



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

REO- JA HALLVEE SOOJUSVAHETUSE ANALÜÜS KOHT- JA KESKSEADMETE NÄITEL

SEWAGE AND GREYWATER HEAT RECOVERY ANALYSIS ON THE EXAMPLE
OF LOCAL AND CENTRAL UNITS

MAGISTRITÖÖ

EA70LT

Üliõpilane: MARTIN KIIL

Üliõpilaskood: 172307EAXM

Juhendaja: KARIN PACHEL

Tallinn 2017

(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.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilase kood	172307EAXM
Hoonete energiatõhususe õppesuuna üliõpilasele	MARTIN KIIL
Lõputöö kood	EA70LT
Lõputöö juhendaja	KARIN PACHEL
Lõputöö teema	

REO- JA HALLVEE SOOJUSVAHETUSE ANALÜÜS KOHT- JA KESKSEADMETE NÄITEL

SEWAGE AND GREYWATER HEAT RECOVERY ANALYSIS ON THE EXAMPLE
OF LOCAL AND CENTRAL UNITS

Lõputöö teema välja antud:	31.01.2017
Lõputöö teema kehtivusaeg:	31.01.2018

Lähteandmed:

- Teaduspublikatsioonid
- Lokaalsete ja -keskseadmete tooteinfo
- Konkreetse keskseadme mõõtmisandmed

Lõputöö sisu:

Seletuskiri:

Ülesanne

Eestis pälvib järjest enam tähelepanu hoonete energiatõhusus, sealhulgas mängib ühasuuremat rolli hoone liginullenergia nõuetele vastavus. Ehitusprojektide lahenduste toimimine ja kaasajastamine oleneb järjest rohkem hoonete eriosade, sh kütte- ja ventilatsiooni-, veetehnika- ja elektriinseneride ning energiatõhususe spetsialistide kaasamisest projekteerimis-, ehitus- ning süsteemide seadistamise ja haldamise protsessi. Töö eesmärgiks on uurida reo- ja hallvee soojusvahetuse lahendusi ja võimalusi nende energiatõhususe arvutusse kaasamiseks. Võrrelda tuleb nii lokaalseid kui keskseadmeid. Analüüsimisel arvestatakse teemakohaseid normdokumente ja standardeid. Kogutud andmete ja arvutuste abil on võimalik võrrelda soojusvahetuse võimaluste tulemusi ning koostada autoripoolne arvamus.

Kokkuvõte eesti keeles

Magistritöös analüüsitakse reo- ja hallvee soojusvahetuse lahendusi. Võrdluses tuuakse välja lokaalsete ja tsentraalsete keskseadmete võimalused. Lisaks hinnatakse võimalikku projektilahendust saavutamaks energiatõhususe liginullenergia klassi nõudeid. Autor toob oma igapäevatööst välja rea näited, kuidas veetehnika ja liginullenergia hooned täna ja tulevikus omavahel järjest rohkem seotud on. Seejuures on kanalisatsiooniga seotud soojusvahetussüsteemide kogemus Eestis antud valdkonnas alles varajases staadiumis.

Resümee inglise keeles

Waste- and greywater heat exchangers are analysed in the master's thesis. Local and central units are compared and pointed out. In addition, a possible design is evaluated to achieve energy efficient buildings requirements. Author highlights a number of examples from everyday work, how water management and plumbing are combined with near zero energy buildings more and more in the near future. Experience in this field in Estonia is at an early stage.

Graafiline materjal:

-

Lõputöö konsultandid:

Töö osa nimetus	Konsultandi nimi	Konsultandi allkiri	Kuupäev
-	-	-	-

Lõputöö väljaandmise kuupäev:

.....

Lõputöö juhendaja:

Karin Pachel

.....

Ülesande vastu võtnud üliõpilane:

Martin Kiil

.....

Eessõna

Eestis pälvib järjest enam tähelepanu hoonete energiatõhusus, sealhulgas mängib järjest suuremat rolli hoone liginullenergia nõuetele vastavus. Eestis ehitusseadustiku alusel kehtestatud energiatõhususe määrustes ei kajastata veetehnikat, v.a tarbevee soojendamise energiakulu. Magistritöö käigus uuriti erinevaid lokaalseid ja tsentraalseid reo- ning hallvee soojuvahetuse võimalusi vähendamaks energiakulu tarbevee soojendamisele. Autor tänab juhendajat Karin Pachelit antud magistritöö valmimisele kaasa aitamise eest.

Sisukord

Sissejuhatus.....	1
Ülevaade kirjandusest	2
Magistritöö ülesande püstitus	3
1 Vee ja kanalisatsiooni ning energiatõhususe teooria	4
1.1 Veevarustus	4
1.2 Kanalisatsioon	6
1.2.1 Sademe- ja drenaazivesi.....	8
1.3 Levinud veetarbijad hoonetes.....	9
1.4 Vee- ja reoveepuhastus.....	10
1.4.1 Joogivee kvaliteet.....	10
1.4.2 Reovee puhastamine	10
1.5 Vee korduvkasutamine	11
1.6 Vee soojendamine	13
1.6.1 Vee soojendamine soojuspumpade abil	14
1.6.2 Vee soojendamine päikesekiirguse abil	19
1.6.3 Kanalisatsiooni soojuse kasutamine	20
1.7 Energiatõhusus ja energiamärgis.....	23
1.7.1 Rohemärgis	26
2 Uuritavad reoveesoojusvahetid	28
2.1 Kohtsoojusvahetid	29
2.1.1 Kohalik kohtsoojusvaheti pakkuja näide	30
2.2 Tsentraalsed soojusvahetid.....	31
2.2.1 Kohalik kesksoojusvaheti pakkuja näide	32
2.3 Soojuspumplahendused	34
2.3.1 Kohalik soojuspumbaga keskseadme pakkuja näide	37
2.4 Huvigrupid ja seotud osapooled.....	38
3 Analüüs	39
3.1 Vooluhulk ja temperatuur.....	39
3.2 Kohtsoojusvaheti	42
3.3 Kesksoojusvaheti.....	42
3.4 Hoonete energiatõhususe arvutused	43
4 Järeldused.....	46
4.1 Energiatõhususe järeldused	47
4.2 Ettepanekud töö edasiarendamiseks.....	49
Kokkuvõte.....	50
Summary	51
Kasutatud kirjandus	52

Sissejuhatus

Tänapäeval kuulub vesi ja kanalisatsioon pea iga hoone tehnosüsteemide koosseisu. Vajame ja tarbime vett igapäevaselt hügieeni, toiduvalmistamise või tootmise tarbeks. Veetöötlusjaamadest suunatakse joogivee nõuetele vastav vesi linna veevõrku ja seeläbi kinnistutel asuvatesse hoonetesse. Tarbitud vesi juhitakse läbi kanalisatsiooni majadest tagasi ühiskanalisatsioonivõrku, kust see omakorda reoveepuhastusjaama kokku kogutakse. Linnavõrgust jõuab hoonesse külm ja kvaliteetne vesi, hoonest väljub sooja tarbeveega segunenud reo- või hallvesi. Kas ja kui palju oleks võimalik kanalisatsioonisüsteemide soojust enne hoonest väljumist ära kasutada, on antud magistritöö üks peamine uurimisküsimus.

Viimasel kümnendil on Eestis aktiivselt tegeletud hoonete energiatõhususega ja järgmise aastakümne alguseks peavad kõik uued ehitised vastama liginullenergia nõuetele. Kõrgeima energiatõhususe klassi saavutamine hoone ehitusprojekti oleneb esmalt arhitektist, kes määrab hoone kuju, suuna ja lahendab fassaadid. Teiseks sõltub energiatõhusa hoone lahendus tehnosüsteemidest. Veetehnika seisukohast on määramaks teguriks vee soojendamisele kuluv energiahulk. Kuidas ja kui suures mahus on võimalik reo- ja hallveesoojusvahetitega hoonete energiatõhusust parendada, on antud töö teine uurimisküsimus.

Töö jaguneb neljaks peatükiks. Esimeses teeb autor lühiülevaate veetehnika teoreetilistest alustest ja komponentidest ning Eestis kehtivatest normidest ja nõuetest. Lisaks selgitatakse vee soojendamise põhimõtteid ja võimalusi ning tutvustatakse Eestis kehtivaid energiatõhususe määraseid. Teine peatükk kirjeldab uuritavaid lokaal- ja keskseadmeline põhinevaid soojusvahetite tüüpe ja nende analüüs on esitatud kolmandas peatükis. Viimases peatükis toob autor välja endapoolsed järeldused ja seisukohad, millele järgneb magistritöö kokkuvõte.

Ülevaade kirjandusest

Töö teoreetilised alused põhinevad kättesaadavatel teatmikel ning teemakohastel uuringutel või teadusartiklidel (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16). Valdkonnaalast kirjandust leiab lisaks välismaistele väljaannetele piisavalt ka eesti keeles. Samuti on kasutatud veetehnikat puudutavaid Eesti Vabariigi normdokumente (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41). Kuigi ei tasu siinkohal unustada tõsiasja, et suur osa materjalidest on üle võetud meie endi naabritelt või välja töötatud juba varem teiste riikide poolt. Käesoleva magistr töö teooriat, analüüsi ja tulemusi kõrvutatakse ka võõrkeelsete kattuvate teemavaldkondade uuringute ning artiklitega. Lisaks kasutab autor magistr töös uuritavate toodete tehnilist informatsiooni, mõõtmisandmeid ja projektlahendusi (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67). Veetehnikaga seotud soojusvahetuse võimalusi ja süsteeme on Tallinna Tehnikaülikooli lõputöodes uuritud ka varem, kuid nende sidumisele energiatõhususe nõutega tähelepanu pööratud ei ole.

Magistritöö ülesande püstitus

Eestis pälvib järjest enam tähelepanu hoonete energiatõhusus, sealhulgas mängib järjest suuremat rolli hoone liginullenergia nõuetele vastavus. Ehitusprojektide lahenduste toimimine ja kaasajastamine oleneb järjest rohkem hoonete eriosade, sh kütte- ja ventilatsiooni-, veetehnika- ja elektriinseneride ning energiatõhususe spetsialistide kaasamisest projekteerimis-, ehitus- ning süsteemide seadistamise ja haldamise protsessi. Töö eesmärgiks on uurida reo- ja hallvee soojusvahetuse lahendusi ja võimalusi nende energiatõhususe arvutusse kaasamiseks. Võrrelda tuleb nii lokaalseid kui keskseadmeid. Analüüsimisel arvestatakse teemakohaseid normdokumente ning standardeid. Kogutud andmete ja arvutuste abil on võimalik võrrelda soojusvahetuse võimaluste tulemusi ning koostada autoripoolne arvamus.

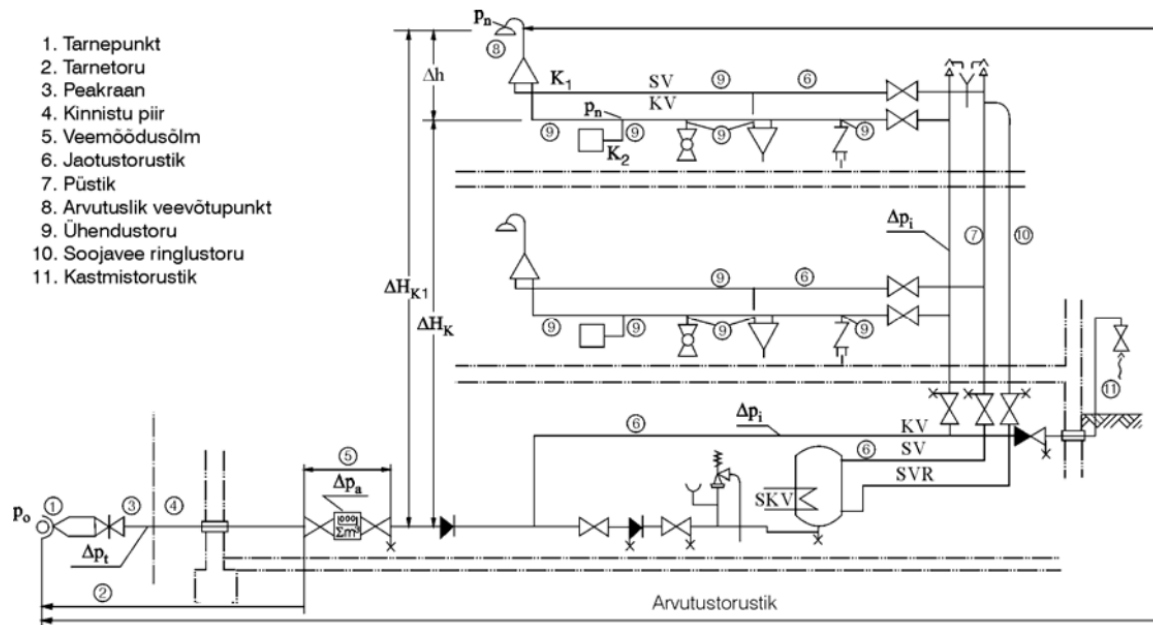
1 Vee ja kanalisatsiooni ning energiatõhususe teooria

Esimeses peatükis annab autor lühiülevaate magistritöö koostamisel kasutatud teoreetilistest alustest ja lähteandmetest. Välja tuuakse nii veevarustuse kui kanalisatsiooni põhitõed kui ka soojusvarustust, peamiselt sooja tarbevee tootmist, puudutavad punktid. Lisaks vaadeldakse vee töötlemise ja korduvkasutamise aspekte. Lõpetuseks tuuakse välja veetehnika seosed Eestis kehtivate energiatõhususe määrustega.

1.1 Veevarustus

Eestis on kehtestatud veekogude ja põhjavee puhtuse ning veekogudes ökoloogilise tasakaalu tagamiseks veeseadus, mille rakendusaktidega kehtestakse nõuded joogivee kvaliteedile (35) (36). Lisaks määrab veeseadus kindlaks sanitaarkaitsealad ja seal kehtivad kitsendused (26), määrab joogivee mõiste ja joogivee käitleja (33). Veeallikateks Eestis on peamiselt pinnaveekogud (Tallinnas Ülemiste järv, Narvas Narva jõgi) või põhjavesi, merevett kastuatakse vähesel määral (14). Veevärgi võib jagada kaheks – veeallikast kuni liitumispunktini on tegemist välisveevärgiga ja liitumispunktist edasi kinnistusesise veevärgiga. Loodusest tulev toorvesi käideldakse veepuhastusjaamas, et see vastaks joogivee kvaliteedinõuetele. Veepuhastusjaamast suunatakse vesi tarbeveevõrku ja sealt edasi kinnistutel asuvatele tarbijatele. Kinnistu piiril asub reeglina liitumispunkt, näiteks maakraan, kust edasi juhitakse vesi hoone veemõõdusõlme ja veevärki (4). Kinnistute varustamist veega reguleerib ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus (34). Hajaasustuse puhul kasutatakse lokaalseid puurkaevusid ja erandkorras tuuakse vajadusel vesi kohale mahutites või kanistrites. (14)

Hoone veevärgi all mõistetakse ehitise tehnosüsteeme, mille abil varustatakse erinevaid tarbijaid veega (Joonis 1). Tarbijad jagunevad peamiselt olmetarbijateks (inimesed) või tootmises kasutajateks. Eraldi vaadeldakse ehitise tuletõrjevvevärki, kuid seda antud magistritöö ei puuduta. Hoonest väljas kasutatakse pigem plastmaterjalidest torustikke. Majade sees kasutatakse veetorudena vasktorusid, tsingitud terastorusid, roostevabast terasest torusid ja plasttorusid. Veevõrguarmatuurina kasutatakse erinevate klappide või ventiilide puhul erinevaid metallmaterjale, et tagada nende töökindlus ja pikaajalisus. Veevõtuarmatuurid, näiteks kraadin ja segistid, on samuti levinud metallmaterjalidest. (14)



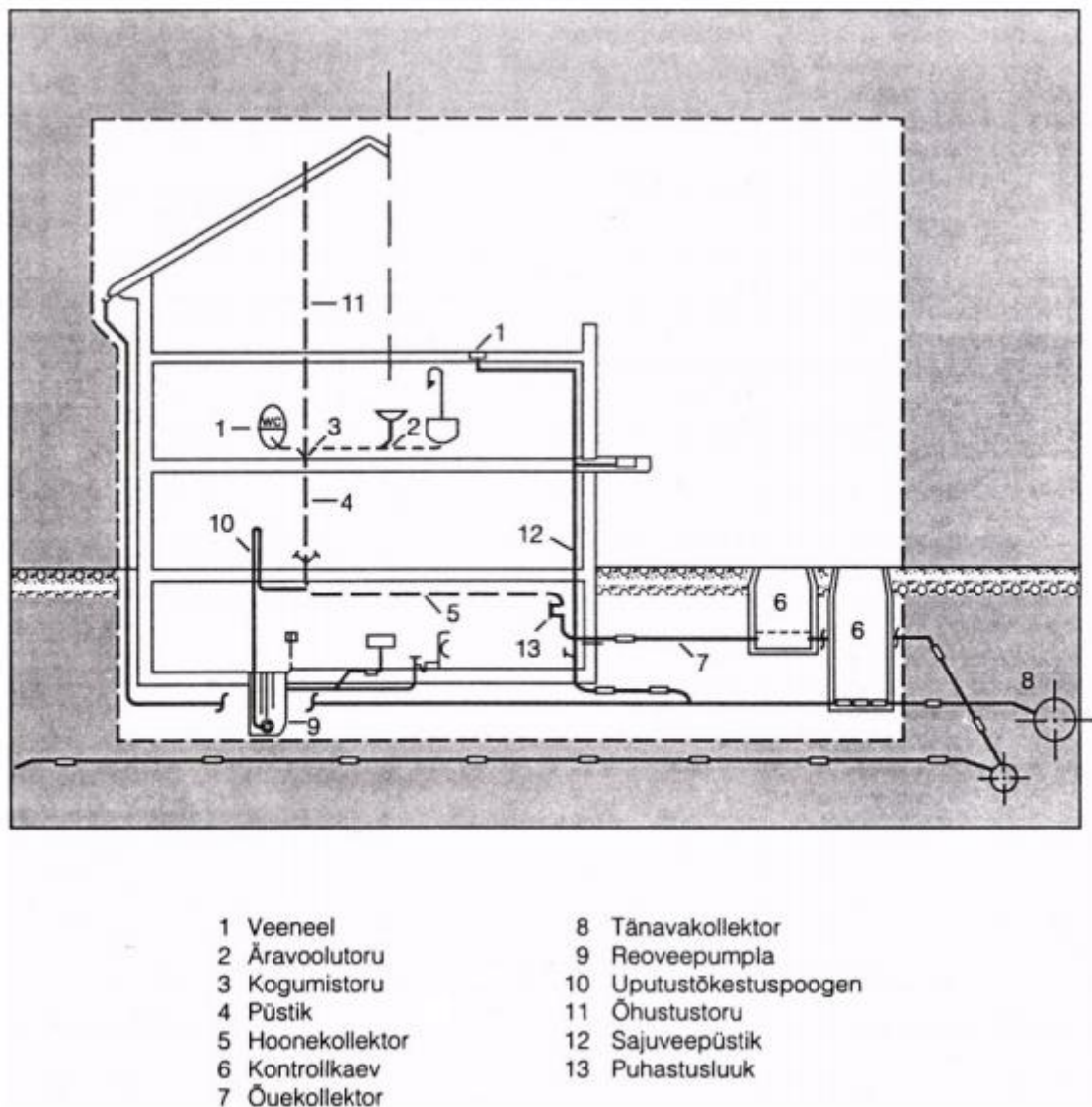
Joonis 1 Kinnistu veevärgi skeem (19)

