



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

HALLVEE SOOJUSTAGASTUSSÜSTEEMI ANALÜÜS AKADEEMIA TEE 5A NÄITEL

GREYWATER HEAT RECOVERY SYSTEM ANALYSE BASED ON AKADEEMIA TEE 5A SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Robin Mooses Mõttus

Üliõpilaskood: 176562EAXM

Juhendaja: Endrik Arumägi, vanemteadur

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.

"16" mai 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"16" mai 2022

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Robin Mooses Mõttus (sünnikuupäev: 21.05.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Hallvee soojustagastussüsteemi analüüs Akadeemia tee 5a näitel,

mille juhendaja on Endrik Arumägi,

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Robin Mooses Mõttus 176562EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM 15/15 Hooned ja rajatised,
Juhendaja: Vanemteadur, Endrik Arumägi, 6202402

Lõputöö teema:

Hallvee soojustagastussüsteemi analüüs Akadeemia tee 5a näitel

Greywater heat recovery system analyse based on Akadeemia tee 5a system

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teada saada, kui palju mõjutab hallvee soojustagastussüsteemi efektiivsust reaalne vee tarbimine võrreldes arvutusliku vee tarbimisega, mida on arvestatud hoone energiatõhususearvu arvutamisel.
2. Võrrelda hallvee soojustagastussüsteemi efektiivsust koroonapandeemia perioodil ja sellele eelnenud aastal ning hinnata, kuidas mõjutavad mõõdetud tarbevee tarbimised hallvee soojustagasti tööd.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Objekti mõõtmised Akadeemia tee 5a korterites	01.03.2019
2.	Kirjandusülevalde ja metoodika 50% esitamine	07.03.2022
3.	Lõputöö käigus kogutud andmete analüüs	05.05.2022
4.	Lõputöö vormistamine ja keelekorrekatuur	13.05.2022
5.	Lõputöö esitamine	16.05.2022

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "16" mai 2022a

Üliõpilane: Robin Mooses Mõttus ".....".....202....a

/allkiri/

Juhendaja: Endrik Arumägi "....."202...a
/allkiri/

Programmijuht: "....."202...a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	8
SISSEJUHATUS	9
1 HOONETE ENERGIATÕHUSUS	11
1.1 Energiatõhususarv.....	11
2 HOONETE VEEVARUSTUS JA KANALISATSIOON	14
2.1 Veevarustus.....	14
2.1.1 Hoone soojaveevärk.....	15
2.1.2 Sooja tarbevee kasutusprofiil.....	16
2.2 Hoone kanalisatsioon	17
2.2.1 Kanalisatsioonisüsteem.....	17
2.2.2 Veeneelud hoonetes	18
2.3 Energiatõhusamad vee- ja kanalisatsioonisüsteemi lahendused	19
3 HALLVEE SOOJUSTAGASTUS.....	22
3.1 Hoone tasand	23
3.1.1 Kohtsoojustagastid.....	23
3.1.2 Tsentraalsed soojustagastid.....	26
3.2 Soojuspumba lahendused	28
3.3 Soojusvaheti efektiivsust mõjutavad tegurid.....	29
4 AKADEEMIA TEE 5A Hoone	30
4.1 Hoone kirjeldus	30
4.1.1 Hoone vee- ja kanalisatsioonisüsteem.....	31
4.1.2 Sooja tarbevee valmistamine.....	33
4.2 Akadeemia tee 5a hallvee soojustagasti.....	35
4.3 Teostatud mõõtmised	36
4.3.1 Tarbimiste mõõtmisandmed.....	38
5 TULEMUSED JA ANALÜÜS	39
5.1 Vee tarbimine.....	39
5.2 Tarbevee temperatuurid	42
5.2.1 Külma tarbevesi.....	42
5.2.2 Korter 45 tarbevee temperatuuride mõõtmised	44
5.3 Sooja tarbevee valmistamise energiakulu	46
5.3.1 Tsirkulatsiooni soojuskadu	50
5.4 Soojustagastussüsteemi töö analüüs	51
KOKKUVÕTE	55

SUMMARY	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	62
LISA 1 Külma ja sooja vee tarbimised.....	63
LISA 2 Polarsol soojustagastussüsteemi tooteleht.....	64

EESSÕNA

Lõputöö koostati Tallinna Tehnikaülikoolis. Initsiatiivi teema uurimiseks andsid Targo Kalamees ja Endrik Arumägi, kellel oli huvi koguda andmeid Akadeemia tee 5a hallvee soojustagastussüsteemi toimimise kohta.

Lõputöö autor soovib tänada järgnevaid isikuid, kes aitasid juhendamise, nõu ning vajalike materjalidega tööd koostada:

- Targo Kalamees, kelle käest saadi sisendinfo süsteemi uurimiseks;
- Helen Türkson TTÜ Üliõpilasküllast, kes tagas ligipääsu korteritele, kus mõõtmised toimusid ja andis vee tarbimiste kuunäidud;
- Endrik Arumägi, kes aitas nõu ja tagasisidega lõputöö koostamisel.

Energiatõhusus, soojustagastus, hallvesi, magistritöö

SISSEJUHATUS

Järjest enam mõjutavad rahvastikku kliimasoojenemine ning ressursside vähenemine. Seetõttu otsitakse pidevalt uusi mooduseid olemasolevaid ressursse säästlikumalt tarbida. Üks suurematest energiatarbimise sektoritest on hoonetes toimuv tarbimine, kus kasutatakse ära ligikaudu 30% kogu globaalsest energiatoodangust [1]. Selleks, et vähendada hoonete energiatarbest tulenevat CO₂ ekvivalenti, on globaalselt võetud kasutusele energiasäästu meetmed. Euroopa Liidu energiatohususe meetmed on ülesehitatud selliselt, et tagada kliimaneutraalsus 2050. aastaks.

Hoonetes tarbitav energia jaguneb peamiselt elektrienergiaks ja soojusenergiaks. Tarbevee soojendamiseks kuluv soojusenergia moodustab ligikaudu 15% kogu energiakulust, korterelamutes võib see osakaal olla isegi suurem [2]. Kuna hoonete kütte, ventileerimise ja jahutamise süsteeme muudetakse üha energiatohusamaks, tõuseb sooja tarbevee osakaal hoone kogu energiatarbes. Enamik sooja tarbevee valmistamise soojusenergiast läheb kaotsi läbi hallvee. Duši, valamude, pesumasina või vannivee kanaliseeritavat vett nimetatakse hallveeks. Selleks, et lasta vähem energiat raisku läbi tarbevee kanaliseerimise, on võetud kasutusele kanalisatsiooni soojustagastussüsteemid. Üks selline süsteem on paigaldatud Tallinna Tehnikaülikooli renoveeritud liginullenergia ühiselamusse.

Varasemalt on Eestis uuritud põhjalikumalt kahte erinevat hallvee soojustagastussüsteemi. Duši äravoolule ühendatud soojustagastussüsteemi efektiivsust ja majanduslikku tasuvust käsitleti Karl Sachrise magistritöös. Eelnimetatud lõputöös teostati mõõtmised laboratoorses tingimustes ja ka objektil reaalse kasutuse juures [3]. Lauri Špitsmeister analüüsis tsentraalset Menerga hallvee soojustagastussüsteemi efektiivsust ja selle mõju korterelamu energiatohususele [4].

Tallinna Tehnikaülikooli pereühiselamu aadressil Akadeemia tee 5a renoveeriti liginullenergia hooneks 2017. aastal. Hoones on 80 korterit, millest 70 on ühetoalised ja 10 on kahetoalised. Ühiselamu trepikoda nr 2 kanalisatsioonitorustik on jaotatud reovee ja hallvee torustikuks. Hallvee kanalisatsioonitorustik on ühendatud soojustagastussüsteemiga, mis annab kanaliseeritavalt hallveelt saadud soojust külmale tarbeveele. Antud süsteemiga soojendatakse külma tarbevett enne, kui see läbib kaugkütte soojusvaheti. [5][6][7][8]

Magistritöö keskendub mahuti tüüpi tsentraalsele hallvee soojustagastile. Töö autor viis läbi mõõtmised Akadeemia tee 5a ühiselamu korterites, kus mõõdeti kanaliseeritava hallvee temperatuure. Lisaks korterites toimunud mõõtmistele, koguti andmeid läbi hooneautomaatika süsteemi. Analüüsi osas hinnati hallvee soojustagastussüsteemi tööd erinevatel aastatel. Lisaks uuriti, kui palju mõjutas koroonapandeemia inimeste vee tarbimisharjumusi ning kuidas need omakorda mõjutasid soojustagastussüsteemi efektiivsust.

1 HOONETE ENERGIATÕHUSUS

Euroopa Liidus on kehtestatud direktiivid energiatõhususe kohta, mida peavad järgima kõik liikmesriigid. Eestis on kohustatud kõik uusehitised (sh väikeelamu, korterelamu ja mitteelamud) ja oluliselt rekonstrueeritavad hooned vastama energiatõhususe miinimumnõuetele ning omama energiamärgist. [9]

1.1 Energiatõhususarv

Hoonete energiatõhususe miinimumnõuete järgimiseks on Eestis reguleeritud hoone summaarne energiatarbimine, mida saadakse energiatõhususarvu (ETA) arvutamisega. ETA on arvutuslikul teel saadud energiatõhususarv, mis iseloomustab standarttingimustel uue või oluliselt rekonstrueeritava hoone energiakasutust, millest arvestatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. ETA tõestab hoone vastavust energiatõhususe miinimum-, madalenergia- või liginullenergiahoonete nõuetele. Tabelis 1.1 on esitletud erineva hoonetüübi energiatõhususarvude piirväärtused. [10][11]

Tabel 1.1 Hoonete energiatõhususarvude piirväärtused [11]

Hoone tüüp	Oluliselt rekonstrueeritav hoone (kWh/(m²·a))	Madalenergia hoone (kWh/(m²·a))	Liginullenergia hoone (kWh/(m²·a))
Väikeelamu köetava pinnaga 120-220 m ² ja ridaelamu	160	140	120
Korterelamu	150	125	105
Majutushoone	220	170	145

Energiatõhususarv võtab arvesse lokaalsetest taastuvatest energiaallikatest toodetud energiat ja energiakandjate kaalumistegureid [10]. Lisaks energiakandjate kaalumisteguritele tuleb tarbevee soojendamisel arvestada soojusallika kasuteguriga tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel. Vee soojendamiseks kasutatakse üldjuhul ühist meetodit hoone küttega.

ETA arvutatakse korterelamul lähtuvalt hoone energiakasutusest, kasutades järgmist valemit [12]:

$$ETA = Q_{küte} \cdot k + SV + SK + VE + Q_{jah} - ETA_{taastuv}$$

kus $Q_{küte}$ – hoone kütteenergiakasutus ruumide kütteks, kWh/(m²·a);

k – hoone kütte soojusallika energiakandja kaalumistegur;

SV – hoone standardkasutusest tulenev sooja tarbevee ETA komponent, kWh/(m²·a);

SK – hoone standardkasutusest tulenev elektritarbimise ETA komponent, kWh/(m²·a);

VE – hoone ventilatsioonist (ventilaatori elektrikasutus ja ventilatsiooniõhu soojendamine) tulenev ETA komponent, kWh/(m²·a);

Q_{jah} – hoone jahutusenergiakasutus ruumide ülekuumenemise vältimiseks, kWh/(m²·a);

$ETA_{taastuv}$ – lokaalsest energiatootmisest sõltuv kompenseeriv ETA komponent.

Erinevate hoonetüüpide sooja vee erikulu ja netoenergiavajadus on toodud tabelis 1.2.

Tabel 1.2 Hoonete sooja tarbevee netoenergiavajadus ja erikulu köetava pinna ruutmeetri kohta [11]

Hoone kasutusotstarve	Sooja vee erikulu (l/(m²·a))	Netoenergiavajadus (kWh/(m²·a))
Väikeelamu	430	25
Korterelamu	520	30
Majutushoone	520	30

Energiatõhususarvu komponent korterelamu tarbevee soojendamiseks saadakse vastavalt soojusallikale. Standardkasutuse järgne sooja tarbevee energiakasutus on 30 kWh/(m²·a), millele vastav ETA sõltub tehnilisest lahendusest järgmiselt [12]:

- otsene elekterküte (elektriboiler), ETA 60 kWh/(m²·a)
- tõhus kaugküte (kasutegur 0,90), ETA 21,7 kWh/(m²·a)

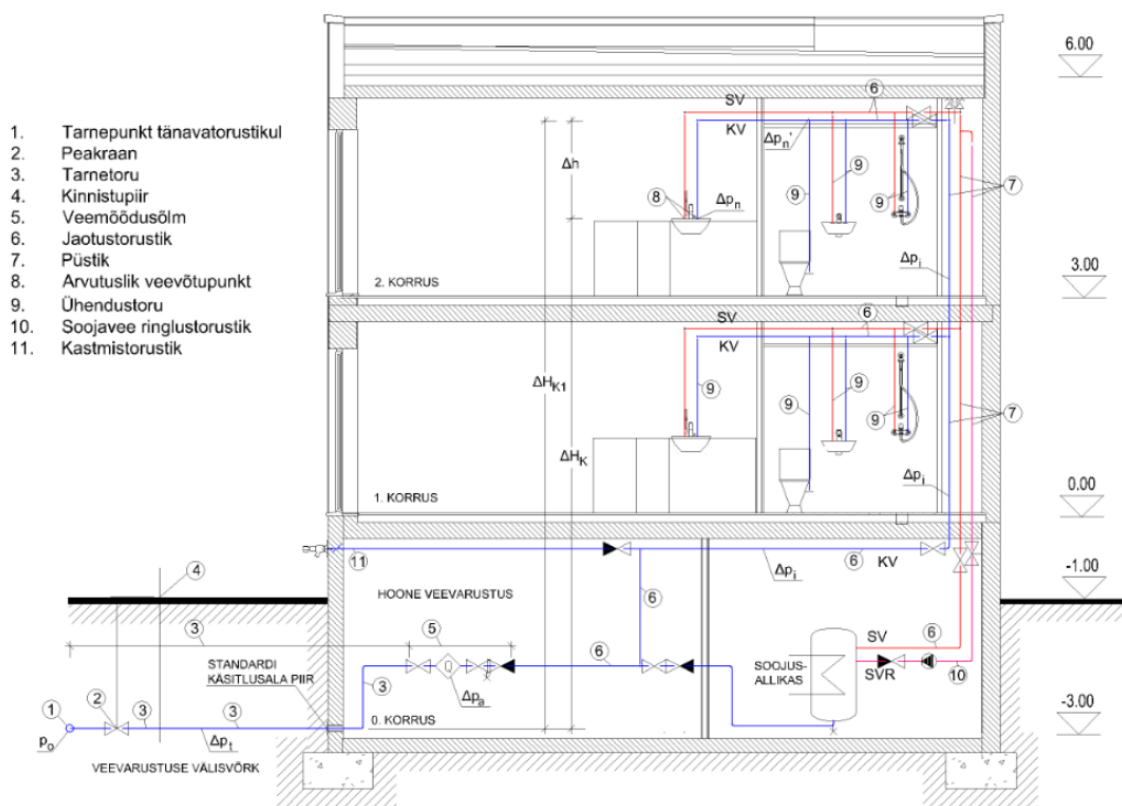
Antud lõputöö keskendub peamiselt hallvee süsteemile ja selle mõju hindamisele hoone energiatõhususe sooja tarbevee komponendis. Energiamärgise arvutamisel lähtutakse sellest, et sooja tarbevee tootmisel hallvee soojustagastussüsteemiga suudetakse toota kuni 50% aastasest sooja tarbevee soojendamiseks kuluvast energiast. Kortermajades, kus kasutatakse heitvee soojustagastit arvestatakse sooja vee ETA komponenti $30 \times 0,5 = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. [12]

2 HOONETE VEEVARUSTUS JA KANALISATSIOON

2.1 Veevarustus

Hoone või kinnistu veevärki kuuluvad veetorustikud, toruarmatuur ja lisaseadmed, mille abil juhitakse kindlaksmääratud kvaliteediga tarbevesi tarbijani. Üldkasutatavates hoonetes ja elamutes peab olema tagatud joogivee kvaliteediga tarbevesi. [13] Hoone veevärk koosneb ehitise tehnosüsteemidest, mille abil varustatakse tarbijat tarbeveega. Veevõrgu lahendused sõltuvad hoone tüübist, tänavatorustiku rõhust, hoone otstarbest ja korruste arvust.

Hoone veevärgi veevõrk algab peaveemõõdu sõlmega. Kui on tegu kortermajaga, siis on igas korteris eraldi veemõõtja(d). Pärast veemõõdusõlme asetseb filter ja sealt edasi jaguneb torustik külma ja sooja vee võrguks. Juhul, kui veesoojendi asub kaugemal tarbimispunktist, siis paigaldatakse ka sooja vee ringlustorustik, mille abil vähendatakse sooja vee tarbijani jõudmise aega.



Joonis 2.1. Hoone veevärgi skeem [13]

Vastavalt hoone tüübile ja kasutusotstarbele, kuuluvad hoone veevärki lisaks torustikule ka erinevad seadmed (veearvestid, veesoojendid, pumbad, automaatikaseadmed, veevõtuseadmed jne), mida on vaja veevärgi toimimiseks. Joonisel 2.1 on kujutatud hoone veevärgi tüüpskeem.

2.1.1 Hoone soojaveevärk

Soojaveevärgi rajamisel hoonesse tuleb järgida normides ja standardites esitatud nõudeid. Sooja tarbeveega varustades tuleb tagada häireteta töö ning tarbevesi peab olema määratud kvaliteedi, temperatuuri ja vooluhulgaga. Sooja tarbevee temperatuur ei tohi ületada 65 °C, soovituslikult ei tohiks ületada 55 °C ning lasteaedades peab see olema veel madalam [13]. Tarbijani peab soe tarbevesi jõudma vähemalt 30 sekundi jooksul, soovituslikult 10 sekundiga. Soe vesi ei tohi mitte mingil juhul joosta tagasi külma vee võrku ning sooja vee torustik peab olema isoleeritud, et vähendada soojuskadusid. Enne sooja vee ringlustorustiku kasutuselevõttu, suunati kasutamata soe vesi kanalisatsiooni. Tänapäeval on enamikes hoonetetes energiasäästu tagamiseks kasutusel ringlustorustik, millega juhitakse kasutamata soe tarbevesi tagasi veesoojendisse.

Sooja tarbevee süsteemid jagunevad vastavalt vee valmistamise kohale lokaalseteks ja tsentraalseteks. Enamikes uutes kortermajades kasutatakse sooja tarbevee saamiseks tsentraalset kohtsüsteemi, kus vesi soojendatakse mitmele tarbimispunktile. Paljudes vanemates kortermajades kasutatakse kiir- või mahtveesoojendeid. Kiirveesoojendid ehk läbivoolu põhised veesoojendid töötavad vastavalt tarbimisvajadusele. Mahtveesoojenditega soojendatakse ja hoiustatakse suuremat veekogust akumulatsiooni paagis. [14][15]

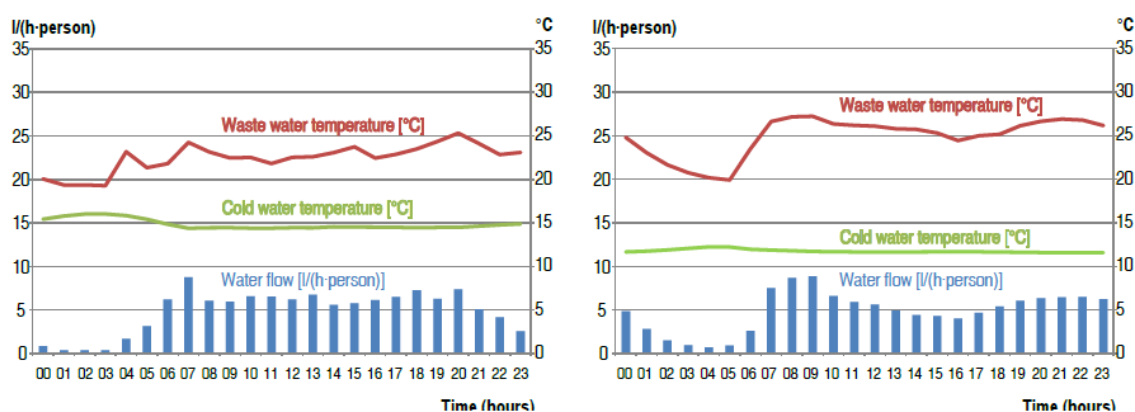
Soojale tarbeveele on esitatud nõue vastavalt Eesti standardile EVS 835:2022. Standardi alusel peab hoone veevarustussüsteem olema dimensioneeritud ja ehitatud nii, et see tagab piisavalt optimaalsed eksploatatsioonikulud ning viib varalised- ja terviskahjustuse riskid miinimumi. Soojale tarbeveele on esitatud nõue, et selle temperatuur peab olema vahemikus 50–55 °C vältimaks *Legionella* bakteri levikut. Lisaks sooja tarbevee temperatuurile sätestab eelnimetatud standard, et 0,2 l/s vooluhulga juures peaks jõudma tarbijani vähemalt 30 sekundiga, vee kokkuhoiu huvides võiks see aeg olla 10 sekundit. [13]

Lisaks standardile EVS 835.2022, kasutatakse Eestis hooneid projekteerides ka Riigi Kinnisvara Aktsiaseltsi mitte eluhoonete nõudeid. RKAS-i nõuded on detailsemad ja kokkuvõtlikumad. Näiteks on RKAS-i nõuetes väljatoodud tarbevee torustiku isolatsiooni paksused vastavalt toru diameetrile.

