



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TalTech elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

AUTOKLAAV KOMPOSIITMATERJALIDEST DETAILIDE VALMISTAMISEKS

AUTOCLAVE FOR COMPOSITE MATERIAL PARTS MANUFACTURING

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Rauno Peet

Üliõpilaskood: 155471MAHB

Juhendaja: Vanemlektor Martin Jaanus

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: Rauno Peet

Lõputöö ülesanne

(Autoklaav komposiitmaterjalidest detailide valmistamiseks)

Üliõpilane: Rauno Peet 155471 (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: MAHB mehhatroonika (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): vanemlektor Martin Jaanus 620 3802 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Autoklaav komposiitmaterjalidest detailide valmistamiseks

(inglise keeles) Autoclave for composite material parts manufacturing

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida seadeldis
2. Koostada juhtimissüsteem
3. Leida seadeldise tootmise jaoks vajaminevad materjalid ja ostutooted

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kambri mudeli koostamine ning kambri mõjuvate jõudude leidmine. Kütteseadeldise võimuse suurusjärgu väljaselgitamine.	31.03.2019
2.	Kambri materjalide valik, tugevusarvutused ja kompressori/vaakumpumba ühendused.	21.04.2019
3.	Juhtelektroonika projekteerimine. Lõputöö lõplik vormistus.	14.05.2019

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 21 Mai 2019

Üliõpilane: Rauno Peet

4 Märts 2019

Juhendaja: Martin Jaanus

4 Märts 2019

Sisukord

AUTORIDEKLARATSIOON	2
Lõputöö ülesanne.....	3
Sisukord.....	4
Sissejuhatus	5
1. Seadeldise nõuded	6
2. Rõhukamber	7
2.1 Kambri mõõtmed ja ehitus	7
2.2 Kambri luuk.....	9
2.3 Kambri rõhukaitsmed	10
2.4 Kambri ühendused.....	11
2.5 Rõhu reguleerimine kambris	13
3. Küttekeha ja isolatsioon	14
3.1 Küttekeha võimsuse leidmine.....	14
3.2 Isolatsioon.....	16
3.3 Kütteseadeldis.....	17
3.4 Kütteseadeldise kontrollimine	19
4. Pumbad	20
4.1 Vaakumpump	20
4.2 Kompressor.....	21
4.3 Rõhu jälgimine	21
4.4 Kompressori, vaakumpumba ja kütteseadeldise töö kontrollimine.....	22
4.5 Pneumaatika skeemid	23
4.5 Tihendid.....	24
5. Ohutus.....	25
5.1 Ohulüliti.....	25
5.2 Kaitsmed.....	26
6. Elektri skeem	27
7.Tugijalad.....	28
8. Koost.....	30
Kokkuvõte	32
Kasutatud allikad	34

Sissejuhatus

Süsinikdetailide valmistamisel on kõige laialdasemalt levinud märglamineerimise tööpõhimõte, mille abil kantakse kangale käsitsi vaik mis imbub kangasse ning seal tahkub. See on polümeerkomposiitide valmistamiseks ka kõige odavam meetod ning vajab kõige vähem lisaseadeldisi. On olemas ka pressimis, injektsioon, ekstrusioon ja pultrusioon meetodid kuid nende meetodite puhul on vaja rohkelt polümeerkomposiitide valmistamise teadmisi ning eelarve puudumisel paljudele kättesaamatud. [1]

Käsitsi märglamineerimisel jäävad materjali kanga kihtide vahele õhutaskud, mille eemaldamiseks kasutatakse vaakumkotte, mis pannakse valmistatava detaile tootmise ajal ümber vormi ja lamineeritud pinna. Sellise koti kasutamine aitab vähendada tunduvalt õhutaskute tekkeid, kuid mitte täielikult, sest paljudel juhtudel võib kile jääda toetuma vormi kumeruste peale. Vaakumkoti kasutamine aitab ka eemaldada üleliigset vaiku mis lamineerimisest on jäänud detaili pinnale. Polümeerkomposiitide tahkumisel on veel tähtis osa ka temperatuuril. Erinevad vaigud tahkuvad erineva kiirusega teatud temperatuuride juures ning tahkumisel esinev temperatuur määrab osade vaikude puhul ka tugevuse.

Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida seadeldis mis aitaks parandada märglamineerimise teel toodetud detailide kvaliteeti. Seadeldis aitab lamineeritud detaili vaakumkotti hoida vaakumis, hoiab kambris vaigu tahkumiseks mõeldud temperatuuri ning kõrgemat rõhku, et suurendada vaakumkoti tõhusust. Suurem rõhk aitab ka detaili pinnalt üleliigselt vaigul paremini minema liikuda. Seadeldis leiaks kasutust mudellaevade võistluskerede tootmisel Viljandi Laevamudelismiringis, mõõtmed ja suurused tulevad vastavalt etteantud võistluste eeskirjade järgi.

1. Seadeldise nõuded

1.1 Kamber

Silindrilise kambri mõõtmed tulevad vastavalt NAVIGA 2019 reeglistiku järgi [2], kus on mainitud, et maksimaalsed mõõtmed võistlusmudeli kere pikkusel on 450mm. Järelikut peab projekteeritav kamber olema pikkuse poolest vähemalt üle selle, ning lisaks veel tuleb arvestada, et kambrisse pandavad vormid on alati suuremad kui valmistatavad detailid ise. Laius võistluskeredel ei ületa 2/3 kere pikkusest, ehk kamber peaks olema vähemalt üle 300mm lai. Kamber peab vastu pidama 4 bar rõhule ning vähemalt 100C töötemperatuurile.

1.2 Luuk

Sisepääs kambrile peab olema selline, et seadeldisega töötaja saaks lihtsa ligipääsu vormile ja detailile kambri sees. Sellisel juhul peaks kambri üks külg täielikult avanema. Projekteeritava silindrilise kambri korral võiks avaneda silindri üks põhi. Luugi tihendid peavad vastu pidama kuni 100 C töötemperatuurile ning kuni 4 bar rõhule.

1.3 Kinnitused

Kõik kambri külge kinnituvad detailid ning ühendused peavad vastu pidama etteantud temperatuuridele ning rõhkudele. Kambril peab olema võimalik fikseerida pinna külge. Vaakumvooliku ühendused kambriga peavad olema eemaldatavad, et neid oleks võimalik tahkunud vaigust puhastada.

1.4 Pumbad

Kambril peab olema nii vaakupumba olemasolu kuid ka kõrgrõhu pump. Kompressor peab saavutama 4 bar vähemalt 20 minutiga kambris. Hetkel kambris olev rõhk tuleb seadeldisega töötajale lihtsasti kuvada. Vaakumpumpa vaakumi tekitamise kiirus peab olema lihtsasti reguleeritav kraaniga, sest vormile asetatud kile ei ole võimalik alati esimese korraga korrektselt asetada, ning vahel on vaja vaakumkotti korrigeerida.

1.5 Kütteelement

Seadeldis peab ka omama kütteseadet mis ühtlaselt soojendaks kambri üles vähem kui 20min ajavahemiku sees. Küttekeha peab soojendama vormi ning detaili igast suunast, sest muidu võivad tekkida vaigu tahkumise käigus deformeerumised. Temperatuur peab olema lihtsasti reguleeritav, temperatuuri hetke näit tuleb töötajale kuvada ning ka etteantud temperatuuri näit milleni kamber ennast on määratud soojendama.

Temperatuuri saavutamisel peab seadeldis hoidma ühtlast temperatuuri. Kütteseade peab olema elektriline.

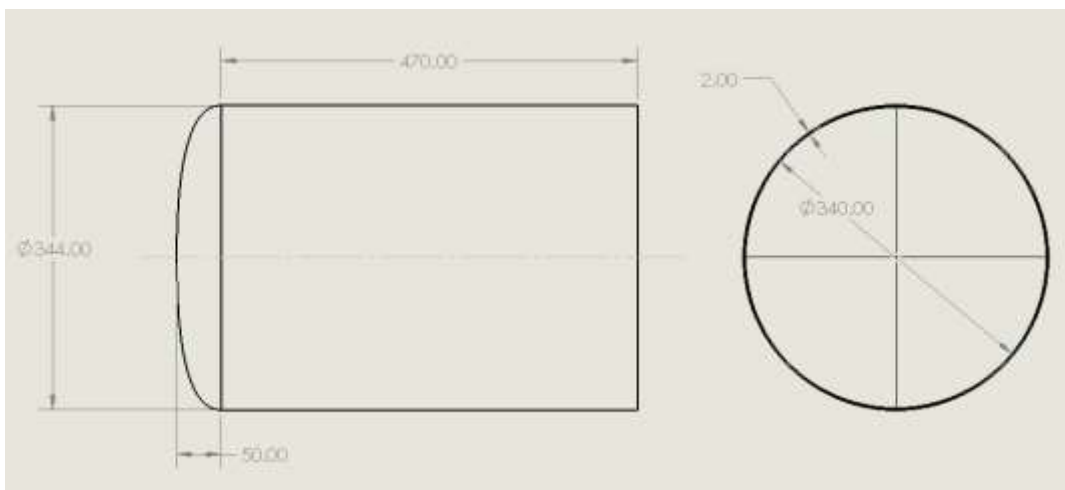
1.6 Elektrilised ühendused

Seadeldis elektriline toide peab tulema standart 230 V vahelduvoolu allikast. Kõik elektrilised ühendused tuleb kinnitada nii, et vajaduse korral oleks lihtne ligipääs kõikidele ühendustele. Lisaks peavad olema erinevad seadeldise kontrollitavad kasutajale selgesti arusaadaval viisil.

