

Energiatehnoloogia instituut

**KONTEINERKATLAMAJA PROJEKTEERIMINE JA
HÜDRAULIKA KONTROLLARVUTUSED**

**CONTAINER BOILER HOUSE DESIGN AND HYDRAULIC
CALCULATIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Laretta Maks

Üliõpilaskood 185446

Kertu Lepiksaar, doktorant-

Juhendaja: nooremteadur

Tallinn 2021

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.

Autor: Laretta Maks

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ allkirjastatud digitaalselt /

TalTech energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Lauretta Maks, 185446
Õppekava, peeriala: EACB18/21, Keskkonna-,energia- ja keemiatehnoloogia
Juhendaja(d): doktorant-nooremteadur, Kertu Lepiksaar, +372 58162989
Konsultant: Jaak Sepp, Tehnilise toe osakonna juhataja
Utilitas AS

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Konteinerkatlamaja projekteerimine ja hüdraulika kontrollarvutused*

(inglise keeles) Container boiler house design and hydraulic calculations

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida lähteülesandele vastav konteinerkatlamaja skeem
2. Viia läbi hüdraulika arvutused katlamaja hüdraulikaseadmetele
3. Arvutuste põhjal järelduste tegemine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Katlamaja projekteerimine	07.08.2020
2.	Katlamaja hüdraulika arvutused	27.05.2021
3.	Hüdraulika arvutuste järeldus	31.05.2021

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** " 03 " juuni 2021.a

Üliõpilane: Lauretta Maks

/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/allkirjastatud digitaalselt/

Programmijuht: Oliver Järvik

/allkirjastatud digitaalselt/

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	9
1. TEISALDATAVA KONTEINERKATLAMAJA ISELOOMUSTUS	10
1.1 Katla ja katelseadmete valik	12
1.1.1 Katel	12
1.1.2 Põleti	12
1.1.3 Kaitsemehhanismid	13
1.1.4 Pumbad	14
1.1.5 Torustik	15
1.1.6 Lisaveepaak	16
2 KATLAMAJA HÜDRAULIKAARVUTUSED JA NENDE METOODIKA.....	19
2.1 Pumpade kontrollarvutuste meetod	19
2.2 Torustiku kontrollarvutuste meetod.....	24
3 KONTROLLARVUTUSTE TULEMUSED JA JÄRELDUSED	26
3.1 Pumpade kontrollarvutuse tulemused ja järelused	26
3.2 Torustiku kontrollarvutuse tulemused ja järelused.....	32
3.3 Veepaagi kontrollarvutuse tulemused ja järelused	34
KOKKUVÕTE	35
SUMMARY.....	37
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISA 1 - KONTEINERKATLAMAJA LÄHTEÜLESANNE	42
LISA 2 - KONTEINERKATLAMAJA SKEEM.....	43
LISA 3 - KONTEINERKATLAMAJA SELETUSKIRI	44
LISA 4 - KONTEINERKATLAMAJA SPETSIFIKATSIOON	45
TABELID JA GRAAFILINE MATERJAL	
Tabel 1 Lähteülesande parameetrid	26
Tabel 2 Vee kiirused.....	26
Tabel 3 Reynolds'i väärtused pealevoolu torustikule.....	27
Tabel 4 Reynolds'i väärtused tagasivoolu torustikule	27
Tabel 5 Hõõrdetakistustegurid λ pealevoolu torustikul	27
Tabel 6 Hõõrdetakistustegurid λ tagasivoolu torustikul	28
Tabel 7 Hõõrdesurvekaod pealevoolu torustikul	28
Tabel 8 Kohtsurvekaod pealevoolu torustikul.....	28
Tabel 9 Hõõrdesurvekaod tagasivoolu torustikul	29

Tabel 10 Kohtsurvekaod tagasivoolu torustikul	29
Tabel 11 Pumpade kavitatsiooni arvutus.....	30
Tabel 12 Terastoru mõõtude ja suuruste tabel.....	33
Tabel 13 Pealevoolu ja tagasivoolu torustiku kavitatsioonivaru.	33
Joonis 1 Katlamaja skeem	11
Joonis 2 Katel Vitomax 100-LW[6]	12
Joonis 3 Põleti Weishaupt WM-G30/1-AZM[8].....	13
Joonis 4 Võrgupump Grundfos 80-160/164[14]	15
Joonis 5 Võrgupump Grundfos TP 80-400[15]	15
Joonis 6 Veepehmendusseade[18]	18
Joonis 7 Moody diagramm [22]	22
Joonis 9 Pump Grundfos TP 80-60/4[29]	31

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on valminud koostöös ettevõttega Utilitas AS. Lähteülesanne on koostatud Utilitase poolt. Lõputöös kasutatud konteinerkatlamaja joonis on valminud Utilitase praktikal Jaak Sepa juhendamisel. Hüdraulika arvutustel on nõuandeid ja materjale jaganud ülikoolipoolne juhendaja Kertu Lepiksaar.

Omaltpoolt sooviksin tänada nii ülikoolipoolset juhendajat Kertu Lepiksaart, kes aitas palju hüdraulika arvutustel ning vastava materjali otsimisel kui ka ettevõtte poolset juhendajat Jaak Seppa, kes jagas nõuandeid nii konteinerkatlamaja projekteerimisel kui ka katelseadmete valikul.

.

Lühendite ja tähiste loetelu

A – toru ristlõike pindala

c_{p1} – pealevoolu torustiku erisoojus

c_{p2} – tagasivoolu torustiku erisoojus

d_s – toru sisediaameeter

e – toru ekvivalentkaredus

E – katlamaja kasulik võimsus

G – vee kulu

g – raskuskiirendus

h – pumba tõstekõrgus

h_1 – katlasse siseneva vee entalpia

h_2 – katlast väljuva vee entalpia

h_k – kohtsurve

h_l – hõõrdesurve

h_t – survekadu

j_{ne} – ja nii edasi

l – survetoru pikkus

N – pumba võimsus

p – rõhk

p_i – kogusurve imiavas

p_{ka} – küllastunud veeauru surve

Δp – pumba poolt avaldatav surve

Q – vee mahtkulu

Re – Reynoldsi arv

z – kõrgussurve

t_1 – pealevoolu temperatuur

t_2 – tagasivoolu temperatuur

Δt – temperatuuride vahe

u – voolu kiirus

ρ – vedeliku tihedus

λ – hõõrdetegur

μ – vedeliku kinemaatiline viskoossus

Δ - suhteline karedus

ξ - kohtakistustegur

π – Archimedese konstant

SISSEJUHATUS

Käesolev bakalaureusetöö on kirjutatud koostöös AS Utilitas Tallinnaga. Utilitase näol on tegemist ettevõttega, mis varustab mitmeid sorti tarbijaid kaugkütte ja elektrienergiaga. 2020. aasta suvepraktika käigus püstitati AS Utilitas Tallinna poolt lähteülesanne (Lisa 1), mille põhjal projekteeriti konteinerkatlamaja, mis on nähtav Joonis 1. Teisaldatava konteinerkatlamaja tüüpi katlamajad on kasutuses alternatiivina (korter)majade soojusvajaduse rahuldamiseks näiteks olemasoleva lokaalse trassi rekonstrueerimis- või ehitustööde ajal. Kuna kaugküttesüsteemid on ennast tõestanud modernse, rohelise ja efektiivse lahendusena, siis nähakse viimasel aastal ja ka tulevikus kaugküttesüsteemide moderniseerimist osana rohepöördest. Projekti koostamise mahtu kuulus teisaldatava katlamaja projekt joonise kujul koos seletuskirjaga ja spetsifikatsiooniga. Jooniste tegemiseks kasutati Autodesk programme AutoCAD ja Civil 3D.

Antud lõputöö eesmärgiks on viia läbi hüdraulika kontrollarvutused seadmetele, milleks on pumbad, pealevoolu ja tagasivoolu torustikud ning kontrollida kas lisaveepaak on valitud mahu poolest piisava suurusega. Nimetatud seadmete puhul on probleemiks valearvestused suuruste ja võimsuste osas. Nimelt leidub praktikas palju juhuseid, kus näiteks torustikud on üledimensioneeritud või pumbad valitud võimsamad kui tegelikkuses vajalik on. Nende probleemide puhul võib majanduslik kahjum olla lõppkokkuvõttes väga suur. Seepärast viiakse antud lõputöös läbi kontrollarvutused hüdraulikale, et kontrollida, kas lähteülesandes antud parameetrid ning praktika käigus projekteeritud konteinerkatlamaja hüdraulikaseadmed on vastavuses tegelikkusega.