2.1.2 Sooja tarbevee kasutusprofiil

Elumajadele on iseloomulik kõrgete tippudega kasutusprofiil. Peamised tarbimised toimuvad õhtuti ja hommikuti, kui inimesed kasutavad sooja tarbevett hügieeni toiminguteks ja toidu valmistamiseks. T.-A. Kõiv ja A. Toode viisid läbi sooja tarbevee tarbimise uuringu, mille käigus vaadeldi Tallinnas Mustamäe linnaosa 23 korterelamut. Nende uuringu põhjal saab järeldada, et 1997–2003. aastal oli sooja vee tarbimine pidevas languses Tallinna korterelamutes. Sellest tingituna vähenes ka tarbevee soojendamiseks kasutatav soojusenergia, mis 1997. aastal oli ligikaudu 30%. 2003. aasta tulemuste põhjal oli osakaal vähenenud 26% peale. [15][16][17][18]

Saksamaal teostasid C. Seybold ja M. F. Brunk uuringu, mille käigus analüüsiti korterelamu ja õpilaste ühiselamu elanike vee kasutusprofiile ning nende mõju kanaliseeritavale reoveele. Lisaks simuleeriti hoone sisest mahutiga tsentraalset hallvee soojusvaheti kasutamist ühiselamus mõõdetud tarbimistega. Joonisel 2.2 on Saksamaal tehtud uuringus osalenud hoonete kasutusprofiilid. [19]



Joonis 2.2 Vasakul korterelamul nädala sisene tarbimisprofiil 19 elanikuga hoones. Paremal üliõpilaselamu 244 elanikuga õppeperioodi nädala sisene keskmine vee tarbimisprofiil ühe elaniku kohta. [19]

2.2 Hoone kanalisatsioon

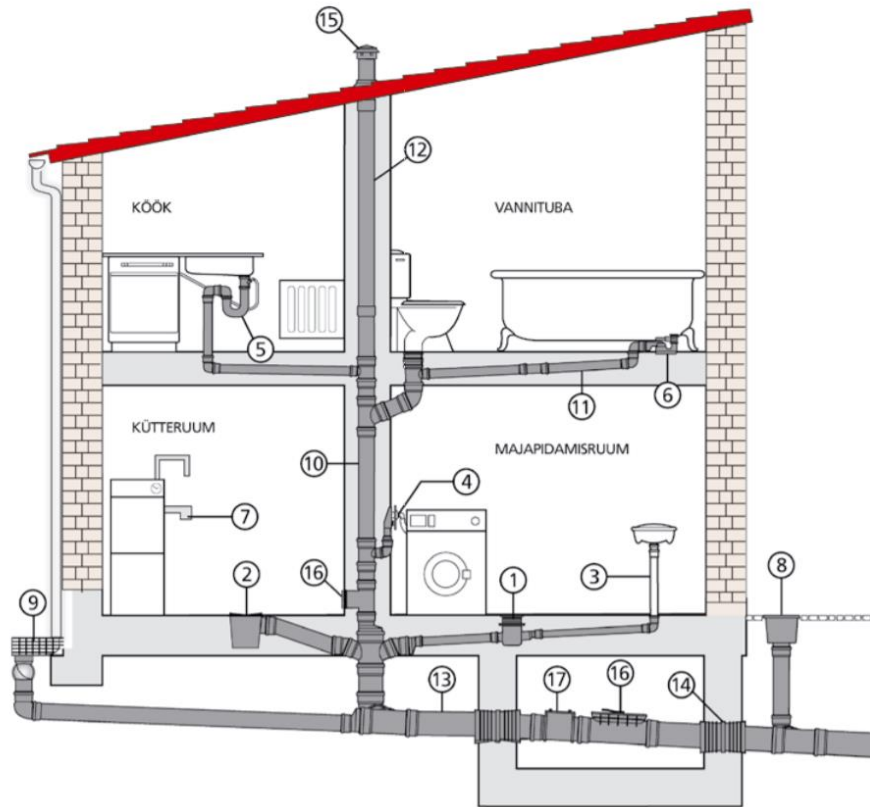
2.2.1 Kanalisatsioonisüsteem

Kanalisatsioon tuleb paigaldada igasse hoonesse, kuhu on paigaldatud veevõrk. Mööda kanalisatsiooni torustikku juhitakse heitvesi hoonest välja. Kanalisatsiooni on kahte tüüpi: isevoolne- ja survekanalisatsioon. Isevoolses kanalisatsioonis kasutatakse ära raskusjõudu. Seetõttu on oluline, et torustikule on antud õiged kalded.

Survekanalisatsiooni kasutatakse ainult olukordades, kus pole võimalik torustikku paigaldada isevoolsele kanalisatsioonile vastavalt. Sellisel juhul ehitatakse vee ärajuhtimiseks veeneel. Veeneelu kogutakse reovesi kokku ja juhitakse edasi hoone kanalisatsiooni. [20]

Inimese omatarbeks kasutatud vett nimetatakse olmereoveeks. Olmereovesi liigitub omakorda hall- ja mustveeks. Hallvesi ei sisalda uriini ega fekaale. Mustvesi on reovesi, mis sisaldab fekaale ja uriini. Elumajade ja muude hoonete kanalisatsioon on olmekanalisatsioon. Tööstushoonete kanalisatsiooni kohta kasutatakse terminit tööstuskanalisatsioon.

Hoones tekkiv reovesi juhitakse kanalisatsiooni torustiku abil hoonest välja linna või asula kanalisatsiooni. Juhul, kui see ei ole võimalik, siis juhitakse reovesi imbväljakutele või reovee puhastusjaama mahutitesse. Linna või asula ühiskanalisatsioonist jõuab vesi kanalisatsiooni puhastusseadmeteni, mille kaudu juhitakse heitvesi veekogusse, jõkke, merre ja järve. Enne imbväljakutele juhtimist peab ka reovett puhastama, et alandada reostusnäitajaid. Reovee puhastamise tulemusena tekkiva heitvee kvaliteet on piiratud Vabariigi Valitsuse määrusega „Veekogusse või pinnasesse juhitava heitvee kohta esitatavad nõuded“.



1 – trapp ujuva haisulukuga, 2 – põrandatrapp, 3 – kraanikausi sifoon, 4 – pesumasin äravool, 5 – valamud sifoon, 6 – vanni sifoon, 7 – katla tilgalehter, 8 – kontrolltoru, 9 – sademeveelehter, 10 – püstik, 11 – äravoolutoru, 12 – õhutuspüstik, 13 – hoone väljaviik, 14 – läbiviiguhülss, 15 – õhutuspüstiku otsak, 16 – puhastusava, 17 – tagasivoolusiiber

Joonis 2.3 Eluhoone kanalisatsioonisüsteemi skeem [14]

Hoone kanalisatsioon koosneb erinevatest veeneeludest, milleks on trapid, valamud ja nendega ühendatud kanalisatsioonitorustikud. Joonisel 2.3 on kujutatud eluhoone kanalisatsiooni tüüpskeem. Isevoolse kanalisatsiooni torustik peab olema paigaldatud nii, et tagada torustiku isepuhastumine. Isepuhastumise saab tagada, paigaldades vastava kalde alla, mis võimaldab settimiste ära hoidmiseks vajaliku kanalisatsiooni isepuhastumise kiirust. Vastavalt vajadustele paigaldatakse torustikule haisulukud, puhastusluugid, pumbad, õhutuskapid, liiva- ja rasvapüüdurid.

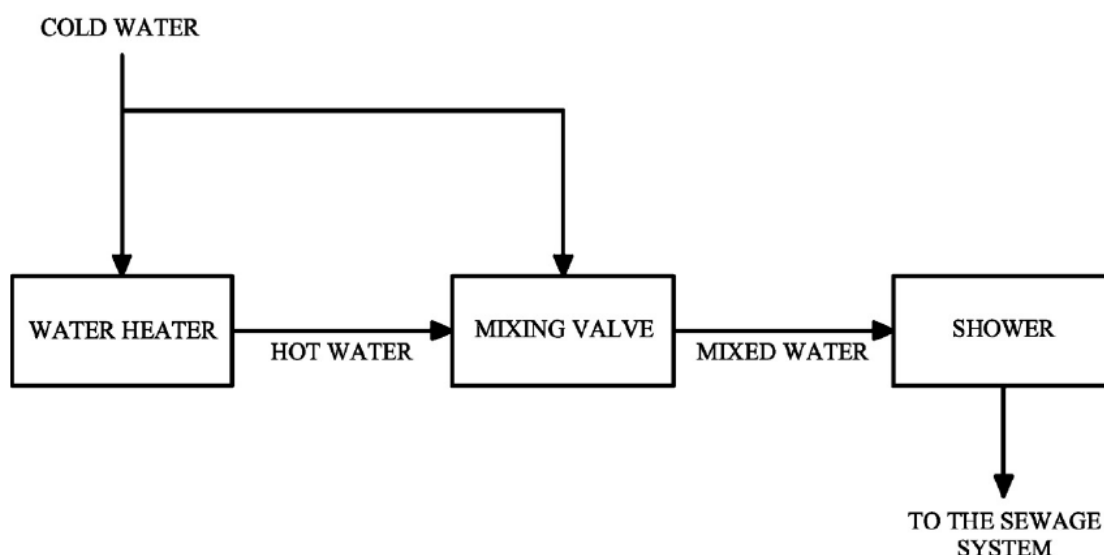
2.2.2 Veeneelud hoonetes

Veeneelud eluhoonetes on suhteliselt sarnased sõltumata hoone tüübist ja suurusest, aga leidub ka erandeid. Elamispinna köögis on tavapäraselt valamud, nõudepesumasin/pesumasin. Pesuruumis ja tualetis on veeneeludeks valamud, dušialus,

vann, trapp/renn ning tualetipott. Eramutest võib lisaks eelnevale nimetatud veeneeludele leida kastmiskraanid ja basseini, mille kaudu lisandub arvestatav veekulu. Kastmisveele on võimalik paigaldada eraldi arvesti, kuna paljud omavalitsused ja vee-ettevõtted võimaldavad kasutada kevad- ja suvekuudel kastmisvett ilma, et kasutaja peaks maksma kanalisatsiooni kasutamise eest. Eluhoonete veetarbimine on väike, aga tarbimise tipud on kõrged, eriti nädala sees õhtuti, kui elanikud on kodus.

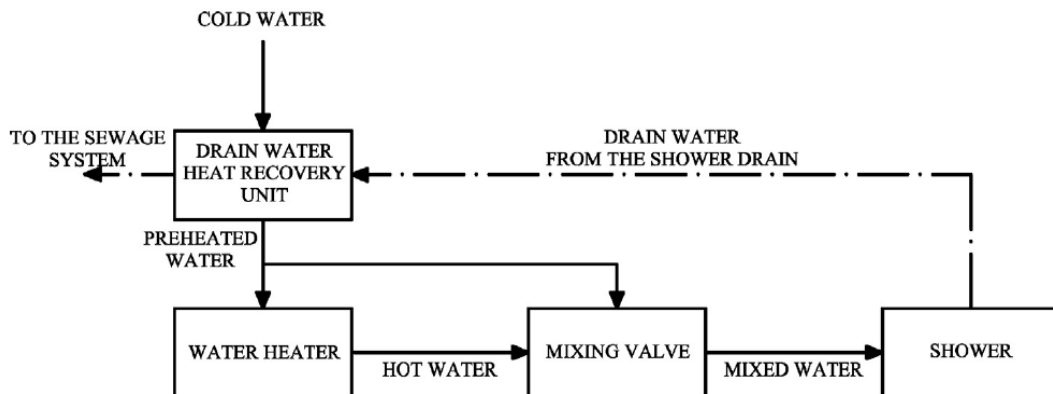
2.3 Energiatõhusamad vee- ja kanalisatsioonisüsteemi lahendused

Hoone veevõrk algab üldjuhul külma vee sisendiga ja peaveemõõtjaga. Peale veemõõtjat jaguneb veetorustik kaheks, külm tarbevesi ja soe tarbevesi, pikematel vahemaadel (mitmekordsed majad) lisandub juurde ka sooja vee ringlustorustik. Külm tarbevesi liigub mööda torustikku otse veevõtupunktidesse (dušš, valamü segisti, pesumasin jne). Soe tarbevesi saab alguse peale veemõõdusõlme kaheks jagunenud külma vee torustikust, mis läbib veesoojendusseadme (kiirveeboiler, soojussõlm, soojuspump jne). Peale vee soojendamist juhitakse soojendatud tarbevesi tarbimispunkti, kus see segatakse külma tarbeveega, et saavutada soovitud veetemperatuur. Joonisel 2.4 on väljatoodud tüüpiline hoone veevõrgi põhimõtte skeem.



Joonis 2.4 Tüüpiline hoone veevõrgi põhimõtte skeem [21]

Hall- ja reovee soojustagasti tööpõhimõte seisneb vee soojendamises läbi kanaliseeritud vee, et vähendada energiatarbimist. Külma vesi voolab läbi hall- või heitvee soojustagasti, kus toimub soojusülekanne soojemalt kehalt külmemale. Eelnevalt nimetatud meetodiga soojuse tagastamine sõltub soojustagasti ühendusskeemist. Soojustagasti ühendusskeemi valikul peab arvestama sooja tarbevee valmistamise meetodiga.

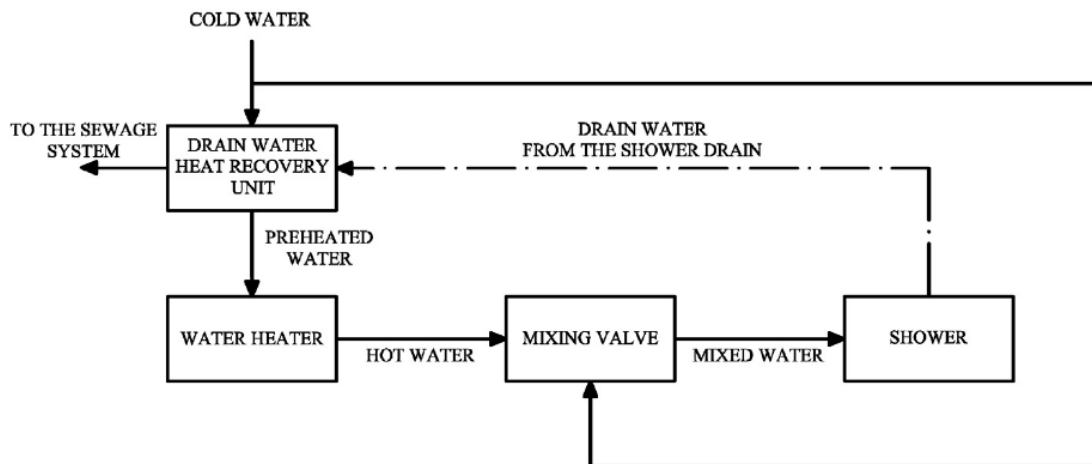


Joonis 2.5 Soojusvaheti ühendusskeem nr 1 [21]

Ühendusskeemi nr 1 (joonis 2.5) tööpõhimõte on, et kogu külm vesi voolab läbi heitvee soojusvaheti. Soojusvahetiga soojendatud vesi juhitakse nii veesoojendisse kui ka segistisse. Segistis segatakse veesoojendist ja soojusvahetist tulnud vesi. Sellise lahenduse puhul on külma tarbevee temperatuuri tõus võrdne kanaliseeritava vee temperatuuri langusega. Antud juhul on süsteem tasakaalus, sest kanaliseeritava vee ja külma vee vooluhulgad läbi soojusvaheti on võrdsed.

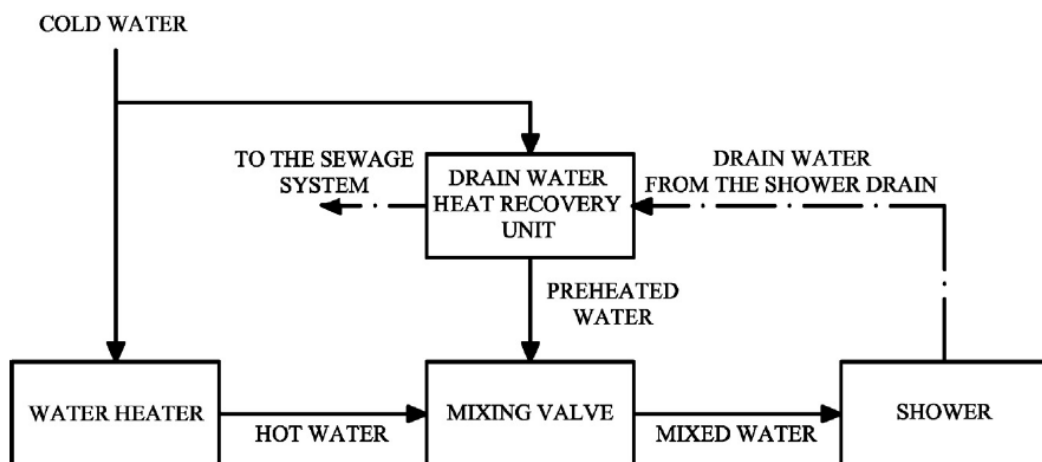
Korterimajades või mitmepereelamutes, kus kasutatakse tsentraalset soojusvahetit pole antud ühendusskeem kõige mõistlikum. Peamiseks miinuseks on rajatava torustiku mahu kasv ja soojuskaod torustikus. Torustike mahu kasv ja suurenenud soojuskaod on tingitud lisanduvast sooja tarbevee torustikust, mis paikneb soojusvaheti ja segisti vahel.

Duši trapile paigaldavate kohtsoojustagastitega on ühendusskeemi nr 1 (joonis 2.5) süsteem kõige efektiivsem.



Joonis 2.6 Soojusvaheti ühendusskeem nr 2 [21]

Ühendusskeemi nr 2 (joonis 2.6) tööpõhimõtte seisneb selles, et külm tarbevesi läbib heit- või hallvee soojusvaheti, kust juhatakse see edasi ainult veesoojendisse. Lisaks on külm tarbevee torustik ühendatud otse dušisegistiga. Kanaliseeritava vee vooluhulk on suurem kui soojusvahetit läbiva külma vee vooluhulk, seetõttu pole süsteem tasakaalus. Ühendusskeemis nr 2 on soojustagastis külma vee temperatuuri tõus suurem kui ühendusskeemis nr 1.



Joonis 2.7 Soojusvaheti ühendusskeem nr 3 [21]

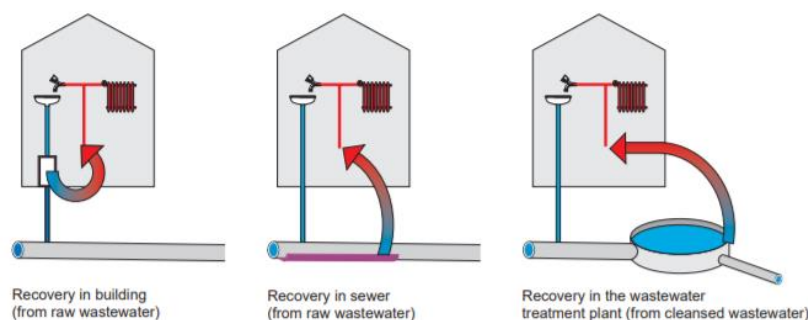
Ühendusskeemi nr 3 (joonis 2.7) kasutades on külm tarbevesi peale heitvee soojustagastamise läbimist ühendatud otse segistiga. Lisaks juhatakse külm vesi läbi veesoojendi. Ühendusskeem nr 3 sarnaneb ühendusviisiga nr 2, kus süsteem pole tasakaalus.

3 HALLVEE SOOJUSTAGASTUS

Seoses inimeste populatsiooni kasvuga, tõuseb järjepidevalt ka nõudlus energia järele. Praeguseks ligi kolmandik kulutatud energiast on kasutatud vee soojendamiseks. Tarindite struktuuri täiustamise ja tehnosüsteemide energiasäästlikumateks muutmise tõttu suureneb sooja vee osakaal soojusbilansis. Aastaks 2050 võib olla sooja vee osakaal bilansis tõusnud 67% elumajades ja ligi 300% ärihoonetes. [22]

Muutes hoone tehnosüsteeme energiasäästlikumaks ja efektiivsemaks, vähendab see hoonele kuluvat sooja vee kogust, mis on omakorda väike osa kogu tarbitavast soojendatud veest. Tänapäeval enamik tarbitavast soojast veest kulub inimeste mugavustingimuste rahuldamiseks: keha pesemiseks, söögi tegemiseks, nõude pesemiseks jne.

