



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Energiatehnoloogia instituut

SOOJUSSÕLME ÕPPESTENDI JUHENDMATERJALI KOOSTAMINE

MAKING A GUIDE FOR THE DISTRICT HEATING SUBSTATION TEACHING BENCH

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Anna-Liisa Virro

Üliõpilaskood: 213693EACB

Juhendaja: Kertu Lepiksaar,
doktorant-nooremteadur

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“..31..”mai..... 2024

Autor: Anna-Liisa Virro

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“..31..”mai..... 2024

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees Oliver Järvik

/ nimi ja allkirjastatud digitaalselt/

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Anna-Liisa Virro

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

„Soojussõlme õppestendi juhendmaterjali koostamine“,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Kertu Lepiksaar,
(juhendaja nimi)

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

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

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

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

31.05.2024 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Anna-Liisa Virro, EACB213693

Õppekava, peeriala: EACB17/17, Energiatehnoloogia

Juhendaja(d): Doktorant-nooremteadur, Kertu Lepiksaar, +372 58162989

Lõputöö teema:

(eesti keeles) „Soojussõlme õppestendi juhendmaterjali koostamine.“

(inglise keeles) „Making a guide for the district heating substation teaching bench“

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tutvuda soojussõlme osadega
2. Anda ülevaade soojussõlme õppestendist ning koostada laboritööde juhendmaterjal
3. Teha järeldused laboritööde võimalikest katsete tulemustest ja sooritustest

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tutvuda soojussõlme õppestendiga.	06.02.2024
2.	Õppestendi komponentide kirjeldamine ja juhendi koostamine.	06.05.2024
3.	Juhendmaterjali vormistamine ja töö analüüs.	31.05.2024

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "31" mai 2024.a

Üliõpilane: Anna-Liisa Virro
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Kertu Lepiksaar
/allkirjastatud digitaalselt/

Programmijuht: Oliver Järvik
/allkirjastatud digitaalselt/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	9
1 . Soojussõlm ja selle komponendid.....	10
1.1 Soojussõlmed.....	10
1.1.1 Soojusvaheti	12
1.1.2 Pumbad.....	15
1.1.3 Automaatika	16
1.1.4 Ventiidid.....	19
1.1.5 Torustikud, armatuur ja muud seadmed	20
1.1.6 Paisupaak.....	21
2. Õppestendi juhendi kirjeldus	22
2.1 Üldine soojussõlme kasutusjuhend.....	22
2.2 Õppestendi töö algandmed.....	25
2.3 Õppestendi ülesanne.....	25
2.4 Õppestendi eeltöö.....	26
2.4.1 Pumba vooluhulga arvutamine	26
2.4.2 Soojusvaheti vooluhulkade arvutamine.....	27
2.4.3 Reguleerventiili arvutamine.....	27
2.5 Õppestendi laborikatse juhend – reguleerventiili uurimine.....	28
2.6 Õppestendi laborikatse töökäik.....	31
2.7 Lisaküsimused.....	33
KOKKUVÕTE	34
SUMMARY.....	35
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	36

EESSÕNA

Antud bakalaureusetöö teema sai valitud eelkõige autori juhendaja Kertu Lepiksaare eestvedamisel Energiatehnoloogia instituudis projekteeritava soojussõlme õppetendi valmimisest. Lõplik lõputöö sõnastus tuli juhendaja poolt. Autor loodab anda ülevaate eelkõige Tallinna Tehnikaülikoolis asuvast soojussõlme õppetendist, mis on koostatud just üliõpilastele nende praktiliste kogemuste suurendamiseks soojusvarustussüsteemide planeerimisel ning nendega töötamisel.

Töö jaoks vajalik informatsioon on enamjaolt saadud Eesti Termotehnika AS-lt, kes valmistab soojussõlme ning jagas autorile soojussõlme osade tehniliste andmete brošüürid. Lisaks Eesti Jõujaamade ja Kaugkütteühingu „Soojussõlmed“ juhised ja eeskirjad, kust on võetud valemid laboritööde arvutusteks. Soojussõlme õppetend on valminud Danfoss AS, Silekt OÜ, Fimole OÜ, Grundfos Eesti, Küttemaailm OÜ ja Eesti Termotehnika AS ja Energiatehnoloogia instituudi koostöö raames aastal 2023.

Töö koostaja soovib tänada oma juhendajat Kertu Lepiksaart. Lisaks Hain Dengot ja Laura Kioleini Eesti Termotehnika AS-st.

Käesolev bakalaureusetöö tutvustab Tallinna Tehnikaülikoolis olevat soojussõlme õppetendi. Töö räägib lähemalt soojussõlme osadest. Teises osas on koostatud õppetendile juhendmaterjal, mille alusel saavad üliõpilased läbi viia praktilisi töid. Praktilise töö läbiviimiseks on vaja omada varasemaid teadmisi soojus- ja massilevist, tootmisautomaatikast ning hüdromehaanikast.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

C – vee erisoojus, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

DN – ventiili sisediameeter

EEI – Energiatõhususe indeks

g – rakenduskiirendus $9,81 \text{ m/s}^2$

G – kaugkütteevee arvutuslik vooluhulk, L/s

H – tõstekõrgus, m

K_{VS} – vooluhulga tegur, m^3/h

K_V – valitud reguleerventiili K_{VS} - väärtus, m^3/h

mVS – meetrit veesammast

n – korterite arv hoones

N – arvutuslik võimsus, W

Δp – arvutuslik rõhukadu reguleerventiilis, bar

Δp_T – reguleerventiili tegelik rõhukadu, kPa

ΔP_t – täissurve, Pa

Δp_S – hoone sisendi rõhkudevahe, kPa

ΔT – kütteevee temperatuuride arvutuslik vahe, K

Q – pumba tootlikkus, m^3/s

β – reguleerventiili mõjutegur

η – kasutegur, %

ρ – vee tihedus, kg/m^3

ϕ_a – arvutuslik soojuskoormus, kW

SISSEJUHATUS

Tänapäeva modernses ühiskonnas on laialdaselt levinud kaugküttesüsteemid, mis on tuntud oma tõhususe ja jätkusuutlikkuse poolest. Nende süsteemide keskmeks võib nimetada soojussõlmi, mis on kõige olulisem liides soojusjaama ja mitmete sadade hoonete vahel. Soojussõlmed mängivad keskset rolli energiakadude vähendamises, tõhususe suurendamisel ja tarbijatele usaldusväärse soojusvarustuse tagamisel. [1], [2], [3]

Lihtsa põhimõtte alusel töötavad soojussõlmed hõlbustavad soojusenergia ülekandmist primaarküttevõrgust sekundaarahelatesse, üksikutesse hoonetesse. Põhikomponentide hulka kuuluvad soojusvahetid, tsirkulatsioonipumbad, juhtimissüsteemid ja ohutusmehhanismid, mis aitavad reguleerida voolu, temperatuuri ja rõhku. Lisaks pakuvad need paindlikkust energiaallikate osas, võimaldades integreerida taastuvaid ja jääksoojusressurse, soodustades seeläbi kütteinfrastruktuuri jätkusuutlikkust ja vastupidavust. [1]

Soojussõlmed leiavad rakendust erinevates hoonetes ja -kogumites, alates elamukompleksidest ja ärihoonetest kuni tööstusrajatiste ja ülikoolilinnakuteni. Nende mitmekülgne disain võimaldab kohanduda erinevate keskkondade vajadustele, tagades sujuva ülemineku olemasoleva kütetaristuga. [1]

Käesolev töö annab ülevaate soojussõlmedest ning Tallinna Tehnikaülikooli ehitatud Energiatehnoloogia instituudi soojussõlme õppestendi kohta, mis on ühenduses instituudi laboris oleva gaasikatlaga. Töö võib hiljem aluseks olla ka teiste soojussõlmede õppestendide juhendimaterjali koostamisel. Paremate teadmistega on võimalik leida lahendusi energiasäästlikumate ja tõhusamate soojussõlmede valmistamiseks.

Töö on jaotatud kahte peatükki, kus esimeses peatükis kirjeldatakse Tallinna Tehnikaülikooli õppestendi osasid ja nende parameetreid ning teises peatükis on õppestendi kasutamishend üliõpilastele, kes koostavad etteantud tehniliste andmete põhjal soojussõlme projekti. Andmed saadakse läbi arvutiprogrammi, mis on ülikooli poolt ette antud. Arvutuslike andmete põhjal seadistavad õppestendi, viivad läbi katse laboris. Tulemused katse ajal protokollitakse ning võrreldakse oma arvutuslike väärtusi reaalseste tulemustega.