1. TEISALDATAVA KONTEINERKATLAMAJA ISELOOMUSTUS

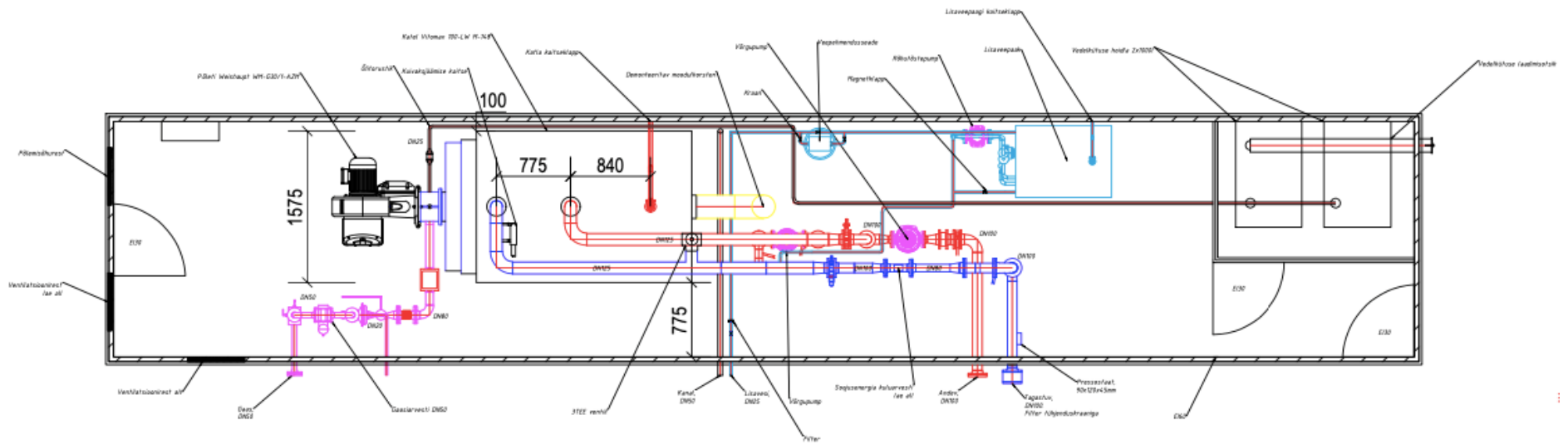
Teisaldatava konteinerkatlamaja puhul on tegemist moodulkatlamajaga, mis on haagisel teisaldatav. Käesoleva lõputöö raames on ajutine moodulkatlamaja projekteeritud nii, et see mahuks autorongides kasutatavatele standardmõõtmetes poolhaakele. Konteinerkatlamaja kasutatakse peamiselt rekonstrueerimistöde ajal soojusenergia tarneks, kuid võib kasutada ka küttesüsteemina eramajadele, hotellidele ja tootmishoonetele. [1]

Konteinerkatlamaja võimsus on 1MW, mis on antud lähteülesandes, mis on kirjeldatud Lisas 1. Tegemist on automaatse mehitanata kergel kütteõlil ja maagaasil töötava haagisel teisaldatava konteinerkatlamajaga. Katel peab kindlustama ökonoomse töö piirides 0,2-1MW ning peab olema varustatud moduleeriva küttegaasi ja 3-astmelise kütteõli põletiga. Katlaks on valitud Viessmanni Vitomax 100-LW M-148 ning sinna juurde kombineeritud põleti Weishaupt WM-G30/1-AZM. Katlamaja skeem on toodud välja joonisel 1. Katlamaja täismahus projekt on Lisas 2.

Katlavee lubatud temperatuur on 120°C ja katla lubatud töö rõhk on kuni 6 baari. Katlale on monteeritud isoleerimata roostevaba ning happekindel korsten, mille kõrgus on 4 meetrit.

Tulenevalt lähteülesandest peab olema tagatud automaatne veepehmedussüsteem tootlikkusega kuni 1,5 m³/h, regenereerimisega kas lisavee kareduse või veekoguse järgi. Lisaveepaak peab olema rõhuvaba ja lahtine, mahuga 1,5 m³. Kirjeldatud katlamaja parameetrid on toodud Lisas 1.

Töö tagamiseks peab olema katel varustatud kütuse ja veega. Toitevesi peab vastama nõuetele ning selleks on kasutusel vee-ettevalmistusseadmed. Pumbad tagavad toitevee sisenemise katlasse. [2][3]



Joonis 1 Katlamaja skeem

1.1 Katla ja katelseadmete valik

1.1.1 Katel

Lihtsustatult on katla eesmärgiks on toota kuuma vett või auru, mis edasi mööda torustikku tarbijani jõuab kütte ja soojatarbevee kujul.[4]

Katla valikul on lähtunud lähteülesande parameetritest. Katel on valitud katlamaja maksimaalse võimsuse järgi. Vitomax 100-LW M-148 puhul on tegemist kuumaveekatlagaga, kus lubatud pealevoolutemperatuur on 110°C ning lubatud tööõhk 6 kuni 10 baari. Soojusvõimsus on 1,1MW. [5]

Kütustest saab kasutada Vitomax 100-LW puhul kerget kütteõli, maagaasi ja LPG-d ehk naftagaasi. [5] Valitud katel on kujutatud joonisel 2.



Joonis 2 Katel Vitomax 100-LW[6]

1.1.2 Põleti

Katlapõleti on katla komponent, mis tagab fossiilkütuse sealhulgas maagaasi, õhu või hapniku põlemisel soojusenergia. [7]

Põleti puhul on arvestatud katlamaja võimsuse ja katla ning põleti vahelise ühenduse parameetritega. Valitud on kombineeritud põleti, mis töötab nii maagaasil kui ka kergel kütteõlil. [2]

Kombineeritud põleti eeliseks on kõrge kasutegur ning mitme kütuse kasutus. Situaatsioonis, kus ühe kütuse kasutamine on välistatud, saab ümber lülituda teise kütuse kasutamisele. Weishaupt WM-G30/1-AZM puhul on tegemist 3-astmelise põletiga, mis tähendab, et kütuse pealekanne on astmeline. [8]

Katlale valitud põleti on näidatud joonisel 3.



Joonis 3 Põleti Weishaupt WM-G30/1-AZM[8]

1.1.3 Kaitsemehhanismid

Kaitseklapid ehk kaitseeadmed, on kasutusel rõhu all olevates süsteemides. Kaitseklappe kasutatakse, et vältida rõhu tõusu süsteemis üle maksimaalselt lubatud väärtuse. [9]

Kaitsemehhanismid ehk eeskätt kaitseklapid on valitud katla võimsuse järgi. Kaitsepaigaldise valikul on arvestatud ka katla rõhkudega ehk kaitsepaigaldise töö rõhk peab olema kas sama või väiksem katla töö rõhust. Antud juhul on kaitsepaigaldiste töö rõhuks 6 baari. [2]

Katlamaja joonisele on lisatud ka kraanid, ventiilid ja kuivaksjäämise kaitse.

3T ventiili ehk seguventiili ülesandeks on hoida katlas soojusvõrgust erinevat temperatuuri. Selle töö raames on 3T ventiil ettenähtud peaveoolu ja tagasivoolu vahele temperatuuride ühtlustamise eesmärgil. Katla temperatuur on konstant, kuid võrgu temperatuur on vastavuses välisõhu temperatuuriga. Seguventiili olemasolu tagab kindluse, et võrgus ei toimu ülekütmist ning katlas ei teki alatemperatuuri tõttu kondenseerumist.[2]

Kuivaksjäämise kaitse eesmärk on kaitsta tagasivoolu torustikku kuivaks jäämise eest nagu seda ka seadme nimetus ette näeb.[2]

1.1.4 Pumbad

Antud töös on joonisel 1 märgitud kolm pumba. Tegemist on kahe võrgupumba ja ühe rõhutõstepumbaga. Võrgupumbad on ühendatud võrku DN80 mõõdus oleva äärikühendusega.