2. Rõhukamber

2.1 Kambri mõõtmed ja ehitus

Kambri ehitus peab olema piisavalt tugev, et vastu pidada kuni 4bar rõhule 100C töötemperatuurile. Selliseid rõhu anumaid on võimalik leida erinevatelt tootjatelt kuid ka on võimalik toota ise. Takistuseks sellise kambri ostmisel on kindlasti korrektsete mõõtmetega kambri leidmine. Lisaks võib ostutoote modifitseerimine muuta anuma omadusi ettearvamatul kujul. Kambri ise tootmine lehtmaterjalist on keeruline protsess ning nõuab spetsiaalset tehnikat lehtmaterjali töötlemiseks, painutamiseks ja keevitamiseks. Materjali valik peab olema selline, et keevitamisel ja lehe töötlemisel ei kaoks materjali vajalikud omadused. Seepärast oleks sellise anuma eritellimusena tellimine kogemustega tootja või inseneribüroo käest kõige usaldusväärsem.



2.1.1 Kambri projekteeritavad suurused

Projekteerimise käigus valitud kroom-nikkel roostevaba teras AISI 304 on laialdaselt levinud rõhu anumate tootmisel kasutatav materjal, mis omab häid vormimise omadusi [3]. Roostevaba terase kasutamisel kambri valmistamisel aitab pikendada ka seadme tööiga, kuna kõrge rõhk, temperatuur ning pidevalt kemikaalidega kokkupuutuv kamber on korrosiooni soodustav keskkond. Lisaks lihtsustab roostevaba terase valimine erinevate detailide keevituse abil kinnitamist kambri külge. Kambri materjali roostevaba terase AISI 304 valimisel, saab kambri materjali vajamineva läbimõõdu arvutada järgmiste valemite järgi [4]:

Silindrilise rõhu anuma seina materjali ligikaudse läbimõõdu leidmiseks mõeldud valem.

$$\frac{PR_0}{2SE + 1,4P} = t$$

(2.2) Ellipsoidse rõhu anuma pea materjali läbimõõdu ligikaudse väärtuse leidmiseks mõeldud valem.

$$\frac{PD_0K}{2SE + 2P(K - 0,1)} = t$$

(2.3) K koefitsiendi leidmise valem

$$K = 0,167 \left[2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right]$$

P = Kambri sees olev rõhk (internal pressure) 4 bar ehk 0.4 MPa

R₀ = kambri välimine raadius (outside radius) Valitud raadius 172 mm

S = materjali lubatud koormus (allowable or calculated stress) AISI 304 korral on see 215 MPa

E = ühenduse efektiivsus (joint efficiency) Valitud mudeli järgi 1

t = materjali paksus (thickness or thickness required of shell) Otsitav väärtus

D₀ = välimine diameeter (outside diameter) kahekorde raadius ehk 344mm

K = koefitsient (coefficients)

h = ellipsoidse pea kõrgus (ellipsoidal or torispherical head height) 50mm

$$\frac{0,4MPa * 172mm}{2 * 215MPa * 1 + 1,4 * 0,4 MPa} \cong 0.15mm$$

$$K = 0,167 \left[2 + \left(\frac{344mm}{2 \cdot 50mm} \right)^2 \right] \cong 2,31$$

$$\frac{0,4MPa * 344mm * 2,31}{2 * 215MPa * 1 + 0,4MPa(2,31 - 0,1)} \cong 0,74mm$$

Kuna materjalile tuleb ka lisada varutegur ning sellise õhukese materjali külge on keeruline detaile kinnitada ja keevitada, tuleks materjali paksust suurendada. Projekteeritava kambri korral tõsteti seda 2mm peale.

2.2 Kambri luuk

Kambri luuk tuleb projekteerida või valida kambri mõõtmetele, töötemperatuuri tingimustele ja rõhutaluvusele vastavalt. Selle seadeldise projekteerimise käigus on vastav luuk valitud kataloogist Aliexpress [5]. Luugi ava suurus on 344mm ja sobib täpselt etteantud parameetritega. Tootja andmete järgi on luuk valmistatud roostevaba terasest AISI 304 ning sobib töötama kuni 4bar rõhu all ning üle 100C töötemperatuuril. Luuki saab avada kuue võrdselt paigutatud kruvi abil ning lisaks on sellel keevitatud luugi pinnale lihtne käepide. Luugi tihend on eemaldatav ning vajadusel asendatav suurema töötemperatuuri omaga. Luuki saab kinnitada kambrile keevitades luugile lisatud tagumise kinnitusrõnga abil kambri külge.



2.2.1 Valitud ostutoote pilt

2.2.2 Kambri luugi ostutoote CAD faili kuvatõmmis

2.3 Kambri rõhukaitsmed

Kambri võivad tekkida väliste temperatuuride muutumisel ülerõhk või nõrk vaakum. Ülerõhk võib tekkida siis kui kambri on saavutatud juba soovitud rõhk 4 bar aga temperatuuri tase pole veel saavutatud. Sellisel juhul võib õhu paisumisel rõhk kambri ületada soovitud taset. Soovimatu ülerõhu eemaldamiseks saab kambri lisada ülerõhu kaitsme. Nõrk vaakum kambri võib tekkida siis kui seadeldist ümbritseva keskkonna temperatuur langeb ning kambri olev õhk tõmbab kokku. Soovimatu vaakumi saab kaotada vaakumi katkestaja abil, inglise keeles „Vacuum Breaker“.

Kui ülerõhu katkestajaid on võimalik leida paljudelt tootjatelt ja erinevate omadustega siis alarõhu kaitsmeid on palju vähem. Enamik neist on mõeldud kas väga suurtele tööstuslikele kambritele või väiksemas mastaabis kodumasinatetele, mis ei oma vajalikke töötemperatuure.

Projekteeritavas kambri hoitav nominaalne rõhk saab olema 4bar, järelkult tuleks ülerõhu kaitse valida vastavalt sellele väärtusele. Selle projekteerimise käigus valitud kaitse on tootjalt GENERANT [6]. Tootja andmete järgi on ventiil võimeline töötama -195 C kuni 205 C töökeskkonnas ning toodet on võimalik seada 0.03 bar kuni 10.34 bar ulatuses peal asetsevast 1/2" suuruse mutri abil. Kaitset saab kinnitada süsteemi külge 1/4" suuruse keermega ning toode on valmistatud 316 roostevaba terasest.



2.3.1 Illustreeriv pilt ülerõhu kaitse tootest

Valitud alarõhukaitsme on tootjalt NABIC mudeli nimega Fig 568 [7]. Toode töötab seadeldise välisrõhu järgi, kui seadeldises peaks langema rõhk alla selle mida ümbritseb kambri siis klapp avaneb ning laseb rõhkudel ühtlustuda [8]. Tootja andmetel toode on võimeline töötama -20 kuni 195 C töötemperatuuri juures ning kuni 13,5 bar rõhu keskkonna juures. Toode on üledimensioneeritud projekteeritava seadeldise jaoks kuid väiksemate suurustega tooted ei ole mõeldud vajaminevate temperatuuride juures töötama. Kaitsme saab kinnitada kambri sarnaselt

ülarõhu kaitsmele, kus kambri küljele puuritakse vastav ava ning selle kohale oleks võimalik keevitada ½" keermega adapter või mutter mis hoiaks kaitset paigal.



2.3.3 Illustreeriv pilt alarõhu kaitse tootest

2.4 Kambri ühendused

Kamber peab olema ühenduses nii vaakumpumbaga ja kompressoriga. Kompressori ühenduseks sobib lihtne ava koos kinnituskohaga, kuhu saab kinnitada vooliku või toru mille kaudu õhk liigub. Vaakumpumba ühendusel tuleb mõelda sellele, et voolikuid oleks võimalik lihtsasti lahti ühendada ja puhastada. Vaakumpumba toru kaudu hakkab ka liikuma detailile varem lamineerimisel kogunenud üleliigne vaak, mis torus hakkab tahkeks muutuma. Seepärast peavad olema kõik ühendused kus vaak liigub kas puhastatavad või vahetatavad. Lisaks tuleb projekteerida seadeldisele vaigu püüdja „Catch can“, kuhu saab vaak koguneda nii, et see ei jõuaks liikuda vaakumpumbani.

Vaakumpumba kambri ja vaakumkoti vahelistel voolikutel ühedustel saab kasutada kiirliitmikuid kuhu voolikud ühenduvad. Selliste kinnituste kasutamise eelised on, et need on suhteliselt odavad ning vajadusel lihtsasti eemaldatavad ja vahetatavad. Selle projekteerimise käigus valitud kinnitus on Easycomposites tootekataloogist [9] ning selle külge saab kataloogi andmetel kinnitada sama kataloogi kõrgele temperatuurile ja rõhule mõeldud silikoonvoolikut. Liitmikule saab ühendada voolikut millel on 8 mm sisemine diameeter ning liitmik ise kinnitub ¼" BSP keermelise otsikuga. Sama liitmiku saab ka kasutada kompressori vooliku ühendusel. Lisada tuleks veel voolikutele klambrid, mis hoiaks ära tahtmatu vooliku ühenduse katkemise kambri küljest. Projekteerimise käigus valitud klamber on tootekataloogist Würth [10]. Klamber on mõeldud 10 mm kuni 16 mm voolikule ning on võimalik pingutada vastavalt kruvist. Voolikuid saaks lihtsasti kinnitada kambri külge kasutades toru ühenduste jätkamiseks mõeldud sisemise keermega adapterit. Valitud adapter on tootekataloogist Würth tootekoodiga 5979002010

[11]. Toode on valmistatud 316 roostevaba terasest mis sobib hästi keevitamiseks kambri külge. Tootja andmete järgi on adapter võimeline taluma ligikaudu 10 bar rõhku.