1 . Soojussõlm ja selle komponendid

Antud peatükis antakse ülevaade soojussõlmest ning räägitakse lähemalt ka Tallinna Tehnikaülikooli soojussõlme õppestendi osadest lähemalt.

1.1 Soojussõlmed

Soojussõlm on tööstuslikult ehitatud hoone või hoonerühma seadmestik, mille abil läheb saadav soojusenergia üle kinnistu kütte- ja soojavee tarbe võrku. See on liidetud tervik mõõtesõlmest, paisumisseadmetest, tarbevee-, ventilatsiooni- ja küttesüsteemist. Soojussõlm koosneb erinevatest osadest: soojusvaheti, primaar- ja sekundaarpoole reguleerimisseadmeid, pump, mõõteseadmed, ventiilid ja muu toruarmatuur ning vajalik torustikust. [3], [4]

Soojussõlmesid on erinevaid ning neid koostatakse vastavalt hoone vajadustele, seetõttu on igal soojussõlmel kasutatud erinevaid soojusvaheteid, pumпасid, automaatikat ja toruarmatuuri, kuhu kuuluvad sulgventiilid, mudafiltrid, tagasilöögiklapid ja torustik. [3] Temperatuuri- ja rõhuandurid tuleb paigaldada igale kontuurile ning need peavad olema liidestatud hooneautomaatika süsteemiga. [1]

Saadav soojusenergia kaugküttevõrgust läheb läbi soojussõlme, kus muudetakse välise soojusvõrgu soojuskandjatemperatuur ja rõhk sobivaks hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemile ning põrandküttele. Soojussõlme abil soojendatakse veesüsteemis olev vesi vajalikule temperatuurile. [3], [4]

Soojussõlmi on võimalik ümber ehitada ning automaatsed soojussõlmed reguleerivad hoonete temperatuure järgides välisõhutemperatuure kui ka teiste parameetrite järgi nagu rõhk. Küttegaafikut saab automaatselt tõsta või langetada vastavalt hoone tarbijate vajadustele ning seejärel vältida üle kütmist kevad- ja sügisperiodidel. Paljudel vananenud soojussõlmedel võib olla suurenenud korrosioonioht, mida saab vältida, kui paigaldada hoonesse uus soojussõlm. [2]

Piltidel (Joonis 1. ja Joonis 2.) on välja toodud Tallinna Tehnikaülikooli ehitatud soojussõlme õppestend, mis annab piltliku ülevaate soojussõlmest ja selle osadest. Igal ettevõttel ja asutusel on üldtingimused ja enda tingimused, kuidas tuleks konstrueerida soojussõlmi.

Näite projekteerimise tehnilistest tingimustest saab tuua 2023. aasta AS Utilitas Tallinn / AS Utilitas Eesti „Soojussõlme projekteerimise üldised tehnilised tingimused“ PDF-faili põhjal. Vastavalt Utilitase juhendile, peab soojussõlme projekteerimisel kinni

pidama Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühingu soovitudest "Soojussõlmed. Juhised ja eeskirjad" (täiendatud trükk) 2019. Lisaks on mainitud, kuidas soojussõlme seadmete valikul tuleb lähtuda ka müratasemest ning valida torustike materjalid terasest lähtuvalt EN-10216-2, EN 10217-2 ja EN10217-5 määrangutele. On välja toodud ka tabel, kus on kirjas alg- ja lõpptemperatuurid primaar- ja sekundaarpoolel. Vastavalt, kas ehitus on uus, vajab see rekonstrueerimist või on juba vanem maja, peab kasutama tabelit, et ehitada hoonele sobiv soojussõlm. [5]



Joonis 1. Tallinna Tehnikaülikooli soojussõlme õpepõhendi kahetoru küttesüsteemi imiteering, autor 2024



Joonis 2. Tallinna Tehnikaülikooli soojusõlme õppestendi automaatika seadmestik, autor 2024

1.1.1 Soojusvaheti

Soojusvaheti on seade, mida kasutatakse soojuse ülekandmiseks kahe või enama vedeliku vahel. Põhiline eesmärk on võimaldada soojusenergia ülekandmist kahe vedeliku vahel, ilma et vedelikud üksteisega otseselt kontakti sattuksid. [6] Soojusvaheteid kasutatakse paljudes insenerirakendustes, nagu jahutus-, kütte- ja kliimasüsteemid, elektrijaamad, keemilise töötlemise süsteemid, toiduainete töötlemise süsteemid, autode radiaatorides ja heitsoojuse taaskasutusseadmetes. [4]

Soojusvaheti on üks olulisemaid osi soojussõlmest. Plaatsoojusvaheti on soojusvaheti tüüp, milles soojad ja külmad vedelikud on eraldatud õhukese metallist plaadiga. Need seinad on iseloomuliku lainelise kujuga ja neid nimetatakse soojusvaheti plaadiks. Neid on tuhandeid erinevaid tüüpe. Kõige tuntumad soojusvahetiplaadi mustritüübid on nn kalasaba muster (Traditional Fishbone design) ja lohumuster (Dimple pattern), paremini tuntud kui mikroplaadi mustrina (Micro Plate design). (Joonis 3)

Soojusvahetiplaadi disain annab soojusvahetile tema omadused. Soojusvahetid on kategoriseeritud kaheks. Esimesesse kategooriasse jagatakse voolu põhjal soojusvahetid. Teise kategooriasse paigutatakse soojusvahetid peamiselt selle ehitustüübi järgi. Esimeses kategoorias olevad soojusvaheteid võib omakorda jagada neljaks: vastuvool, samasuunaline vool, ristvool ja hübriid kahest voolust nt rist-vastuvool. [7]



Joonis 3. Soojusvahetiplaadi mustritüübid lohumuster (vasakul) ja kalasaba muster (paremal), [6]

Ühes soojusvahetis võib olla sadu õhukesi plaate, mis on laotud üksteise peale. Plaatide vahel moodustuvad väikesed kanalid, kust vesi saab läbi voolata. Soojusvahetiplaadid on valmistatud roostevabast terasest. [8]

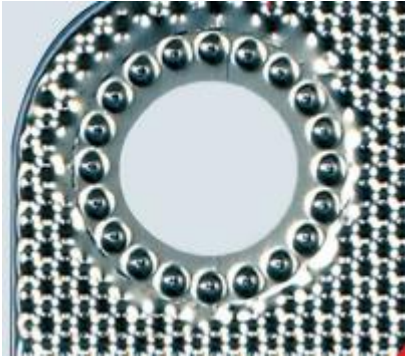


Joonis 4. Stendil kasutatav Micro Plate™-soojusvaheti, XB12M-1, Vask, Plaatide arv: 20, 25 bar [9]

Käesoleva õppestendi peal kasutatakse joodetud Micro Plate™ soojusvahetit (Joonis 4.), mis on uudne Danfoss'i tehnoloogia. Sellele soojusvahetiplaadile on iseloomulik selle disain. (Joonis 5) Danfoss kirjeldab, kuidas plaadi disaini tõttu on madalam rõhukadu, mistõttu on ka oluliselt paranenud soojusülekanne. Lisaks kuni 10% suurem soojusülekanne kiirus, pikem eluiga, oluliste kulude ja energia säästmine. Lisaks on paindlikuma ja kompaktsema disainiga. [9]

On mitmeid põhjuseid, miks Micro Plate tehnoloogiat eelistatakse. Micro Plate tehnoloogiat saad kujundada hästi kohtadesse, kus on asümmeetrilised voolujooned primaar- ja sekundaarpooltel. [9]

Micro Plate soojusplaadil on jootmispunktid lameda ja laia pinnaga, mis suurendab jootmispinda soojusplaatide vahele. See tagab, et kõik survekoormused jaotatakse ära suurema ala peale, mis vähendab pinget soojusplaadis ja muudab selle stabiilsemaks. [9]



Joonis 5. Stendil kasutatav Micro Plate soojusvahetiplaadi detailvaade [9]

Disaini tõttu jaotavad lohud vedelikud üle soojusvahetipinna palju ühtlasemalt, mis suurendab soojusülekanne pindala. Kui soojusülekanne pind on suurem, jääb rohkem aega soojusülekanne vedelike vahel. Lohkude tõttu on liikuvad vedelikud väga turbulentsed, kuna lohud muudavad vedeliku suunda palju rohkem, võrreldes kalaluu disainiga. Turbulentne vool põhjustab kihtide segunemist ning seetõttu suunab ka soojuse voolu keskele, mis võimaldab rohkem soojust edasi kanda. [6]

Ühtlustatud vedeliku kiiruseprofiil soojusplaadi on saavutatud vedeliku ühtlase jaotuse pärast soojusplaadil. See vähendab stagnatsioonipunkte plaadil. Stagnatsioonitsoonide minimeerimine võimaldab saavutada kõrgemat soojusülekanne väiksema rõhukaoga. [9]

