaja hallvee soojustagastussüsteemi tööd. Enne uurimuse alustamist oli teada, et väljaehitatud süsteemi töös esineb tõrkeid, mida sooviti lahendada. Nende häirete kaardistamine ja lahendamine on töö esimeseks eesmärgiks.

Töö teine eesmärk on süsteemi efektiivsuse mõõtmine, millele keskendutakse käesolevas töös kõige intensiivsemalt. On oluline teada, millise efektiivsusega süsteem töötab, et võrrelda analoogseid hallvee soojustagastuse lahendusi erinevates kortermajades.

Töö põhieesmärk on analüüsida tõrgeteta töötava süsteemi mõju kortermajade energiatõhususele. Näidata, kas ja millisel määral uuritav hallvee soojustagastuse süsteem hoone energiatarvet mõjutab.

Töö esimeses etapis kirjeldatakse hallvee soojustagastuse põhimõtet ning erinevaid lahendusi. Samuti antakse ülevaade rajatud hallvee soojustagastussüsteemide rakendamisest Eestis.

Töö teises etapis kaardistatakse ja mõõdetakse kõik vajalikud süsteemi parameetrid, et oleks võimalik süsteemi tööd, soojustegurit ja energiakulu kirjeldada. Lisaks vaadeldakse süsteemi tööd pikema aja vältel selleks, et tuvastada süsteemis muud häiringud, mida mõõtmistulemused ei näita.

Töö kolmandas etapis esitatakse mõõtmisandmed ja kõik muud tulemused, mille abil saab uuritavat hallvee soojustagastussüsteemi numbriliste väärtustega kirjeldada.

Üliõpilastöö põhiosa kolme esimese etapi võtab kokku peatükk 4, kus analüüsitakse ja võrreldakse analüütilisi ja mõõdetud tulemusi võttes arvesse väljakutseid, mis tulevad ette süsteemi hooldamisel. Tulemuste analüüsil on rõhk leidmaks süsteemi optimaalseid tööparameetreid, tehnilisi piiranguid ja iseärasusi ning nende mõju kortermajade energiatõhususele.

1 HALLVEE SOOJUSTAGASTUS JA SELLE KASUTAMINE ELUHOONETES

Väljakutsed, mis on tingitud globaalsetest kliimamuutustest, survestavad ühiskonda rohkem kasutama uusi süsteeme, mis ammutavad energiat soojusest, mida hoonetes ära ei kasutata [1]. Üheks selliseks soojusenergia allikaks on hoonetest väljuv reovesi. Reovee soojust saab ära kasutada nii lokaalselt (hoone põhiselt) kui ka ühiskanalisatsiooni puhastusjaamas.

Reovee soojusenergiat on edukalt kasutatud mitmete riikide reoveepuhastusjaamades. Uuringud tsentraalse reovee soojustagastuse kohta Šveitsis[2], Venemaal[3], Horvaatias[4] ja Skandinaavias[2], [5] on andnud palju positiivseid signaale. Reoveest soojuse ammutamiseks kasutatakse maailmas üldiselt soojuspumpasid. Üle maailma kogutud andmete põhjal on sõltuvalt soojuspumba asukohast (lokaalne vs tsentraalne) soojuspumpade soojustegur väga erinev.

Meggersi ja Leibundguti uuring näitab, et soojuspumpade keskmine soojustegur tsentraalse soojustagastussüsteemi puhul on 3 ning lokaalse süsteemi korral 7[6]. Soojusteguri erinevuse põhjustab peamiselt reovee temperatuuri erinevus. Enne hoonest väljumist on reovee temperatuur oluliselt kõrgem kui reoveepuhastusjaama jõudmisel.

Bertrand A, Aggoune R, Maréchal F uurimus näitab, et hoonete hallvee soojustagastuse kasutamiseks on võimalik 6,3% hoone üldist energiakulu vähendada [7]. Alnahhal ja Spremberg on aga oma töös demonstreerinud, et 30% sooja tarbevee valmistamiseks kuluvast soojusenergiast on võimalik saada hoonete hallvee soojustagastusest [8].

On uurimusi, mis käsitlevad erinevaid hallveest soojustagastuse viise. Kõikide hoonepõhiste lahenduste eesmärk on juhtida ühiskanalisatsiooni võimalikult madala temperatuuriga reovett [9].

Mõningad näited erinevatest soojustagastuse lahendustest:

- toru-torus soojusvaheti
- plaatsoojusvaheti
- vesi-vesi soojuspump
- toru-torus soojusvaheti + soojuspump
- ...

Stockholmi näitel saab suuremal või vähemal määral edukalt reoveest soojust ammutada ka tsentraalset andes tagastatud soojusenergia kaugküttesüsteemi [9]. Stockholmis on kaugkütte ettevõtte Stockholm Exergi investeerinud soojuspumpade süsteemi, mis on paigaldatud Hammarby lõuna osas paiknevasse reoveepuhastusjaama. Soojuspumpadega toodetud soojus antakse otse kaugküttevõrku. Soojuspumbad töötavad seal keskmise soojusteguriga 3,5. Soojuspumpade soojusvõimsuseks on 248 MW [10]. Elektrivõimsus soojuspumpade töös hoidmiseks on 71 MW [10]. Stockholmis on keskmine hoonetest väljuv reovee temperatuur +25°C. Tööstuslikud soojuspumbad on võimelised alandama reovee temperatuuri 5-20°C võrra.

Lokaalsete hallvee soojustagastite kasutamine on kõige efektiivsem, kuid suuremas pildis võib see kaasa tuua ka negatiivset mõju reovee käitlusele. Probleemid tekivad siis kui reovee puhastusjaamadesse jõuab reovesi temperatuuriga <10°C, sest on teada, et bioloogilised protsessid reoveepuhastites aeglustuvad, kui reovee temperatuur langeb alla 10°C. Lokaalsete hallvee soojustagastite kasutamise üks eeldusi on see, et ühiskanalisatsioonisüsteemis on sademevesi ja reovesi eraldatud ehk siis ühisvoolset kanalisatsiooni on minimaalselt või üldse mitte. Sademevesi omab reovee temperatuuri vähendamisele kõige suuremat mõju.[9]

Eelnev tähendab seda, et reoveepuhastusjaamades jääb alati reoveekanaliseerimisele soojustagastuse potentsiaal alles, sest optimaalne reovee temperatuur on >10°C. Tsentraalsel reoveekanaliseerimisele soojustagastussüsteemil oleks kindlasti positiivne mõju kaugkütte soojusenergia hinnale ja tootmisele. Käesoleva töö koostamise hetkel toodab AS Utilitas Tallinna kaugküttevõrku soojust 40% ulatuses maagaasiga. Maagaasi osa vähendamine on oluline energiatõhususele ja – sõltumatusle (sh julgeolekule).

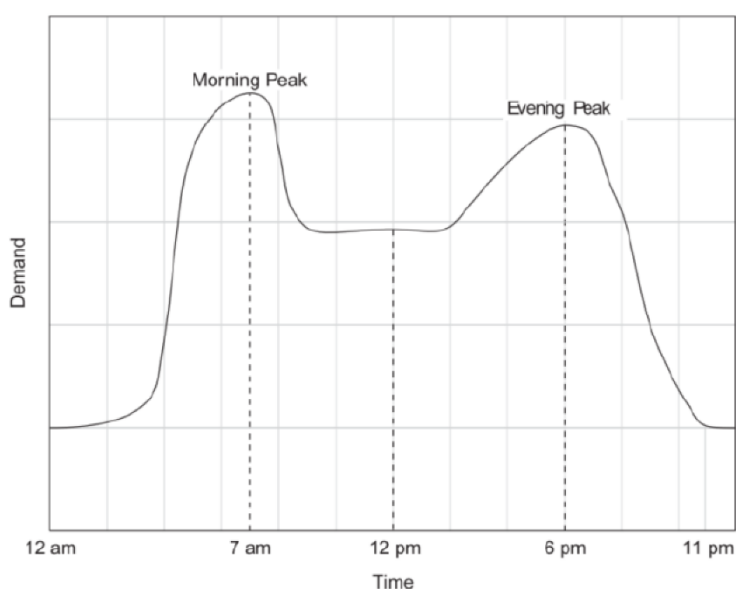
Seega tulevikus tuleb Eestis suuremates linnades samuti kasutada nii tsentraalseid kui lokaalseid hall- ja reovee kanalisatsiooni soojustagastussüsteeme. Seda kinnitavad edukalt Stockholmi tänaseks rajatud süsteemid ja nendega kaasnev poliitika.

Ühe uurimuse kohaselt sisaldub kanaliseeritavas vees 80-90% veesoojendist lisatud soojusenergiast [11]. Kasutades erinevaid hallvee soojustagastuse võimalusi, on võimalik rakendatavatest tehnoloogilistest lahendustest ning tarbimisprofiilide spetsiifilisest olenevalt, soojust utiliseerida 20-50% kasutatud energiast. Seeläbi on võimalik suurendada hoonete energiatõhusust, vähendada eksploatatsioonikulud ning CO₂ emissiooni [12].

1.1 Soe tarbevesi eluhoonetes

Selleks, et mõista hallvee soojustagastuse potentsiaali laiemas kasutuses, on vaja sooja vee tarbimisandmeid nii üksikute seadmete, tüüpsete majapidamiste kui ka tsentraalse veevõrgu seisukohalt. Munitsipaalvõrkude veetarvet iseloomustab veetarbimise varieeruvus ööpäeva vältel. Elurajoonidele on iseloomulik kahe tipuga tarbimisprofiil, mida iseloomustavad maksimumid hommikul ja õhtul, mis tulenevad vastavalt tööpäeva-eelsetest ja tööpäeva-järgsetest hügieenitoimingutest, toidu valmistamisest jms (vt joonis 1) [13].

Sarnast ööpäevast tarbimisrežiimi täheldati ka sooja vee puhul 2003-2005 Tallinnas Mustamäel läbi viidud uuringus, milles vaadeldi tarbimist 23-s korterelamus [14].



JOONIS 1 Vee tarbimise tüüpprofiil

1.2 Hallvee soojustagastus hoonetes

Hoone tasandil võib soojustagastustehnoloogiad lugeda kolmeks:

- tsentraalsed (hallvee kogumismahutiga) soojustagastussüsteemid
- lokaalsed (sanitaarseadmete vahetus läheduses paiknevad) vastuvoolutüüpi soojusvahetid
- hallvee soojustagastussüsteemide lahendused, mis kasutavad süsteemi efektiivsuse (sh soojusvõimsuse) tõstmiseks soojuspumpasid[12]

1.2.1 Tsentraalsed soojusvahetid

Tsentraalsed soojusvahetid on tehnoloogiliselt üks lihtsamaid ja enim uuritud lahendusi hoone hallvee soojustagastuse tehnoloogiate hulgast. Süsteemid koosnevad üldjuhul tsentraalsest hallvee kogumismahutist, millest juhatakse läbi külma vee torustik. Sobiva temperatuurikarakteristika tõttu on hallvee kogumispaaके kasutatud ka soojusallikana soojuspumpadele. Eksisteerib ka kogumispaaगिता lahendusi, kuid neid on rakendatud üldjuhul suuremates hoonetes, kus on suur tõenäosus hallvee ja külma tarbevee üheaegseks vooluks läbi soojusvaheti.[12]

Nt on analoogne süsteem ehitatud Viimsi koolihoonesse. Rajatud on hallvee kogumismahuti, mille põhja on paigaldatud tiheda paigaldussammuga tarbevee vasksiug. Sellise soojusvahetiga tagatakse sooja tarbevee eelsoojendamine. Süsteemi kõige suurem miinus on see, et vasktorustik kattub üpris kiiresti vetikaga, mis hakkab toimima soojusisolaatorina. Tulemuseks on ebatõhus soojusvahetus. Selleks, et süsteem toimiks maksimaalse efektiivsusega, tuleb hallveepaaki (sh torustikku) vähemalt iga nädalaselt põhjalikult puhastada ja hooldada.

1.2.2 Lokaalsed soojusvahetid

Lokaalsete soojusvahetitekena on mõeldud soojusvaheteid, mis kasutavad standardses paigalduses vee eelsoojendamiseks ühe sanitaarseadme poolt toodetud hallveevoogu. Erinevalt kogumispaaगिता tsentraalsetest soojusvahetitest, nõuavad kohtsoojustagastid tarbe- ja hallvee üheaegset voolamist (kas paralleelselt või vastuvoolus), et saaks toimuda arvestatav soojusülekanne.

Sarnaselt muude soojusvahetitega, töötavad need vedelike temperatuuride erinevuse põhjal, kuid vastavalt paigaldusviisist ning tööpõhimõttest võib neid omakorda klassifitseerida horisontaalse ja vertikaalse paigaldusega soojustagastiteks. Tööpõhimõttest tulenevalt jagunevad need soojustagastid omakorda plaatsoojusvahetiteks, toru-torus tüüpi soojusvahetiteks ning spiraalstruktuuriga soojusvahetiteks.[12]

Põhjaliku ülevaate sellistest soojustagastussüsteemidest annab Karl Sachrise üliõpilastöö „Hallvee soojustagastuse kohtseadmete tehnoloogiate ülevaade horisontaalpaigaldusega duši soojustagasti uuringuga“[12].

1.2.3 Soojuspumpadega soojustagastuslahendused

Soojuspumbad on seadmed, mille abil on võimalik liigutada, rakendades välist tööd, soojusenergiat madalama temperatuuriga kehalt kõrgema temperatuuriga kehale, vastupidiselt loomulikule soojusülekandele. Soojuspumpade kasutamine võimaldab utiliseerida suuremat hulka soojusenergiat kui tavalised soojusvahetid. Seejuures võimaldab soojuspump kasutada hallvees sisalduvat energiat ka ruumide kütteks.[12]

Ühes Šveitsis läbiviidud uuringus uuriti soojuspumbaga hallvee soojustagastussüsteemi. Süsteemis oli hallveemahuti, kus hallvette oli paigaldatud soojusvaheti, millega tehti õhk-vesi soojuspumba läbivale välisõhule eelkütet. Süsteemi eesmärgiks oli lihtsus, et oleks võimalik seda paljudele olemasolevatele õhk-vesi soojuspumba pealt köetavatele hoonetele paigaldada. Sõltuvalt tingimustest, suudeti sellise lahendusega õhk-vesi soojuspumba soojustegurit tõsta 0,6 – 7,5%. Uurimusega tõdeti, et selline soojusteguri tõus ei ole süsteemi rajamise seisukohast tasuv. Lisaks koostati analüüs, kus uuriti suletud soojuspumba süsteemi. Suletud süsteemis jahutab soojuspumba aurusti hallvett selleks, et sooja toota. Järeldati, et sellised suletud süsteemid sobivad pigem suure sooja vee tarbimisega hoonetesse nagu hotellid ja ujulad.[15]

Käesolev töö annab põhjaliku ülevaate hallvee soojustagastussüsteemist, kus on kasutusel tsentraalne hallvee mahuti, toru-torus soojusvaheti ja soojuspump.

1.3 Eestisse paigaldatud süsteemid

Käesolev peatükk annab ülevaate, millistesse hoonetesse Eestis on paigaldatud analoogsed hallvee soojustagastussüsteemid, mida antud üliõpilastöös uuritakse. Uuritavat soojustagastussüsteemi on eelkõige rajatud ujulatesse ja veekeskustesse. Nendes hoonetes on süsteemi läbivad kanalisatsiooni vee vooluhulgad pigem suured ja väga suured, sest basseinide ja mullivannide filtrite pesuvesi on võimalik suunata hallvee soojustagastussüsteemi.

Esimene analoogne hallvee soojustagastussüsteem paigaldati Eestis Keila tervisekeskusesse aastal 2000 ning see töötab tänaseni. Kaasaegsemates projektides on seadmete kasutusmugavust ja otstarvet optimeeritud. Tehnoloogiliselt on kasutusel nii avatud kui suletud hallveepaakidega süsteeme, sõltuvalt vee mahtudest ja kasutusotstarbest.

TABEL 1 *Eestisse paigaldatud Menerga hallvee soojustagastusseadmed*

Seade	Objekt	Aasta
442412	Keila tervisekeskus	2000
441221	Keila tervisekeskus	2000
440831	Kurassaare, Sillamäe	2001
443632	Hotel Veekeskus, Pärnu	2003
445433	Kalev Hotel-SPA, Tallinn	2005
442432	Tallink SPA Hotell, Tallinn	2006
441231	Kümblus-SPA, Pärnu	2006
441231	Tervise sanatoorium, Pärnu	2006
441831	Haabersti Vabaajakeskus, Tallinn	2007
441831	Estonia SPA, Pärnu	2007
442432	Narva Jõesuu SPA	2008
441231	Loksa ujula, Loksa	2008
441831	Tartu Arctic SPA, Tartu	2008
441831	Audentes ujula, Tallinn	2008
442432	Spordiklubi Reval Sport, Tallinn	2012
445433	Tervise sanatoorium, Pärnu	2012
445413	Tervise sanatoorium, Pärnu	2012
442432	Varbla Kalakasvandus, Pärnumaa	2013
441231	Tabasalu Spordikompleks, Tabasalu	2013
440831	Estonia SPA, Pärnu	2015
441221	Narva Sisekaitseakadeemia õppehoone, Narva	2019
441221	Paagi tn 10 sotsiaalmaja, Tallinn	2019
441221	Sõpruse pst 5 sotsiaalmaja, Tallinn	2019

2 MEETODID

Töö baseerub Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmaja hallvee sojustagastussüsteemi monitoorimisel. Mõõtmistulemuste alusel selgitatakse välja uuritava hallvee sojustagastussüsteemi efektiivsus ning tuuakse välja erinevad asjaolud, mis seda ekspluatatsioonis mõjutavad.

Vee tarbimise määramiseks kasutatakse hoone veearveid. Kõik parameetrid hallvee sojustagastusseadmest logitakse. Lisaks paigaldatakse süsteemi sojusarvestid, temperatuuriandurid ja ampertangid selleks, et mõõta süsteemi kui terviku toimivust.

Sooja tarbevee tsirkulatsiooni osa ja süsteemi elektriline võimsus leitakse arvutuslikult vastavalt temperatuuride, soojusenergia ja voolutugevuse mõõtmistulemustele.

Uuritava süsteemi mõju hoonete energiatõhususele määratakse analüütiliselt kasutades referentshoonete energiamärgiste arvutusi. Kõikide energiatõhususe arvutuste aluseks on kehtivad energiatõhususe miinimumnõuded.

2.1 Objekti kirjeldus

Sotsiaalmaja Paagi tn 10, Tallinn rekonstrueeriti täielikult 2017. aastal. Hoone projekteeritud energiatõhususe klass on A. Selleks nähti hoonele ette hallvee soojustagastussüsteem ja katusele elektrit tootvat päikesepaneelid.



JOONIS 2 Paagi tn 10, Tallinn Sotsiaalmaja

Kortermaja katlaruumi nr 001 on paigaldatud kaks maagaasi kondensatsioonikatelt, kust toimub edasine hargnemine lõpptarbijate suunas.

Hoonesse on rajatud radiaatorküte, elektriline põrandküte (niiskete ruumide mugavusküttena), ventilatsiooni kalorifeeride küte ning sooja tarbevee küte.

Sooja tarbevee eelkütteks kasutatakse hallvee soojuspumpa. Sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse jadamisi ühendatud soojaveemahuteid. Projekti järgi teostatakse tarbevee mahutites (kogumahuga 4 m³) hallvee soojuspumba süsteemiga (soojusvõimsus 25 kW) eelkütet kuni temperatuurini 42°C. Peale mahuteid tõstetakse tarbevee temperatuur läbi tarbevee soojusvaheti (gaasikatel) vähemalt 55 kraadini. Tarbevee küte on väljaehitatud nii, et hallvee soojuspumba avarii korral on võimalik tarbevee soojusvahetiga kütta tarbevee mahuteid.

Hoone õhuvahetuse tagamiseks on paigaldatud soojustagastusega mehaanilised sissepuhke/väljatõmbe ventilatsioonisüsteemid.

Projektiga on ette nähtud järgmised veevarustuse süsteemid:

- Paagi tn 10 hoone majandus-joogivee süsteem V1
- Paagi tn 8 hoone majandus-joogivee ühendus süsteem V2

Hoone veevarustus saadakse 2 x de110 veesisenditest hoonesse. Läbi Paagi tn 10 hoone peaveemõõdusõlme varustatakse majandus-joogiveega ka Paagi tn 8 kinnistul paiknevat hoonet.