2.4.1 Vaakumühendusteks mõeldud kiirliitmik tootekataloogist EasyComposites

2.4.1 Würth tootekataloogist valitud klamber

2.4.2 Würth tootekataloogist valitud adapter

Silikonvoolik mida soovitab tootekataloog EasyComposites kasutada koos kiirliitmikutega on spetsiaalselt mõeldud komposiitmaterjalide tootmise jaoks kõrgerõhu autoklaav seadeldistes. Voolikul on sisemine diameeter 8mm [12]. Samas kataloogis on mõeldud ka voolikule mõeldud vaigupüüdja „Catch pot“ [13]. Vaigupüüdja on spetsiaalselt mõeldud üleliigse vaigu püüdmiseks vaakumsüsteemis. Püüdja ise on valmistatud 2mm terasest ning omad 10mm akrüülist akent. Sellise vaigupüüdja eeliseks on, et läbi akna on võimalik näha kas vaik reaalselt koguneb sinna või on süsteemi tekkinud rike või ummistus, et vaigu liikumine on takistatud. Lisaks on tootel olemas vaakumi taseme jälgimiseks mõeldud mõõtur, mis eemaldab vajaduse lisada kambri eraldiseisev vaakumi taseme mõõtmise vahendi.

Erinevalt vaakumühendusteks mõeldud voolikuga peab kõrgsurve voolik olema ehituselt selline, et see peaks vastu toru seest tulenevatele jõududele. Lisaks on vaja kõrgsurve toru mille töötemperatuur oleks vähemalt 100 C ning rõhutaluvus üle 4 bar. Tootekataloogist Festo valitud vooliku töötemperatuuri vahemik on ligikaudu -20 C kuni 150 C ning võimeline taluma rõhke kuni 12 bar [14]. Vooliku diameetrit on võimalik valida tootekataloogist 8mm, et vooliks sobiks ka eelnevalt valitud kiirliitmikutega.



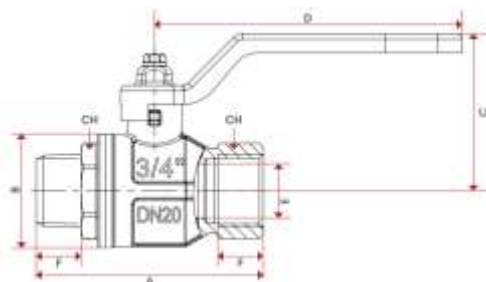
2.4.3 Vaakumvoolik tootekataloogist

2.4.4 Catch pot tootekataloogist

2.4.5 Kõrgsurve voolik tootekataloogist Festo

2.5 Rõhu reguleerimine kambris

Kambri rõhu suurusjärg peab olema lihtsasti kontrollitav kasutajale. Kas läbi kompressori või siis lihtsa kraani abil, kui juhuslikult kasutaja on soovitud rõhust rohkem kompressori abil seda pumpand kambrisse. Valitud kraan on ITAP tootekataloogist mudelinimetusega ART.080. Toode sobib töötama tootja andmete järgi -20 C kuni 150 C töötemperatuuri juures ning taluma rõhke kuni 50 bar. Tootel on punane selgesti silmapaistev pide, mille abil on võimalik seadmega töötajal kambrist vajadusel kiirelt rõhku alandada. Kraani on võimalik kinnitada ½" (DN 15) keermega rõhu anuma külge sarnaselt kiirliitmikutele, kasutades kambri ühendusel torude ühenduseks mõeldud sisemise keermega adapterit.



2.5.1 Tootekataloogist ITAP valitud toote joonis

3. Küttekeha ja isolatsioon

Küttekeha on vaja valida selline, et detailile jõudev soojus jõuaks võimalikult ühtlaselt. Lisaks peab kambris olev temperatuur jõudma toatemperatuurist 20 C etteantud temperatuurini kuni 100 C vähemalt 20 minuti jooksul. Lisaks peab küttekeha ühtlaselt soojendama kambrit, et töödeldav detail omakorda soojeneks kambris ühtlaselt vältides nii temperatuurierinevustega kaasnevaid ootamatuid defekte.

3.1 Küttekeha võimsuse leidmine.

(3.1) Ideaalse gaasi valemist tuletatud valem

$$\rho = \frac{P}{R_s * T}$$

ρ = õhu tihedus kindla rõhu all (air density) otsitav väärtus

P = kambris olev rõhk (absolute pressure) 4 bar

R_s = (specific gas constant) õhu puhul $287 \frac{J}{kg * K}$

T = absoluutne temperatuur (absolute temperature) 100C = 373,15K

$$\frac{400000 Pa}{287 \frac{J}{kg * K} * 373,15 K} \cong 3,73 kg/m^3$$

(3.2) Kambril ligikaudne mahutavus on 46 l järelikult saab õhu koguse leida korrutades tiheduse ruumalaga [16].

$$V * \rho = m$$

V = ruumala (Volume) 46 l

ρ = tihedus (density) $3,73 kg/m^3$

$$46 l * 3,73 \frac{g}{l} \cong 171 g$$

(3.3) Soojushulga leidmise valem

$$Q = c * m * \Delta T$$

c = erisoojus (Specific heat capacity) õhul $0,72 kJ/kg * K$, AISI 304 metallil $0,5 kJ/kg * K$

m = mass

Δt = temperatuuride vahe (change in temperature) toatemperatuurilt 100 C väärtuseni jõudmiseks on vaja kambris tõsta temperatuuri ligikaudu 80 C

Q = soojushulk (heat capacity) otsitav väärtus

Õhu soojendamiseks vajaminev soojushulk

$$Q_1 = 0,72 \frac{kJ}{kg * K} * 0,171kg * 80C \cong 9,84kJ$$

Kambri soojendamiseks vajaminev soojushulk

$$Q_2 = 0,5 \frac{kJ}{kg * K} * 9,8kg * 80C \cong 392kJ$$

(3.4) Soojusülekanne pinnalt õhku leidmiseks mõeldud valem [16]

$$P = \alpha * (T_s - T_v) * A$$

P = soojushulk (heat capacity) otsitav väärtus

α = Konvektsiooni soojusülekannekoefitsient (Convective heat transfer coefficient) liikumatu või väga vähe liikuva õhu (alla 2 m/s) [17] korral $10 \frac{W}{m^2 * K}$

A = pindala (Surface) kogu kambril on see ligikaudu $0,71m^2$, luugil $0,1m^2$ ja kambri põhiosal $0,61m^2$.

T_s = pinna temperatuur (Surface temperature) maksimum temperatuurini jõudes 100 C

T_v = Vedeliku või gaasi temperatuur (Gas temperature) toatemperatuur 20 C

Arvestada tuleb ka küttekeha valimisel kui palju soojust kambrer pidevalt annab ümbritsevasse keskkonda. Sellist soojushulka on võimalik ligikaudselt arvutada valemiga (3.4). Järgnevas arvutuses on leitud P_3 on kogu kambri soojuse eraldumine kambri ning luugi pinnalt õhku.

$$P_3 = 10 \frac{W}{m^2 * K} * (100 C - 20 C) * 0,71m^2 = 568 W$$

Soojushulkade ja soojuskadude kaudu on võimalik leida küttelemeendi võimsus.

(3.5)

$$P_k = \frac{Q_1 + Q_2}{t_k} + P_3$$

P_k = kütteseadme vajalik võimsus, et soojendada kambris olev õhk 20min (1200s) 100 C juurde.

Q_1 = Õhu soojendamiseks vajaminev soojushulk, eelnevalt arvutatud $9,84kJ$

Q_2 = Kambri soojendamiseks vajaminev soojushulk, eelnevalt arvatud $392kJ$

P_3 = Luugi kaudu ümbritsevasse keskkonda eralduv soojus, arvatud $\frac{568J}{s}$

t_k = soojendamiseks kuluv miinimum aeg, ehk etteantud 20min.

$$\frac{9,84kJ + 392kJ}{1200s} + 568 W = 334.86W + 568W \cong 903W$$

Leitud kütteseadeldise suurusjärg oleks teostatav, kuid energiakulusid ning seadeldise kasutamise ohutuse tagamisel tuleks pinnalt eralduva soojuse takistamiseks kasutada isolatsiooni.

3.2 Isolatsioon

Kuna soojemalt kehalt tahab alati energia liikuda külmemale on vaja soojem kamber eraldada ümbritsevast jahedamast keskkonnast. Selle abil on võimalik vähendada energia kadusid ning seadmele on võimalik valida väiksema võimsusega kütteseadeldis. Isolatsioon peab olema selline, et sellesse oleks lihtne teha avasid erinevate kambri detailide ja osade jaoks ning et seda oleks võimalik asetada ümber kambri lihtsasti. Lisaks ei tohi isolatsioon oma kambri töötemperatuuri juures muuta oma omadusi ja kuju ei tohi deformeeruda. Klaasvillast lamellmatid mis on spetsiaalselt mõeldud mahutite isoleerimiseks sobib projekteeritava kambri. Tootjalt Isover on selline toode nimega ISOTEC VENTILAM-ALU mis on mõeldud ventilatsioonikanalite ja -torude, ning mahutite soojus- ja heliisolatsiooniks ning aurutõkkeks [18]. Seda on võimalik lõigata lihtsasti õigesse mõõtu ning asetada projekteeritava kambri ning kütteseadeldise ümber, et vältida soojuse eraldumist keskkonda. Isolatsiooni saab soovitatavalt kinnitada galvaniseeritud traadiga, plastiklindiga või alumiiniumteibiga. Matti ei tohi väga tugevalt kinnitada muidu isolatsiooniomadused võivad halveneda, seepärast oleks hea kasutada alumiiniumteipi millega saab kergemalt toodet kinnitada. Tootja andmetel on isolatsiooni soojusjuhtivus 100 C juures $0,058 \frac{W}{m \cdot K}$ ning 10mm (kõige õhema ja odavama toote variandi) korral saab valemit (3.6) kasutades leida soojuskadu, kui kasutada seda toodet kambri isoleerimisel.