1.1.2 Pumbad

Soojustatava hoone tehnilistel andmetel põhjal valitakse pump. Arvesse tuleb võtta vooluhulka, soojussõlme ja küttesüsteemi takistust ning pumbatavat vedelikku. Soojussõlme tehnilises dokumentatsioonis peavad olema soojussõlme arvutused, kus on lisatud graafiline joonis, mis näitab ära pumba tööpunkti ehk tootlikuse (l/s või m^3/h) ning tõstekõrguse (kPa või mVS). [3]

Vastavalt küttesüsteemile soovitatakse paigaldada pump segamissõlmes pealevoolutorule ja sõltumatu küttesüsteemi korral tagasivoolutorule. Pumba paigaldusel peab kinni pidama valmistajatehase nõuetest. [3]

Tasakaaluventiili ei pea paigaldama juhul, kui pumba tööpunktiseadistus on leitav pumba süsteemist ning ringluspump suudab reguleerida rõhuvahet. Lisaks saab mõõta ringluskontuuri üldvooluhulka. Vastav juhtimissüsteem peaks sulgema vastava primaarpoole reguleeriventili kütte- või ventilatsiooni ringluspumba seiskumisel. [3]

Aastast 2013, 1. jaanuarist kehtib direktiivi nõue (Euroopa Liidu määrus nr 641/2009), et kasutatavate ringluspumpade energia tõhusus on $EEI \leq 0,20$. Kui ringluspump on pidevas töös, siis tarbevee ringluspumbad direktiivi alla ei kuulu. [3]

Soojussõlmel on kasutuses MAGNA3 (Joonis 6.) on ühefaasiline pump. Selle kontrolleri ja juhtekraan on sisseehitatud juhtkasti. Pumbal on ka sisseehitatud diferentsiaalrõhu- ja temperatuuriandur. [10]



Joonis 6. Tallinna Tehnikaülikooli soojussõlme õppeendi pump Grundfos MAGNA3 25-60, autor 2024

1.1.3 Automaatika

Reguleerimisseadmeid on vaja energiakulude vähendamiseks. Soojussõlmele paigaldatavad automaatsed reguleerijad on mõeldud, et tagada hoone siseruumides hea sisekliima vähima energiakuluga ning võimaldada hoone soojuskadude täpset kompenseerimist. [1]

Andurid saavad signaale edasi süsteemi ja süsteem võrdleb neid sisestatud programmiga ning ette antud reguleerimisparameetritega. Olenevalt signalist juhitakse soojussõlme reguleeriventiili täiturmootori kaudu. Primaarkontuuri vooluhulka saab muuta seadeventiili avamise ja sulgemisega. Sellega kaasneb ka automaatselt muutus sekundaarpoolel, kus kütte või sooja vee kontuuri siseneva keskkonna temperatuur muutub vastavalt. [1]

Uutesse või rekonstrueeritavatesse soojussõlmedesse paigaldatavad regulaatorid peaksid olema võimelised jälgima ja juhtima soojussõlmi läbi üldise hooneautomaatika süsteemi. [1]

ECL Comfort (Joonis 7.) on elektrooniline kontrolleri. Kontrolleri võimaldab kergesti optimeerida süsteemi jõudlust ja toimimist kaugkütte-, jahutus- ja mikrovõrgusüsteemides vastavalt ilmastikumuutustele. [11]



Joonis 7. Regulaatorite seeria ECL Comfort 310 [11]

Õigesti paigaldatud ja kasutusele võetud elektrooniline kontrolleri on stabiilse ja hästitoimiva küttesüsteemi eeldus. See toob kaasa energiasäästu ja süsteemi pikema eluea. Energiat saab säästa vastavalt pealevoolu temperatuuri reguleerimisele jahutus- ja küttesüsteemides. Regulaator mõõdab välisõhu temperatuuri ja reguleerib vastavalt pealevoolu temperatuuri. Kuni 4 kontuuri saab reguleerida. Maksimaalse kasu saamiseks peab olema tagatud, et kontrolleri ECL Comfort on alati õigesti paigaldatud. [11]

ECL Portal on SCADA programm (Supervisory Control And Data Acquisition - talitlusjärelvalve ja andmehõive), mis on kasutajasõbralik ning regulaator ECL Comfort seadistatakse vastavalt valitud rakendusele. Tänu lihtsale seadistusele parandab see hooldustaset ning aitab vähendada hoolduskulusid. Ligipääs on võimalik telefonist kui ka arvuti kaudu, et vähendada häiringutele reageerimisele kuluvat aega. Alternatiivselt on süsteem ka kaugjuhitav, kui seadistada regulaatorit õige programmiga. [11]

Regulaator ECL Comfort 310 saab automaatselt reguleerida mootoriga reguleeriventiili, releeväljundit ringluspumpas või ümberlülitusventiili, seal hulgas ka häireväljundeid. Olenevalt programmidest on võimalik ka anda täiendavaid väljund ja sisendsignaale. Erinevad programmid omavad erinevaid funktsioone ja muudavad regulaatori

kasutamise mugavamaks. Vastavad parameetrid salvestatakse regulaatorisse, aga need pole mõjutatud võimalikest voolukatkestustest. [11]

Täiturmootor ehk servomootor on juhtimiseks kasutatav mootor. (Joonis 8.) Vastavalt saadavale signaalile, muudab see mootoriga käitatavate mehhanismide asendit. Täiturmootorid võimaldavad nurgaasendit, kiirendust ja kiirust täpselt kontrollida. See reguleerib seadeventiili asendit seadekeskuse kaudu. [1]

Neid on erinevate reageerimiskiirustega, aga aeglasemaid mootorid on kasutusel radiaator- ja põrandküttes, kus on suurem soojusliku inertsiga süsteem. Kiiremad mootorid on kasutusel sooja tarbevee ja ventilatsiooni korral. [1] Toiteallikaks on servovõimendi, mille eesmärk on rakendada pöördemomenti või jõudu mehaanilisele süsteemile, nagu täiturmehhanism või pidur. [12]



Joonis 8. Elektrilised täiturmootorid, AME 10, [13]

On olemas ohutusfunktsiooniga täiturmootorid kui ka ohutusfunktsioonita täiturmootorid ning olenevalt mootorist on kasutusel ka erinevad vastavad ventiilid. Ohutusfunktsioon lülitub automaatselt sisse, kui toimub toitekatkestus või ohutustermostaat lülitab toite välja. Täiturmootorid kohandavad automaatselt oma käigu ventiili lõpuasendiga, mis lühendab esmase käikulaskmise aega. [13]

On ka teisi lisavarustusseadmeid nagu elektroonilised regulaatorid, programmivõtmed ja temperatuuriandurid.

Soojussõlmes olevaid temperatuuriandureid kasutatakse väliskeskkonna ja voolava vee temperatuuride mõõtmiseks. Tavaliselt on soojussõlmedes kasutusel andurid, mis on kontaktis veega niinimetatud vette uputatud andurid. Temperatuuriandureid, mis asuvad pinnal on mõttekas kasutada ainult väikemaja reguleerimisseadmes ja aeglaselt toimunud temperatuurimuutusega reguleerimiskontuuris, mis peavad olema isoleeritud ja hoolikalt torule kinnitatud. [1]

Kui tegemist on sõltumatu ühendusskeemiga, peab temperatuurianduri paigaldama vahetult peale soojusvahetit sellisesse kohta, kus temperatuur on piisavalt ühtlustunud. Hoone põhja- või loodepoolsele seinale peab paigaldama välistemperatuuri anduri. [1]

1.1.4 Ventiilid

Ventiil kontrollib süsteemi või protsessis oleva vedeliku voolu ja rõhku, kui on vaja peatada ja käivitada vedeliku voolu; muuta vedeliku vooluhulka (drosseldades); juhtida vedeliku voolusuunda; reguleerida rõhku, kui on allavool; ja vabastada torustikuosade või torude ülerõhust. Sõltumata tüübist on kõigil ventiilidel järgmised põhiosad: kere, kraan, klapp (sisemine element), täitur ja tihend. [14]

Reguleerventiili abil muudetakse läbivooluhulka süsteemide primaar- ja sekundaarpoolel avamise ja sulgemisega. Tavaliselt jaotatakse need 2-, 3- ja 4-tee ventiilideks, aga üldiselt kasutatakse soojussõlmede primaarpoolel 2-tee ventiile.