Sooja tarbevee nõudluse vähendamisel hoones on palju potentsiaali muuta tuleviku ehitised energiatõhusamaks. Enamus tarbeveest on kuumutatud veesoojendiga teatud temperatuurini, mis kasutamise käigus kanaliseeritakse. Vähelevinud moodus on kanaliseeritava vee soojuse ära kasutamine külma tarbevee soojendamiseks. Hall- või roovee soojustagastitega on võimalik kätte saada ligikaudu 50% kasutatud energiast olenevalt tarbimisprofiilidest ja kanaliseeritava vee temperatuuridest. Ameerika Ühendriikides jääb hinnanguliselt kasutamata 350 TWh soojusenergiat, mida saaks hallveest. [22]



Joonis 3.1 Reo- ja hallvee jääksoojuse tagastamise kategooriad [22]

Hall- ja rooveest jääksoojust saab eraldada kolmel tasandil sõltuvalt sellest, kus soojust eraldatakse: hoone tasand ehk lokaalsed ja tsentraalsed soojustagastid, roveekanaliseerimise tasand ja roveepuhastusjaama tasand. Joonisel 3.1 on kujutatud erinevad heitvee soojustagastustasandid. Heitvee soojustagastite efektiivsus sõltub peamiselt soojustagasti tüübist, kanaliseeritava vee temperatuurist ja vee voolukiirusest.

3.1 Hoone tasand

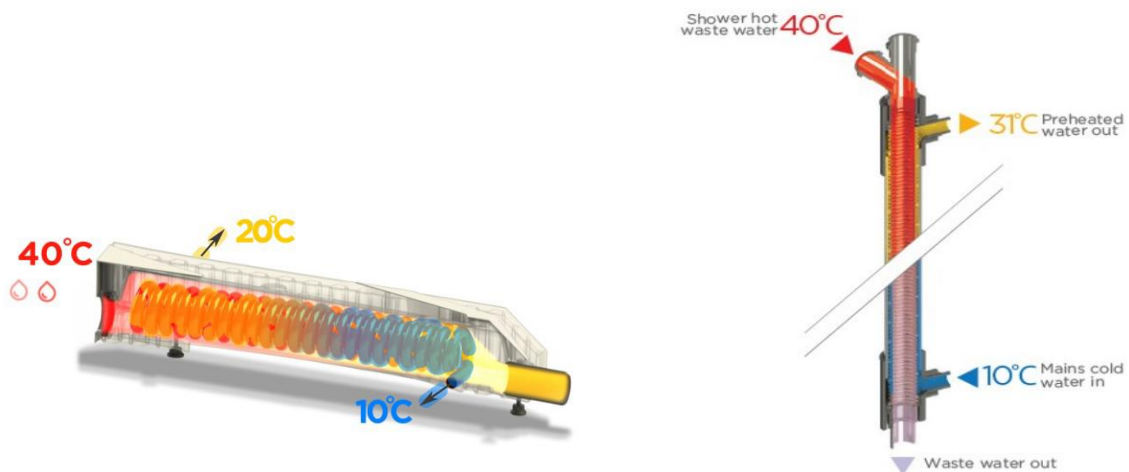
Hoone tasandil leiavad kasutust kohtsoojustagastid, mis tagastavad ühe veevõtuseadme toodetud hallveest saadud soojusenergiat. Lisaks kohtsoojustagastitele kasutatakse tsentraalseid soojustagasteid, mille abil võetakse soojust mitme tarbimispunkti kanaliseeritud veest.

3.1.1 Kohtsoojustagastid

Hoone tasandis leiavad kasutust soojustagastid, mis tagastavad ühe veevõtuseadme toodetud hallveest saadud soojusenergiat. Kohtsoojustagastid vajavad efektiivseks töötamiseks olme- ja reovee üheaegset veevoolu, et toimuks soojusülekanne. Heitvee kohtsoojustagasteid on mõistlik kasutada hoonetes, kus sooja tarbevee valmistamine toimub tarbimispunkti lähedal.

Kohtsoojustagasteid on võimalik klassifitseerida vastavalt tööpõhimõttele plaatsoojusvahetiteks, toru-torus tüüpi soojusvahetiteks ja spiraalstruktuuriga soojusvahetiteks. Spiraalstruktuuriga soojusvahetitel on külma vee toru spiraalselt ümber kanalisatsioonitoru laotud. Paigaldusviisi järgi jaotub spiraalstruktuuriga soojusvaheti omakorda vertikaalseks või horisontaalseks. Spiraalsoojusvaheti on enim levinud kohtsoojusvaheti tüüp. Kanaliseeritavalt veelt soojuse ülekandmine on seda efektiivsem, mida lähemal soojusvaheti vee tarbimispunktile asub ja mida väiksem on kanaliseeritava vee vooluhulk (l/min). [23]

Elumajades on peamine sooja vee tarbimispunkt dušš, seetõttu on ka enamus kohtsoojustagasteid mõeldud duššide hallvee soojuse tagastamiseks. Eesti turul levinud Zyphe kaubamärgi kohtsoojustagastid on peamiselt mõeldud duši äravoolul kasutamiseks. Zyphe tootevalikust on välja toodud horisontaalsed ja vertikaalsed soojustagastid (joonis 3.2). [24]



Joonis 3.2 Vasakul Zypho IZI horisontaalne spiraalsoojusvaheti dušile, paremal Zypho PiPi 65 vertikaalne spiraalsoojusvaheti [24]

Horisontaalsete kohtsoojustagastite eelis vertikaalsete ees on väiksem ruumivajadus. Neid saab paigaldada olemasoleva dušinurga või vanni alla. Lisaks on võimalik neid betoneerida põranda sisse ning katta plaadiga. Erinevad paigaldusviisid võimaldavad horisontaalseid soojustagasteid kasutada ka renoveeritavates eluruumides või koos olemasoleva lahendusega. Väiksema kanaliseeritava vee voluhulga puhul kandub rohkem soojust üle külmale tarbeveele. Zypho IZI soojusvahetiga on võimalik saavutatav efektiivsus kuni 36,6% (5,8 l/min). [24]

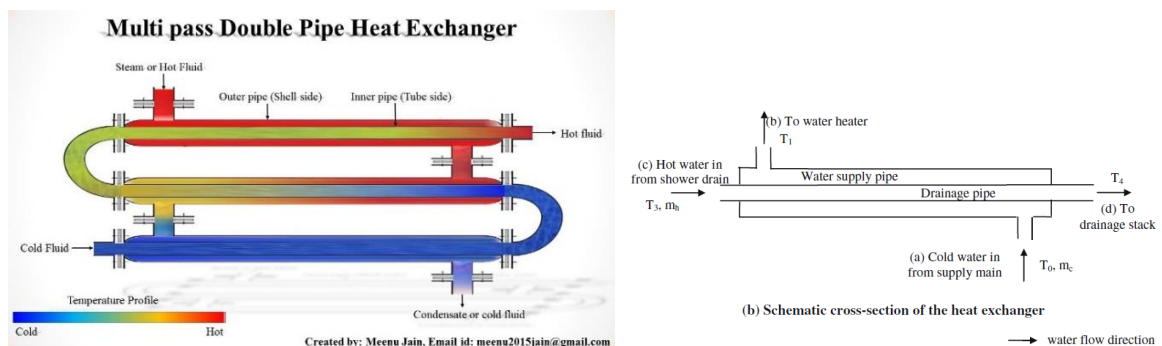
Lisaks tüüpilistele spiraal soojusvahetitele on võimalik paigaldada duširenn (joonis 3.3), mille haisulukku on paigaldatud spiraalne vasest külma vee torustik. Eelnevalt nimetatud lahenduse puhul võib efektiivsus olla suurem tulenevalt haisulukku kogunevast kanaliseeritud soojast veest. Haisuluku tööpõhimõte on hoida teatud kogust vett koguaeg enda sees, millega tekitatakse vesilukk vältimaks halbade lõhnade kanali torustikust välja liikumist. Tootja andmete põhjal võib joonisel 3.3 oleval soojusvaheti efektiivsus olla kuni 47,7%. [25]



Joonis 3.3 Wagner-Solar ECOshower showerdrain duširennis soojusvaheti [26]

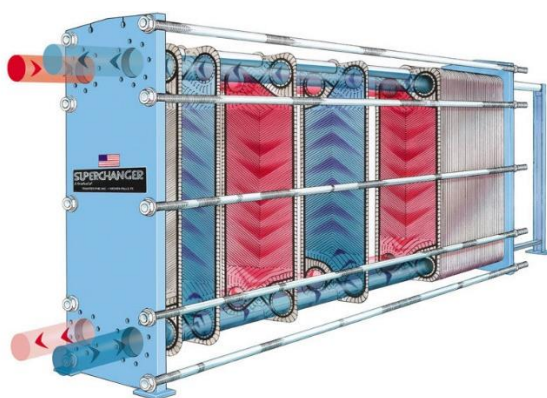
Vertikaalsed soojusvaheteid (joonis 3.2) paigaldatakse püstikutele ja enamasti vajavad 1-1,2m ruumi paigaldamiseks. Suur ruumivajadus muudab need raskesti kasutatavateks renoveeritavates hoonetes ja ka olemasolevale lahendusele on raske neid juurde lisada. Vertikaalsetes torustikes toimuva vabavoolu hüdraulika tõttu on vertikaalsed soojusvahetid efektiivsemad kui horisontaalsed. [23]

Lisaks spiraalse ehitusega soojusvahetitele kasutatakse ka toru-torus soojusvaheteid. Toru-torus soojusvahetite (joonis 3.4) ülesehitus on selline, kus ümber kanalisatsiooni toru paikneb omakorda teine toru. Kahe toru vahelises kihis voolab külm tarbevesi, millele toimub soojusülekanne kanaliseeritavalt veelt. Hongkongis läbiviidud uuringus kasutati ühemeetrist toru-torus soojusvahetit, kus 0,1m ristlõike pindalaga toru sisse oli paigaldatud 40mm vasktoru. Uuring põhines keskmiselt 38-40 °C kanaliseeritava vee ja 14-16 °C külma vee soojusülekanne efektiivsuse arvutamisel. Toru-torus soojusvahetiga saavutati 4-15% energiasääst. [27]



Joonis 3.4 Vasakul multi toru-torus soojusvaheti tööpõhimõtte skeem [28], paremal tüüpiline toru-torus soojusvaheti tööpõhimõtte skeem [27]

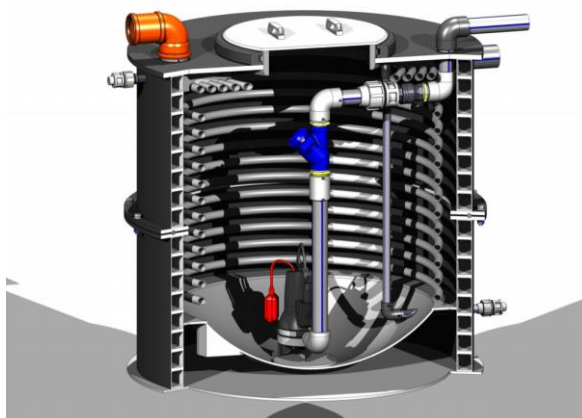
Kaugkütte soojusvahetitena kasutatakse peamiselt plaatsoojusvaheteid (joonis 3.5) nende efektiivsuse ja kompaktsuse tõttu. Plaatsoojusvahetid koosnevad plaatidest, mille vahel olevates tühimikes voolavad erineva temperatuuriga soojuskandjad vaheldumisi vastassuunas. Plaatidele, millest soojusvaheti koosneb on gofreeritud kalasabamuster. Muustriga plaadid on võrreldes sileda plaadiga suurema soojusvahetuspinnaga ja neil on suurem jäikus. Gofreeringu kõrgusest ja seadenurgast sõltub soojusvaheti hüdrauliline efektiivsus. Plaatsoojusvahetid ei leia hall- ja reovee soojusvahetitena laialdaselt kasutust nende väikesemõõduliste plaatide vahede tõttu, mis võivad ummistuda.



Joonis 3.5 Plaatsoojusvaheti tööpõhimõtte skeem [29]

3.1.2 Tsentraalsed soojustagastid

Tsentraalsesse soojustagastisse juhitakse kogu maja või kanalisatsiooni püstiku heitvesi. Kohtsoojustagastiga kantakse kanaliseeritava vee soojus ühe tarbimispunkti külmale veele. Tsentraalne soojustagasti soojusülekanne toimub kanaliseeritavalt hall- või reoveelt kogu maja või püstiku külmale tarbeveele, mis omakorda juhitakse tarbimispunktidesse või veesoojendisse. Tsentraalsed soojustagastid üldjuhul koosnevad mahutist, millesse kogutakse hall- või reovesi ja seda läbivast külma tarbevee torustikust. Efektiivsuse tõstmiseks kasutatakse enamasti tsentraalseid soojustagasteid soojuspumpadega koostöös. Tsentraalsete soojustagastite eeliseks on suuremad vooluhulgad nii kanaliseeritaval veel kui ka soojendataval külmal tarbeveel. Enamus turul müüdavatest tsentraalsetest mahutitest on mõeldud hoone või pinnase alla paigaldamiseks. Leidub ka selliseid versioone, mida on võimalik paigaldada hoone tehnoruumi. Tsentraalseid soojustagasteid pole otstarbekas kasutada hoonetes, kus soojendatakse tarbevett kohtveesoojendites, näiteks kiir- ja mahtveesoojendites.



Joonis 3.6 Mahuti tüüpi tsentraalne soojusvaheti [30]

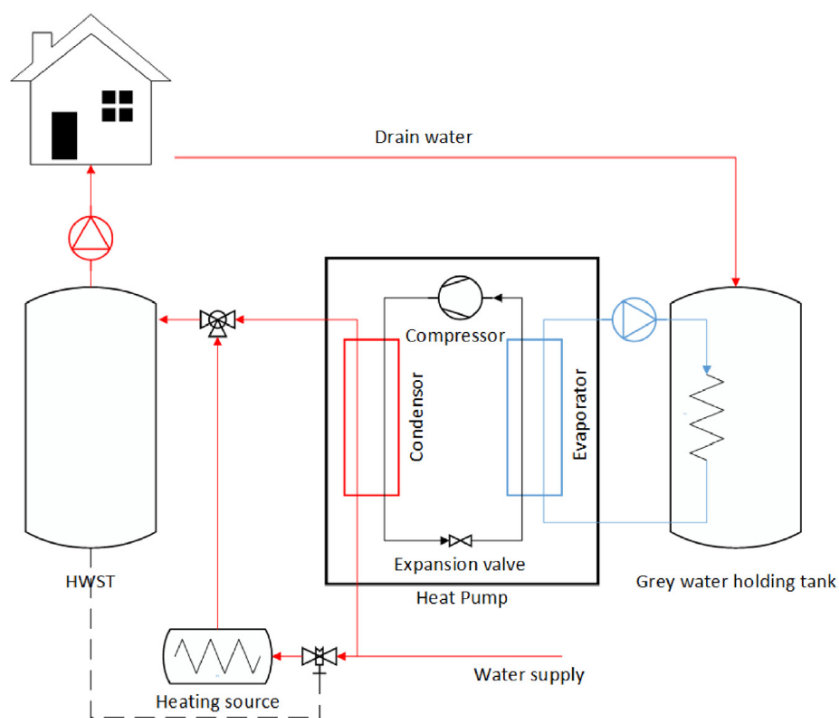
Systemair AB gruppi kuuluv Menerga Aquacond (joonis 3.7) hallvee soojustagasti on ilma kogumismahutita süsteem. Menerga soojustagasti ühendatakse eraldiseisva heitvee kogumismahutiga. Aquacondi (joonis 3.6) eelis mahuti tüüpi tsentraalse soojusvaheti ees on automaatne puhastus, mis toimub kindla tsükli tagant. Eelnimetatud Menerga heitveesoojustagasteid on Eestis paigaldatud alates 2000. aastast üle 20. Peamiselt kasutatakse Menerga toru-torus soojustagastusseadmeid SPA-des ja ujulates. [4][31]



Joonis 3.7 Menerga soojustagastusseade [31]

3.2 Soojuspumba lahendused

Soojuspumba tööpõhimõte seisneb termodünaamika II seaduse pöördprotsessis ehk soojuse liikumises madalama temperatuuriga kehalt kõrgema temperatuuriga kehale. Peamised soojuspumpade liigid on järgmised: maasoojus-, õhk-õhk, õhk-vesi, vesi-õhk, vesi-vesi soojuspumpad. Lisaks soojuspumpade kasutamisele soojusvarustuses, saab neid kasutada ka jahutamiseks. Soojuspumbaga jahutamiseks võetakse soojus jahutatavast keskkonnast ja antakse kõrgema temperatuuriga keskkonda. Soojuspumba efektiivsus väljendub soojusteguris ehk COP. [32]



Joonis 3.8 Soojuspumba lahendusega heitvee soojustagastisüsteemi põhimõtte skeem [32]

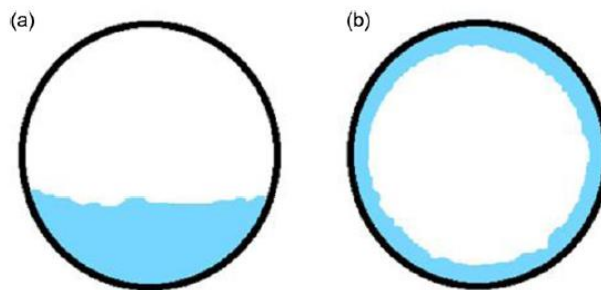
Soojuspumba kasutamine heitvee soojustagastisüsteemis võimaldab tagastada rohkem soojust. Lisaks tarbevee soojendamisele võimaldab soojuspumbaga süsteem kanaliseeritavast veest saadud soojust kasutada ka ruumide kütteks. Joonisel 3.8 on kujutatud soojuspumba lahendusega heitvee soojustagastussüsteemi põhimõtte skeem.

3.3 Soojusvaheti efektiivsust mõjutavad tegurid

Soojusvaheti efektiivsus on ühelt soojuskandjalt teisele ülekantud soojushulga suhe teoreetiliselt maksimaalsesse soojushulka. Teoreetiliselt maksimaalne soojushulk on olukord, kus soojuslähikandetegur või küttepinna suurus on lõpmatult suured.

Soojusülekanne efektiivsust mõjutavad erinevad tegurid jagunevad kaheks: vee tarbimisest olenevad tegurid ja soojustagastite füüsikalistest omadustest olenevad tegurid. [34]

Vertikaalselt paigaldatud hallvee soojusvahetite efektiivsus on parem horisontaalsetest soojusvahetitest suurema soojusvahetuspinna tõttu. Kanalisatsioonitorustik dimensioneeritakse selliselt, et toru poleks tava tööolukorras kunagi tervenisti veega täidetud. Joonisel 3.9 on kujutatud kanaliseeritava vee voolamine horisontaalses ja vertikaalses torus. Vertikaalses torustikus voolab soojuskandja ühtlaselt õhukese kihina mööda toru seina. Vertikaalselt paigaldatud torustiku efektiivsus on suurem, kuna soojusülekandeks kasutatakse ära kogu toru seinaga. Horisontaalses torustikus on soojuskandja toru põhja jaotunud ja seetõttu on soojusvahetuse pindala väiksem ning seeläbi ka efektiivsus madalam. [34]



Joonis 3.9 Ristlähbilõige kanaliseeritava vee voolamisest (a) horisontaalses torustikus ja (b) vertikaalses torustikus [34]

Soojusvaheti efektiivsust mõjutab kanaliseeritava vee voolukiirus ja/või vooluhulk, voolukiirus on võrdeline vooluhulgaga. Kui tõsta sama läbimõõduga torus voolukiirust, tõuseb ka toru läbiva vee vooluhulk ja vastupidi. Efektiivsuse tõstmiseks saab kasutada kanaliseeritava hallvee torustikus voolurahusteid, seda siis, kui soojusvahetit pole võimalik paigaldada vertikaalsele toru lõigule. Voolurahustitega aeglustatakse soojuskandja kiirust ja seeläbi suurendatakse soojuskandja ning soojendatava aine kokkupuute aega. Mahuti tüüpi soojusvahetitel on soojuskandja ja soojendatava aine kokkupuute aeg suurem kui teistel heitvee soojustagastustüüpidel.

4 AKADEEMIA TEE 5A HOONE

Töö eesmärgiks on analüüsida hallvee soojustagasti tööd, elanike tarbimisprofiile ning hinnata kasutuses oleva heitvee soojustagasti efektiivsust ja mõju hoone energiatõhususarvule.