Enne hoone veevärgis vee laiali jaotamist paigaldatakse hoone veemöödusõlme ruumi veemöödusõlm. See koosneb reeglina peaveemöödusõlmest ja edasine jaotus oleneb hoone tüübist või hoone suurusest ning veevärgi keerukusest. Veemöödusõlm komplekteeritakse vastavalt kohaliku vee-ettevõtte reeglitele ning nõuetele. Ruumi põrandasse tuleb ette näha avariitrapp, valamu vajaduse täpsustab vee-ettevõtja või tellija (31). Pärast veemöödtjat läbib vesi filtrid, vastavalt projektlahendusele või lähteülesandele, kuidas täpsemalt on tarvis võrguvett töödelda. Edasi jaguneb olmevesi hoone külma- ja soojaveevõrguks. Vajadusel ehitatakse välja ka sooja tarbevee ringlustorustik. Veemöötmise erandjuht võib olla näiteks kinnistul asuva tuletõrjeveemahuti, mis katab välist tulekustusvee hulka või selle puudujääki, täitmine linnavõrgust vee-ettevõtjaga kokkuleppel (55). Vajadusel on võimalik eraldi mõõta ka kastmisvett. Selle eesmärk on arvata kastmisvee kulu maha kanalisatsiooni koormusest. Tagasiarvelduse kohta tuleb esitada avaldus ja veemöödusõlmes ehitada kastmisveemöödusõlm vastavalt vee-ettevõtte nõuetele (37) (20) (21). Sõltuvalt hoone otstarbest, tänavatorustiku rõhust ja hoone korruste arvust esineb mitmeid erinevaid hoonesisese veevõrgu lahendusi. Kas ainult võrgutoide, koos varumahutiga või koos varumahuti ja pumbaga. Kõrgematel hoonetel kasutatakse tsoneeritud kaskaad ühendust või tsoneeritud paralleelühendust. (14)

1.2 Kanalisatsioon

Piisava elanike arvu või majandustegevusega ala reovee ühiskanaliseerimise kaudu reoveepuhastisse kogumiseks või heitvee suublasse juhtimiseks nimetatakse veeseaduse raames reoveekogumisalaks, mille reostuskoormus teisendatakse inimekvivalentidesse (33). Reoveekogumisalala määramise üldised kriteeriumid kirjeldatakse vastavas Vabariigi Valitsuse määruses (41). Reovee puhastamise ja heit- ning sademevee suublasse juhtimise nõuded ja piirmäärad on Vabariigi Valitsus kehtestanud määrusega (40). Kinnistute reovee, sademevee, drenaaživee ning muu pinnase- ja pinnavee ärajuhtimine ja puhastamine on sätestatud ühisveevärgi ja kanalisatsiooniseaduses ning veekaitse nõuded on kehtestatud vastavas seaduses ja Vabariigi Valitsuse määruses (34) (39). (11)

Hoone kanalisatsiooni all mõistetakse ehitise tehnosüsteeme, mille abil juhitakse kasutatud vesi kanalisatsioonitorustikuga ära (Joonis 2). Tarbijate kaupa jagunevad süsteemid peamiselt olme- ja tootmisreoveeks. Kanalisatsioonis eristatakse veel sademeveekanalisatsiooni. Levinud torude materjalid on plast, betoon, malm, keraamiline või asbesttsement. Viimaseid enam nende tervisele ohtikkuse tõttu ei ole lubatud kasutada. Hoone sees kasutatakse järjest rohkem terastorusid ja vähem malmtorustikke, üksikute juhtudel terast. Reovesi kogutakse ehitistest kokku ja juhitakse hoonest välja kinnistul asuvasse kogumiskaevudesse. Kinnistu serval asub tavaliselt liitumiskaev, kust edasi suunatakse kanalisatsioonivesi ühiskanaliseerimisvõrku. Edasi liigub reovesi reoveepuhastusjaama ümbertöötlemisele, et seda saaks juhtida tagasi loodusesse. Väiksemates asulates on kasutusel kompaktpuhastid, üksikute majapidamiste jaoks on sobilik septikust ja imbeväljakust koosnev reovee kohtpuhasti. (14)



Joonis 2 Kinnistu kanalisatsiooni skeem (19)

Magistriöös tuleb edaspidi eristada hallvett ja mustvett ehk fekaalideta ja uriinita ning viimaseid sisaldavat reovett. Lisaks käsitletakse eraldi analoogselt tarbeveele olme- ja tootmisreovett, mis kaasneb vastavalt elutegevusega või tootmis- ja kaubandustegevusega. Hajaasustuse puhul, kui puudub hetivee ühiskanalisatsiooni juhtimise võimalus, on kasutusel lokaalsed käitlemise lahendused. Lisaks on ühiskanalisatsiooni juhtimine keelatud juhul, kui vesi sisaldab (14):

- põlemis- või plahvatusohlikke aineid;
- kleepuvaid või ummistusi tekitavaid aineid;
- toru läbilaskevõimet takistavaid setteid;

- ohtlikke aineid ja gaase;
- radioaktiivseid aineid;
- ohtlikke baktereid;
- biopuhastusele toksiliselt mõjuvaid aineid;
- keskkonnohtlikke bioloogiliselt raskesti lagundatavaid aineid.

Kui veesüsteemid on reeglina survestatud, siis kanalisatsioonisüsteemid ehitatakse võimalusel isevoolsetena. Survekanalisatsioonisüsteemidest võib omakorda eristada surve- ja vaakumpõhimõttel süsteeme. Survepumbad on sobilikud pikkade vahemaade korral tasase maapinna puhul, sest isevoolsena muutub kanalisatsioonitorustik liiga sügavaks maapinna suhtes (14). Sarnast lahendust kasutatakse ka vaakumkanalisatsiooni abil, nt Merko Ehitus Eesti AS on välja ehitanud antud süsteemi Viimsi vallas, Lubja külas Viimse Vesi AS tellimusel (54). Vaakumkanalisatsiooni kasutatakse ka hoonete sees, väidetavalt üks erilisemaid vaakumademeveesüsteeme on hetkel veel pooleli olevas Maakri kvartali kõrghoones, mida ehitab samuti Merko Ehitus Eesti AS. Ainulaadeks teeb süsteemi asjaolu, et vaakumsüsteem on nii vertikaalne kui horisontaalne ja tänu selle kasutamisele hoitakse kokku katusekorruse ripplaekõrgust ning lisaks on tehnosahtis ruumi kokkuhoiu mõttes kahe püstiku asemel üks. Vaakumkanalisatsiooni kasutatakse ka transpordivahendites, nt autobussides, kruisilaevades või lennukites.

1.2.1 Sademe- ja drenaaživesi

Sademeveekanalisatsioon ehitatakse sademevee koondamiseks ja ärajuhtimiseks katuse- ning muudelt pindadelt. Hoone sademevesi võib jõuda reoveega samasse hoonevälisesse kanalisatsiooni võrguvaldaja loal juhul, kui see suubub ühisvoolsesse kanalisatsioonivõrku. Kui puudub sademevee ühiskanalisatsioon, tuleb sademevesi immutada lokaalselt, näiteks kinnistul asuva imbkasti või -väljakuga (14). Kui sademevee vooluhulgad on arvestatavalt suured või ärajuhtimiseks kasutatakse ka kogumismahuteid, on mahutites olevat vett võimalik mõnel muul viisil ära kasutada, aga sellest täpsemalt edasises töös.

Kõrge põhjavee taseme võimalike kahjulike mõjude eest rajatakse hoone ümber ja vajadusel ka selle alla drenaaž ehk kuivendustorustik, mis juhitakse kas isevoolset või ülepumpamise teel sademeveekanalisatsiooni või lähimasse pinnaveekogusse. Sademevee sattumine tagasi drenaažitorustikku peab olema nt tagasilöögiklapiga välistatud.

Sademeveekanaliseerimine, kogumisrennide ja torustikega, valmistatakse nii metallist kui plastist, drenaažitorustik topeltseinaga plastist. Setete drenaažitorusse imbumise vältimiseks mässitakse toru filterkangasse või toru ümbritsev kergkruusa ja peenkillustiku kiht kaetakse kangaga. Hoonete sees sademeveetorustikud isoleeritakse, et vältida nende välispinnale tekkivat kondensaati. Pinnases sademevee- ja drenaažitorustikud isoleeritakse pealtpoolt külmumispiirist üleval pool paiknedes. (14)

1.3 Levinud veetarbijad hoonetes

Mõistmaks paremini reo- ja hallvee soojusvahetuse potentsiaali erinevat tüüpi hoonetes, toob autor välja mõned levinud veetarbijad hoonetes nende kasutusotstarbe järgi. Üksikelaanutes ja kortermajades leiavad kasutust pea kõik turul saadaval olevad olmesanitaarseadmed. Tavapärasest köögist leiame valamud ja nõudepesumasina, pesuruumid vannid või duši ja valamud ning pesumasina ja pesukuivati, tualetid tualetipoti ja valamud. Suuremates üksikelaanutes ja korterites on mitu tualetti, pesuruumi või saunaga koos lisaduši. Üksikutes elamutes on väikesemõõdulised basseinid. Oma aia üksikelaanutel, ridaelaanutel ja ka esimese korruse korteritel võib arvestada veekulu ka kastmisele või isegi autopesuveele. Olgu öeldud, et tänapäeva kodumasinad, sh nõudepesumasina, pesumasina ja -kuivatid võivad juba sisaldada ise soojuspumpa (48) (64) (52). See omakorda tähendab, et nendest väljuva hallvee temperatuur on alanenud. (55)

Mitteeluhooned tuleks omakorda jagada vähemalt kolmeks. Esimesse gruppi kuuluks madala veetarbimisega büroo- ja ärihooned, kust leiame kindlasti palju tualettruume valamute, tualetipottide ja pissuaaridega. Kallimatelt kontoripindadelt leiame kööginurgad ja isegi duširuumid. Teise gruppi peaks liigitama hooned, kus on suuremad tarbimised, aga tarbimise iseloom on hetkeliste suurte kõikumistega, näiteks lasteaedades, koolides ja muudes haridusasutustes või spordihoonetes. Vahest oleks hallvee soojusvahetitest kasu nende tipuvõimsuste vähendamisel. Viimasesse kolmandasse gruppi tuleks jagada kõik muud mitteeluhoonete tüübid, kus tarbimine on elupindadega võrreldes suurem ja ühtlasema kasutusprofiili kõikumistega, kui koolimajades. Siia kuuluvad haiglad ja muud meditsiinasutused, aga ka veega seotud teenuste, näiteks autopesulad ja pesumajad, või tootmisega ja tehnoloogiaga seotud hooned. Suurem tarbimine on toitlustusettevõtetele ja toiduainetööstusel, kõrge veetarbimine on ka näiteks tselluloosi- ja paberitööstusel. (55)

1.4 Vee- ja reoveepuhastus

Eestis on joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded määratletud sotsiaalministri määrusega, kus tuuakse välja proovide analüüsimeetodid eesmärgiga kaitsta inimese tervist joogivee saastumise kahjulike mõjude eest (35). Joogiveeks nimetatakse joomiseks, toiduvalmistamiseks või majapidamises mõnel muul otstarbel kasutamiseks mõeldud vett, mis jõuab tarbijani veevõtuseadme kaudu. Joogiveenõue ei pruugi kehtida eraldiseisvale tootmisveevärgile, kui tehnoloogia seda otseselt ei nõua. Kui tarbijani jõuab ebarahuldava kvaliteediga vesi, kasutatakse vee puhastamiseks filtreid. Kasutatakse nii ühte ühist filtrit kogu hoonele kui ka lokaalseid filtreid tsooniti või vahetult veevõtuseadme ees. Enim kasutatakse veest setteid ja tahkeid osakesi eraldavaid filtreid, mis koosnevad korpuses asuvast filterelemendist, mida saab omakorda puhastada või vahetada. Suurema koormusega süsteemides, näiteks ujulatega hoonetes kasutatakse ka automaatse läbipesusüsteemiga filtreid. (14)

1.4.1 Joogivee kvaliteet

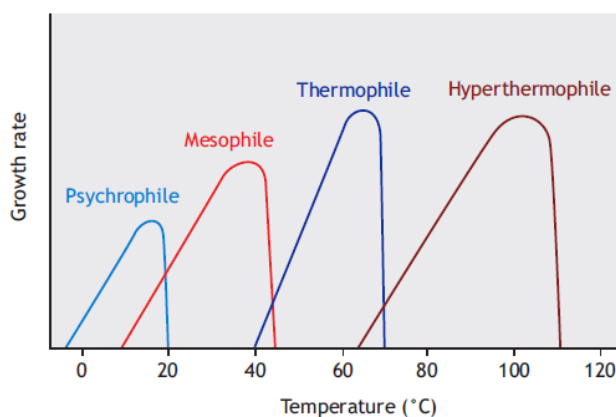
Joogiveekvaliteedi näitajad jagunevad mikrobioloogilisteks ja keemilisteks. Lisaks on kasutusel rida indikaatoreid, näiteks metallühendite piirsisaldus, pH tase, hägusus, maitse, lõhn ja värvus aga ka kolilaadsete bakteride arv või radioloogilised näitajad. Proovivõtu protseduur ja kvaliteedikontroll on täpsemalt lahti kirjeldatud varem viidatud joogivee määruses (35). Lisaks on sotsiaalminister väljastanud määruse, mis kirjeldab joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- või põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded (36). Eestis on joogivesi valdavalt kare, mis ei ole küll inimese tervisele kahjulik, aga selle eest tekitab vee soojendamisel või keetmisel katlakivi. Kui hoone saab vett pinnasest, näiteks puurkaevu abil, võib põhjavesi sisaldada rauda ja väävelvesinikku. Rannikualadel ja saartel on kohati suurem soolsus, kloriidide ja naatriumühendite kujul. (14) (4)

1.4.2 Reovee puhastamine

Reoveepuhastusjaama siseneb reovesi ja protsessi läbinud suublasse juhitud vesi kannab nime heitvesi. Reoveekäitluse eesmärk on muuta orgaanilist ainet ja baktereid sisaldav reovesi piisavalt puhtaks, et selle saaks ohutult keskkonda tagasi suunata. Selleks

eemaldatakse reoveest esmalt tahked osised, näiteks orgaanilised võõrised, praht ja liiv. Seejärel biolagunev orgaaniline aine ja haigusttekitavad parasiidid. BHT (bioloogiline hapnikutarve), KHT (keemiline hapnikutarve), HA (hõjuvaine), P (fosforisisaldus) ja N (lämmastikuisaldus) näitajate järgi hinnatakse heitvee kvaliteeti. Reoveepuhastuskvaliteeti määratakse eelkõige Keskkonnaministri vastava määruse järgi (25).

Reoveepuhastusprotsessi bakterite elutegevust mõjutavad soolsus, pH, hapniku olemasolu ja vormid aga ka antud töö kontekstis huvi pakkuv füüsikaline omadus, temperatuur. Enamik baktereid eelistab mõõdukat temperatuuri. Eestis reoveepuhastuse planeerimise üks suuremaid probleemide tekitajaid on kliimaatiliselt madalad temperatuurid, mis mõjutavad mitmete puhastusprotsesside efektiivsust. Reoveepuhastusjaama opereerimisel tekitavad probleeme ka temperatuuride järsud muutused (Joonis 3). (6)

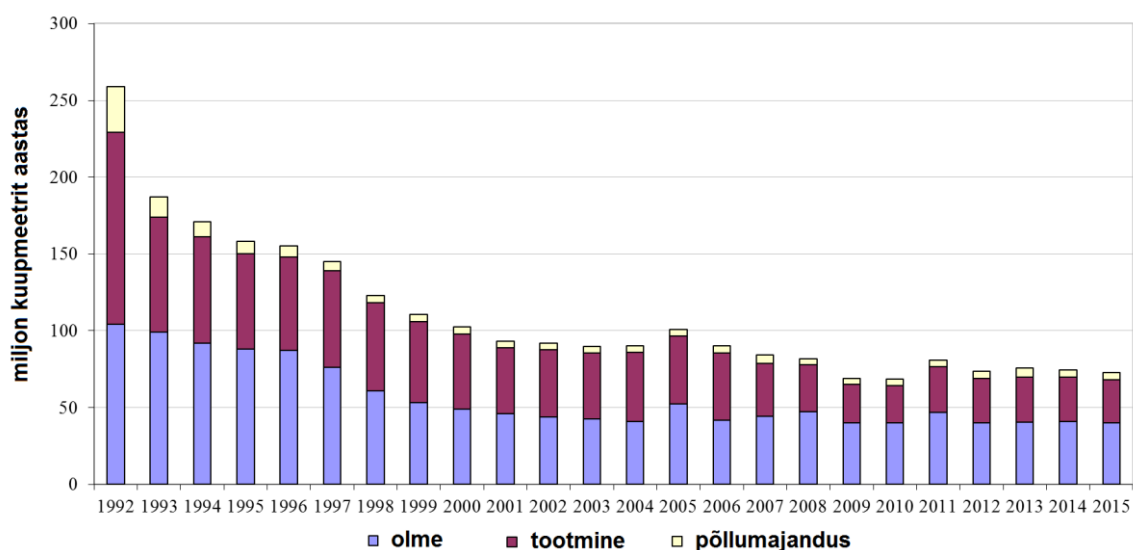


Joonis 3 Bakterite kasvukiiruse sõltuvus temperatuurist (6)

1.5 Vee korduvkasutamine

Veeressursside kättesaadavuse võitluses mängivad järjest enam suuremat rolli tööstus, põllumajandus ja ka majapidamised. Seetõttu peaks vee hinnatariif peegeldama vee kui väärtusliku ressursi tegelikku hinda, et suunata suuremad investeeringud paremasse veeinfrastruktuuri või propageerida säästlikumat veega ümber käimist inimkonna poolt. Õiglane ja õige hind võib aga riigiti erineda, näiteks Taanis maksab üks vannitais vett kümme korda rohkem kui Mehhikos ning Iirimaa ei maksta vee eest peaaegu üldse midagi. Selle sajandi veehinna tõusule aitab kaasa ka järjest suurenev vajadus reovett puhastada ja keskkonnale ohutuks teha. Samas veeprobleemid on suuremad madama sissetulekuga

riikides, sest vett vajavad kõik inimesed, kuid sissetulekute põhjal maksavad kõige kallimat hinda selle eest vaesemad riigid. Kui tarbijad maksavad vee eest rohkem kui 4% oma sissetulekust, peavad nad selle võrra hakkama muudelt hüvedelt kokku hoidma (50). Aastatel 1992 - 2015 vähenes veekasutus seoses tootmise vähenemise, veearvestuse paranemise ning kodumajapidamiste ja tööstuse säästlikuma veekasutusega üle kahe korra (Joonis 4). Lisaks on jooniselt näha, et tarbimise langus on peatunud ja sellega arvestatakse antud töö arvutustes ja analüüsis (11).