Süsteemi V1 arvutuslikud vooluhulgad on järgmised:

- | | |
|---|-----------|
| • Majandus-joogivesi külm | 5.30 l/s |
| • Majandus-joogivesi soe | 4.50 l/s* |
| • Maksimaalne tunnine tarbimine külm | 1.42 l/s |
| ○ sh maksimaalne tunnine tarbimine külm | 0.72 l/s |
| • Maksimaalne päevane tarbimine külm | 0.20 l/s |
| ○ sh maksimaalne päevane tarbimine soe | 0.01 l/s |
| • Sooja tarbevee tsirkulatsiooni arvutuslik vooluhulk | 0.70 l/s |

* *tarbevee soojusvaheti soojusvõimsuse arvutamiseks/projekteerimiseks kasutati temperatuurigraafikut 42/55°C.*

Hoonesse on ette nähtud A-klassi ehitisesisene tuletõrjevõrk.

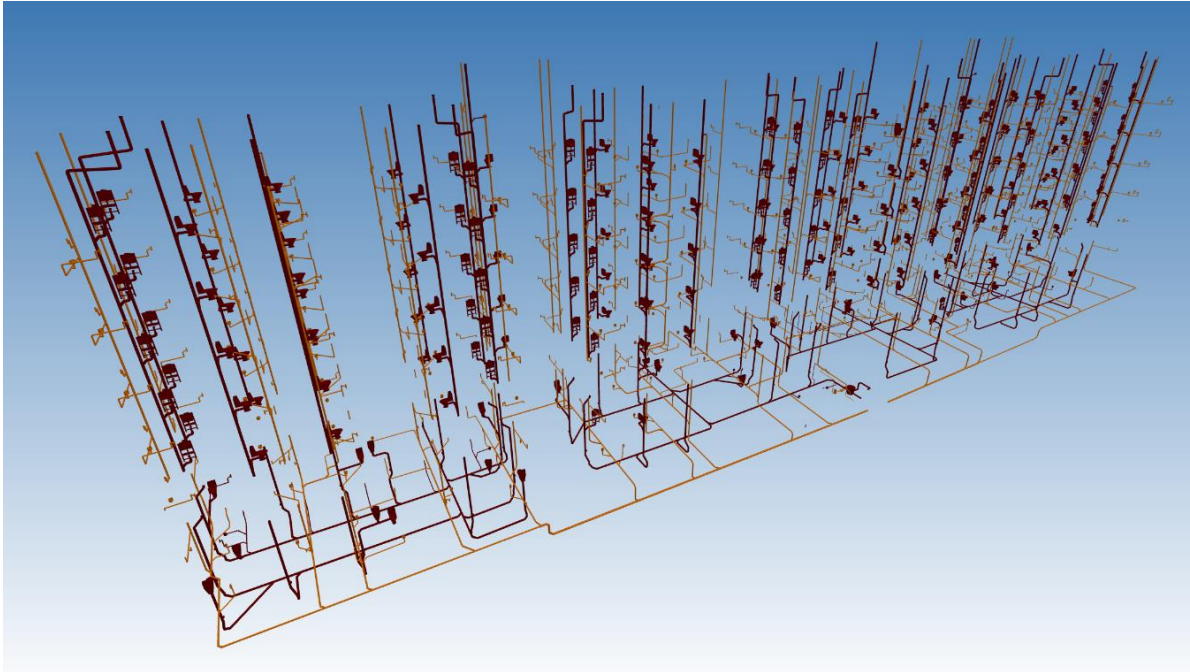
Hoonesse on rajatud isevoolsed olmekanaliseerimisüsteemid:

- K1 – nn musta vee süsteem
- K2 – nn hallvee süsteem

Must reovesi juhatakse isevoolsel teel hoonest välja ühiskanalisatsiooni. Süsteemiga K1 on ühendatud kõik hoone WC potid.

Väljaehitatud hallvee süsteem

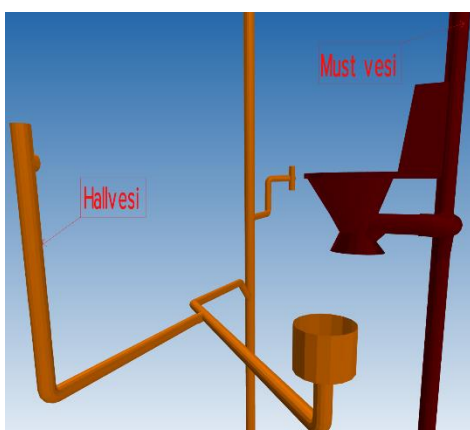
Hall reovesi juhatakse isevoolsel teel hoone keldris asuvasse mahutisse (vt lisa 5). Mahuti on ühendatud hallvee soojustagastusseadmega, mida kasutatakse sooja tarbevee valmistamiseks. Hallvee süsteemiga K2 on ühendatud kõik hoone valamute haisulukud ja trapid (va kelder). Kõik süsteemi K2 torustikud on soojusisoleeritud. Peale soojuse utiliseerimist juhatakse hall reovesi isevoolsel teel hoonest välja ühiskanalisatsiooni.



JOONIS 3 Paagi tn 10, Tallinn kanalisatsioonisüsteemide aksonomeetria

Joonisel 3 on toodud uuritava objekti kanalisatsioonisüsteemi lahendus. Projekteeritud olmekanalisatsioonisüsteemid kujutavad endast eraldi püstikuid mustale ja hallveele. Kõik püstikud kogutakse keldrikorrusel kokku ja juhitakse hoonest välja. Kõik püstikud on varustatud hoone katusel tuulutussotsikutega.

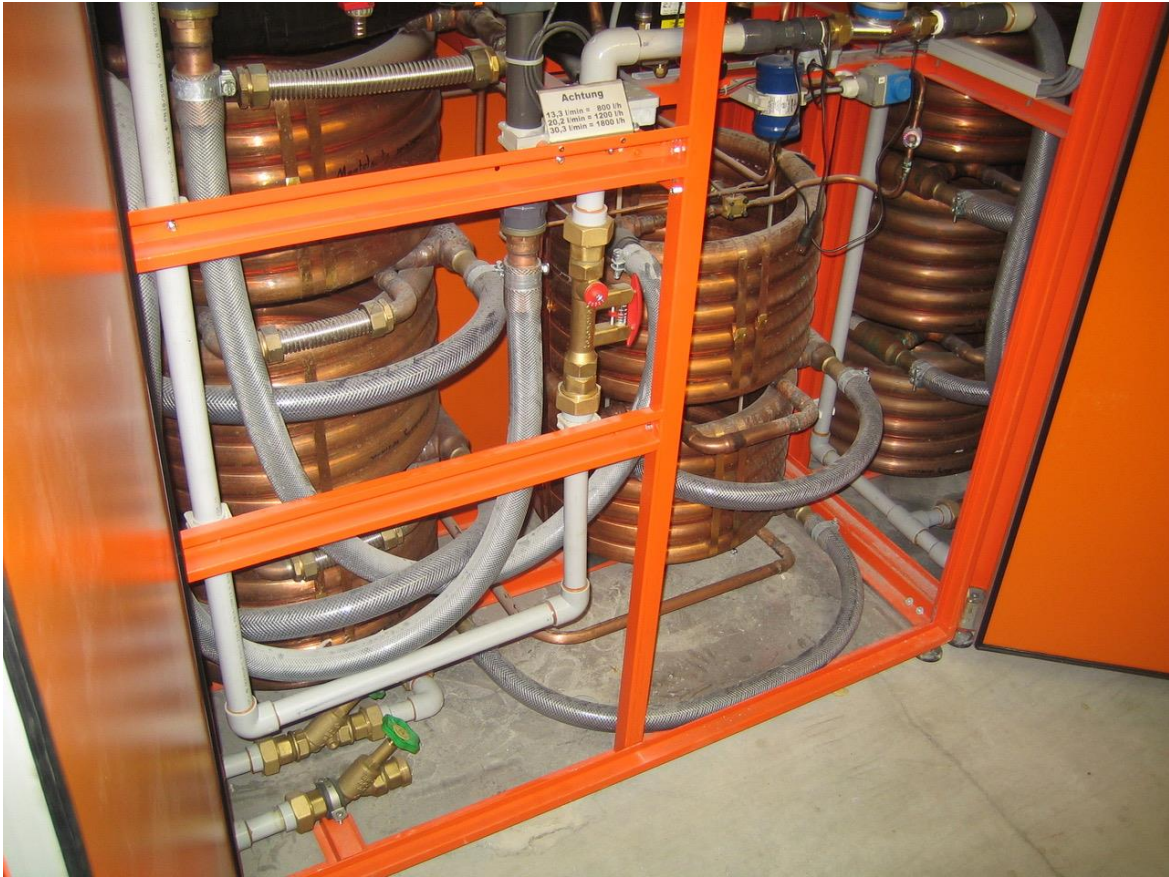
Joonis 4 kirjeldab projekteeritud olukorda korteri põhiselt. Musta vee süsteemiga on ühendatud ainult WC-potid. Kõik ülejäänud sanitaarseadmed ja trapid on juhitud hallvee süsteemi.



JOONIS 4 Ühe korteri kanalisatsioonisüsteemi aksonomeetria

2.1.1 Hallvee soojustagastusseadme kirjeldus

Uuritavasse kortermajja on projekteeritud Systemair AB gruppi kuuluva brändi Menerga hallvee soojustagastusseade.



JOONIS 5 Foto seadmest

Seade koosneb toru/torus soojusvahetist, kompressorist, automaatikast ja muudest väiksematest detailidest. Toru/torus soojusvahetit (joonis 6 "Recuperator") kasutatakse soojusenergia ammutamiseks hallveest ja selle ülekandmiseks värsele veele. Kasutatud hallvesi voolab läbi soojusvaheti ja soojuspumba aurusti (joonis 6 "Evaporator") kanalisatsiooni. Sama kogus värsket vett voolab aga tagasi läbi soojusvaheti teise poole ja soojuspumba kondensaatori (joonis 6 "Condenser").

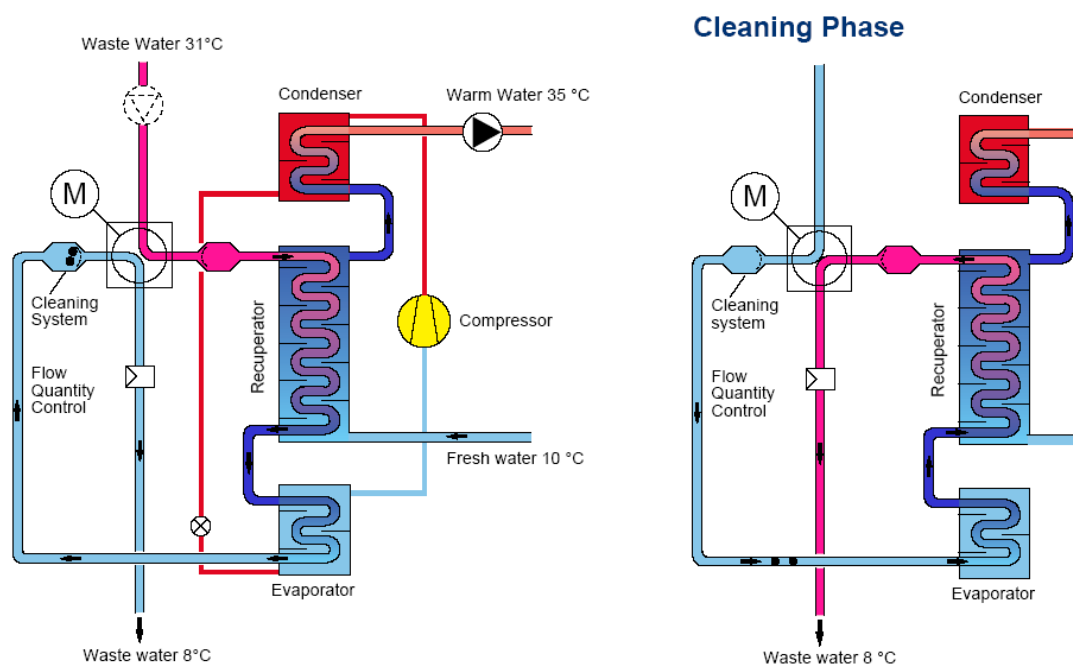
Ideaalsetes tingimustes on seadme elektriliseks kasuteguriks mõõdetud ~10.

Soojusvahetis antakse suur osa hallvee soojusest vahetult üle värsele veele, ilma täiendava energiakuluta. Soojuspumba aurustiga võetakse heitveelt viimane hulk soojust, jahutatades selle temperatuurini, mis on madalam kui seadmesse saabuva värse vee temperatuur. Saadud soojus kantakse kompressori abil üle

kondensaatorisse, kus sellega soojendatakse värsket vett, mis on soojusvahetis juba eelsoojendatud.

Seadme töötamise eelduseks on optimaalne hallvee ja sooja tarbevee mahutite süsteem. Hallvee mahutisse kogunenud vesi pumbatakse ühtlases koguses soojusvahetisse. Värske vee akumulatsioonimahuti/te maht on üldjuhul samas suurusjärgus hallvee mahutiga vastavalt hoone veetarbimise iseloomule.

Seadme töökindlus on tagatud automaatse toru/torus soojusvaheti puhastussüsteemiga. Soojusvaheti on valmistatud katkematust ja sama läbimõõduga torust ning selle puhastamiseks on ette nähtud nn švammist kuulid. Need kuulid juhitakse süsteemis rakendatava survega läbi toru kasutades ajamiga 4-tee reguleeriventili (joonis 6 "M"). Üldiselt saab puhastussagedust vastavalt hallvee mehaanilistele omadustele reguleerida, kuid tehase eelseadistusena toimub see iga tunni aja tagant selleks, et tagada süsteemi efektiivsus.



JOONIS 6 Seadme töö- ja puhastusprotsessi skeem

2.1.2 Paagi tn 10, Tallinn hallvee soojustagastussüsteem

Rajatud on eraldi kanalisatsioonitorustikud hallveele ja mustale veele. Kanalisatsioonitorustik koondab keldrikorrusel kõik hoone hallveed konstruktiivsesse kogumismahutisse. Mahuti on rajatud betoonist ning soojustatud 100 mm paksuste „styrofoam“ soojustusplaatidega. Mahutile on peale ehitatud soojustatud kaas. Kaane keskele on paigaldatud hooldusluuk läbimõõduga 630 mm. Mahuti suurus on 8 m³.

Värske vee akumulatsioonimahuteid on tehnilisse ruumi paigaldatud 4 tk, kogumahuga 4 m³. Mahutitena on kasutatud firma Atlantic tooteid „Corhydro 100 TB“. Paigaldatud on hallvee soojustagastusseade „Menerga AquaCond 441221“. Seadme tehniline info vt lisa 1. Soojustagastusseade koos tarbevee akumulatsioonimahutitega on ühendatud hoone soojussõlmega joonis 7 skeemi järgi.

Sooja tarbevee eelkütte töö põhimõte on järgmine:

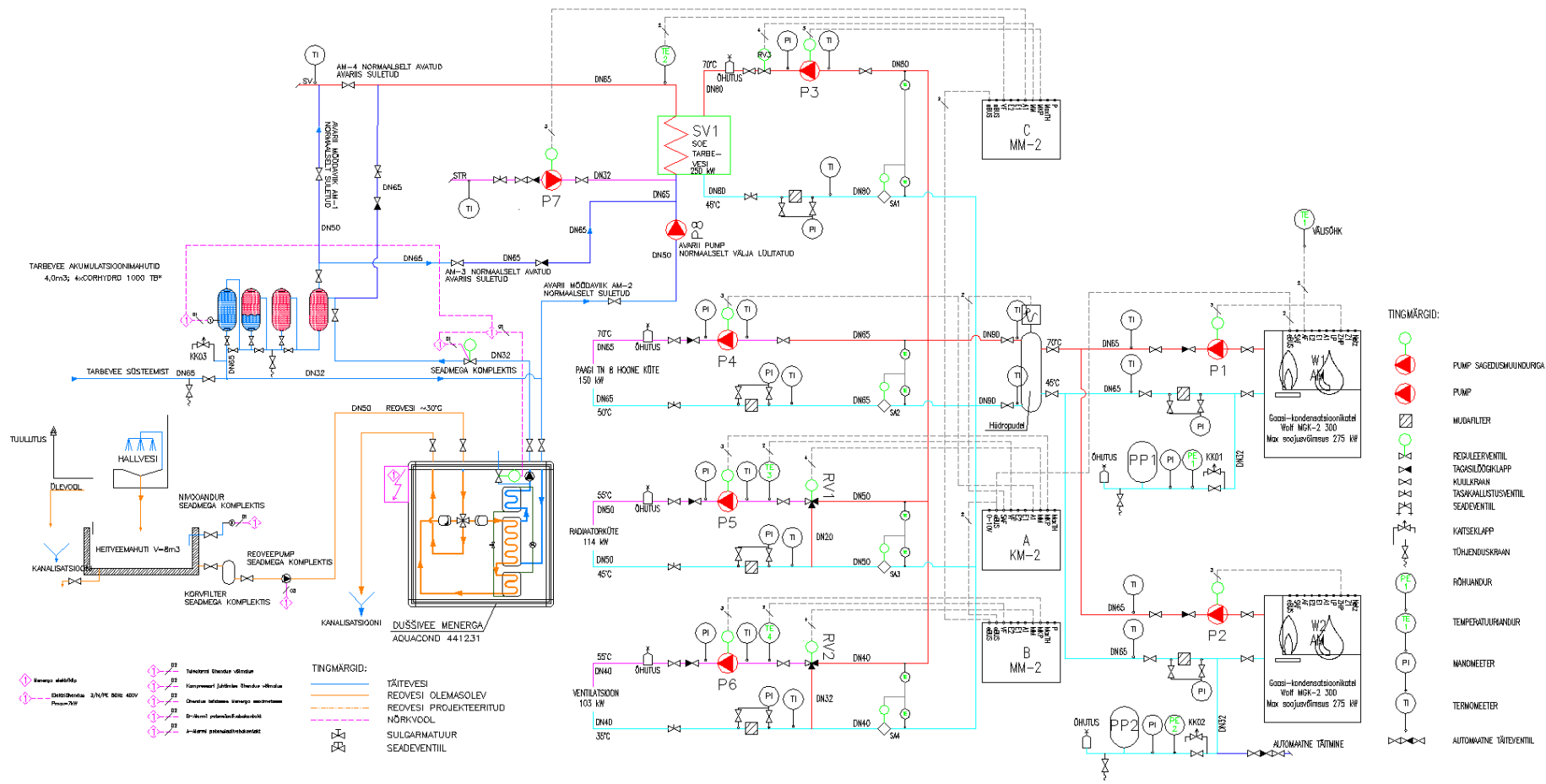
Tavaolukord

- Tarbevee eelsoojendamise seadmestiku tööd juhib hallvee soojuspumba automaatika.
- Sooja tarbevee eelkütmine temperatuurini kuni +42°C (temperatuuriandur kõige ebasoodsamas tarbevee mahutis) toimub hallvee soojustagastussüsteemiga.
- Avariipump P8 seisab ja avariimöödaviigid AM-1 ning AM-2 on suletud asendis. AM-3 ja AM-4 on tavaolukorras avatud asendis.
- Soe tarbevesi ladustatakse akumulatsioonimahutites, milledest suundub eelsoojendatud vesi lõpptarbijateni läbi soojusvaheti SV-1, millest väljuv vesi on +55°C.
- Soojusvaheti SV-1 tööd (läbi reguleerventiili RV3 juhtimise) juhib gaasikatelde automaatika.

Avariiolukord

- Juhul kui sooja tarbevee eelkütmine hallvee soojuspumbaga ei ole seadmete rikete tõttu võimalik, avatakse käsitsi avarii möödaviigid AM-1 ning AM-2 ja käivitatakse avariipump P8. Ventiiolid AM-3 ja AM-4 suletakse ja sooja tarbevee akumulatsioonipaakide täitmine hakkab toimima ainult läbi soojusvaheti SV-1.
- Kogu süsteemi tööd (läbi reguleerventiili RV3 juhtimise) juhib gaasikatelde automaatika.

Hallvee soojustagastussüsteemi soojuspump töötab sisse/välja režiimis. Seade lülitatakse sisse kui hallveemahutis on piisavas koguses hallvett (spetsiaalne ujuk mahutis) ning tarbevee akumulatsioonimahutites ei ole saavutatud ette antud temperatuuri +42°C (tehase eelseadistus soojusteguri optimeerimiseks, mida saab seadme automaatikast muuta). Seade lülitub töötamise ajal iga kolme tunni tagant neljaks minutiks läbipesu režiimi. Režiimi pikkust ja intervalli saab seadme automaatikast valida.



JOONIS 7 *Projekteeritud ja väljaehitatud sojussõlme põhimõtteline skeem*

2.2 Katse ja mõõtmised

Süsteemi mõõtmiste eesmärgiks oli häireteta töötava süsteemi efektiivsuse määramine. Selleks organiseeriti hallvee paagi täielik puhastamine.

Mõõtmised viidi läbi Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmajas ajavahemikul 01.03.2021 - 15.03.2021. Süsteemi tööd jälgiti pisteliselt 01.03.2021 kuni 01.10.2021.