4.1 Hoone kirjeldus

Jälgitav objekt asub aadressil Akadeemia tee 5a, Tallinn. Hoone on kasutuses Tallinna Tehnikaülikooli ühiselamuna. Tegu on viiekorruselise ja kahe trepikojaga mitmepereelamuga. Hoone keldris asuvad tehnilised ruumid, panipaigad, rataste- ja vankrite hoiualad, *showroom*, riietus- ja pesemisruumid. Esimene kuni viies korrus on ühiselamu boksid, mida on 80 tükki. Keskmiselt on ühiselamu boksi suuruseks 37 m², aga igal korrusel on ka kaks 53 m² elupinda. Katusekorrusel paikneb ventilatsioonikamber. Hoone tehnilised andmed on esitatud tabelis 4.1. [5]

Tabel 4.1 Hoone tehniliste andmete tabel [5]

Nimetus	Väärtus
Hoone arhitektuurne pindala (m ²)	4317,3
Hoone köetav pindala (m ²)	4300,6
Korruste arv	6 (5 eluruumide korrust + 1 keldrikorrus)
Korterite arv	80 (ühetoalisi 70 tk, kahetoalisi 10 tk)
Kasutusotstarve	ühiselamu

Hoone soojusega varustamiseks kasutatakse kaugküttesüsteemi. Korteritesse ja keldrikorrusele on paigaldatud vesiradiaatorküte, keldrikorruse riietus- ja pesuruumides kasutatakse vesipõrandkütet. Radiaatorkütte küttekehade reguleerimine toimub ruumipõhiselt termostaatventiiliga, tubade temperatuuri saab muuta vahemikus 18-23 °C. Vesipõrandkütte kollektorid on varustatud elektri ajamiga täiturmootoritega. Hoone on varustatud soojustagastus ventilatsiooni seadmega. Tabelis 4.2 on väljatoodud hoone arvutuslikud soojuskoormused vastavalt projekti seletuskirjale. [6]

Tabel 4.2 Arvutuslikud soojuskoormused hoones [6]

Nimetus	Väärtus
Soojale tarbeveele	290 kWh
Ventilatsiooni küttele	55,12 kWh
Küttele	65,10 kWh
Põrandküttele	1,46 kWh
KOKKU:	412 kWh

Projektijärgne küttegaafik radiaatorküttele on 70/50 °C. Keldrikorruse põrandküttes kasutatakse soojuskandjat parameetritega 40/35 °C. Ventilatsiooni küttes kasutatakse soojuskandjat parameetritega 70/40 °C ja pärast segamissõlme 60/40 °C. [6]

Pere ühiselamu ligikaudne veetarbimine on 25 m³/päevas. Hoone rekonstrueerimise põhiprojektis on väljatoodud arvutuslikud majandus-joogivee vajadused (tabel 4.3). [7]

Tabel 4.3 Hoone tarbevee tarbimiste projektijärgsed väärtused [7]

Kogu hoone:	
sekundiline	2,7 l/s; soe vesi 2,15 l/s
tunnine maksimum	7,0 m ³ /h; soe vesi 2,8 m ³ /h
1 trepikoda:	
sekundiline	1,75 l/s; soe vesi 1,4 l/s
tunnine maksimum	3,5 m ³ /h; soe vesi 1,4 m ³ /h

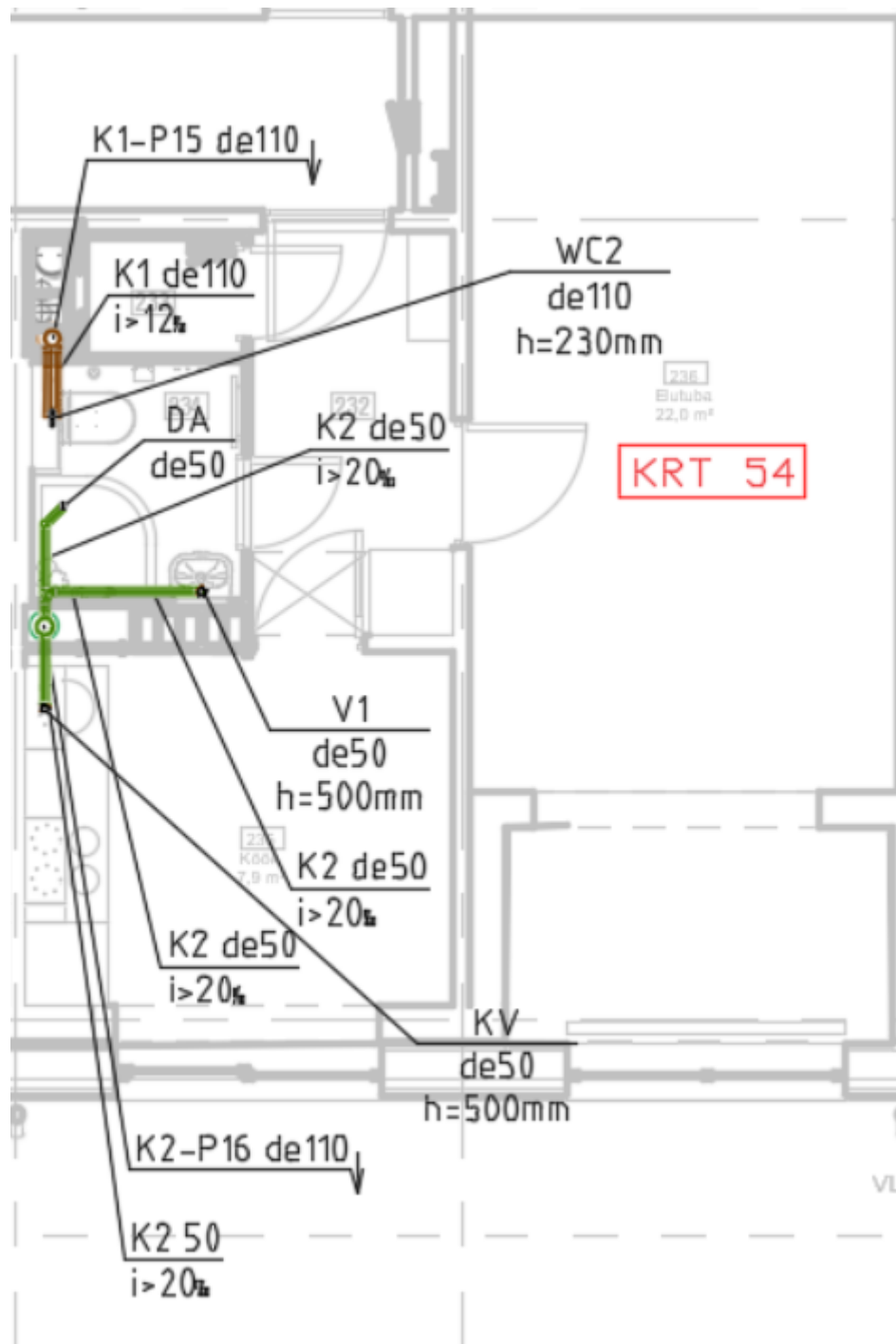
4.1.1 Hoone vee- ja kanalisatsioonisüsteem

Täiendava energiasäästu eesmärgil kasutatakse trepikoja nr 1 katusel asuvaid päikesekollektoreid. Päikesekollektoritest juhitakse soojenenud vesi keldrikorrusel asuvatesse nelja 1,5m³ mahutavusega kogumismahutitesse.

Hoone rekonstrueerimise käigus vahetati välja kogu tarbevee torustik ja taastati nr 1 trepikojas kanalisatsioonitorustik. Hoone nr 2 trepikotta paigaldati reovee ja hallvee jaoks eraldi kanalisatsioonitorustikud. Joonisel 4.1 on kujutatud hoone kanalisatsioonitorustiku projekti kuvatõmmis. Hoone kanalisatsioonisüsteem jaguneb järgnevalt [7]:

- Reoveekanaliseerimisitorustikud ja seadmed mustale veele (süsteem K1)
- Reoveekanaliseerimisitorustikud ja seadmed hallveele (süsteem K2)

Hoones paiknev vee- ja kanalisatsioonitorustik on peaaegu täies mahus isoleeritud, et vältida soojuskadusid. Isoleerimata on ainult san-seadmetega ühendatud harutorustik.



Joonis 4.1 Akadeemia tee 5a trepikoja nr 2 tüüp korteri kanalisatsiooni projekti väljavõte [7]

4.1.2 Sooja tarbevee valmistamine

Sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse peamiselt kaugküttesüsteemi. Trepikojas nr 2 on täiendavaks tarbevee soojendamiseks kaks heitvee soojustagastit, mis on kujutatud joonisel 4.2. Hoonesse on ehitatud korteripõhiselt kaks erinevat kanalisatsiooni püstikut, et juhtida heitvee soojustagastisse ainult hallvett ehk pesuvett valamutest ja dušist. Teise kanalisatsiooni püstikusse on juhitud WC reovesi. Ruumis 023 asuv heitvee soojustagasti on varustatud soojuspumba lahendusega ehk lisa soojusvahetiga, mille teisel poolel voolab vahesoojuskandja. Vahesoojuskandja annab omakorda kanalisatsioonist saadud soojuse tarbeveele. Ruumi 016 hallvee soojustagasti töötab ilma soojuspumba lahendusega ehk soojustagastist juhitakse soojendatav vesi otse tarbevee soojusvahetisse. Antud heitvee soojustagastil on olemas lisa soojusvaheti valmidus, mis võimaldab lisada süsteemile soojuspumba. [7]

Hallvee soojusvahetid ei ole omavahel ühenduses ja edaspidi kasutatakse töös tunnuseid püstik nr 1 ja püstik nr 2. Soojuspumbaga hallvee soojustagasti (ruum 023) teenindab tarbevee püstikut nr 1 ja ilma soojuspumbata hallvee soojustagasti (ruum 016) teenindab püstikut nr 2.

Hoone rekonstrueerimisprojekti käigus väljastati Akadeemia tee 5a ühiselamule energiamärgis aastal 2016. Energiamärgises on arvatud hoone energiatõhususarvuks 80 kWh/(m²·a) [34]. Energiatõhususarvu arvutamisel ja energiamärgise andmisel on arvestatud ETA sooja vee erikuluks ja netoenergiavajaduseks sooja vee valmistamisel tabelis 1.2 väljatoodud korterelamu väärtuseid. Tegelikuses on tarbevee tarbimised hoones oluliselt suuremad ja seeläbi võib eeldada, et ka sooja tarbevee valmistamise netoenergiavajadus on suurem.

4.2 Akadeemia tee 5a hallvee soojustagasti

Akadeemia tee 5a üliõpilaselamusse on paigaldatud ettevõtte Polarsol kaks hallvee soojustagastit. Monteeritud soojustagastid (joonis 4.3) on mahutitüüpi, mis on mõeldud rohkemate tarbijatega hoonetele. Mahutis tsirkuleerib külm tarbevesi või külmutusagens mööda soojusvaheti torustiku (kärge). Kanaliseeritav vesi on eraldatud soojusvaheti alast võrguga, et hoida soojusvaheti puhtana ja mitte kaotada efektiivsust. [35]



Joonis 4.3 Polarsol hallvee soojustagastussüsteem [35]

Polarsoli soojustagastil on automaatne isepuhastussükkel. Mehaaniline puhastus on soovituslik kord poole aasta jooksul, et saavutada püsivalt maksimaalne efektiivsus. Antud seadmel on mitu võimalikku ühendusviisi. Joonisel 4.4 on kujutatud Akadeemia tee 5a süsteemi ühendusviis.

Üksiku seadme ühendusviis on sobilik enamikes süsteemides. Peamiselt on kasutatav hoonetes, kus tarbimistipud ei ületa 10 m³/h ja kanaliseeritava vee temperatuurid jäävad alla 50 °C. [35]



Joonis 4.4 Polarsol heitvee soojustagastussüsteemi üksik ühendusviis [35]

Polarsoli soojustagasti tööpõhimõte on järgnev: kõrge temperatuuriga kanaliseeritav vesi (hallvesi) siseneb soojustagastus mahutisse. Seal kantakse soojus üle hallveelt tarbeveele või vahesoojuskandjale, mis annab selle omakorda tagasi sooja tarbevee süsteemi. Peale kanaliseeritavalt veelt soojuse ülekandmist juhitakse see üldkanalisatsiooni. Hinnanguliselt kuni 80% hallvee soojusest suudetakse antud seadmega tagastada. Soojustagastussüsteemi on võimalik ehitada passiivsena või aktiivsena ehk koos soojuspumbaga. Passiivset süsteemi saab kasutada tarbevee eelsoojendamiseks. Aktiivne süsteem töötab kui tüüpiline veesoojendi. [35]

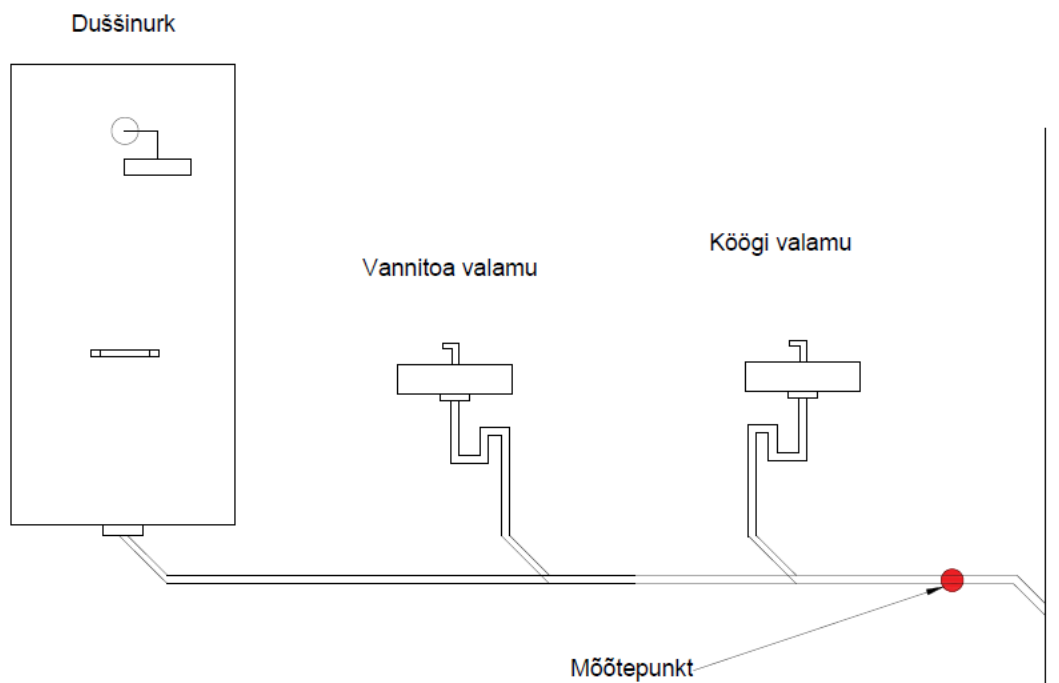
4.3 Teostatud mõõtmised

Antud töös mõõdeti mitmes erinevas korteris hallvee mahutiga ühendatud kanalisatsiooni püstiku temperatuure. Mõõtmiseks kasutatakse HOB0 UX120-006M 4 kanaliga analoog loggereid mõõtmistäpsusega $\pm 0,1\%$ näidust (joonis 4.5), millega ühendati temperatuuri andur [36].



Joonis 4.5 HOBO UX120-006M logger

Korterites on kanalisatsioon lahendatud kahe erineva püstikuga. Hallvee püstikule on kõikides korterites ühendatud köögivalamu, vannitoavalamu ja duši äravool. Reovee kanalisatsiooni püstikut ja torustikku kasutatakse WC-poti äravoolu jaoks. Korterite kanalisatsioonilahendus on välja toodud joonisel 4.6.



Joonis 4.6 Korterite kanalisatsioonisüsteemi plaan

Andmete kogumist teostati kolmes korteris. Kõik korterid, kus mõõtmist läbi viidi, olid ühendatud sama hallvee soojustagastiga. Mõõtmine teostati korteri magistraali ja kanalisatsiooni püstiku ühenduskohast. Elanike soovide kohaselt ei olnud võimalik andurit paigaldada iga veevõtupunkti juurde. Valamute või duši kasutamisel salvestati kanalisatsiooni voolava vee temperatuur ja ajahetk. Andmeid koguti ajavahemikul märts 2019 kuni mai 2019. Mõõtmisandmete salvestamise intervalliks võeti 1 sekund, et saada võimalikult optimaalset informatsiooni.

Korteris 45 toimus esimene mõõtmine ajavahemikul 15.03.2019–04.04.2019 ja teine mõõtmine 04.04.2019–28.04.2019.

Korteris 54 viidi mõõtmisi läbi ajavahemikel 15.03.2019–04.04.2019 ja 05.04–30.04.2019.

Korteris 55 toimus mõõtmisandmete kogumine 12.03.2019–04.04.2019 ja 11.04.2019–04.05.2019.

4.3.1 Tarbimiste mõõtmisandmed

Lõputöös kasutatavad korteripõhised tarbevee tarbimisandmed saadi hooneautomaatikaga ühendatud korteripõhiste veearvestite kaudu. Kontrolli mõttes küsiti korterite veetarbimiste kuu näidud Tallinna Tehnikaülikooli Üliõpilasküla käest. Lisaks korterite veearvestitele, kasutati hallvee soojustagasti analüüsis hooneautomaatikaga seotud temperatuuriandurite ja soojusarvestite trende.

Soojustagastussüsteemile paigaldatud temperatuuriandurite logist oli kasutatav ainult 2020. aasta info, kuna perioodil esines andmetes anomaaliad. Külma tarbevee temperatuuri anduri mõõtetulemusi hinnates tuli välja, et anduri näitu mõjutab ruumi õhutemperatuur. Suvisel perioodil tõusis anduri temperatuuri näit üle 18 °C, mis Tallinna Vee tänavatrassis ei saa sellisel temperatuuril olla.

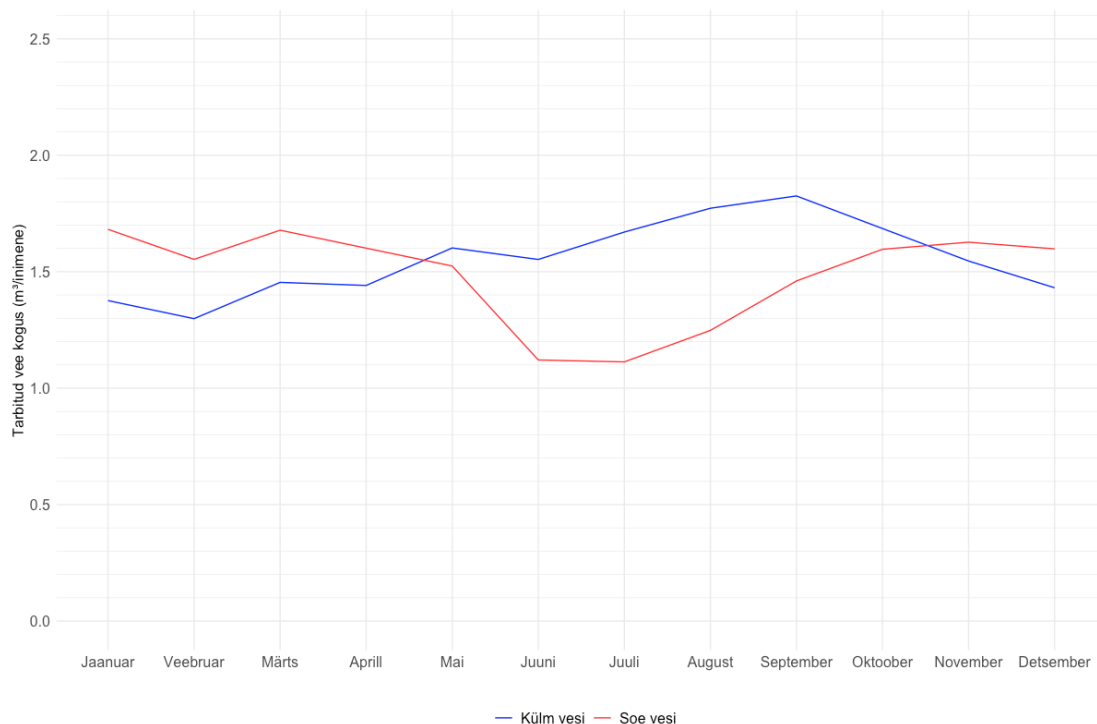
5 TULEMUSED JA ANALÜÜS

5.1 Vee tarbimine

Uuritavas ühiselamus mõõdeti trepikojas nr 2 korteri põhiselt sooja ja külma tarbevee tarbimisi. Lisaks korteritele arvestati tarbimisse juurde ka trepikoja nr 2 keldrikorruse tehniliste ruumide tarbimine. Andmeid koguti kuu põhiselt lähtudes hoone automaatikaga ühendatud veearvestite näitudest. Kuupõhised veetarbimiste andmed on vaadeldavad lisas 1.