Pumpasi valides on esmalt vaja teada pumbatava vee omadusi nagu näiteks vedeliku liik, vedeliku temperatuur, tihedus jne. Teisalt tuleb pumpade valikul määrata kolm põhilist parameetrit. Esimeseks neist on vooluhulk, kindlasti tuleb määrata tõstekõrgus ehk kui kõrgele antud juhul vett pumbatakse ning viimaks hõõrdekaod, mis tekivad liikuva fluidumiga torudes.[10][11]

Pumba eluiga sõltub eelkõige pumbatava vee kvaliteedist. Juhul kui pumba tööriistad kuluvad, ei ole pump võimeline enam tagama vajalikku rõhku või kulu ning sellega langeb ka pumba tööefektiivsus.[12]

Enamasti on tähtsamad pumbad, antud juhul võrgupumbad, dubleeritud. Seda nimelt selleks, et rikke või pumba lekke korral lülitub automaatselt sisse teine reservpump.[12]

Käesoleva töö katlast pumbatakse küttevett soojusvõrku võrgupumpadega. Võrgupumbad on valitud võimsuse ja vajaliku vooluhulga järgi. Kuna katlamaja peab olema vajadusel käitav 1MW ja 3MW kateldegaga, on valitud kaks võrgupumpa.

Võrgupumpadeks on mõistlik valida tsentrifugaalpumbad, mis on odavamad võrreldes mahtpumpadega, neid on lihtsam hooldada ning pumbad on ehituselt lihtsamad, mis tagab ka töökindluse.[11]

Võrgupumpadeks on Grundfos 80-160/164 (joonisel 4), mille arendatav tõstekõrgus on kuni 32 meetrit ja Grundfos TP 80-400 (joonisel 5), mille arendatav tõstekõrgus on 30 meetrit.

Pumba Grundfos 80-160/164 näol on tegemist jadaühenduses oleva üheastmelise tsentrifugaalpumbaga. Tänu jadaühendusele, kus sisse- ja väljalase paiknevad vastastikuliselt, on tagatud pumba mugav toruvõrgustikku paigaldamine.

Grundfos TP 80-400 pumbad on üheastmelised jadaühendusega mehaaniliselt liigutatava võlliga tsentrifugaalpumbad, mida kasutatakse peamiselt kütte, jahutuse ja piirkonna veevarustuseks.

Maksimaalne fluidumi temperatuur Grundfos 80-160/164 on 140°C ja vooluhulk 43 m³/h. Grundfos TP 80-400 maksimaalne fluidumi temperatuur on 120°C ja vooluhulk 115m³/h.[13]



Joonis 4 Võrgupump Grundfos 80-160/164[14]



Joonis 5 Võrgupump Grundfos TP 80-400[15]

Rõhutõstepumba võimsus peab olema suurem tagasivoolu torustiku rõhust. Rõhutõstepumba eesmärgiks on täita tagasijooksu torustikku eeltöödeldud veega, mida hiljem võrku pumbatakse.[2]

1.1.5 Torustik

Katlamaja torustiku projekteerimisel tuleb arvestada katlamaja võimsuse ja torustiku vooluhulgaga. Suured torud on kasutusel, kui vooluhulk torustikus on suur ja peened

torud on kasutusel väiksemate vooluhulkade korral. Torustiku dimensioneerimise parameetrik on voolu kiirus v (m/s).

Dimensioneerimisel arvestatakse, et voolukiirused ning rõhukaod oleksid võimalikult väikesed, mille tulemusel ei teki ka torustikus müra.[16]

Torustiku dimensioneerimisel arvestatakse voolu kiirus torustikus on 1 m/s. Torustiku eluaeg sõltub torustikus tekkivatest pingetest, temperatuuri suurustest ja rõhkudest. [2][17]

Projekteeritud katlamajal on kolm erinevat torustikku. Pealevoolu torustik koosneb kolme erineva mõõtmetega torudest: DN125, DN100 ja DN80. Tagasivoolu torustik on samuti erinevate mõõtmetega: DN125, DN100 ja DN80. Pealevoolu ja tagasivoolu torustikud on terasest. Pealevoolu torustiku pikkus on 8,082 meetrit, tagasivoolu torustiku pikkus on 9,619 meetrit.

Torud on roostevabast terasest kuna haljas metall hakkab hapniku olemasolul korrodeeruma eriti kiireneb protsess niiskuse olemasolul. Vältimaks tulevikus suuremaid rekonstrueerimisi, on torumaterjalina kasutatud roostevabast terast. [2][12]

Lisavee torustiku nominaaldiameeter on DN25. Lisavee torustik ulatub konteinerkatlamajast välja, mis varustab veega lisaveepaaki.

Lisaks pealevoolu, tagasivoolu ning lisavee torustikule on katlamajale projekteeritud ka gaasitorustik, mille eesmärgiks on varustada põletit maagaasiga. Gaasitorustiku nominaaldiameetrid on DN80, DN50 ja DN20. Gaasitorustik on varustatud gaasigrupi ja gaasiarvestiga. Kerge kütteõli torustiku nominaaldiameeter on DN25, torustik tuleb vedelkütusehoidlast põletisse.

Kuna konteinerkatlamaja peab olema suuteline töötama ka kergel kütteõlil, on joonisele lisatud ka kerge kütteõli torustik ning kaks 1000 liitrilist vedelkütuse hoidlat. Hoidlaid on võimalik varustada kergkütteõliga täiteotsiku kaudu, mis ulatub konteinerkatlamajast väljapoole.

1.1.6 Lisaveepaak

Lisaveepaagi eesmärk on kindlustada soojavõrku lisaveega. Lisaveepaak on vajalik kompenseerimaks vee kadu süsteemis kas aurustumise või lekete olemasolul. Lisavee kulu sõltub küttevõrgu tehnilisest seisukorrast.[2]

Kuna tegemist on antud juhul võrdlemisi väikese küttevõrguga, kuhu kuuluvad väikeste võimsustega elemendid ja konteinerkatlamaja näol on tegemist ka uue

konstruktsiooniga, pole vajalik projekteeritavasse küttevõrku ette näha suure mahtuvusega lisaveepaaki. Võrdluseks suured katlamajad, mis toodavad soojust kogu linnaosale.

Projekteeritud lisaveepaak on mahuga 1,5m³ ning tegemist on lahtise paagiga. Lisaveepaagi projekteerimisel lähtuti ülesandes etteantud vajalikust paagi mahust ja poolhaake mõõtmetest. Jälgiti, et paagi projekteerimisel ei tekiks üle- ega aladimensioneerimist ning oma mõõtmetelt sobiks poolhaake treilerisse nii, et ka muudeks katlamaja töötamiseks vajalikeks seadmeteks jääks piisavalt ruumi.

Samuti arvestati lisaveepaagi jaoks vajaliku torustikuga. Lisaveepaagi torustikul peab pealeandev toru olema alati vee sees, et vältida kavitatsiooni, milleks tuleb omakorda jälgida, et pump ei jääks kuivale. Kuna paagi torustik on ühendatud tagasivoolu trassiga, tuli jälgida, et trasside projekteerimisel ja hiljem ka välja ehitamisel ei tekiks erinevate trasside vahel konflikti.

Lisaveepaagist väljuv lisaveetoru koos magnetklapiga on paigaldatud juhuks, kui võrgus tekib ülerõhk. Sellisel juhul saab üleliigse vee tagasi täitemahutisse juhtida. See on aga eeldades, et lisaveepaagil on alati teatud kompenseerimisruum [2].

Lisaveepaagi torustik on omakorda ühenduses veepehmenuseseadmega.

Veepehmenuseseade koosneb mineraalidega paagist, kontrollklapist ja soolalahusega täidetud anumast. Mineraalidega paagis toimub vee pehmenamine, kontrollklapi ülesanne on monitoorida seadet läbivat veehulka ja olukorras, kus süsteem ei tööta enam efektiivselt, alustab kontrollklapp regenererimisfaasi. Soolalahusega täidetud anuma ülesandeks protsessis on olukorras, kus mineraalidega paak oma ülesande täitmisega jääb võimekusest vajaka, voolata läbi mineraalidega varustatud paagi ja kogu süsteem regenererida, et säiliks vee pehmenamise võimekus.[2]

Veepehmenuseseadme eesmärk on süsteemis ringlevat vett pehmenada, muutes kaltsiumi ja magneesiumi soolad vees lahustuvateks mineraalideks. Kuna tegemist on katlamajaga, kus torudes voolava vee temperatuurid on üsnagi kõrged, siis on see tegevus vajalik, et hoida katlasüsteemi toimiva ja tõrgetevabana. Kuna katlakivi soojusjuhtivus on väiksem kui puhta metalli soojusjuhtivus, on katlakivi tekke tagajärjedeks katla efektiivsuse langus, torustiku ülekuumine lekked ja avariid [12].

Veepehmenuseseade on loodud selle protsessi vältimiseks ning likvideerib tulevikus vajaduse võrgus olevate torude remondiks või väljavahetamiseks. Veepehmenuseseade on varustatud kraanidega ning töödeldud vesi suundub veepehmenuseseadmest torustikku mööda tagasivoolu torustikku.