Soojussõlmes paigutatakse reguleerventiilid sõltumatu ühendusskeemi korral pealevoolutorule. Reguleerventiilid valitakse, kasutades primaarpoolle arvutatud vooluhulkasid ja majajühenduses teada olevat rõhkude vahet. [1]

Soojussõlmes võivad olla ka tasakaalustusventiilid. Nende toel seadistatakse täpselt ära soojuskandja vooluhulk, mis on süsteemile projekteeritud. Sulgeventiilid aitavad sulgeda erinevaid kontuure, et läbi viia hooldustööd nagu seadmete vahetus või filtrite puhastus. Kindlad tasakaalustusventiilid on võimelised asendama ka sulgeventiile. [1]

Stendil on kasutatud palju erinevaid ventiile - reguleerventiilid (PN 25); VM 2 PN25 15/1 2-tee ventiil väliskeere; MSV-B DN 25, sisekeere, käsiseadega ventiil; MSV-B DN 20, sisekeere, käsiseadega ventiil (Joonis 9.); ESMU-100, Pt 1000, uputatav andur, 100 mm, vask. Ventiili MSV-B on soovitatud kasutada süsteemides, kus on konstantne vooluhulk, et oleks lihtsam teha hooldus- ja remonditöid ühetorusüsteemides või ka soojuspumpade ees tasakaalustamiseks. Hea paigaldus ventiilidele oleks kas tagasi- või pealevoolutorule. [15]



Joonis 9. MSV-B DN 20, sisekeere, käsiseadega ventiil [15]

1.1.5 Torustikud, armatuur ja muud seadmed

Soojussõlme tegijate tehnilises dimensioneerimises peavad olema peale kantud armatuuri ja torustiku rõhukaod. Armatuuri ja torustike primaar- ja sekundaarpoole rõukaod ei tohi olla suuremad kui 5 kPa soojussõlme tarnepiiris. See ei hõlma endas võimalikku rõhuvaheregulaatori ja seadeventiili või ka sellele sarnaseid seadmeid, primaarpoolele paigaldatud reguleerventiili ega soojusarvesti rõhukadu. [3]

Mõõtmistulemused peavad andma usaldusväärsed tööparameetrid primaar- ja sekundaarkontuuridest. Selleks on vaja, et soojussõlme parameetrite, nagu rõhk ja temperatuur, mõõtmispunktid oleksid paigutatud õigesti kohtadesse. [3]

Valmistaja peab kindlaks tegema, et soojussõlme paigaldus oleks kerge ning mugav. See peaks olema lihtsasti ühendatav elektritoitega ja ühenduses olema juba ringluspumbaga ja reguleerimiseseadmete juhtimiskeskusega. Lisaks on vajalik välja tuua juhtimiskeskuse lisafunktsioonid ning kõik funktsioonid peavad olema selgelt eristatavad. [3]

Diferentsiaalrõhu regulaatorit on soovituslik kasutada, kui ringleva kaugküttevee rõhkude vahe tarbija majaühenduses muutub enam kui 200 kPa. [1]

Filtrid on ühed olulised osad soojussõlmes. Need kaitsevad vedelikes sisalduvate mehaaniliste osakeste, rooste ja sodi eest. Seetõttu on vaja lisada filtreid kaitsmaks soojus- ja veemõõtjaid, reguleerventiile, soojusvahetit, pumпасid. Tavaliselt kasutatakse flants- või keermesühendustega filtreid, mille filterelemendiks on roostevabast materjalist võrk-sõel. Filtri augud on erinevate suurustega, mis jäävad 0,6–1 mm vahele. [1]

1.1.6 Paisupaak

Paisupaagiks nimetatakse suletud silindrilist anumad, millel on kaks osa. See on jagatud kaheks osaks kummimembraaniga. Üks osa paagist on ühenduses küttetorustikuga ning on veega täidetud, teine osa on gaasiga täidetud näiteks lämmastik või õhk. [1]

Paisupaagi eelrõhuks nimetatakse, kui tavaolekus on kummimembraan surutud vastu sisendtoru ning paagis pole vedelikku gaasi rõhu tõttu. Gaasi rõhku saab muuta, kui lasta gaasi juurde läbi ventiili. Temperatuuri tõttu vedeliku ruumala tõuseb ja gaas surutakse membraani abil kokku. Rõhu ohtliku suurenemist süsteemis saab ära hoida, kui paisupaak täitub mingil määral vedelikuga. Kui maht paagis väheneb, surutakse liigne vedelik tagasi süsteemi, et kontuuris säiliks etteantud rõhk. [1]

Soojussõlmes kasutatakse vedruga kaitseklappe, et kaitsta paisupaaki või süsteemi liigselt rõhutõusul. Rõhu suurenedes surutakse vedru kokku, olenevalt klapi seadistusest, ning klapp avaneb. Klapi avanedes liigub liigne vedelik kas kanalisatsioonitorru või kindlasse mahutisse. Klapp sulgub rõhu tasakaalustumisel. Need kaitseklapid ehitatakse paisumistorustikule. [1]

Arvestama peab ka kütte- ja ventilatsioonisüsteemi töövedelikumahuga, kui on vaja paisupaaki arvutada. Kindlasti peab teadlik olema ka töövedelikumahu muutusega, sõltuvalt arvutuslikest temperatuuridest, kui ka paisupaagi eelseade- ja töö rõhuga, milleks on rakenduv kaitseklapi rõhk. [3]

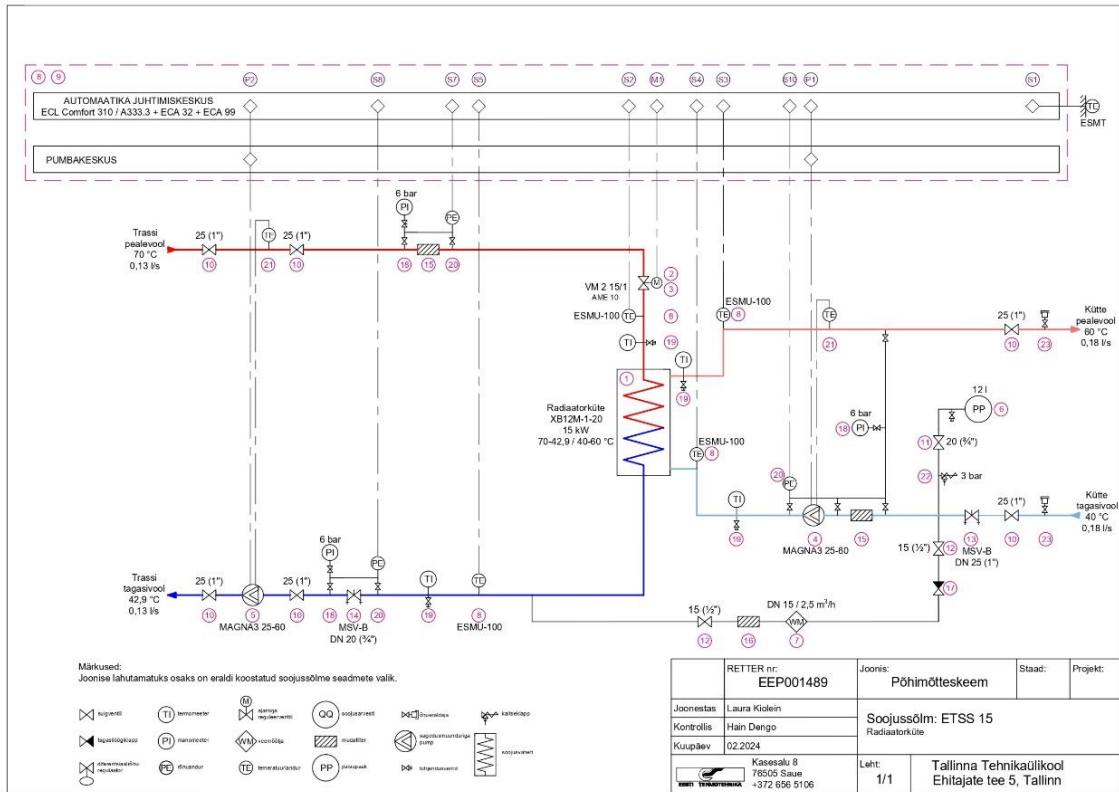
2. Õppeendi juhendi kirjeldus

Käesolevas peatükis on õppeendi kirjeldus ja juhised selle kasutamiseks. Peatükides on välja toodud laboritöö juhend, kus käsitletakse ventiili rõhukadude, pumba võimsuse ja soojusvaheti vooluhulkade arvutusi. Juhend sisaldab endas, kuidas läbi viia õppetööd ohutult ning kuidas seadistada paika soojussõlm (Joonis. 10 ja Joonis. 11) laboritöö sooritamiseks. Soojussõlme õppeendi eesmärk on anda detailsem ülevaade soojussõlme komponentidest ja nende tööpõhimõtetest.