Esialgu selgitati välja, milliseid andmeid on juba olemasolevast süsteemist võimalik logida ja vaadelda.

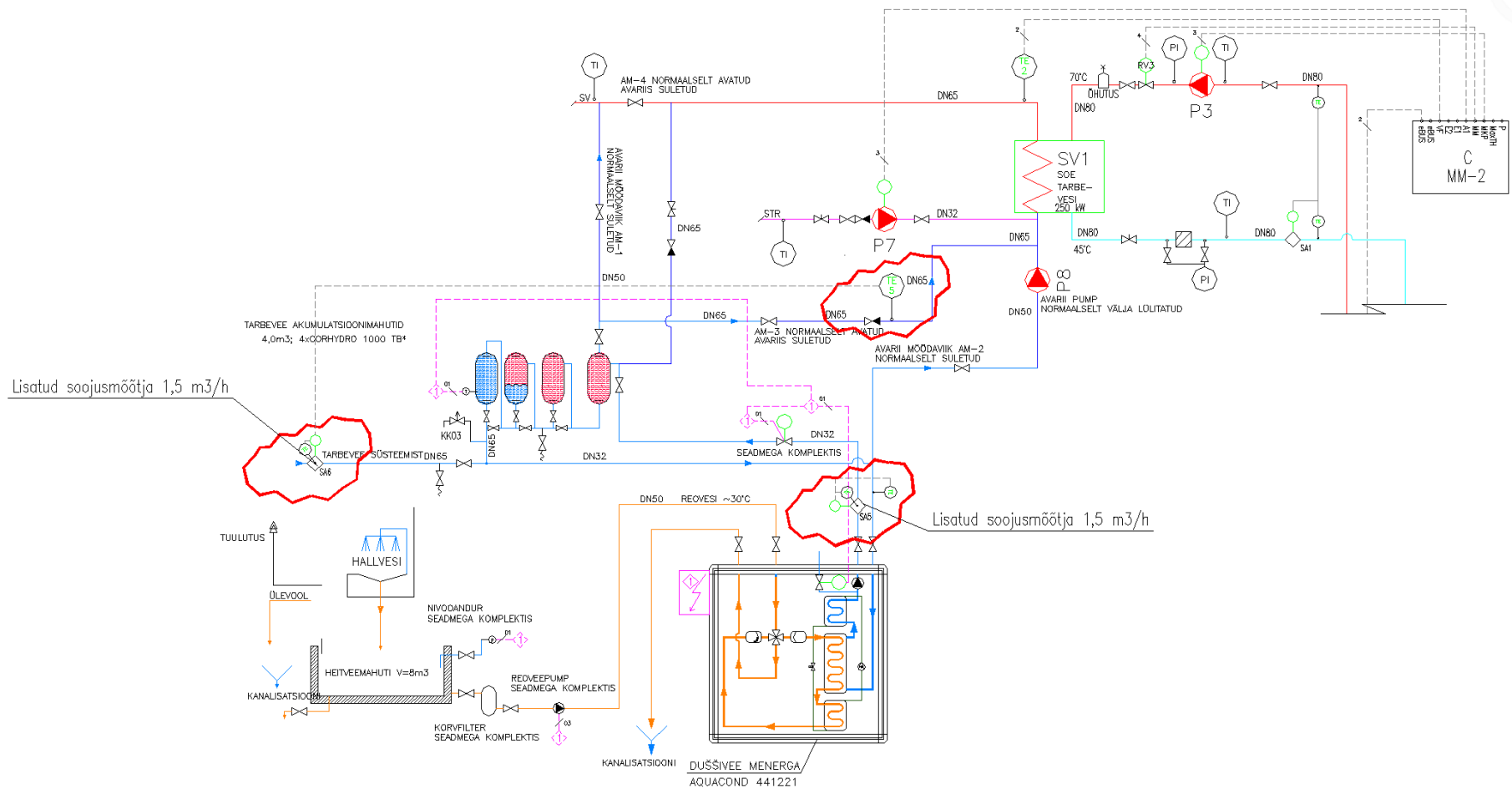
TABEL 2 Mõõdetavad ja logitavad parameetrid olemasolevast süsteemist

Seade/mõõtja	Vaadeldav parameeter*/logitav parameeter**
Soojusmõõtja SA1 (Zenner ZR DE-12- MI004-PTB010)	Soojusenergia keskkütte süsteemist sooja tarbevee (sh tsirkulatsioon) valmistamiseks* (MWh)
Menerga AquaCond 441221	Kuupäev ja kellaaeg ühe minuti täpsusega**
	Hallvee temperatuur seadmesse sisenemisel (°C)**
	Hallvee temperatuur seadmest väljumisel (°C)**
	Värske vee temperatuur seadmesse sisenemisel (°C)**
	Värske vee temperatuur seadmest väljumisel (°C)**
	Hallvee vooluhulk (l/h)**
	Reoveepumba tööaeg (sisse/välja)**
	Värske vee tsirkulatsioonipumba tööaeg (sisse/välja)**
Kompressori tööaeg (sisse/välja)**	

Selgus, et olemasolevas süsteemis ei ole võimalik mõõta hallvee soojustagastusseadme poolt toodetud soojusenergia hulka. Samuti oli oluline teada sooja vee temperatuuri, mis jõuab tarbevee soojusvahetisse. Lisaks otsustati mõõta hoone sooja tarbevee vooluhulka.

Selleks lisati süsteemi kaks soojusenergiaarvestit SA5 ja SA6. Kasutati SENSUS PolluStat E 63660199 soojusenergiaarvesteid (vt täpsemalt joonis 8). SA5 arvesti lisati hallvee soojustagastusseadme poolt toodetava soojusenergia mõõtmiseks. SA6 arvesti lisati sooja tarbevee vooluhulga ja eelsoojendatud tarbevee temperatuuri (joonis 8 temperatuuriandur TE5) mõõtmiseks.

Süsteemi elektrienergiakulu määramiseks lisati süsteemi peatoitekaablile ampertangid. Ampertangid paigaldati kõikidele faasidele ning mõõtmisperiood oli üks ööpäev (10 sekundilise täpsusega). Kasutati Onset CTV-D 20A ampertange ning HOBO UX120-006M andmelogerit.



JOONIS 8 *Lisatud soojusmõõtjad*

2.3 Arvutustes kasutatud valemid

Käesolevas töös määrati arvutuslikult sooja tarbevee tsirkulatsioonile kuluv soojusenergia ja hallvee soojustagastussüsteemi tasuvusaeg. Arvutati ka hallvee soojustagastussüsteemi seadmete elektrivõimsusi ning lisaks teostati hoonete energiatõhususarvu arvutusi.

Valemitega (1) ja (2) arvutati sooja vee mahtu ja tarbevee tsirkulatsioonile kuluvat soojusenergiat.

Valemeid (3) – (7) kasutati süsteemi elektrivõimsuse määramiseks.

Sooja tarbevee tsirkulatsioon

$$(1) \quad Q = cm\Delta t$$

kus Q – soojushulk (1J)
 C – keha erisoojus (1J/kg°C)
 m – keha mass (1kg)
 Δt – temperatuuri muutus

$$(2) \quad \begin{aligned} 1\text{J} &= 1\text{Ws} = 2.778 \times 10^{-7} \text{kWh} \\ m &= V \text{ (vee tiheduseks on võetud } 1000 \text{kg/m}^3) \end{aligned}$$

kus

$$V = \frac{Q}{2.778 \times 10^{-7} c \Delta t}$$

Soojustagastusseadme elektriline võimsus

$$(3) \quad U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$$

kus U_f – faasi pingeline (V)
 U_l – liini pingeline (V)

$$(4) \quad P = UI \text{ (ühefaasiline elektrimootor)}$$

kus P – elektrivõimsus (W)
 U – faasi pingeline (V)
 I – voolutugevus (A)

$$(5) \quad I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}} \text{ „kolmnurkühendus“}$$

$$I_f = I_l \text{ „tähtühendus“}$$

kus I_f – faasi vool (A)
 I_l – liini vool (A)

$$(6) P = \sqrt{3}U_l I_l \cos \phi$$

kus P – elektrivõimsus (W)
 U_l – liini pinge (V)
 I_l – liini vool (A)
 $\cos \phi$ – võimsustegur
 Δt – temperatuuri muutus

$$(7) \cos \phi = \frac{P}{S}$$

kus $\cos \phi$ – võimsustegur
 S – näiv võimsus (kVA)
 P – võimsus (kW)

Hoonete energiatõhususarv (ETA)

Energiatõhususarv (edaspidi ETA) on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel, mis kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks hoone kätava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel ja mida väljendatakse kilovatt-tundides hoone kätava pinna ruutmeetri kohta aastas.[16]

Energiatõhususarv B (edaspidi ETA B) on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus, mille hulka ei ole arvestatud lokaalselt toodetud (sh eksporditavat) energiat.[16]

Valiti kolme hoone energiamärgised, mis olid aluseks võrdlusarvutuste koostamiseks.

1. Kortermaja Kivimurru 7a, Tallinn (kortereid 12) / GECC LP OÜ töö nr 00317P
2. Vanadekodu Ilmarise 4, Tallinn (üüritube 21) / GECC LP OÜ töö nr 00323M
3. Kortermaja Astangu 4, Tallinn (kortereid 18) / GECC LP OÜ töö nr PR05021

Erinevate soojusallikate kasutegurid võeti kehtivast määrusest hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika.

TABEL 3 *Soojusallika kasutegur*[16]

Soojusallikas	Kasutegur
Kaugküte	0.90
Õli- või gaasikatel	0.85
Õli, kondensatsioonikatel	0.90
Gaas, kondensatsioonikatel	0.95
Pelletikatel	0.85
Muu tahkekütuse katel	0.75
Elekterküttega katel	1.00
Ahi	0.60

TABEL 4 *Soojuspumba aasta keskmine soojustegur*[16]

Küttegaafik	Maasoojuspump on/off	Maasoojuspump inverter	Õhk-vesi soojuspump
30/25°C	4.5	4.8	3.1
35/28°C	4.3	4.7	3.0
40/33°C	4.0	4.4	2.9
45/35°C	3.8	4.3	2.9
50/35°C	3.6	4.2	2.8
55/40°C	3.4	4.0	2.7
60/40°C	3.3	3.9	2.7
Soe tarbevesi	2.6	2.7	2.0

Energiakandjate kaalumistegurite määramisel lähtuti kehtivast määrusest hoonete energiatõhususe miinimumnõuded.

TABEL 5 *Energiakandjate kaalumistegurid*[17]

Energiakandja	Kaalumistegur
Taastuvtoormel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus	0.65
Kaugküte	0.90
Tõhus kaugküte	0.65
Kaugjahutus	0.40
Tõhus kaugjahutus	0.20
Vedelkütus, kütteõli, vedelgaas, maagaas, tahke fossiilkütus, turvas ja turbabrikett	1.00
Elekter	2.00

Sooja tarbevee valmistamise arvutamisel lähtuti süsteemi mõõtmistulemustele vastavatest soojusteguritest. Võrdlemiseks koostati ka eraldi arvutus soojustagastusseadme infolehel väljatoodud soojusteguriga 11.4.

Selleks, et energiamärgise arvutusi teostada, oli vaja lisaks soojustegurile teada soojusenergia osakaalu, mis saadakse hallvee soojustagastussüsteemist. Osakaal määrati vastavalt mõõtmistulemustele. Arvesse võeti hallvee soojustagastussüsteemi poolt toodetud soojusenergia ja gaasikatelde soojusenergiakulu soojale tarbeveele.

Võrdlusarvutuses (soojustegur 11.4) kasutati 35%-list osakaalu.

Energiatõhususarvu B miinimumnõue määrati vastavalt kehtiva määruse hoonete energiatõhususe miinimumnõuded lisale 2 „hoonete energiatõhususarvude piirväärtused“.

TABEL 6 *Madalenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused*[18]

Hoone	kWh/(m ² a)
Väikeelamu köetava pinnaga <120m ²	165
Väikeelamu köetava pinnaga 120m ² – 220m ² ja ridaelamu	140
Väikeelamu köetava pinnaga >220m ²	120
Korterelamu	125
Kasarmu	200
Kontorihoone	130
Majutushoone	170
Ärihoone	150
Avalik hoone	160
Kaubandushoone ja terminal	190
Haridushoone	120
Koolieelse lasteasutuse hoone	120
Ravihoone	130
Laohoone	80
Tööstushoone	140
Suure energiatarbega hoone	850

2.4 Hallvee paagi hooldus

Hallvee mahuti oli küll täielikult puhastatud, kuid mõõtmiste alustamise hetkel puudus lahendus, kuidas hallvee mahutit järjepidevalt töökorras hoida. Vastavalt hooldusjuhilt saadud infole oli selge, et süsteem töötab häireteta maksimaalselt neli nädalat ning peale seda hakkab rasvade ladestumine süsteemi tööd regulaarselt häirima.

Otsustati katsetada mõnda elavat bakterit, mis hoiaks ära rasvade ladestumise hallvee mahutis. Konsulteeriti ettevõttega Zep Eesti OÜ ning bakteriks valiti GreenLink Canazim Forte.

GreenLink Canazim Forte

Tegemist on elava bakteriaalse lisandiga, mis sisaldab täpselt valitud ensüüme ja baktereid. Lisand aktiveerib kanalisatsioonitorudes ja rasvapüüdurites lagunemise protsesse. Bioloogiliseks toimeks on kiire orgaaniliste jäätmete ja rasva eemaldamine. Lisand on vedeliku kujul, mistõttu on seda lihtne automaatselt doseerida ja mõõta. Lisaks eemaldab vedelik ebameeldiva lõhna. Üldiselt kasutatakse rasvapüüdurites puhastamiseks ja püüdurite puhtana hoidmiseks.

Doseerimine hallvee paaki

Tehas näeb ette, et Canazim Fortet tuleks rasvapüüduritesse doseerida minimaalselt 0,9 liitrit ööpäevas. Hallvee paaki doseeriti esialgu 1,0 liitrit ööpäevas, mida kahe nädala möödudes vähendati 0,7 liitrile ööpäevas. Selliselt doseerides on hallvee soojustagastuse süsteem, vaadeldaval perioodil (1.03-1.10.2021), töötanud rasvade ladestumiseta.



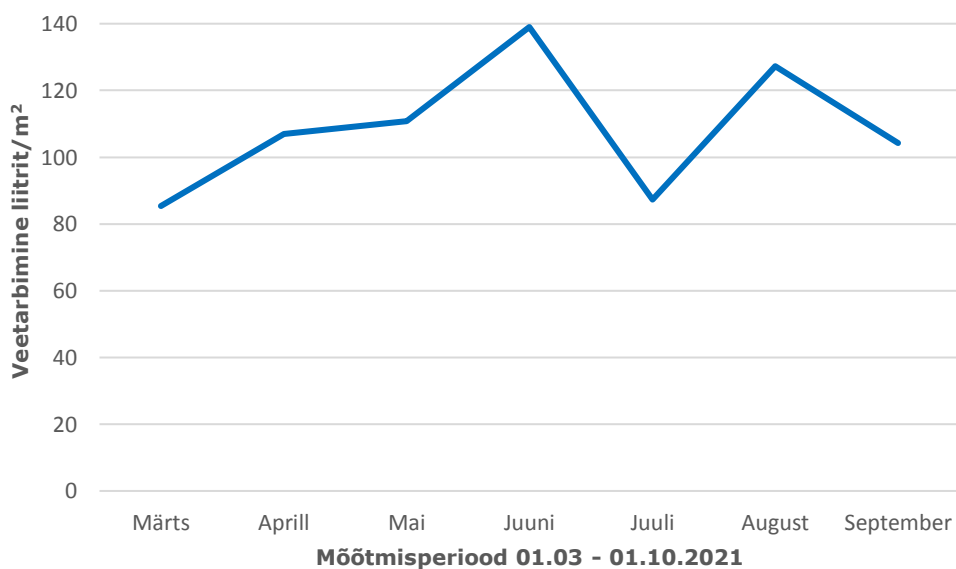
JOONIS 9 Bakteriaalse lisandi dosaator koos anumaga

3 TULEMUSED

Käesoleva üliõpilastöö alustamise hetkeks (15.12.2020) oli hallvee süsteem käigus olnud ca 2 aastat. Häirete kaardistamiseks vesteldi seadme ja süsteemi hooldusjuhiga.

- Hallvee soojustagastusseade süsteemis sisuliselt häireid ei põhjusta (va elektri- katkestused).
- Süsteem tervikuna ei ole probleemide vabalt töötanud järjest rohkem kui mõned nädalad.
- Rasvade ladestumine hallvee paagis põhjustab süsteemi seiskumist ja sooja tarbevee mitte tootmist.
- Ladestunud rasvadega hallvee paaki on keeruline ja energiamahukas puhastada.
- Kui süsteem on piisavalt pikalt häires, siis ei ole ladestunud rasvadega paaki võimalik nn käsivahenditega puhastada.

Hoone veetarbimise analüüsiks kasutati AS Tallinna Vesi poolt laekunud arveid, mis käsitlevad veetarbimist vastavalt hoone peaveemõõtjale. Läbi Paagi tn 10 peaveemõõtja varustatakse tarbeveega ka naaberkinnistul asuvat väikest sotsiaalmaja. Uuritava hoone veetarbimine määrati vastavalt hoonete (Paagi tn 8 ja 10) netopindadele, sest hoonete kasutusotstarbed on sarnased (sotsiaalmajad).




JOONIS 10 Hoone veetarbimine liitrites m² kohta kuude lõikes aastal 2021

3.1 Hallvee soojustagastussüsteemi temperatuuride ja soojusenergia mõõtmised

Aktiivsel mõõtmisperioodil 01.03 – 15.03.2021 võeti soojusarvestite SA1, SA5 ja SA6 näidud manuaalselt iga tööpäeval ning koondati vastavasse tabelisse. Sellise mõõtmismeetodi tingis asjaolu, et hoonesse ei ole väljaehitatud hooneautomaatika süsteemi.

TABEL 7 Soojusarvesti SA1 näidud 1.03 – 15.03.2021

Soojusemõõtja SA1		
Kuupäev	Kellaaeg	Soojusenergia (kWh)
01.03.2021	12:45	0
02.03.2021	10:00	391
03.03.2021	10:00	854
04.03.2021	09:45	1304
05.03.2021	10:30	1822
08.03.2021	10:00	3140
09.03.2021	10:30	3613
10.03.2021	09:30	4015
11.03.2021	13:45	4573
12.03.2021	10:45	4958
15.03.2021	15:00	6450
01.10.2021	10:30	99500



Soojusemõõtjast SA1 oli vajalik info ainult soojusenergiakulu, sest mõõtjaga sooviti määrata gaasikatelde poolt soojale tarbeveele kulutatud soojusenergiat.

TABEL 8 Soojusarvesti SA5 näidud 1.03 – 15.03.2021

Soojusemõõtja SA5						
Kuupäev	Kellaaeg	Soojusenergia (kWh)	Hetkeline vooluhulk (m ³ /h)	T1 °C	T2 °C	Hetkeline Soojusvõimsus (kW)
01.03.2021	12:45	154930	0.893	34.7	10.6	25.0
02.03.2021	10:00	155171	0.906	31.3	10.5	23.5
03.03.2021	10:00	155475	0.887	33.9	10.3	24.5
04.03.2021	09:45	155746	0.915	31.7	10.3	22.6
05.03.2021	10:30	156080	0.924	31.4	10.4	24.8
08.03.2021	10:00	156868	0.912	31.3	10.6	21.6
09.03.2021	10:30	157163	0.918	34.0	10.4	25.2
10.03.2021	09:30	157390	0.910	29.6	10.3	23.0
11.03.2021	13:45	157750	0.891	33.9	11.3	23.4
12.03.2021	10:45	157939	0.921	33.5	10.2	24.6
15.03.2021	15:00	158911	0.917	31.8	10.5	22.4
01.10.2021	10:30	190078	-	-	-	-

TABEL 9 Soojusarvesti SA6 näidud 1.03 – 15.03.2021

Soojusmõõtja SA6					
Kuupäev	Kellaaeg	Soojusenergia (kWh)	Hetkeline Vooluhulk (m ³ /h)	T1 °C (TE5)	T2 °C
01.03.2021	12:45	106480	0.353	35.9	4.7
02.03.2021	10:00	106828	0.864	35.6	4.6
03.03.2021	10:00	107247	0.641	34.6	4.5
04.03.2021	09:45	107626	1.061	35.5	4.5
05.03.2021	10:30	108085	0.706	34.0	4.6
08.03.2021	10:00	109167	0.514	34.5	4.7
09.03.2021	10:30	109579	0.855	35.3	4.5
10.03.2021	09:30	109897	0.642	33.8	4.5
11.03.2021	13:45	110377	0.353	34.4	4.8
12.03.2021	10:45	110676	0.955	34.2	4.5
15.03.2021	15:00	111983	0.230	34.8	4.4
01.10.2021	10:30	147899	-	-	-

Soojusarvestitest SA5 ja SA6 koguti esialgu võimalikult palju andmeid. Eesmärk oli analüütilisel teel leida sooja tarbevee tsirkulatsiooni osakaal kogu süsteemis. Samuti võrreldi soojusarvestitest saadud andmeid hallvee soojustagastusseadme poolt salvestatud andmetega.