(3.6) Soojusjuhtivuse võrrand.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k * A * (T_2 - T_1)}{L}$$

Q = soojushulk (heat capacity) otsitav väärtus

A = pindala (Surface) kogu kambri on see ligikaudu $0,71m^2$

T_1 = Pinna temperatuur materjali välimisel küljel (Surface temperature outside)

Toatemperatuuril 20 C

T_2 = Pinna temperatuur materjali seesmisel küljel (Materjal temperature inside) Kõrgeima temperatuuri korral 100 C

L = Materjali kihi laius (Material thickness) Antud tootja kõige õhem materjal on 10 mm

Δt = Ajavahemik (time) hetkesüsteemis vaatleme 1 s toimuvat soojusenergia liikumist

k = Soojusjuhtivustegur (Thermal Conductivity) AISI 304 korral on see $16,2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$$\frac{Q_4}{1s} = \frac{0,058 \frac{W}{m \cdot K} * 0,71m^2 * 80C}{0,01m} \cong \frac{329,44J}{1s} \cong 329W = P_4$$

Isolatsiooni kasutamisel saab viia soojuskaod 568 W pealt 329 W juurde, kasutades ainult tootekataloogi kõige õhemat ja vähemtõhusat isolatsiooni. Isolatsiooni arvestades saab nüüd leida uue vajamineva kütteseadeldise võimsuse valemi (3.5) kaudu asendades eelnevalt arvatud kambri pinnalt eralduva soojushulga isolatsioonikihi soojusjuhtivusega.

$$\frac{9,84kJ + 392kJ}{1200s} + 329W = 334,86W + 329W = 663,86W$$

Koos isolatsiooniga saab kambri temperatuuri viia ideaaltingimustel 20 minutilise ajavahemiku sees toatemperatuurilt kuni 100 C juurde 663,86 W võimusega kütteseadeldisega. Arvutuslikud väärtused on reaalsusest erinevad kuna isolatsiooni tehtud erinevad lõiked ning kinnituskohad võimaldavad kambrit soojuselt vähesel määral ikka eralduda keskkonda. See tähendab, et tegelikult oleks vaja suurema küttevõimekusega küttelemit valida.

3.3 Kütteseadeldis

Valitud Kütteseadeldis on tootjalt Flexelec ning toote nimi on Flexdrum® [19]. Toode on mõeldud silindrilise keha soojendamiseks mille läbimõõt on 350mm ±10mm. Toode sisaldab ka veel kütteseadeldist isoleerivaid silikoonist matet, on vee ja niiskuse kindel, töötab 230V pingega ning kinnitub silindrilisele keha ümber vedru ja konksudega. Kütteseadeldise võimsus on 500W ja sobib eelnevalt leitud vajaminevate väärtustega. Võimuse ja vajatava pinge järgi saab eeldada, et seadme voolutugevuse maksimum väärtus ei tohiks ületada 2,2 A. Toote laius on tootja poolt etteantud andmete järgi 150mm. Kambri silindriline osa on projekteeritud 470mm, millest kambri luugi kinnitus

rõngas võtab 100mm, jääb alles 370mm kuhu mahutada ära kütteseadeldised ja muud detailid. Sellest saab järeldada, et kõige rohkem on selliseid kütteseadeldisi võimalik mahutada kambrile kaks, et jääks ruumi ka rõhukaitsmetele, rõhusüsteemide liitmikutele ning tugijalgadele. Sarnase otstarbe jaoks on ka paremaid tooteid, näiteks tootekataloogist HEATLINE [20] on olemas vaadi soojendamiseks spetsiaalselt isoleeritud küttekeha, millel on veel lisaks küttekehale olemas termostaat ning toote kinnitamiseks vajalikud lisatarvikud. Miinuseks sellise toote kasutamisel on: kindlad etteantud dimensioonid kuhu projekteeritav kamber on kas liiga väike või suur, ruumi ei ole vajaminevate kaitseseadmete paigutamiseks, nagu ülerõhu ventiil, ning ei ole mõeldud kasutamiseks horisontaalselt asetseva anuma jaoks, kus üks osa kambrist on väliskeskonna mõjudele avatud.



3.2.1 Pilt tootest Flexdrum silindrilise keha ümber

3.2.2 Heatline tootekataloogi mahuti soojendus

Kahe kütteseadeldisega oleks võimalik saavutada küttevõimsus kuni 1 kW, ehk vajaminevaid kambri temperatuure oleks veelgi kiiremini võimalik saavutada. Avaldades valemist (3.5) t_k ehk soojendamiseks kuluva aja, saab leida kui kiiresti soojeneb kamber 1 kW kütteseadeldise korral ideaaltingimuste korral, ehk ei arvestata soojuskadudega mis tulenevad erinevatest sisselõigetest isolatsiooni.

$$t_k = \frac{Q_1 + Q_2}{P_k - P_5} = \frac{9840J + 392000J}{1000W - 329W} \cong 599s$$

Arvutuslikult on võimalik 1 kW kütteseadmega ideaaltingimustel soojendada kamber toatemperatuurilt 20 C juurest makimaalse töötemperatuuri 100 C juurde ligikaudu kümne minuti jooksul. Tegelik aeg on ilmselt suurem sest erinevate detailide kinnituste ümber ei saa isolatsiooni asetada nii, et sealt ei eralduks soojust keskkonda.

3.4 Kütteseadeldise kontrollimine

Kuna erinevate vaakude korral on vaja kasutada erinevaid temperatuure on vajalik, et kambri temperatuur oleks reguleeritav. Temperatuur peab olema lihtsasti muudetav seadeldisega töötaja jaoks. Valitud seade on W3230 [21] nimeline toode, mis on võimaline töötama 220 V vahelduvooluga ning on võimaline kontrollima temperatuure vahemikus -50 C – 120 C, täpsusega 0,1 C. Termostaadil on kaks kuva kus näidatakse kasutajale hetke temperatuur punaselt ning valitud temperatuur siniselt ning relee on mõeldud kuni 10 A voolule. Lisaks on võimalik elektrooniliselt sättida nuppude abil erinevaid funktsioone: viivitatud käivitus, kõrge temperatuuri häire kui temperatuur peaks ületama valitud temperatuuri, lukustada termostaadi sätteid, vahetada Fahrenheit ja Celsius skaala vahel ning hüstereesi kontrollimine. Toote mõõtmed on esipaneelil 79 mm x 43 mm x 26 mm ning tagapaneelil 74mm x 39mm. Termostaadi andur tuleks kinnitada kambri küljele kütteseadmest eemale, et eemaldada anomaaliaid. Kuna tootja ei ole toonud välja anduri juhtme omadusi tuleks ka vältida anduri juhtme kokkupuutumist kambri, juhul kui juhtme isolatsioon ei vast temperatuurinõuetele. Termostaat tuleks asetada vooluringi nii, et kui küttelemid on välja lülitatud siis hetketemperatuur oleks endiselt nähtav termostaadilt.



3.4.2 Pilt valitud termostaadist

3.4.1 Kataloogis antud mõõdud tootele

4. Pumbad

4.1 Vaakumpump

Vaakumpumba valiku tegemisel on oluline, et see suudaks töötada kõrge temperatuuri kuni 100 C juures, ning töövõimet ei tohi segada erinevate vaigust tulenevate kemikaalide aurud. Valitud vaakumpump on tootjalt KNF mudeli numbriga N 0100 AT.16 E [22]. Pump on võimeline töötama 10 C kuni 40 C töökeskkonnas vastavalt tootja spetsifikatsioonidele ning suudab pumbata õhku mis on 5 C kuni 240 C. Vaakumpumba võimsus on 400W ning töövõime on kuni 100 l/min. Pump töötab 230 V vahelduvoolu pealt ning maksimum lubatud voolu tarbimine on 2,4 A. Ots kuhu saab toru kinnitada on M15 keermega, mis ei sobi eelnevalt valitud kiirliitmikuga. Kasutada saab kas üleminekut, mis viiks vajamineva ava suuruse M18 pealt eelnevalt valitud kiirliitmiku suuruse jaoks ¼" BSP peale, või valida kiirliitmik millel oleks M18 kinnitus ning vooliku kinnitus 8 mm sisemise diameetriga vooliku jaoks. Tootekataloogi Aeroflow toode AF734-05BLK [23] on kiirliitmik millel on kinnitus M18 ning vooliku ühendus olemas 5/16" suurusele, ehk ligikaudu 8mm sisemise diameetriga voolikule ning sobib eelnevalt valitud silikoon voolikuga. Pumba saab kinnitada pinnale põhjaplaadi avade abil, mis on mõeldud 6mm poltide jaoks. Kuna vaakumit on vaja kontrollida pidevalt vaakumkoti sättemiseks kambris on vaja lisaks veel vaakumsüsteemile lisada vaakumkraan mida oleks seadme kasutajal lihtne kasutada. Easycomposite tootekataloogi vaakumkraan [24] on mõeldud ühilduma kiirliitmikutega mis eelnevalt surveühendusteks valitud sai. Kraan on mõeldud töötama kuni 120 C töötemperatuuri juures.



4.1.1 Tootja KNF vaakumpump

4.1.2 Tootekataloogist Aeroflow valitud kiirliitmik M18 to 8mm hose

4.1.3 Tootekataloogist Easycomposites valitud vaakumkraan

4.2 Kompressor

Kompressor peab saavutama vähemalt 4bar rõhu kambris 20 minutilise ajavahemiku sees, vastasel korral pumbatakse kambrisse välisest keskkonnast jahedat õhku peale vajaminevat küttesüklit. Valitud kompressor on tootjalt KNF mudeli nimetusega N 143 AP.9 E [25]. Kompressor on võimeline töötama 5 C kuni 40 C töökeskkonnas vastavalt tootja spetsifikatsioonidele. Töötamiseks vajab kuni 480 W võimsust ning voolu tarbib 230 V vahelduvooluga voolu allikast kuni 4,6 A voolutugevuseni. Toode on võimeline pumpama kuni 23 l/min $\pm 10\%$ ning maksimum rõhk mida saavutada suudab on 7 bar. Vooliku ühenduse jaoks on tehtud ava $\frac{1}{4}$ " BSP ühenduse jaoks, ehk saab kasutada sama kiirliitmikuid ning klambreid mida kasutati eelnevalt valitud vaakumpumba ühendustel.