Soojussõlme projekteerimisel on vaja koostööd teha tarbija või hoone projekteerijaga. Soojusettevõtja väljastab tehniliste tingimuste algandmed hoone kohta soojussõlme valmistamiseks. Algandmete põhjal hakkab soojussõlme valmistaja valima soojusvahetit, reguleerventiile, pumba ja muid seadmeid. Laboratoorse töö eesmärk on leida algandmete põhjal soojussõlmele kõige efektiivsem soojusvaheti, pump ja reguleerventiilid. [3], [4]

2.1 Üldine soojussõlme kasutusjuhend

Laboritöö eesmärgiks on arvutada välja vajalik pumba võimsus, dimensioneerida soojusvaheti, ventiilid läbi arvutiprogrammi ning seadistada soojussõlm vastavalt tulemustele. Arvutuslikke tulemusi võrreldakse katselaboris protokollitud seadmete vastavate parameetritega. Uuritakse reguleerventiili omadusi olenevalt ventiili avatud olekust. Lisaks protokollitakse peale- ja tagasivoolu vooluhulkasid rotameetritelt, et välja arvutada arvutiprogrammi kaudu radiaatori võimsus.



Joonis 10. Soojussõlme tehniline põhimõtteskeem, autor Eesti Termotehnika AS

Soojussõlm on ühenduses laboris oleva maagaasi katlaga. Töö alustamiseks tuleb katel käitada ja see peab saavutama töörežiimi ehk katlast väljuva vee temperatuur peab olema minimaalselt 60°C. Jälgida, et soe vesi jõuaks katlast soojussõlme stendi, vajadusel ava õiged ventiilid. Katlast tuleb soojussõlme primaarpoole pealevool. Primaarpoole pealevoolu temperatuur peab ühtima katlast väljuva vee temperatuuriga. Sealt edasi on mudafilter, et ära filtreerida saasteained ja muud osakesed, mis võivad vees olla. Pumba sees on ka oma temperatuuriandur, mida saab vajadusel kasutada.

Pumpa läbiv vesi läheb soojusvahetisse. Pumbal on palju erinevaid funktsioone, mille järgi saab pumba tööle panna. Rohkema info leidmiseks on stendi kõrval pumba kasutusjuhend. Programmist näeb peale- ja tagasivoolu temperatuure ning rõhke. Arvutiprogrammist on pumba tähiseks pandud M1 ja M3. (Joonis 12) Programmis on võimalik vahetada pumba funktsioone olenevalt vajadusest. Näiteks on pumbal olemas püsirõhu hoidmine. Tõstekõrguse taset on võimalik ka määrata pumbast. Pumba funktsioon *AUTO_{ADAPT}* õpib ära sekundaarpoole programmid ning reguleerib automaatselt, kas voolu või rõhku vastavalt süsteemi omadustele. See režiim on mõeldud pigem suure rõhukaoga jaotustorudega süsteemides. [16]

Juhtimisrežiim $FLOW_{ADAPT}$ ühendab kaks režiimi – $AUTO_{ADAPT}$ ja $FLOW_{LIMIT}$. Pump töötab režiimis $AUTO_{ADAPT}$, aga samal ajal tagab, et pumpa läbiv vooluhulk ei ületaks väärtust $FLOW_{LIMIT}$. See juhtimisrežiim sobib süsteemide jaoks, kus on nõutav stabiilne vooluhulk läbi katlasüsteemi. Selle režiimi eeliseks on väiksem energiakulu, sest pole tarvis pumbata üleliigset vedelikku. [16]

Stendil on ka välisrõhu andurid. Soojussõlm seadistatakse vastavalt programmile ja arvutiprogrammist näeb visuaalselt, kas andurite peal olevad andmed ühtivad programmi omadega. Kasutegurit on võimalik leida programmis oleva soojusmõõtja funktsiooni abil. Kasutegur on defineeritud, kui sekundaarpoole pealt edastatava ja primaarpoole vahelist energiahulkade suhet. Kasuteguri tähis on η .

Stendi sekundaarpoolel on imiteeritud kahetoru küttesüsteemi. Seal on olemas kaks radiaatorit, kaks püstikut. Pealevoolutorust tuleb soe vesi, mis liigub radiaatoritesse. Radiaatoritest tulnud vesi läheb mööda tagasivoolutoru uuesti soojusvahetisse. Vastavalt vajadusele tõstetakse või langetatakse soojusvahetis vee temperatuuri.

Stendiga tahetakse näidata, hetkel turul domineerivad, kahte sorti tasakaalustusventiile – käsiseadega staatilised ventiilid ja nn dünaamilised rõhu vahe hoidmise ventiilid. Rõhu vahe järgi hoitakse vooluhulka, seetõttu on stendil kaks dünaamilist ventiili – üks peale- ja teine tagasivoolu oma, aga staatilisel on ainult üks ventiil – tagasivoolu juures. Stendil saab demonstreerida, kuidas tasakaalustatakse staatiliste ventiilidega rõhku ja vooluhulka küttesüsteemis. Radiaatorite kõrval on olemas rotameetrid, kus on peal veesambad, mille peal on näha, kuidas ja millal muutub vee vooluhulk vastavalt ventiilide tasakaalustamisele. Soojussõlme projekteerimisel arvutatakse vooluhulk, kui ventiil on täiesti avatud positsioonis. Õppetendil oli avatud ventiili korral vooluhulk umbes 500 L/h, mis on nähtav ka rotameetritelt.

Stendi põhimõtte on saada aru, mis on staatilise ja dünaamilise reguleeriventiili erinevus ning õppida tundma mõlema tööpõhimõtteid. Suurema süsteemi puhul tuleb mõelda, milliseid ventiile kasutada. Suurtel süsteemidel on suuremad rõhud ning seetõttu on ka staatiliste ventiilide korral radiaatoritel summaarne rõhukadu suurem. Suurem rõhukadu võib tekitada ventiilis ka heli. Kui süsteemis on rohkem kui 30 korterit, siis oleks soovitatav kasutada dünaamilisi ventiile.

Kui keerata radiaatorite termostaate, siis tekib muutus vooluhulkades ja seda on näha ka juuresolevatelt rotameetritelt. Ühe radiaatori vooluhulk läheb suuremaks, teine madalamaks. Kui tahetakse simuleerida suuremat hoonet, on lisatud ühise pealevooluliini peale veel üks ventiil. (Joonis 11. number 6 – esimene staatiline

käsiventiil) Ventiili kinni keeramisel lähevad vooluhulgad madalamaks ning tõuseb kohttakistus. Kohttakistusi saab arvutada, aga arvutatav kohttakistus on ainult ideaalis. Reaalsuses võivad olla kohttakistused erinevad, sest reaalsuses ei ole võimalik kõiki mõjutavaid parameetreid arvesse võtta. Kohttakistused on leitavad tasakaalustustusraportis, mis kuulub soojussõlme dokumentatsiooni hulka. Objektil tuleb tagada vooluhulk kümneprotsendilise täpsusega. Suurtes hoonetes stabiliseerub vooluhulk radiaatorites kolme kuni nelja minuti jooksul.

Ventiilide keeramisega tuleb olla ettevaatlik. Need võivad lihtsasti katki minna, kui õigesti ei käsitleta. Ventiilide käsitlemise juhend on mainitud peatükis 2.5, Tabel 3. all.

Dünaamiliste ventiilide puhul saab vooluhulka leida, kui keerata partnerventiili. Vooluhulka hoitakse läbi rõhuvahemuutuse. Kui pumbal on automaatne režiim juba peal, peaks süsteem arvestama rõhuvähe muutusega ja seetõttu võtab membraanventiil uue asetuse. Süsteemil on ka mõningane viiteaeg. Laboritöö korduvalt tegemiseks on soovitatav keerata radiaatorite ventiile.

2.2 Õppestendi töö algandmed

Tallinnas Mustamäel renoveeritakse 4 kordne 40 korteriga elamu. Korterelamu projekti järgi on küttekoormuseks 255 kW (välisõhu temperatuur -23°C). Radiaatorite küttegraafikuks on $60-40^{\circ}\text{C}$, arvutuslik rõhukadu süsteemis 50 kPa, ventilatsioonikontuuri koormus on 80 kW ja selle temperatuurigraafik on samuti $60-40^{\circ}\text{C}$ ja selle rõhukadu on 25 kPa. Sooja tarbevee koormust vee- ja kanalisatsiooni projektis ei ole arvatud, rõhulang uues sooja tarbevee tsirkulatsioonikontuuris on 23 kPa. Rõhkude vahe hoone sisendil (pealevoolu ja tagasivoolu rõhkudevahe) on 100 kPa. Hoone küttesüsteemi maksimaalne kõrgus keldrikorruse soojussõlme ruumist on 9 m. Hoone kaugküttevee (primaarpool) pealevoolu- ja tagasivoolutemperatuur on vastavalt 100°C ja 55°C . Hoone küttesüsteemi (sekundaarpool) tagasi- ja pealevool on vastavalt 45°C ja 60°C . Kütte soojusvaheti vooluhulkade arvutamine toimub välisõhu temperatuuril -23°C . Kaugküttevee temperatuurid murdepunktis (välisõhu temperatuur, millest alates pealevoolutemperatuuri rohkem ei langetata) on pealevoolul 55°C ja tagasivoolul 20°C . [4]

2.3 Õppestendi ülesanne

- Dimensioneerida uus soojussõlm maja kütte, ja sooja veega varustamiseks.