Veepehmendusseadme näitlik pilt on toodud joonisel 6.



Joonis 6 Veepehmendusseade[18]

2 KATLAMAJA HÜDRAULIKAARVUTUSED JA NENDE METOODIKA

Hüdromehaanika on haru, mis käsitleb vedelike füüsikalisi omadusi ning käitumist nii staatilises olekus, mida nimetatakse omakorda hüdrostaatikaks kui ka voolavas olekus, mida nimetatakse teisisõnu hüdrodünaamikas [19].

Antud töös on tegemist liikuva vedelikuga ehk tegemist on hüdrodünaamikaga.

Hüdraulikaarvutuste eesmärgiks on kontrollida, kas antud võimsusel moodulkatlamajale on tagatud piisava suurusega hüdraulikaseadmed ning juhul kui lähteülesandes väljatoodud seadmed ei vasta kontrollarvutustele, kuidas toimida edasi.

Projekteeritud konteinerkatlamaja silmas pidades on hüdraulilisteks seadmeteks pumbad, tagasivoolu- ja pealevoolu torustik ning lisaveepaak. Kontrollarvutused koostatakse vastavalt pumpadele ning tagasivoolu- ja pealevoolu torustikele. Vedelik, mida töös käsitletakse on vesi.

2.1 Pumpade kontrollarvutuste meetod

Pumpade kontrollarvutuse eesmärgiks on kontrollida pumba tõstekõrguse ja survekadude erinevust. Juhul, kui survekaod on võrdsed pumba tõstekõrgusega on pump õigesti valitud.

Lisaks on arvatud kavitatsioon pumpadele. Pumba kavitatsioon on nähtus, kus vedelik hakkab pumbas keema. See tekib juhul kui absoluutrõhk langeb allapoole vedeliku küllastunud auru temperatuuri. Pumba kavitatsiooniga kaasneb ka müra, vibratsioon, pumba surve ja jõudluse vähenemine ning samuti langeb ka pumba kasutegur. Kavitatsioon võib vähendada ka komponentide eluiga.[11][20]

Pumpade arvutamisel lähtun pumba võimsuse N (W) valemist 1. [11]

$$N = p \cdot Q \quad (1)$$

kus

N – võrgupumpade summaarne võimsus, W ;

p – pumpade poolt avaldatud rõhk, Pa ;

Q – vee mahtkulu, m^3/s .

Rõhu p (Pa) arvutamisel kasutan valemit 2. [11]

Valemi 2 kuju:

$$p = r \cdot g \cdot h \quad (2)$$

kus

p - rõhk, Pa;

ρ - vedeliku tihedus, kg/m³;

g - raskuskiirendus, m/s²;

h - antud juhul pumba tõstekõrgus, m.

Vee mahtkulu Q (m³/s) leidmiseks on valem 3. [12]

Valemi 3 kuju:

$$E = G \cdot (h_2 - h_1) \quad (3)$$

kus

E - katlamaja kasulik võimsus, kW;

G - vee kulu, kg/s;

h_1 - katlasse siseneva vee entalpia, kJ/kg;

h_2 - katlast väljuva vee entalpia, kJ/kg,

mis antud juhul töös on muudetud valemiks 4. [21]

$$Q = \frac{E}{(c_{p1} \cdot t_1 \cdot \rho_1 - c_{p2} \cdot t_1 \cdot \rho_2)} \quad (4)$$

kus

Q - vee mahtkulu, m³/s;

E - katlamaja väljastatav võimsus, kW;

ρ - vedeliku tihedus, kg/m³;

c_{p1} - pealevoolu erisoojus, kJ/(kg·K);

t_1 – pealevoolu temperatuur, K;

c_{p2} – tagasivoolu erisoojus, kJ/(kg·K);

t_2 – tagasivoolu temperatuur, K.

Survekadude arvutamisel saab liigitada kaod kaheks: hõõrdesurvekadu h_l ja kohtsurvekadu h_k . Survekao arvutamisel on tuginetud Bernoulli võrrandile 5. [19]

Bernoulli valemi kuju 5:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + h_t \quad (5)$$

kus

z - kõrgussurve, m;

p - rõhk, Pa;

u - kiirus, m/s;

ρ - tihedus, kg/m³;

g - raskuskiirendus, m/s²;

h_t - survekaod, m.

Hüdraulilises voolusüsteemis määratakse survekadu kõigi survekadude summaga:

Voolusüsteemi kogu survekao h_t saab määrata valemiga 6. [19]

Valemi 6 kuju:

$$h_t = \sum h_l + \sum h_k \quad (6)$$

Hõõrdesurvekadu h_l on ümartorus määratletud Darcy valemiga 7. [19]

Valemi 7 kuju.

$$h_l = l \frac{l}{d_s} \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

kus

h_l - hõõrdesurvekadu, m;

λ - hõõrdetakistustegur;

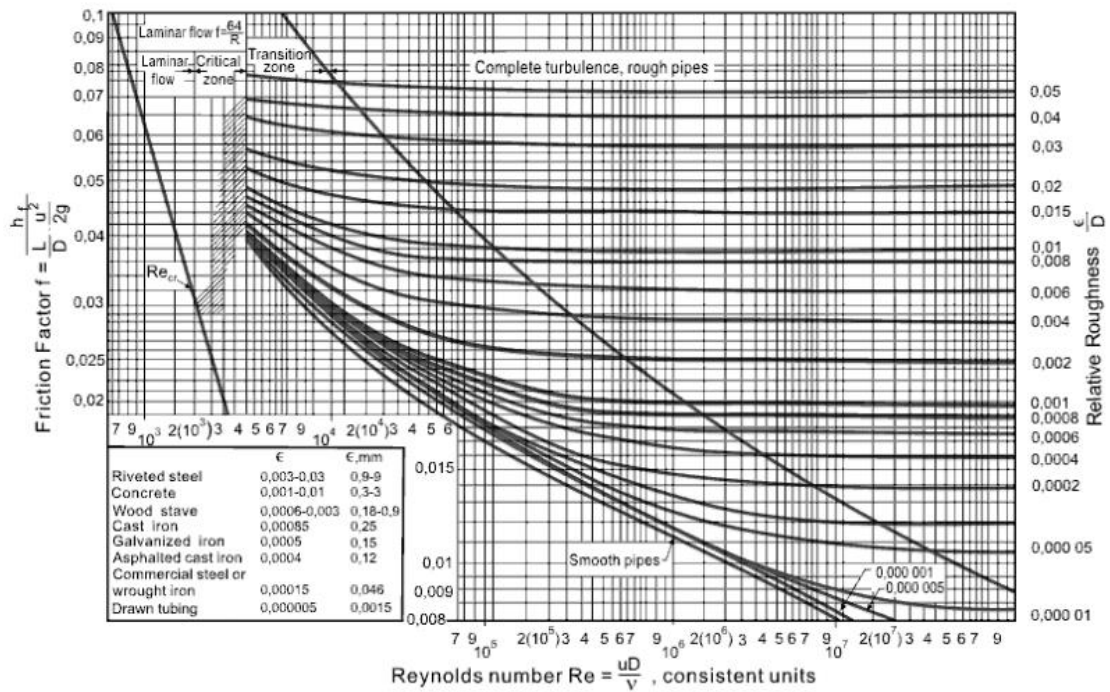
l - survetoru pikkus, m;

d_s - toru sisediameeter, m;

u - voolamise kiirus, m/s;

g - raskuskiirendus, m/s².

Hõõrdetakistusteguri, Moody diagrammilt (joonis 7) leitava väärtuse, saab määrata Reynolds'i arvu ja pinna kareduse järgi.



Joonis 7 Moody diagramm [22]

Reynoldsi arvu saab määrata valemiga 8. [11]

Valemi 8 kuju:

$$Re = \frac{u \cdot d_s}{\mu} \quad (8)$$

kus

Re – Reynoldsi arv

u – voolamise kiirus, m/s;

d_s - toru sisediameeter, m;

μ - vedeliku kinemaatiline viskoossus m^2/s ;

Pinna suhteline karedus Δ on leitav valemiga 9. [11]

Valemi 9 kuju:

$$\Delta = \frac{e}{d} \quad (9)$$

kus

Δ - suhteline karedus;

d – toru sisediameeter, mm;

e - toru ekvivalentkaredus, mm.

Kohtsurvekadu h_k on määratletud Weisbachi valemiga 10. [19]

Valemi 10 kuju:

$$h_k = \xi \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (10)$$

kus

h_k – kohtsurvekadu, m;

ξ - kohttakistustegur;

u – voolu kiirus, m/s;

g – raskuskiirendus, m/s^2 .