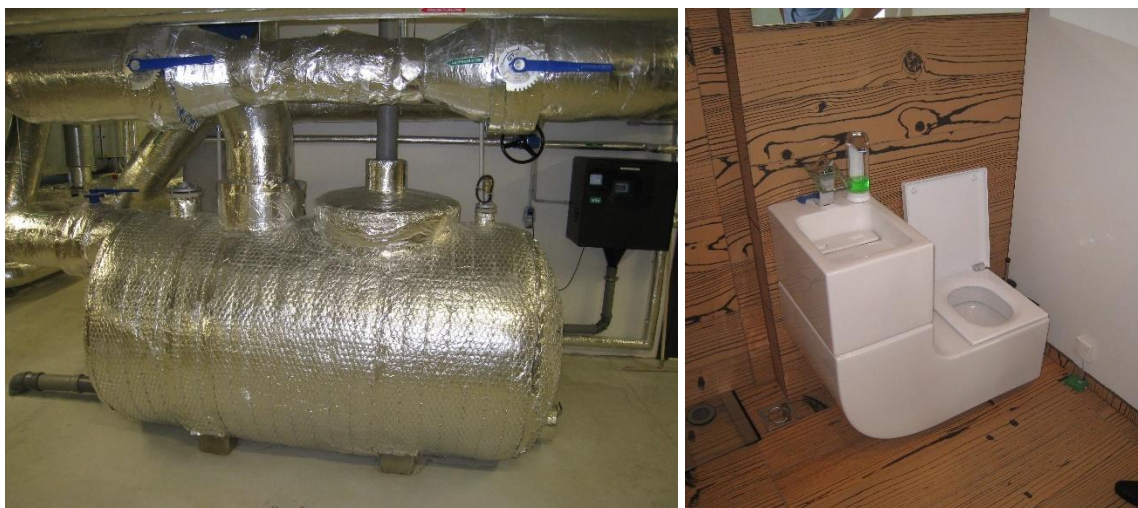


Joonis 4 Veekasutus Eestis 1992 – 2015 (11)

Kanaliseerimise juhtimise asemel on aastaid propageeritud sademeveet koguda muudel eesmärkidel. Lihtsamad lahendused võimaldavad sademeveet kasutada näiteks kastmisveena, tualeti loptusveena või autopesuveena. Keerulisemad on protsessid, kus ainult vee füüsilisest puhastamisest filtritega ei piisa. Näiteks sademeveest olmevee ette valmistamiseks piirkondades, kus puhta joogivee kättesaadavusega on probleeme, näiteks magestamine, või puhta vee hind osutub kalliks. (14)

Tehnoloogiline vee korduvkasutus on üks potentsiaalseid suundi. Veepuhastuse OÜ pakub lahendust autopesulate veepuhastuseks, mille tulemusena valmib autode pesuks mõeldud tehnoloogiline vesi osaliselt samast kasutatud pesuveest. Paindlik tootevalik varieerub käsipesulast kuni pesutänavani (65). Kogutud sademevesi kasutatakse tootmisveena näiteks Estanc metallmahuteid ja soojusvaheteid tootvas tehases Jüris. Katusepindadelt suunatakse sademevesi kogumisbasseini, kust seda tarvitatakse omakorda osadel paakidel

tootevalikust survekatsetusteks. Kuna katsetatavad seadmed küündivad mõõtmel kümnetesse meetritesse, on antud vee korduvkasutus teretulnud lahendus (55). Rakvere Targa maja eriosadest vee ja kanalisatsiooni projekteerinud Hevac OÜ lahendas sademevee kogumise eesmärgiga kasutada vett tualetipottide loputusveena. Lisaks on näidiskorteri vannituppa paigaldatud seinapealne ühine kraanikauss ja tualetipott, mis kasutab kätepesust tekkivat hallvett samuti tualeti loputuseks (Joonis 5). (42)



Joonis 5 Sademevee kogumine tualettide loputusveeks (vasakul) (allikas: autori foto) ja kätepesu hallvee kogumine loputuskasti jaoks (paremal) (allikas: autori foto)

Jääb õhku küsimus, kas korduvkasutatud vee soojuslik potentsiaal tuleks samuti ära kasutada, enne kui see hoonest või kinnistult lõplikult välja juhitakse. Seetõttu keskendutakse järgmises osas kanalisatsioonisüsteemide soojuse kasutamise võimalustele.

1.6 Vee soojendamine

Täisväärtuslik korter või büroopind eeldab veevarustuse seisukohalt tarbijale aastaringselt kättesaadavat külma ja sooja tarbevett. Seejuures eristatakse koht- ja tsentraalseid süsteeme, mis jagunevad omakorda kiir- ja mahtveesoojenditeks vastavalt akumulereimisvajadusele. Olulisemad nõuded soojaveevarustusele on (14):

- kvaliteedi, vooluhulga ja temperatuuri tagamine;
- mitte kõrgem kui +65°C ja mitte alla +55°C temperatuur;
- soojaveevõrguarmatuuriga kokkupuude ei tohi ohustada inimest;

- tarbijani peab jõudma vesi 10 sekundi jooksul;
- soojuskadude vähendamiseks tuleb soojaveetorustik isoleerida;
- sooja vee sattumine külmaveevõrku tagasi ei ole lubatud;
- soojaveevõrguarmatuuri materjalid ei tohi mõjutada vee kvaliteeti.

Soojaveearustuses ei ole soovitatav temperatuuri pikemaks ajaks üle $+55^{\circ}\text{C}$ tõsta, kui selleks ei puudub otsene vajadus (17). Veesoojendusseadmete dimensioneerimisel tuleb arvesse võtta vooluhulk, temperatuur ja vee kogus. Ühisveevärgi vee temperatuur sõltub külmumispiirist ja paigaldussügavusest, võimalusel torustikke ei isoleerita. Torude paigaldussügavus, välja arvatud suviste kastmisveetorude puhul, 1,8 meetri korral maapinnast tagab Eesti oludes enamiku pinnaste puhul külmumissügavuse nõude (17). Seetõttu on vee temperatuur torustikus seotud ka maapinna temperatuuriga, mis Eestis on keskmiselt $+7^{\circ}\text{C}$, kõrgem saartel, kuni $+9^{\circ}\text{C}$ ja madalaim Ida- ja Lõuna-Eestis, $+6^{\circ}\text{C}$ (58). Täpsemate andmete puudumisel arvestatakse külmavee temperatuuriks talvel $+5^{\circ}\text{C}$ ja suvel $+10^{\circ}\text{C}$. Külmaveearustussüsteemid peavad olema projekteeritud ja välja ehitatud tingimusel, et külma vee temperatuur ei tõuseks üle 25°C (18).

Vee- ja kanalisatsiooni kasutajate hüppeline kasv linnastumisega ja samal ajal kallinev energiahind on viinud tarbijate vee mõõdistamise ja sooja vee valmistamise kütteenergia mõõdistamise järjest olulisemaks parameetriks hoonete igakuistes püsikuludes. See omakorda on ühelt poolt nii tarbijad kui ka teiselt poolt võrguettevõtted või tootjad suunanud otsima alternatiivseid vee korduvkasutamise või soojendamise võimalusi.

1.6.1 Vee soojendamine soojuspumpade abil

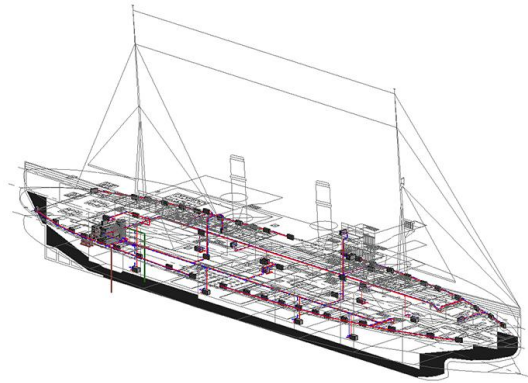
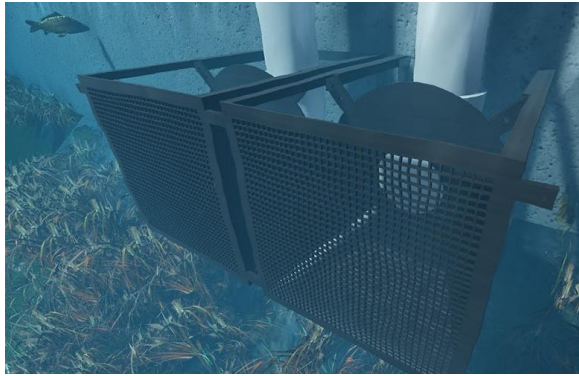
Termodünaamika II seaduse kohaselt soojus ei liigu iseenesest madalama temperatuuriga kehalt kõrgema temperatuuriga kehale. Tehes tööd, on see pöödringprotsesside vahendusel teostatav. Hoonete soojusvarustuses, sooja tarbevee ja kütte tootmiseks, kasutatakse selleks soojuspumpasid, mille kasutuselevõtt Euroopas oli kasvutrendis kuni 2008. aasta majandussurutise alguseni. Eristatakse maasoojus-, õhk-õhk, vesi-vesi, vesi-õhk ja õhk-vesi soojuspumpasid. Soojuspumpade efektiivsus sõltub enim temperatuuritõusust. Mida väiksem on keskkondade temperatuuride vahe, seda suurem soojustegur. Antud magistritöös pakuvad huvi veetehnikaga seotud soojuspumba primaar- või sekundaarpool.

Seejuures tuleb meeles pidada, et soojuspumpade abil saab toota nii kütte- kui jahutusvett (5)

Pinnasevee abil kütte- ja jahutusenergia tootmine soojuspumpade abil sõltub pinnase omadustest. Mida niiskem ja savisem on pinnas, seda efektiivsem tootlikkus ning mida kuivem ja liivasem on pinnas, seda madalamaks osutub soojuspumba tootlikkus. Võib eristada viite erinevat energiaallikat: maapind, energiakaevud, energiavaiad, põhjavesi ja veekogu. Lisaks saab eristada avatud ja suletud süsteemi. Avatud süsteemi puhul liigub primaarpoole vedelik, näiteks jõe-, järve- või merevesi otse läbi soojusvaheti (aurusti), kinnisel meetodil paigaldatakse agenss suletud torusikku, mis paikneb nimetatud veekeskkonnas. Järgnevalt toob autor välja mõned asjakohased näited pinnase ja pinnavee abil lahendatud soojuspumpadest.

Hajaasustuses või väljaspool kesklinnaspiirkondi on võimalik kasutada maapinda horisontaalselt, näiteks Eesti Sisekaitseakadeemia uue hoone projektlahendus Maarjamäel näeb ette 30 000 jm maakollektorit (55). Väiksemate hoonete ja kinnistute puhul on otstarbekas kasutada spiraali kuju meenutavaid maaküttekollektorkaevusid. Kõrge asustustihendusega linnasüdametes või täisehitatud kinnistute puhul puudub tavaliselt võimalus horisontaalkollektori paigaldamiseks ruumipuuduse tõttu. Seetõttu osutub tasuvaks kasutada energiapuurvaiasid, mida on kasutatud Tallinnas näiteks Paldiski mnt „Laevas“, Metalli tn „Ärimajas“, „Hilton“ hotellis ja Porto Franco arendustes. Eesti üks suurim valmis puuraukudega objekt on Konesko AS tehas, 450 kW soojusvõimsusega ja 6500 jm puuraukudega. (55) (53)

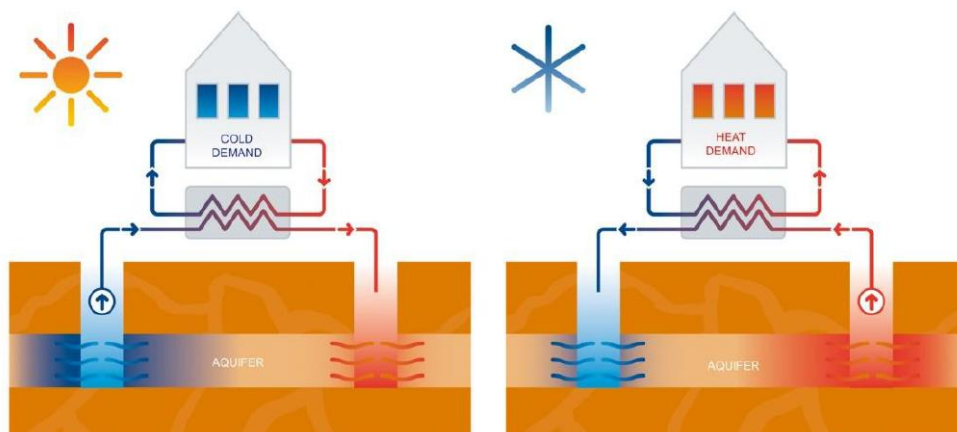
Veekogude puhul on heaks näiteks Nelijärve puhkekompleksi elekterküttesüsteem, mis on asendatud maasoojuspumpade kaskaadlahenduse abil. Purgatsi järve paigaldati kinnisel meetodil järvküttekontoorid kogupikkusega 7500 m. Järvküttekollektor on eelnevalt tehases komplekteeritud ja sellest suunduvad magistraalid kompleksi hoonete soojussõlmedesse. Tööstuse tn Mereväe hoonete kütmiseks asendati õlikütteil põhinev lahendus vesi-vesi soojuspumpadega avatud süsteemi põhimõttel (Joonis 6). 2014. aastal 100. juubelit tähistanud jäälõhkuja „Suur-Tõll“ jaoks on välja töötatud projektlahendus, kus mereveest võetud soojus muundatakse soojuspumpade abil laeva soojusenergiaks. See pakuti välja ühe alternatiivina pärast mootorite seiskumist ja muuseumina töö alustamist (Joonis 6). (55)



Joonis 6 Avatud põhimõttel mereveesoojusvaheti veehaare (vasakul) (55). Jäälõhkuja "Suur-Tõll" merevee toimel soojuspumpadega lahendatud kütteprojekt (paremal) (55)

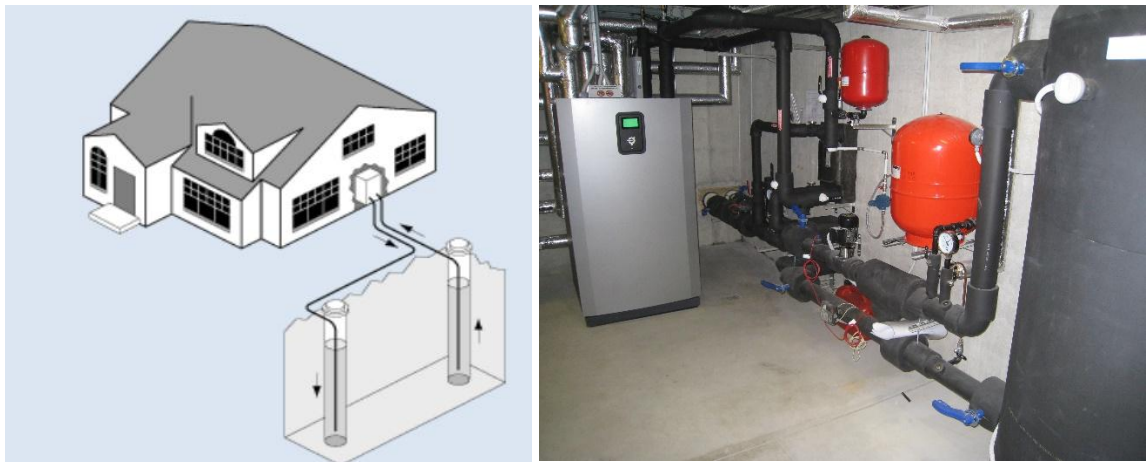
Avatud puuraukudega soojuspumpade aruandes vaadeldakse selle levikut Eestis ja vaadeldakse kõnealuste süsteemide mõjusid kivimitele ja põhjaveele. Selgub, et jahutamisel ja soojendamisel puudub oluline mõju veekihi filtratsiooniomadustele ning põhjavee keemilisele koostisele. Samuti ei tuvastatud pinnareostuse valgumist puurkaevude tõttu põhjavette. (2)

Antud lahendust on uuritud Pärnus asuva Sanatoorium Tervis AS tellimusel. Lähteülesande koostas Hollandi ettevõtte IF Technology bv. Avatud puuragu lahendust põhjavee kihtidest pumbatavat või Pärnu jõe vett soojuspumba primaarpooles kasutades on võimalik toota nii sooja tarbevett aastaringselt kui vähendada hoone küttekulusid talvel. Kuna hotellitüüpi hoones on suvel arvestatavad jahutuskoormused, on võimalik põhja- või jõevett kasutada ka jahutusvee tootmiseks soojuspumba primaarpooles abil (Joonis 7). (9)



Joonis 7 Põhjavee kasutamine läbi avatud puuragu soojuspumba abil soojuse või jahutuse tootmiseks (7)

2008. aasta sügisel tekkinud ideest luua targa maja kompetentsikeskus, valmis põhiprojekt 2014. aasta kevadeks ja ehitus algas sama aasta sügisel. Eesti esimeseks peetav liginullenergiahoone võeti kasutusele aasta hiljem. Keskkonnaekspert OÜ poolt projekteeriti hoonele energikaevud, mille ühendas hoone kütte- ja jahutussüsteemidega Hevac OÜ. Hoone sooja tarbevett valmistatakse ja maja köetakse põhiliselt soojuspumbaga, tippude katmiseks kasutatakse kaugkütet. Avatud energikaevudest tuleb nii soojus kui jahutus aastaringselt 5 l/s temperatuuril $+8^{\circ}\text{C}$ (Joonis 8).