- Arvutada välja pumba võimsus, soojusvaheti voluhulk ja ventiilide karakteristikud vastava arvutiprogrammi järgi. Leida radiaatori võimsus voluhulkade kaudu. Arvutiprogramm on vabalt kättesaadav ülikooli poolt.
- Arvuta välja soojussõlme kütte soojusvaheti primaar- ja sekundaarpoole voluhulk. Kütte reguleerimenti arvutamine. [4], [17]
- Vastava arvutusprogrammi järgi seadistada pumba voluhulk soojussõlme stendil primaar- ja sekundaarpoolele, millele vastavalt käivitatakse süsteem.
- Radiaatorite termostaatide ja käsiventiili reguleerimine, voluhulga lugemi kirja panemine, primaar- ja sekundaarvoolu temperatuuride ning rõhukao leidmine arvutiprogrammist.
- Võrrelda töö olekus olevaid parameetreid vastaval temperatuuridel reaalsete parameetritega, mis on välja arvutatud vastava programmiga.
- Mõista, mis on staatilise ja dünaamilise ventiili vahe. Miks eelistatakse dünaamilist ventiili staatilisele.

2.4 Õppetendi eeltöö

Eeltöö käsitleb endas arvutuste tegemist, mis on vajalikud soojussõlme komponentide dimensioneerimiseks ja valimiseks. Eeltöö raames on vaja arvutada kütte soojusvahetid etteantud koormuste, temperatuurigraafikute ja lubatud rõhulangude järgi, kasutades soojusvahetite arvutusprogrammi. Pumba võimsuse arvutamine etteantud ülesande järgi.

Arvutada soojussõlme seadmed (seadeventiilid, pumbad, torustiku läbimõõdud, kaitseklapid, paisupaak) vastavalt soojussõlme arvutusprogrammile. Arvutusprogrammi kohta saab täpsema informatsiooni õppejõult.

2.4.1 Pumba voluhulga arvutamine

Pumba voluhulga peab tuletama pumba võimsuse valemist (1).

$$N = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad W, \quad \text{kus} \quad (1)$$

N – arvutuslik võimsus, W

Q – pumba tootlikkus, m^3/s

H – tõstekõrgus, m

ρ – vee tihedus, kg/m^3

g – rakenduskiirendus $9,81 m/s^2$

2.4.2 Soojusvaheti vooluhulkade arvutamine

Kütte soojusvaheti (nii primaar- kui ka sekundaarpoole) vooluhulga $G_{K,P}$ ja $G_{K,S}$ arvutamine järgneva valemi põhjal:

$$G_K = \phi_a \cdot 1000 (C \cdot \rho \cdot \Delta T) L/s, \quad \text{kus} \quad (2)$$

ϕ_a - arvutuslik soojuskoormus, kW

ρ - vee tihedus, kg/m^3

C - vee erisoojus, $kJ/(kg \cdot K)$

ΔT - kütteeve temperatuuride arvutuslik vahe, K

Vooluhulk $G_{K,S}$ on vajalik hoone kütteeve ringluspumba tootlikkuse valimisele koos küttesüsteemi ja soojussõlme rõhukadudega.

2.4.3 Reguleerventiili arvutamine

Kütte reguleerventiili arvutatakse, kus tegelik vajatav primaarpoole vooluhulk on suurim. Arvestada tuleb, et tegelik rõhukadu soojusvaheti primaarpoolel on 20 kPa ja torustikus 5 kPa. Hoone sisendi rõhkudevahe on 100 kPa. [4], [17] Tegelikud soojusvaheti rõhukaod arvutatakse arvutiprogrammi abil. Reguleerventiili K_V - väärtuse arvutamine alloleva valemi järgi ning jälgida, et kaugkütteeve vooluhulk oleks teisendatud (m^3/h):

$$K_V = G / \sqrt{\Delta p} \quad m^3/h, \quad \text{kus} \quad (3)$$

G – kaugkütteeve arvutuslik vooluhulk, L/s

Δp – arvutuslik rõhukadu reguleerventiilile, bar

Vali lähima suurema K_V - arvuga ventiil vastavast tabelist 1. ja arvuta tegelik rõhukadu ventiilis. K_V arv näitab reguleerventiili vooluhulka sõltuvalt ventiili klapi asendist koos

rõhukaoga 1 bar. [18] Üldiselt antakse ventiilide K_{VS} arvud tootja poolt. Tabelis 1. on esitatud tootjapoolsed K_{VS} arvud vastavalt ventiilide sisediameetritele.

Tabel 1. Reguleerventiilid (PN 25) K_{VS} arv (m^3/h), [19]

DN	15							20	25	32
K_{VS}	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	8,0	10

Reguleerventiili tegeliku rõhukao Δp arvutamine on vastava valemiga:

$$\Delta p = (G / K_V)^2 \text{ bar, kus} \quad (4)$$

G – kaugküttevee arvutuslik vooluhulk, m^3/h

K_V – valitud reguleerventiili K_{VS} -väärtus, m^3/h

Arvutada reguleerventiili mõjutegur vastavalt valemile:

$$\beta = \Delta p_T / \Delta p_S \geq 0,5, \text{ kus} \quad (5)$$

Δp_T – reguleerventiili tegelik rõhukadu, kPa

Δp_S – hoone sisendi rõhkudevahe, kPa

2.5 Õppeendi laborikatse juhend – reguleerventiili uurimine

Reguleerventiile kasutatakse laialdaselt soojusväljastuse reguleerimiseks soojusvarustuse seadmetes. Soojusvarustuse seadmete reguleerventiilid peavad olema efektiivseks reguleerimiseks logaritmilise karakteristikuga. Käesoleva töö ülesandeks on kütte- ja soojaveevarustuse süsteemi temperatuuriregulaatorite ja reguleerventiilide uurimine soojussõlme stendil. (Joonis 10) [4], [17]

Mõõtmistulemused kantakse katseandmete tabelisse (Tabel 2. ja Tabel 3.), mille alusel joonistatakse ventiili sulgemendi asendi ja suhtelise vooluhulga vaheline karakteristik uuritud reguleerventiilidele. Vastavad graafikud radiaatori võimsuse ja temperatuuri ning radiaatori võimsuse ja rõhu vahel lisatakse hiljem protokollile. [4], [17]

Tehakse kokku seitse katset. Mõõtmised tehakse radiaatorite all oleva reguleerventiili sulgemendi kuue erineva asendiga. Radiaatori termostaadil on vastavad

numbrid 0 – 5. Viimane katse tehakse stendi tagasivoolu torustiku peal oleva käsiseade ventiilidega nende täiesti avatud olekus. Katseandmete tabelisse 2. kantakse: sulgelemendi asend (number ventiilil), vooluhulga lugem, vabarõhk (peale- ja tagasivooluliinide rõhuvahe enne reguleerventiili). Välja joonistatud karakteristiku alusel tehakse järeldus reguleerventiili sobivuse kohta. Tabelisse 3. kantakse primaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, sekundaarpoole vee pealevoolu temperatuur ning vooluhulk rotameetrilt, sekundaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, vooluhulk rotameetrilt ning rõhkude vahe enne ja pärast radiaatorit. Radiaatori võimsust arvutatakse vooluhulga kaudu arvutiprogrammis. Suhteline vooluhulk leitakse vooluhulga lugemi põhjal arvutiprogrammist.

Töö puhul peab ettevaatlik olema käsiseadmega ventiilide puhul, mida tuleb hoolega reguleerida. Võimaluse korral küsida abi õppejõult.