3.1.1 Sooja vee kulu ja tsirkulatsiooni arvutus

Kasutades valemeid (1) ja (2) arvutati soojusmõõtja SA6 andmetele tuginedes kahe nädalase perioodi sooja tarbevee maht ning soojusenergia, mis kulub tarbitud vee ülessoojendamiseks.

$$\text{Soojushulk } Q (J) = \frac{Q (\text{kWh})}{2.778 \times 10^{-7}}$$

kus

Q (kWh) – 5503 kWh (soojusmõõtja SA6 01.03-15.03.2021)

seega

$$Q (J) = 1.98 \times 10^{10} \text{ J}$$

Kasutades valemit (1) saame

$$V = \frac{Q}{1000 \times c \times (t_2 - t_1)}$$

kus V – sooja tarbevee maht (m^3)
 c – vee erisoojus ($4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$)
 t_1 – vee algtemperatuur (soojusmõõtja SA6 keskm. 01.03-15.03.21) 4.6°C
 t_2 – vee lõpptemperatuur (soojusmõõtja SA6 keskm. 01.03-15.03.21) 34.8°C

Kasutades valemit (1) ja vee mahtu V , saame arvutada kogu soojusenergiakulu, mis kulub sooja tarbevee ülessoojendamiseks.

Kasutades valemit (1) ja (2) saame

$$Q = \frac{cV(t_2-t_1)}{2.778 \times 10^{-7}}$$

Kus Q – soojusenergia (kWh)
 V – vee maht (m^3)
 t_1 – vee algtemperatuur (soojusmõõtja SA6 keskm. 01.03-15.03.21) 4.6°C
 t_2 – vee lõpptemperatuur (seadistatud sooja tarbevee temperatuur) 55.0°C

Sooja tarbevee arvutuslik soojusenergiakulu koosneb kahest osast.

$$Q_{\text{arvutuslik}} = Q_{\text{kaugküte}} (\text{sh } Q_{\text{tsirkulatsioon}}) + Q_{\text{hallvesi}}$$

Teades arvutuslikku soojusenergiakulu, saame välja arvutada tsirkulatsioonile kuluva soojusenergia.

$Q_{\text{kaugküte}}$ on määratud soojusmõõtjaga SA1

Q_{hallvesi} on määratud soojusmõõtjaga SA5

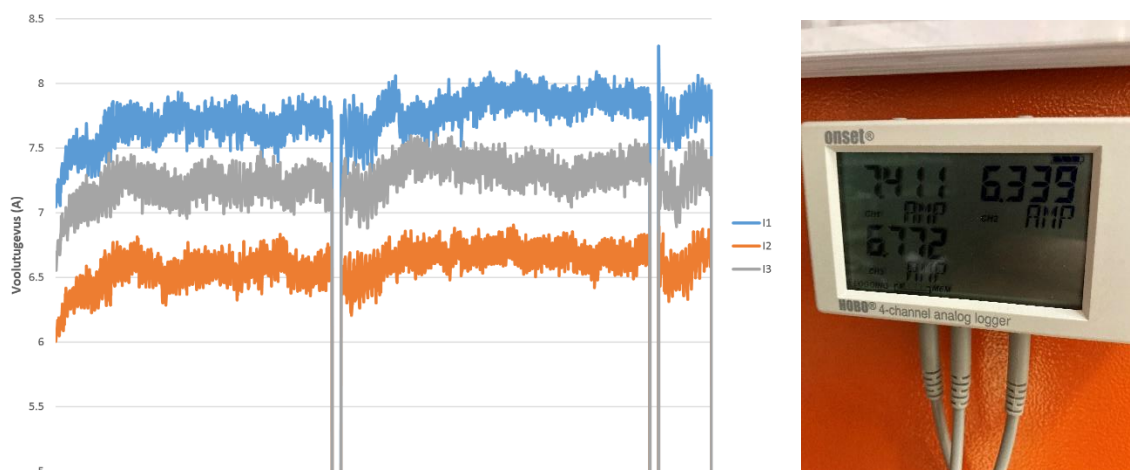
seega

$$Q_{\text{tsirkulatsioon}} = (Q_{\text{kaugküte}} + Q_{\text{hallvesi}}) - Q_{\text{arvutuslik}}$$

Arvutustulemused on koondatud tabelisse 14.

3.2 Voolutugevuse mõõtetulemused

Mõõdeti kõigi kolme faasi elektrivoolud, sest lisaks 3-faasilisele kompressorile on süsteemi erinevate faaside peale ühendatud ka kaks 1-faasilist tsirkulatsioonipumpa (reovesi ja värskes vesi).



JOONIS 11 Hallvee soojustagastussüsteemi voolutarbimine

3.2.1 Süsteemi elektrivõimsuse määramine

Tabelisse 10 koondati hallvee soojustagastusseadme elektrilised andmed lähtudes seadme tehnilisest andmelehest (vt lisa 1).

TABEL 10 Soojustagastusseadme elektrilised andmed

Komponent	Elektrivõimsus / näiv võimsus	Voolutugevus
Seade tervikuna	4.55kW / 8.5kVA	12.30A
Kompressor	3.80kW / 6.9kVA	10.00A
Reoveepump	0.45kW / 0.9kVA	1.25A
Värskvee pump	0.30kW / 0.7kVA	1.00A

Hallvee soojustagastussüsteemi kõik elektrilised komponendid töötavad sisse/välja režiimis. Vastavalt mõõtmistulemustele määrati keskmine voolutarbimine:

- I faas (I_1) – 7,6A
- II faas (I_2) – 6,5A
- III faas (I_3) – 7,1A

II faasi voolutugevusest järeldame

$$I_f (\text{kompressor}) = 6,5\text{A}$$

$$I_f (\text{reoveepump}) = 1,1\text{A}$$

$$I_f (\text{värskvee pump}) = 0,6\text{A}$$

Kasutades valemit (3) saame

$$U_f = 230\text{V}$$

Valem (4) järgi

$$P_{\text{reoveepump}} = 230\text{V} \times 1,1\text{A} = 253\text{W}$$

$$P_{\text{värskvee pump}} = 230\text{V} \times 0,6\text{A} = 138\text{W}$$

Vastavalt tehnilistele andmetele on kompressori elektriline ühendus nn „tähtühendus“.

Vastavalt valemile (5)

$$I_l = I_f = 6,5\text{A}$$

Kasutades valemid (6) ja (7) ning seadme tehnilisi andmeid

$$\cos\phi_{\text{kompressor}} = 3800\text{W} / \sqrt{3} \times 400\text{V} \times 10\text{A} = 0,55$$

Valemi (6) järgi saab määrata kompressori elektrivõimsuse

$$P_{\text{kompressor}} = \sqrt{3} \times 400\text{V} \times 6,5\text{A} \times 0,55 = 2477\text{W}$$

$$\underline{P_{\text{seade}} = 2477\text{W} + 253\text{W} + 138\text{W} = 2868\text{W}}$$

3.3 Energiatõhususarvu määramine

Energiatõhususarvu arvutamisel lähtuti kehtiva määruse hoone energiatõhususe arvutamise meetodika lisades 2 ja 4 esitatud tabelitest.

Energiamärgiste tulemuste tabelis arvutati ümber energiatõhususarvud B, kasutades valitud soojusallikaid, nende kaalumistegureid ning erinevaid hallvee soojustagastussüsteemi soojustegureid ja sooja tarbevee valmistamise osakaalu.

Soojusallikateks valiti enim kortermajade ehitussektoris paigaldust ja kasutust leidvatest süsteemidest.

Soojusallikate kasutegurid ja energiakandjate kaalumistegurid valiti vastavalt kehtivale määrusele hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika.

<u>Soojusallikas</u>	<u>Soojustegur küte/soe tarbevesi</u>
<i>Tõhus kaugküte</i>	<i>0.90/0.90</i>
<i>Maagaas (kondensaatkatlaga)</i>	<i>0.95/0.95</i>
<i>Maasoojuspump</i>	<i>4.40/2.70</i>
<i>Õhk-vesi soojuspump</i>	<i>2.90/2.00</i>

3.4 Hallvee soojustagasti tööparameetrite logid

Hallvee soojustagastusseadmest logiti andmeid kogu mõõtmisperiodil (01.03 – 01.10.2021) 1 minuti täpsusega. Tabelisse 11 on koondatud seadmest logitud andmed, mis vastavad ajaliselt soojusmõõtjatest kahel esimesel nädalal kogutud infole.

TABEL 11 *Hallvee soojustagastusseadme näidud/logid 01.03 – 15.03.2021*

Hallvee soojustagastusseade								
Kuupäev	Kella-aeg	Reovesi Sisse (°C)	Reovesi välja (°C)	Värsk vesi seadmesse (°C)	Soe vesi seadmest välja (°C)	Reovee -pump töös 0/1	Kompressor töös (0/1)	Tsirk.-pump töös (0/1)
01.03.2021	12:45	29.5	9.6	6.4	33.1	1	1	1
02.03.2021	10:00	29.1	8.6	5.8	33.8	1	1	1
03.03.2021	10:00	28.2	8.8	5.6	31.5	1	1	1
04.03.2021	09:45	28.3	8.8	5.5	32.1	1	1	1
05.03.2021	10:30	29.7	9.2	5.7	32.6	1	1	1
08.03.2021	10:00	27.2	9.1	5.9	30.4	1	1	1
09.03.2021	10:30	28.7	9.1	6.0	32.0	1	1	1
10.03.2021	09:30	27.6	8.8	5.7	31.6	1	1	1
11.03.2021	13:45	27.5	9.2	8.1	33.3	1	1	1
12.03.2021	10:45	28.3	8.7	5.5	31.6	1	1	1
15.03.2021	15:00	29.0	8.9	5.9	32.0	1	1	1

Selleks, et hinnata hallvee süsteemi töötamist, efektiivsust ja hallvee soojustagastusseadme elektrienergiakulu, koondati pikemal perioodil logitud andmed tabelisse 12.

TABEL 12 *Hallvee soojustagastusseadme töötamine 01.03 – 01.10.2021*

Hallvee soojustagastusseadme töötamine mõõtmiste perioodil						
Periood	Reovesi sisse (°C keskm)	Reovesi välja (°C keskm)	Soe vesi seadmest välja (°C keskm)	Reoveepumba töötunnid (h)	Kompressori töötunnid (h)	Tsirk.pumba töötunnid (h)
01.03 - 15.03.2021	28.5	9.5	32.7	184	184	179
Märts 2021		-		501	497	476
Aprill 2021		-		478	472	460
Mai 2021		-		81	80	79
Juuni 2021		-		213	210	206
Juuli 2021		-		68	67	66
August 2021		-		161	159	155
September 2021		-		432	426	418

4 ANALÜÜS

Mõõtmised ja kogutud andmed jagunesid kaheks perioodiks. Lühike, 14 päeva pikkune ajavahemik ning 7 kalendrikuud kestev periood. Andmete analüüs keskendub eelkõige 14 päevasele perioodile. Pikemal ajavahemikul koguti oluliselt vähem andmeid, sest eesmärk oli hinnata ainult süsteemi töötamist ja hoone sooja- ning külmavee tarbimist tervikuna.

4.1 Hallvee soojustagastussüsteemi soojustegur

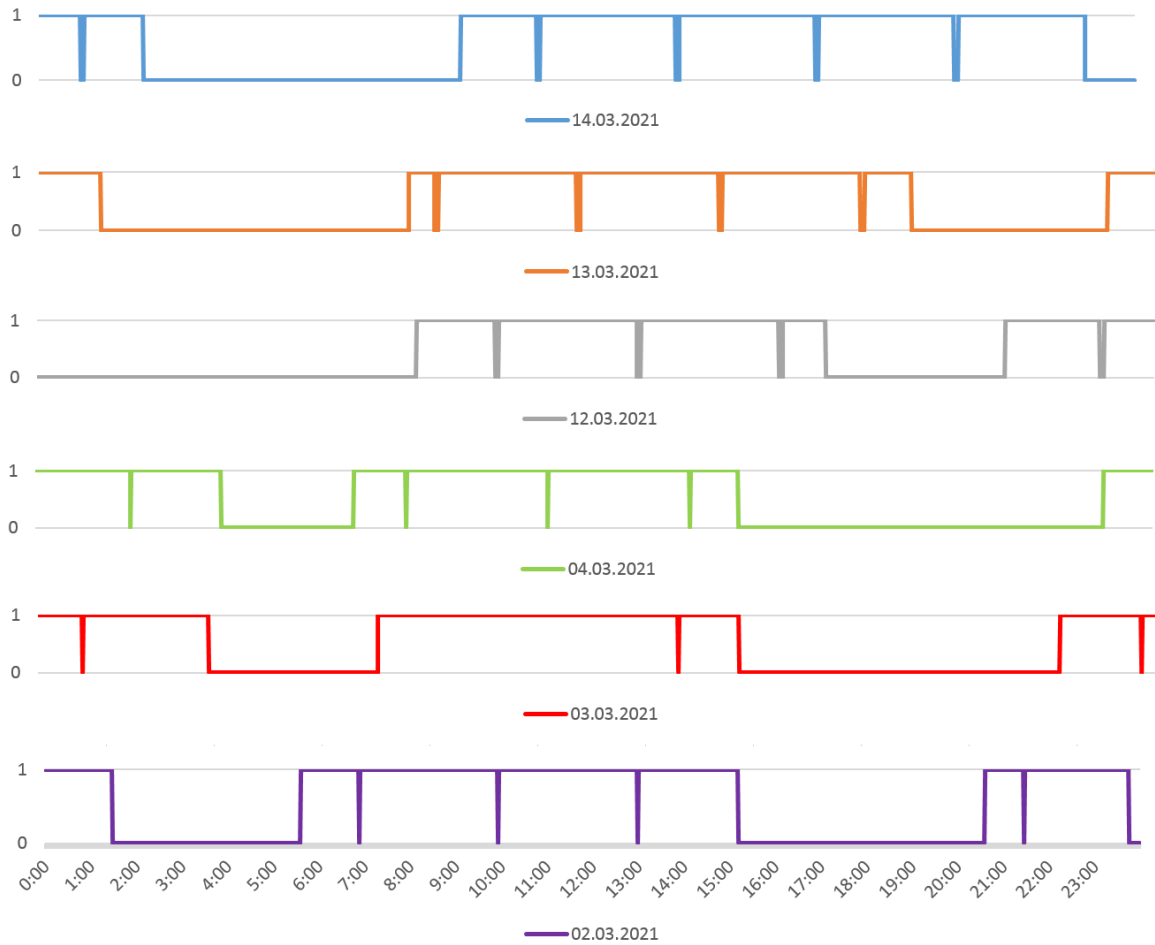
Tuginedes mõõtmistulemustele arvutati välja süsteemi elektritarbimine ning määrati soojustegur (edaspidi COP_{sys}).

TABEL 13 *Hallvee soojustagastusseadme soojustegur*

COP_{sys} perioodil 01.03 - 15.03.2021				COP_{sys} perioodil 01.03 - 01.10.2021		
	Reoveepump	Kompressor	Tsirkulatsioonipump	Reoveepump	Kompressor	Tsirkulatsioonipump
Elektriline võimsus (kW)	0.25	2.48	0.14	0.25	2.48	0.14
Töötunnid (h)	184	184	179	1934	1911	1860
Elektrienergiakulu (kWh)	46	456	25	484	4739	260
Elektrienergiakulu kokku (kWh)	527			5483		
Toodetud soojusenergia (kWh)*	3981			35148		
COP_{sys}	7.5			6.4		

* vastavalt soojusmõõtja SA5 andmetele

Mõõtmisperioodi esimesel kahel nädalal töötas soojustagastussüsteem kokku 184 tundi ehk 54% koguajast. Kahe nädalase tööperioodi kohta koostati süsteemi töötamist kirjeldavad graafikud (vt joonised 12 ja 13).

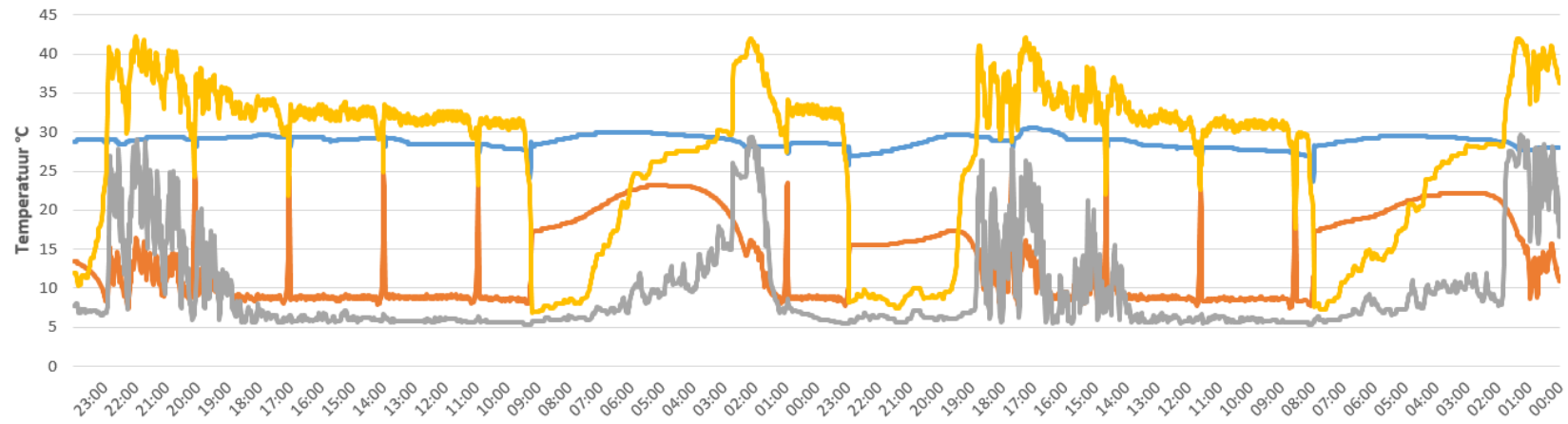


JONIS 12 *Soojustagastusseadme kompressori töötamine iseloomulikel päevadel*

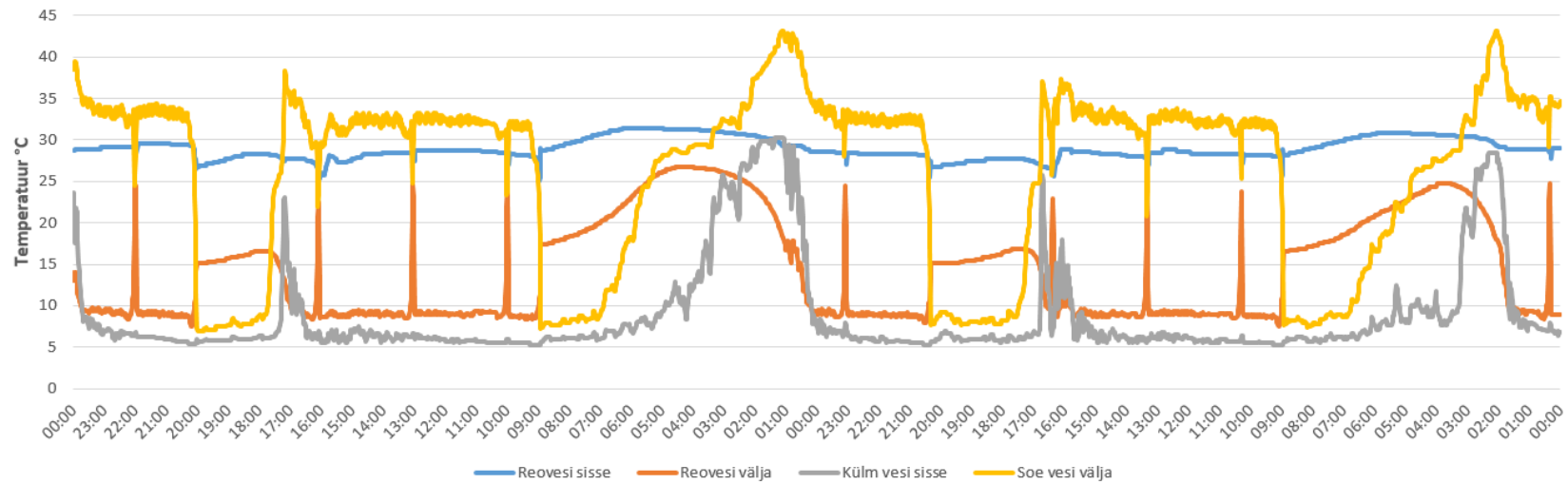
Graafikult on näha, et soojuspumba sisselülituste arv on minimaalne. Pikemad sisse/välja lülitamised toimuvad ööpäeva jooksul ainult 3-5 korda. Jooniselt 12 saab välja lugeda, et soojuspump lülitab ennast kindla intervalli järel sisse ja välja. Täpsemal andmete uurimisel selgus, et soojuspump lülitab ennast välja 4-ks minutiks. Need väljalülitused on soojusvaheti puhastussükkel (vt p2.1.1) ning antud objektil on puhastamine seadistatud nelja minuti pikkusteks tsükliteks iga kolme tunni tagant.