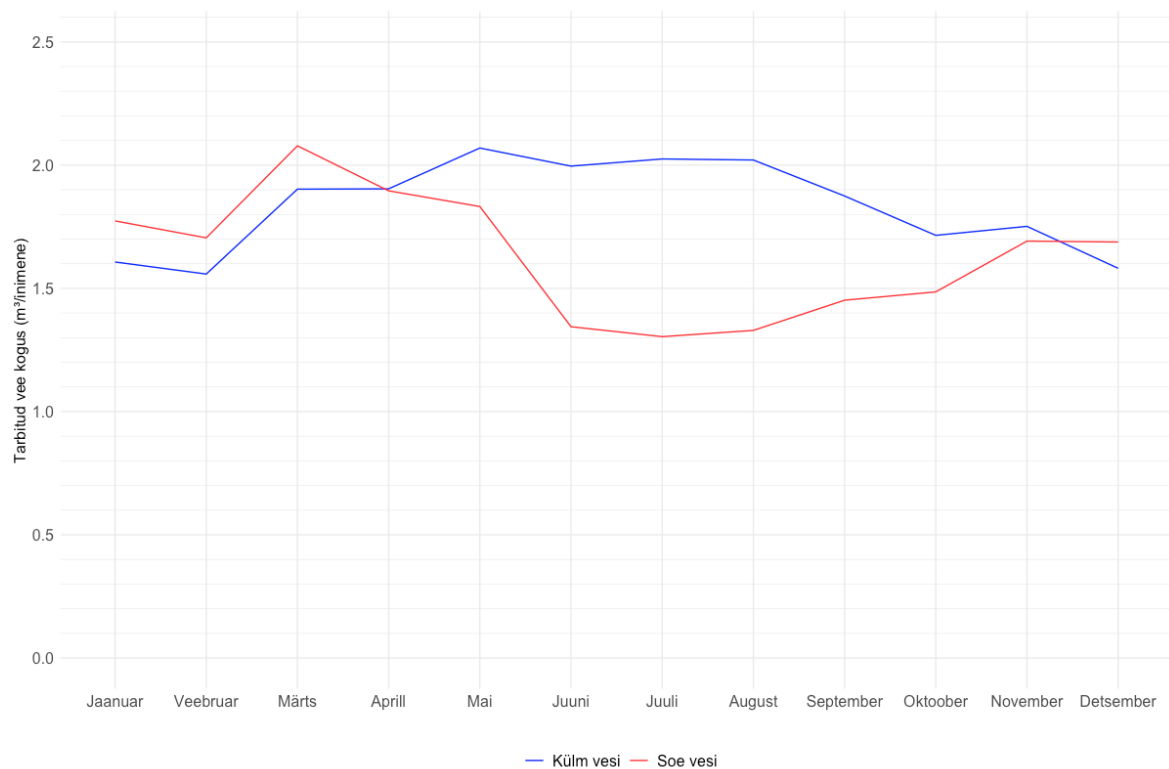
Vee tarbimine 2019. aastal (joonis 5.1) oli enam-vähem ühtlane kuude lõikes. Suurem langus tarbevee kasutuses on suvekuudel juuni-august, eriti sooja tarbevee tarbimises. Tarbimise langus võib osaliselt olla põhjustatud koolivaheajast, kui osadel elanikel lõpeb üürileping ning ülejäänud viibivad vähem aega ühiselamus, seega kasutatakse vähem sooja vett.

Üliõpilaskülalt saadud andmete põhjal elas 2019. õppeaasta kevadel ja sügisel trepikoja nr 2 korterites kokku 99 inimest. Aastal 2019 tarbiti trepikoda nr 2 korterites kokku 1846,9 m³ külma ja 1762,5 m³ sooja tarbevett. Inimese kohta tarbiti külma tarbevett 18,66 m³ ja sooja tarbevett 17,80 m³.



Joonis 5.1 Trepikojas nr. 2 korterite külma ja sooja tarbevee tarbimine aastal 2019

Aastal 2020 on veetarbimised üldjoontes sarnased 2019. aasta tarbevee tarbimisega. Joonisel 5.2 on välja toodud 2020. aasta külma ja sooja tarbevee tarbimised kuu lõikes trepikoja nr 2 korterite peale kokku. Suure erinevusena võrreldes 2019. aastaga on 2020. aastal märtsikuu järsk tõus sooja ja külma vee tarbimises. Eelnimetatud külma ja sooja vee kasutamise kasv on tingitud koroonapandeemia algusest, kui koolid läksid üle distantsõppele ning enamik asutusi suleti ajutiselt. Pandeemia tõttu olid inimesed sunnitud veetma rohkem aega kodus, see ka põhjustas erinevuse kogu tarbevee kasutamise näidus. Sarnaselt 2019. aastaga kasvas suvekuudel külma tarbevee tarbimine ning sooja vee tarbimine langes. Üliõpilasküla andmetel elas 2020. aastal ühiselamu trepikoja nr 2 korterites kokku 95 elanikku. Veetarbimise andmete põhjal tarbiti 2020. aastal korterites 41-80 kokku 2090,6 m³ külma ja 1860,2 m³ sooja tarbevett. Elaniku kohta tarbiti 2020. aastal külma vett 22,01 m³ ja sooja vett 19,58 m³, mida on rohkem kui 2019. aastal.



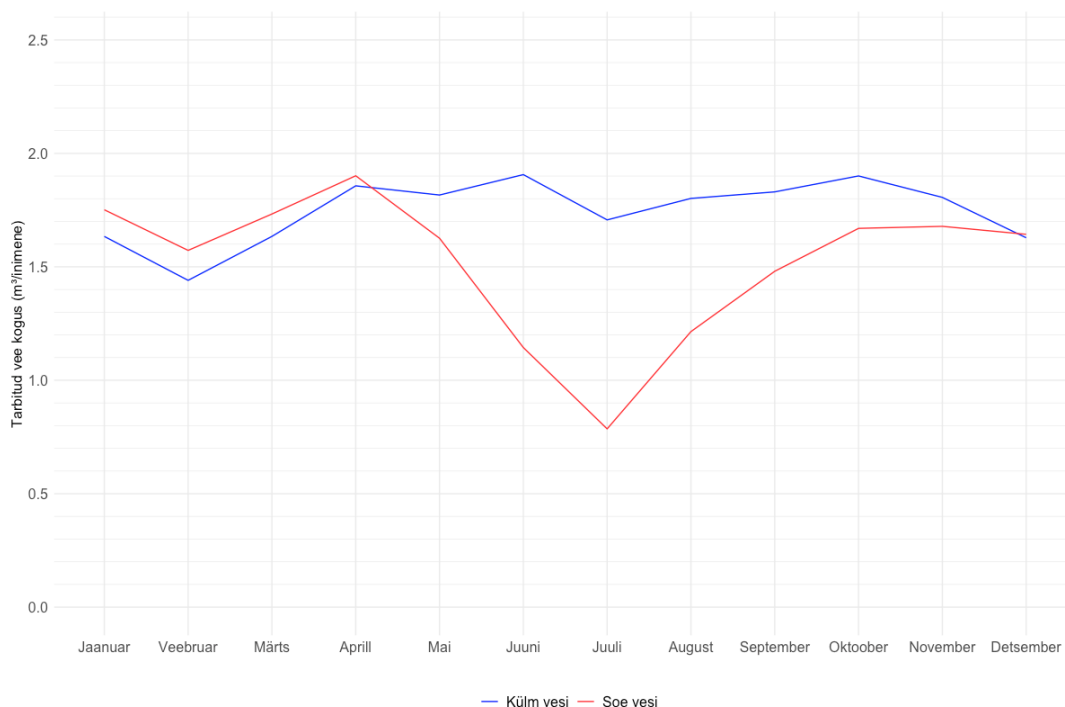
Joonis 5.2 Trepikoja nr 2 korterite külma ja sooja tarbevee tarbimine aastal 2020

2020. aasta veebruaris oli külma vee tarbimine 1,56 m³ inimese kohta ja sooja vee tarbimine 1,71 m³ inimese kohta. Seoses koroonapandeemia algusega 2020. märtsis tõusis külma vee tarbimine 1,90 m³ inimese kohta ja sooja vee tarbimine 2,08 m³ inimese kohta.

Sooja ja külma tarbevee kogused aastal 2021 ei erine oluliselt 2019. aasta tarbimistest. Kahte graafikut võrreldes on aga näha erinevusi aasta 2021 märtsi, aprilli ja maikuu

tarbimistes, mis sarnanevad rohkem 2020. aasta graafikuga. Eelnimetatut võis põhjustada järjekordne koroonapandeemiast tingitud distantsõpe ja avalike asutuste ajutine sulgemine.

Aastal 2021 elas ühiselamu nr 2 trepikoja korterites 92 inimest, kes tarbisid aastase perioodi vältel külma vett kokku 1928,5 m³ ja sooja vett 1674,4 m³. Joonisel 5.3 on väljatoodud 2021. aasta külma ja sooja vee tarbimised. Keskmiselt inimese kohta tarbiti 20,96 m³ külma ja 18,20 m³ sooja tarbevett. Võrreldes sooja ja külma vee tarbimisi inimese kohta aastatel 2019-2021, siis on näha tarbimise tõusu 2020. aastal.



Joonis 5.3 Trepikoja nr 2 korterite külma ja sooja vee tarbimine aastal 2021

Hoone energiatõhususe arvutamise metoodikas on korterelamu sooja vee erikuluks toodud 520 l/(m²·a) [11]. Aastal 2019 mõõdetud andmete põhjal oli sooja vee erikulu 820 l/(m²·a), mis on 57% suurem kui energiatõhususe arvutamise metoodikas. Aastal 2020 oli sooja vee erikulu 865 l/(m²·a) ehk 66% suurem kui metoodikas ja võrreldes 2019. aastaga tõusis tarbimine 5,4%. Aasta 2021 tarbimisandmete põhjal oli sooja vee erikulu 779 l/(m²·a). 2021. aastal oli sooja vee tarbimine 50% suurem võrreldes metoodikaga ja 10% madalam võrreldes eelneva aastaga.

Akadeemia tee 5a ühiselamu sooja vee erikulu oli oluliselt suurem kui hoone energiatõhususe arvutamise metoodika tabelis välja toodu. Sooja vee erikulu erinevus võib tuleneda sellest, et ühiselamu tarbimisprofiil erineb korterelamu tarbimisprofiilist.

Ühiselamus toimub vee tarbimine lisaks hommikustele ja õhtustele tarbimistippudele ka lõunasel ajal. Tegemist on peredele mõeldud ühiselamuga, kus suure tõenäosusega viibitakse väikeste laste tõttu pikemalt kohapeal.

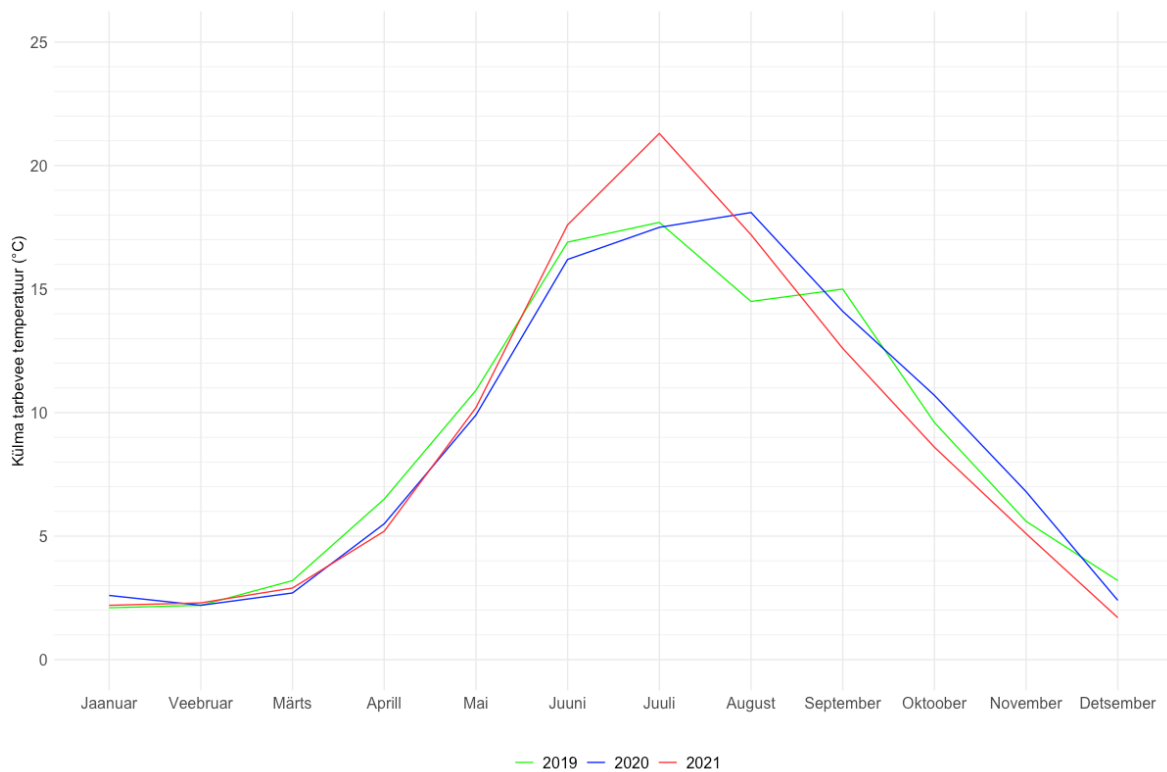
Ühiselamus on elanike arv pidevas muutuses, seega tuleks optimaalse tulemuse saamiseks võrrelda sooja vee erikulu inimese kohta aastas. Aastal 2019 oli sooja vee erikulu $17,80 \text{ m}^3/(\text{inimene}\cdot\text{a})$, 2020. aasta sooja vee erikulu oli $19,58 \text{ m}^3/(\text{inimene}\cdot\text{a})$ ja 2021. aasta sooja vee erikulu oli $18,20 \text{ m}^3/(\text{inimene}\cdot\text{a})$. Võrreldes sooja vee erikulusid inimese kohta 2019. aastal 2020. aastaga, selgub, et tarbimine tõusis ligikaudu 10%. aastal 2021 langes sooja vee erikulu ligikaudu 7% võrreldes 2020. aastaga.

5.2 Tarbevee temperatuurid

5.2.1 Külma tarbevesi

Sooja tarbevee tootmiseks kuluv energiahulk sõltub hoonesse siseneva külma tarbevee temperatuurist. Kuna uuritav objekt asub Tallinnas, siis tarbevesi saadakse Tallinna Vesi tänavavõrgust. Üldjuhul arvestatakse külma tarbevee temperatuuriks 5–10 °C. Kaugkütte soojussõlme projekteerimisel arvestati külma tarbevee temperatuuriks 8 °C. Joonisel 5.4 on väljatoodud mõõdetud hallvee soojustagastisse siseneva külma tarbevee temperatuurid aastatel 2019-2021.

Külma vee temperatuur on mõõdetud enne soojustagastisse sisenemist. Graafikult on näha, kuidas mõõdetud külma tarbevee temperatuurid erinevad kuu lõikes. 2019. aasta suvekuudel, tõusis külma tarbevee temperatuur maksimaalselt 17,7 °C. Kõige madalam külma tarbevee keskmine temperatuur mõõdeti sama aasta jaanuaris 2,1 °C.



Joonis 5.4 Soojustagastisse siseneva külma tarbevee temperatuurid ajavahemikul 2019–2021

Aasta 2020 jäi mõõdetud külma tarbevee temperatuur suvekuudel vahemiku 16,2-18,1 °C. Kõige kõrgem mõõdetud külma tarbevee keskmine temperatuur oli augustis 18,1 °C ja kõige madalam veebruaris 2,2 °C.

Aasta 2021 kõige kõrgem külma tarbevee keskmine temperatuur oli 21,3 °C, mis mõõdeti juulikuus. Madalaim külma tarbevee keskmine temperatuur oli 1,7 °C ja see mõõdeti detsembris.

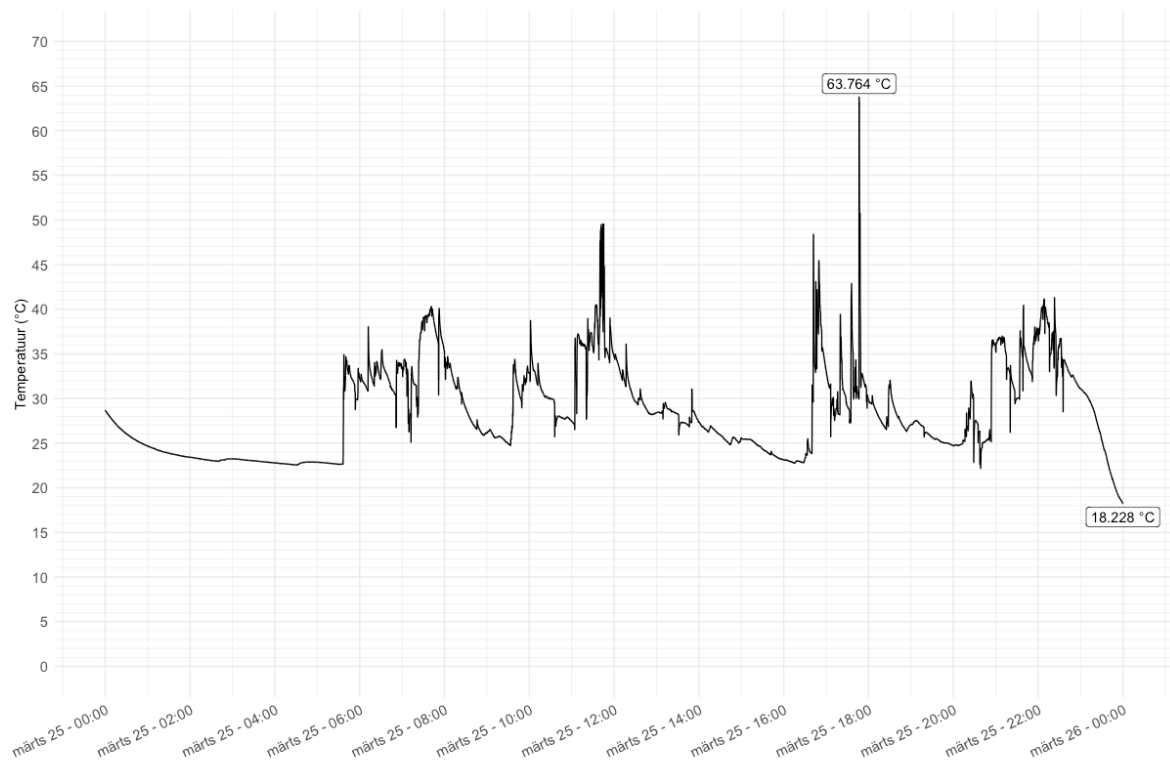
Mõõdetud külma vee temperatuuri muutus võib autori arvates olla tingitud välisõhu temperatuuri mõjust hoonesisesele õhutemperatuurile. Eeldusel, et külma tarbevee temperatuuri mõõdetakse toru pinnale, isolatsiooni kooriku alla paigutatud anduriga, võib ruumi kliima mõjutada mõõtmistulemusi.

5.2.2 Korter 45 tarbevee temperatuuride mõõtmised

2019. aasta märtsis teostati kanaliseeritava hallvee mõõtmised uuritava objekti kolmes korteris, et saada aimu tarbimisharjumustest. Mõõtmised toimusid korterites 45, 54, 55. Eelnimetatud korterid osutusid valituks, kuna nende rentnikud olid nõus laskma mõõtmisi teostada. Lisaks oli väljatoodud korteritel piisavalt suured tarbevee tarbimised, et saada optimaalset tulemust. Lisaks tarbevee temperatuuridele, tuli mõõtmistega välja ligikaudne tarbimise kestus.

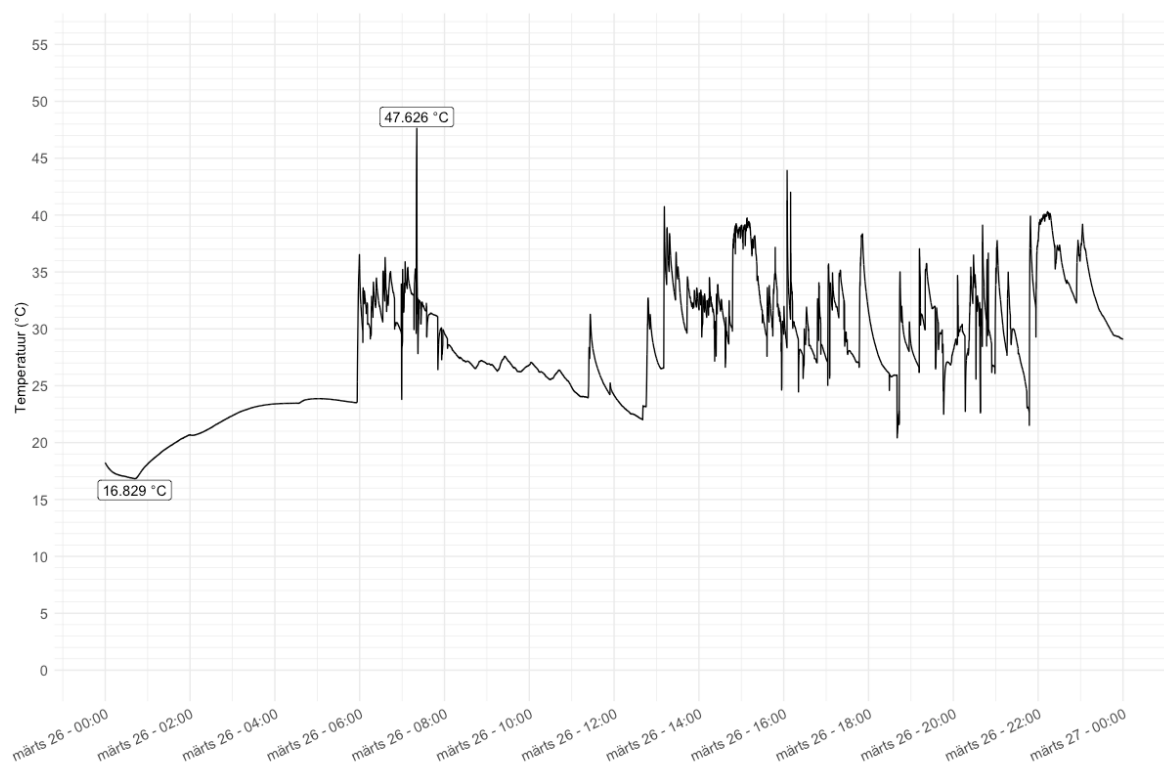
Antud peatükis on kujutatud ainult korteri 54 temperatuurigraafikud, kuna selle korteri tarbimine oli teistest oluliselt suurem. Lisaks oli antud korteri keskmise ja maksimaalse tarbimise vahe kõige suurem. Korteris 54 oli mõõtmisperioodil pidev igapäevane vee tarbimine.