Tabel 2. Reguleerventiili karakteristiku uurimine

Katsenumber	Vabarõhk, p, bar	Vooluhulga lugem, %	Suhteline vooluhulk, L/h	Sulgelemendiasend, nr	Uuritud reguleerventiil
1				0	
2				1	
3				2	
4				3	
5				4	
6				5	
7				5, käsiseadega ventiil täiesti avatud olekus	

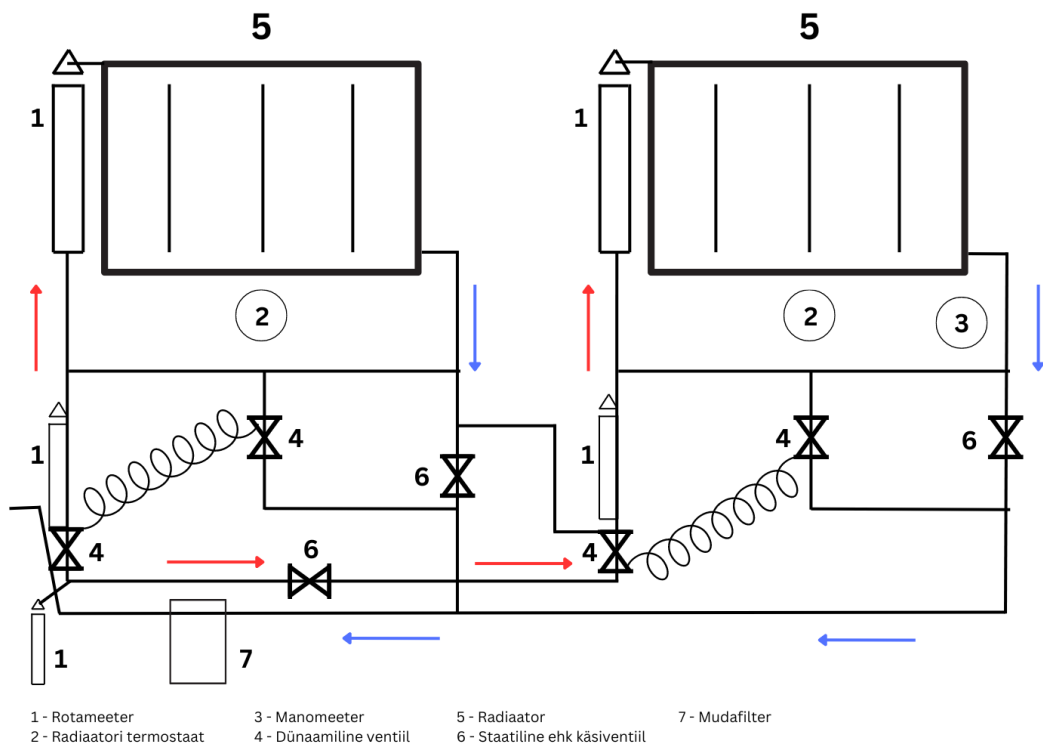
Tabel 3. Katseandmed

Katse number	Radiaatori võimsus, W	Primaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, °C	Sekundaarpoole vee pealevoolu temperatuur, °C ja vooluhulga lugem rotameetrilt, L/h	Sekundaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, °C ja vooluhulga lugem rotameetrilt, L/h	Rõhkude vahe enne ja pärast radiaatorit
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

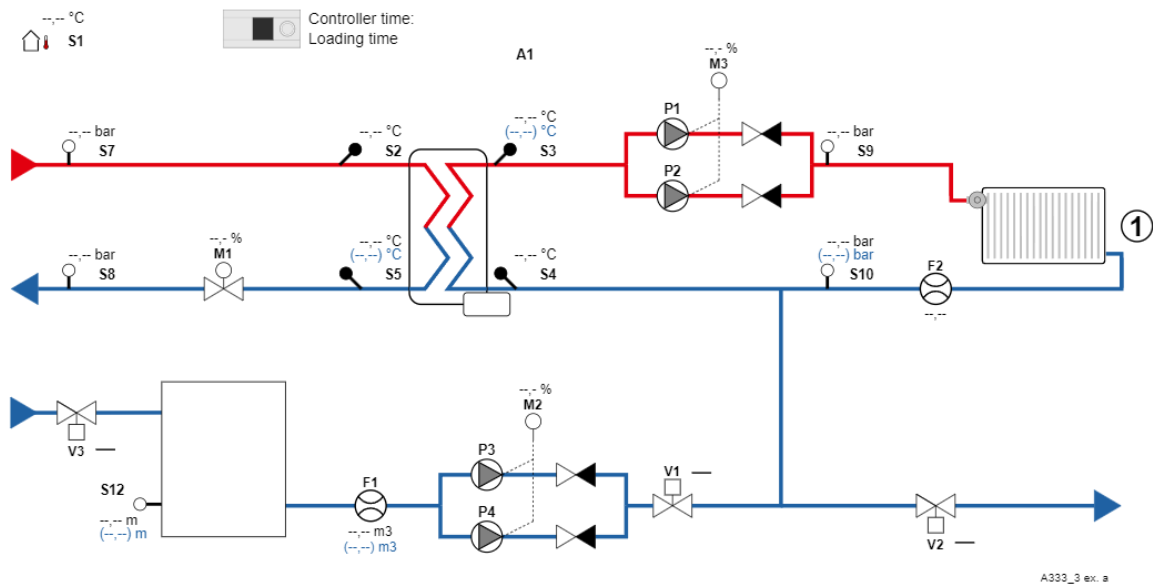
NB! Käsiseadmega ventiili sulgemine: Ventiili sulgemiseks tuleb käepide sisse lükata. Sulgemiseks kasutatakse kuluventiili, mille 90 kraadi pööramise korral sulgub ventiil täielikult. Indikaatoraknas on näha punast, kui ventiil on suletud, valge näitab, et ventiil on avatud. [15]

Käsiseadmega ventiili seadistus: Esmalt vabasta lukustus rohelise hoova või 3 mm kuuskantvõtme abil. Ettevaatust roheline hoov võib kergesti katki minna. Käepide tõuseb automaatselt üles. Vali ventiili jaoks soovitud väärtus. Väärtuse lukustamiseks suru käepide alla, kuni see kinni klõpsab. [15]

2.6 Õppetendi laborikatse töökaik



Joonis 11. Reguleerventiilide uurimise skeem, autor 2024



Joonis 12. Soojussõlme skeem arvutiprogrammis, Danfoss A/S, [20]

1. Katsehalli sisenedes pane pähe kiiver.
2. Tutvu soojussõlme põhiskeemiga. (Joonis 10) Tutvu reguleerventiilide uurimisskeemiga. (Joonis 11)
3. Veendu, et kõik vajalikud ventiilid veetsirkulatsioonidel oleksid lahti (käepide on toruga paralleelselt).
4. Küsi abi õppejõult, et lülitada sisse pumba elektrivarustus. Pumba seadistustest panna vooluhulgaks enda poolt välja arvatud vooluhulk. Lülitada sisse gaasikatel. Gaasikatlast väljuva vee temperatuur peab olema minimaalselt 60°C.
5. Enne, kui väljuva vee temperatuur saavutab 60°C, vaata üle töökäigu juhise punktid 6 - 8.
6. Avada arvutiprogramm (Joonis 12), kus on peal soojussõlme skeem. Õppejõud annab arvutiprogrammi lingi ning sisse logimiseks vajalikud andmed.
7. Joonis 11. peal on näidatud ära käsiventilide asukohad. Kontrolli, et kõik on kinni keeratud. Käsiventilide sulgemise kohta saab lugeda laborikatse juhendist. NB! Jõuga ventiili mitte keerata. Vajadusel küsi abi õppejõult.
8. Seadista radiaatorite termostaat numbrile 0.
9. Veendu, et katlast väljuva vee temperatuur on vähemalt 60°C .
10. Kanda tabelisse 2. vabarõhk (peale- ja tagasivooluliinide rõhuvahe enne reguleerventiili). Vabarõhu leiab arvutiprogrammist, sümbolid S7 ja S8. Leida nende vahe ja kirjutada tabelisse. Tabelisse 3. leida rõhkude vahe enne ja pärast radiaatorit, sümbolid S9 ja S10.
11. Kanda tabelisse vooluhulga lugem protsentides, mis on tähistatud joonisel 11 sümboliga M3. (1)
12. Kirjuta tabelisse 3. primaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, tähisega S5, sekundaarpoole vee pealevoolu temperatuur, tähisega S3, ja rotameetrilt vooluhulga näit, ning sekundaarpoole vee tagasivoolu temperatuur, tähisega S4, ja vooluhulga näit rotameetrilt.
13. Korrata punkte 9 – 13. Iga katse tagant muuta radiaatori termostaadi numbrit ühe numbriga võrra suuremaks. Kokku tuleb kuus katset, kuni radiaatori termostaadi number on 5.