Graafiku järgi on kõikidel nädalapäevadel veetarbimine küllatki sarnane. Nädalavahetusel tarbitakse vett hommikuse-lõunase tsükli ajal pikemalt ning tööpäevadel on veetarbimine pigem hilisõhtusel.

13.03 - 14.03.2021 (laupäev - pühapäev)



03.03 - 04.03.2021 (kolmapäev - neljapäev)



JOONIS 13 Hallvee soojustagastuse temperatuurid iseloomulikel päevadel

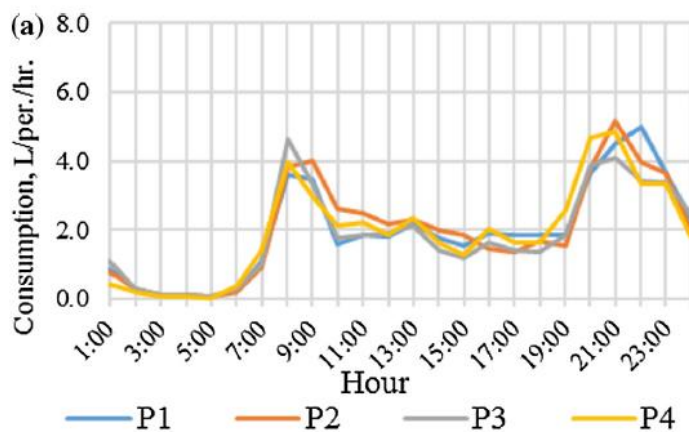
Joonisel 13 on esitatud kahe ööpäeva pikkuse perioodi hallvee soojustagastussüsteemis käideldavate hall- ja tarbevee temperatuurid. Võib väita, et hallvee soojustagastusseadme töötamise profiilid tööpäevadel ja nädalavahetusel on sisuliselt identsed.

Hallvee temperatuur on küllaltki konstantne, temperatuur on vahemikus 26 - 30°C. Süsteemist väljuv reovesi jääb üldiselt 9°C lähedale. Hetkedel, millal toimub soojusvaheti läbipesu, on väljuva reovee temperatuur vahemikus 20 - 25°C.

Külma ja sooja vee temperatuurid sõltuvad eelkõige sellest, kas majas on aktiivne veetarbimine või mitte. Öisel ajal ja päeval kell 16:00-18:00 on hoones periood, kus sooja vee tarbimist pole. Sellel ajal on tsirkulatsiooni tulemusena seadmesse sisenev vesi temperatuuriga 25 - 30°C. Süsteemi poolt valmistatav tarbevesi on üldiselt vahemikus 32 - 37°C väljaarvatud öisel ajal, millal valmistatav sooja vee temperatuur tõuseb kuni 43°C.

Joonised 12 ja 13 näitavad, et projekteeritud tarbevee akumulatsioonimahutite kogumaht on optimaalse suurusega.

Võrreldes hallvee süsteemi töötamise graafikut Soome kortermajade statistilise veetarbimisega (vt joonis 14), võib väita, et sotsiaalmaja ööpäevane veetarbimine on küllaltki sarnane nn tavalise kortermajaga.



JOONIS 14 Statistiline veetarbimine Soome kortermajades

Automaatika lülitab süsteemi tööle kui hallveemahutis on piisavas koguses hallvett. Hallveemahutisse on paigaldatud spetsiaalne ujuk, mille järgi seadet sisse-välja lülitatakse. Ujuk tagab seadmes oleva kompressori pika eluea, sest välistab lühikesed töötssüklid.

Kahenädalasel perioodil tootis soojustagastussüsteem 38% kogu hoone sooja tarbevee valmistamiseks kulunud energiast.

Vastavalt tabelile 12 on süsteem töötanud sarnase tootlikkusega märtsis, aprillis ja septembris. Juunis ja augustis on süsteem töös olnud ajaliselt poole vähem ning mais ja juulis ei ole süsteem eriti üldse töötanud.

Mittetöötamise põhjused olid järgmised:

- Hallvee paagis tekib pindmiselt tahkete osadega reovee kiht, mis põhjustab aegajalt ujuki kinnijäämist. Sellisel juhul ei saa seade signaali, et hallveepaak on täitunud.
- Harva esineb reoveepumbaga komplektis oleva filtri ummistumist. Suvel oli olnud juhus, kus ummistus ka filtrisse sisenev toru.

Suvisel ajal võisid langeda need asjaolud ka omavahel kokku, mis tervikuna põhjustas süsteemi pikema seiskumise enne kui hoolduse käigus need häired kõrvaldati.

Tuginedes soojusmõõtjate SA1 ja SA5 andmetele saab väita, et 7 kalendrikuu pikkusel perioodil tootis süsteem ca 26% kogu hoone sooja tarbevee valmistamiseks kulunud energiast. Võrreldes kahenädalase (01.03 – 15.03.2021) perioodiga on see 12% vähem.

Vastavalt hoone veetarbimise andmetele tekib ööpäevas hallvett piisavas koguses, et süsteem saaks läbi aasta töötada vähemalt 50% ajast.

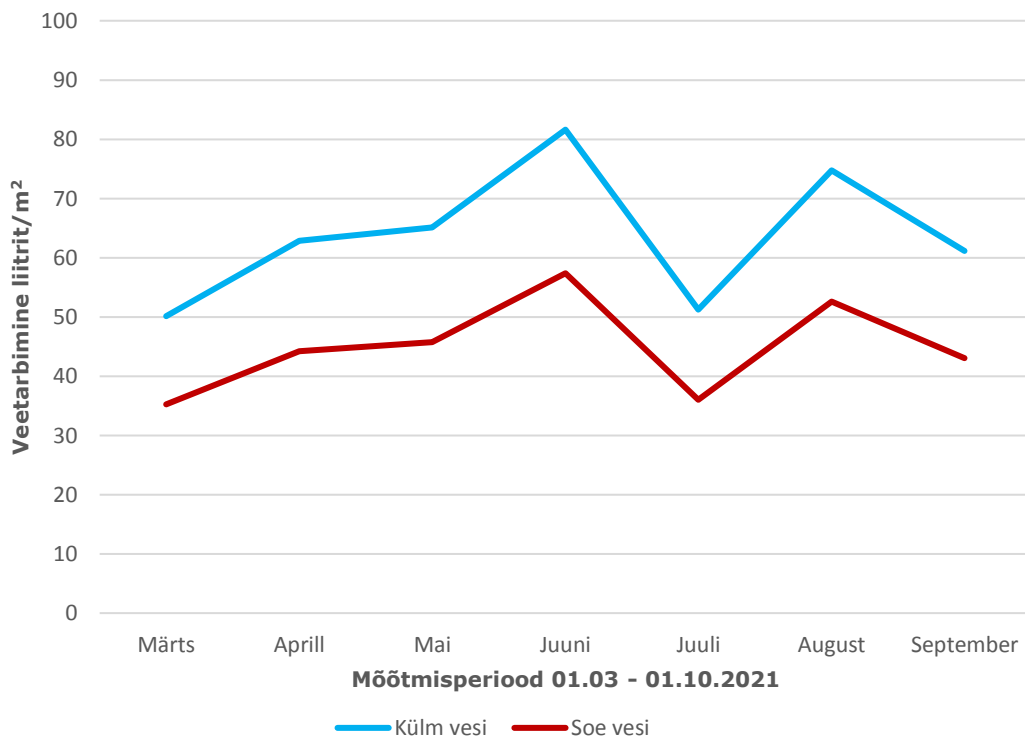
4.2 Sooja tarbevee tsirkulatsioon

Selleks, et anda hinnangut sooja tarbevee tsirkuleerimiseks kuluva soojusenergia kohta, arvutati vastavad parameetrid välja. Lähtuti soojusmõõtjatega SA1, SA5 ja SA6 mõõdetud parameetritest. Tsirkulatsiooni soojusenergiakulu arvutamisel võeti arvesse ainult kahenädalane (01.03 – 15.03.2021) mõõtmisperiood.

TABEL 14 Sooja tarbevee tsirkulatsiooni arvutus

Sooja tarbevee tsirkulatsioon		
Parameeter (periood 01.03 - 15.03.2021)	Mõõdetud väärtus	Arvutatud väärtus
Mõõdetud soojusenergiahulk külma vee sisendile (kWh)	5503 (SA6)	-
Hoonesse sisenev külm vesi (°C keskm.)	4.6 (SA6)	-
Tarbevee soojusvahetisse sisenev eelsoojendatud vesi (°C)	34.8 (SA6)	-
Sooja vee maht (m ³)	-	156
Gaasikatel soojusenergia soojale tarbeveele koos tsirkulatsiooniga (kWh)	6450 (SA1)	-
Gaasikatel + soojustagastusseade soojusenergiakulu tarbeveele ilma tsirkulatsioonita (kWh)	-	9165
Soojustagastusseadme soojusenergiakulu tarbeveele (kWh)	3981 (SA5)	-
Gaasikatel soojusenergiakulu tarbeveele (kWh)	-	5184
Gaasikatel soojusenergiakulu tarbevee tsirkulatsioonile (kWh)	-	1266

Sooja vee osakaalu kogu hoone veetarbimisest hinnati vastavalt arvutatud sooja tarbevee mahule, milleks oli 156 m³ kahe nädala jooksul. Joonis 15 annab hea ülevaate sooja ja külma vee tarbimisest antud sotsiaalajas.

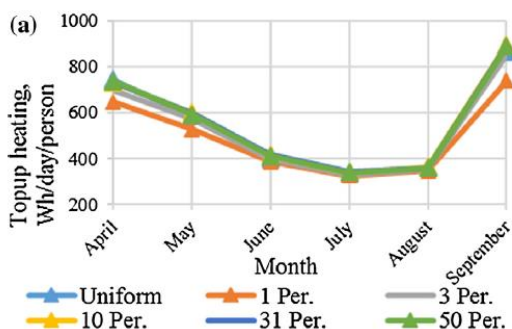


JOONIS 15 Külma ja sooja vee tarbimine

Hoone veetarbimine ühes kalendrikuus on vahemikus 750 – 1200 m³, see on ca 25 – 40 m³ ööpäevas.

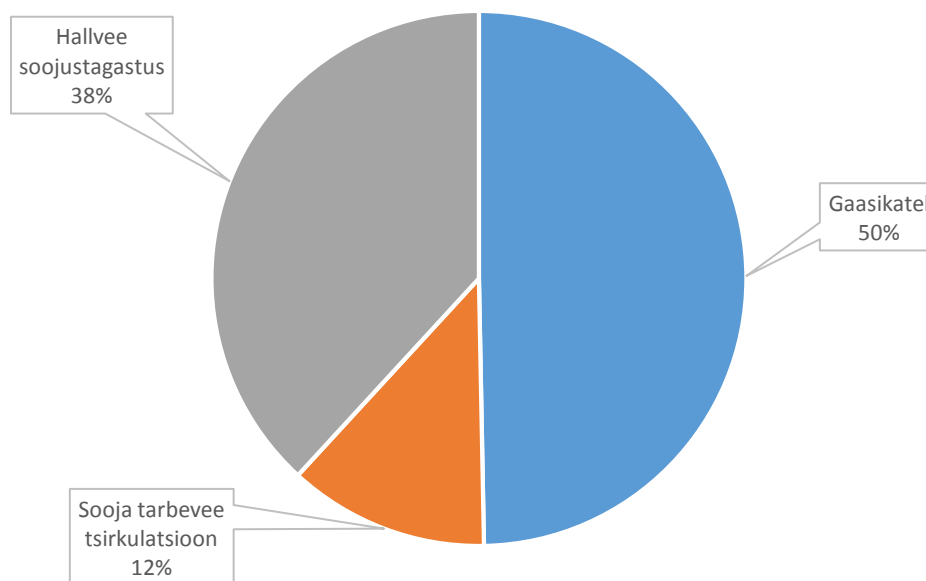
Joonise 15 alusel saab väita, et hoone veetarbimise profiil ei allu 100% klassikalisele kortermajale, sest suvisel ajal on veetarbimine pigem isegi keskmisest kõrgem.

Uuring Soome kortermajade veetarbimise kohta näitab suvisel ajal veetarbimise selget langust, mis kinnitab veelgi sotsiaalmaja ebaharilikku veetarvet.

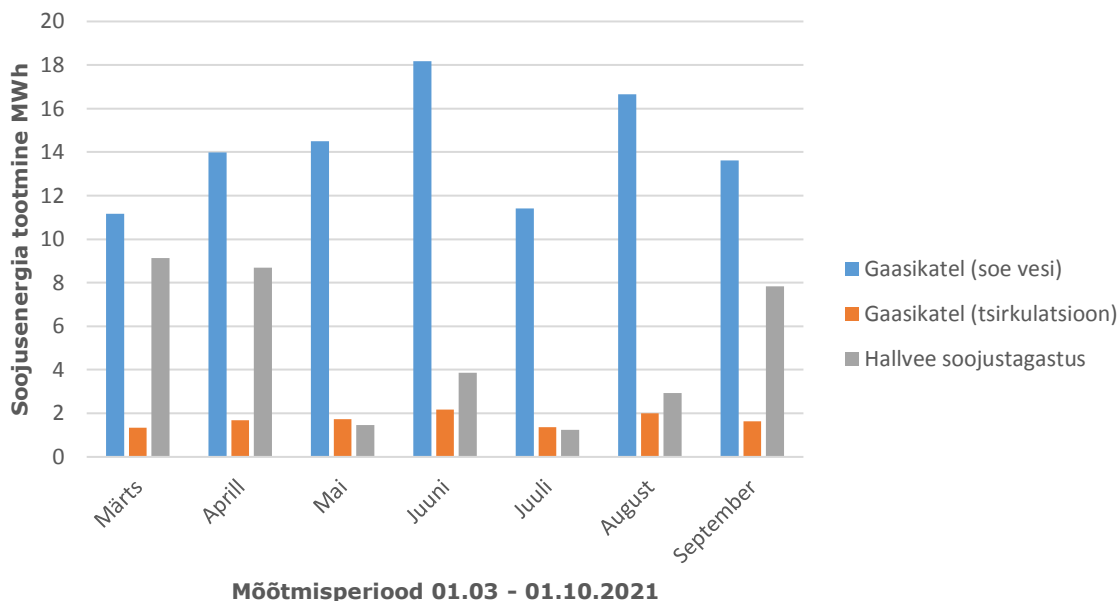


JOONIS 16 Statistiline sooja vee soojendamine Soome kortermajades[19]

Kahenädalasel perioodil kulus sooja tarbevee valmistamiseks 10431 kWh soojusenergiat. Sellest 1266 kWh ehk 12% kulus sooja tarbevee tsirkulatsioonile. Sooja tarbevee valmistamise osakaalud on toodud joonisel 17. Ülevaate pikema perioodi (märts – oktoober) kohta annab joonis 18.



JOONIS 17 Sooja tarbevee valmistamine mõõtmisperioodil 01.03 – 15.03.2021



JOONIS 18 Sooja tarbevee valmistamine mõõtmisperioodil 01.03 – 01.10.2021

Väljaehitatud süsteemis (vt täpsemalt joonis 7) saab tarbevee tsirkulatsiooni kütta ainult tarbevee soojusvaheti. Seda seetõttu, et tsirkulatsiooni temperatuurigraafik on 50/55°C, kuid hallvee soojustagastusseadmest jõuab tarbevee soojusvahetisse tabel 8 põhjal ainult 34,8°C vesi. Kui tsirkulatsioon ühendada selliselt, et see läbib tarbevee akumulatsioonimahuteid, siis sellise ühendusskeemi järgi hakkaks sooja tarbevee tsirkulatsiooni kontuurist tulev vesi mahuteid kütma.

Kuna tsirkulatsioon moodustab sooja tarbevee soojusenergiakulust 12%, siis oleks oluline energia kokkuhoid, kui tsirkulatsiooni saaks kütte hallvee soojustagastussüsteemiga. Sellisel juhul jaguneks sooja tarbevee valmistamine gaasikatelde ja hallvee süsteemi vahel võrdselt 50/50%.

Tsirkulatsioonigraafik on kõrge (50/55°C), sest tagatakse legionella bakteri mitte levimist. Sooja vee tsirkulatsiooni graafikut saab langetada ainult juhul kui legionella bakteri levik on muul viisil takistatud. Näiteks on võimalik kasutada sooja tarbevee süsteemis iganädalast desinfitseerimisstsükli selleks, et suuremal osal ajast töötaks tsirkulatsioonisüsteem madalatel temperatuuridel.

Sellisel juhul tuleks tarbevee tsirkulatsioon ühendada viisil, kus gaasikateldega oleks võimalik tarbevee akumulatsioonimahutite temperatuuri teatud aja tagant tõsta. Muul ajal tsirkuleeriks sooja tarbevee süsteemis 35°C vesi. Madalam temperatuur tsirkulatsioonisüsteemis tähendab väiksemaid soojuskadusid läbi magistraalitorustike.

Samuti saaks vähendada sooja vee akumulatsioonimahutite mahtu, sest sooja vee tsirkulatsioonile kulub soojusenergiat ka siis kui hoones sooja vee tarbimine puudub.

Kui väljaehitatud skeemi kohaselt tehakse hallvee soojustagastussüsteemiga soojale tarbeveele eelkütet, siis vastavalt kehtivale Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühingu dokumendile „Soojussõlmed. Juhised ja eeskirjad.“ seda kaugkütte soojussõlmes teha ei tohiks. Vastavalt juhendmaterjalile tuleks kaugkütte korral rakendada alternatiivkütte skeemi, mille alusel ei tohiks soojuspumba abil tarbevett eelsoojendada, vaid süsteem peaks toimima paralleelühenduse põhimõttel [20].

Käesolevas töös sellise süsteemi hüdraulikale, väljakutsetele ja automaatikale täpsemalt ei keskenduta.

4.3 Süsteemi hinnanguline maksumus ja tasuvusaeg

Üliõpilastöö süsteemi rajamiskuludele ja tasuvusajale väga intensiivselt ei keskendu, sest süsteemi erinevate komponentide hinnad on pidevas muutumises sarnaselt ehitussektoriga.

Autor on koostanud tehnosüsteemide projekteerimise valdkonnas väga paju erinevaid tasuvusarvutusi ning neid tellijatele esitlenud ja raporteerinud. Tasuvusaegu on arvutatud nii villadele, veekeskustele kui ka suurele kaubanduskeskusele Riia kesklinnas.

Üldiselt on autor täheldanud järgmist:

- tasuvusaeg <5a – investeringu tõenäosus 90%
- tasuvusaeg 5a–10a – investeringu tõenäosus 50-70%
- tasuvusaeg >10a – investeringu tõenäosus vähem kui 30%

Seega võib pidada tasuvusaega <10a selliseks suurusjärguks, millesse investeeritakse küllaltki suure tõenäosusega.

Hallvee soojustagastussüsteemi alginvesteeringu suurust objektil Paagi 10, Tallinn käsitleb tabel 15.

TABEL 15 Alginvesteering Paagi tn 10, Tallinn

Hallvee soojustagastussüsteemi maksumus	
Kuluartikkel	Hind
Menerga AquaCond 441221	EUR 25,000
Tarbevee akumulatsioonimahutid	EUR 10,000
Hallvee mahuti	EUR 7,500
Väikevahendid ja paigaldus	EUR 5,000
Kahesüsteemse kanalisatsiooni rajamise lisamaksumus	EUR 5,000
KULUD KOKKU	EUR 52,500

Tasuvusaja arvutamisel lähtuti 2021. aasta teises pooles eratarbijale kehtivatest kaugkütte ja elektrienergia hindadest.