4.1.4 Tootja KNF kompressor

4.3 Rõhu jälgimine

Kuna kompressoril endal rõhu jälgimiseks manomeetrit pole, ning süsteemil ostutootena ei esine nagu vaakumpumbal, siis tuleb lisada kambrile ka eraldiseisev manomeeter. Kuna suurem osa manomeetrite töötemperatuur jääb alla 60 C [26] on vaja leida eraldi toode mis on mõeldud kõrgemale temperatuurile. Saab ka kasutada erilist jahutus torni mis on mõeldud manomeetri eemaldamiseks kuumemast keskkonnast. Valitud manomeeter on tootjalt PCI instruments [27], toote mudel on TETROPRESS 300 ning kuvab rõhku 0 bar kuni 10bar skaala peal.

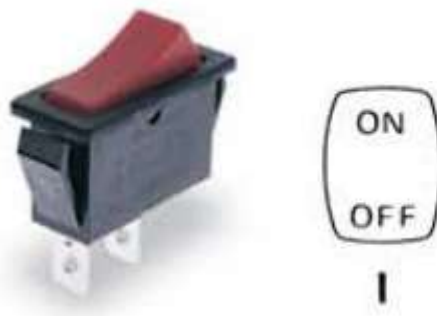
Kuigi toode on mõeldud töötama kuni 60 C töökeskkonnas annab tootja võimaluse eritellimusena tellida autoklaav varianti, mille töövõime on kuni 150 C. Kinnitub skaala alt väljaulatuva $\frac{1}{4}$ " BSP keermega kambri külge ning on valmistatud AISI 316 roostevaba terasest.



4.3.1 Tootja PCI instruments kataloogist toode TETROPRESS 300

4.4 Kompressori, vaakumpumba ja kütteseadeldise töö kontrollimine

Kuna vaakumpump ning kopressor töötavad ainult ON/OFF baasil siis nende kontrollimiseks piisab ainult lihtsatest lülititest kus nende tööd saaks kontrollida. Lülitid peaksid asetsema nii et need oleks kasutajale lihtsasti käsitletavad ning lülitid peavad olema kuidagi eristatavad, vaakumpumbal, kütteseadeldisel ja kompressoril eraldi tähistus. Lisaks peavad lülitid olema võimelised taluma kuni 1 kW töövõimsust mida rakendab kütteseadeldis. Vaakumpump ning kompressor rakendasid vähem võimsust, 400 W ning 480 W vastavalt. Valitud lülitid on tootekataloogist Mouser [28], tootekataloogi numbriga 612-R4DBLKBLKEF0. Tootja andmetel on lüliti mõeldud töötama kuni 250 V pinge ning 10 A voolutugevuse juures. Lülitid on toodetud nailonist ning kontaktid on hõbedaga kaetud nikklid. Lülititel on suur hulk graafilise disaini valikuid ning ka sisemise valgustusega lüliteid mis süttivad vooluringi tekkimisel. Eristamiseks saab valida tootekataloogist lülititele erinevad värvused: punane, valge ning must. Lülitid dimensioonid on esipaneelil 33 mm * 15 mm ning tagaküljel 27 mm * 10,7 mm. Kokku on vaja seadeldiste töö kontrollimise jaoks neli lüliti, kus üks lüliti on mõeldud kogu seadeldise vooluringi ühendamiseks.

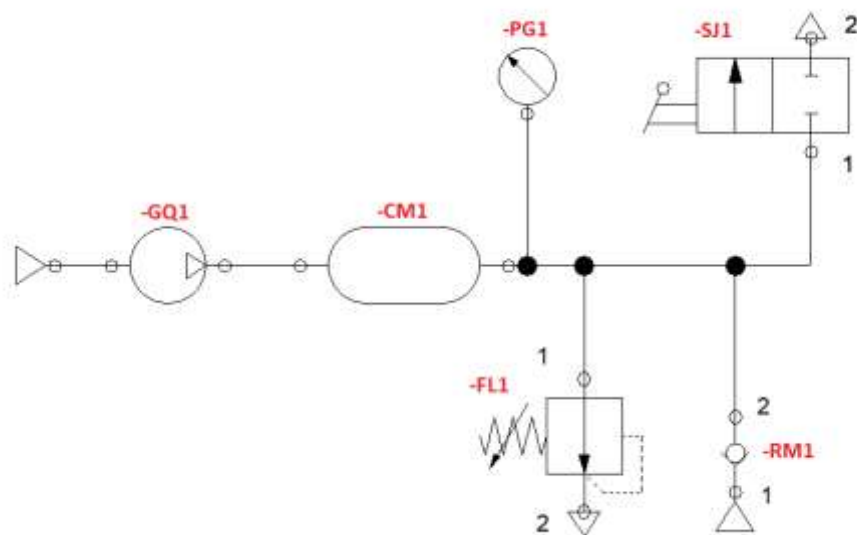


4.4.1 Tootekataloogist Mouser valitud lüliti

4.4.2 Lülititele valitud disain I

4.5 Pneumaatika skeemid

Joonisel 1 on välja toodud kompressoriga ühenduses olevad seadmed ning nende tähendused ning joonisel 2 on välja toodud kõik vaakumpumbaga seoses olevad komponendid ning nende tähendused. Joonisel 1 siseneb õhk süsteemi kompressori kaudu, kust see liigub edasi kambrisse mille külge on ühendatud: manomeeter, ülerõhu kaitse, manuaalselt avatav kraan ning vaakumi vältimiseks mõeldud klapp. Kõik tähistused on valitud pneumaatika standart tingmärgistuse järgi [29].



Joonis 1 Kompressori ja kambri ühenduste skeem

-GQ1 = Kompressor

-CM1 = Kamber

-PG1 = Kambri rõhu manomeeter

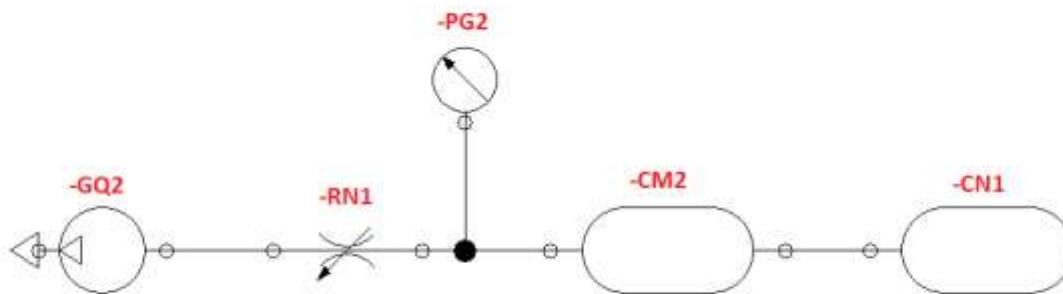
-FL1 = Ülerõhu kaitse

-SJ1 = Manuaalselt reguleeritav kambri rõhu alandamiseks mõeldud kraan

-RM1 = Alarõhu kaitse

Joonis 2 eemaldatakse õhku ja üleliigset vaiku detalli ümber asetsevast vaakumkotist kust vaik saab liikuda vaigukogujasse. Vaigukogujal on lisatud vaakumi tugevuse mõõtmiseks manomeeter.

Vaakumkraan on mõeldud õhu eemaldamise kiiruse vähendamiseks, et oleks võimalik detalli ümber asetsevat vaakumkotti sättida detalli pinnale paremini.



Joonis 2 Vaakumpumba, Vaigupüüdija ja töödeldava detaili vaakumkoti ühenduste skeem

- GQ2 = Vaakumpump
- RN1 = Vaakumkraan
- PG2 = Vaigukogujale lisatud manomeeter
- CM2 = Vaigukoguja anum
- CN1 = Vaakumkott ümber vormi ja detaili kambris

4.5 Tihendid

Kuna enamused valitud detailidest kambrile kinnituvad keerme abil on neid vaja ka tihendada. Lisaks peavad kõik kambri külge kinnituvad tihendid pidama vastu ligi 100 C töötemperatuurile ja kuni 4 bar töökeskkonnale. Keermete tihendamise üks lihtsamaid viise on kasutada keermeteipi. Valitud keermeteip on tootjalt Unipak toote nimega Maxitape [30]. Toode sobib vee, suruõhu, jahutus, auru ning hüdrauliliste süsteemide jaoks. Tootja andmete järgi sobib antud keermeteip kasutuseks -200 C kuni 180 C kraadisesse töökeskkonda. Rõhu taluvuspiiriks on määratud tootja poolt kuni 30 bar.



4.5.1 Tootja Unipak keermeteip Maxitape

5. Ohutus

Seadme kasutamisel ja seadmetööil tuleb tagada inimese elu ja tervise, asja ning keskkonna ohutus. Ohutuse tagamiseks tuleb rakendada vajalikke abinõusid ohu ennetamiseks, väljaselgitamiseks, tõrjumiseks ja kõrvaldamiseks ning õnnetusjuhtumi korral negatiivsete tagajärgede vähendamiseks [31]. Ohu olukordade vältimiseks saab tähtsamad juhised välja tuua ka seadme pinnal kirjalikul kujul. Ohutus juhendisse saab välja tuua punktid kus võivad asetseda otsesemad ohud inimesele ning seadmele. Projekteeritava seadme küttekeha mis on võimeline saavutama 200 C tootja andmete järgi võib soojendada üles erinevaid pindu mis võivad kogemusteta kasutajale tekitada kokkupuutel põletushaavu. Sellised detailid on ka võimalik ka märgistada ohumärkidega, mis kasutajale annavad teada võimalikust ohust. Lisaks tuleks kasutajale näidata seadme nominaalseid töövahemikke: näiteks millistele temperatuuride juures on kamber võimeline töötama ja suurim lubatud rõhk mis võib kambris esineda. Kambri luuk tuleks ära märgistada, et töötaja ei avaks luuki siis, kui kamber on rõhu all ning ära tuleks ka märgistada luugi avamiseks mõeldud kruvid, sest kui kamber pole veel maha jahtunud võivad need olla piisavalt kuumad, et tekitada põletushaavu.