14. Kui radiaatorite termostaadi on mõlemad number 5. peal, siis avada täielikult käsiseadmega ventiilid tagasivoolu torudel. Joonisel 11. on ära märgitud tagasivoolu toru sinise noolega.
15. Korrata punkte 9 - 13. Kirjutada tulemused tabelisse 2. ja 3.
16. Protokollida andmed ning teha graafikud, kus on näidatud radiaatori võimsuse sõltuvust vabarõhust ja tagasivoolu temperatuurist, vooluhulga sõltuvust termostaadi sulgasendist. Lisada protokolliga eeltöös tehtud arvutused. Vastata lisaküsimustele. Võrrelda arvutuslike tulemusi reaalsete tulemustega ja anda hinnang.

2.7 Lisaküsimused

1. Turul on kahte sorti tasakaalustusventiile – käsiseadega staatilised ventiilid ja nn dünaamilised rõhu vahe hoidmise ventiilid. Anda hinnang, millised ventiilid on tänapäeva kasutamisel tõhusamad?
2. Miks eelistatakse dünaamiliseid ventiile staatilistele?
3. Kui keerata ühise liini peal olevat ventiili kinni, lähevad ka vooluhulgad madalamaks, siis mis juhtub kohtakistusega?
4. Kuidas hindad katse õnnestumist?

KOKKUVÕTE

Soojussõlmi võib pidada üheks kõige olulistemateks vahendajateks tarbijate ja energiatootjate vahel. Soojussõlmed suurendavad energiatõhusust, optimeerides soojusülekanne ja -jaotust, mis vähendab üldist energiatarvet. Selle arvelt on võimalik vähendada kulusid ning kasvuhoonegaaside teket.

Esimeses peatükis on laiemalt räägitud soojussõlme osadest ning nende funktsioonidest. Lähemalt kirjeldatakse ka õppetendil kasutatavaid komponente. Soojussõlmedel on palju erinevaid osi ning seetõttu on väga palju erinevaid viise, kuidas üht sobivat ehitada. Alates pumpade valikutest kuni väikeste andurite osadeni. Lisaks on igal hoonel ning ettevõttel omad kriteeriumid, mille järgi peab üks soojussõlm valmistatud olema. Lähtuma peab suurel määral trassi temperatuuridest ja rõhkudevahetusest. Väga oluliseks osaks on valmistaja ja tellija vaheline koostöö soojussõlme ehitamisel. Tellija tehniliste andmete alusel valmistatakse soojussõlm.

Teises peatükis räägitakse lähemalt konkreetsest õppetendist ja võimalikest läbiviidavatest ülesannetest koos valemite ning juhendiga, kuidas tööd sooritada. Õppetendi valmimise tulemusena on õpilastel võimalik läbi viia katseid, mille käigus saab reaalselt näha ühe soojussõlme tööd ning võimalik tutvuda selle komponentidega. Katse sooritamisel saab näha, kuidas ventiilide erinevatel reguleerimistel soojussõlmes toimuvad voolhulga, temperatuuri kui ka rõhumuutused.

Töö tulemusena võib öelda, et soojussõlme projekteerimine ei ole üldse lihtne töö ning seal on väga palju pisidetaile, millele tuleb tähelepanu pöörata. Lisaks on keeruline leida konkreetse hoone tehnilise andmete lehte, kust saaks vajaliku informatsiooni, et soojussõlme ehitada, sest iga soojussõlm on omamoodi unikaalne. Lihtsamaid katseid on võimalik stendil läbi viia. Lisaks võib ka kombineerida õppeainetes käsitletavate ülesannetega, et luua suurem projekt, mille käigust saaks kaugküttesüsteemidest suurema pildi.

SUMMARY

District heating substations are integral to the efficient distribution of heat in modern urban heating systems, serving as a critical link between central heat sources and end-users. They enhance energy efficiency by optimizing the transfer and distribution of heat, leading to significant reductions in overall energy consumption. This efficiency translates to cost savings, as the centralized nature of district heating systems allows for economies of scale, lowering operational expenses.

In the first chapter, the parts of the district heating substations and their functions are discussed in more detail. The components used on the teaching bench are also described in more detail. District heating substations have many different parts and therefore there are many ways to build one. From pump options to small sensor parts. In addition, each building and company has its own criteria according to which a unit must be built. It largely depends on the temperature and pressure difference that comes from the central heat source. A very important part is the cooperation between the energy producers and the consumer in the production of the substation. Based on the building's technical data, a substation is manufactured.

The second chapter tells more about the specific teaching bench and possible comprehensive tasks with formulas and instructions on how to complete the work. As a result of the completion of the teaching stand, students can conduct experiments during which they can actually see the operation of the substation and get to know its components. When performing the test, you can see how flow, temperature and pressure changes occur in the substation when the valves are adjusted differently.

As a result of the work, it can be said that designing a district heating substation is not an easy job at all, and there are a lot of small details that need to be considered. In addition, it is difficult to find a technical data sheet for a specific building, where you can get the necessary information to build a substation, because each substation is unique in its own way. Simpler experiments can be carried out on the stand, but can also be combined with tasks covered in the subjects to create a larger project, which will give a bigger picture of district heating systems.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Volkova, E. Latõšov, V. Mašatin, I. Krupenski, and A. Siirde, "3. Soojusvajadus ja tarbijad – Jätkusuutlik kaugküte." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://kaugküte.taltech.ee/soojusvajadus/>
- [2] Energiakontsern Utilitas, "Automaatne soojussõlm on säästlik." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.utilitas.ee/automaatne-soojussolm-on-saastlik/>
- [3] H. Dengo, Eesti Soojustehnikainseneride Selts, and Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte ühing, "Soojussõlmede õppepäev," 2024.
- [4] Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte ühing, *Soojussõlmed: juhised ja eeskirjad*. Tallinn, 2007.
- [5] AS Utilitas Tallinn/AS Utilitas Eesti, "Soojussõlme projekteerimise üldised tehnilised tingimused," Jan. 2023, Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: https://www.utilitas.ee/wp-content/uploads/2023/04/KOMM_P1_V4_v5_Soojussolme_projekteerimise_uldised_tehnilised_tingimused_Kehtib_alates_01_01_2023_Tehnolooguse_osakond.pdf
- [6] P. Evans, "Micro Plate Heat Exchangers," The Engineering Mindset. Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://theengineeringmindset.com/micro-plate-heat-exchangers/>
- [7] R. J. Brogan, "HEAT EXCHANGERS," *A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat and Mass Transfer, and Fluids Engineering*, 2011, doi: 10.1615/ATOZ.H.HEAT_EXCHANGERS.
- [8] U. Močnik, B. Blagojevič, and S. Muhič, "Numerical analysis with experimental validation of single-phase fluid flow in a dimple pattern heat exchanger channel," *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, vol. 66, no. 9, pp. 544–553, 2020, doi: 10.5545/SV-JME.2020.6776.
- [9] Danfoss AS, "Brazed Micro Plate™ and Fishbone heat exchangers." [Online]. Available: www.mphe.danfoss.com
- [10] Grundfos Holding A/S, "Grundfos MAGNA3 25-60 circulator pump," 2020, Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: https://www.anchorpumps.com/grundfos-magna3-25-60-180-variable-speed-single-head-circulator-240v?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6PGxBhCVARIsAIumnWZds6Y1nXMc0p0vLctDiiM3ThntLrT5ZEIQu4Ieck_C_3DZbIShRdMaAhfjEALw_wcB
- [11] Danfoss AS, "Tehniline andmeleht, Regulaator ECL Comfort 310, kaugjuhtimisseadmed ECA 30 / 31 ja programmivõtmed," 2020.
- [12] ISL Products International Ltd., "Servo Motor Fundamentals | ISL Products." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://islproducts.com/design-note/servo-motor-fundamentals/>
- [13] Danfoss AS, "Tehniline andmeleht, Alalispingega juhitavad täiturmootorid," 2020.
- [14] D. C. 20585 U.S. Department of Energy Washington, "DOE-HDBK-1018/2-93, DOE UNDAmentals Handbook Mechanical Science," vol. 2, pp. 1–7, Jan. 1993.
- [15] Danfoss AS, "Tehniline andmeleht, Käsiseadega ventiilid LENO™ MSV-B," 2020.
- [16] GRUNDFOS Pumps Eesti OÜ, "MAGNA3 Paigaldus-ja kasutusjuhend."
- [17] T.-A. Kõiv, *Soojustehnika, Laboratoorsete tööde meetodilised materjalid*. Tallinn, 1999.
- [18] Grundfos Holding A/S, "Kv and Kvs values." Accessed: May 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.grundfos.com/solutions/learn/research-and-insights/kv-and-kvs-values>
- [19] Danfoss AS, "Tehniline andmeleht, Reguleeriventiilid (PN 25)," 2017.

[20] Danfoss A/S, "Leanheat Monitor." Accessed: May 29, 2024. [Online].
Available: <https://app.enspire.danfoss.com/#/devices/432569/application>