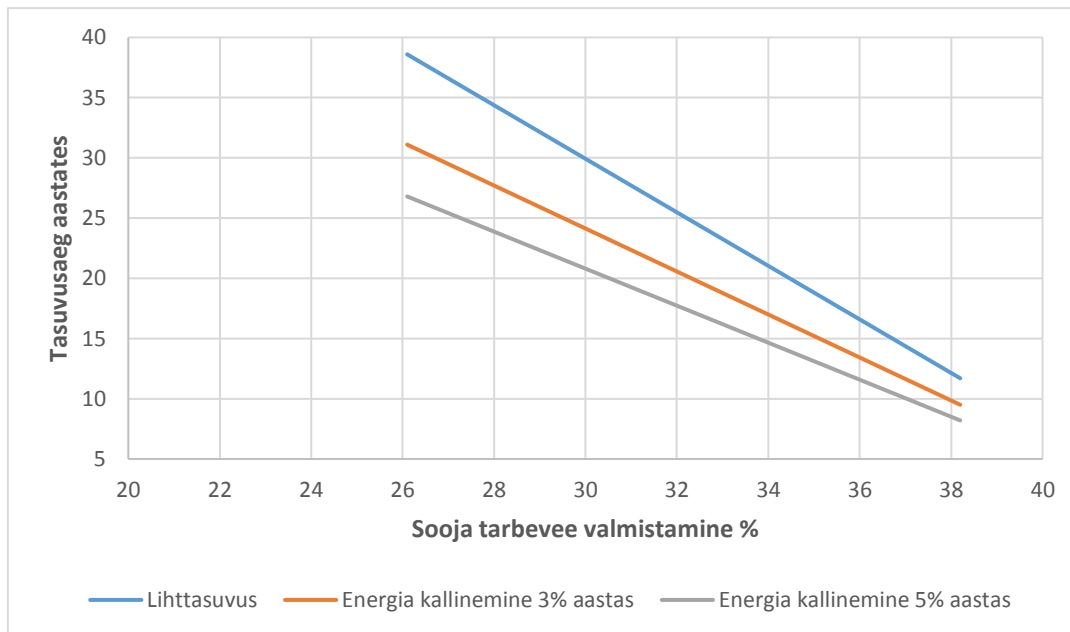
- elektrienergia 200 EUR/MWh
- soojusenergia 100 EUR/MWh

Arvutati välja nii lihttasuvus kui tasuvusajad, mis arvestavad energiahinna kallinemist ajas. Energiahinna tõusuks valiti 3% ja 5% aastas. Bakteriaalse lisandi **GreenLink Canazim Forte** kulu mõõtmisperiodil oli 20 kg/kalendrikuus. Tasuvusaja arvutamisel lähtuti sellest, et bakterit doseeritakse konstantselt iga päev.

TABEL 16 Tasuvusajad Paagi tn 10, Tallinn

Hallvee soojustagastussüsteemi tasuvusajad		
Süsteemi maksumus	EUR 52,500	
Mõõtmiste periood	2 nädalat 01.03 - 15.03.2021	7 kuud 01.03 - 01.10.2021
Süsteemi elektrienergia kulu	EUR 105	EUR 1,097
Hoolduskulu, bakteri lisamine, süsteemi puhastamine	EUR 100	EUR 1,400
Toodetud soojusenergia maksumus	EUR 398	EUR 3,515
Süsteemi ekspluatatsioonikulud aastas	EUR 5,357	EUR 4,258
Süsteemi poolt toodetud soojusenergia rahaline tulu aastas	EUR 10,379	EUR 5,994.87
Aastane rahaline kokkuhoid	EUR 5,022	EUR 1,737
Lihttasuvus	10.5	30.2
Tasuvusaeg hinnatõus 3%	8.4	24.4
Tasuvusaeg hinnatõus 5%	7.3	21.0

Parema ülevaate vaadeldava süsteemi tasuvusajast ja töötamisest annab joonis 19.



JOONIS 19 *Tasuvusaeg*

Tabel 16 ja joonis 19 näitavad selgelt, et mida suuremat osakaalu kogu sooja tarbevee valmistamisest hallvee soojustagastussüsteemiga tagatakse, seda kõrgem on süsteemi soojustegur ja lühem tasuvusaeg.

Kahenädalasest mõõtmisperioodist lähtudes on süsteemi tasuvusaeg ca 8 aastat ja soojustegur 7.5. Samal ajal 7 kuu pikkusel perioodil jäi tasuvusaeg 25 aasta juurde ning soojustegur oli 6.4. Need tulemused on igati loogilised, sest lühemal perioodil töötas süsteem keskmiselt 13 h/ööpäevas ning pikemal vaatlusel ainult 9 h/ööpäevas.

Kui hallvett on piisavalt ja süsteem saab ööpäevas keskmiselt 9 tundi töötada, siis on kogu süsteemi soojustegur > 6. Mõõtmistulemustele tuginedes võib väita, et hallvee optimaalne kogus on selline, kus süsteem saaks ööpäevas töötada vähemalt 12 tundi.

4.3.1 Meetmed, kuidas süsteemi tasuvusaega lühendada

Esimene võimalus, kuidas käsitletud hallvee soojustagastussüsteemi tasuvusaega lühendada, on soojustagastusseadme ja muude vajalike komponentide maksumuse vähendamine. Käesolevas töös seadme maksumuse (sh tootmise) optimeerimist täpsemalt ei uurita.

Mõõtmistulemused ja arvutused näitavad, et seadme soojustegur on seda kõrgem, mida rohkem seade ööpäevas töötab. Väga oluline faktor on ka hallvee puhtus ja temperatuur. Mida rasvasem on seadmesse jõudev hallvesi, seda halvem on

soojusülekanne soojusvahetis, sest rasv kahandab soojusvahetust. Mida kõrgema temperatuuriga hallvesi seadmesse jõuab, seda suurem on seadme soojustegur.

4.3.2 Ettepanekud soojusteguri suurendamiseks

1. Soojustagastusseade

Uuritav seade töötab sisse/välja režiimis ja konstantsel hallvee vooluhulgal 1,2 m³/h. Kui hallvee mahutis piisavalt vett ei ole, siis seade töötada ei saa. Samal ajal aga toimub paagis hallvee jahtumine, mis kokkuvõttes vähendab soojustegurit. Kui seade saaks töötada osakoormusel (sh osalisel vooluhulgal), siis oleks võimalik kasutada ära kõrgema temperatuuriga hallvett.

2. Hallvee mahuti

Rasvade ladestumise vältimine ja hallvee puhtana hoidmine aitab hoida kestvalt kõrget soojustegurit. Mõõtmiste alguses kasutama hakatud bakteriaalse lisandi toime on hea, kuid rahaline kulu on suur. Rasvade ladestumist ei toimunud kui bakterit doseeriti 20 kg/kalendrikuus (ca 0,7 l/ööp).

Bakteriaalset lisandit tuleb doseerida vastavalt hallvee mahule (nn maja hallvee tootlikkusele). Mõõtmiste perioodil leidis aset situatsioon, kus hoones veetarbimist polnud või oli see ääretult madal, kuid bakteriaalset lisandit doseeriti vaatamata sellele 0,7 liitri ööpäevas.

Mida lähemale reostusallikale (nt köögivalamud) saab bakterit doseerida, seda efektiivsem on toime ning kulu väiksem. Seega tulevikus oleks mõistlik hallvee kogumistorustiku projekteerimisel juba sellega arvestada.

Sageli on siiski hoone arhitektuurne iseloom selline, et bakteri dosaatorit hallvee kogumistorustikku vahetult reostusallika lähedusse ei ole võimalik ette näha. Kui konstrueerida hallveemahuti, kus toimub ka segamine, siis on samuti võimalik bakteriaalset lisandit vähendada, sest bakteri töö oleks oluliselt efektiivsem. Mehaaniline segamine võib aga tekitada uusi probleeme hoolduses ning energiakulu on samuti küsitav. Efektiivne viis bakteri töö efektiivsemaks muutmisel oleks mahuti aereerimine. Õhustamine toimuks läbi mahuti põhja lisatava aeraatortaldriku, mis mahuti läheduses asuvast õhupumbast saaks vooliku kaudu vajaliku õhu.

Kindlasti tuleks mahutis asuv ujuk asendada mõne töökindlama lahendusega, sest mõõtmisperioodil oli nn kinnijäänud ujuki tõttu palju süsteemi seisakuid.

3. Tarbevee tsirkulatsioon

Kui hallvee soojustagastussüsteemi soojusenergiaga saaks varustada ka hoone tarbevee tsirkulatsiooni, siis oleks süsteemis ööpäevaringne konstantne soojusenergia tarbija. Sellisel juhul oleks tarbevee akumulatsioonimahutites soojuskadu väiksem. Samuti väheneb süsteemi ehitusmaksumus, sest vajalik tarbevee akumulatsioonimaht oleks väiksem.

4.4 Süsteemi mõju kortermajade energiatõhususele ja energiamärgisele

Üliõpilastöös uuriti süsteemi mõju kolme erineva hoone energiatõhususele, mille arvutuslike energiamärgiste koostamise juures on töö autor isiklikult osalenud. Valikusse mahtus kaks kortermaja ning üks korteritega vanadekodu.

Hallvee soojustagastussüsteemi lähteparameetrid energiatõhususe arvutuste tegemiseks on koondatud tabelisse 17.

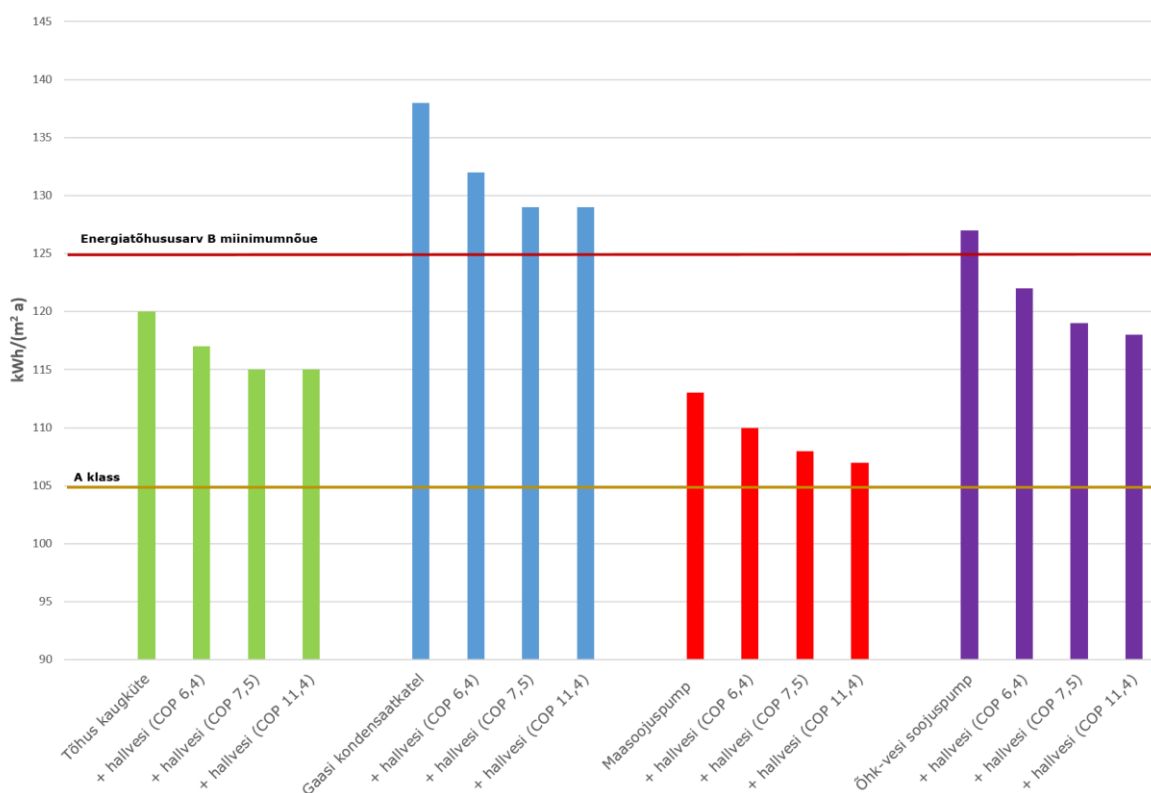
TABEL 17 *Hallvee soojustagastussüsteemi soojustegurid ja osakaalud*

Hallvee soojustagastussüsteemi parameetrid energiamärgise arvutamiseks	
Period 01.03 - 15.03.2021	
COP_{sys}	7.5
Hallvee soojustagastussüsteemi toodetud soojusenergia	3981
Gaasikatlala soojusenergiakulu soojale tarbeveele	6450
Süsteemi osakaal sooja tarbevee valmistamisel	38.2%
Period 01.03 - 01.10.2021	
COP_{sys}	6.4
Hallvee soojustagastussüsteemi toodetud soojusenergia	35148
Gaasikatlala soojusenergiakulu soojale tarbeveele	99500
Süsteemi osakaal sooja tarbevee valmistamisel	26.1%
Brošüür	
COP_{sys}	11.4
Süsteemi osakaal sooja tarbevee valmistamisel	35.0%

Valitud hoonetele arvutati energiatõhususarvud B kahel põhjusel.

Esiteks hallvee soojustagastussüsteemi mõju hoone energiatõhususarvule ei sõltu lokaalselt toodetud energiast. Teiseks on hoonetele kehtestatud miinimumnõuded, millele hoonete energiatõhususarv B peab vastama. Arvutustest kasutati erinevaid soojusallikaid, et uurida millise soojusallika korral on hallvee soojustagastuse mõju hoone energiatõhususarvule kõige suurem.

Arvutuslikult määratud energiatõhususarvud koondati vastavalt hoonetele joonistele 20-22. Käsitletud hoonete originaalsed energiamärgiste lähteandmete ja tulemuste tabelid on esitatud lisades 2-4.



JOONIS 20 Hoone nr 1 energiatõhususarvud

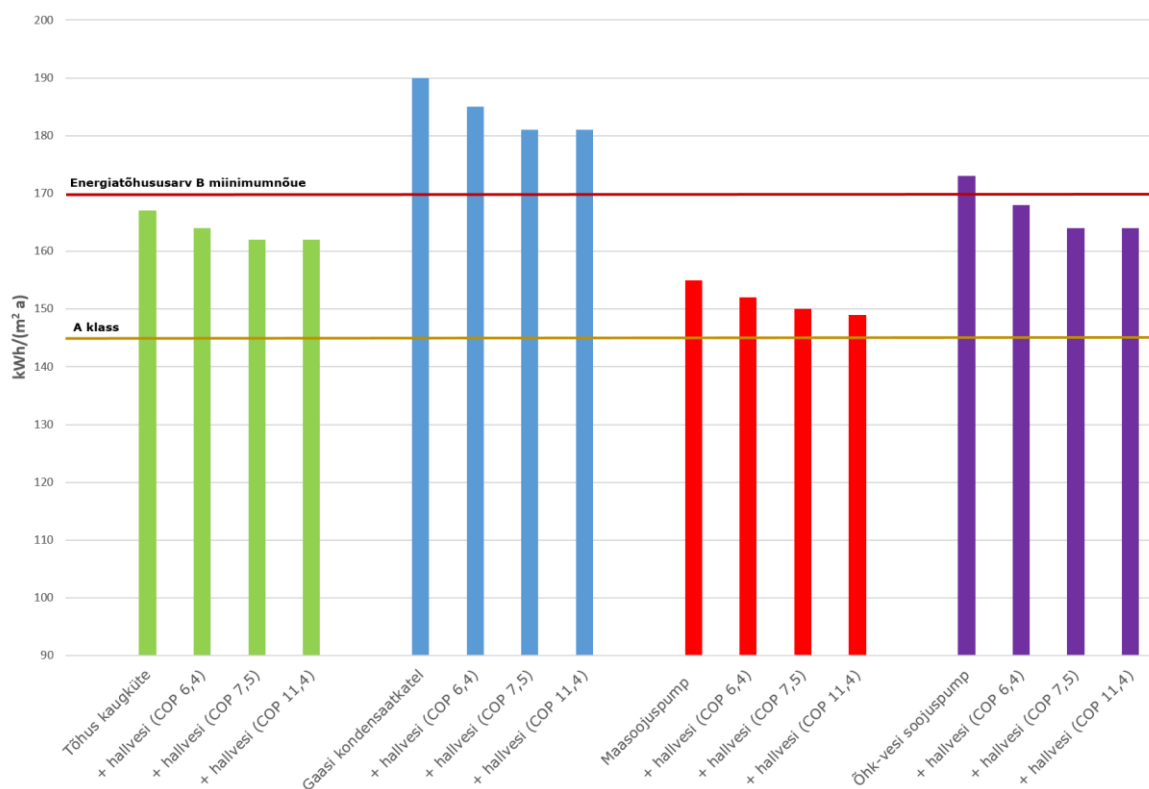
Hoone nr 1 on 1005,6 m² köetava pinnaga nn tavaline 4-korruseline kortermaja, mille soojusallikaks on tõhus kaugküte. Hoones on 12 korterit.

Energiatõhususarvu muutus sõltuvalt soojusallikast on järgmine:

- Tõhus kaugküte 2-4%
- Maagaasi kondensaatkatel 4-7%
- Maasoojuspump 3-5%
- Õhk-vesi soojuspump 4-7%

Antud hoones ei vasta ETA B energiatõhususe miinimumnõuetele kui soojusallikaks on gaasikatel ja õhk-vesi soojuspump. Jooniselt 20 on näha, et hallvee soojustagastussüsteemi kasutamiseiga oleks võimalik õhk-vesi soojuspumbaga energiatõhususe miinimumnõudeid täita.

Ülejäänud soojusallikate korral on minimaalne ETA B tagatud ning kui lisada hoonele vajalik mahus lokaalseid taastuenergiaallikaid (nt elektrit tootvad päikesepaneelid) on hoonele vajalik A energiatõhususklass saavutatud.



JOONIS 21 Hoone nr 2 energiatõhususarvud

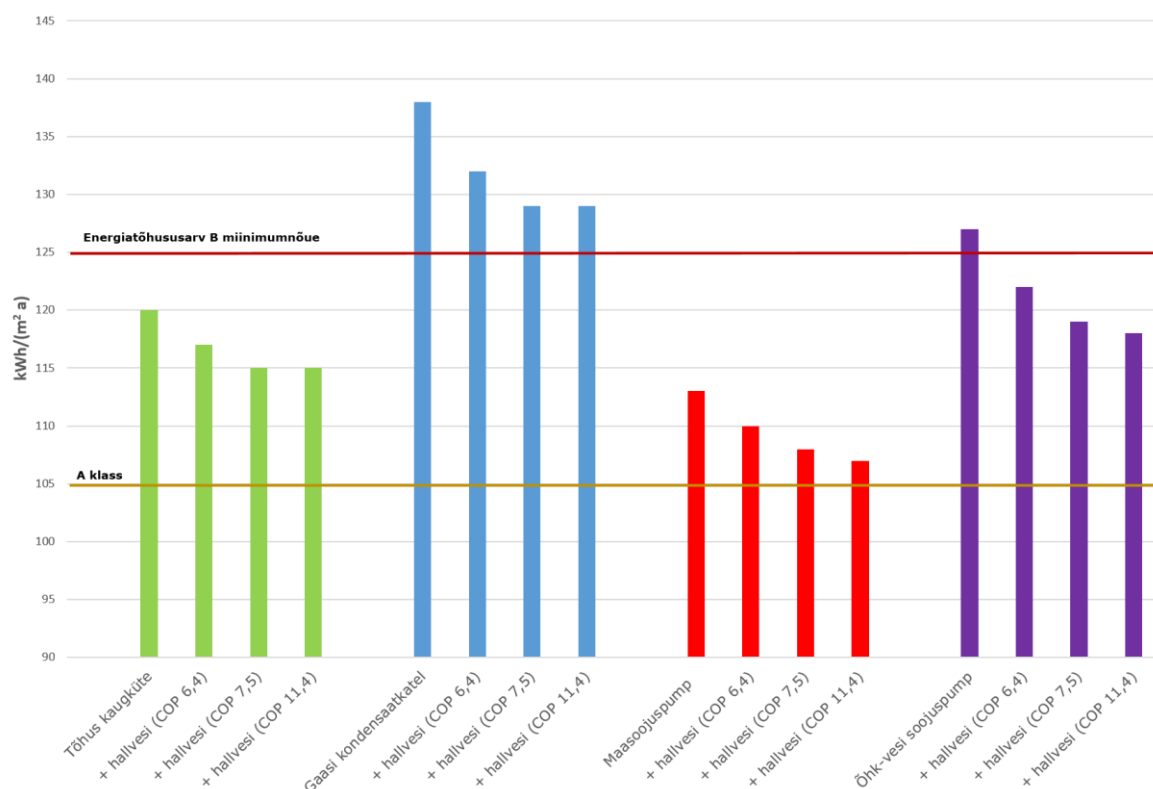
Hoone nr 2 on 1329,3 m² köetava pinnaga kahekorruseline vanadekodu, mille kasutusprofiil on veidi erinev korterelamust, kuid oma olemuselt on tegemist siiski elamuga. Energiamärgis on arvatud majutushoone profiili järgi vastavalt kehtivale määrusele. Hoone soojusallikaks on tõhus kaugküte. Hoones on 21 üurituba.