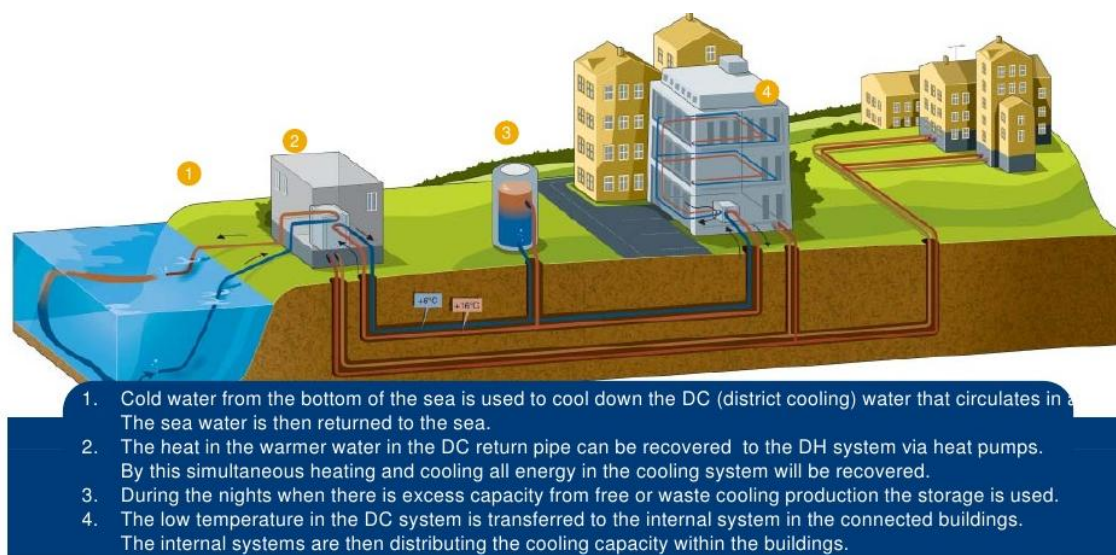


Joonis 8 Avatud puuragu illustratsioon (vasakul) (42) ja soojussõlm Rakvere Targas majas (paremal) (allikas: autori foto)

Geotermalaenergia üheks erijuhuks võib pidada olukorda, kus termalvee temperatuurid ei vaja soojuspumpasid temperatuuri tõstmiseks, sest maapõuest saadava vee temperatuur võib ületada $+200^{\circ}\text{C}$. Varasemad, kuni 200 m sügavusel asuvad, vaadeldud süsteemid liigituvad maapinnalähedaseks geotermalaenergiaks. Kuigi geotermalaenergiat leidub hetkel üle maailma, kasutatakse seda elektri ja soojuse tootmiseks vähestes riikides, sh Islandil, USA-s, Itaalias, Prantsusmaal, Jaapanis, Filipiinidel, Uus-Meremaal. Seejuures Islandi energiabilansist moodustab see ca 40 %. (1)

Soojuspumbad võetakse appi ka suurtes kogustes jahutusenergia tootmiseks. Hetke probleemid jahutusturul on elektritarbimine ja eriti tipukoormuste mõjutamine, järjest suurenevad jahutuskogused ja -energiavajadused kasvavad kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Seetõttu muutub kaugjahutuse mõiste järjest aktuaalsemaks. Stockholmis rajatud kaugjahutussüsteem teenindas aastal 2010 ligi 100 klienti ja 600 hoonet koguvõimsusega 350 MW ja koguenergiaga 450 GWh. Tegemist on praeguseni ühe

maailma suurima kaugjahutusvõrgustikuga, mida teenindab Fortumi Rootsi haru. Merevee abil soojuspumpadega toodetud jahutus viiakse hooneteni, kus see liigsoojuse omakorda endasse neelab ja hoone kasutajatele sisekliimanormide kohast siseõhutemperatuuri pakub (Joonis 9) (23). Baltimaade esimene kaugjahutusjaam avati 2016. aasta mais Tartus, kus 13 MW jaam saab osaliselt oma jahutusvee Emajõeest (24).



Joonis 9 Kaugjahutuse põhimõtteline illustratsioon (allikas: <https://www.slideshare.net/FortumSverige/district-cooling-sustainable-energy-to-rely-on>)

Mida tihedam on asustus või suurem on jahutuskooormus kogu köetava pinna ja ehitisaluse pinna suhtes lähestikku asuvatel hoonetel, seda otstarbemaks võib kaugjahutussüsteem osutada. Tiheda asustusega elu- ja mitteeluhoonete katused jäävad sel juhul jahutussüsteemide kondensaatoritest (dry-cooler) vabaks ja kinnisvara müüjad või rendilaandjad saavad vabaks jäänud pindade abil näiteks terrasside abil lisatulu teenida.

Hoonetes või hooneosades, kus jahutuskooormused on aastaringsed, näiteks serverites või haiglates, on uuritud lumesulamise soojuse potentsiaali ärakasutamist jahutusenergia tootmiseks soojuspumpade abil. Eestis on antud süsteemi välja ehitamine küsitav meie kõikuva talve välisõhutemperatuuri ja lume olemasolu suhtes. Teise probleemina toodi välja suure parkla või maa-ala olemasolu vajadus vahetult hoone läheduses, kuna reeglina kogutakse linnade koristuslumi parklatesse või platsidele, kus selle ladustamine on odav või tasuta. Lisaks tuleb arvesse võtta, et suurlinnade koristuslumi sisaldab kõiksugu muid osasid ja ühendeid peale puhta lume, mida tuleb süsteemi efektiivsuse ja tasuvusarvutuse juures ei saa ära unustada. (15)

1.6.2 Vee soojendamine päikesekiirguse abil

Eestis on keskmiselt päikesepaistelist päeva 1600 – 1900 tundi aasta kohta (16). Päikesekiirgust uurib meteoroloogia haru aktinomeetria. Teematikat, mis puudutab päikest kui energiallikat, nimetatakse päikese- ehk helioenergeetikaks. Võrdlemisi uus tehnikavaldkond on huvipakkuv vee soojendamise seisukohalt, mille esialgsed katsetused pärinevad eelmise sajandi esimesest poolest. Elektritootmise vastu tõusis huvi hiljem. Perioodiline ja juhuslik päikesekiirgus erineb selgel ja pilves suvepäeval paar korda, selgel sügispäeval ja pilves talvapäeval üle kümne korra. Geograafilisest asukohast sõltuv päikeseenergia oleneb ka kohalikest tingimustest, nt atmosfääri puhtusest, välisõhu temperatuurist ja kiirgusest, mille langemisnurk kollektorile ei ületa 60°. Seetõttu aastane aktinomeetriline soojusenergia enamus salvestatakse päikselistel ja valgetel kuudel. Toodetakse nii sooja tarbevett kui ka küttevett või mõlemat kombineerituna. Peamine probleem on soojusvajaduse ja päikeseenergia toodangu ajaline erinevus. Seega otstarbeks osutub toota sooja tarbevett, kuna küttevett küttevälisel perioodil tarbitakse minimaalselt. Kuid ajaline erinevus tarbimisprofili ja soojuse toodangu vahel jääb kehtima ka suvekuudel. Inimesed tarbivad vähem sooja tarbevett ja viibivad rohkem kodust eemal, lasteaiad ja koolid on õppepuhkuste režiimis (5). Antud juhul soojeneb vesi päikesekollektorites keemistemperatuurini ja purunemise või muu rikke vältimiseks süsteem tühjendatakse vesilahusest või suunatakse üleliigne soojus väliskeskkonnast asuvasse küttekehasse liigsoojusest vabanema (Joonis 10).



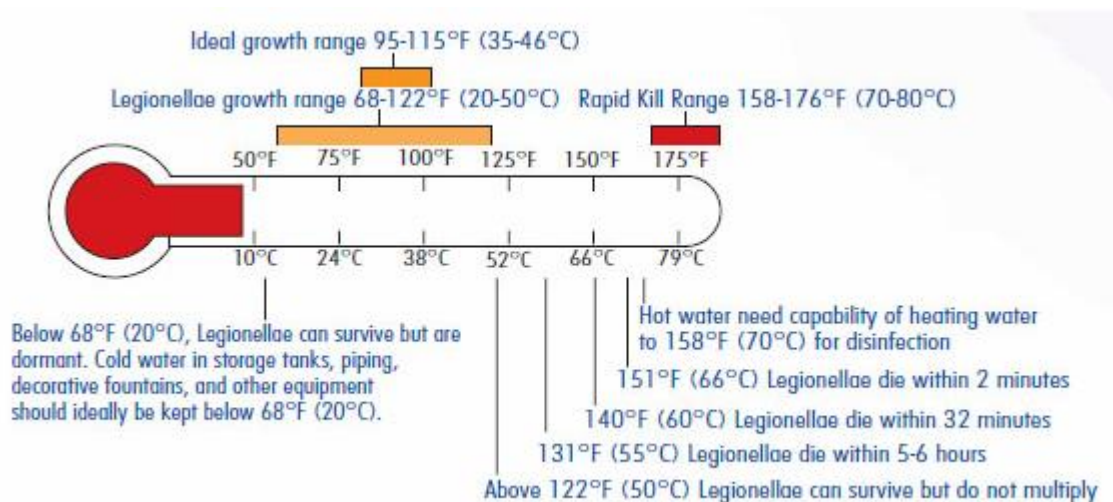
Joonis 10 Päikesekollektor (vasakul) (allikas: <http://paikesepaneel.ee/Web/Paikesekollektorid>). Radiaatorid kasutamata liigsoojusest vabanemiseks (paremal) (55)

Paremini sobib päikeseenergia abil soojuse tootmine aastaringsetesse ja võimalusel konstantsetele protsessidele. Selleks sobib basseinivee soojendamine, mille soojuskoormus on piisavalt suur, et kogu päikesest kogutud soojus ära kasutada (5). Alternatiivina võib kasutada soojust ka suvisel perioodil märgade ruumide põrandaküttena, hoides kokku seeläbi mugavusküttena mõeldud põranda soojendamiseks mõeldud energialt. Kasutatakse ka võimalust päikese-soojusega laadida maasoojuspumba horisontaalkollektorit, kuna viimane jahtub kütteperioodi lõpuks võrreldes algusega oluliselt maha, halvemal juhul maapinna osalise külmumiseni ja igikeltsakihi tekkimiseni. Teoorias võiks müüa soojuse ülejääki võrguettevõttele või seda ise müüa näiteks naaberhoonele, aga see eeldab suuremaid võimsusi ja investeeringuid, lisaks ka seadusandlusele vastavust ja kõigi osapoolte kooskõlastusi. (55)

1.6.3 Kanalisatsiooni soojuse kasutamine

Soojuspumpade alapeatükis selgitati, et pöördringprotsessi abil saab soojust külmemalt kehalt soojemale ümber kanda. Ilma selleta saab soojust üle kanda kõrgema temperatuuriga kehalt või massilt madalama temperatuuriga objektile või vedelikule. Järgmiseks toob autor välja temperatuurid ja temperatuurivahemikud, millega tuleb kanalisatsiooniga seotud soojusvahetussüsteemide puhul arvestada.

Vee soojendamise alapeatükist selgus, et külma vee temperatuur tänavatorus jääb vastavalt aastaajale ja muudele lisatingimustele $+5^{\circ}\text{C}$ ja $+10^{\circ}\text{C}$ vahele. Sooja tarbevee normväärtus on $+55^{\circ}\text{C}$. Nii kuuma veega inimene pesta ei saa, aga antud temperatuur on seotud legionellabakteritega, mis levivad ja paljunevad eelkõige soojas vees temperatuuril $+30^{\circ}\text{C}$ kuni $+45^{\circ}\text{C}$ eriti soojaveesüsteemides (Joonis 11). Nakkusallikatena tulevad need kõne alla ka õhuniisutussüsteemides või raviasutuste inhalaatorites. Legionella on bakter, mis esineb põhjavees ja pinnavees.



Joonis 11 Legionellabakteri kasvu sõltuvus temperatuurist (10)

Mikroskoopilised uuringud ja bioloogilised uurimismeetodid näitavad liigi *Legionella* Pnuimohila eksisteerimist kõigis maailma joogiveesüsteemides. Ühed soodsaimad tingimused bakterite paljunemiseks on inimese jaoks kõige sobilikumal duši kasutamise temperatuuril +38°C kuni +42°C. Eeldusel, et vee-ettevõttel on kohustus pakkuda laitmatu kvaliteediga vett, algab kardetud legionella bakteritekolooniade kasv soojaveesüsteemides, eriti tingimustes, kus +55°C-ni kiir- või mahtveesoojendis soojendatud tarbevesi seisab ja jahtub ülejäänud soojatarbevee torustikus. Selle leviku tõkestamiseks võib kasutada nn legionella režiimi, kus sooja tarbevee temperatuuri tõstetakse perioodiliselt +65°C-ni, mis tagab süsteemi sattunud bakterite hävimise. (22)

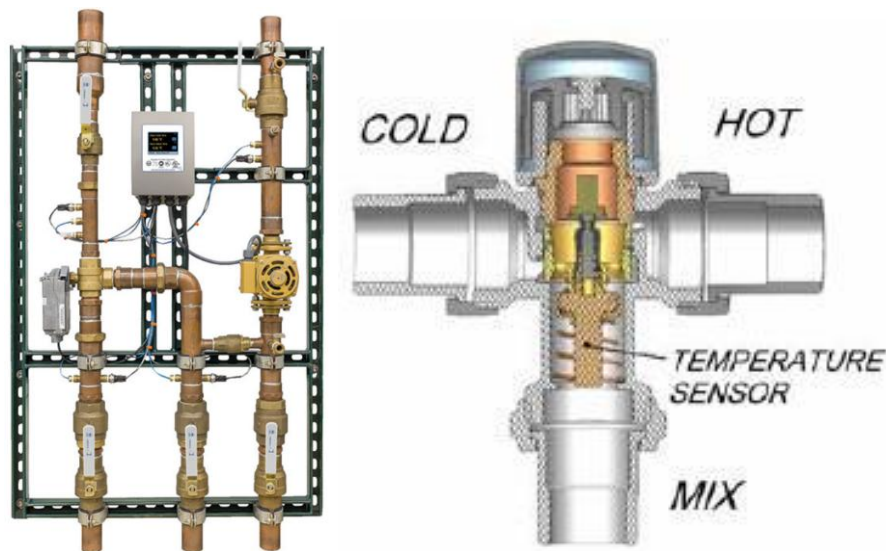
Seega tuleb selgitada lähteülesannet, mis vedelikult millisele vedelikule soovime soojust üle kanda. Selleks tuleks eristada sarnaselt soojusvahetitele ja soojuspumpadele veetehnika kontekstis samuti primaar- ja sekundaardpoolt. Esimest ammutatakse soojust ja teises salvestatakse saadud soojusenergiat. Soojusülekanne võib olla ka mitmeastmeline, sõltuvalt süsteemi keerukusest. Lisaks külmavee võrgutemperatuurile ja tarbevee kvaliteedi tagamisele temperatuuri osas, tuleb arvestada veel mõnede ääritingimuste ja eranditega.

Kõige lihtsam ja kindlam oleks eelsoojendada linnavõrgust saadavat külma tarbevett. Siinkohal tuleb aga arvestada, et kaugkütteettevõtted ei ole sellest huvitatud või ei ole see tehniliste tingimustega lubatud. Kui tõstame kaugkütte soojusvahetisse mineva vee

temperatuuri, tõuseb kaugkütte tagastuva voolu temperatuur. Viimase tõusmisel suurenevad võrgu soojuskaod ja vähenevad katlamajade kasutegurid. Samal põhjusel ei ole kaugkütteeettevõtted huvitatud ka rekonstrueeritavatele kortermajadele väljatõmbeõhusoojuspumpade paigaldamisest, sest tegemist on lisasoojusallikaga, millega soojusvõrk ei ole arvestanud. See aga vähendab soojapakkuja teenuse marginaali ja seeläbi tõstab kokkuvõttes vähenenud tarbimise tõttu ühikhinda. Kaugküttepiirkonnas on aga reeglina sõltuvalt pakkuja tingimustest kohustus kaugküttevõrguga liituda, välja arvatud alternatiivsete soojusallikate kasutamisel. (55)

Lisaks tuleb arvesse võtta, et kanaliseeritava vee temperatuur ei tohi üle $+40^{\circ}\text{C}$ ning pH madalam kui 6,5 ja kõrgem kui 8,5 (11). Teiseks soojaveeringlusele soojuste tagastamine on raskendatud, kuna lubatud veetemperatuuri languseks võib arvestada 5 kuni 10°C soojavee- ja soojaringlustorustiku vahel (18), aga $+45^{\circ}\text{C}$ kuni $+50^{\circ}\text{C}$ vee tootmine soojusülekanne abil reo- või hallveest on ilma soojuspumbata raskendatud.

Kuna reo- ja hallveesoojusvahetus sõltub selle temperatuurist ja vooluhulgast, tekib probleem, kuidas hoida soojavee temperatuuri etteantud väärtusel või vahemikus. Üleliigne reguleerimine on üleliigne kulu. Et tarbijad end ei põletaks või tehnoloogia- ja tootmisprotsessid ei oleks temperatuurikõikumisest häiritud, tuleks kasutada temperatuurisegamissõlmesid või termostaatsegisteid (Joonis 12). Sel juhul pole muret külma ja sooja vee segunemise ega ka survekõikumiste korral. (10) (57)



Joonis 12 Sooja tarbevee temperatuuri segamissõlm (vasakul) (10). Tarbimispunkti termostaatpeaga segisti lahendus (paremal) (allikas: <http://www.alternativetechnologies.com/mt/en/thermostatic-mixer-valves>)

Projekteerimise ja veesüsteemide kavandamise käigus tuleb otsustada, millele soojust soovitakse tagastada. Sooja tarbevee eelsoojendus tundub kõige lihtsam ja muretum lahendus, kui temperatuuri kõikumine on segamissõlmedega välistatud. Külma vee vahetu eelsoojendus enne veevõtuarmatuuri eeldab termostaadiga segistit. Teiseks tuleb arvestada, nagu joogivee nimigi seda ise ütleb, et oleme harjunud klaasi, teekannu või supipotti kraanist laskma nõ värsket külma vett.

1.7 Energiatõhusus ja energiamärgis

Eestis pälvib järjest enam tähelepanu hoonete energiatõhusus, sealhulgas mängib järjest suuremat rolli hoone liginullenergia ehk A klassi nõuetele vastavus. Alates 2019. aasta 1. jaanuarist peavad kõik avaliku sektori uusehitised ja alates 2021. aasta 1. jaanuarist kõik kasutusloa saanud ehitised vastama liginullenergia hoone tingimustele. Ehitusprojektide lahenduste toimimine ja kaasajastamine oleneb suurel määral energiatõhususe spetsialisti kaasamisest alates eskiislahendusest projekteerimis-, ehitus- ning süsteemide seadistamise ja haldamise protsessi. Energiatõhususarv kajastab hoone energiakasutust sisekliima tagamise, tarbevee soojendamise kui ka olme ja muude elektritarbijate seiskohast (68). Energiatõhususe peatükk ehitusseadustikus kattub veetehnikaga peamiselt tarbevee soojendamise aspektist. Kohaldamisala paragrahvi järgi kuuluvad veevarustuse ja kanalisatsiooniga hooned antud lõputöö temaatika huvigruppi, välja arvatud

miljööväärtuslike alade hooned, kultus- või religioosselt kasutatavad hooned, ajutised ja osalise kasutusajaga hooned ning kuni viiekümne m² netopinnaga hooned. Terminoloogia paragrahvis mainitakse vee soojendamise kulu, mitte vee kui ressursikulu. Energiatõhususele esitatavate nõuete paragrahvi järgi tuleb kaaluda erinevaid võimalusi eelistades kuluefektiivseid lahendusi ja optimaalseid süsteeme. Edasised paragrahvid on kirjeldatud sidusmääruste abil (27) (28) (30). (32)

Energiatõhuse miinimumnõuetes tuuakse välja lokaalse taasuenergia liigina välja vee-energiast toodetud elekter ehk mõeldakse erinevaid hürdoenergeetilisi lahendusi. Vee soojendamise seisukohast, võttes arvesse erinevaid soojusallikaid, on oluline arvestada ka õiget energiakandja kaalumistegurit, mis on välja toodud Tabel 1 (28):

Tabel 1 Energiakandjate kaalumistegurid

Energiakandja	Kaalumistegur
Taastuvtoormel põhinev kütus (puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett)	0.75
Kaugküte	0.9
Vedelkütus (kütteõli ja vedelgaas)	1.0
Maagaas	1.0
Tahke fossiilkütus (kivisüsi ja muu selline kütus)	1.0
Turvas ja turbabrikett	1.0
Elekter	2.0

Kaalumistegurid on liikmesriigiti erinevad, Eestis on elektri kaalumistegur kahekordne meie põlevkivi abil toimivate aurtubriinidega elektrijaamade madala kasuteguri tõttu. Teisisõnu kaalumisteguritega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju. Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika määrukses välja toodud netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta ja metoodikas arvestatud keskmine m² arv inimese kohta Tabel 3 (27). Seejuures sooja ja külma vee temperatuuride vaheks loetakse 50°C.