Selleks, et saada paremat ülevaadet uuritava korteri elanike tarbimisharjumustest (kasutatav vee temperatuur ja vee kasutamise kestus), valiti välja keskmise ja maksimaalse tarbimisega päevad. Joonisel 5.5 ja joonisel 5.6 on kujutatud 2019. aastal keskmise ja maksimaalse tarbimisega päevade tarbevee temperatuuri graafikud korteris 54.



Joonis 5.5 Korter 54 hallvee temperatuuri graafik keskmise tarbimisega päeval

Keskmise tarbimisega päeval (joonis 5.5) on selgelt nähtavad tarbimistipud. Öösel kella 12 kuni kella 5:45 hommikul on temperatuuridega anomaalia, mis võis olla tingitud ülejäänud hoones tarbimise algusega ja seoses sellega kanalisatsioonitorustiku temperatuuri tõusuga. Reaalne vee tarbimine toimus ajavahemikus 7:30-8:00. Hommikuse tarbimise kanaliseeritava hallvee temperatuur oli 35–40 °C. Järgmine pikem vee tarbimine oli enne lõunat ning kestis umbes 30 minutit. Kanaliseeritava vee temperatuurid olid lõunasel vee tarbimisel samuti 35-40 °C. Hetkeliselt tõusis temperatuur 49,5 °C juurde. Õhtune tarbevee kasutamine algas peale 16:00. Õhtuse tarbimise maksimaalne temperatuur mõõdeti ligikaudu 64 °C, mis võis olla tingitud söögitegemise käigus tekkinud keedetud vee kanaliseerimisest.

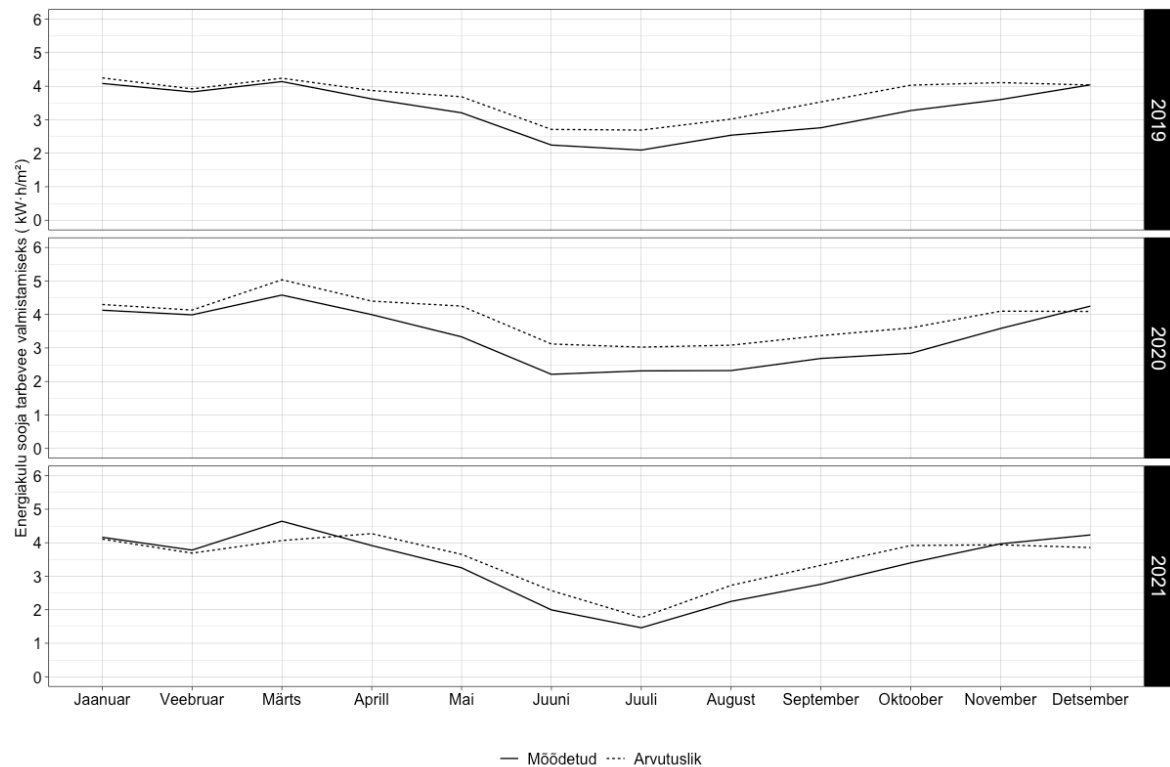


Joonis 5.6 Korter 54 hallvee temperatuuri graafik kõrge tarbimisega päeval

Maksimaalse tarbimisega päeval (joonis 5.6) on tarbimine ühtlasem kogu päeva ulatuses. Kokku tarbiti antud päeval 0,32 m³ külma ja 0,54 m³ sooja tarbevett. Sarnaselt keskmise tarbimisega päeval on graafikult nähtav hommikul kella 6 ajal kanalisatsioonitorustiku sisetemperatuuri järsk tõus. Antud päeval algas korteris 54 tarbevee kasutamine hommikul kell 6. Hommikune tarbimine kestis lühikeste tsüklitena kuni kella 7:30ni. Järgmine tarbimistipp algas kella 13 ajal, kui tarbevee temperatuurid jäid vahemiku 32-40 °C.

5.3 Sooja tarbevee valmistamise energiakulu

Akadeemia tee 5a ühiselamus kasutatakse sooja tarbevee tootmiseks kaugkütte soojusvahetit. Energia kogus sooja tarbevee tootmiseks sõltub paljudest erinevatest faktoritest. Lõputöö raames uuriti peamiselt järgnevaid faktoreid: hoonesse siseneva külma tarbevee temperatuur, soovitud sooja tarbevee temperatuur ja sooja tarbevee kogus.



Joonis 5.7 Mõõdetud ja arvutuslikud energiakulud sooja tarbevee tootmiseks 2019.– 2021. aastal

Selleks, et soojendada 1 m³ tarbevett temperatuurilt 5 °C temperatuurile 55 °C, läheb vaja 0,058 MWh energiat. Joonisel 5.7 on väljatoodud arvutuslikud ja mõõdetud energiakulud sooja tarbevee tootmiseks aasta lõikes ajavahemikul 2019-2021. Selleks, et leida arvutuslikult saadud energiakulus sooja tarbevee tootmiseks on arvestatud hoonesse siseneva külma tarbevee temperatuuriks suvekuudel (aprill-september) 10 °C ja talvekuudel (oktoober-märts) 5 °C. Hallvee soojusvahetiga saadud energiat kasutatakse koheselt uuesti külma tarbevee eelsoojendamiseks enne kaugkütte soojusvahetit, kust väljub soovitud 55 °C temperatuuriga soe tarbevesi. Mõõdetud energiakulu sisse on arvestatud hallvee soojustagastist saadud ja kaugkütte soojusvahetis tarbitavat energiat.

Tabel 5.1 Sooja tarbevee valmistamiseks kuluv arvutuslik ja mõõdetud energiakulu

2019									
Kuu	Soe vesi kogus (m ³)	Δt	Arvutuslik energiakulu (MWh)	Arvutuslik energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (MWh)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (MWh)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud energiakulu kokku (kWh/m ²)
Jaanuar	166,5	47,0	9,13	4,25	7,29	3,39	1,49	0,69	4,08
Veebruar	153,8	47,0	8,43	3,92	6,86	3,19	1,37	0,64	3,83
Märts	166,2	47,0	9,11	4,24	7,62	3,54	1,28	0,60	4,14
Aprill	158,5	45,0	8,32	3,87	6,39	2,97	1,39	0,65	3,62
Mai	150,9	45,0	7,92	3,69	5,85	2,72	1,04	0,48	3,21
Juuni	111,0	45,0	5,83	2,71	4,23	1,97	0,59	0,27	2,24
Juuli	110,2	45,0	5,78	2,69	3,97	1,85	0,53	0,25	2,09
August	123,6	45,0	6,49	3,02	4,82	2,24	0,64	0,30	2,54
September	144,6	45,0	7,59	3,53	5,34	2,49	0,59	0,27	2,76
Oktoober	158,1	47,0	8,67	4,03	6,15	2,86	0,89	0,41	3,27
November	161,1	47,0	8,83	4,11	6,68	3,11	1,06	0,49	3,60
Detsember	158,2	47,0	8,68	4,04	7,76	3,61	0,93	0,43	4,04
KOKKU	1762,5		94,78	44,08	72,96	33,94	11,80	5,49	39,42
2020									
Kuu	Soe vesi kogus (m ³)	Δt	Arvutuslik energiakulu (MWh)	Arvutuslik energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (MWh)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (MWh)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud energiakulu kokku (kWh/m ²)
Jaanuar	168,5	47,0	9,24	4,30	7,91	3,68	0,96	0,45	4,13
Veebruar	162,0	47,0	8,88	4,13	7,20	3,35	1,38	0,64	3,99
Märts	197,5	47,0	10,83	5,04	8,59	3,99	1,26	0,59	4,58
Aprill	180,1	45,0	9,46	4,40	7,59	3,53	1,00	0,47	4,00
Mai	174,1	45,0	9,14	4,25	6,29	2,93	0,87	0,40	3,33

Juuni	127,7	45,0	6,71	3,12	4,24	1,97	0,52	0,24	2,21
Juuli	123,9	45,0	6,50	3,03	4,40	2,05	0,58	0,27	2,32
August	126,3	45,0	6,63	3,08	4,49	2,09	0,51	0,24	2,33
September	137,9	45,0	7,24	3,37	5,08	2,36	0,70	0,33	2,69
Oktoober	141,1	47,0	7,74	3,60	5,23	2,43	0,88	0,41	2,84
November	160,7	47,0	8,81	4,10	6,56	3,05	1,14	0,53	3,58
Detsember	160,4	47,0	8,79	4,09	7,94	3,69	1,20	0,56	4,25
KOKKU	1860,2		99,97	46,50	75,51	35,12	11,00	5,12	40,24
2021									
Kuu	Soe vesi kogus (m ³)	Δt	Arvutuslik energiakulu (MWh)	Arvutuslik energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (MWh)	Mõõdetud kaugkütte energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (MWh)	Mõõdetud soojustagasti energiakulu (kWh/m ²)	Mõõdetud energiakulu kokku (kWh/m ²)
Jaauar	161,1	47,0	8,84	4,11	8,00	3,72	0,95	0,44	4,16
Veebruar	144,7	47,0	7,93	3,69	7,09	3,30	1,04	0,48	3,78
Märts	159,4	47,0	8,74	4,07	9,10	4,23	0,88	0,41	4,64
Aprill	174,9	45,0	9,18	4,27	7,75	3,60	0,67	0,31	3,92
Mai	149,6	45,0	7,85	3,65	6,34	2,95	0,65	0,30	3,25
Juuni	105,3	45,0	5,53	2,57	4,00	1,86	0,29	0,13	2,00
Juuli	72,3	45,0	3,80	1,77	2,87	1,34	0,27	0,13	1,46
August	111,7	45,0	5,87	2,73	4,41	2,05	0,42	0,20	2,25
September	136,2	45,0	7,15	3,33	5,46	2,54	0,48	0,22	2,76
Oktoober	153,6	47,0	8,42	3,92	6,40	2,98	0,91	0,42	3,40
November	154,4	47,0	8,47	3,94	7,90	3,68	0,63	0,29	3,97
Detsember	151,2	47,0	8,29	3,86	8,68	4,04	0,42	0,20	4,23
KOKKU	1674,4		90,06	41,89	78,01	36,28	7,61	3,54	39,82

Aastal 2019 kulus arvutuslikult sooja tarbevee valmistamiseks 44,08 kWh/(m²·a) energiat. Mõõdetud energiakulu oli 39,42 kWh/(m²·a), millest hallvee soojustagastiga saadi 5,49 kWh/(m²·a). 2020 aastal oli 40,24 kWh/(m²·a) mõõdetud energiakulu sooja tarbevee valmistamiseks. Hallvee soojustagastiga suudeti taaskasutada 5,12 kWh/(m²·a) energiat sooja tarbevee tootmiseks. Arvutuslik energiakulu sooja tarbevee tootmiseks 2020. aastal oli 46,50 kWh/(m²·a). Aastal 2021 toodeti hallvee soojustagastiga 3,54 kWh/(m²·a) soojusenergiat. Kaugkütte energiakulu sooja tarbevee valmistamiseks oli 36,28 kWh/(m²·a). Kokku tarbiti 2021. aastal 41,89 kWh/(m²·a) energiat sooja tarbevee valmistamiseks. Hoone energiatõhususe arvutamise metoodikas on välja toodud, et korterelamu puhul tuleb arvestada sooja vee valmistamiseks netoenergiavajadusega 30 kWh/(m²·a) [11]. Erinevus tuleneb suuremast kasutatavast vooluhulgast kui standardkasutuses olevatel kortermajadele. Kuu põhine energiakulu ajavahemikul 2019–2021 on toodud tabelis 5.1. Mõõdetud andmete põhjal moodustas 2019. aasta hallvee soojustagastiga saadud soojusenergia kogu tarbevee soojendamiseks kulunud energiast 13,9%. Järgneval aastal oli see osakaal 12,7% ja 2021. aastal 8,9%.

Energiatõhususe arvutamise metoodikas on toodud kortermaja sooja vee erikuluks 520 l/(m²·a) ja netoenergiavajaduseks 30 kWh/(m²·a), seega ühe liitri sooja tarbevee valmistamiseks kulub 0,058 kWh soojusenergiat. Hoonele tehtud energiamärgise arvutuses oli arvestatud, et hallvee soojustagastiga kaetakse 50% kogu sooja tarbevee valmistamise energiavajadusest [34]. Aastal 2019 oli Akadeemia tee 5a trepikoja nr 2 sooja tarbevee erikulu 820 l/(m²·a) ja energiakulu sooja vee valmistamiseks 39,42 kWh/(m²·a). Samal aastal kulus ühe liitri sooja tarbevee tootmiseks 0,0480 kWh soojusenergiat, mis on 17% vähem kui energiatõhususe arvutamise metoodikas ja 67% rohkem kui energiamärgise arvutuses. 2020 aasta sooja tarbevee erikulu oli 865 l/(m²·a) ja netoenergiavajadus 35,12 kWh/(m²·a). Soojusenergia kulu sooja tarbevee valmistamiseks 2020. aastal oli 0,0406 kWh/l, mis on 30% madalam kui energiatõhususe arvutamise metoodikas ja 41% kõrgem kui energiamärgise arvutuses. 2021. aasta mõõtmis andmete järgi oli sooja vee erikulu 779 l/(m²·a) ja netoenergiavajadus 36,28 kWh/(m²·a). Samal aastal oli soojusenergia kulu sooja tarbevee valmistamiseks 0,0466 kWh/l ehk 20% väiksem võrreldes energiatõhususe arvutamise metoodikaga ja 62% kõrgem võrreldes energiamärgise arvutusega.

5.3.1 Tsirkulatsiooni soojuskadu

Akadeemia tee 5a ühiselamus trepikojas nr 2 mõõdeti sooja tarbevee ringluse soojuskadu. Torustiku soojuskadu sõltub toru läbimõõdust, vedeliku vooluhulgast, torus voolava vee temperatuurist ja torustiku paiknemise keskkonnast.

Tabel 5.2 Sooja tarbevee tsirkulatsiooni soojuskaod trepikoja nr 2 püstikutes

Kuu	2019	2020	2021
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Jaanuar	0,82	0,66	0,69
Veebruar	0,67	0,64	0,65
Märts	0,68	0,64	0,53
Aprill	0,68	0,67	0,78
Mai	0,64	0,65	0,68
Juuni	0,66	0,61	0,63
Juuli	0,56	0,58	0,54
August	0,58	0,59	0,57
September	0,60	0,60	0,61
Oktoober	0,67	0,62	0,64
November	0,69	0,65	0,81
Detsember	0,68	0,66	0,81
KOKKU	7,93	7,57	7,94

G. Luunja on oma lõputöös antud hoone ringlustorustiku soojuskadusid põhjalikumalt modelleerinud. Tema üliõpilastöös on esitletud simuleeritud andmed ja saadud, et 2018. aastal oli sooja tarbevee valmistamise energiakulu köetava pinna kohta 59,4 kWh/(m²·a), millest ringlussüsteemi soojuskaod olid 9,8 kWh/(m²·a). [37]

Aastatel 2019–2021 mõõdetud ringlussüsteemi soojuskaod on väljatoodud püstikute kaupa aasta lõikes tabelis 5.2. Aastal 2019 oli trepikoja nr 2 kahe püstiku peale kokku sooja vee ringluse soojuskadu 7,93 kWh/(m²·a), mis moodustab 14,9% aastasest sooja tarbevee valmistamise energiatarbest. 2020. aastal oli sooja tarbevee tsirkulatsiooni torustiku soojuskadu 7,57 kWh/(m²·a) ehk 15,7% kogu energiatarbest sooja vee valmistamiseks. Mõõdetud sooja tarbevee torustiku soojuskadu oli 2021. aastal 7,94 kWh/(m²·a), mis moodustas kogu energiatarbest sooja vee tootmiseks 16,7%.

5.4 Soojustagastussüsteemi töö analüüs

Lõputöö mõõtmiste käigus koguti andmeid hoone automaatikas visualiseeritavalt anduritelt, mis mõõtsid hallvee soojustagastussüsteemi temperatuure. Kanaliseeritavalt hallveelt soojustagastavale süsteemile on kokku paigaldatud viis andurit ühe seadme kohta.

Andurid on paigaldatud järgnevalt:

TE01 – hallvee kogumismahuti temperatuur

TE02 – tarbevee tagasivoolu temperatuur

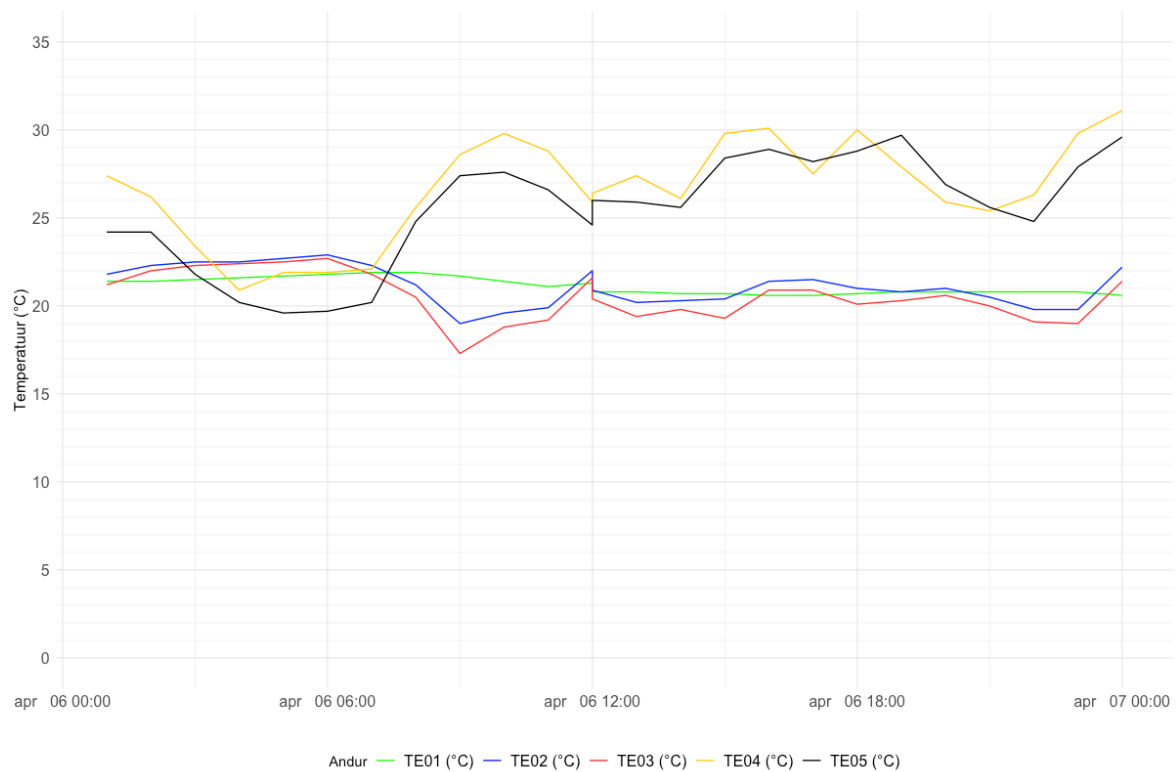
TE03 – külma tarbevee pealevoolu temperatuur

TE04 – kanalisatsiooni pealevoolu temperatuur

TE05 – kanalisatsiooni tagasivoolu temperatuur

Selleks, et saada hea ülevaade hallvee soojustagastussüsteemi tööst erinevate tarbimiste puhul, jälgiti minimaalse, keskmise ja maksimaalse vee tarbimisega päevi. Ilma soojuspumbata hallvee soojustagastussüsteemi andurite andmete salvestamises oli tõrkeid, seetõttu jälgiti ainult soojuspumbaga soojustagastussüsteemi andmeid.