Energiatõhususarvu muutus sõltuvalt soojusallikast on järgmine:

- Tõhus kaugküte 2-3%
- Maagaasi kondensaatkatel 3-5%
- Maasoojuspump 2-4%
- Õhk-vesi soojuspump 3-5%

Ka selles hoones ei vasta ETA B energiatõhususe miinimumnõuetele kui soojusallikaks on gaasikatel ja õhk-vesi soojuspump. Jooniselt 21 on näha, et hallvee soojustagastussüsteemi kasutamisega oleks jällegi võimalik õhk-vesi soojuspumbaga energiatõhususe miinimumnõudeid täita.

Ülejäänud soojusallikate korral on minimaalne ETA B tagatud ning kui lisada hoonele vajalik mahus lokaalseid taastuenergiaallikaid (nt elektrit tootvad päikesepaneelid) on hoonele vajalik A energiatõhususklass saavutatud.



JOONIS 22 Hoone nr 3 energiatõhususarvud

Hoone nr 3 on 2123,8 m² kätava pinnaga kortermaja, mille soojusallikaks on tõhus kaugküte. Hoonesse on projekteeritud 18 korterit.

Hoone nr 3 energiatõhususarvu muutus sõltuvalt soojusallikast on järgmine:

- Tõhus kaugküte 3-5%
- Maagaasi kondensaatkatel 4-7%
- Maasoojuspump 3-5%
- Õhk-vesi soojuspump 4-7%

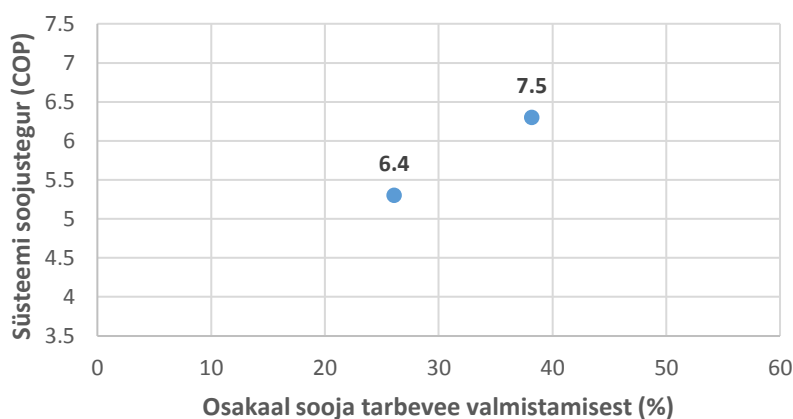
Antud hoones ei vasta ETA B energiatõhususe miinimumnõuetele kui soojusallikaks on gaasikatel. Jooniselt 22 on näha, et hallvee soojustagastussüsteemi kasutamisega on teatud tingimustel võimalik energiatõhususe miinimumnõudeid täita isegi siis kui soojusallikaks on gaasikatel.

Joonised 20-22 näitavad, et mida parema soojusteguriga hallvee soojustagastussüsteem on hoonesse paigaldatud, seda vähem on taastuenergiaallikaid vaja kasutada.

Erinevate soojusallikate korral on hallvee soojustagastussüsteemi mõju hoone energiatõhususele erinev. Samuti sõltub efekt sellest, millise soojusteguri ja osakaaluga hallvee soojustagastussüsteem töötab. Hallvee soojustagastussüsteem mõjutab kõige rohkem kortermajade energiatõhusust, mille soojusallikas on suure süsinik jalajäljega (maagaas, õhk-vesi soojuspump). Kui soojusallikaks on kõrge soojusteguriga maasoojuspump, siis praktiliselt hallvee soojustagastus hoone energiatõhusust ei mõjuta, sest hallvee soojustagastussüsteem on sisuliselt kõrge soojusteguriga soojuspumpsüsteem.

Kokkuvõtlikult saab öelda, et hallvee soojustagastussüsteemi soojustegur ei oma väga suurt mõju kortermajade energiatõhususele.

Kortermajade energiatõhusus on kõige rohkem mõjutatud sellest kui suure osakaalu tarbevee soojendamise katab hallvee soojustagastuse süsteem. Mida rohkem hallvee soojuspumbaga sooja tarbevett valmistada saab, seda madalam on hoone energiatõhususarv ja seda kõrgem on hallvee soojustagastussüsteemi soojustegur (vt joonis 23).



JOONIS 23 COP_{sys} ja osakaal

Süsteemi edasisel arendusel tuleb enim tähelepanu pöörata sellele, kuidas saab hallvee soojustagastussüsteemiga maksimaalselt sooja tarbevett valmistada ning minimaliseerida süsteemi seiskumist põhjustavad tegurid. Lisaks on väga oluline, et seadme mittetöötamise häire oleks monitooritud hooneautomaatikas!

KOKKUVÕTE

Vastavalt mõõtmistulemustele on hallvee mahutis keskmiselt 28.5°C vesi. Hallvee soojustagastust kasutamata voolab igapäevaselt sellise temperatuuriga hallvesi koos potentsiaalse soojusenergiaga ühiskanalisatsiooni. Eestis on mõned kortermajad, kus on kasutatud erinevaid lahendusi, et see soojus kätte saada ja hoone soojusenergia tarbimises kasutada.

Käesolevas töös keskenduti Paagi tn 10, Tallinn sotsiaalmaja hallvee soojustagastuse uurimisele, mõõtmisele ja süsteemi toimivust mõjutavate probleemide lahendamisele.

Väga oluline faktor süsteemi häirete vaba töö tagamiseks on püsivalt puhas hallveemahuti ja soojustagastusseadme automaatne läbipesu. Töö käigus katsetati elavat bakteriaalselt lisandit, mida doseeriti hallvee mahutisse. Bakteri toime oli suurepärase, sest 7-kuulise mõõtmisperioodi käigus mahutis rasvade ladestumist ei toimunud.

Käsitletud hallvee soojustagastussüsteemiga on võimalik kortermajade energiatõhususarvu vähendada kuni 7%. Uuritud hallvee soojustagastussüsteemi kasutamisega on võimalik tagada miinimumnõuded selliste hoonete energiatõhususele, kus ebatõhusa soojusallika (nt õhk-vesi soojuspump, gaasikatel) kasutamisest tulenevalt, seda muidu teha võimalik ei oleks.

Töö põhieesmärk sai täidetud, töös käsitletud hallvee soojustagastussüsteemil on oluline mõju kortermajade energiatõhususele. Mida suuremat osa hoone soojast tarbeveest on võimalik hallvee soojustagastussüsteemiga valmistada, seda rohkem on kortermaja energiatõhusus positiivses suunas mõjutatud. Süsteemi soojusteguril on pigem marginaalsem mõju.

Kahenädalasel mõõtmiste perioodil valmistas hallvee soojustagastussüsteem 38% kogu hoone soojast tarbeveest. Hoonete energiatõhususarvu vähendaks selliselt töötav süsteem kuni 9 kWh/(m²a). Pikemal 7-kuulisel perioodil oli hallvee süsteemi osakaal sooja tarbevee valmistamisel 26% ning energiatõhususarv väheneks kuni 6 kWh/(m²a).

Antud tööga on täitnud autor ka enda isiklikud eesmärgid. On põhjalikult uuritud ja mõõdetud tehnosüsteemi, mille projekteerijaks oli autor ise.

Töö tulemused näitavad seda, et tulevikus on mõistlik hallvee soojustagastust kajastada ka hoonete energiatõhususe miinimumnõuetes.

Tööd jätkates võiks välja selgitada hallvee soojustagastusseadme tootmiseks vajalikud parameetrid, mille alusel saab toota seadmeid vastavalt konkreetse hoone hallvee kogusele. Seade peaks saama valmistada maksimaalse koguse hoone soojast tarbeveest. Lisaks oleks mõistlik keskenduda hallvee mahuti uurimisele, et optimeerida elava bakteriaalse lisandi kulu.

SUMMARY

According to measurements, the average water temperature in the greywater tank is 28.5°C. This greywater includes potential heating energy and on daily bases flows directly into the public sewer. There are some apartment buildings in Estonia where different solutions have been used to recover this heat and reduce building energy consumption.

Localized heat recovery system from greywater in the apartment building on Paagi tn 10, Tallinn were studied. Different measurements and investigations were performed to analyse the system.

The results indicate that the more hot water of the total domestic hot water in the building is produced with the greywater heat recovery system the higher COP (Coefficient of Performance) and shorter payback period this system has.

A very important fact to ensure long-term operation of the system is the automatic flushing system in the heat exchanger and constantly clean greywater tank. During the measuring, a bacterial solution was tested, which was dosed directly into a greywater tank. The bacteria gave excellent results because during the 7-month measurement period there where no fat deposition.

This greywater heat recovery system has a significant impact on the energy efficiency of the apartment buildings. With studied system it is possible to reduce the energy consumption of apartment buildings by up to 7%.

During the two-week measurement period, the greywater heat recovery system produced 38% of the total domestic hot water in the building. Over a longer period (7 months) the volume of the produced hot water was 26%.

In the future it is reasonable to include the heat recovery of greywater in the minimum energy performance requirements for buildings.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] L. Wang, G. Ma, F. Zhou, Y. Liu, and T. Tian, "Multicriteria decision-making approach for selecting ventilation heat recovery devices based on the attributes of buildings and the preferences of decision makers," *Sustainable Cities and Society*, vol. 51, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101753.
- [2] Schmid F. Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers. 9th Int. IEA Heat Pump Conf., Zurich, Switzerland: 2008.
- [3] Alekseiko, L. N. A. Slesarenko V V., Yudakov A. Combination of wastewater treatment plants and heat pumps. *Pacific Sci Rev* 2014;16:36–9.
- [4] Đurđević D, Balić D, Franković B. Wastewater heat utilization through heat pumps: The case study of City of Rijeka. *J Clean Prod* 2019;231:207–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.235>.
- [5] Mikkonen L, Rämö J, Keiski RL, Pongrácz E. Heat recovery from wastewater: Assessing the potential in northern areas. *Water Res* 2017.
- [6] F. Meggers and H. Leibundgut, "The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 4, pp. 879–886, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.12.008.
- [7] A. Bertrand, R. Aggoune, and F. Maréchal, "In-building waste water heat recovery: An urban-scale method for the characterisation of water streams and the assessment of energy savings and costs," *Applied Energy*, vol. 192, pp. 110–125, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.01.096.
- [8] S. Alnahhal and E. Spremberg, "Contribution to Exemplary In-House Wastewater Heat Recovery in Berlin, Germany," in *Procedia CIRP*, 2016, vol. 40, pp. 35–40. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.046.
- [9] F. Golzar and S. Silveira, "Impact of wastewater heat recovery in buildings on the performance of centralized energy recovery – A case study of Stockholm," *Applied Energy*, vol. 297, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117141.
- [10] F. Levihn, "CHP and heat pumps to balance renewable power production: Lessons from the district heating network in Stockholm," *Energy*, vol. 137, pp. 670–678, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.01.118.
- [11] S. J. Kenway, R. Scheidegger, and H. P. Bader, "Dynamic simulation of showers to understand water-related energy in households," *Energy and Buildings*, vol. 192, pp. 45–62, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.03.008.
- [12] "HALLVEE SOOJUSTAGASTUSE KOHTSEADMETE TEHNOLOOGIATE ÜLEVAADE HORISONTAALPAIGALDUSEGA DUŠI SOOJUSTAGASTI UURINGUGA A REVIEW OF

LOCALIZED GREY WATER HEAT RECOVERY TECHNOLOGIES WITH A CASE STUDY OF A HORIZONTAL SHOWER HEAT RECOVERY UNIT."

- [13] „Time-varying demands,” %1 Advanced water distribution modeling and management, Waterbury, Haestad Press, 2003, pp. 155-156.
- [14] T.-A. Kõiv ja A. Toode, *Hoonete Soojaveearustus*. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2010.
- [15] B. Hadengue, E. Morgenroth, T. A. Larsen, and L. Baldini, “Performance and dynamics of active greywater heat recovery in buildings,” *Applied Energy*, vol. 305, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117677.
- [16] “Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika – Riigi Teataja.” [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019005?leiaKehtiv>
- [17] “Hoone energiatõhususe miinimumnõuded – Riigi Teataja.” [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014?leiaKehtiv>
- [18] “Hooneteenergiatõhususarvudepiirväärtused 2020”.
- [19] K. Ahmed, P. Pylsy, and J. Kurnitski, “Hourly consumption profiles of domestic hot water for different occupant groups in dwellings,” *Solar Energy*, vol. 137, pp. 516–530, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.08.033.
- [20] “Soojussõlmed. Juhised ja eeskirjad.” Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, 2019.

LISAD

LISA 1 Menerga tehniline andmeleht

Technical data sheet

Technical data sheet for Pos. 0010
of order-no. 5178763
Mülheim an der Ruhr, received on 27.03.2019

Construction pr EE - Paljassaare, Paggi
Unit: waste water heat recovery
Artikel-Nr./Gerätetyp: 441221

Technical specs of air duct connections onto unit

Pump

Waste water

Description	
Type	BADU 90/11 DR
Rated voltage	3/PE,230/400 V
Rated frequency	50 Hz
Rated capacity	0,45 KW
Rated current	2,15/1,25 A
Rated rpm	2840 rpm
Volume flow	1,2 m ³ /h
pressure increase	1,38 bar

Clean water

Description	
Type	2HM3T
Rated voltage	3/PE,230/400 V
Rated frequency	50 Hz
Rated capacity	0,3 KW
Rated current	1,8/1,0 A
Rated rpm	2850 rpm
Volume flow	1,2 m ³ /h
pressure increase	2 bar

Compressor

Heat pump

Benennung	
Type	ZR48K3E-TFD-522
Generated volume flow	11,5 m ³ /h
Refrigerant type	R407C
Rated voltage	400 V
Rated frequency	50 Hz
Rated capacity	3,8 KW
Rated current	10 A
Starting current	50 A
Rated rpm	2900 rpm
Power consumption	2,7 KW

Water condenser

Clean water

Description	
Fin/tube materials	1.4401
brazing/seal material	
Heat carrier	water
Heat carrier volume flow rate	1,2 m ³ /h
Heat carrier flow resistance	9,2 kPa
Entering temp of heating medium	26,1 °C
Leaving temp of heating medium	36 °C
Refrigerant type	R407C
Refrigerant mass flow	0,06 kg/s
Condensation temperature	38,4 °C
Condensation capacity	13,8 KW
Refrigerant pressure loss	0,08 bar

Water evaporator

Waste water

Description	
Fin/tube materials	CuNi10Fe

brazing/seal material	
Refrigerant carrier	water
Flow volume of refrigerant carrier	1,2 m3/h
Refrigerant carrier flow resistance	16 kPa
Entering temp of cooling medium	14,8 oC
Leaving temperature of cooling medium	6,8 oC
Refrigerant type	R407C
Refrigerant mass flow	0,06 kg/s
Evaporating temperature	2,3 oC
Cooling capacity	11,2 KW
Refrigerant pressure loss	0,16 bar
<u>Heat exchanger water</u>	
<i>Recuperator</i>	
Description	
Fin/tube materials	CuNi10Fe
brazing/seal material	
Refrigerant carrier	water
Flow volume of refrigerant carrier	1,2 m3/h
Refrigerant carrier flow resistance	24 kPa
Heat carrier	water
Heat carrier volume flow rate	1,2 m3/h
Heat carrier flow resistance	96,5 kPa
Entering temp of cooling medium	31 oC
Leaving temperature of cooling medium	14,8 oC
Entering temp of heating medium	10 oC
Leaving temp of heating medium	26,1 oC
<u>Control panel layout</u>	
<i>Mains connection for the unit</i>	
Total current consumption I _{max}	12,3 A
Connection capacity S _{max}	8,5 kVA
Fuse	20 A
Mains connection	3/N/PE 400V 50Hz

LISA 2 Hoone nr 1 energiamärgise tabelid

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed									
Arvustusoonide arv	1								
Küttesüsteemi tüüp	Kaugküte								
-soojuse tootmine ja kütus	Põrandküte								
-soojuse jaotamine	Soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon								
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Ei ole								
Jahutussüsteem (on/ei ole)	Ei ole								
Õhulekkearu väärtuse allikas	Majandus- ja taristuministri määrus nr 58								
Joonsoojuslähivuse väärtuse allikas	Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuste kataloog								

Soojuskaudu läbi piirdetarindi					Soojuskaudu läbi joon- ja punktsoojuslähivuste				Õhulekest tingitud soojuskadu*	
Piirdetarind	g	U_{ij} W/(m ² ·K)	A_{ij} m ²	$H_{iühivus}$ W/K	Joon- või punktsoojuslähivus	Ψ_{ij} W/(m·K)	l_{ij} m	H_{jjoonl} W/K	Omadus	Suurus
Välissein VS-1		0.15	330.1	50.2	Välissein-välissein välisnurk	0.05	85.8	4.3	Õhulekkearu q_{50}	2.5
Katuslagi KL-1		0.11	347.2	38.2	Välissein-välissein sisenurk	-0.07	50.9	-3.6	$m^3/(h \cdot m^2)$	
Välissein VS-2		0.16	149.2	23.9	Katuslagi-välissein	0.11	87.7	9.6	$A_{v,p}$ (välispiirded), m ²	1386.0
Aken (NNE)	0.50	0.90	85.9	77.3	Välissein-põrandpinnasel	0.17	57.9	9.8	Korruste arv (täisarv)	4.0
Aken (ESE)	0.50	0.90	100.9	90.8	Akna seinakinnitus	0.05	579.6	29.0	\dot{V}_{inr} , m ³ /s	0.0481
Aken (SSW)	0.38	0.90	29.6	26.6	Välissein-vahelagi	0.03	406.3	10.2		
Aken (WWW)	0.50	0.90	96.6	87.0						
Põrand õhus PP-1		0.11	209.6	23.1						
Põrand pinnasel PP-2		0.13	36.9	4.8						
Kokku:				$H_{iühivus}$, W/K	421.8	H_{jjoonl} , W/K		59.4	$H_{õhulek}$, W/K	58.0
Välispiirde summaarne soojuserikadu					$\sum H$, W/K			539.2		
Välispiirde keskmine soojuslähivus					$\sum H / A_{v,p}$			0.4		
Hoone kätav pind					$A_{kätav}$, m ²			1005.6		
Hoone madala temperatuuriseadega pind					A_{madal} , m ²			103.2		
Välispiirde summaarne soojuserikadu kätava pinna kohta					$\sum H / A_{kätav}$ W/(m ² ·K)			0.54		

* simulatsioonides on infiltratsiooni õhuhulgad määratud Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika § 13 lõik 2 alusel

Ventilatsioonisüsteem	Õhuvooluhulk sissep/väljät.	Süsteemi SFP	Soojustagasti tüüp	Soojustagasti temperatuuri suhtarv,	Heitõhu min. temp. ¹	Sissepuhkeõhu temperatuur ²
	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)		-	°C	°C
Sissepuhke- ja väljatõmbesüsteem	0,43/0,43	1,57	Roor	0,84	0	18

¹ soojustagasti külmutamise vältimine
² esitatakse konstantse sissepuhketemperatuuriseade puhul

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi ³ keskmine soojustegur	Soojus- ³ pumba osakaal	Abiseadmete ⁴ elekter kWh/(m ² a)	Küttegaafik °C / °C	Küttesüsteemi võimsus ⁵ Elekter kW	Soojus kW
Küttesüsteem Põrandküte	Kaugküte	0.9	0.96	-	-	1	35/30	33
Soe tarbevesi	Kaugküte	0.9	1.00	-	-	-	5/55	110
Ventilatsiooniküte	Elektrikalorifeer	1	1.00	-	-	-	-	-

³ esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul
⁴ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Lokaalse taastuenergia süsteemid	Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²	Päikese-paneelide max võimsus, kW	Tuulegeneraatori nimivõimsus, kW
	-	16.7	-

Vabasoojused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas	Kasutusaeg tundi päevas
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h
Korterelamu	3	3	-	60	7	24
	-	-	8	10	7	24

21/05/2020 Gery Einberg /alkirjastatud digitaalselt/

Energiaarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta

Hoone kasutusotstarve	11222 Muu kolme või enama korteriga elamu	<input checked="" type="checkbox"/> Uusehitus
Aadress	Kivimurru 7a, Tallinn, Harjumaa	<input type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine
Ehitusaasta	2020	<input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine
Kõetav pind	1005.6 m ²	<input type="checkbox"/> Olemasolev hoone
Madala temp.seadega pind	103.2 m ²	
Netopind	1108.8 m ²	
Energiaarvutus	105 kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)	
Energiaarvutus B	120 kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)	