Kavitatsiooni arvutamiseks on kasutatud valemit 11. [11]

Valemi 11 kuju:

$$\frac{p_i}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} = \frac{p_{ka}}{\rho} + \frac{\Delta p}{\rho} \quad (11)$$

kus

p_i – kogusurve imiavas

u_i^2 – vedeliku kiirus imiavas

p_{ka} – küllastunud veeauru surve

Δp – pumba poolt avaldatav surve

ρ - vedeliku tihedus, kg/m³.

2.2 Torustiku kontrollarvutuste meetod

Torustiku kontrollarvutuste eesmärgiks on kontrollida, kas projekteeritud torustiku nominaaldiameetrid on vastavuses survekadudega. Juhul kui survekaod vastavad nominaaldiameetritele, on m

Antud töös on tegemist liittorustikega. Liittorustikud on erineva läbimõõduga või materjaliga jadamisi ühendatud lihttorustikud. [11]

Torustiku kontrollarvutuseks vajalikud parameetrid on katlamaja võimsus $E(W)$ ja temperatuurid t_1 ja $t_2(K)$.

Kontrollarvutuse teostamisel tuleb arvestada tavaga, kus kaugküttes võetakse voolu kiiruseks 1 m/s. [17]

Sarnaselt pumpade kontrollarvutustele tuleb kasutada ka torustiku dimensioneerimisel vee mahtkulu Q (m³/s) valemit 4.

Seejärel on torustiku mõõtmete leidmiseks vajalik toru ristlõike pindala $A(m^2)$, mida on võimalik arvutada valemiga 12. [23]

$$A = \frac{Q}{u} \quad (12)$$

kus

A – toru pindala, m²;

Q – vee mahtkulu, m³/s;

u – voolu kiirus, m/s.

Torustiku ideaalne sisediameeter on võimalik leida valemist 13. [24]

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (13)$$

kus

d – toru diameeter, m;

A – toru pindala, m².

Torustiku kavitatsioonivaru on leitav valemiga 14. [11]

$$\frac{p_{ka}}{\rho} = \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} \quad (14)$$

kus

p_{ka} - küllastunud veeauru rõhk, Pa;

ρ - vedeliku tihedus, kg/m³;

u - voolu kiirus torus, m/s;

p - minimaalne rõhk torustikus, Pa;

3 KONTROLLARVUTUSTE TULEMUSED JA JÄRELDUSED

3.1 Pumpade kontrollarvutuse tulemused ja järeldused

Kontrollarvutusel lähteülesandes antud parameetrid:

Tabel 1 Lähteülesande parameetrid

Parameeter	Suurus	Ühik
E	1100	kW
$\rho(115^{\circ}C)$	947	kg/m_3
$\rho(70^{\circ}C)$	977	kg/m_3
c_{p1}	4,23	$\frac{kJ}{(kg \cdot K)}$
c_{p2}	4,2	$\frac{kJ}{(kg \cdot K)}$
t_1	388	K
t_2	343	K

Pumpade kontrollarvutusel on arvatud eeskätt vee mahtkulu Q valemist 4.

$$Q = \frac{1100}{(947 \cdot 4,23 \cdot 388) - (977 \cdot 4,2 \cdot 343)} = 0,00749 \frac{m^3}{s}$$

Seejärel on leitud vee kiirused erinevate mõõtmetega torudes, võttes arvesse torude pindalad.

Tabel 2 Vee kiirused

DN125	DN100	DN80

$0,611 \frac{m}{s}$	$0,954 \frac{m}{s}$	$1,491 \frac{m}{s}$
---------------------	---------------------	---------------------

Selleks, et leida survekaod nii andval kui ka tagastuval torustikul, on vaja leida Reynoldsi arv (valem 8).

Reynoldsi arvud pealevoolu torustikule on esitatud tabelis 3.

Tabel 3 Reynoldsi väärtused pealevoolu torustikule

Diameeter (mm)	Reynolds
125	291488
100	364360

Reynoldsi arvud tagastuval torustikule on esitatud tabelis 4.

Tabel 4 Reynoldsi väärtused tagastuval torustikule

Diameeter(mm)	Reynolds
125	298000
100	364360
80	455573

Reynoldsi arvude põhjal on võimalik väita, et antud töös on vedeliku voolamine torus turbulentne.[25]

Ekvivalentkareduseks e on võetud 0,1 mm ehk keevisõmblusega terastorude karedus.

Moody diagrammilt (joonis 7) on saadud hõõrdetegurid, mis on vastavalt esitatud tabelites 5(pealevool) ja 6(tagasivool).

Tabel 5 Hõõrdetakistustegurid λ pealevoolu torustikul

DN125	DN100
-------	-------

0,0198	0,0204
--------	--------

Tabel 6 Hõõrdetakistustegurid λ tagasivoolu torustikul

DN125	DN100	DN80
0,0197	0,0204	0,0213

Hõõrdesurvekao h_l pealevoolu torustikul määratakse valemiga 7.

Hõõrdesurvekaod pealevoolu torustikul on esitatud tabelis 7.

Tabel 7 Hõõrdesurvekaod pealevoolu torustikul

DN125	DN100
1,074 m	3,993 m

Kohtsurvekao h_k pealevoolu torustikul määratakse valemiga 10

Kohtsurvekaod pealevoolu torustikul on esitatud tabelis 8.

Tabel 8 Kohtsurvekaod pealevoolu torustikul

DN125	DN100
0,118 m	0,520 m

Samamoodi nagu pealevoolu torustikul, on määratud ka tagasivoolu torustikul survekaod.

Hõõrdesurvekaod h_l on arvatud taaskord valemiga 7.

Hõõrdesurvekaod tagasivoolu torustikule on esitatud tabelis 9.

Tabel 9 Hõõrdesurvekaod tagasivoolu torustikul

DN125	DN100	DN80
0,014 m	3,806 m	2,397 m

Kohtsurvekadu h_k on arvatud tagasivoolu torustikule valemiga 10.

Kohtsurvekaod tagasivoolu torustikule on esitatud tabelis 10.

Tabel 10 Kohtsurvekaod tagasivoolu torustikul

DN125	DN100	DN80
0,0989 m	0,474 m	0 m

DN80 puhul on kohtsurvekao väärtuseks 0 kuna antud lõigul puuduvad ventiilid ja torupõlved, mis võiksid kohtsurvetakistust tekitada.

Voolusüsteemi survekadu h_t on määratud valemiga 6.

Pealevoolu torustikul on kogu survekaoks

$$h_t = 1,074 + 3,993 + 0,118 + 0,520 = 5,705 \text{ m}$$

Tagasivoolu torustikul on kogu survekaoks

$$h_t = 0,014 + 3,806 + 2,397 + 0,0989 + 0,474 = 6,790 \text{ m}$$

Pumpade kontrollarvutusel järeldus, et kontrollarvutusel saadud survekaod on võrreldes pumpade tõstekõrgusega oluliselt väiksemad.

Võib oletada, et arvestatud on kavitatsiooni ja võimalusega, et pumbad valitakse võimsuse poolest suuremad, kui tegelik töövõimsus ette näeb. Pumba võimsusvaru on enamasti 5-20% kõrgem, kui seda teoreetiliselt vaja on. [26]

Kavitatsiooni puhul on tehtud ka kontrollarvutused kontrollimaks rõhu piiri, mis peab torustikus minimaalselt olema, et pumbas ei tekiks kavitatsiooni..

Kavitatsiooni vältimiseks pumbas peab olema pumba kogusurve imiavas p_i (Pa) olema suurem küllastunud veeauru survest p_{ka} (Pa)

Kavitatsiooni arvutamisel on lähtutud valemist 11.

Tabelis esitatud Pump 1 on tõstekõrgusega 30 m ja Pump 2 tõstekõrgusega 32 m.

Tabel 11 Pumpade kavitatsiooni arvutus

	Pealevool	Tagasivool
Pump 1	438817 Pa	325111 Pa
Pump 2	458426 Pa	344719 Pa

Kui võrrelda Tabel 11 antud rõhu piire võib väita, et kavitatsiooni ohtu ei ole.