Tabel 2 Sooja tarbevee erikulu ja netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Sooje vee erikulu [l/(m ² ·a)]	Netoenergiavajadus [kWh/(m ² ·a)]	Inimene [m ² /inimene]
Väikeeleamu	430	25	42.5
Korterelamu	520	30	28.3

Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	100	6	17.0
Kaubandushoone ja terminal	65	4	17.0
Majutushoone	520	30	17.0
Toitlustus- ja teenindushoone	400	23	21.3
Avalik hoone	340	20	6.1
Haridushoone (v.a koolieelne lasteasutus)	180	10	17.0
Koolieelne lasteasutus	460	27	5.4
Tervishoiuhoone	520	30	3.8

Üldlevinud vee soojendamise viisid on reeglina ühised ka hoone küttesüsteemiga. Väikemajade tavalised lahendused on õli- või gaasikatel, tahkekütusekatel, kaugküte, elekterküte ja soojuspumbad (12). Kortermajade ja mitteelamute soojusallikad koos kasuteguritega hoonete energiatõhususe arvutamise metoodikas on välja toodud Tabel 3 (27):

Tabel 3 Soojusallika kasutegur kütuse tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel

Soojusallikas	Kasutegur
Kaugkütte soojussõlm	1.0
Õli- või gaasikatel	0.85
Õli, kondensaadikatel	0.90
Gaas, kondensaadikatel	0.95
Pelletikatel	0.85
Muu tahkekütuse katel	0.75
Elekterküttega katel	1.0
Ahi	0.6

Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika määruises kirjeldus päikeseenergiaga vee soojendamise kohta, kuid autor antud magistritöös rohkem päikeseenergial ei peatu. Lisaks tuleb eristada arvutuslikku energiamärgist kaalutud energiaerikasutusel põhinevast energiamärgisest. Uutele hoonetele on kohustus väljastada energiatõhususe miinimumnõuetele vastav energiamärgis ja seda juba ehitusloa taotlemise ehk eelprojekti staadiumis (29). Kaalutud energiaerikasutusel põhinev märgis väljastatakse uusehitisele pärast kaheaastast kasutusel olemist. Tegelikul tarbimisel põhinev märgis olemasolevale hoonele arvutatakse eelnevate aastate tarbimisandmete põhjal, taandades kütteenergia baasaastale ja võimalusel kesmistatakse ka muud kuluallikad, elimineerides suured

kõrvalekalded, mis võivad olla hoone osaline täituvus, soojussõlme rike või avarii jne. Kõnealuse märgise omamise nõue tekib näiteks kinnisvara müügi korral või KredEx renoveerimistoetuste taotluse tingimustele vastamise tarbeks. (32)

Seega metoodika järgi võetakse arvesse vee soojendamisele kuluv energia. Vesi veevõrgust või kaevust kuluna arvestusele ei kuulu ehk energiatõhususe arvu ja seega ka -klassi ei mõjuta. Töö autor leiab, et on aja küsimus, kui vee kui ressursi kajastamine Eestis energiatõhususe arvutusse kaasatakse, sest vee hinna kallinemine ja hoonete liginullenergia klassi saavutamiseks oluliste erinevate meetmete nimekiri aina täieneb. Selle võimalikke suundi autor antud töös ka analüüsib ning enda nägemuse välja pakub.

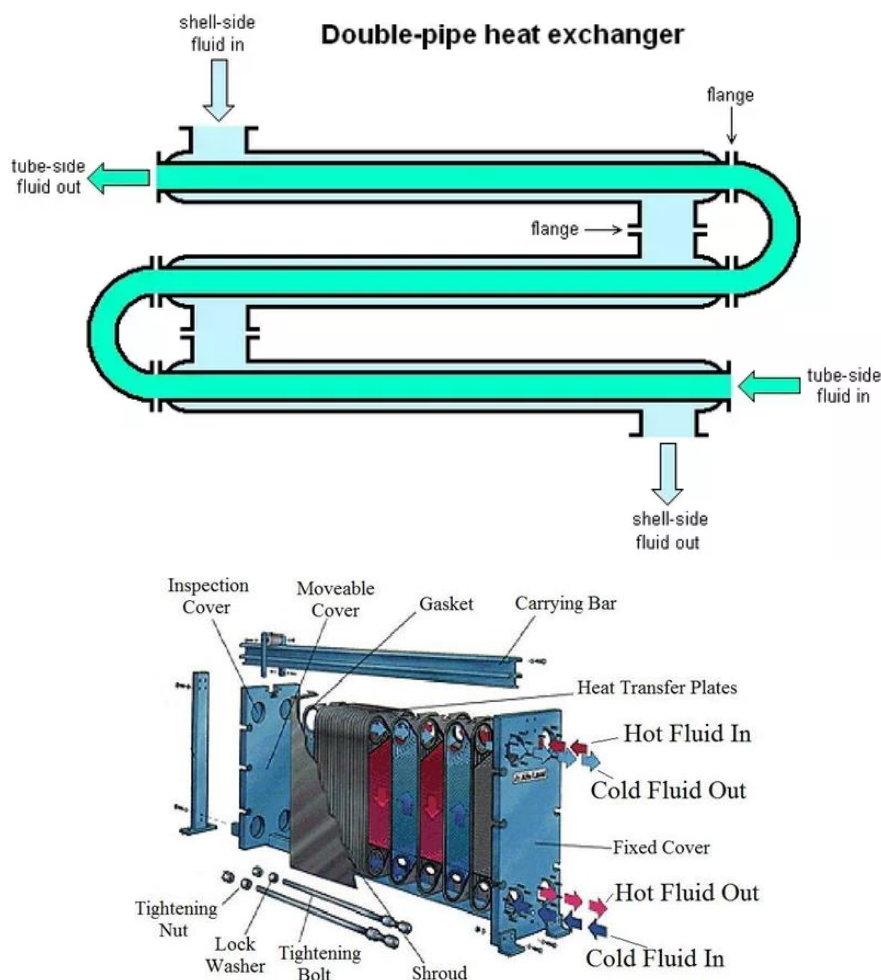
1.7.1 Rohemärgis

Rohemärgis ehk kvaliteedimärgis on põhjalikum kui energiamärgis. See kajastab rohkem hinnatavaid kriteeriume, sh keskkondlikust, sotsiaalsest ja majanduslikust aspektist. Analoogselt energiamärgisele, on kasutusel klassid ja piirid. Rohemärgis on erinevalt kohustuslikust energiamärgisest hoone omanikule vabatahtlik. Eesmärk on anda hoone kvaliteedile sõltumatu hinnang. Põhirõhk CO₂ emissioonil, energiakasutusel ja sisekliimal. Antud tunnistust omava hoone eelised peaksid olema madalamad kasutus- ja halduskulud, energia ja veekasutuse efektiivsus, suuremad rendihinnad, tervislik ja turvaline keskkond ning kõrge maine. Maailmas on levinud kümneid erinevaid rohemärgise meetodeid. Eestis on rohkem räägitud LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) ja BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) hindamisest. Maailmas on levinud kümneid erinevaid rohemärgise meetodeid. Kuna autor puutub igapäevaselt energiamärgistega kokku, võib võrdlusena välja tuua, et energiamärgiste hinnad jäävad sõltuvalt hoone suuruselt ja keerukusest enamasti koos käibemaksuga 200 kuni 2 000 € vahele. Kallimad teenused sisaldavad endas juba tegelikkuses erinevaid tasuvus- või võrdlevaid analüüse, mitte ainult märgist. Rohemärgis ei ole Eestis väga levinud, selle üks põhjuseid on nõude kohustuse puudumine ja hind. Nagu eelnevalt kirjeldatud, jaguneb hind projekteerimis- ja ehitusfaasi. Ühe staadiumi hind algab 10 000 € koos käibemaksuga. Eestis on LEED hindamine tehtud näiteks Rocca al Mare keskusele, Navigaatori büroohoonele ja Viru keskusele. Eesti oma rohemärgise ühe vajaduse puudusena võib välja tuua veesäästu kriteeriumi puudumise. LEED ja BREEAM vee

taaskasutuse või soojusvahetuse süsteemide kajastamise ja arvutusmeetodite kohta tuleb uurida täpsemalt antud märgiste juhendeid. (62), (56)

2 Uuritavad reoveesoojusvahetid

Soojusvahetiks nimetatakse seadet, mis kannab soojust üle ühelt kehalt või keskkonnalt teisele. Eristatakse toru torus, joodetud või tihenditega plaatsoojusvaheteid (Joonis 13) ja spiraaltoru (Joonis 14). Kiirveesoojendite eelisteks peetakse kõrgemat soojuslähikandetegurit, väiksemaid mõõtmeid ja ruumivajadust, väikest mettalimahukust ja häid võimalusi tehasevalmidusega valmistoodete paigaldamiseks. Suuremate tarbimismahude ja -tippude jaoks kasutatakse mahtveesoojendeid (Joonis 14) (5).



Joonis 13 Toru torus soojusvaheti (ülevaht) (allikas: <https://www.quora.com/What-is-double-pipe-heat-exchanger>). Plaatsoojusvaheti (all) (allikas: <http://www.brighthubengineering.com/hvac/61791-features-and-characteristics-of-the-flat-plate-heat-exchanger/>)



Joonis 14 Spiraaltoruga soojusvaheti (vasakul) (allikas: <http://imgusr.tradekey.com/p-3809468-20111229072347/spiral-tube-coiled-tube-heat-exchangers.jpg>). Kaheastmeline mahtveesoojendi (paremal) (allikas: <http://www.atlantic-eesti.com/product/austria-email-boilerid/kahe-soojusvahetiga-mahtboilerid-800-3000-l/>)

Kui soojusvarustuses kaugkütte soojusvahetitena on levinud plaatsoojusvahetid, siis reo- ja hallveesoojusvahetiks nii väikesemõõdulised plaatidevahelised lahendused ei sobi. Kanalisatsioonisüsteemide jaoks on sobilikum toru torus ja mahutiga variant. Soojusvahetitoru materjalina on levinud hea soojusjuhtivusega vask.

2.1 Kohtsoojusvahetid

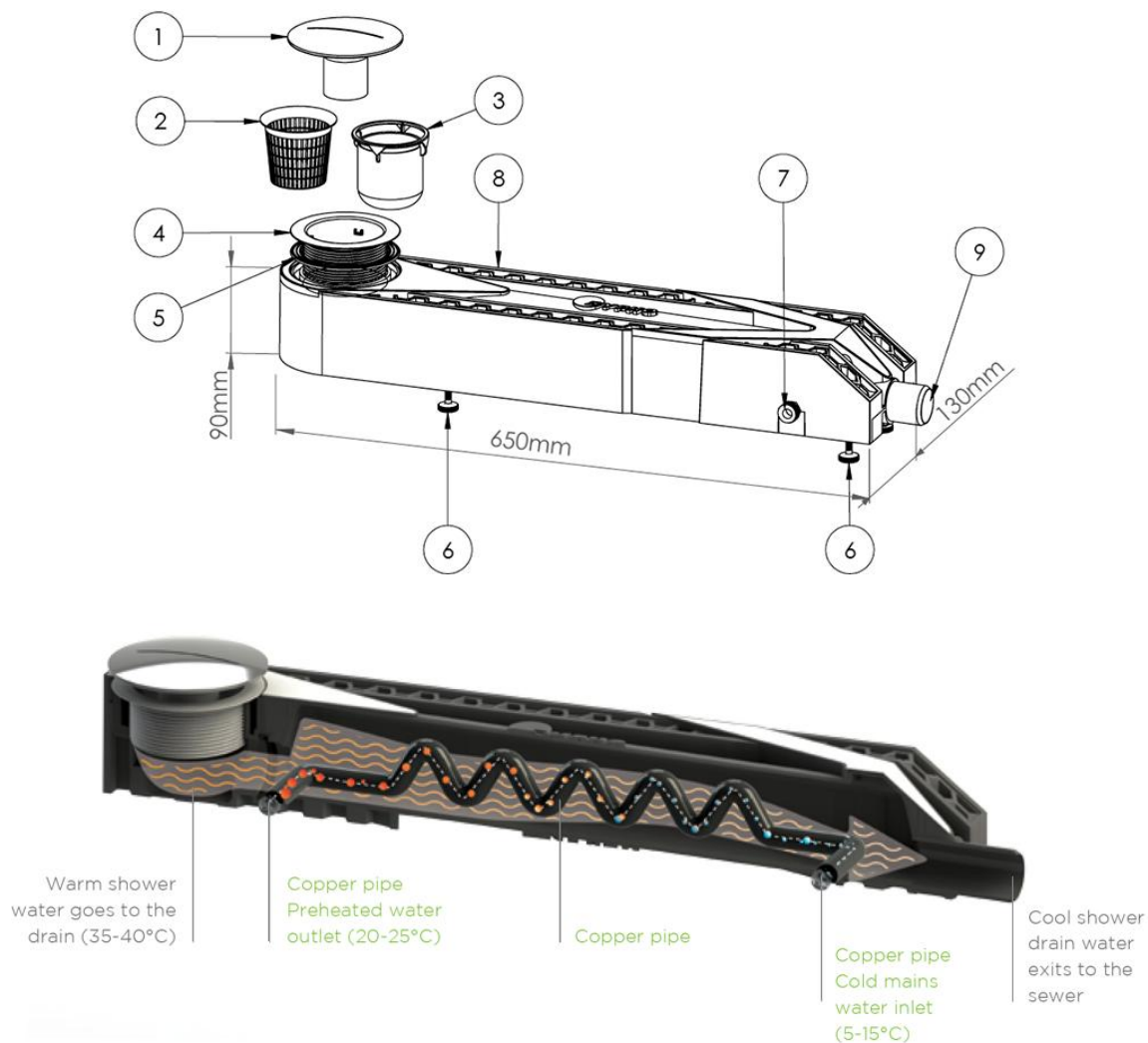
Kohtsoojusvaheteid pakuvad mitmed tootjad (44) (45) (43). Peamiselt hallveena kasutamiseks mõeldud toode sobib hästi dušikohtadele ja selle efektiivsus tootelehtedel on kuni 50%. Hollandi (Joonis 15) (44) toode on mõeldud renntrapina kasutamiseks ja maksab 1000 € + KM, lisaks pakub tootja ka seadme järgi kohandatud dušialust hinnaga 1300 € + KM.



Joonis 15 Dutch Solar Systems BV kohtsoojusvaheti (vasakul) (44). Seadmele kohandatud dušialus (paremal) (44)

2.1.1 Kohalik kohtsoojusvaheti pakkuja näide

Eestis on ametlik esindaja näiteks dušile sobivale kohtsoojusvahetile ettevõtte Intelivent OÜ. Portugalis, Lissabonis peakontorit omav tootja on kodulehel välja toonud temperatuuritagastuse kuni 15°C ehk kuni +25°C-ni ja seejuures kuni 40% aastane sääst vee soojendamisele kuluvast energiast, sõltuvalt paigaldusest ja dušivee vooluhulgast. Sertifikaatide põhjal jääb tootenimega „Zypho“ +10°C külma vee sisendi ja +40°C dušivee soojustagastus 25,7% ja 29,4% vahele sõltuvalt vooluhulgast 5,8 kuni 12,5 l/min. Käesoleva töö edasistes arvutustes kasutatakse soojustagastuse efektiivsust 25%. Toote letihind esindaja sõnul Eestis on 2017. aasta kevade seisuga 300 €/tk + KM, suurema koguse, al 20 tk korral 250 €/tk + KM ja väga suurte koguste korral tuleb küsida konkreetset pakkumist. Toote garantii on 10 aastat, hooldust maaletooja ei paku. Ehitushind oleneb ehitusfaasist – kas tegemist on uusehitisega või rekonstrueerimisega. Seadet saab paigaldada jalgade peale põrandale, näiteks dušialuse või kabiini ja ka vanni alla. Vajadusel saab seadet riputada ka vahetult vahelae alla ehk alumise korruse lakke, sel juhul on lihtsam kasutada renntrapiga äravoolu lahendust. (67)



Joonis 16 Zypho kohtsoojusvaheti mudel (üleval) ja lõige (all) (67)

Tegemist on kohtsoojusvahetiga, mis on mõeldud hallveega kasutamiseks. Dušivesi kogutakse trappi, kust see juhitakse läbi plastkorpuse, mille sees on vasest külma tarbeveetoru, mis toimib omakorda soojusvahetina. Hallveelt osaliselt soojust juurde akumulleenud külm vesi juhitakse sama duši segistisse. Nagu eespool tähelepanu juhitud, tuleks võimaliku temperatuurikõikumise vastu segistis kasutada termostaatpeaga varianti.

2.2 Tsentraalsed soojusvahetid

Tsentraalset soojusvahetit eristab kohtsoojusvahetist tingimus, et sinna jõuab reo- või hallvesi mitmest äravoolukohast. Teoorias võib kokku koguda kogu hoone kanalisatsiooni

ühte kohta, aga pikliku hoone kuju korral on otstarbekas teha hoonetest mitu väljaviiku. Sel juhul tuleks kasutada kesksoojusvaheteid vahetult enne igat hoonest väljaviiku.