^B Energiaarvutus ilma lokaalselt toodetud elektrita

Energiaarvutus	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalitud energiaarvutus kWh/(a m ²)
<i>Elekter</i>	-	32171	32.0	6392	6	2.0	64.0
<i>Tõhus kaugküte</i>	-	63078	62.7	-	-	0.65	40.8
Summa	-	95249	94.7	6392	6	-	105

Lokaalselt toodetud ja eksporditud
energia

Lokaalselt toodetud		Eksporditud		Omatarbe osakaal
kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	%

<i>Soojusenergia päikesest</i>	-	-	-	-
<i>Elekter päikesest</i>	14203	14	6392	6
Summaarne energiaarvutus	Elekter	Soojus	Elekter	Soojus
	kWh/a	kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/(a m ²)

Küttesüsteem

Ruumide küte	-	29558	-	29.4
Ventilatsiooniõhu soojendamine	3382	-	3.4	-
Tarbevee soojendamine	-	33520	-	33.3
Abiseadmete elekter	1006	-	1.0	-
Ventilatsioonisüsteem ¹	5896	-	5.9	-
Jahutussüsteem	-	-	-	-
Abiseadmete elekter	-	-	-	-
Valgustus	7047	-	7.0	-
Seadmed	22652	-	22.5	-
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiaarvutus)	39983	63078	39.8	62.7

¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks

Netoenergiavajadus	kWh/a	kWh/(a m ²)
Ruumide küte ²	25538	25.4
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³	3382	3.4
Tarbevee soojendamine	30168	30.0

² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojendamise ruumis

³ arvutatud koos soojustagastusega

Arvutusprogrammi nimi ja versioon IDA Indoor Climate and Energy 4.8

21/05/2020

Gery Einberg

/allkirjastatud digitaalselt/

LISA 3 Hoone nr 2 energiamärgise tabelid

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutussoonide arv	1
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Põrandküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Soojustagastusega ventilatsioon
Jahutussüsteem (on/ei ole)	on
Õhulekkearu väärtuse allikas	Majandus- ja taristuministri määrus nr 58
Joonsoojuslääbivuse väärt. allikas	Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslääbivuste kataloog

Soojuskaudu läbi piirdetarindi				Soojuskaudu läbi joon- ja punktsoojuslääbivuste				Õhulekest tingitud soojuskadu*		
Piirdetarind	g	U_{it} W/(m ² ·K)	A_{it} m ²	$H_{jhtivus}$ W/K	Joon- või punktsoojuslääbivus	Ψ_{jt} W/(m·K)	l_{jt} m	H_{joonst} W/K	Omadus	Suurus
Välissein pinnasest kõrgemal	-	0.17	936.8	159.3	Välissein-välissein välisnurk	0.05	87.1	4.4	Õhulekkearu q_{50}	2.5
Välissein pinnases	-	0.14	76.3	10.7	Välissein-välissein sisenurk	-0.07	22.6	-1.6	$m^3/(h \cdot m^2)$	
Katuslagi	-	0.12	404.2	48.5	Katuslagi-välissein	0.11	105.8	11.6	A_{vp} (välispiirded), m ²	2298.5
Põrand pinnasesel	-	0.13	77.3	10.0	Vahelagi välissein	0.05	937.20	46.9	Korruste arv	2
Põrand välisõhu kohal	-	0.15	331.16	49.7	Põrand pinnasel-välissein	0.17	98.8	16.8	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0.0665
Välisuks U-1	-	1.00	17.1	17.1	Akna	0.05	1261.2	63.1		
Aken (NE)	0.39	1.00	11.5	11.5	Ukse seinakinnitus	0.05	48.4	2.4		
Aken (SE)	0.39	1.00	219.6	219.6						
Aken (SW)	0.39	1.00	20.2	20.2						
Aken (NW)	0.39	1.00	204.4	204.4						
Kokku:				$H_{jhtivus}$, W/K				H_{joonst} , W/K	H_{shulek} , W/K	80.2
Välispiirde summaarne soojuserikadu					$\sum H$, W/K			974.7		
Välispiirde keskmine soojuslääbivus					$\sum H / A_{it}$			0.4		
Hoone kōetav pind					$A_{kōetav}$, m ²			1329.3		
Hoone madala temperatuuriseadega pind					A_{madal} , m ²			0.0		
Välispiirde summaarne soojuserikadu kōetava pinna kohta					$\sum H / A_{kōetav}$ W/(m ² ·K)			0.73		

* simulatsioonides on infiltratsiooni õhuhulgad määratud Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika § 13 lõik 2 alusel

Ventilatsioonisüsteem	Õhuvooluhulk sissep./väljajät. m ³ /s / m ³ /s	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagasti tüüp	Soojustagasti temperatuuri suhtarv.	Heitõhu min. temp. ¹ °C	Sissepuhkeõhu temperatuur ² °C
Soojustagastusega ventilatsioon	1.47	1.8	Plaat	80%	0	18

¹ soojustagasti külmumise vältimine

² esitatakse konstantse sissepuhketemperatuuriseadega puhul

Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi ³ keskmine soojustegur	Soojus- ³ pumba osakaal	Abiseadmete ⁴ elekter kWh/(m ² a)	Küttegaafik °C / °C	Küttesüsteemi võimsus Elekter kW	Soojus kW
Küte								
Põrandküte	0.9	0.94	-	-	-	55/35		
Soe tarbevesi	0.9	-	-	-	-	55/5		
Ventilatsiooniküte	0.9	-	-	-	-	-		

³ esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul

⁴ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur	Aastase jahutusenergia osakaal ⁶	Abiseadmete elekter kWh/(m ² a)	Jahutusgraafik ⁵ °C / °C	Jahutuskadude tegur
Kompressor-külmamasin	3.5	1	-	-	β_{gr} , β_{ek} , β_{rs}

⁵ arvutusliku välisõhu temperatuuri korral, esitatakse vedelküttesüsteemide puhul

⁶ 1,0 juhul kui puudub vabajahutus

Lokaalse taastuenergia süsteemid	Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²	Päikese-paneelide max võimsus, kW	Tuulegeneraatori nimivõimsus, kW
PV paneelid	-	24.6	-

Vabasoosused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas	Kasutusaeg tundi päevas
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h
Majutushoone	4.0	1	10	40	7	24

06/04/2020 Gery Einberg /alkkirjastatud digitaalselt/

Energiarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta								
Hoone kasutusotstarve	Majutushoone						✓ Uusehitus	
Address	Ilmarise tn 4, Nõmme, Tallinn						<input type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	2019						<input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine	
Kõetav pind	1329.3 m ²						<input type="checkbox"/> Olemasolev hoone	
Madala temp.seadega pind	0.0 m ²							
Netopind	1329.3 m ²							
Energiatõhususarv	145 kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)							
Energiatõhususarv B	167 kWh/(m² a) (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)							
^B Energiatõhususarv ilma lokaalselt toodetud elektrita								
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused		Tarnitud energia	Tarnitud energia	Eksporditud energia	Eksporditud energia	Kaalumis-tegur	Kaalutud energiakasutus
	kogus/a	massi või mahuühik	kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	-	kWh/(a m ²)
Elektter	-	-	60523	45.5	6277	4.7	2.00	91
Soojusenergia	-	-	111090	83.6	-	-	0.65	54
Summa	-	-	171613	129.1	6277	4.7	-	145
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia			Lokaalselt toodetud		Eksporditud		Omatarbe osakaal	
			kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	%	
Elektter päikesest			20922.3	15.7	6277	4.7	70%	
Summaarne energiakasutus			Elektter	Soojus	Elektter	Soojus		
			kWh/a	kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem								
Ruumide küte			-	41736	-	31		
Ventilatsiooniõhu soojendamine			-	25044	-	19		
Tarbevee soojendamine			-	44310	-	33		
Abiseadmete elektter			1329	-	1.0	-		
Ventilatsioonisüsteem ¹			20667	-	15.5	-		
Jahutussüsteem			1936	-	1.5	-		
Abiseadmete elektter			-	-	-	-		
Valgustus			46579	-	35.0	-		
Seadmed			4658	-	3.5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)			75168	111090	56.5	83.6		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks								
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²			35144	26.4				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			22539	17.0				
Tarbevee soojendamine			39879	30.0				
Ruumide jahutus			-	-				
Ventilatsiooniõhu jahutus			6775	5.1				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis								
³ arvatud koos soojustagastusega								
Arvutusprogrammi nimi ja versioon			IDA Indoor Climate and Energy 4.8					
06/04/2020			Gery Einberg			/allkirjastatud digitaalselt/		

LISA 4 Hoone nr 3 energiamärgise tabelid

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Energiaarvutuse lähteandmed											
Arvutussoonide arv	1										
Küttesüsteemi tüüp	Kaugküte										
-soojuse tootmine ja kütus	Põrandküte/Radiaatorküte										
-soojuse jaotamine	Soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon/Väljatõmbeventilaator										
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	Ei ole										
Jahutussüsteem (on/ei ole)	Majandus- ja taristuministri määrus nr 58										
Õhulekkearu väärtuse allikas	Ehitusprojekt, joonsoojuslääbivuste kataloog										
Õhulekkearu väärtuse allikas	Ehitusprojekt, joonsoojuslääbivuste kataloog										
Soojuskadu läbi piirdetarindi				Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojuslääbivuste				Õhulekest tingitud soojuskadu*			
Piirdetarind	g	U_{ij} W/(m ² ·K)	A_{ij} m ²	H_{ij} W/K	Joon- või punktsoojuslääbivus	Ψ_{ij} W/(m·K)	l_{ij} m	H_{joonst} W/K	Omamus	Suurus	
Välissein VS-01	-	0.12	806.3	96.8	Välissein-välissein välisnurk	0.06	53.9	3.2	Õhulekkearu q_{50} , m ³ /(h·m ²)	2.5	
Katuslagi KL-01	-	0.10	695.8	69.6	Katuslagi-välissein	0.11	136.4	15.0	A_{vp} (välispiirded), m ²	2581.4	
Põrand pinnasel PP-01	-	0.13	170.2	22.1	Välissein-põrandpinnasel	0.19	121.1	23.0	Korruste arv (täisarv)	4.0	
Põrand välisõhu kohal VL-01	-	0.12	420.7	50.5	Akna seinakinnitus	0.05	960.7	48.0	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0.0896	
Aken (NNE)	0.50	0.80	94.5	75.6	Välissein-vahelagi	0.03	636.6	19.1			
Aken (ENE)	0.50	0.80	85.1	68.0	Välissein-välissein siseturk	-0.06	14.9	-0.9			
Aken (SE)	0.50	0.80	33.2	26.5							
Aken (SSW)	0.50	0.80	122.9	98.3							
Aken (WSW)	0.50	0.80	99.9	79.9							
Aken (WNW)	0.50	0.80	52.9	42.3							
Kokku:				$H_{ühitv}$ W/K	629.6			H_{joonst} W/K	107.5	$H_{õhulek}$ W/K	108.1
Välispiirde summaarne soojuserikadu				$\sum H$, W/K				845.2			
Välispiirde keskmine soojuslääbivus				$\sum H / A_{v}$				0.3			
Hoone kootav pind				A_{kootav} , m ²				2123.8			
Hoone madala temperatuuriseadega pind				A_{madal} , m ²				98.4			
Välispiirde summaarne soojuserikadu kootava pinna kohta				$\sum H / A_{kootav}$ W/(m ² ·K)				0.40			
* simulatsioonides on infiltratsiooni õhuhulgad määratud Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika § 13 lõik 2 alusel											
Ventilatsioonisüsteem											
	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagasti tüüp	Soojustagasti temperatuuri suhtarv,	Heitõhu min. temp. ¹	Sissepuhkeõhu temperatuur ²					
	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)	-	-	°C	°C					
Sissepuhke- ja väljatõmbesüsteem	0.79/0.79	1.8	Rootor	0.8	0	18					
Väljatõmbeventilaator	0.12	1	-	-	-	-					
¹ soojustagasti külmumise vältimine											
² esitatakse konstantse sissepuhketemperatuuriseade puhul											
Küttesüsteem											
	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi ³ keskmine soojustegur	Soojus- ³ pumba osakaal	Abiseadmete ⁴ elekter kWh/(m ² a)	Küttegaafik °C / °C	Küttesüsteemi võimsus ⁵ Elekter kW	Soojus kW			
Küttesüsteem											
Radiaatorküte/Põrandküte	Kaugküte	0.9	0.96	-	1.0	-	-				
Soe tarbevesi	Kaugküte	0.9	1.00	-	-	5/55					
Ventilatsiooniküte	Elektrikalorifeer	1	1.00	-	-	-					
³ esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul											
⁴ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus											
⁵ esitatud on planeeritud soojuspumba küttevõimsus											
Jahutussüsteem											
	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur	Aastase jahutusenergia osakaal ⁶	Abiseadmete elekter kWh/(m ² a)	Jahutusgraafik ⁵ °C / °C	Jahutuskadude tegur $\beta_{je}, \beta_{ek}, \beta_{rs}$						
	-	-	-	-	-						
⁶ arvutusliku välisõhu temperatuuri korral, esitatakse vedelikesüsteemide puhul											
⁷ 1,0 juhul kui puudub vabajahutus											
Lokaalse taastuenergia süsteemid											
	Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²	Päikese-paneelide max võimsus, kW	Tuulegene-raatori nimi-võimsus, kW								
	-	25.5	-								
Vabasoojused											
	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas tundi päevas						
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h					
Korterelamu	3	3	-	60	7	24					
	-	-	8	10	7	24					
16/07/2021	Gery Einberg				/allkirjastatud digitaalselt/						

Energiaarvutuse tulemuste esitamine

Andmed hoone kohta								
Hoone kasutusotstarve	11222 Muu kolme või enama korteriga elamu						<input checked="" type="checkbox"/> Uusehitus	
Address	Astangu tn 4 (POS1), Tallinn, Harjumaa						<input type="checkbox"/> Oluline rekonstrueerimine	
Ehitusaasta	2022						<input type="checkbox"/> Rekonstrueerimine	
Köetav pind	2123.8 m ²						<input type="checkbox"/> Olemasolev hoone	
Madala temp.seadega pind	98.4 m ²							
Netopind	2222.2 m ²							
Energiaühendusarv	105 kWh/(m² a) (kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)							
Energiaühendusarv B	116 kWh/(m² a) (kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)							
^B Energiaühendusarv ilma lokaalselt toodetud elektri								
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused		Tarnitud energia	Tarnitud energia	Eksporditud energia	Eksporditud energia	Kaalumis-tegur	Kaalutud energia
	massi või kogus/a	mahuühik	kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	-	kWh/(a m ²)
<i>Elekter</i>	-	-	73665	35	9759	5	2.0	60
<i>Tõhus kaugküte</i>	-	-	115634	54	-	-	0.65	35
Summa	-	-	189299	89	9759	5	-	96
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia			Lokaalselt toodetud		Eksporditud		Omatarbe osakaal	
			kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	%	
<i>Soojusenergia päikesest</i>			-		-		-	
<i>Elekter päikesest</i>			21687	10	9759	5	55	
Summaarne energiakasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem								
Ruumide küte			-	44841	-	21.1		
Ventilatsiooniõhu soojendamine			7578	-	3.6	-		
Tarbevee soojendamine			-	70793	-	33.3		
Abiseadmete elekter			2018	-	1.0	-		
Ventilatsioonisüsteem ¹			13274	-	6.2	-		
Jahutussüsteem			-	-	-	-		
Abiseadmete elekter			-	-	-	-		
Valgustus			14884	-	7.0	-		
Seadmed			47840	-	22.5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)			85593	115634	40.3	54.4		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks								
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²			38742	18.2				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			7578	3.6				
Tarbevee soojendamine			63714	30.0				
Ruumide jahutus			-	-				
Ventilatsiooniõhu jahutus			-	-				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis								
³ arvatud koos soojustagastusega								
Arvutusprogrammi nimi ja versioon			IDA Indoor Climate and Energy 4.8					
16/07/2021			Gery Einberg			/allkirjastatud digitaalselt/		

LISA 5 Hallvee mahuti



LISA 6 Hallvee süsteemi reoveepump koos filtriga



LISA 7 Hoone veearved mõõtmisperiodil

AS Tallinna Vesi Ädala tn 10, 10614 Tallinn
 Reg. nr 10257326, KM reg. nr EE100060979
 Kontod: EE432200221010126368 Swedbank
 EE061010022002236002 SEB Pank
 EE647700771002085967 LHV Pank

EE901700017000362689 Luminor Bank



Tallinna Linnavaraamet
 Vabaduse väljak 10
 10146 Tallinn

Leht 1(1)

Arve nr. A2021031842
 Väljastatud: 04.04.2021
 Maksetähtaeg: 02.05.2021
 Viitenumber: 276848516564

Teenuse nimetus	Kuupäev	Ühendus	Arvelduse alus	Kogus	Mõõtühik	Hind KM-ta	Summa, EUR
Leping T0013555, Paagi 10, sotsiaalmajad							
Veevarustuse põhiteenus	01.03.21-31.03.21	47500	Arvesti 420646 alusel, 91171 - 91983	812	m3	0,51	414,12
Arve summa (KM-ta)							414,12
KM 20%							82,82
Arve summa (KM-ga)							496,94
Maksetähtaja ületanud võlgnevus (KM-ga)							0,00
Tasumata viivised							0,00
TASUMISELE KUULUV SUMMA KOKKU							496,94

AS Tallinna Vesi Ädala tn 10, 10614 Tallinn
 Reg. nr 10257326, KM reg. nr EE100060979
 Kontod: EE432200221010126368 Swedbank
 EE061010022002236002 SEB Pank
 EE647700771002085967 LHV Pank

EE901700017000362689 Luminor Bank



Tallinna Linnavaraamet
 Vabaduse väljak 10
 10146 Tallinn

Leht 1(1)

Arve nr. A2021068150
 Väljastatud: 06.05.2021
 Maksetähtaeg: 03.06.2021
 Viitenumber: 276848516564

Teenuse nimetus	Kuupäev	Ühendus	Arvelduse alus	Kogus	Mõõtühik	Hind KM-ta	Summa, EUR
Leping T0013555, Paagi 10, sotsiaalmajad							
Veevarustuse põhiteenus	01.04.21-30.04.21	47500	Tuletatud näit arvestile 420646, 91983 -93001	1018	m3	0,51	519,18
Arve summa (KM-ta)							519,18
KM 20%							103,84
Arve summa (KM-ga)							623,02
Maksetähtaja ületanud võlgnevus (KM-ga)							0,00
Tasumata viivised							0,00
TASUMISELE KUULUV SUMMA KOKKU							623,02

AS Tallinna Vesi Ädala tn 10, 10614 Tallinn
REG nr: 10257326, KMKR nr: EE100060979
Kontod: EE432200221010126368 Swedbank
EE901700017000362689 Luminor Bank

EE061010022002236002 SEB Pank
EE647700771002085967 LHV Pank



Tallinna Linnavaaramet
Vabaduse väljak 10
10146 Tallinn

Leht 1(1)

Arve nr. A2021072793
Väljastatud: 02.06.2021
Maksetähtaeg: 30.06.2021
Viitenumber: 276848516564

Teenuse nimetus	Kuupäev	Ühendus	Arvelduste alus	Kogus	Möötüühik	Hind KM-ta	Summa, EUR
Leping T0013555, Paagi 10, sotsiaalmajad							
Veevarustuse põhiteenus	1.05.21-31.05.21	47500	Arvesti 420646 alusel, 93001 - 94055	1054	m ³	0,51	537,54

Arve summa (KM-ta) 537,54
KM 20% 107,51
Arve summa (KM-ga) 645,05

Maksetähtaja ületanud võlgnevus (KM-ga) 0,00
Tasumata viivised 0,00
TASUMISELE KUULUV SUMMA KOKKU 645,05

AS Tallinna Vesi Ädala tn 10, 10614 Tallinn
REG nr: 10257326, KMKR nr: EE100060979
Kontod: EE432200221010126368 Swedbank
EE901700017000362689 Luminor Bank

EE061010022002236002 SEB Pank
EE647700771002085967 LHV Pank



Tallinna Linnavaaramet
Vabaduse väljak 10
10146 Tallinn

Leht 1(1)

Arve nr. A2021104513
Väljastatud: 06.07.2021
Maksetähtaeg: 03.08.2021
Viitenumber: 276848516564

Teenuse nimetus	Kuupäev	Ühendus	Arvelduste alus	Kogus	Möötüühik	Hind KM-ta	Summa, EUR
Leping T0013555, Paagi 10, sotsiaalmajad							
Veevarustuse põhiteenus	1.06.21-30.06.21	47500	Arvesti 420646 alusel, 94055 - 95377	1322	m ³	0,51	674,22

Arve summa (KM-ta) 674,22
KM 20% 134,84
Arve summa (KM-ga) 809,06

Maksetähtaja ületanud võlgnevus (KM-ga) 0,00
Tasumata viivised 0,00
TASUMISELE KUULUV SUMMA KOKKU 809,06