Pumbad valitakse suuremad seetõttu, et vältida väiksemat voolukiirust. Väiksema voolukiirusega kaasnevad lisaseadmed, näiteks on vaja lisada täiendav pump või tuleb süsteemi reguleerida. Suuremate pumpade valikul on süsteemi töötamiseks vajalik vooluhulk suurem. [27]

Suuremate pumpade valiku põhjuseks on tihti ka kirjandustest pärinevad erinevad takistusteguid ventiilidele, kraanidele ja teistele kaitsemehhanismidele, mistõttu valitakse pumbad ohutuse mõttes varuga. Eraldi ohutusvaru on jätnud ka pumba tootjad, et pumba jõudlus oleks kindlalt tagatud. [28]

Arvutades maksimaalse soojusliku võimsuse, mille korral võrgupumbad veel töötavad valemi 3 järgi, on tulemuseks:

$$E = 2,3 - 2,4MW$$

Sõltuvalt võrgupumba tõstekõrgusest, kas siis vastavalt 30 meetrit või 32 meetrit, on maksimaalseks soojuslikuks võimsuseks 2,3MW ja 2,4MW.

Võimsuse poolest on pumbad liiga suured, kuna antud juhul on töös tegemist 1,1MW katlaga. Hetkel on arvutuse põhjal maksimaalne katla soojuslik võimsus kaks korda suurem lähteülesandes kirjeldatud katla maksimaalse suurusest.

Suurema pumba eeliseks on küll suurem voolukiirus ning nagu ka eelnevalt mainitud ühendades võrku veidi võimsam pump, kaob oht kavitatsioonile, kuid antud olukorras on lähteülesandes välja toodud pumbad liiga võimsad ja oluliselt üledimensioneeritud. Selliseid pumbasid ei ole mõistlik võrku ühendada.

Kuna konteinerkatlamaja on kasutuses ainult avariide korral ning lühikese ajaperioodi jooksul ei ole reservpumpa katlamajale otseselt vaja, võib arvestada ka asjaoluga, kus antud moodulkatlamajale on tarvis ainult ühte võrgupumpa tagamaks küttevee soojusvõrku.

Seetõttu on ilmselt targem projekteeritavale katlamajale ette näha nõrgem pump, mille tootlikus oleks $25\text{m}^3/\text{h}$.

Juhul kui valida pump, mille tootlikus oleks $25\text{m}^3/\text{h}$ ning mille tõstekõrgus nagu arvutuslikult eelnevalt saadud on, oleks 5-6 meetrid võiks valida võrgupumbaks Grundfosi TP 80-60/4, mis on näidatud joonisel 7.



Joonis 8 Pump Grundfos TP 80-60/4[29]

Siinkohal saab tuua välja ka arvutuse uue valitud pumba abil ülekantava soojushulga kohta. Soojushulka pumba kohta on võimalik arvutada valemiga

$$Q = 25 \cdot (115 - 70) = 1125 J$$

Kriitiliselt tuleb suhtuda ka projekteeritud pealevoolu ning tagasivoolu torustikesse. Antud katlamaja projekteerimisel võib arvestada ka asjaoluga, kus torustikud on üledimensioneeritud. Kui terve pealevoolu torustiku nominaaldiameeter oleks näiteks DN80, oleks survekaoks 24 meetrit, mis on juba võrreldav antud lähteülesandes antud pumba tõstekõrgusega. Samuti tagasivoolu korral, kui muuta torude nominaaldiameetreid väiksemaks, on survekaod pumba tõstekõrgusega ligikaudu võrdsed, kuid endiselt on võetud lähteülesandes liiga suure varuga pump ning see on võimalik asendada väiksema pumbaga.

Järelikult tuleb mõelda enne projekteerimist, kas võtta väiksema võimsusega pump või dimensioneerida torustikku. Siinkohal on mõistlikum valida väiksema võimsusega pump ning kalkuleerida pumbale vastav pealevoolu ja tagasivoolu torustik, kuna nagu ka eelnevalt sai mainitud on pumbad valitud võimsuse poolest liiga suured.

3.2 Torustiku kontrollarvutuse tulemused ja järeldused

Torustike kontrollarvutustel on arvatud esmalt vee mahtkulu Q (m^3/s) katlamaja võimsuse ja kütteeve parameetrite järgi valemist 4.

$$Q = \frac{1100}{(947 \cdot 4,23 \cdot 388) - (977 \cdot 4,2 \cdot 343)} = 0,00749 \frac{m^3}{s}$$

Kui võtta arvesse, et voolu kiirus kaugkütte torustikul on 1 m/s, on torustiku ristlõike pindala arvatud valemiga 11.

$$A = \frac{0,00749}{1} = 0,00749 m^2$$

Pindalast tulenevalt on arvatud torustiku ideaalne sisediameeter valemiga 12.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00749}{3,14}} = 0,098 m = 98 mm$$

Kuna ideaalseks sisediameetriks arvutuste põhjal on saadud 98mm, on projekteerimisel vajalik leida lähim standardiseeritud nominaaldiameeter. Eritellimusel toru valmistamine osutub kulukaks, seetõttu kasutatakse standardmõõtmetes olevaid torusid.

Terastorude standardiseeritud nominaaldiameetrid on toodud tabelis 12.

Tabel 12 Terastoru mõõtude ja suuruste tabel

Nominal Pipe Size		Outside Diameter (mm)	Nominal Wall Thickness Schedule																	
NPS	DN		OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS
1/8	6	10.3		1.24				1.73	1.73	1.73		2.41	2.41	2.41						
1/4	8	13.7		1.65				2.24	2.24	2.24		3.02	3.02	3.02						
3/8	10	17.1		1.65				2.31	2.31	2.31		3.20	3.20	3.20						
1/2	15	21.3	1.65	2.11				2.77	2.77	2.77		3.73	3.73	3.73					4.78	7.47
3/4	20	26.7	1.65	2.11				2.87	2.87	2.87		3.91	3.91	3.91					5.56	7.82
1	25	33.4	1.65	2.77				3.38	3.38	3.38		4.55	4.55	4.55					6.35	9.09
1 1/4	32	42.2	1.65	2.77				3.56	3.56	3.56		4.85	4.85	4.85					6.35	9.70
1 1/2	40	48.3	1.65	2.77				3.68	3.68	3.68		5.08	5.08	5.08					7.14	10.15
2	50	60.3	1.65	2.77				3.91	3.91	3.91		5.54	5.54	5.54					8.74	11.07
2 1/2	65	73	2.11	3.05				5.16	5.16	5.16		7.01	7.01	7.01					9.53	14.02
3	80	88.9	2.11	3.05				5.49	5.49	5.49		7.62	7.62	7.62					11.13	15.24
3 1/2	90	101.6	2.11	3.05				5.74	5.74	5.74		8.08	8.08	8.08						
4	100	114.3	2.11	3.05				6.02	6.02	6.02		8.56	8.56	8.56			11.13		13.49	17.12
5	125	141.3	2.77	3.40				6.55	6.55	6.55		9.53	9.53	9.53			12.70		15.88	19.05

Antud juhul on selleks DN100, kuna see on lähim vaste 98mm-le mõõdule ning enamasti sellises olukorras dimensioneeritakse torustikud natukene suuremad.

Seega ideaalne torustiku nominaaldiameeter peaks olema DN100. Projekteeritud suurim torustiku nominaaldiameeter DN125 on sellisel juhul kergelt üledimensioneeritud.

Lisaks ideaalsele torustiku nominaaldiameetrile, on teostatud arvutus ka torustiku kavitatsioonivarule. Arvutatud on minimaalne rõhk torustikus, mille juures ei teki veel kavitatsiooni. Arvutusel on arvestatud vee kiirusega, milleks on võetud 1m/s.

Minimaalse rõhu p (Pa) arvutusel nii pealevoolu torustikule kui ka tagasivoolu torustikule on võetud eeskujuks valem 14.

Tulemused on esitatud tabelis 13.

Tabel 13 Pealevoolu ja tagasivoolu torustiku kavitatsioonivaru.

Pealevoolu torustiku kavitatsioonivaru	Tagasivoolu torustiku kavitatsioonivaru
144396,5 Pa	30711,5 Pa

Torustiku kontrollarvutuse järelduseks võib tuua, et torude dimensioneerimine vastavalt pumbale on küll oluliselt lihtsam, kuid nagu ka eelnevalt mainitud, on antud konteinerkatlamajale lihtsam valida uus võrgupump, mille järgi dimensioneerida vastavalt pealevoolu ja tagasivoolu torustik.

3.3 Veepaagi kontrollarvutuse tulemused ja järeldused

Lisaveepaagi kontrolliks ja võrdlusmomendi loomiseks saab tuua paralleele erinevate soojusmajanduse arengukavades välja toodud lisaveepaakidega. Võrdluseks on võetud lähipiirkonnas olevate asulate kaugkütteandmed.