5.0.1 Euroopa ohu märgistus kuuma pinna ohu kohta [32]

5.1 Ohulüliti

Ohu vähendamiseks projekteeritava seadme korral saab kasutada erinevaid kaitmeid ning ka kogu seadme väljalülitamiseks ohuolukorra lüliteid. Lüliti peab katkestama kogu voolu tervel seadmel ning peab olema selgesti eristatav teistest lülititest ning olema lihtsasti ligipääsetavas asukohas. Valitud ohulüliti on tootekataloogist Mouser, tootjaks on EAO ning toote mudeli numbriks 61-6461.4057 [33]. Lüliti on mõeldud vahelduvooluga 250 VAC töötama ning spetsiaalselt mõeldud ohuolukorras kasutamiseks. Seene kujulise nupu pea diameeter on 40 mm ning ulatub välja kinnituspinnast 27,5 mm. Toode on võimalik kinnitada maksimum 6 mm paksuse lehtmaterjalist

pinnale. Punane värvus ning toote kuju teevad nupu selgesti silmapaistvaks ning paanika olukorras äratuntavaks.



5.1.1 Tootekataloogist Mouser valitud Emergency Stop Switch

5.2 Kaitsmed

Projekteeritava seadeldise juures tuleks kasutada vähemalt kahte tüüpi kaitsmeid, elektrikaitmed mis katkestaksid voolu näiteks lühise korral või kui millegipärast peaks voolu tarbimine ületama etteantud väärtusi, ning kõrge temperatuuri kaitsmeid, kui kambri temperatuur peaks rikke korral tõusma liiga kõrgele.

Elektrilised kaitsmed saab sättida igale seadmele eraldi vastavalt nende maksimum lubatud voolutugevustele. Ühe kütteseadeldise maksimum voolutarbimine ei tohiks ületada 2,2 A. Valitud kaitse on tootekataloogist Elfa Distrelec mudeli numbriga RND 170-00047 [34] ning on mõeldud kuni 250 V vahelduvoolu ja 3,15 A voolutarbimise juurde. Kaitsme mõõtmed on 5 mm * 5 mm * 20 mm ning kaalub 1 g. Mõlema kütteseadeldise juures saab sama kaitset kasutada, lisaks saab kaitset kasutada ka vaakumpumba elektrilise kaitsmena mille voolutugevus võib tootja andmetel ulatuda 2,6 A. Kompressori voolutugevuse suurus võib ulatuda 4,6 A, ehk ei saa kasutada eelnevat valitud nõrgemat kaitset, samast kataloogist võetud kaitse mudeli numbriga RND 170-00043 on üsna sarnaste omadustega nagu eelnevalt valitud kaitse kuid sobib töötama suurema voolutugevuse juurde kuni 5 A.

Kui kütteseadme rikkel või muudel põhjustel peaks kambri temperatuur tõusma ohtlikele tasemetele on vaja rakendada kaitset, mis ei laseks jätkata kütteseadme edasist tööd. Valitud kaitse on tootekataloogist Conrad, mudeli nimetusega ESKA SW-138TL [35]. Toode on mõeldud voolu katkestama jõudes temperatuurini 144 C. Kaitse töötab kuni 250 V pinge juures ning on võimeline taluma 10 A voolutugevset. Kaitse tuleks paigutada nii et mõlemad vooluringis olevad kütteelemendid lülituks kaitse läbipõlemisel välja. Kaitsme saab paigutada kambri pinnale eemale kütteseadeldisest, et ei tekiks ootamatuid anomaaliaid.

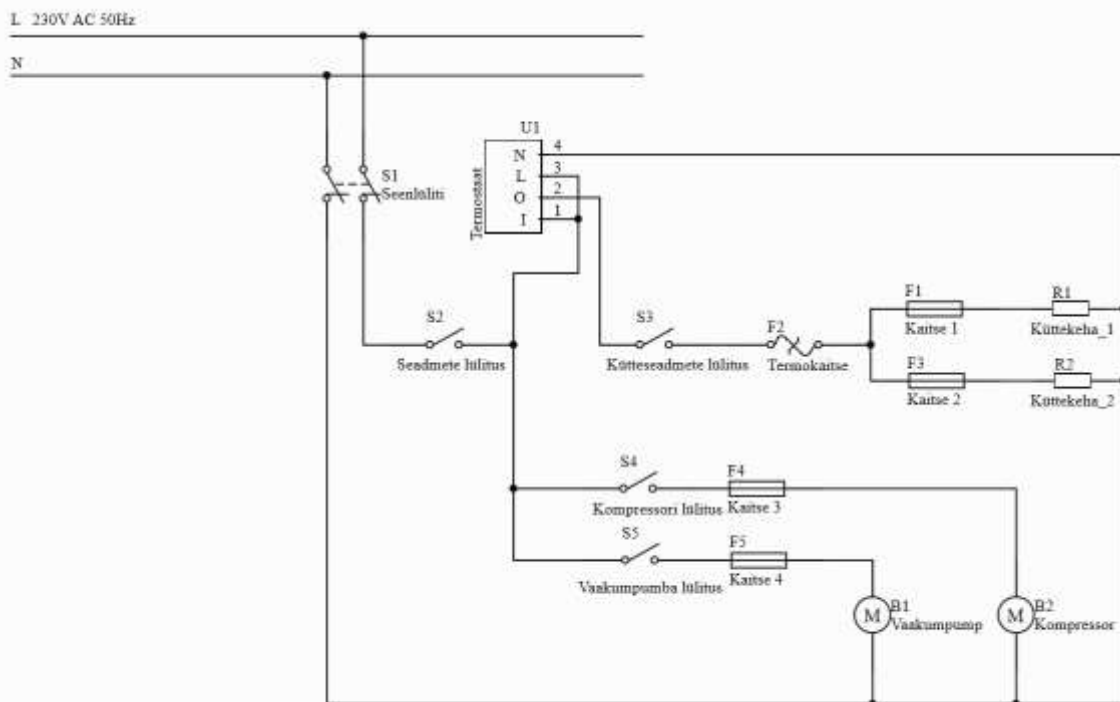


5.2.1 Tootekataloogist Elfa Distrelec valitud kaitse

5.2.2 Tootekataloogist conrad valitud temperatuuri kaitse

6. Elektri skeem

Kuna seade on mõeldud töötama otse vooluvõrgust peavad kõik seadmed ning kaitsmed valitud vastavalt elektrivõrgu parameetritele. Täiskoormusel oleks kogu seadme voolutarbimine ligikaudu valitud seadmete tootja andmete järgi: 480 W kompressoril, 400 W vaakumpumbal ning kaks 500 W küttekeha, mis teevad kokku 1880 W. Euroopas kasutatavate vooluvõrgu pistikupesast on pikajaliselt konstantselt võimalik koormust rakendada 2300W ulatuses [36], ehk seade peaks olema võimeline töötama täisvõimsusel ühe ühendusega. Joonisel 3 on kujutatud kõikide elektriliste seadmete ühendused mis on vajalikud seadme tööks ning komponentide tähistused.



Joonis 3 Seadmete, kaitsmete ja lülitite ühendusskeem

S1 = Ohulüliti mille abil saab seadme rikke või ootamatu ohu korral seadme võrgust välja lülitada

S2 = Kogu seadeldise vooluringi ühendamiseks mõeldud lüliti

S3 = Kütteseadme lüliti mille abil saab sisse lülitada termostaadi ning kütteseadmed

S4 = Kompressori töö kontrollimiseks mõeldud lüliti

S5 = Vaakumpumba töö kontrollimiseks mõeldud lüliti

U1 = Termostaat mis kontrollib vastavalt temperatuuri signaalile kütteseadeldiste tööd neid vooluringi sisse ja välja lülitates

F1 = Esimese küttelelemendi kaitse

F2 = Temperatuurile reageeriv kaitse mis eemaldab küttelelemendid 150 C temperatuuri juures vooluringist

F3 = Teise küttelelemendi kaitse

F4 = Kompressori kaitse

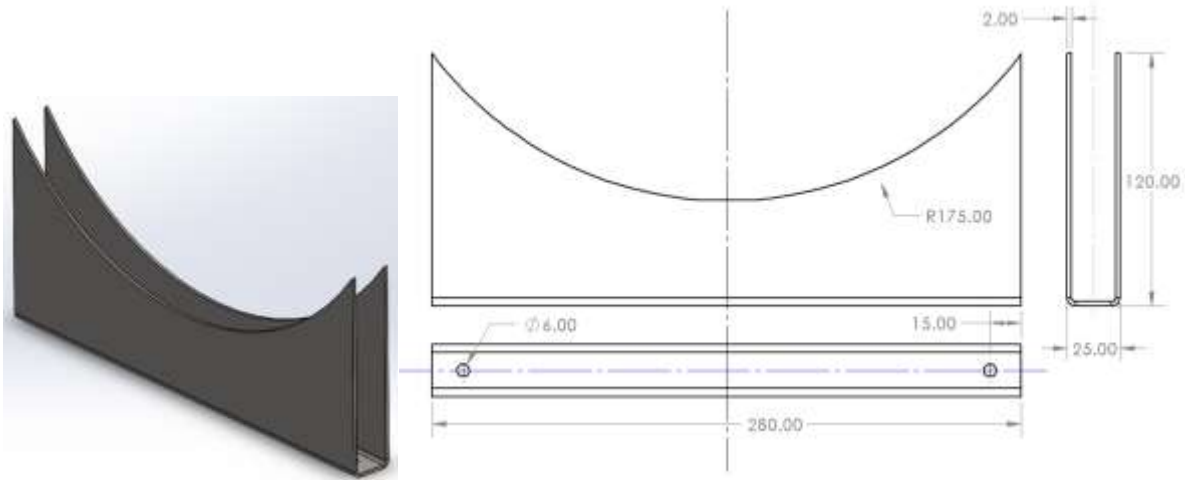
F5 = Vaakumpumba kaitse

B1 = Vaakumpump

B2 = Kompressor

7.Tugijalad

Kambri toe tuleb projekteerida nii, et need ei jääks seadmega töötajale töö ajal ette ning toe osad mis on kokkupuutes kambri pinnaga ei tohi juhtida liigselt soojust kambri keskkonda. Projekteeritud toed on AISI 304 lehtmestallist ning kinnituvad kambri külge keevitustega. Pleki on sisselõiked mis sobivad kambri kumerusega. Kambriale on mõeldud kaks tugijalga, ning erinevad kambri toetuskohtade sisselõigete poolest. Kuna kambri luugil on kinnitusrõngas mille läbimõõt on suurem kambri enda omast 350mm on vaja teha ka tugijalgadele vastavad sisselõiked pleki töötlemisel, et need sobiksid kambri ehitusega. Jalgadel on ka põhjas 6 mm avad, mis on mõeldud kambri fikseerimiseks pinna külge.