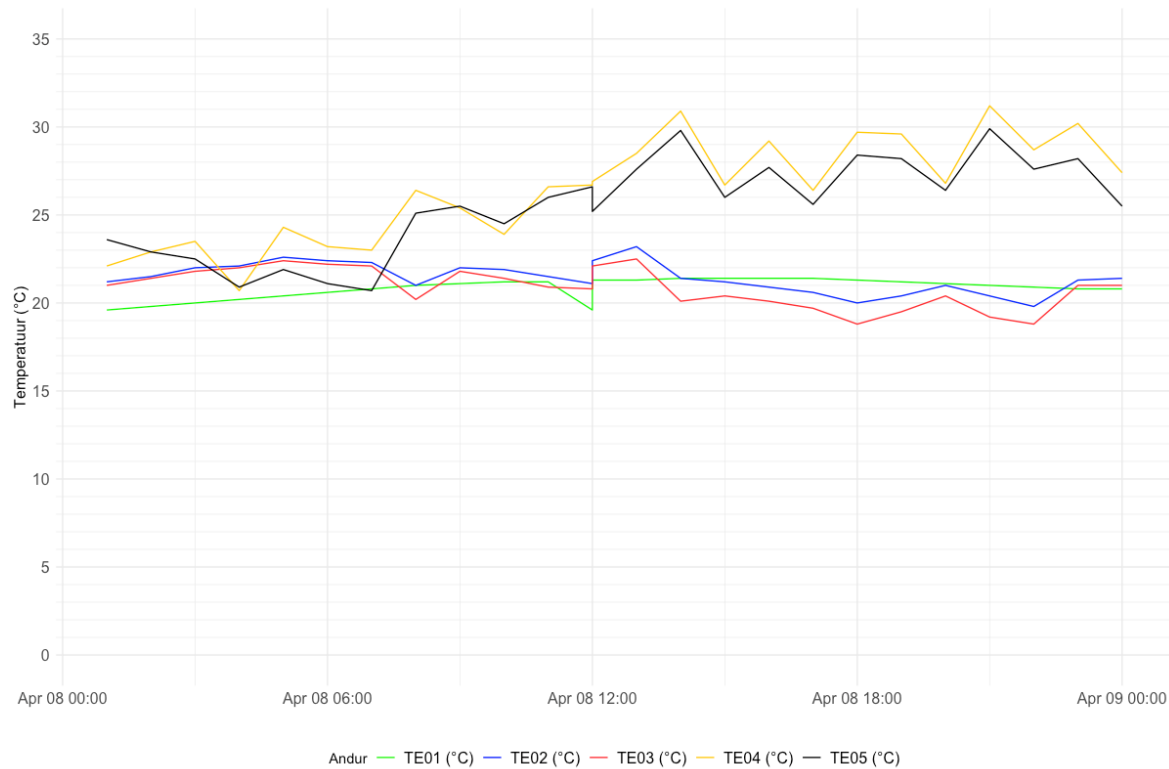
Minimaalse vee tarbimisega päeval 06.04.2020 (joonis 5.8), kasutati kokku trepikoja nr 2 püstik nr 1 korterites tarbevett 0,05 m³/inimese kohta. Soojustagasti temperatuuride tunnipõhised andmed on kujutatud joonisel 5.8.



TE01 – hallvee kogumismahuti temperatuur; TE02 – tarbevee tagasivoolu temperatuur; TE03 – külma tarbevee pealevoolu temperatuur; TE04 – kanalisatsiooni pealevoolu temperatuur; TE05 – kanalisatsiooni tagasivoolu temperatuur

Joonis 5.8 Minimaalse tarbimisega päeva hallvee soojustagasti temperatuuride andmed

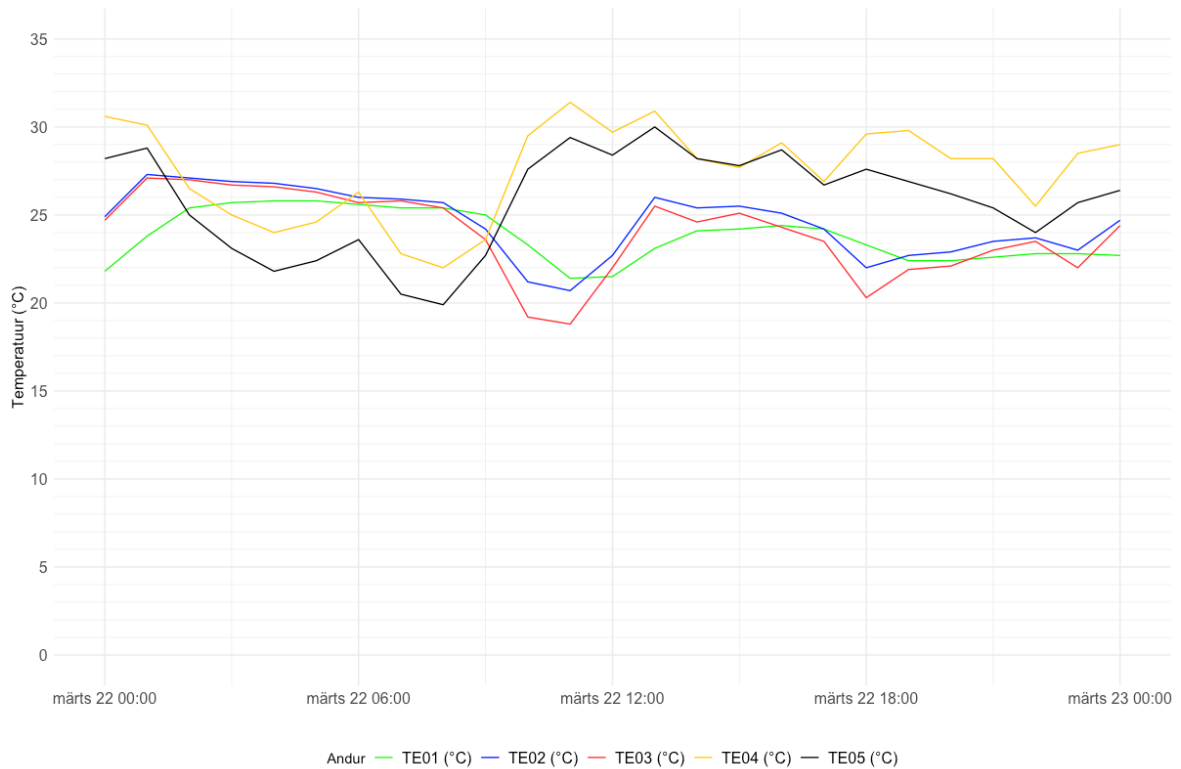
Hommikune vee tarbimine algas umbes kell 7. Tarbevee kasutamise tõusuga tuleb mahutisse soojem kanaliseeritav vesi. Suurema vee tarbimisega ei jõua hallvee soojusvaheti kogutavat soojusenergiat üle kanda külmale tarbeveele, mida juhitakse läbi mahuti. Seetõttu on mahuti külma tarbevee pealevoolu ja soojendatud vee tagasivoolu temperatuurid languses. Mahutisisene temperatuur oli kogu päeva jooksul ühtlane, keskmiselt 21 °C.



TE01 – hallvee kogumismahuti temperatuur; TE02 – tarbevee tagasivoolu temperatuur; TE03 – külma tarbevee pealevoolu temperatuur; TE04 – kanalisatsiooni pealevoolu temperatuur; TE05 – kanalisatsiooni tagasivoolu temperatuur

Joonis 5.9 Keskmise vee tarbimisega päeva hallvee soojustagastussüsteemi temperatuuride andmed

Keskmise külma ja sooja vee kasutamisega päeval 08.04.2020 (joonis 5.9) kulus tarbevett 0,12 m³/inimese kohta. Peamine hommikune tarbimine algas sarnaselt minimaalse tarbimisega päevale kella 7 ajal. Soojustagastusmahuti sisetemperatuur on pidevas tõusus. Kell 11 langes mahuti temperatuur hüppeliselt alla 20 °C, samal ajal on näha ka mahutist väljuva hallvee temperatuuri langust ja tarbevee temperatuuri tõusu. Soojustagasti hallvee peale- ja tagasivoolu temperatuurid on pärast lõunat pidevas kõikumises, mis võib olla tingitud ebaühtlasest tarbimisest.



TE01 – hallvee kogumismahuti temperatuur; TE02 – tarbevee tagasivoolu temperatuur; TE03 – külma tarbevee pealevoolu temperatuur; TE04 – kanalisatsiooni pealevoolu temperatuur; TE05 – kanalisatsiooni tagasivoolu temperatuur

Joonis 5.10 Maksimaalse vee tarbimisega päeva hallvee soojustagastussüsteemi temperatuuride andmed

Maksimaalse tarbimisega päeva 22.03.2020 soojustagastussüsteemi andurite temperatuurigraafik on nähtav joonisel 5.10. Alates kella 1:00 öösel mõõdeti mahuti temperatuuriks üle 25 °C. Suurema vee tarbimise algusega langes mahuti sisetemperatuur alla 22°C. Seoses mahuti temperatuuri langusega vähenes ka mahuti tarbevee tagasivoolu temperatuur. Alates hommikusest tarbimise algusest olid hallvee peale- ja tagasivoolu temperatuurid pidevalt üle 25°C ning temperatuuride tõusud ja langused olid ühtlasemad kuni kella 22ni õhtul.

Külma tarbevee pealevoolu temperatuur soojustagastussüsteemis on liialt kõrge, kuna hoone sisendis mõõdeti temperatuuriks 2020. aasta märtsis 2,7 °C ja aprillis 5,5 °C. Mahuti juures mõõdetud külma tarbevee temperatuuri anomaalia võis tekitada anduri vales kohas paiknemine. Kui mahuti tarbevee pealevoolu temperatuuriandur on paigaldatud liialt lähedale soojuse ülekandmispunktile ehk mahutile, võib soojus mööda toru edasi levida andurini.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli teostada analüüs hallvee soojustagastussüsteemile. Lisaks sooviti teada saada, kuidas antud seadme tööd mõjutas tavapärasest erinev tarbimine koroonapandeemia ajal. Uuritav süsteem asub Akadeemia tee 5a ühiselamu keldrikorruse tehnoruumis.

Esimese etapina alustati korteripõhiste kanaliseeritava vee temperatuuride mõõtmistega 2019. aasta kevadel. Mõõtmiste eesmärgiks oli saada ülevaade elanike tarbimisharjumustest ehk millised olid kanaliseeritava vee temperatuur ning ligikaudne tarbimise kestus. Korteri põhised mõõtmised teostati kolmes korteris kuuajase perioodi vältel. Ülejäänud töös kasutatavad andmed saadi hoone automaatikaga seotud andurite salvestatud andmetest.

Töös võrreldi mõõdetud andmeid energiatõhususe arvutamise meetodikas väljatoodud kortermaja andmetega. Aastal 2019 oli soojusenergia kulu sooja tarbevee valmistamiseks 17% väiksem kui energiatõhususe arvutamise meetodikas, aastal 2020 oli see 30% väiksem ja aastal 2021 oli see 20% väiksem. Energiamärgise arvutuses on arvestatud 50% väiksema soojusenergia kuluga sooja tarbevee tootmiseks. 2019. aastal oli soojusenergia kulu ühe liitri sooja tarbevee valmistamiseks 67% suurem kui energiämärgise arvutuses. Aastal 2020 oli sama näitaja 41% suurem kui energiämärgise arvutuses ning aastal 2021 oli see 62% suurem.

Tarbevee kasutuse mõõtmistest tulenevalt selgus, et ühiselamu tarbimine ei ole sarnane tüüpilise korterelamu omaga. Ühiselamu elanike tarbevee tarbimised on oluliselt suuremad kui korterelamu omad. Suurem tarbevee kulu võib olla tingitud lõunasest suurest tarbimisest.

Kogutud veetarbimise andmete analüüsist selgus, et 2020. aastal ehk koroonapandeemia alguses, tõusis hoone trepikoja nr 2 korterites sooja vee tarbimine inimese kohta 10% võrreldes varasema aastaga. Energiakulu sooja tarbevee valmistamiseks 2020. aastal tõusis 2% võrreldes 2019. aastaga. Aasta 2019 soojusenergia kogukulust sooja tarbevee valmistamiseks moodustas hallvee soojustagastiga taaskasutatud energia 13,9%, aasta hiljem oli see 12,7%. 2021. aastal taaskasutati hallvee soojustagastiga kogu sooja tarbevee tootmise energiakulust 8,9%.

Antud lõputöö autori hinnangul tuleks energiatõhususe arvutamise metoodikasse lisada sooja vee erikulu ühikutes $\text{m}^3/(\text{inimene}\cdot\text{a})$, sest sarnaselt ühiselamuga on enamikes majutusasutustes, büroohoonetes ja avalikes asustustes inimeste arv pidevalt muutuv. Kui arvestada sooja vee erikulu inimese kohta aastas, annaks see optimaalsema tulemuse energiatõhususarvu sooja vee komponendi arvutamiseks.

SUMMARY

The aim of the master thesis was to perform an analysis of the greywater heat recovery system. In addition, how the operation of this device was affected by the unusual water consumption during the *Corona* pandemic. The investigated greywater heat recovery system is in use at Akadeemia tee 5a dormitory.

The first step was to take measurements of an apartment-based sewerage water temperatures. Apartment-based greywater measurements were collected in the spring of 2019. The purpose of collecting the measurements was to get an overview of the consumption habits of the residents, especially drained water temperatures and approximate time of consumption. Apartment-based measurements were collected in three apartments during the one-month period. The rest of the data used in this thesis was collected using sensors that are connected to the building automation system.

In this thesis, measured data is compared with the data of an apartment building presented in the methodology for calculating energy efficiency. In 2019, the consumption of thermal energy for the production of domestic hot water was 17% lower than in the methodology for calculating energy efficiency ("*Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*"), in 2020 it was 30% lower and in 2021 it was 20% lower. Calculation of energy label for Akadeemia tee 5a takes into account the 50% lower heat energy consumption for the production of domestic hot water. In 2019, the consumption of thermal energy for producing one liter of hot water was 67% higher than in the calculation of energy label. In 2020, the same figure was 41% higher and in 2021 it was 62% higher than in the energy label.

The measurements of domestic water consumption showed that the consumption of water in a dormitory cannot be considered similar to the typical apartment building. The consumption of drinking water for one resident of a dormitory is significantly higher than that of an apartment building. Higher consumption may be due to a higher consumption of water during midday.

The analysis of the collected water consumption data revealed that in 2020 when Corona pandemic started in Estonia, the consumption of hot water per person in dormitory staircase nr 2 apartments increased by 10% compared to the previous year. Energy consumption for domestic hot water production in 2020 increased by 2% compared to 2019. In 2019 the greywater heat exchange system produced 13,9% of total energy

needed for the domestic hot water production. A year later it was 12,7% and in 2021, it was 8,9%. The decrease in the efficiency of the heat recovery might have been caused by higher temperatures of cold water during warmer period.

The specific consumption of hot water should be displayed as $\text{m}^3/(\text{person}\cdot\text{year})$ in "*Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika*" document, because in dormitories the population is constantly changing. Same problem is with different public buildings and office buildings. If the specific consumption of hot water for one person per year is taken into account, then it would give more optimal results for calculating the hot water component of the energy efficiency figures.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Eurostat, *Energia statistika ülevaade*, 2022 [Online]. Loetud aadressil: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview&oldid=557437#Final_energy_consumption Kasutatud: 15.05.2022
- [2] Eurostat, *Energia statistika ülevaade*, 2022 [Online]. Loetud aadressil: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview&oldid=557437#Final_energy_consumption Kasutatud: 15.05.2022
- [3] K. Sachris, *Hallvee soojustagastuse kohtseadmete tehnoloogiate ülevaade horisontaalpaigaldusega duši soojustagasti uuringuga*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2020
- [4] L. Špitsmeister, *Hallvee energiatõhusus kortermajades*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2021
- [5] *Akadeemia tee 5a ühiselamu rekonstrueerimine. Arhitektuur. Tööprojekt. Sirkel & Mall OÜ töö nr 41-15, 02-dets-2016.*
- [6] *Akadeemia tee 5a korterelamu rekonstrueerimine. Küte ja ventilatsioon. Tööprojekt. Kliimakonsult OÜ töö nr 15020360/1541-2, 06-dets-2016.*
- [7] *Akadeemia tee 5a ühiselamu rekonstrueerimine. Veevarustus ja kanalisatsioon. Tööprojekt. Sirkel & Mall OÜ töö nr 41-15, 24-nov-2016.*
- [8] *Akadeemia tee 5a ühiselamu rekonstrueerimine. Soojussõlme skeem KV-01. Hanken OÜ töö nr 102017, 15-aug-2017.*
- [9] E. Abel, H. Voll ja T. Tark, *Hoonete energiatarve ja sisekliima*, Tallinn: Presshouse, 2010
- [10] *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded*, Ettevõtlus- ja infotehnoloogiainister, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020011> Kasutatud: 15.05.2022
- [11] *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*, Majandus ja taristuminister, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012> Kasutatud: 15.05.2022
- [12] Kredex ja Tallinna Tehnikaülikool, *Liginullenergiahooned. Rida ja korterelamu juhend*, 2017. [Online]. Loetud aadressil: https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf Kasutatud: 15.05.2022

- [13] Eesti Standardikeskus, EVS 835:2022, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2022.
- [14] V. Suurkask, *Hoonete veevõrk ja kanalisatsioon*, Tallinn, TTÜ kirjastus, 2012
- [15] T.-A. Kõiv ja A. Toode, *Hoonete Soojaveevõrk*, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2010
- [16] T.-A. Kõiv ja A. Toode, *Heat energy and water consumption in apartment buildings*, Proc. Est. Acad. Sci. Eng., kd 7/3, lk 235–241, sept 2001.
- [17] T.-A. Kõiv, „*Heat energy consumption in heating and hot tap water systems in apartment buildings*“, Proc. Est. Acad. Sci. Eng., kd 4/3, lk 225–232, sept 1998.
- [18] A. Toode ja T.-A. Kõiv, „*Investigation of the domestic hot water consumption in apartment buildings*“, Proc. Est. Acad. Sci. Eng., kd 11/3, lk 207–214, 2005.
- [19] C. Seybold ja M. F. Brunk, *In-House waste water heat recovery*, Rehva Journal, pp. 18-21, December 2013.
- [20] Eesti Standardikeskus, EVS 846:2021, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.
- [21] D. Słyś ja S. Kordana, Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heatrecovery unit in residential housing, Energy and Buildings, 2014.
[Online]. Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813008062?via%3Dihub> Kasutatud: 15.05.2022
- [22] A. Bertrand, R. Aggoune ja F. Marechal, 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, nr 192, pp 110-125, 2017, [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261917301137>
Kasutatud: 15.05.2022
- [23] L. Pekar, *Chapter 1 Heat exchangers*, Advanced Analytic and Control Techniques for Thermal System with Heat Exchangers, pp 3-20, 2020, [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128194225000013>
Kasutatud: 15.05.2022
- [24] Zypho iZi soojusvahetite tehnilised spetsifikatsioonid, by Zypho. PCT054506.
[Online]. Loetud aadressil: https://www.zypho.pt/specs_izi30_izi40_16.pdf
Kasutatud: 15.05.2022
- [25] Wagner Solar, *Ecoshower duši äravool*. [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.wagner-solar.com/en/wwhrs/heat-recovery/shower-drain-ecoshower>
Kasutatud: 15.05.2022
- [26] Aloaqua, *Shower water heat recovery*, 2015, [Online]. Loetud aadressil:
<https://aloaqua.wordpress.com/2015/07/17/shower-water-heat-recovery/>
Kasutatud: 15.05.2022

- [27] L.T. Wong, K.W. Mui ja Y. Guan, Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong kong, *Energy and Buildings*, nr 59, pp 703-709, 2010, [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261909003225>
Kasutatud: 15.05.2022
- [28] Toru-torus soojusvaheti, [Online]. Loetud aadressil:
<https://i.ytimg.com/vi/MdDbxktvecg/maxresdefault.jpg - toru soojusvaheti>
Kasutatud: 15.05.2022
- [29] Aquacooling, *Plaatsoojusvaheti tööpõhimõte*, [Online]. Loetud aadressil:
(<https://aquacooling.co.uk/heat-exchangers/>) Kasutatud: 15.05.2022
- [30] Eesti Omanike Keskliit, Heitvee soojusvaheti esitlus, [Online]. Loetud aadressil:
https://www.omanikud.ee/static/files/008/heitvee_sv_esitlus-1.pdf) Kasutatud:
03.04.2021
- [31] Menerga, *Aquacond*, [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.menerga.com/products-solutions/aquacond/> Kasutatud: 15.05.2022
- [32] J. Spriet ja A. McnNabola, *Decentralized drain water heat recovery: A probabilistic method for prediction of wastewater and heating system interaction*, *Energy & Buildings*, nr 183, pp. 684-696, 2019 [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881832200X>
Kasutatud: 15.05.2022.
- [33] A. McNabola ja K. Shields, *Efficient drain water heat recovery in horizontal domestic shower drains*, *Energy and Buildings*, nr 59, pp.44-49, 2014 [Online].
Loetud aadressil:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778812006755>
Kasutatud: 15.05.2022
- [34] I. Raide, *Akadeemia tee 5a hoone energiatõhususarvu arvutus ja energiamärgise väljastamine*, Tallinn: Nordic Energy Solutions OÜ, 2016.
- [35] Polarsol, Hallvee soojustagastussüsteemi tehniline andmeleht
- [36] Onset, *HOBO UX120-006M Data logger*, 2022, [Online]. Loetud aadressil:
<https://www.onsetcomp.com/datasheet/UX120-006M> Kasutatud: 15.05.2022
- [37] G. Luunja, *Sooja tarbevee ringlussüsteemi soojuskadude mõju kortermaja energiatarbele*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2018.