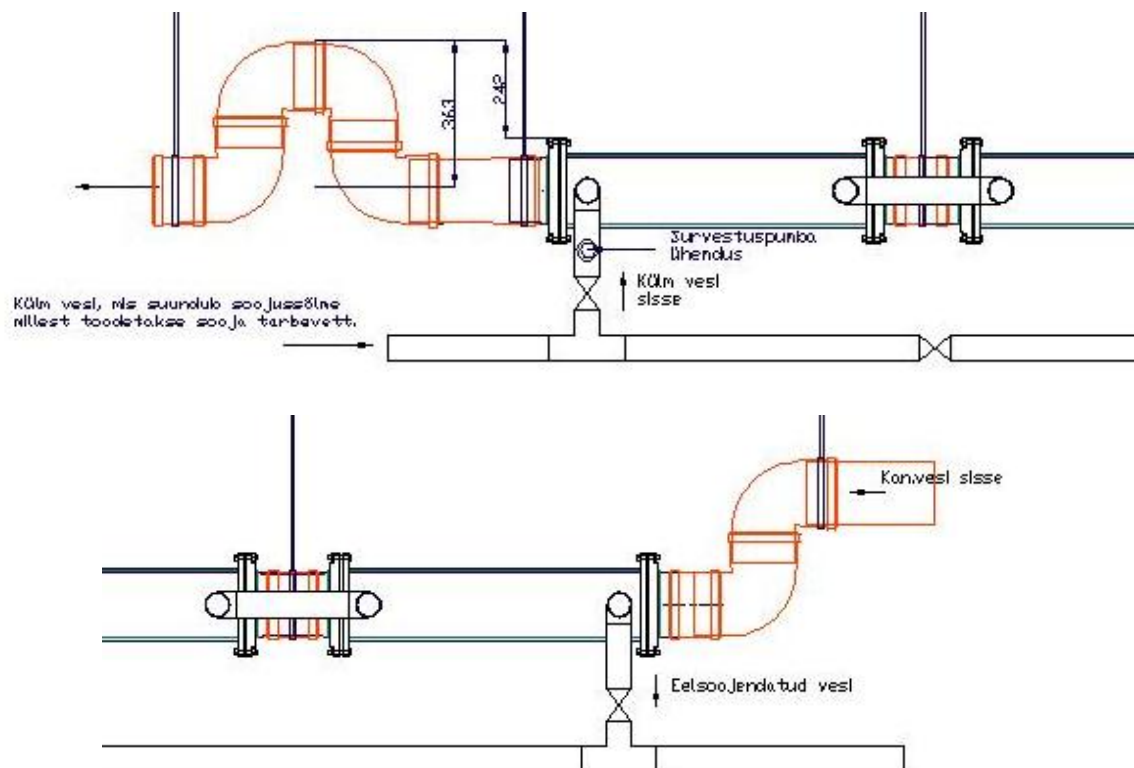
2.2.1 Kohalik kesksoojusvaheti pakkuja näide

Eestis on välja arendatud valmistoode, mida pakub ettevõtte Roheline Mõte OÜ. „Heateco“ seeria tootenime kandev seade on mõeldud paigaldamiseks kanalisatsioonipüstikutele nii horistonaalselt kui ka vertikaalselt. Ettevõtte tegutseb peamiselt Tallinnas ja esimesed valmis tooted on paigaldatud Vilde teel asuvasse korterelamusse (Joonis 17) ja hiljuti valminud Peetri koolimajja, kus asub ka ujula. Esimese kohta on seadme pakkuja mõõtmisandmete (Joonis 17) põhjal arvutanud, et kesmiselt tagastab soojusvaheti 7,5°C külmale tarbeveele. Konkreetse objekti tarbimisandmete põhjal on saavutatud rahaline sääst 940 €/aastas, võttes arvesse kortermaja kõetava pinna 3,5 kWh/m² aastas. Vilde tee kortermaja näitel võetakse antud töös edasiste arvutuste puhul süsteemi temperatuurisuhtarvuks eeldusel, et keskmine püstikust tulev reoveetemperatuur on +20°C, 43% ehk 45°C-se temperatuurivahe korral soojendamiseni 17%, 50°C korral 15%. Toote letihind esindaja sõnul Eestis 2017. aasta kevade seisuga on 1340 € + KM. Toote garantii kohta info puudub, samas hooldus on seadme ostu korral hinna sees ehk tasuta. Nagu eelpool mainitud, saab seadet paigaldada vahetult püstiku algusesse nii püstises ja pikali olekus ja seda müüb viis K-Rautakesko kauplust Eestis, üks esindaja Norras ja toodet on võimalik läbi esindaja osta ka Prantsusmaal, Hollandis, Belgias ja Luksemburgis. (59)



Joonis 17 Vilde tee korterelamu kesksoojusvaheti kanalisatsioonipistikul verikaalselt paigaldatuna (vasakul) (allikas: tootja foto). Soojusmõõtja süsteemi efektiivsuse mõõtmiseks külmaveetorul (paremal) (allikas: tootja foto)

Tegemist on keskseadmena kasutamiseks mõeldud soojusvahetiga, mis saab kasutada nii reo- kui hallveesoojusvahetina. Kanalisatsioonitorusikku juhtitud vesi jõuab soojusvahetini, mis on ümbritsetud vasktorust spiraaliga. Külmaveemagistraal või harutoru soojeneb reo- või hallvee soojusülekande võrra sõltuvalt temperatuuridest ja vooluhulgast (Joonis 18).



Joonis 18 Vilde tee korterelamu kesksoojusvaheti tootejoonis kahes osas (üleval ja all) (allikas: tootja joonis)

Töö autor tellis igapäevase hoonete eriosade projekteerimise käigus antud toote pakkujalt arvutust kahe huvipakkuva objekti kohta. Ühe näol oli tegemist spordikeskusega ja teise puhul hotelliga. Mõlema hoone puhul saadi arvutuste kohaselt potentsiaalseks säästuks umbes 55 €/h hoone kasutusajal. Kuna süsteem eeldab aga paralleelset hallveesüsteemi välja ehitamist ja väheste referentsobjektide tõttu langesid mõlema projekti puhul antud lahendused välja. (55)

Eestis tegeles reoveesoojusvahetitega ka Eesti Termotehnika AS. Kuigi tegemist on ühe esimese soojussõlmede ja plaatsoojusvahetite tootmisele spetsialiseeriund ettevõttega meie riigis, loobusid nadreovee soojusvahetite tootmisest. Põhjenduseks tõi ettevõtte esinadaja välja argumendi, et nemad toodavad lahendusi erinevatest metallidest, aga metallist toode on oluliselt kallim konkurentide osaliselt või täielikult plastmaterjalidest koosnevatest lahendustest. Lisaks toodi välja, et ka soojussõlmede ehitamise turuosa Eestis on nende jaoks mitte primaarne, kuna väidetavalt on meie projekteerimise tase antud valdkonnas alla igasugust arvestust. Alates 2008. aastast ka tööstuslikke soojuspumpasid valmistaval ettevõttel on raamlepingud välismaiste tellijate ja koostööpartneritega üle Euroopa ja ka väljaspool liidumaid. (46)

2.3 Soojuspumplahendused

TTÜ viimasest renoveerimata ühiselamust saab liginullenergiahoone. Pereühiselamute kasutuses olnud hoone energiatarve on minimaalne, kui arvestada tarbevee soojendamisele, küttele ja ventileerimisele mõeldud energiakulu, mis on 80% väiksem kui renoveerimata majades. Tasuvusaeg on ühel või teisel juhul märkimisväärselt lühem kui süsteemi enda eluiga. Katusele tulevad nii päikesepaneelid elektri ja -kollektorid tarbevee soojendamiseks. Pool maja kasutab sooja tarbevee tootmise kulude vähendamiseks suvekuudel päikeseenergiat, teine pool juhib duši- ja köögikraanivee soojustagastisse, kus soe vesi jahutatakse maha ja sellega eelsoojendatakse uuesti värsket tarbimisse minevat vett. Sel juhul saab võrrelda kahte varianti – kõrgema efektiivsusega lühemat aega töötavad päikesekollektorid ja aasta läbi töötav väiksema efektiivsusega heitveesoojustagasi. Autor lisab, et kui alguses oli planeeritud kasutada Heateco soojusvahetit, siis hiljem mindi projekteerimisprotsessis üle kogumismahutiga variandile (Joonis 19). (60)



Joonis 19 TTÜ liginullenergia ühiselamu arhitektuuribüroo Sirkel & Mall OÜ eskiis (vasakul) (60). Superministeeriumi maaküttekollektor (paremal) (61)

Teadmistepõhine Ehitus 2017 konverentsil üles astunud Superministeeriumi ehitaja Fund Ehitus esindaja Eiki Rump tõi välja, et 1.1 MW küttevõimsusega hoone saab ca 120 kW 5200 jm abil pinnasesse paigaldatud maaküttetorust. Uudsenäa toodi välja lahendus, et sademevesi ja дренаazivesi kogutakse osaliselt kokku juhtides selle läbi soojuspumba primaarpoole soojusvaheti. Hoone kogusoojusvõimsuse juures see mõistagi primaarset rolli ei mängi, kui Tallinna Vesi AS antud vee temperatuuri alandamise eest lisatariifi ei küsi (Joonis 19). (61)

Magistriõppetöö raames külastas autor ka Kalevi ujulat Tallinna Vanalinna piiril. Antud hoones on tehnoloogi sõnul kasutusel nii ventilatsiooniseadmete kondensaadivedeliku soojus kui ka hallvee soojusvahetiga soojuspumpsüsteem. Ujulates ja muudes basseinidega hoonetes, näiteks SPA-s, kasutatakse suurte õhuvooluhulkadega ventilatsioonisüsteeme ruumiõhu temperatuuri ja niiskussisalduse tagamiseks. Suurem osa õhuvoolust tsirkuleerib edasi tagasi, sest värske õhu vajalik osakaal on mitmekordselt suuremas õhuvooluhulgas tagatud. Et niiskust õhust välja kuivatada, kasutatakse kondensaatorit, mille käigus jahutuspinnad toodavad üksjagu kondensaadivett. Näiteks basseiniventilatsiooniseadmete tootja Menerga pakub kondensaadiga veekeskuse juurde kuuluvate duššide külma vee eelsoojenduseks mõeldud moodulit. Teiseks on Kalevi ujula ja samas majas tegutseva hotelli summaarne reovee kogus ca 200 m³/p ehk ligi 6000 m³/kuus. Süsteem on eraldatud suures osas kaheks, hotelli vesi läheb otse ja veekeskuse vesi suunatakse pärast

soojuspumpsüsteemis jääsoojuse loovutamist linnakanalisatsiooni. 100 m³/p vooluhulka on muidugi raske kõrvutada tavapärase kortermaja või büroohoonega. Lisaks tuleb toonitada, et ujulate vesi on kõrge kloorisisaldusega, mida tuleb soojusvahetuse süsteemi pikema eluea tagamiseks disainimisel meeles pidada.

Haapsalu reoveepuhastusjaama viimasesse basseini on paigaldatud maasoojuspumbaga ühendatud kollektorkaevud. Viimases settebasseinis pole temperatuur enam puhastusprotsessis oluline ja sealt juhitakse heitvesi suublasse, Haapsalu lahte. Antud primaarpoole abil köetakse kompleksi operatiivseid hooneid (Joonis 20) (55). Õhku jääb küsimus, kas majanduslikult on otstarbekam olemasolev lahendus ehk kütta operatiivhooneid või oleks veelgi efektiivsem soojendada reoveepuhastusprotsessi temperatuuritundlikke erinevaid etappe.

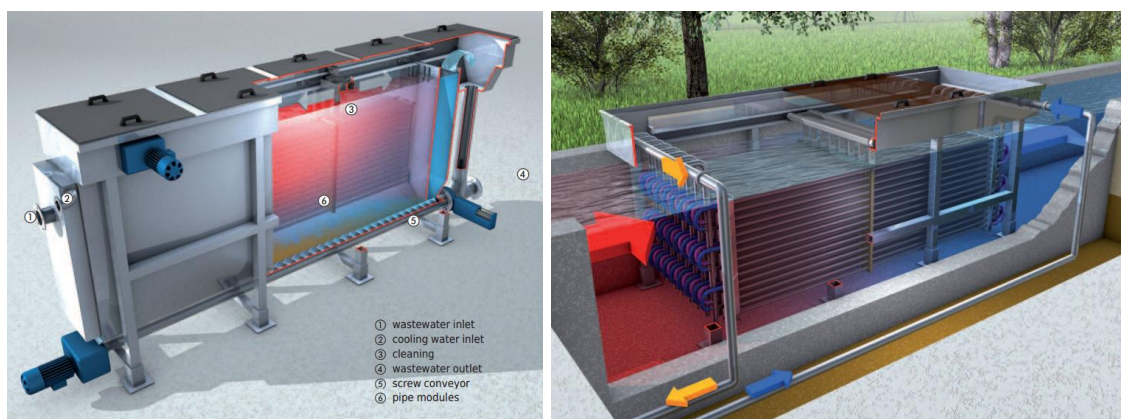


Joonis 20 Haapsalu reoveepuhastusjaam viimase settebasseini maaküttekollektorid veega täitmata (vasakul) ja veega täidetud (paremal) olekus (allikas: autori fotod)

Autor külastas õppetöö raames Vão Elektriijaama Tallinnas, kus puhastatakse kohapeal korstnast kogunevad põlemisjääkidega mustunud jahutusvett. Hetkel jõuab antud tootmisreovee jääsoojus puhastusprotsessi käigus aurustumise abil hoonesse. Kuid plaanis on efektiivsust veelgi tõsta, kuna vett niisama kanaliseerides, osutub see ca 50 €/h püsikuluks jaama tutvustanud tehnoloogi sõnul. Seetõttu on töötatud välja antud vee puhastamisprotsess nii, et sellega kaetakse soojusvõrgu rõhukadusid. Kui kaasata vahetapina ka soojuspumba abil temperatuuri tõstmine, tekiks sääst ka soojusvõrgu vajaliku temperatuuri saavutamise osas (3). Analoogselt võiks teoorias kaaluda prügilate nõrgvee jääsoojusest soojuspumpade abil soojusenergia tootmist.

2.3.1 Kohalik soojuspumbaga keskseadme pakkuja näide

Narvas tegutseb Eesti Energomontaaž AS, mis tegeleb soojusmehhaaniliste ja naftakeemiliste seadmete monteerimise alal. Ettevõtte on Huberi reovee soojusvahetussüsteemide ametlik esinadaja Eestis. Peamiselt tööstuslike lahendustega tegeleva firmal referentsobjekte koos tarbimis- või mõõtmisandmetega välja tuua ei õnnestunud. Küll aga tuleb arvesse võtta, et mõistlikum on antud soojuspumplahenduste puhul soojuspump ise valida Eestis pakutavatest toodetest, sest vaikimisi tuleb komplektis olev soojuspumpseade Saksamaalt ja sellele hooldusteenust Eestis keegi ei paku. (47)



Joonis 21 Kompaktsoojusvaheti (vasakul) (49). Uputatav kompaktsoojusvaheti (paremal) (49)

Huber SE peakontor asub Saksamaal ja selle kodulehelt leiab mitmeid reoveega seotud soojusvahetussüsteemide näiteid üle terve maailma. Näidetena võib välja tuua Šveitsis asuva büroo kõrghoone, millest väljub aastaringselt +10 kuni +20°C-st reovett ja mille 440 kW soojusvõimsega süsteemi COP opereerib 5 ja 6 vahel. Tootevalik ja lahenduste variantide nomenklatuur on väga lai (Joonis 21). (49)

Soojuspumpsüsteemide alapeatüki näidetest on näha, et soojuspumpsüsteemide puhul võib osutuda keeruliseks üldistada soojustagastuse võimalusi. Antud lahendused on väga hoone ja kasutusotstarbepõhised. Lisaks tuleb arvesse võtta konkreetsed saadaval olevad temperatuurid, vooluhulgad ja koguvõimsused.

2.4 Huvigrupid ja seotud osapooled

Järgnevalt kirjeldatakse kanalisatsiooniga seotud soojustagastite võimalikku mõju erinevate sihtgruppide vahel. Kaugkütte-ettevõtte ei pruugi lubada tarbevee soojusvahetisse siseneva võrguvee eelsoojendamist, kuna sel juhul tõuseb kaugkütte tagastuv temperatuur, suurenevad võrgukaod ja väheneb katlamaja efektiivsus. Tarbija jaoks muutub hoone m² ostu- või ehitushind mõnevõrra kallimaks, aga eesmärk on säästa energiakuludelt hoone eksploatatsioonis, mis on iga hoone haldaja huviorbiidis. Projekteerijate ja ehitajate seisukohast ei muutu midagi, tegemist on lihtsalt uue lahendusega, millest on huvitatud rendipinna arendaja, mitte müügi pinna arendaja – nõuded kehtivad mõlemale, seega oht numbritega manipuleerimiseks ehk näidata energimärgises soojusvaheteid, aga reaalsuses ei paigaldata. Kui hallveesoojusvahetite abil saaksime võimalik vähendada duši grupiseadmete tarbitavat soojusvõimsust, oleksid sellest huvitatud näiteks koolimajad ja spordiasutused. Kortermajades alumise korteri lae alla dušiveele soojusvaheti paigaldamisel tekkivate omandiküsimustega näiteks hotelliomanik numbritubade puhul tegelema ei pea. Seadusandluse aspektid on kajastatud magistritöö esimeses peatükis, eelkõige millistele nõuetele vee ja kanalisatsiooni süsteemis kasutatav soojusvahetussüsteem vastama peab. Kui eelnimetatud osapooled on kompromissideks valmis ja suudetakse tõestada toimiv ja piisava tasuvusega kulutõhus tüüplahendus, pöörab ka rohkem tootjaid vastavalt turu nõudlusele antud toodetele rohkem tähelepanu. (55)

3 Analüüs

Antud peatükis toob autor välja vooluhulkade ja temperatuuride vaikeväärtused, millest koht- ja kesksoojusvahetite puhul tuleks esialgsetes arvutustes lähtuda. Nende alusel tehakse läbi arvutused üksikelamu ja kortermaja soojusvahetite variantide näitel. Viimaste abil on võimalik omakorda hinnata energiatõhususe võitu tänu reo- või hallvee soojusvahetuse lahendusele. Eelmises peatükis tehtud järelduse kohaselt soojuspumpadega arvutusi antud magistritöös läbi ei viida, kuna puuduvad üldistamiseks vajalikud lähteandmed.

3.1 Vooluhulk ja temperatuur

Vooluhulga muutusega lähiaastatel tasuvusarvutustes ei arvestata, kuna veekasutuse aastaaruanded näitavad stabiilset tarbimisprofili. Kui vooluhulgad ei ole teada, võrdsustatakse reovee vooluhulk tarbitud veega. Kanalisatsioonis lisandub veel infiltratsiooni- ja drenaaživesi ning ühiskanalisatsioonis pindmine äravooluvesi (11). Järgnevalt toob autor välja standardipõhised tarbimisvooluhulgad (Joonis 22) (Joonis 23) (18).

Veevajaduse otstarve	Tarbimine, l
WC loputusvesi	32
Hügieeni tarvis	60
Pesupesemine	30
Nõudepesu	15
Toiduvalmistamine	4
Puhastus	1
Muud	1
Kokku	143

Joonis 22 Ööpäevane keskmine veetarbimine inimese kohta (18)

Kinnistud	Dušiga, l	Vanniga, l
1 - 2 tuba	100 - 150	150 - 200
3 tuba	150 - 250	200 - 300
4 tuba	225 - 300	275 - 350
5 tuba	300 - 350	350 - 400
6 - 8 tuba	400 - 450	450 - 600
9 tuba	450 - 500	500 - 600
Ühiskondlikud hooned	Ühik	Tarbimine, l
Vanadekodud	Voodikoht	100 - 150
Hooldekodud	Voodikoht	250 - 300
Haiglad	Voodikoht	300 - 700
Hotellid	Voodikoht	300 - 600
Bürood	Töötaja	20
Ettevõtted	Töötaja	25 - 35
Tehased	Töötaja	25 - 35
Restoranid	Külastaja	20
Algkoolid	Õpilane	5 - 10
Keskoolid	Õpilane	10 - 20
Tehnikakoolid	Õpilane	20 - 30

Joonis 23 Detailiseeritud ööpäevane veetarbimine (18)

Veevõrgu veetemperatuuriks on edaspidistes arvutustes võetud $+10^{\circ}\text{C}$ ehk suvine soovituslik väärtus. Reo- ja hallvee potentsiaalseid lahendusi käsitletakse konkreetsetest arvutustes sõltuvalt veevõtuseadmete kombinatsioonist ja arvust.

Duši, vanni ja kätepesu temperatuuriks väljuvast veevõtuseadmest antud magistritöös edaspidi on võetud $+40^{\circ}\text{C}$. Üle antud temperatuuri veega kokkupuude on ebamugav, seejuures üle $+50^{\circ}\text{C}$ juures tekivad minutite jooksul põletused, üle $+60^{\circ}\text{C}$ juures tekib põletus mõne sekundi jooksul ja üle $+70^{\circ}\text{C}$ korral 1 sekundiga. Tuleb märkida, et üle $+39^{\circ}\text{C}$ vanni vees olemine võib mõjuda südamele koormavalt, eriti eakamatel inimestel. (63) Temperatuurilanguks soovitavad erinevad allikad 5 kuni 10°C vahemikku. Võttes arvesse, aurustumise soojuskaod ja ebaühtlase vooluhulga ning muud võimalikud muutujad, arvestatakse antud töös edaspidi temperatuurilanguga 10°C ehk äravoolutorusse jõuab $+30^{\circ}\text{C}$ hallvesi.