7.0.1 Kuvatõmmis projekteeritud tugijalast CAD tarkvaras Solidworks

7.0.2 Kambri esimese toe mõõtmed

Tugijalgade kaudu liigub ümbritsevasse keskkonda ka soojust. Soojushulka on võimalik arvutada eelnevalt kasutatud (3.4) soojusülekanne valem järgi. Soojuse eraldumiseks on vaja energial liikuda isolatsioonikihist välja, ehk valemis kasutatavast pindalast on maha arvestatud isolatsioonikihi laius. Pindala ligikaudu ühel jalal on $0,012m^2$, valemis arvestatakse mõlema tugijala pindalat kust soojus eraldub.

$$10 \frac{W}{m^2 * K} * (100 C - 20 C) * (0,024m^2 * 8) \cong 154 W = P_5$$

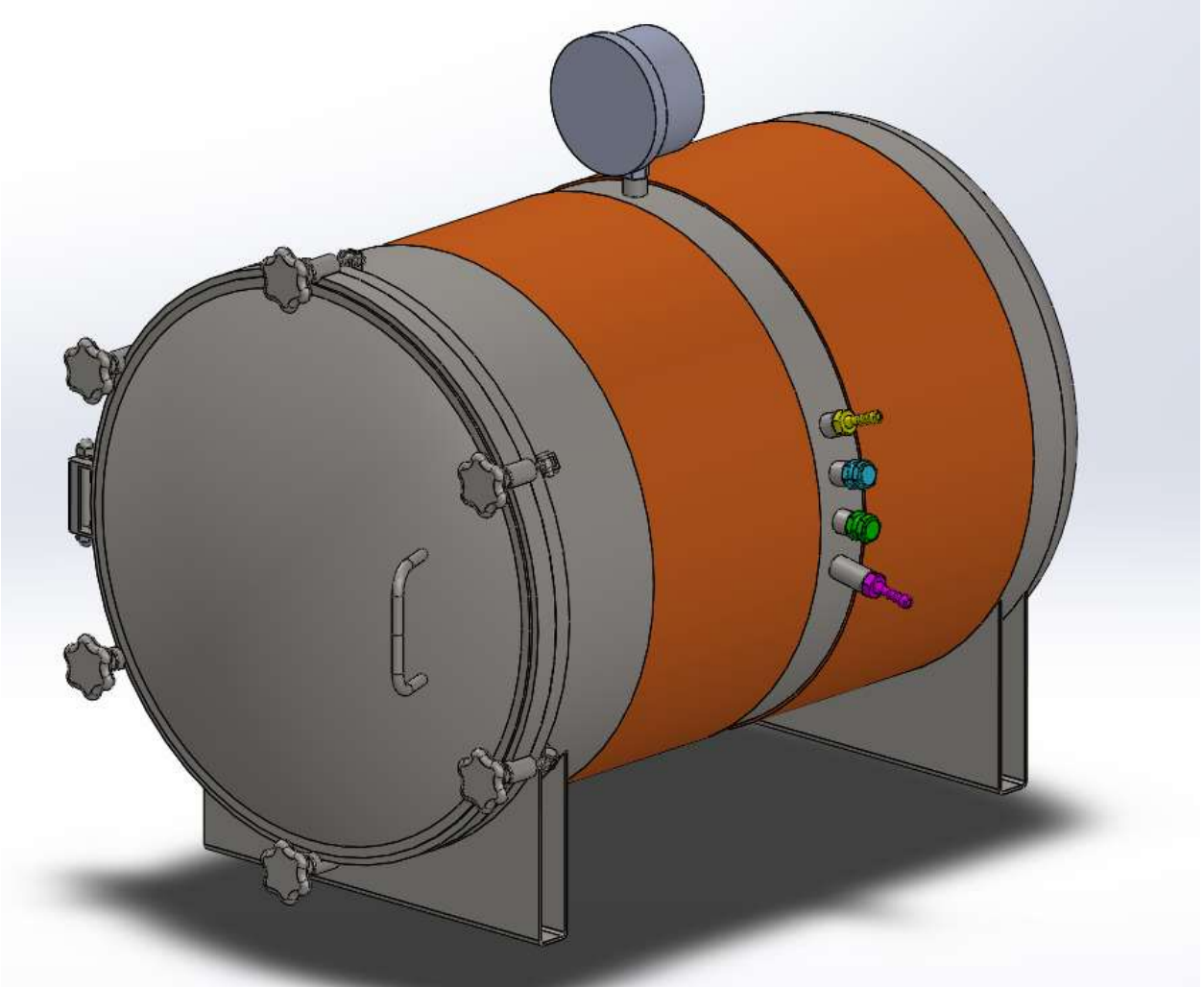
Leitud väärtus näitab et antud jalgade kasutamisel kambri juures on võimalik jääda veel eelnevalt valitud kütteseadeldiste juurde. Kasutades valitud isolatsiooni ka kambri jalgadel on võimalik viia soojuskadu tugijalgadel veelgi väiksemaks. Soojuskao isolatsioonikihi olemasolul saab arvutada valemi (3.6) abil.

$$\frac{0,058 \frac{W}{m * K} * 0,024m^2 * 80C}{0,01m} \cong \frac{11J}{1s} \cong 11W = P_5$$

Saadud tulemus on võrreldes ilma isolatsioonikihi olemasoluta üle kümne korra väiksem. Lisaks aitab isolatsioonikiht ära hoida vigastusi mis võivad tekkida töötava kütteseadme korral, kui tugijalad võivad olla kuni 100 C temperatuuri juures.

8. Koost

Kamber projekteeritud kujul on illustreeritud pildil 8.0.1, pildil ei ole välja toodud kambri ümber mõeldud isolatsiooni kihti teiste detailide esile toomiseks. Manomeeter on paigutatud kambri peale kinnituse järgi ning parema jälgitavuse tagamise eesmärgil. Kütteseadeldised on toodud välja pruunikas punase värvusega ning asetsevad üksteisest 40mm kaugusel. Eesmist kütteleменти oleks võimalik luugile lähedamale tuua ühtlase soojuse jaotuse jaoks, kuid luugi kinnitamiseks mõeldud rõnga ja kambri ülemineku joonel jääks element pinnast kõrgemale ning nii ei ole küttelemendil võimalik saavutada head kontakti kambriga. Kollaselt välja toodud kiirliitmiku ühendus on mõeldud rõhu pumpamiseks kambrisse, kuna sellel puudub vooliku vastus seespool kambrit ei saa sinna ka juhuslikult ühendada vaakumkoti ühendust. Siniselt väljatoodud element on vaakumventiil mis laseb alarõhu tekkimisel kambrisse väliskeskkonnast õhul liikuda. Roheliselt väljatoodud element on reguleeritav ülerõhu kaitse mis on mõeldud kambrist liiga suure rõhu tekkimisel rõhku langetama. Violetne element kujutab vaakumühenduseks mõeldud kiirliitmikut millel on ka vast seespool kambrit. Selle kaudu saab vaakumpump eemaldada vaakumkotist ühu ning lisaks liigub sealtkaudu ka detaililt eemalduv üleliigne vaik. Vajadusel on võimalik kasutada vaakumühenduseks mõeldud liitmiku ka rõhu tekitamiseks kambris. Kambri luuk on välja vasakule avanev ning selle kinnitusrõngas on täielikus kontaktis kambri pinnaga.



8.0.1 Kuvatõmmis kambrist ning selle külge kinnituvatest detailidest CAD tarkvaras Solidworks

Kokkuvõte

Antud bakalaauruse lõputöö käigu sai projekteeritud autoklaav, mis sobiks süsinikust ning klaasriidest võistlusmudelite kerde tootmiseks. Töö käigus valiti kambrile ka sobivad seadmed, mis oleks vajalikud autoklaavi tööks. Seadeldis on mõeldud laevamudeliste ringile kus tegeletakse võistlus mudelite ehituse ning disainimisega.

Autoklaavi projekteerimist alustati kambrist, kuhu kõik detailid ka kinnituvad. Kambril mõõtmised tulenevad vastavalt võistlusreeglistikule NAVIGA 2019 kus on antud võistlusmudelitele mõõtmised mida ületada ei tohi. Kambrile seatud temperatuuri ning rõhu piiridega arvestades leiti kambrile arvutuslikul teel vajaminev materjalipaksus. Luugi valiku tegemisel olid olulisteks parameetriteks luugi mõõtmised, keevitatavus, töötemperatuur ning rõhu taluvus.

Kütteelemendi valimisel oli oluline, et see soojendaks kambrit ühtlaselt igast suunast ning suudaks saavutada etteantud temperatuurid kindla ajavahemiku sees. Elemendi võimsus leiti arvutuslikul teel kus võrreldakse ka kambril vajaminevat võimsust isolatsiooni olemasolul ning ilma. Lisaks pidi kütteelement olema elektriline, et kogu seadeldist oleks võimalik töötada standartsest 230 V vahelduvvooluallikast koos kõigi teiste elektriliste seadmetega mida koos kambriga kasutatakse. Seadme soojenduse kontrollimiseks valiti termostaat mis kuvaks seadmega töötajale hetke temperatuuri ning etteantud temperatuuri mille töötaja on määranud.