LISAD

LISA 1 Külma ja sooja vee tarbimised

Lisa 1 Trepikoja nr 2 korterite (krt. 41-80) külma ja sooja tarbevee tarbimised

Kuu	2019			2020			2021		
	Külm vesi (m ³ /inimene)	Soe vesi (m ³ /inimene)	KOKKU (m ³ /inimene)	Külm vesi (m ³ /inimene)	Soe vesi (m ³ /inimene)	KOKKU (m ³ /inimene)	Külm vesi (m ³ /inimene)	Soe vesi (m ³ /inimene)	KOKKU (m ³ /inimene)
Jaanuar	1,38	1,68	3,06	1,61	1,77	3,38	1,63	1,75	3,39
Veebruar	1,30	1,55	2,85	1,56	1,71	3,26	1,44	1,57	3,01
Märts	1,45	1,68	3,13	1,90	2,08	3,98	1,63	1,73	3,37
Aprill	1,44	1,60	3,04	1,90	1,90	3,80	1,86	1,90	3,76
Mai	1,60	1,52	3,13	2,07	1,83	3,90	1,82	1,63	3,44
Juuni	1,55	1,12	2,67	2,00	1,34	3,34	1,91	1,14	3,05
Juuli	1,67	1,11	2,78	2,03	1,30	3,33	1,71	0,79	2,49
August	1,77	1,25	3,02	2,02	1,33	3,35	1,80	1,21	3,02
September	1,83	1,46	3,29	1,87	1,45	3,33	1,83	1,48	3,31
Oktoober	1,69	1,60	3,28	1,72	1,49	3,20	1,90	1,67	3,57
November	1,55	1,63	3,17	1,75	1,69	3,44	1,81	1,68	3,48
Detsember	1,43	1,60	3,03	1,58	1,69	3,27	1,63	1,64	3,27
KOKKU	18,66	17,80	36,46	22,01	19,58	41,59	20,96	18,20	39,16

LISA 2 Polarsol soojustagastussüsteemi tooteleht



Wastewater heat recovery system



Wastewater heat recovery is a closed system. Polarsol heat exchangers are installed into heat recovery unit. In the heat exchangers, there is circulating a cooling agent/ heat exchange liquid. Dirty water is separated from the heat exchangers by the grid so that the heat exchangers would stay clean and would not lose their efficiency. Polarsol wastewater heat recovery unit can be installed with any existing sewage system, without significant changes. Heat recovery unit also has an automatic self-cleaning system.

Polarsol recuperator maintains its efficiency in environments with different grade of pollution:

- Domestic wastewater
- Industrial waste
- Wastewater containing small and large mechanical impurities
- Wastewater containing aggressive media

Main applications for wastewater recuperator:

- SPA-s, pools and hotels
 - Apartment buildings
 - Industrial cleaning
 - Technological processes (which use hot water)
- Etc.



Work principle

Hot wastewater enters the heat recovery unit. Heat is transferred to heat exchange liquid and given back to the heating system. After heat is taken out, cooled/ cold wastewater enters the sewage. Up to 80% of the wastewater's heat is recovered and given back to the heating system. Heat recovery system can be built as active (with heat pump) or passive.

The passive system can be used for water pre-heating. Active systems are used for full-scale water heating.

Main components

Heat recovery unit with Polarsol heat exchangers, heat exchanger liquid and self-cleaning system
 Circulation pumps
 Control panel (systems hart with pipes, valves, controller etc.)
 Hot, cold water boilers/ accumulators
 Heat pump (active system)

Technical data of the heat recovery unit

Measurements	800 x 600 x 1200 mm
Net weight	85 kg
Gross weight	645 kg
Water volume	560 l
Sewage connection	100 mm, flanged
Case material	Polypropylene
Lifetime	50 years
Maintenance interval	5 years

Technical data of the heat exchange system

System power	150 kWh
Heat exchange area	10 m ²
Heat exchanger type	Polarsol U100x50 24-3
Number of heat exchangers per unit	10 piece
Heat exchanger material	Stainless steel AISI321
Connecting the main pipe	2" (50 mm)
Work temperature	-20°C ... +100°C
Volume of fluid in the heat exchangers	10 l
Operating pressure	3 bar
Peak pressure	4 bar
Type of coolant	<ul style="list-style-type: none"> • Ethanol • Propylene glycol • Ethylene glycol • water

Self-cleaning system

Main drive mechanism
Operating pressure

Pneumatic
 6 bar

Automatic valves

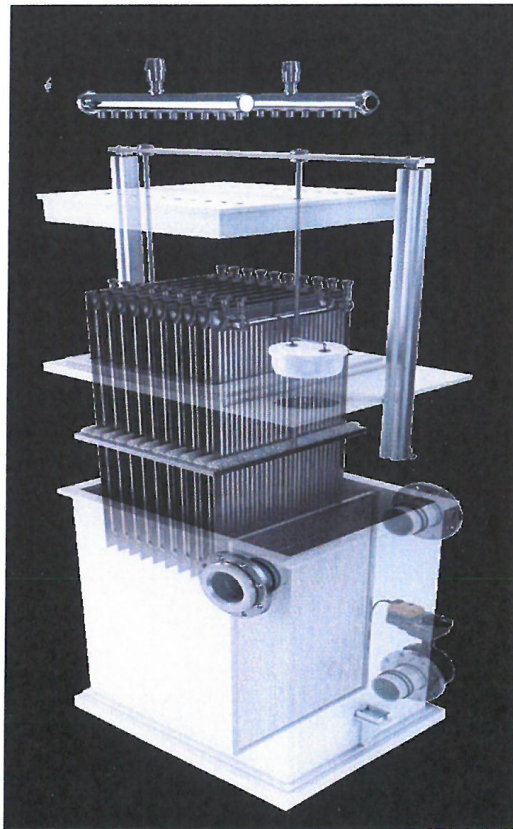
Type of shut-off valves
Main drive mechanism
Supply voltage
Power consumption

Butterfly valve Belimo PN10
 Electric Belimo GR230A
 110 – 240 V ~50 – 60Hz
 • 2W – stand-by
 • 4W – during rotation

Class of protection
Protection rating of electronic equipment
Work temperature (flap)

II (fully insulated)
 IP 54 (in any position)
 -20°C ... +100°C

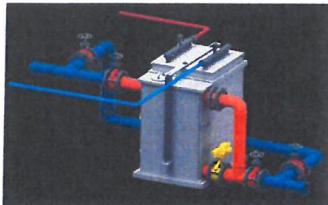
Picture



Key points:

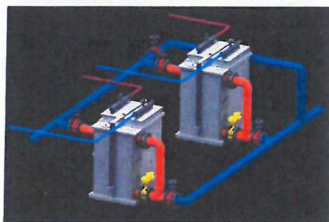
Effective	Robust	Profitable
<p>Polarsol heat exchangers have a small internal volume and large effective surface area. Regarding these points, heat exchanger has high efficiency and low inertia. Self-cleaning system eliminates the possibility of power loss.</p>	<p>Heat exchanger has a robust structure with all active components made of stainless steel. Developed to work in harsh operating conditions. Maintenance and repair of the heat exchangers can be conducted without demounting the system.</p>	<p>No need to reconstruct existing sewage system. Service and maintenance do not require expensive, specially trained crew. Special construction gives the system a long lifetime and long periods between maintenance.</p>

Different connection possibilities



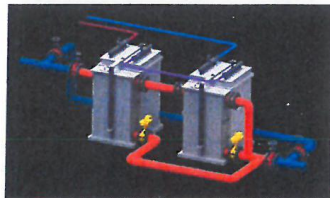
Single connection

Single connection is suitable for most of the systems. With a peak flow up to 10 m³/h and average discharge temperature below 50 °C - Heat exchange power capacity would be 130 kWh.



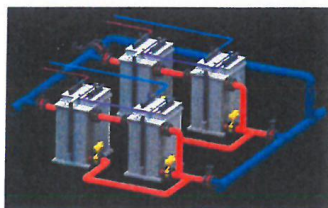
Parallel connection

Parallel connection is suitable for sewer heat recovery with high peak discharges and medium temperatures up to 50 °C. In parallel it is possible to use one recuperator as active and another one as reserve or both as active ones.



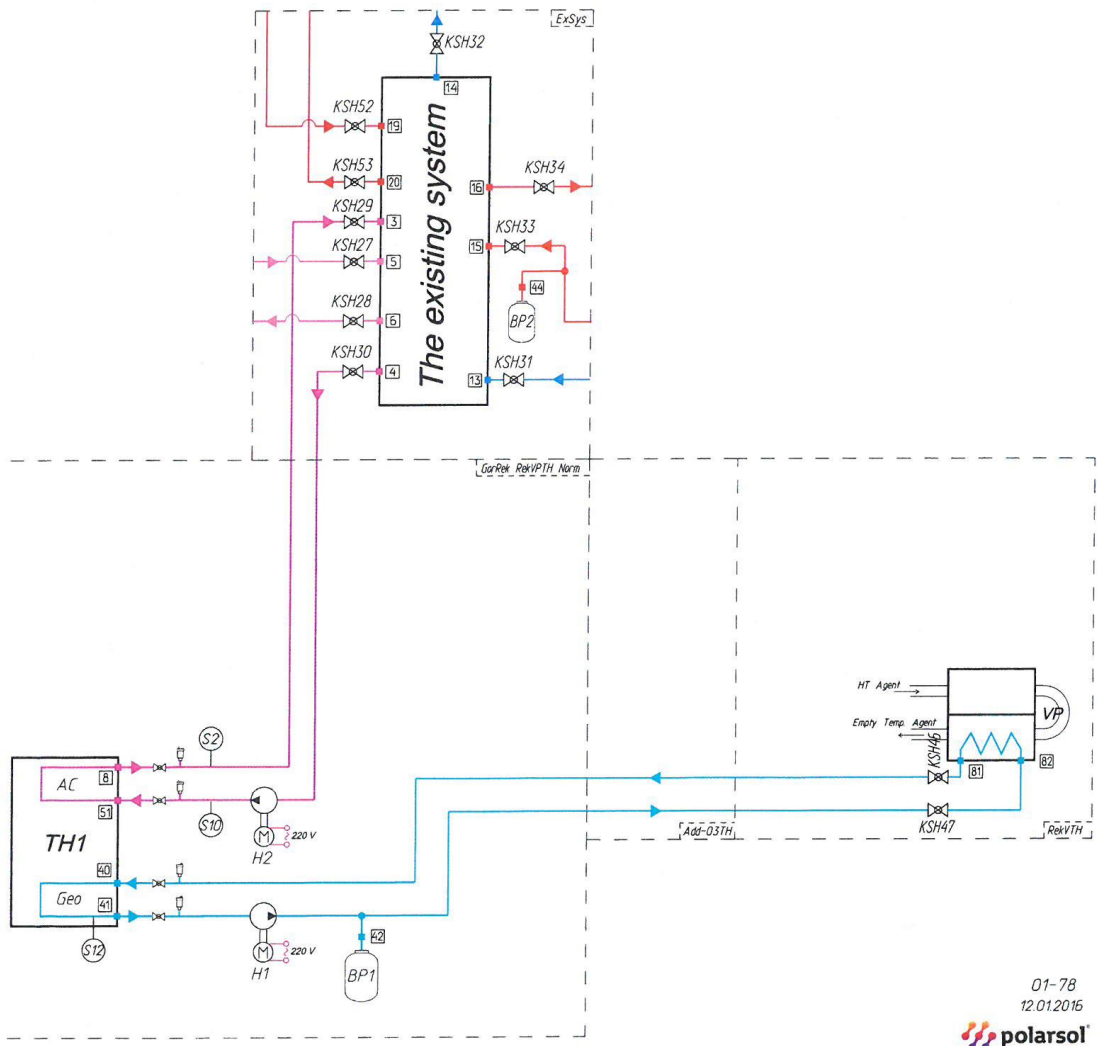
Serial connection

Serial connection is suitable for hot discharge with a temperature above 50 °C. In one cascade, it is possible to connect up to 6 recuperators in a row, which would result in a capacity of 1MW.



Matrix connection

Combined connection solves problems even for the most demanding recuperation processes. It can be used in the largest SPA hotels, water parks, industrial facilities, special technical processes.



01-78
12.01.2015



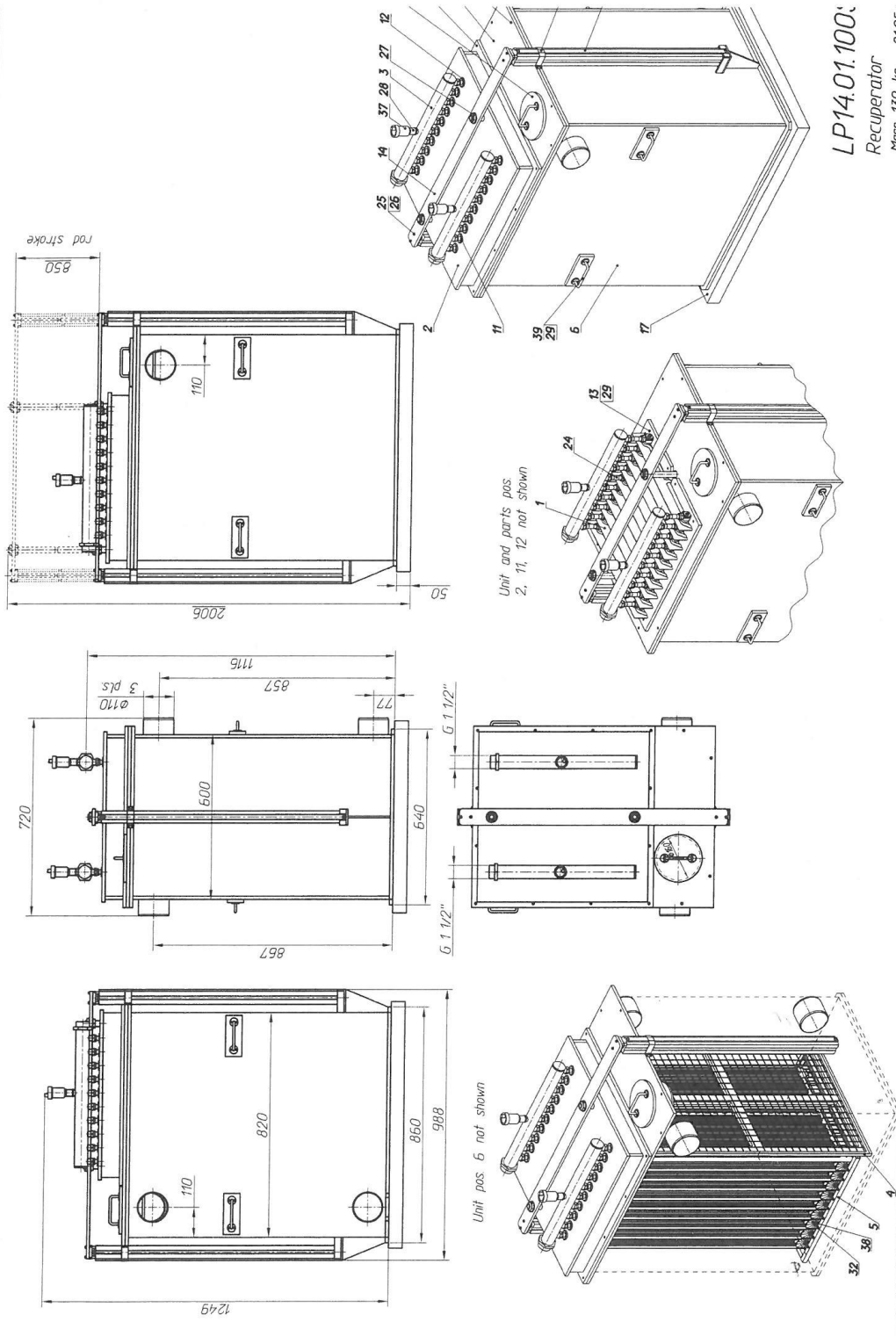


Схема работы рекуператора тепла сточных вод Polarsol

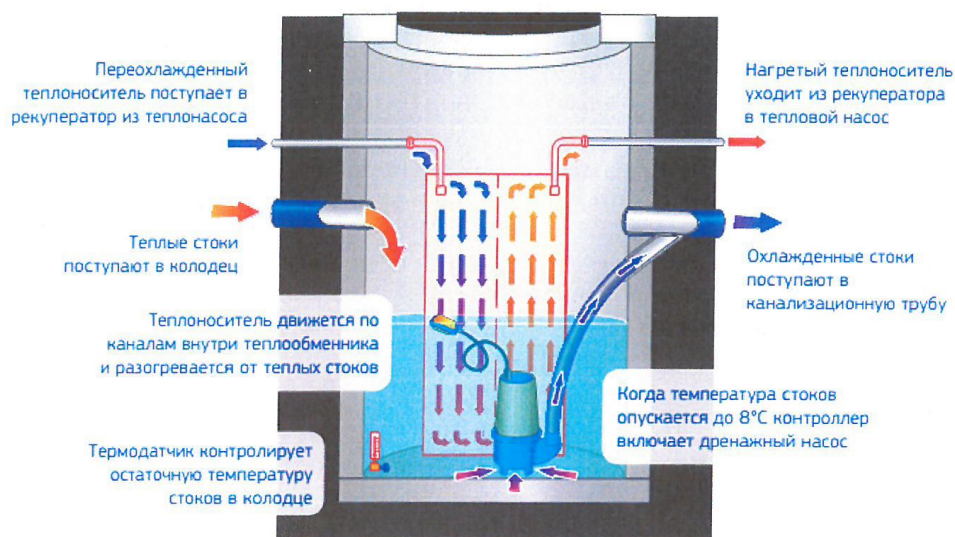
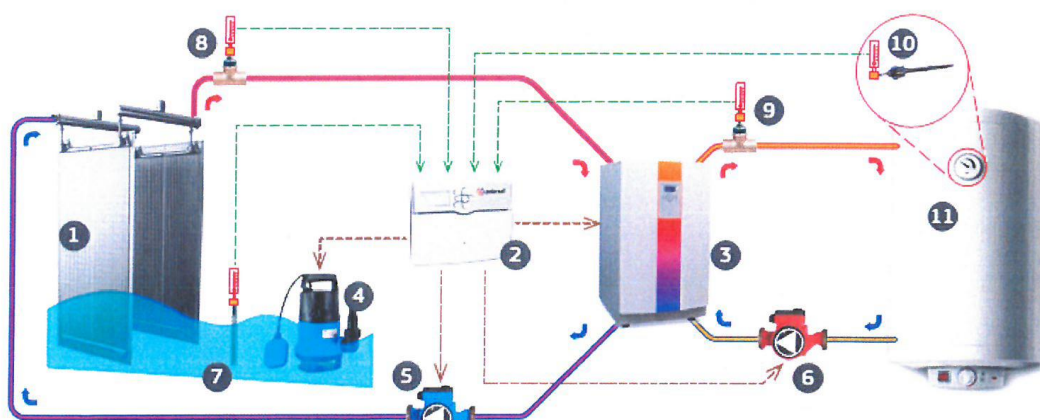


Схема подключения рекуператоров тепла сточных вод Polarsol



Рецепт вашей рекуперации:

- | | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Рекуператор Polarsol | 5. Циркуляционный насос | 8. Датчик температуры контура |
| 2. Контроллер Polarsol V8 | 6. Циркуляционный насос | 9. Датчик температуры теплонасоса |
| 3. Тепловой насос | 7. Датчик температуры резервуара | 10. Датчик температуры бойлера |
| 4. Дренажный насос | | 11. Существующий бойлер |