Kõnealused ja uuritud piirkondade aruanded on Saue valla Laagri aleviku kaugküttepiirkonna soojusmajanduse arengukava 2015-2025 (Laagri aleviku katelde võimsused 7,80MW ja 3,90MW), Merirahu kaugküttekatlama (katelde võimsused on vastavalt 1,12MW ja 1,75MW) ning Viimsi valla soojusmajanduse arengukava 2016-2026 (Haabneeme veekatlad võimsustega 7,8MW ja 5,2MW). Kaugküttekatlama puhul on valitud ühine lisaveepaak, mille mahtudeks on vastavalt 6m³, 3m³ ja 5m³. [30][31][32]

Kui võrrelda konteinerkatlamaja ja erinevate kaugküttekatlamajade veepaake, saab väita, et konteinerkatlamajale on valitud õige mahuga lisaveepaak. Nagu ka eelnevalt mainitud, siis lisaveepaagi suurus tuleneb süsteemi amortiseerumise tasemest ja toidetava võrgu suurusest.

Lõputöös käsitletava konteinerkatlamaja puhul on katla võimsus väiksem, erandina Merirahu kaugküttekatlama, mille võimsus on väga sarnane töös käsitletava moodulkatlamaajaga, võrreldavatest kaugküttesüsteemidest, millest tulenevalt on väiksemad ka lisaveepaagi dimensioonid. Kuna tegemist on siiski ajutise lahendusena nt remonttööde ajaks ja süsteem ei ole kasutuses pikaajaliselt ei teki probleemi väiksema lisaveepaagi kasutamisel (võrdluseks Merirahu).

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli projekteerida teisaldatav konteinerkatlamaja ning viia läbi hüdraulika arvutused hüdraulikaseadmetele. Paraku osutus töö käigus projekteeritud konteinerkatlamaja üheks näiteks, kus valitud hüdraulikaseadmed on üledimensioneeritud.

Pumpade arvutusel saadud vastused ei olnud kindlasti need, mida oleks soovinud. Konteinerkatlamajale olid lähteülesandes seatud liiga võimsad võrgupumbad, mis hiljem ka arvutustest selgus. Võrgupumpade arvutatud survekaod olid liiga väikesed, et neid lähteülesandes kirjeldatud pumpade tõstekõrgustega võrrelda. Kui lähteülesandes antud pumpade tõstekõrgused olid vastavalt 30 meetrit ja 32 meetrit, tulid survekaod kõigest 6 meetrit ja 5 meetrit. Antud survekadusi silmas pidades, koostati ka pumba kavitatsiooni arvutus, millest võib järeldada, et kuigi kavitatsioonioht puudub, on pumbad siiski liiga suured.

Pumba arvutusega haakus ka torustiku arvutus. Juhul kui projekteeritud katlamaja pealevoolu ja tagasivoolu torustike nominaaldiameetreid muuta väiksemaks, näiteks toru mõõduga DN125 muuta DN100-ks ja toru mõõduga DN100 muuta DN80-ks, on survekadu peaaegu võrreldav lähteülesandes antud võrgupumpade tõstekõrgustega. Küll aga ei piisaks ka sellest ja pumbad saaks valida vajadusel väiksemad ning piisaks ka ühest võrgupumbast.

Lisaveepaagi puhul võrreldi paagi mahu valikut erinevate kaugküttekattlamajade omadega. Selle võrdluse võib nimetada õnnestunuks kuna võttes arvesse antud katlamaja võimsust, milleks on 1,1MW ja võrreldes neid kaugküttekattlamajade võimsustega, mis olid kordades suuremad, saab väita et lisaveepaak on valitud konteinerkatlamajale õiges mahus ning vastab lähteülesandes antule.

Seega võib väita, et projekteeritud teisaldatava konteinerkatlamaja joonist tuleb kindlasti muuta. Vahetada välja seadmed, mis on üledimensioneeritud ning asendada vastavata mõõtudega, mis antud katlamajja sobiksid.

Lõppkokkuvõttes saab öelda, et lõputöö oli väga õpetlik ning tõestas kontrollarvutuste olulisust enne millegi projekteerimist. Antud töös sai leitud ka ebaõnnestunud kontrollarvutustega seadmetele (pumbad ja torustik) alternatiivid ning lisaveepaagi võrdlus tegelikult õnnestus. Kindlasti tasub olla tulevikus kriitiline ka lähteülesannete suhtes ning piisavalt uurida enne jooniste tegemist seadmete mõõtmete ning võimsuste kohta, säästab nii aega ning hiljem on ka majanduslikult kasulik, kui projekteeritud ehitised ka realsuseks muutub.

Mina arvan, et käesoleva töö eesmärgid said täidetud. Antud tööst on kindlasti palju õppida ning seda tulevikus ka täiendada. Kuigi lõputöö tulemused ei olnud nii head nagu oleksin oodanud, sain siiski esimese kogemuse projekteerida konteinerkatlamaja kasutades Autodesk programme ja kindlasti ka uut huvitavat arvutuste poolelt, mida tulevikus rakendada järgmistes töödes. Lõputöö ülesande võin lugeda täidetuks, sest katlamaja on projekteeritud, hüdraulika arvutused on sooritatud ning analüüsitud.

SUMMARY

The goal of this bachelor's thesis was to design a portable container boiler house. During the writing of this thesis, it unfortunately turned out that the hydraulic devices given in the terms were overdimensioned.

Boiler house pump calculations showed us different results from what we were expecting. The pumps given in the terms of this boiler house were simply too powerful, we later found that out in the calculations as well. Head meters of the pumps given in the terms of reference were 30m and 32m, pressure losses turned out to be only 6m and 5m. After calculating the pressure losses, cavitation calculations were also done. It showed us that even though there is no danger of cavitation, the pumps were still overpowered for this given system.

Pump calculations and piping calculations were done simultaneously. If we were to change the nominal diameters of the supply and return pipe from DN125 and DN100 to DN100 and DN80, pressure losses would almost be the same given in the hypothesis. Though that is not enough and changing the pumps to less powerful ones should definitely be considered. In this case, it would also be acceptable to keep only one pump given in the terms instead of two. One pump is enough to feed the system and keep it running without any errors.

Additional water tank was picked using comparison method. The comparable article between different boiler houses was the power of the boiler houses. The boiler house is designed to give out 1,1MW and the comparable power house were multiple times as power as our boiler house. So, in conclusion, it turned out that the water tank given in the terms of this boiler house was suitable.

In conclusion we can say that blueprint for this boiler house definitely has to be corrected. The overdimensioned devices have to be changed to devices that would be appropriate for this kind of boiler house setup.

Overall, I think it is fair to say that writing this thesis has been very instructive and definitely confirmed that calculations should be the first part when designing something on this scale. In this thesis, alternatives to the devices that were overdimensioned have been given (pumps and pipes). It is always a good idea to keep a critical mind and check everything twice because in the end it saves time and when built, it will be more beneficial economically.

I think that this thesis has fulfilled its goals. Writing this thesis taught me a lot and there is an opportunity to improve it in the future. Although the end results were not as good as expected, I still got an experience designing a full boiler house using Autodesk software. It also taught me a lot about the systems calculations and now I can use that knowledge in the future. The assignment can be counted as accomplished? because a boiler house has been designed, hydraulic calculations have been done and also analyzed.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