Töös on ka leitud vajaminevad seadmed mis oleks vajalikud kambriga töötamiseks. Kompressori ja vaakumpumba valikul arvestati kui kiiresti ning milliste töötemperatuuride juures peavad pumbad töötama. Vaakumsüsteemi töö lihtsustamiseks valitud detailide juures tuli arvestada sellega, et neid oleks lihtne puhastada ning vahetada. Kambril ohutus ning kaitsmed on valitud nii, et need kaitseks kambriga töötavat inimest ning kambril enda detaile. Ülerõhukaitse ning alarõhukaitse on mõeldud erinevate olukordade jaoks kus kambrisse peaks tekkima ohtlikud kõrge või madalad rõhud. Elektrilised kaitsmed ning termokaitsmed tagavad elektriliste seadmete korrekse töö ja ohutuse.

Projekteeritud kambrile sai välja otsitud kõik vajaminevad detailid ning kust neid oleks võimalik tellida. Leiti mis suurusjärgudes on kambril mõõtmised ning millised on energiavajadused. Tehtud töö põhjal oleks võimalik alustada autoklaavi realiseerimist.

Lõputöö tegemine aitas meelde tuletada õpitud teadmisi ja täiendada olemasolevaid. Erinevate ostutoodete leidmine parameetrite järgi aitas laiendada silmaringi, kust tulevikus võib leida tulevaste projektide jaoks detaile.

Summary

In the given thesis was designed an autoclave, which would be suitable for glass and carbon fiber competition models hull manufacturing. During the work, suitable equipment was also chosen for the chamber, which would be necessary for the operation of the autoclave. Device is meant for ship modelers who design and build competition models.

Design started with the chamber, where all the other details attach. Dimensions of the chamber derive from competition rulebook NAVIGA 2019, where all hull maximum dimensions are given. Depending on the temperature and pressure limits set for the chamber, the material thickness required for the chamber was calculated. Door dimensions, weldability, operating temperature and pressure tolerance were important parameters in the selection of the hatch.

When choosing a heating element, it was important that it warmed the chamber evenly from each direction and could achieve the predetermined temperatures within a given time period. The power of the element was calculated on a computational basis, which also compares the required power of the chamber with and without isolation. In addition, the heating element had to be electric to allow the entire device to operate from a standard 230 V AC power source with all the other electrical devices used with the chamber. To control the device heater, a thermostat was selected to display the current temperature of the device to the worker and the pre-set temperature set by the worker.

The extra equipment needed to operate the chamber was also chosen. The choice of compressor and vacuum pump was based on how fast and at which operating temperatures the pumps must operate. In order to simplify the operation of the vacuum system, the selected parts had to be considered to be easy to clean and replace. The safety of the chamber and the fuses are selected to protect the person working with the chamber and the equipment of the chamber itself. The overpressure protection and the vacuum protection are designed for different situations where dangerous high or low pressures should be generated in the chamber. Electric fuses and thermal fuses ensure the correct operation and safety of electrical equipment.

All the necessary details were found for the designed chamber and where they could be ordered. What size ranges are the dimensions of the chamber and what are the energy needs. Based on the work done it would be possible to start the realization of the autoclave.

Making the thesis helped to recall the knowledge learned and to supplement the existing ones. Finding different items by the parameters helped me expand the horizons for future projects.

Kasutatud allikad

- [1] „Valmistustehnoloogia,“ 10 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.tut.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MXX0050/Valmistustehnoloogia_080210.pdf.
- [2] „NAVIGA 2019,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.naviga.org/section_m/wp-content/uploads/2018/12/Rulebook-M-2019.pdf. [Kasutatud 03 2019].
- [3] „AISI 304 omadused,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq304a>. [Kasutatud 04 2019].
- [4] D. Moss, Pressure vessel design manual, Gulf Professional Publishing, 2004.
- [5] „Kambri luuk,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://ru.aliexpress.com/item/SS304-350/32908615298.html?spm=a2g0v.search0104.3.25.315716dfH6KjKS&transAbTest=ae803_5&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_7_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_10. [Kasutatud 25 04 2019].
- [6] „Reguleeritav ülerõhukaitse,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.generant.com/product/vent-relief-valve/>. [Kasutatud 04 2019].
- [7] „Alarõhukaitse FIG 568,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nabicvalves.com/product/anti-vacuum-valves/fig-568-antivacuum-valve>. [Kasutatud 04 2019].
- [8] „GAUGES, SIGHT GLASSES AND VACUUM BREAKERS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://beta.spiraxsarco.com/learn-about-steam/pipeline-ancillaries/gauges-sight-glasses-vacuum-breakers>. [Kasutatud 05 2019].
- [9] „Kiirliitmik Easycomposites,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/vacuum-equipment-and-supplies/vacuum-fittings/hose-tail-fitting.html>. [Kasutatud 04 2019].
- [10] „Hose clamp,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://eshop.wuerth.de/Product-categories/Hose-clamp/14016505040101.cyid/1401.cgid/en/US/EUR/?CatalogCategoryRef=14016505040101%40WuerthGroup-Wuerth-1401&SelectedFilterAttribut=%255B%255D>. [Kasutatud 04 2019].
- [11] „Straight sleeve Würth,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://eshop.wurth.fi/Product-categories/Pipe-fitting-connector-SMH/31061012050402.cyid/3106.cgid/en/US/EUR/?pgid=QXj_KNZ3sBoYM52cj0GOGBDp0000qnV0gwAN;sid=7R4YoDv6rHwZoGcne4oCfTTwZ-DDIbEENp_iDIit. [Kasutatud 05 2019].
- [12] „Vaakum voolik,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/vacuum-equipment-and-supplies/vacuum-accessories/8mm-silicone-vacuum-hose.html>. [Kasutatud 04 2019].
- [13] „Catch pot Vaigupüüdja,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/vacuum-equipment-and-supplies/vacuum-accessories/professional-resin-infusion-catch-pot-small.html>. [Kasutatud 04 2019].

- [14] „Survevoolik,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.festo.com/cat/et_ee/products_PTFEN. [Kasutatud 04 2019].
- [15] „Kraan ART.081,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.itap.it/ball-valves/Ball-valves-and-gate-valves/11/art.081---paris%C2%AE-ball-valve,-full-flow.asp?id_m=1. [Kasutatud 05 2019].
- [16] A. Ots, Soojustehnika aluskursus, Tallinn, 2011.
- [17] „Konvektsiooni soojusülekande tegureid,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html. [Kasutatud 05 2019].
- [18] „Isolatsioon Isotec,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.isover.ee/tooted/isotec-ventilam-alu>. [Kasutatud 05 2019].
- [19] „Kütteelement Flexdrum,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.flexelec.com/pdf/produits/drum-heater-TCF-TCFTV-FLEXDRUM-gb.pdf>. [Kasutatud 04 2019].
- [20] „Heatline OÜ Drum and Container heater,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.heatline.ee/wp-content/uploads/2019/01/DrumContainerHeater-Manual.pdf>. [Kasutatud 04 2019].
- [21] „Termostaat W3230,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.sah.co.rs/tx3-rd2a-5055.html>. [Kasutatud 04 2019].
- [22] „Vaakumpump KNF,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.knf.com/en/products/process-pumps/product/products/diaphragm-gas-pumps-and-compressors/temperature-resistant-and-heated-pumps/>. [Kasutatud 05 2019].
- [23] „Aeroflow Barb Adapter,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.aeroflowperformance.com/fittings/barb-fittings/barb-adapters-metric/af734-05blk>. [Kasutatud 04 2019].
- [24] „Vaakumkraan,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/vacuum-equipment-and-supplies/vacuum-fittings/vacuum-valve.html>. [Kasutatud 04 2019].
- [25] „Kompessor KNF,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.knf.com/en/products/process-pumps/product/products/diaphragm-gas-pumps-and-compressors/double-diaphragm-pumps/>. [Kasutatud 05 2019].
- [26] „Manomeetrite parameetrid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pci-instruments.com/pressure-gauge-configurations-for-high-temperature-applications.html>. [Kasutatud 05 2019].
- [27] „Manomeeter,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.pci-instruments.com/product/4_all-stainless-steel-pressure-gauge.html. [Kasutatud 05 2019].
- [28] „Seadmete lülid,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.mouser.ee/E-Switch/Electromechanical/Switches/Rocker-Switches/R4-Series/_/N-5g2q?P=1yx3lzsZ1z0zlga. [Kasutatud 05 2019].
- [29] „Pneumaatika sümbolid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://blog.projectmaterials.com/instrumentation/pid-symbols/>. [Kasutatud 05 2019].

- [30] „Maxitape keerme isolatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://unipak.dk/en/catalogue/thread/thread-seal-tape/maxitape>. [Kasutatud 05 2019].
- [31] „Seadmete ohutuse seadus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/123032015004>. [Kasutatud 05 2019].
- [32] „Ohusümbolid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.msds-europe.com/hazardsymbols/>. [Kasutatud 05 2019].
- [33] „Ohulüliti,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mouser.ee/ProductDetail/EAO/61-64614057?qs=wd5RIQLrsJj5oyHYBt8V%2Fg==>. [Kasutatud 05 2019].
- [34] „Kaitsmed,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elfadistrelec.ee/et/fuse-2x20mm-15a-250v-rnd-components-rnd-170-00047/p/30043467?pos=2&origPos=14&origPageSize=10&p=cat-L2D_379526~cat-DNAV_0703~cat-L2-3D_1689051~cat-DNAV_PL_03130105&q=* &prodprice=0.1636&isProductFamily=false&campaign=&track=. [Kasutatud 05 2019].
- [35] „Termokaitse,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.conrad.com/p/eska-sw-138tl-thermal-fuse-144-c-10-a-250-v-1-pcs-419020>. [Kasutatud 05 2019].
- [36] „Plug and socket types,“ 27 11 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.worldstandards.eu/electricity/plugs-and-sockets/#plugs>. [Kasutatud 05 2019].