Tualetipoti kogumispaaži veetemperatuuriks võib võtta edaspidistes arvutustes $+10^{\circ}\text{C}$. Veetemperatuur antud paagis ei saa oluliselt tõusta eeldusel, et tualetisruumis on keskmine

siseõhutemperatuur +21°C (suvel kõrgem) ja suhteline niiskus 40-50%. Antud ruumiõhupunkti märja termomeetri temperatuur niiskuõhu HX-diagrammi järgi on +13°C kuni +14,5°C (suvel kõrgem). Antud temperatuurini jõuab vesi loputuspaaigis pikemat aega seistes. Seetõttu on võetud arvutuslikuks temperatuuriks +10°C, et mitte ülehinnata potentsiaalse soojustagastuse säästetud energiat, mis sõltub ka temperatuurivahest. Sellest võib tingitud olla ka kõrgema õhuniiskuse korral loputuspaaigi higistamise efekt. Seega ainult tualetipotiveele soojusülekanal põhinevat soojustagastit paigaldada ei ole mõtet, sest temperatuuride vahe kas puudub või on väga väike. Ainult tualetipottide soojusvahetuse korral tuleks kaaluda soojuspumplahendust ja sedagi väga suurte vooluhulkade ehk pottide arvu korral, näiteks hoonetes, kus on väga suured või väga palju tualetiruume.

Hoonete keskmiseks reovee temperatuuriks tuuakse 21 kuni 26°C (13), suveperioodil 10 kuni 15°C, talvel 20 kuni 25°C (66), 21°C (51). Edaspidistes arvutustes võetakse reovee keskmiseks hoonest väljumise temperatuuriks +20°C.

Soojustagastuse temperatuuri suhtarvu valemiga kasutatakse (8):

$$\eta = \frac{(t_{\text{sissevool}} - t_{\text{väljavool}})}{(t_{\text{sissevool}} - t_{\text{külm vesi}})}$$

η – temperatuuri suhtarv [%]

$t_{\text{sissevool}}$ – siseneva reo- või hallvee temperatuur soojusvahetisse [°C]

$t_{\text{äravool}}$ – väljuva reo- või hallvee temperatuur soojusvahetist [°C]

$t_{\text{külm vesi}}$ – soojusvahetisse siseneva külma tarbevee temperatuur [°C]

Soojustagastuse energia leidmise valemiga kasutatakse (8):

$$Q_{\text{tagasti}} = V \cdot \rho \cdot C \cdot \eta \cdot (t_{\text{sissevool}} - t_{\text{külm vesi}})$$

Q_{tagasti} – soojustagastiga kogutud energia [kWh]

V – reo- või hallvee vooluhulk [m³/h]

ρ – reo- või hallvee tihedus [kg/m³]

C – reo- või hallvee erisoojus [kWh/(kg·C)]

η – temperatuuri suhtarv [%]

$t_{\text{sissevool}}$ – siseneva reo- või hallvee temperatuur soojusvahetisse [°C]

$t_{\text{külm vesi}}$ – soojusvahetisse siseneva külma tarbevee temperatuur [$^{\circ}\text{C}$]

Tasuvusarvutustes on kasutatud kaugkütte keskmiseks hinnaks 56 €/MWh (38).

3.2 Kohtsoojusvaheti

Lokaalsed soojusvahetid sobivad kasutamiseks hallvee puhul, näiteks duškohtade jaoks. Üksikelamusse on seadmeid lihtsam paigaldada, kuna hoone ehitamise käigus on lihtsam seadme paigaldamiseks ruumi ette näha. Korterelamute puhul on kindlasti sobilikum variant põrandapealne seade, kas siis vanni all või dušialuse alla paigaldatuna. Kui soojusvaheti paigaldada vahelae alla alumisse korterisse, tekib omandiprobleem, et korteriomani seade on teise korteri sees, seade asub keldrikorrusel või põrand pinnasel 1. korruse puhul põrandas. Lisaks peavad korterid säilitama tuletõkkesoonide nõuded. Viimasena tuleks mõelda ka hoolduse ja avariide lahendamise peale, rikke või probleemi korral on vaja pääseda teise isiku korteriomadisse sisse.

Kui võtta arvutuse aluseks 50% soojustagastuse efektiivsus, saame dušist $+30^{\circ}\text{C}$ vee äravoolu ja $+10^{\circ}\text{C}$ külmavee korral eelsoojendatud külma vee temperatuuriks $+20^{\circ}\text{C}$. Seega varasema $+10/+55^{\circ}\text{C}$ suhte asemel on $+20/+55^{\circ}\text{C}$ suhe, mis annab uue temperatuuri segamise korral soojale vee osakaaluks 15% väiksema vooluhulga.

Suurtes kortermajades ja büroohoonetes ning muudes mitteelamutes soovib autor kaaluda ainult keskseadmeid, sõltuvalt konkreetset olukorrast, kas loomuliku või pöördringprotsessiga lahendust, kuna üksikute seadmete paigaldamine osutub suure seadmete arvu puhul kallimaks keskseadmete variandist. Eelmise peatüki põhjal selgus, et ühe keskseadme investering on ligikaudu sama viie kohtseadme maksumusega. Väljaspool Eestis pakutakse kohtsoojusvahetit ka sama hinnaga, kui kesksoojusvahetit.

3.3 Kesksoojusvaheti

Kui võtta aluseks kortermaja, igas korteris 1 dušš, olukord, saame sarnaselt üksikelamuele 15% väiksema sooja tarbevee vooluhulga. Kui paigaldada 25% efektiivsusega kesksoojusvaheti tavapärase üksikelamu komplekti kogu hallveele, saame ilma vahepealsete soojuskadudeta soojusvahetisse sisenevaks vee temperatuurideks $+30^{\circ}\text{C}$ ja

külmavee eelsoojendatud temperatuuriks $+15^{\circ}\text{C}$. Seega varasema $+10/+55^{\circ}\text{C}$ suhte asemel on $+15/55^{\circ}\text{C}$ suhe, mis annab uue temperatuuri segamise korral soojale veele osakaaluks 6,7% väiksema vooluhulga. Paigaldades analoogse lahenduse kogu üksiklamu reoveele, saame 25% efektiivsusega kesksoojusvahetisse sisenevaks temperatuuriks kokku lepitud $+20^{\circ}\text{C}$ ja külmavee eelsoojendatud temperatuuriks $+12.5^{\circ}\text{C}$ ja temperatuuride suhete vahe annab 3% väiksema sooja tarbevee vooluhulga.

Ühe probleemina saab välja tuua üheaegsuse. Võib tekkida olukord, kus kanalivett toodetakse, sooja tarbevett ei tarbita. Sel juhul tagastatud soojust ära ei kasutata. Teiseks ei tohi vesi soojusvahetisse seisma jääda, et ei tekiks legionellale soodsaid temperatuuri tingimusi. Lisaks, kui tegemist on kogumismahutiga ja soojusvahetuse siuga lahendusega, on vajalik ülevool kogumistünnides, et ei tekiks uputust. See teeb aga mahuti suuruse valiku raskemaks, kuna tippude korral läheb osa soojust kaotsi ja keskmine soojustagastuse efektiivsus väheneb.

3.4 Hoonete energiatõhususe arvutused

Hoonete energiatõhususe arvutuse jaoks on määramatust hinnatud täpsemate andmete puudumise tõttu 50% suuruseks. See sisaldab tarbimise üheaegust, rikkeid ja avariisid, mustumist ja muid määramatust suurendavaid tegureid.

Tabel 4 Sooja tarbevee erikulu ja netoenergiavajadus kütava pinna ruutmeetri kohta koos perspektiivse reo- või hallveesoojusvahetiga

Hoone kasutusotstarve	Netoenergiavajadus [kWh/(m ² ·a)]	Kohtseade	Keskseade
Väikeleamu	25	- / 23.1	24.6 / 24.2
Korterelamu	30	- / 27.8	29.6 / 29.0

Tulemuste analüüsimise näited energiatõhususe metoodikat arvestades. Otstarbekamaks osutub kasutada hallvee soojusvahetit keskseadme puhul. Kohtseadme puhul reovee variant puudub. Autor toob välja üksiklamu energiatõhususe arvu osakaalu näite õhk-vesi- ja maasoojuspumba puhul ning korterelamu korral õhk-vesi- ja kaugkütte näitel korral.

Õhk-vesi soojuspumba COP tarbevee tootmiseks metoodikas on 2,0 ja elektri kaalumistegur 2,0:

- hallvee kohtseadme $ETA = 1.9 / 2.0 \cdot 2.0 = 1.9$ [kWh/(m²·a)]
- hallvee keskseadme $ETA = 0.8 / 2.0 \cdot 2.0 = 0.8$ [kWh/(m²·a)]
- reovee keskseadme $ETA = 0.4 / 2.0 \cdot 2.0 = 0.4$ [kWh/(m²·a)]

Maasoojuspumba COP tarbevee tootmiseks metoodikas on 2.7:

- hallvee kohtseadme $ETA = 1.9 / 2.7 \cdot 2.0 = 1.4$ [kWh/(m²·a)]
- hallvee keskseadme $ETA = 0.8 / 2.7 \cdot 2.0 = 0.6$ [kWh/(m²·a)]
- reovee keskseadme $ETA = 0.4 / 2.7 \cdot 2.0 = 0.3$ [kWh/(m²·a)]

Korterelamu arvutused õhk-vesi soojuspumba korral on järgmised:

- hallvee kohtseadme $ETA = 2.2 / 2.0 \cdot 2.0 = 2.2$ [kWh/(m²·a)]
- hallvee keskseadme $ETA = 1.0 / 2.0 \cdot 2.0 = 1.0$ [kWh/(m²·a)]
- reovee keskseadme $ETA = 0.4 / 2.0 \cdot 2.0 = 0.4$ [kWh/(m²·a)]

Korterelamu arvutuses kaugkütte korral on kaalumistegur 0,9 ja soojusallika kasutegur 1,0:

- hallvee kohtseadme $ETA = 2.2 / 1.0 \cdot 0.9 = 2.0$ [kWh/(m²·a)]
- hallvee keskseadme $ETA = 1.0 / 1.0 \cdot 0.9 = 0.9$ [kWh/(m²·a)]
- reovee keskseadme $ETA = 0.4 / 1.0 \cdot 0.9 = 0.4$ [kWh/(m²·a)]

„Heateco“ soojusvaheti Vilde teel andis säästuks 3,5 kWh/(m²·a), seega oleme energiatõhususe arvutustes määramatusest tulenevat efektiivsuse kadu üle hinnanud ja tegelik energiatõhusarvu võit on mitmeid kordi suurem.

Võttes appi energiatõhususe klassid väikeelamu korral, näeme, et A ja B klassi vahe on 70 kWh/(m²·a) ja B ning C klassi vahe 40 ühikut. Parima säästu saime toodud näidetes hallvee kohtseadme korral üksikelamus 1.9 ETA ühikut. See teeb C klassist B klassi üleminekul ca 5% osakaalu ja B klassist A-sse siirdudes ligi 3% osa. Protsendid pole suured, aga need on soojustagasti efektiivsust varuga tugevalt alahinnates ikkagi olemas. Teisalt kaovad nii väikesed %-d tarbimisprofiilide kõikumistesse erinevate üksikelamute vahel ära.

Korterelamu puhul on A ja B klassi vahe 20 ühikut ja B ning C klassi vahele jääb 30 kWh/(m²·a). Paremad tulemused saime õhk-vesi soojuspumba korral, mis on alternatiivse kütteallikana Eestis tänasel hetkel levinud ja lubatud kasutada ka kaugkütte piirkonnas

asumise korral. Hallvee kohtseadmete korral ollakse ETA arvuga C klassis olles B klassile lähemal 6.7% ja B klassi korral A klassile lähemal 10%. 1/10 suurune erinevus peaks tulema ka suurema korterelamute valimi korral välja, võttes arvesse ka praegust varuga hinnatud mustumise ja muu määramatuse astet.

Sarnase arvutuskäigu abil saab koostada ETA väärtuse mõju ka teistele hoone otstarvetele. Soojuspumbaga keskseadme jaoks tuleks välja töötada metoodika jaoks konkreetne arvutuskäik, mis võtaks arvesse saadaolevad vooluhulgad, koguvõimsused ja temperatuurid. ETA ise aga ei peegelda investeeringut ega igakuist kommunaalkulude arvet.

Teeme 100 korteriga elumaja näite ja eemaldame varuga lisatud 50%-lise määramatuse, kus on investeering „Zypho“ puhul 25 000 € + KM. Kui paigaldame „Zypho“ asemel 10 „Heateco“ toodet, on ehitusmaksumus 13 400 € + KM. Viime läbi kaugküttega korterelamu näite soojuse hinna 56 €/MWh ja oletuse, et igas korteris elab 2 inimest, korral:

- 100 hallvee kohtseadet = $25\,000 / (200 \cdot 28.3 \cdot 4.4 \cdot 0.056) = 17.8$ aastat
- 10 hallvee keskseadet = $13\,400 / (200 \cdot 28.3 \cdot 2.0 \cdot 0.056) = 21.1$ aastat

Asendades 10 hallvee keskseadet 5-ga, on tasuvusaeg 10,6 aastat. Asendades teoreetiliselt ühe keskseadmega, eeldusel, et see laseb antud vooluhulga läbi ja maksumus on sama – 2.1 aastat. See tulemus on juba samas suurusjärgus Vilde tee kortermaja tulemusega, kus korterite arv on 90. Võrreldes ETA tulemusi tasuvusega, on selge, et keskseadmed „Heateco“ korral osutuvad kordades kasulikumaks kohtseadmetest. Tasub meelde tuletada, et Eestis pakutav „Zypho“ on 4-5 korda odavam teised näitena välja toodud Hollandi kohtsoojuvaheti tootest.

4 Järeldused

Töö autor on arvamisel, et reo- ja hallvee soojuste ammutamine enne ühiskanaliseerimise suunamist on üks võimalus hoonete energiaeefektiivsust suurendada ja seeläbi CO₂ tootmist vähendada. Kuigi reoveepuhastusjaam on jahtunud reovee suhtes temperatuuritundlik, siis see tuleks lahendada puhastusjaamas kohapeal, kasutades ühte töös uuritud soojusvahetuse varianti, soojuspumbal põhinevat lahendust. Kogu kanalisatsioonivõrku isoleerima tulevikus ilmselt ei hakata, seega temperatuurilang kanalisatsioonivõrgus reo- ja hallvee soojusvahetuse korral hoonetes on kaasnev nähtus.

Teiseks tuleks antud teemat veel laialdasemalt Eesti kliimatingimuste ja projekteerimismäärade ning energiatõhususe arutamise meetodika taustal uurida. Lisaks temperatuuri suhtarvule tuleks uurida ka seadmete vastupidavust ja ummistuste tekkimise tõenäosust ning üldist soojusvahetite korrosioonikindlust ja soojusvahetite efektiivsuse vähenemist mustumise, rasvade ladestumise, katlakivi tekke ja muude probleemide osas.

Tasuvusarvutustes tuleb arvesse võtta mitte ainult tagastatav soojus ja vee soojendamisele kuluv energiasääst vaid ka reo- ja hallvee süsteemide eristamine hoonetes. See toob kaasa aga lisainvesteeringu lisakanalisatsioonisüsteemi ehitamise näol. Lisaks võtavad hallveesüsteemid seeläbi tehnosahtides ja ruumide ripplagede all rohkem ruumi. Hooldamine on mahukam ning ruutmeetri üüri- või müügihind tõuseb vähenenud kütava pinna tõttu.

Parimat kasutajamugavust silmas pidades ja kuna külmavee temperatuur hakkab soojusvahetuse korral kõikumama, tuleb ehitusmaksumusele lisaks arvestada ka sooja tarbevee temperatuurisegamissõlmedega või termostaatpeaga segistitega. Temperatuure silmas pidades tuleb arvestada, et kogu külma vett soojendades pole võimalik juua külma kraanivett või minna nõ jääkülma duši alla, seega tuleks keskseadmete puhul eelsoojendada pigem ainult sooja tarbevee valmistamiseks mõeldud külma vett. Seejuures peab kavandatav mitmeastmelise soojendusega tarbeveesüsteem legionellabakterite tekke tingimused välistama.

Vilde tee korterelamusse paigaldatud kohtsoojusvahetite tasuvusaeg on seadme pakkuja enda arvutuste kohaselt üle 10 aasta ja energiatõhususe meetodika arvutuste järgi,

arvestades samas suurusjärgus soojustagastusega, mida tootja garanteerib, veidi üle 20 aasta. Antud magistritöö arvutuste lähtetingimuste põhjal on kohtseadmed pikema tasuvusajaga võrreldes keskseadmega. Lokaalsete seadmete puhul tuleks jälgida paigalduskohti, kus sooja vee tootmine on kallid, aga tarbimine suur, et see paremini end ära tasuks.

Soojuspumplahenduste kohta on kõige keerulisem üldistavaid järeldusi koostada. Autori arvates on selge, et soojuspumplahendused on kordades kallimad võrreldes loomulikus soojusülekandega süsteemidest. Piisava mõõdetud efektiivsusandmete puudumise tõttu pole võimalik konkreetset seisukohta tasuvuse kohta võtta. Isegi kui need andmed kõigi erinevate lahenduste kohta suudetakse koguda, peab olema sarnaseid lahendusi mitu tükki, sest ei ole mõistlik võrrelda kortermaja vooluhulkasid ujulaga või büroohoone vooluhulkasid toiduainetööstusega. Keskseadmete, mis tagastavad soojust soojuspumbade abil, puhul on kindlasti üks soodustav lähte-eeldus võimalikult suured sooja tarbevee vooluhulgad või kõrged keskmised reo- ja hallvee temperatuurid.

4.1 Energiatõhususe järeldused

Autor leiab, et energiakandja ja soojusallika kasutegurid võib jätta energiatõhususe sidusmäärustes muutmata, kasutusele tuleks võtta perspektiivsed reo- või hallveesoojusvahetite kasutamise koefitsiendid või omakorda kaalumistegurid. Antud väärtused tuleks omakorda energiatõhususe metoodika määruks lahti kirjutada ja selle arvutamise aluseks oleks projektandmed, sh vooluhulk, temperatuur ja veekogus. Viimaste mitte tõendamise korral tuleks kasutada etteantud vaikeväärtusi. Minimaalselt tuleks eristada esiteks energiatõhususe seisukohalt temperatuuri suhtes erinevat reo- ja hallvett ning teiseks koht- ja keskseadmeid ning keskseadmeid koos soojuspumbaga.

Kui energiatõhususarvutuses reo- ja hallvee soojusvahetust üldse ei kajastata, aga selle tegelik efektiivsus on piisavalt suur, siis teame ette, et tekib erinevus arvutusliku energiatõhususarvu ja kaalutud energiaerikasutusel põhineva energiamärgise vahel. Kuid arvutusliku olukorra ehk uusehitise kavandamise faasis või olulist rekonstrueerimist läbi viies on eesmärk prognoosida tegelikke energiakulusid võimalikult reaalse olukorra sarnaselt. Kui soojustagastuse efektiivsus on liiga madal, näiteks juba kerge mustumisega

alaneb oluliselt, siis ei ole võimalik üldistada. Sel juhul leiab autor, et energiatõhususarvutustes ei tohiks olla lubatud arvestada soojusvahetusega arvestada, sest antud kõrvalekalle sooja tarbe vee tootmise säästust kaob erinevate hoonete tegelikesse tarbimisprofiilide erinevusse ära. Teisisõnu potentsiaalne säästutrend ei ole korrelatsioonis piisavas mahus hoonetega.