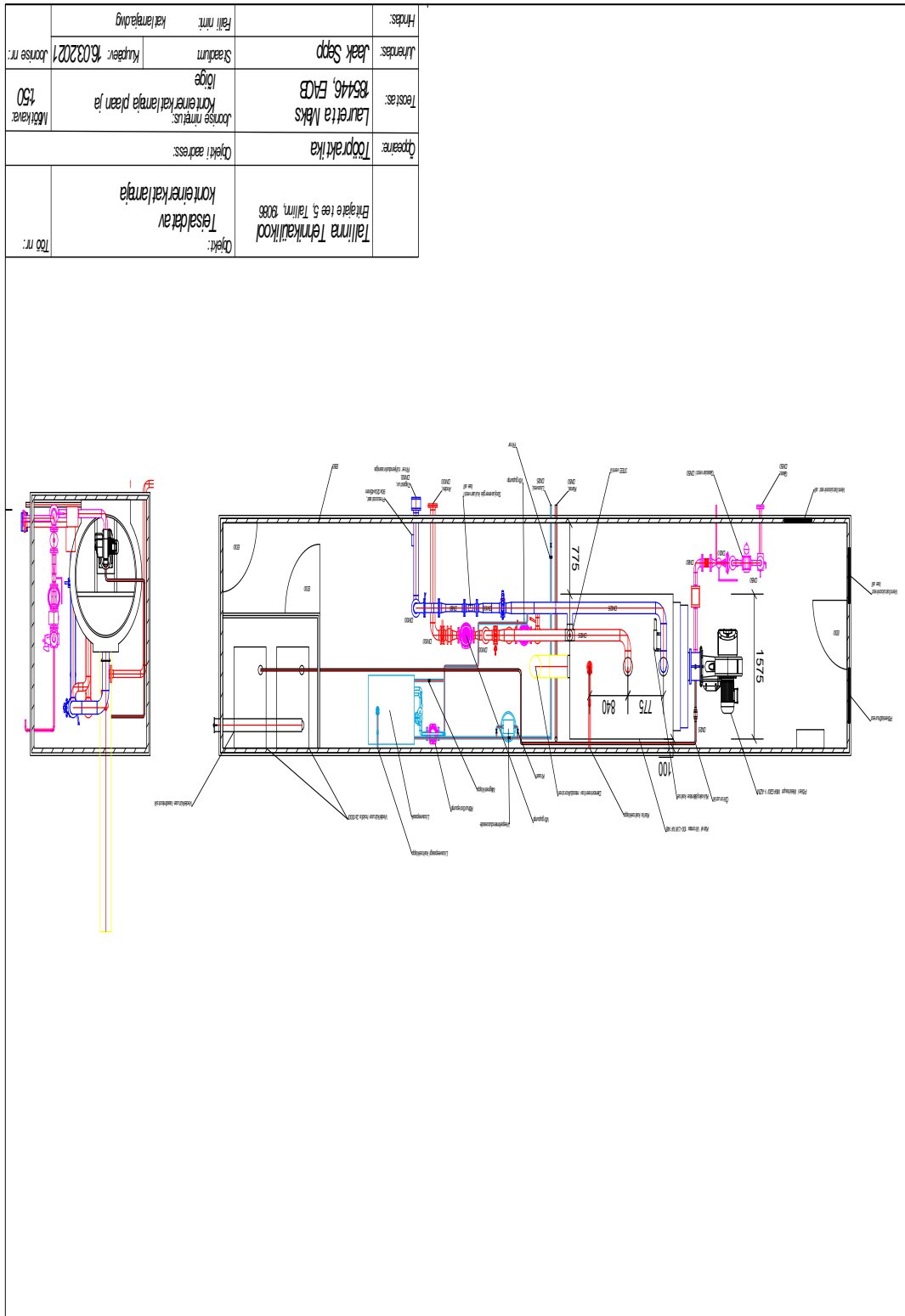
- [1] „Konteinerkatlamaja“, *Keskonnasõbralikud küttesüsteemid*. <https://moderator.ee/tooted/biomassikatlad-ja-poletid/konteinerkatlamaja/> (vaadatud mai 26, 2021).
- [2] „Utilitase asutusesisesed materjalid“.
- [3] A. Veski, *Katelseadmed*. Tallinn: Valgus, 1991.
- [4] „What is a Boiler and How Does it Work? | RealPars“, *PLC Programming Courses for Beginners | RealPars*, aug 19, 2019. <https://realpars.com/boiler/> (vaadatud juuni 02, 2021).
- [5] „Klimälösungen: Effizient heizen, kühlen, lüften“, *Viessmann*, apr 27, 2021. <https://www.viessmann.de> (vaadatud mai 26, 2021).
- [6] „Vitomax 100-LW“, *Viessmann*, märts 14, 2016. <https://www.viessmann.ee/et/ettevotted/kuumaveekatlad/madalrohukuumaveekatlad/vitomax-100lw.html> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [7] „Boiler Burners“. https://www.energysolutionscenter.org/gas_solutions/boiler_burners.aspx (vaadatud mai 26, 2021).
- [8] „Weishaupt - a market leader for burners, heating and condensing-boiler systems, solar technology, heat pumps and building automation. — Weishaupt“. <https://www.weishaupt-corp.com> (vaadatud mai 26, 2021).
- [9] „ari_safe_paigaldamise_ja_kasutamise_juhised_est.pdf“. Vaadatud: mai 26, 2021. [Online]. Available at: http://juhendid.sks.ee/ari_safe_paigaldamise_ja_kasutamise_juhised_est.pdf
- [10] „Pump and piping sizing.pdf“. Vaadatud: mai 29, 2021. [Online]. Available at: <https://www.pumpfundamentals.com/Pump%20and%20piping%20sizing.pdf>
- [11] A. Maastik, H. Haldre, T. Koppel, ja L. Paal, *Hüdraulika ja pumbad*. Tartu, 1995.
- [12] E. M. Konkurentsiamet, „Soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea määramine (hindamine)“, lk 56.
- [13] „Grundfos“. / (vaadatud mai 26, 2021).
- [14] „TP 80-60/4 AI-F-A-BQBE-FX3“. <https://product-selection.grundfos.com/products/tp-tpe/tp/tp-80-604-99222197> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [15] „TP 80-400/2 A-F-A-BAQE-OX1“. <https://product-selection.grundfos.com/products/tp-tpe/tp/tp-80-4002-96108703> (vaadatud juuni 03, 2021).

- [16] „unipipe-projekterimis-ja-paigaldusjuhend.pdf“. Vaadatud: juuni 02, 2021. [Online]. Available at: <https://prelive.hals.ee/trading/wp-content/uploads/sites/1/2018/03/unipipe-projekterimis-ja-paigaldusjuhend.pdf>
- [17] „Dynamic equation-based thermo-hydraulic pipe model for district heating and cooling systems | Elsevier Enhanced Reader“. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0196890417307975?token=DC89684CCF6DB5A6A1CAFDAAEE8503858D662923184E17076136BE1A0CCA06BEB83E89DEA04EA79EEA38C8E7270B35AD&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210603125014> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [18] „Twin Tank Water Softener SF-900F with Fleck Valve“, *Pure Aqua. Inc.* <https://pureaqua.com/twin-tank-water-softener/> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [19] J. Laanearu, *Rakenduslik hüdromehaanika*. Tallinn, 2019.
- [20] „Cavitation“. https://www.engineeringtoolbox.com/cavitation-d_407.html (vaadatud juuni 03, 2021).
- [21] „Heat, Work and Energy“. https://www.engineeringtoolbox.com/heat-work-energy-d_292.html (vaadatud juuni 03, 2021).
- [22] „Moody Chart, Moody’s Table Engineers Edge“. https://www.engineersedge.com/fluid_flow/pressure_drop/moody_chart.htm (vaadatud juuni 03, 2021).
- [23] „vooluhulgamootmine.pdf“. Vaadatud: juuni 03, 2021. [Online]. Available at: <https://www.envir.ee/sites/default/files/vooluhulgamootmine.pdf>
- [24] „How to Calculate Pipe Size From Flow Rate“, *Sciencing*. <https://sciencing.com/calculate-pipe-size-flow-rate-5595865.html> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [25] „Laminar, Transitional or Turbulent Flow“. https://www.engineeringtoolbox.com/laminar-transitional-turbulent-flow-d_577.html (vaadatud juuni 03, 2021).
- [26] „Required Pump Shaft Power“. <https://www.bpma.org.uk/resource-details/563a161cd8c6f/Required-Pump-Shaft-Power> (vaadatud mai 29, 2021).
- [27] „The Effects of Oversizing or Undersizing a Pump“, *Pumps and Systems Magazine*, okt 16, 2019. <https://www.pumpsandsystems.com/effects-oversizing-or-undersizing-pump> (vaadatud juuni 03, 2021).
- [28] W. S. consultant, „Overcome Oversizing of Centrifugal Pumps“, *Chemical Processing*. <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2015/overcome-oversizing-of-centrifugal-pumps/> (vaadatud juuni 02, 2021).
- [29] „TP 80-60/4 A-F-A-BQQE-FX3“. <https://product-selection.grundfos.com/products/tp-tpe/tp/tp-80-604-98182511> (vaadatud juuni 03, 2021).

- [30] „soojusmaj_arengukava.pdf“. Vaadatud: juuni 03, 2021. [Online]. Available at: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4051/1201/5012/soojusmaj_arengukava.pdf
- [31] „lisa3.pdf“. Vaadatud: juuni 02, 2021. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4040/3201/7001/lisa3.pdf>
- [32] „Arengukava.pdf“. Vaadatud: juuni 03, 2021. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4161/2201/6014/Arengukava.pdf>

LISA 1 - KONTEINERKATLAMAJA LÄHTEÜLESANNE

LISA 2 - KONTEINERKATLAMAJA SKEEM



Tehnikuud: 03/06/2021

LISA 3 - KONTEINERKATLAMAJA SELETUSKIRI

**LISA 4 - KONTEINERKATLAMAJA
SPETSIFIKATSIOON**