Kaalutud energiaerikasutuse puhul tuleb soojustagastuse efektiivsus välja reaalsest arvutusest tegelike mõõtmiseandmete põhjal, seejuures tuleb mõõta nii soojustagastuse kui ka sooja tarbe vee tootmise energiat. Vastasel korral on lähteandmed osalised ja tegemist on osalise eeldamisega ja täiemahulist analüüsi läbi viia ei ole võimalik. Erinevate energiakuluallikate tsooniti või otstarvete järgi mõõtmine peaks olema igas kaasaegses tehnosüsteemide projektis vaikimis juba ette nähtud. Sel juhul on tulevasel hoone haldajal või omanikul võimalik analüüsida, kuhu ja miks energiat rohkem või vähem kulub. Ainult peaarvestite ja -kulumõõtjate andmete põhjal saab leida küll summaarse kaalutud energiaerikasutusel põhineva energiatõhususarvu, kuid üksikuid kuluartikleid analüüsida ei ole võimalik ja seeläbi tuvastada, kui suure osa sellest moodustas reo- või soojusvahetuse osakaal.

Kanalisatsioonisüsteemidega seotud soojusvahetite sissekirjutamine hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika määrusesse soodustaks nende edasiarendust ja suuremat teadmistebaasi ning kogemuse tekkimist. Üks võimalus on, tõendatud ja võimalusel ka hoonete energiatõhususe arvutusmetoodikas kajastatud toimivate, kanalisatsiooniga seotud soojusvahetite laialdasema kasutuselevõtu propageerimine uutes hoonetes või oluliste rekonstrueerimiste korral erinevate riiklike või kohalike omavalituste toetusmeetmete abil. Samas toetusmeetmel võib olla ka teine külg, siinkohal on Tallinna Tehnikaülikooli emeriitprofessor Kaido Hääl toonud välja hea näite päikesekollektori toetusmeetme puhul. Nimelt seadmete toetusperioodi ajal võib osutuda konkreetsete seadeldiste ja paigaldustöö summaarne hind koos toetusrahadega kokkuvõttes kõrgemaks, kui toetusmeetmevälisel perioodil. Võib loota, et reo- ja hallveesoojusvahetite paigaldamismaht osutub suuremaks kui päikesekollektorite puhul, seega tegutseb turul rohkem pakkujaid ja paigaldajaid ning ei teki nii kergelt hinnamonopoli olukorda. Kirjeldatud olukord võib muutuda aktuaalsemaks analoogselt elektriga PV-paneelide puhul ehk kui sooja vee tootmine oluliselt kallineb, tekib turule rohkem tooteid ja toote suhteline

ühikhind alaneb ning kvaliteet saab paraneda turult konkurentsivõimetute väljalangejate arvelt. Kui peaks tekkima olukord, et reo- ja hallveesoojusvahetite tegelik tasuvus on oodatust parem, aga mingil põhjusel neid energiatõhususe määrustes otseselt kasutada pole soovitatav, ei ole tegelikult probleem, sest nende tasuvus ja efektiivsus tuleb hoonete ekspluatatsioonis aastate pärast välja. Probleem võib tekkida siis, kui soojusvahetid võivad jääda arvutuslikus energiamärgises arvestamata ja nõutud liginullenergia klassi tagamiseks võidi võtta kasutusele kanalisatsiooni soojusvahetite kasutamisest ehitusmaksumuslikult kallimad meetmed. Viimased võivad olla nii otsesed kui kaudsed, näiteks võeti kasutusele kallimad aknad parema soojapidavuse abil aastase kütteenergia vähendamiseks või vähendati akende pindala ja selle võrra langes müüdava kinnivara ruutmeetri hind.

4.2 Ettepanekud töö edasiarendamiseks

Autori hinnangul tuleks koostöös konkreetse seadmete edasimüüjate või tootjatega aktiivselt suhelda ja tekitada tarbimisandmete kohta laiamahuline andmebaas. Võimalusel tuleks katsetada erinevate konkreetsete kohtseadmete ja keskseadmetega lahendusi. Soojuspumplahendused on mõistagi kallimad ja neid süsteeme lihtsalt katsetuseks ehitada ei ole nii lihtne. Kuid lisaks TTÜ liginullenergia ühiselamu plaanitavatele reovee soojusvaheti mõõtmistele tuleks võrrelda ka teisi juba teadaolevaid välja ehitatud reo- ja hallveesoojusvahetuse süsteeme. Selleks tuleks kontakteeruda vastavate hoonete haldajatega ja leppida kokku võimalus tarbimise ja temperatuuriandmedi logida.

Töö autor leiab, et TTÜ liginullenergiahoonete uurimisrühm peaks antud valdkonna osas võtma konkreetse seisukoha enne täielikku A energiaklassi hoonetele üleminekut, missugused lahendused on toimivad ja sobivad ning mahuvad kuluefektiivsete projektide raamidesse. Loomulikult saab eeldada ise mõtlemist projekteerijatel ja ehitajatelt, kuid igasugused pilootprojektid on reeglina tüüplahendustest kordades kallimad ja seetõttu jäävad paljud neist vaid projekti tasemele.

Kokkuvõte

Käesolevas magistritöös uuriti kanalisatsioonisüsteemide soojustagastuse võimalusi teaduspublikatsioonide ja turul pakutavate koht- ning keskseadmete näitel. Reo- ja hallvee soojuse kasutamine hoones enne selle kanalisatsioonivõrku juhtimist hoiaks hoones kulutatud soojusenergiat kokku võrreldes ühiskanalisatsioonisüsteemi suunamisega, kus sõltuvalt aastaajast ja tingimustest reovesi enne reoveepuhastusjaama jahtub. Puhastusjaamade temperatuuritundilke protsesside vastu on võimalik kasutada kohapealseid soojuse tootmise võtteid, seejuures soojust saab toota ka heitveest.

Soojusvahetuse võimalusi on mitmeid, välja on töötatud nii teoreetilisi lahendusi, reaalseid prototüüpe ja tooteid. Tavaliselt kujunevad pilootprojektid tavapäraest kulutõhusatest tüüplahendustest kallimaks. Eestis pakutavate toodete puhul konkreetsed toimivad lahendused ja mõõtmisandmetel tõendatud valimi põhjal tagasiside puudub. Kas eelistada koht- või keskseadet, sõltub konkreetsest olukorrast, kus peamised kriteeriumid on temperatuurid, vooluhulgad ja soojusvõimsused.

Lokaalsete seadmete eeliseks on hallvee kasutuse puhul kõrgem soojustagastuse temperatuurisuhtarv. Küsimused tekivad paigalduse, hoolduse ja mustumisega. Keskseadmete puhul on paigaldus ja hooldus lihtsam, soojuvahetuse efektiivsus aga madalam. Küsimärgi all on samuti mustumisel vähenev energiasääst. Tsentraalsed soojuspumpsüsteemidega lahendused on võrreldes loomuliku soojusülekanedega paindlikumad ja suurema efektiivsusega, kuid oluliselt kallima alginvesteeringuga. Vaadeldud lahenduste puhul puudub ühtne tõendatud ja süstematiseeritud tasuvusaja ülevaade.

Eeldusel, et koostatakse korrektne analüüs, projekt ja teostus, võib vee ja kanalisatsioonisüsteemide projekteerimises käesolevas töös vaadeldud soojusvahetussüsteeme projektidesse kaasata. Hoonete energiatõhususe seisukohast puudub otsene alus neid energiatõhususarvutustes kajastada. Töö autori arvates on uuritud lahendustel potentsiaali kaasata neid liginullenergia nõuete tagamisele, kuid selleks oleks vaja koostada põhjalikud uuringud ja analüüsid, millel alusel on võimalik teha üldistavaid järeldusi või juhiseid energiatõhususe määruste tasemel.

Summary

In this master's thesis, available sewerage heat recovery systems were studied based on scientific studies and products on the market. Sewage and greywater heat could be used by building itself instead of guided to sewerage network, where it cools down furthermore, depending on the season and conditions. As processes at wastewater treatment plant are temperature sensitive, additional heating for compensation can be produced on site, in doing so heat could be produced from effluent.

There are several different heat recovery options, both theoretical and prototype or product based solutions. Usually pilot-projects turn out too expensive compared to cost-effective items. Products offered in Estonia are not well proved by measurement data or other feedback in the lack of built examples. To prefer local or central units, depends on specific situation, where the main criteria are temperatures, flow rates and heat capacities.

Greywater units have the advantage of higher temperature heat recovery ratio. Questions arise for installation, maintenance and dirt growth. Central units tend to be easier to install or maintain, but the efficiency is lower as well as dirt growth for the energy savings. Heat pump based central system solutions are more efficient and flexible compared to natural heat transfer, but demand higher investments. There is no proven and systematical data or review for payback.

Assuming that correct analysis, design and execution are compiled, sewerage heat recovery systems may be integrated in projects observed in thesis. From building energy efficiency point of view, there is no direct basis to apply in energy calculations. Author claims, that studied solutions may have the potential to be taken up by near zero energy buildings requirements, but it would need to be proven through research and analysis. From that basis there is possible to draw general conclusions or guidelines for energy efficiency level regulations.

Kasutatud kirjandus

1. **Jõelet, Argo.** *Soojuspuuraukude mõju keskkonnale. Aruanne.* Tartu : Tartu Ülikool, 2007.
2. **Jõelet, Argo, Gaškov, Mikk ja Polikarpus, Maile.** *Soojussüsteemi puurkaevu ja -augu mõju põhjavee ja pinnase füüsikalistele omadustele ning põhjavee keemilisele koostisele Eesti tingimuses.* Tartu : Tartu Ülikool, 2012.
3. **Karu, Jaan.** *EKV0022 Ühisveevärk II. Kursusekonspekt.* Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2016.
4. —. *Veevärk.* Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2016.
5. **Kõiv, T.-A. ja Rant, A.** *Hoonete küte.* Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2013.
6. **Kõrgmaa, Vallo.** *EKV0053 Reoveekäitlus. Kursusekonspekt.* Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2016.
7. **Leijenaar J.** *Spa Pärnu WES & ATES Feasibility study.* s.l. : IF Technology bv, 2013.
8. **Martin, Chris.** *Waste Water Heat Recovery Systems (Instantaneous Shower): Mehtod statement recognition in SAP.* 2013.
9. **Mikola, Alo.** *Sanatoorium Tervis AS hoonekompleksi energiatõhususe analüüs ja meetmete väljatöötamine energiaefektiivsuse suurendamiseks.* Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2016.
10. **Novak, Celeste Allen.** *Smarter, Safer Hot Water: Digital Thermostatic Mixing Stations.* s.l. : Powers A Watts Water Technologies Company, 2015.
11. **Pachel, Karin.** *EKV0051 Kanalisatsioonivõrk ja pumplad. Kursusekonspekt.* Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2016.
12. **Päärni, Kalle.** *Tehnosüsteemid väikeelamus.* Tallinn : Ehitame kirjastus, 2014.

13. **Seybold, Cristopher ja Brunk, Marten.** *In-House Waste Water Heat Recovery*. s.l. : REHVA Journal, 2013.
14. **Suurkask, Valdu.** *Hoonete veevärk ja kanalisatsioon*. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2012.
15. **Tõniste, Eveli.** *Lumega jahutamise potentsiaal Tallinnas. Magistritöö*. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2016.
16. **Virronen, Kaidi.** *Päikese ultraviolettkiirgus Eestis. Magistritöö*. Tallinn : Tallinna Ülikool, 2014.
17. **Eesti Majandusministeerium ja Eesti Keskkonnaministeeriumi ehitusosakond.** *Elamu tehnosüsteemid. Vesi ja kanalisatsioon. Soojus ja ventilatsioon. Elekter*. Tallinn : Ehitame kirjastus, 2000.
18. **Eesti Standardikeskus.** *EVS 835:2014 Hoone veevärk*. Tallinn : Eesti standardikeskus, 2014.
19. —. *EVS 846:2013 Hoone kanalisatsioon*. Tallinn : Eesti Standardikeskus, 2013.
20. **Elveso AS.** Elveso koduleht. *Vesi*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://elveso.ee/vesi/avaldused-ja-taotlused/kastmisvesi-avaldukus/>.
21. **Esmar Vesi OÜ.** Esmar Vesi OÜ koduleht. *Projekteerijale*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. http://www.esmarehitus.ee/vesi/proj_v/n%C3%B5uded/n%C3%B5uded-kastmisveem%C3%B5%C3%B5tja-paigaldamiseks.
22. **Fortum Eesti AS kodulehekül.** *Soojuse tarbijale*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.fortum.com/countries/ee/tarbijale/kaugkyte/vesi/legbakter/pages/default.aspx>.
23. **Fortum Rootsi haru kodulehekül.** *Products and services*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.fortum.com/en/products-and-services/district-heating-and-cooling/district-cooling/pages/default.aspx>.

24. Fortum Eesti AS kodulehekül. *Meist*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.fortum.com/countries/ee/meist/teated/pages/baltimaade-esimene-kaugjahutusjaam-on-pidulikult-avatud.aspx>.
25. Keskkonnaministeerium. *Proovivõtumeetodid*. Tallinn : Riigi Teataja, 2017.
26. —. *Veehaarde sanitaarkatiseala moodustamise ja projekteerimise kord ning sanitaarkaitsealata veevõtukoha hooldusnõuded põhjavee kaitseks*. Tallinn : Riigi Teataja, 2011.
27. Majandus- ja taristuminister. *Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika. Määrus nr 58*. s.l. : Riigi Teataja, 2015.
28. —. *Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Määrus nr 55*. s.l. : Riigi Teataja, 2015.
29. —. *Nõuded ehitusprojektile. Määrus nr 97*. s.l. : Riigi Teataja, 2015.
30. Majandus- ja taristusminister. *Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Määrus nr 36*. s.l. : Riigi Teataja, 2015.
31. Riigi Kinnisvara AS. *Juhend tehnilised nõuded kooli- ja büroohoonetele. Ruumikaardid. Tehnoruumid*. Tallinn : RKAS, 2013.
32. Riigikogu. *Ehitusseadustik*. s.l. : Riigi Teataja, 2015.02.11.
33. —. *Veeseadus*. Tallinn : Riigi Teataja, 2017.
34. —. *Ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni seadus*. Tallinn : Riigi Teataja, 2017.
35. Sotsiaalministeerium. *Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid*. Tallinn : Riigi Teataja, 2015.
36. —. *Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsitava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded*. Tallinn : Riigi Teataja, 2010.
37. Tallinna Vesi AS. Tallinna Vesi AS koduleht. *Iseteenindus*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://klient.tallinnavesi.ee/Application/Application?appId=5>.

38. Utilitas Tallinn AS kodulehekül. *Teenused ja hinnad*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://soojus.ee/wp-content/uploads/2017/04/UTL-hinnad-ajalugu.pdf>.
39. Vabariigi Valitsus. *Kanaliseerimisvõrgu ehitiste veekaitse nõuded*. Tallinn : Riigi Teataja, 2010.
40. —. *Reovee puhastamise ning- heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatav nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piiräärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed*. Tallinn : Riigi Teataja, 2017.
41. —. *Reoveekogumisalade määramise kriteeriumid*. Tallinn : Riigi Teataja, 2009.
42. Karron, Kalle. *Rakvere Targa Maja - Eesti esimese liginullenergiahoone ehitamise kogemus. Ettekanne*. 2015.
43. Building Green Inc koduleht. *Drainline Heat Exchangers*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.buildinggreen.com/news-article/drainline-heat-exchangers>.
44. Dutch Solar Systems BV. *DSS Shower Heat Recovery Drain Unit*. s.l. : Dutch Solar System BV, 2017.
45. Ecodrain koduleht. *Products*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://ecodrain.com/en/products/>.
46. Eesti Termotehnika OÜ koduleht. *Firmast*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.termotehnika.ee/?cid=1>.
47. Eesti Energomontaaž AS koduleht. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://eem.ee/>.
48. Green Building Advisor kodulehekül. *Heat-Pump Clothes Dryers*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/guest-blogs/heat-pump-clothes-dryers>.
49. Huber SE koduleht. *Case Studies*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.huber.de/products/energy-from-wastewater/huber-heat-exchanger-rowin.html>.

50. Ilm.ee. *Veepuudus maailmas süveneb*. [Võrgumaterjal] 16. 03 2010. a. <https://ilm.ee/?47102>.
51. International Wastewater Systems kodulehekül. *Wastewater Heat Recovery Concept*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.sewageheatrecovery.com/wp-content/uploads/2014/11/SHARC-660-Information.pdf>.
52. Lucerne University of Applied Sciences and Arts kodulehekül. *Dishwasher with Heat Pump*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.hslu.ch/en/lucerne-university-of-applied-sciences-and-arts/research/projects/detail/?pid=724>.
53. Maaküte OÜ koduleht. *Referentsid*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.maakyte.ee/referentsid/suured-projektid/>.
54. Merko Ehitus Eesti AS koduleht. *Projektid*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://merko.ee/projekt/viimsi-lubja-kula-vaakumkanalisatsiooni-ja-veetorustike-projekteerimis-ja-ehitustood/>.
55. O3 Inseneribüroo OÜ. *Projektipank*. Tallinn : O3 Inseneribüroo OÜ, 2017.
56. ROHEMÄRGIS. *Hoonete BREEAM ja LEED hidnamine ning konsultatsioon*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. www.buildinglabel.ee.
57. Ravak Baltic UAB kodulehekül. *Tooted*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.ravak.ee/ee/termostaatsegistid>.
58. Riigi Ilmateenistus koduleht. *Kliima*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/ohutemperatuur/>.
59. Roheline Mõte OÜ koduleht. *Avaleht*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.heateco.eu/index.php?id=10193>.
60. *Mustamäel peetakse paneelmajade päästeplaani*. Rudi, Hanneli. s.l. : Postimees, 2017.04.16. a.
61. Rump, Eiki. *Teadmistepõhine ehitus 2017. Superministeerium ettekanne*. Tallinn : EKVÜ, 2017.

62. Seinre, Erkki. *Eesti rohemärgise alused - kas Eesti vajab oma rohemärgist & kuidas seda ette valmistada? - Teadmistepõhine ehitus 2013 ettekanne*. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, 2013.

63. Senior Health 365 kodulehekül. *Bath Water Temperature Safety for the Elderly*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.seniorhealth365.com/2012/11/30/bath-water-temperature-safety-for-the-elderly/>.

64. V-ZUG Ltd kodulehekül. *First washing machine to feature a heat pump*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. https://www.vzug.com/ch/en/ch_news_new_wa_adora_washing_machine_heat_pump_2013.

65. Veepuhastuse OÜ koduleht. *Vee taaskasutus*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://www.veepuhastus.ee/index.php?page=118>.

66. Water & Wastewater Treatment kodulehekül. *Taking the heat out*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.edie.net/library/Taking-the-heat-out/5842>.

67. Zypho Drain Water Heat Recovery koduleht. *Models*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <http://zypho.eu/models/>.

68. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. *Hoonete energiatõhusus*. [Võrgumaterjal] 15. 04 2017. a. <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>.